

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL
GRADO DE LICENCIATURA EN
INGENIERÍA AMBIENTAL

PLAN TÉCNICO OPERACIONAL Y DE MANTENIMIENTO
PARA LAS PLANTAS DE FILTRACIÓN RÁPIDA Y
FILTRACIÓN LENTA DE LA ASADA DE SAN GABRIEL DE
ASERRÍ, COSTA RICA

ESTUDIANTE: DIEGO VENEGAS SANDÍ
ABRIL 2012

DEDICATORIA

Cada momento de gracia, bendición y aprendizaje se lo debo agradecer a mi Dios, el cual nunca ha dejado de extender sus manos de amor hacia mi vida; a Él principalmente le dedico este logro.

También deseo dedicar este esfuerzo a mi familia, a mi novia y mis mentores en la iglesia, su apoyo incondicional facilitó la realización exitosa de esta tarea.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera muy sincera a todo el personal de la ASADA San Gabriel, sobre todo a los operarios de los cuales adquirí muchas enseñanzas.

Agradezco especialmente al señor Minor Durán Durán, administrador de la ASADA San Gabriel por el tiempo, atención e información valiosa que me brindó durante la ejecución del proyecto.

Agradezco al profesor tutor el Ing. Macario Pino Gómez por su preocupación e interés en la correcta elaboración del presente proyecto.

Finalmente deseo externar mi agradecimiento a todo el personal de la Escuela de Química y de la Carrera de Ingeniería Ambiental, los cuales con sus diversas enseñanzas hicieron de mi paso por la universidad un tiempo muy provechoso.

Contenido

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTOS	3
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	15
1.1 Descripción de la organización	15
1.2 Descripción de la problemática	18
1.4 Objetivos	26
1.4.1 Objetivo General.....	26
1.4.2 Objetivos Específicos	26
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	27
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.....	36
3.1 Inspección y evaluación de los sistemas de tratamiento.	36
3.2 Preparación y ejecución de un programa de muestreos y medición periódica de análisis químicos y aforos.....	38
3.3 Capacitación a operarios.	39
CAPÍTULO 4: RESULTADOS.....	43
4.1 Evaluación	43
4.1.1 Planta de Tratamiento de Filtración Rápida Sistema El Tigre	43
4.1.2 Planta de Filtración Lenta Quebrada Tarbaca.	72
4.1.3 Estudio de costos.	82
4.2 Capacitación	86
CAPÍTULO 5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	91
5.1 Evaluación del Sistema de Filtración Rápida El Tigre.....	91
5.2 Evaluación del Sistema de Filtración Lenta Quebrada Tarbaca	102

5.3 Análisis de costos y consumo.....	106
5.5 Capacitación	112
CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	115
6.1 Conclusiones: Planta de Tratamiento El Tigre	115
6.2 Recomendaciones: Planta de Tratamiento El tigre	119
6.3 Conclusiones: Planta de Tratamiento Quebrada Tarbaca	122
6.4 Recomendaciones: Planta de Tratamiento Quebrada Tarbaca	125
BIBLIOGRAFÍA	127
ANEXOS	129

Índice de tablas

Tabla 4.1 Medidas de tendencia central de 358 datos de turbiedad (UNT) de entrada a la planta, tomados por funcionarios de la ASADA de San Gabriel, de julio a noviembre de 2011	45
Tabla 4.2 Turbiedades (UNT) promedio de entrada a la planta de acuerdo a cada hora del día durante los meses de julio a noviembre de 2011.....	47
Tabla 4.3 Turbiedades promedio de entrada a la planta (UNT) y precipitación medias (mm/día) de julio a noviembre de 2011	48
Tabla 4.4 Medidas de tendencia central de valores de pH y temperatura tomados 3 veces al día del 4 al 24 de octubre.....	50
Tabla 4.5 Medidas de tendencia central de valores de color (Pt-Co) de octubre a noviembre.....	50
Tabla 4.6 Datos bacteriológicos del Sistema El Tigre de diciembre de 2008 a agosto de 2011.....	51
Tabla 4.7 Datos de parámetros físicos-químicos del sistema El Tigre de diciembre de 2008 a febrero de 2010.....	52
Tabla 4.8 Resumen comparativo de caudales promedio de medidas estándar, manual y caudal de salida.....	58
Tabla 4.9 Mediciones de caudal manual de entrada y salida.....	60
Tabla 4.10 Medidas de tendencia central para valores de turbiedad (UNT) de salida de la planta de tratamiento con aplicación de coagulante.....	62
Tabla 4.11 Eficiencia de remoción de diferentes procesos unitarios de la planta El Tigre sin suministrar sulfato de aluminio.....	63
Tabla 4.12 Dosis teórica de sulfato de aluminio al 8,3%.....	68
Tabla 4.13 Medición de los principales procesos unitarios de la planta de filtración rápida y sus dimensiones según los planos de diseño elaborados por AYA.....	71
Tabla 4.14 Mediciones del floculador y dimensiones según plano.....	71
Tabla 4.15 Turbiedades del sistema Tarbaca según proceso unitario.....	74

Tabla 4.16 Parámetros bacteriológicos de diferentes lugares del Sistema Quebrada Tarbaca.....	75
Tabla 4.17 Parámetros químicos físicos de diferentes lugares del Sistema Quebrada Tarbaca.....	77
Tabla 4.18 Prueba de calibración de vertederos de la planta Quebrada Tarbaca.....	79
Tabla 4.19 Dimensiones de los principales procesos unitarios de la Planta Quebrada Tarbaca	81
Tabla 4.20 Altura de arena en filtros lentos.....	81
Tabla 4.21 Resumen de consumo de abril a setiembre de 2011 de los dos sistemas de tratamiento.....	83
Tabla 4.22 Consumos e ingresos por facturación de agua a los consumidores activos del Sistema El Tigre.....	83
Tabla 4.23 Consumos e ingresos por facturación de agua a los consumidores activos del Sistema Quebrada Tarbaca.....	84
Tabla 4.24 Ingresos y gastos promedio anual de la Asada San Gabriel.....	84
Tabla 4.25 Gasto en sulfato de aluminio por mes de acuerdo a la turbiedad.....	85
Tabla 4.26 Respuesta por parte de operarios y administrador de la ASADA hacia el curso de capacitación.....	89
Tabla 5.1 Comparación operativa de los sistemas de tratamiento.....	110
Tabla A.1 Parámetros de calidad del agua, primer nivel de control, N1.....	140
Tabla A.2 Calibración de caudales.....	150

Tabla A.3 Sacos de sulfato a añadir a los estañones de 600L de agua según la concentración deseada.....	153
Tabla A.4 Dosis óptima de sulfato al 8% a dosificar de acuerdo a la turbiedad.....	157
Tabla A.5 Preparación de disolución madre de sulfato de aluminio.....	162
Tabla A.6 Ficha para el registro de datos de la prueba.....	164
Tabla A.7 Caudal según altura para vertedero triangular de la salida de la planta El Tigre.....	172
Tabla A.8 Ficha de registro de parámetros físico químicos.....	175
Tabla A.9 Determinación de caudal según altura de agua medida con regla en vertedero.....	183
Tabla A.10 Acciones a realizar durante el retiro y lavado de toda la grava del filtro grueso de flujo horizontal.....	186
Tabla A.11 Procedimiento para limpiar un lecho filtrante de arena.....	190
Tabla A.12 Ficha de registro de parámetros de calidad de la planta de tratamiento.....	195
Tabla A.13 Turbiedades de entrada a la Planta El Tigre.....	198

Índice de figuras

Figura 1.1 Mapa del cantón de Aserrí, San José, Costa Rica.....	16
Figura 1.2 Diagrama organizacional de la conformación actual de la junta directiva del Acueducto de San Gabriel.....	17
Figura 1.3 Mapa de la zona del proyecto.....	20
Figura 1.4 Funciones desempeñadas por los operarios antes de la implementación del proyecto.....	21
Figura 1.5 Proceso de filtración lenta llevada a cabo en el Sistema Quebrada Tarbaca del Acueducto de San Gabriel.....	22
Figura 1.6 Proceso de filtración rápida llevado a cabo en el Sistema Río Tigre del Acueducto de San Gabriel.....	22
Figura 2.1 Sistema ideal de Filtración en Múltiples Etapas (FIME).....	31
Figura 4.1 Captación de fondo del agua en Río Tigre para el Sistema de Tratamiento.....	44
Figura 4.2 Frecuencia acumulada de la turbiedad a la entrada de la planta.....	46
Figura 4.3 Turbiedades (UNT) promedio de entrada a la planta por hora del día.....	48
Figura 4.4 Turbiedades promedio de entrada a la planta (UNT) y precipitación media (mm/día) por mes.....	48
Figura 4.5 Valores de turbiedad de entrada a la planta por fecha, del 18 de julio al 15 de noviembre de 2011.....	49
Figura 4.6 Coliformes fecales del Río Tigre del año 2008 al 2011.....	51
Figura 4.7 Imagen de plano de diseño de la cámara de entrada de la planta de tratamiento El Tigre.....	55
Figura 4.8 Dimensiones en centímetros del vertedero rectangular de entrada de la planta de filtración rápida El Tigre.....	55
Figura 4.9 Vertedero triangular ubicado en la salida de la planta de filtración rápida.....	56
Figura 4.10 Regla colocada en la pared de la cámara de entrada por personeros de AyA.....	57

Figura 4.11 Diferencias de caudal entre estándar, medición manual y caudal de salida manual.....	58
Figura 4.12 Porcentaje de eficiencia promedio de los principales procesos unitarios que conforman la planta de tratamiento El Tigre.....	61
Figura 4.13 Turbiedades promedio de salida de julio a noviembre de 2011.....	62
Figura 4.14 Porcentaje de eficiencia promedio de los principales procesos unitarios que conforman la planta de tratamiento El Tigre sin el suministro de coagulante.....	64
Figura 4.15 Diagrama de funcionamiento del sistema automático de dosificación de sulfato de aluminio Accufloc	65
Figura 4.16 Dosificación de sulfato de aluminio de acuerdo a la turbiedad de entrada del 14 de septiembre al 31 de octubre.....	66
Figura 4.17 Dosificación de sulfato de aluminio de acuerdo a la turbiedad de entrada del 1 al 15 de noviembre.....	66
Figura 4.18 Dosis de sulfato de aluminio suministrada en función de la turbiedad de entrada del 1 al 15 de noviembre	67
Figura 4.19 Dosis óptima experimental y teórica según turbiedades de 15 a 60 UNT.....	72
Figura 4.20 Dosis óptima experimental y teórica según turbiedades de 50 a 150 UNT.....	69
Figura 4.21 Rejillas de captación de agua de la Quebrada Tarbaca.....	72
Figura 4.22 Coliformes fecales en la cámara de entrada del Sistema Quebrada Tarbaca.....	76
Figura 4.23 Vertederos de la cámara de entrada del Sistema Quebrada Tarbaca.....	78
Figura 4.24 Diferencia de caudal (L/s) por cada vertedero entre la medida volumétrica y la calculada con la altura de la cresta en el vertedero.....	80
Figura 4.25 Imágenes fotográficas de los tres talleres de capacitación brindados al personal operativo de la ASADA San Gabriel.....	88
Figura 4.26 Diseño realizado a partir de las dimensiones de los planos de AyA de la Planta de Tratamiento El Tigre.....	90

Figura 5.1 Conformación de gravas en filtro rápido de la Planta El Tigre.....	99
Figura 5.2 Distribución del tamaño de partículas.....	104
Figura 5.3 Vertedero de cámara de entrada de la Planta Tarbaca.....	105
Figura A.1 Paisaje de San Gabriel.....	129
Figura A.2 Oficina del Acueducto de San Gabriel.....	130
Figura A.3 Registro de medidores de la ASADA de San Gabriel.....	131
Figura A.4 Mapa del acueducto de los sistemas de tratamiento.....	132
Figura A.5 Descripción gráfica de los principales procesos unitarios de la planta de tratamiento Quebrada Tarbaca.....	133
Figura A.6 Planta de tratamiento de Filtración Lenta Quebrada Tarbaca.....	134
Figura A.7 Planta de tratamiento de Filtración Lenta Quebrada Tarbaca, vista en planta del plano realizado por AyA.....	135
Figura A.8 Corte Lateral en plano del filtro lento de arena.....	135
A.9 Descripción Gráfica de los principales procesos unitarios de la Planta de Tratamiento El Tigre.....	136
Figura A.10 Planta de Tratamiento El Tigre.....	137
Figura A.11 Sistema de filtración rápida El Tigre, Vista en planta en plano realizado por AyA.....	138
Figura A.12 Equipo de laboratorio para el análisis de parámetros químico Físicos de la Planta El Tigre.....	139
Figura A.13 Mapa de fuentes de abastecimiento hídricas de las plantas de tratamiento de la ASADA.....	146
Figura A.14 Vista isométrica de los principales procesos unitarios de la planta de tratamiento de filtración rápida El Tigre, ubicada en San Gabriel de Aserrí.....	147
Figura A.15 Representación de la cámara de entrada y sus principales componentes.....	148
Figura A.16 Fotografía cámara de entrada, agua después del vertedero.....	149
Figura A.17 Vertedero Rectangular.....	150
Figura A.18 Cámara de floculación con sus respectivas secciones.....	151

Figura A.19 Almacenamiento de sacos de coagulante en la planta El Tigre.....	152
Figura A.20 Ilustración de los recipientes que contienen la disolución de sulfato de aluminio.....	153
Figura A.21 Panel de control eléctrico para el sistema de dosificación de coagulante.....	154
Figura A.22 Diagrama de funcionamiento del sistema automático Accufloc.....	156
Figura A.23 Ilustración del funcionamiento automático del sistema Accufloc.....	156
Figura A.24 Sistema de lavado de filtros del Accufloc.....	158
Figura A.25 Regulador de dosis de coagulante, Pulsa Feeder.....	160
Figura A.26 Corte del sedimentador de la planta de tratamiento El Tigre.....	165
Figura A.27 Sedimentador, tubos de recolección de agua.....	166
Figura A.28 Vista superior de los filtros rápidos de la planta de tratamiento El Tigre.....	167
Figura A.29 Ilustración de nivel máximo en filtros.....	168
Figura A.30 Cámara de salida.....	169
Figura A.31 Sistema de suministro de cloro de la planta El Tigre.....	170
Figura A.32 Vertedero triangular ubicado en la salida de la planta de tratamiento El Tigre.....	171
Figura A.33 Ilustración del nivel de operación normal en la planta de tratamiento El Tigre.....	172
Figura A.34 Laboratorio de la planta de tratamiento El Tigre.....	176
Figura A.35 Dosificación de sulfato de aluminio en caso de no tener electricidad.....	179
Figura A.36 Zona de salida de la cámara de floculación.....	180

Figura A.37 Corte Lateral del filtro grueso horizontal de la planta de tratamiento quebrada Tarbaca.....	181
Figura A.38 Vertederos de la cámara de entrada hacia filtro grueso de flujo horizontal.....	182
Figura A.39 Válvulas para lavado por de la planta de tratamiento Quebrada Tarbaca.....	185
Figura A.40 Componentes del filtro lento de arena de la planta Quebrada Tarbaca.....	187
Figura A.41 Capa biológica formado en el filtro lento de arena de la planta Quebrada Tarbaca.....	188
Figura A.42 Sistema automático de control de turbiedad.....	192
Figura A.43 Lector de turbiedad en Unidades Nefelométricas de Turbiedad de la planta Quebrada Tarbaca.....	193
Figura A.44 Proceso de cloración de la planta Quebrada Tarbaca.....	193
Figura A.45 Tubo de medición de turbiedad.....	196

RESUMEN

En la comunidad de San Gabriel de Aserrí existen dos plantas de tratamiento de aguas potables, las cuales son administradas por una Asociación Administradora de Acueductos y Alcantarillados (ASADA). Las plantas abastecen a 1300 usuarios y corresponden a un sistema de filtración rápida (Sistema El tigre) y un sistema de filtración lenta (Sistema Quebrada Tarbaca). Antes de la realización del proyecto, los dos sistemas de tratamiento no poseían una operación ni mantenimiento planificado, tampoco existía un manual de operación en el cual se encontraran establecidos los procedimientos adecuados para la operación. El problema principal consistía en la falta de conocimiento por parte de los operadores de los aspectos químicos y físicos de cada planta. Con el propósito de mitigar los problemas producto de las fallas operativas que se venían dando en las Plantas de San Gabriel, se estableció en el presente proyecto, como objetivo principal, el elaborar un plan técnico de operación y mantenimiento para las dos plantas de San Gabriel. Un primer objetivo específico de este plan fue definir y ejecutar un programa de evaluación dirigido a la operación y mantenimiento de las dos plantas de tratamiento, para lo cual se procedió a realizar una investigación de la información disponible en la ASADA, realizar mediciones, pruebas de caudal y de los parámetros físico químicos del agua tanto a la entrada como a la salida de los sistemas, ejecutándose un programa de muestreos y análisis físicos químicos. El segundo objetivo específico consistió en desarrollar y ejecutar un programa de capacitación para todo el personal operativo; dicho taller de capacitación consistió en inducciones teórico prácticas, con la presentación de material de fácil entendimiento para los operarios y prácticas dirigidas en las plantas de tratamiento. También como parte de este objetivo se realizó un manual de operación y mantenimiento para ambos sistemas y se capacitó al personal en su uso. Dicho manual contiene los procedimientos específicos a seguir y fichas de registro de parámetros operativos de las plantas. El resultado obtenido del presente proyecto fue la evaluación de ambos sistemas; se identificó una eficiencia de 84% en remoción de turbiedad para la planta El Tigre. Se determinó una eficiencia de 100% en la planta Tarbaca en cuanto a remoción de bacterias, ambos sistemas de tratamiento cumplen satisfactoriamente con la normativa vigente en Costa Rica. Como parte de la evaluación se determinó que la planta de tratamiento de filtración lenta es una tecnología más conveniente que la planta de filtración rápida, para la comunidad rural de San Gabriel de Aserrí, principalmente por los costos y facilidad de operación. Las capacitaciones dieron resultados beneficiosos, se identificó una mejora significativa referente a la operación de las plantas y se evidenció una respuesta inmediata ante las recomendaciones brindadas durante los talleres de capacitación. El Plan Técnico de Operación y Mantenimiento dio resultados positivos en cuanto a la operación correcta de las plantas y la capacitación brindada, resultando en una mejora sustancial de la calidad del servicio brindado por la ASADA.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción de la organización

Como parte del presente estudio se pretende dar solución a una serie de problemas encontrados en la operación de los sistemas de filtración rápida y filtración lenta de la ASADA San Gabriel, como parte importante de la investigación se presenta a continuación una descripción sobre el ente en donde se desarrolló este proyecto.

La ASADA de San Gabriel de Aserrí se encarga de abastecer de agua potable al distrito central de San Gabriel y a otras localidades cercanas o barrios, los cuales corresponden a Tranquerillas, Calle mora, Calle los Ángeles, la Fila Arriba y las Brisas.

San Gabriel es el cuarto distrito del Cantón de Aserrí el cual a su vez pertenece a la provincia de San José, Costa Rica. En la figura 1.1 se presenta la ubicación geográfica del distrito de San Gabriel.

San Gabriel es una comunidad rural; el acueducto perteneció hace más de diez años a la municipalidad de Aserrí, hoy está a cargo de la ASADA, la cual se rige bajo la ley 218 de asociaciones sin fines de lucro, el ente rector de este acueducto es el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), el cual se rige por su ley constitutiva. La ASADA se maneja internamente mediante la conformación de una junta directiva (figura 1.2), una asamblea conformada por todos aquellos usuarios que soliciten ser socios de la misma, de forma escrita; y finalmente por la administración de la ASADA.

La asamblea cumple una función de fiscalizador de los procesos que se estén llevando a cabo en la asociación del acueducto, esta se reúne cada dos años. La administración de la ASADA está conformada por el administrador Lic. Minor Durán Durán y los funcionarios/operadores que manejan la operación del acueducto, el cual a su vez es supervisado por la junta directiva. La asociación del acueducto cuenta con una oficina en el centro de San Gabriel, la cual se puede observar en fotografía en el anexo 2, en la cual trabajan los funcionarios de la administración de la ASADA, Lic. Minor Durán y la Secretaria Sra. Alejandra Jiménez.



Figura 1.1 Mapa del cantón de Aserrí, San José, Costa Rica. Fuente: Atlas Cantonal Provincia de San José preparado por el Instituto de Fomento y Asesoría Municipal en colaboración con el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica

La ASADA se sostiene económicamente mediante la recepción de fondos producto de los pagos del servicio de agua potable por parte de los usuarios. La tarifa que tiene actualmente el acueducto San Gabriel por usuario, es la establecida por la ARESEP, esta corresponde a $\$1615$ como tasa base por mes más $\$90$ por cada m^3 de agua consumida, para la medición del consumo, cada usuario posee un medidor el cual es leído por un funcionario de la ASADA cada mes y se registra este dato en una computadora de bolsillo (anexo 3), la cual tiene un software que registra los datos suministrados por el usuario.

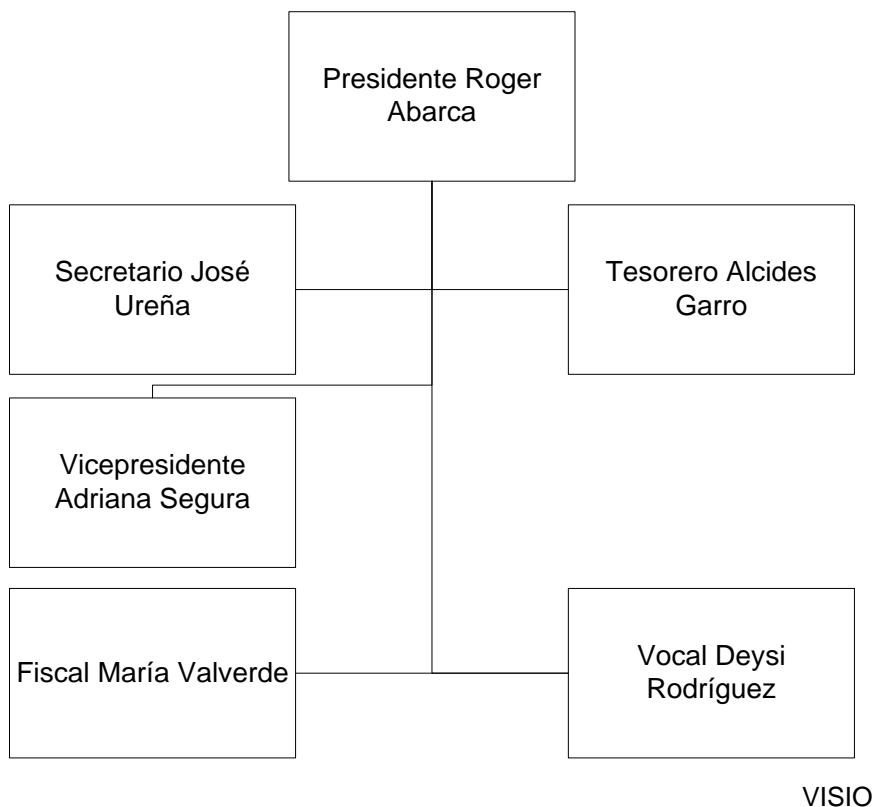


Figura 1. 2 Diagrama organizacional de la conformación actual de la Junta Directiva del Acueducto San Gabriel. Fuente: Elaboración propia con información provista por el Administrador de la ASADA Minor Duran.

1.2 Descripción de la problemática

Para garantizar la calidad del agua suministrada por la ASADA, esta cuenta con dos plantas de tratamiento. Una de las plantas corresponde a un sistema de filtración lenta en arena que se encuentra en operación desde el año 2005, se identifica en la comunidad con el nombre de “Sistema de Filtración Lenta Quebrada Tarbaca”, dicho nombre se le da por una de sus fuentes hídricas, la cual corresponde a la Quebrada Tarbaca. Esta planta de tratamiento tiene adicionalmente como fuente de abastecimiento, dos nacientes principalmente, estas corresponden a Naciente la Muni y Naciente el Yos.

Ambas nacientes cuentan con tanques de captación en cemento, para protección del recurso emanado por las nacientes. El agua proveniente de las nacientes es llevada hasta la planta de filtración lenta por gravedad, utilizando tubería de PVC.

El Sistema Quebrada Tarbaca maneja un caudal de diseño de 5 L/s a la entrada de la planta; este era un dato teórico que manejaban de forma no oficial los operarios antes de la realización del proyecto, ya que no se había constatado dicha información, la cual se les dio inicialmente por parte de profesionales del AyA. Este sistema abastece a 294 asociados (viviendas y comercios) ubicados en los barrios de Tranquerillas, Calle Mora, Calle los Ángeles, la Fila Arriba y las Brisas.

La otra planta de tratamiento se llama “Sistema de Filtración Rápida El Tigre”, dicho nombre surge a raíz de su única fuente de abastecimiento, el Río Tigre. Este sistema funciona desde febrero del año 2011 y fue diseñado por el AyA, esta planta funciona mediante un proceso de filtración rápida y su caudal de diseño es de 15 L/s, abastece a un total de 1014 asociados en la comunidad central de San Gabriel. La ASADA reporta aproximadamente un crecimiento de 7 usuarios por mes.

En la figura 1.3 se presenta un mapa con la ubicación geográfica de las fuentes hídricas y las plantas de tratamiento.

Ambas plantas operan las 24 horas del día, los siete días de la semana, bajo operación normal, esto es cuando no ocurre ningún problema o situación inesperada como una cabeza de agua o represa en los cauces; ya que cuando se da alguna situación inusual las válvulas de entrada de las tomas son cerradas, en estos casos la población no puede ser abastecida de agua, esto para el caso de la planta El Tigre cuya fuente de abastecimiento es de fuente superficial.

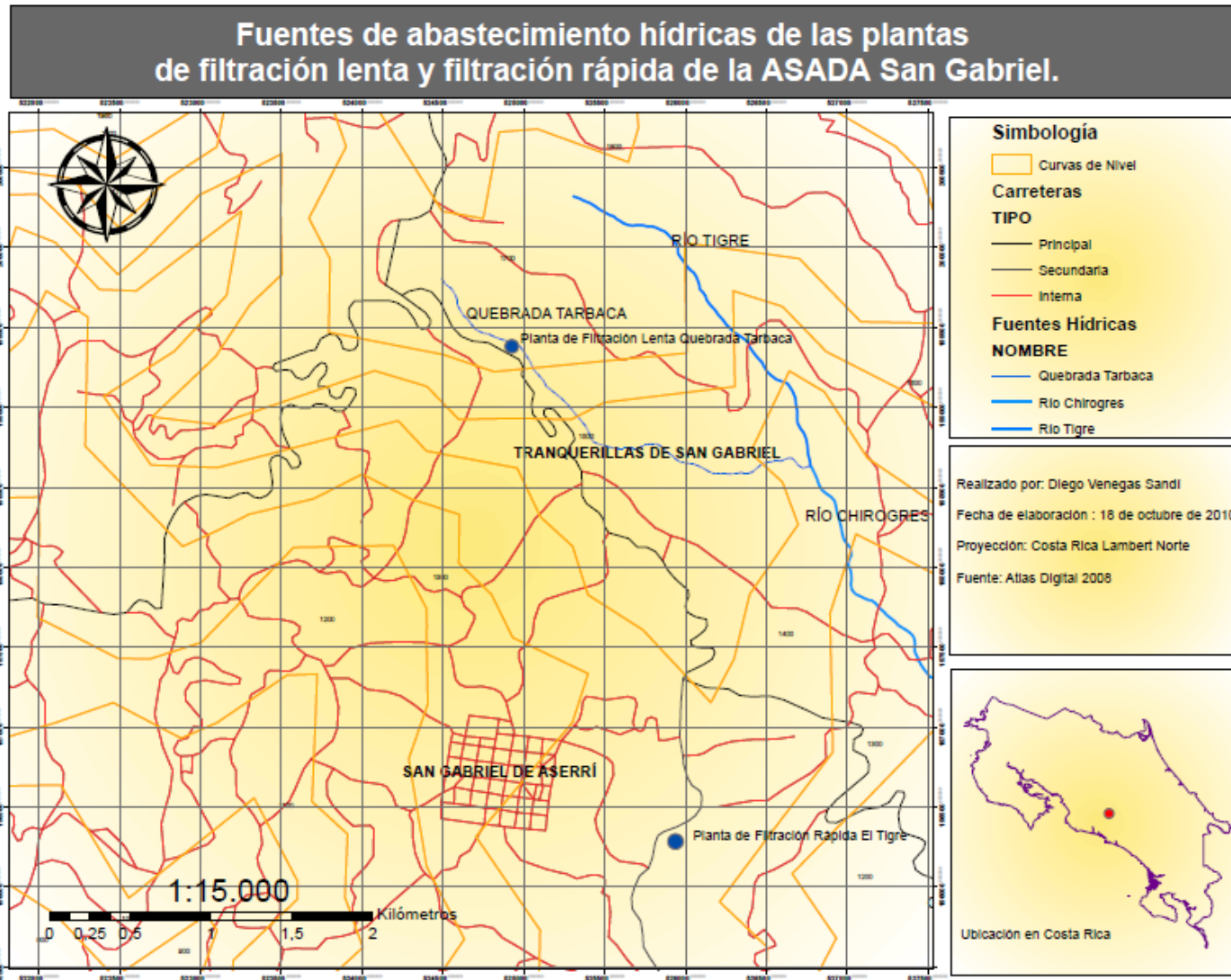
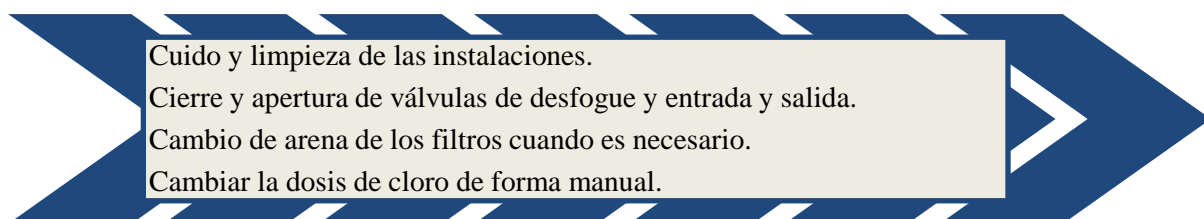


Figura 1.3 Mapa de la zona del proyecto. Fuente: Elaboración propia

ARCGIS

Las funciones que desempeñaban los operarios antes de la ejecución del proyecto en las plantas de tratamiento se encuentran especificadas en la figura 1.4.

Sistema Quebrada Tarbaca



Sistema El Tigre

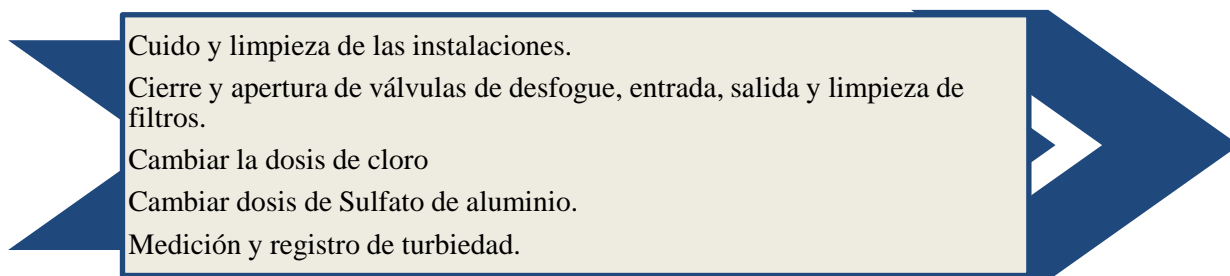


Figura 1.4 Funciones desempeñadas por los operarios antes de la implementación del proyecto.
Fuente: Elaboración propia.

El proceso que se sigue en las plantas de tratamiento se ve descrito para cada sistema en las figuras 1.5 y 1.6. Los planos e imágenes de las plantas de tratamiento se pueden observar en los anexos 5 y 6.

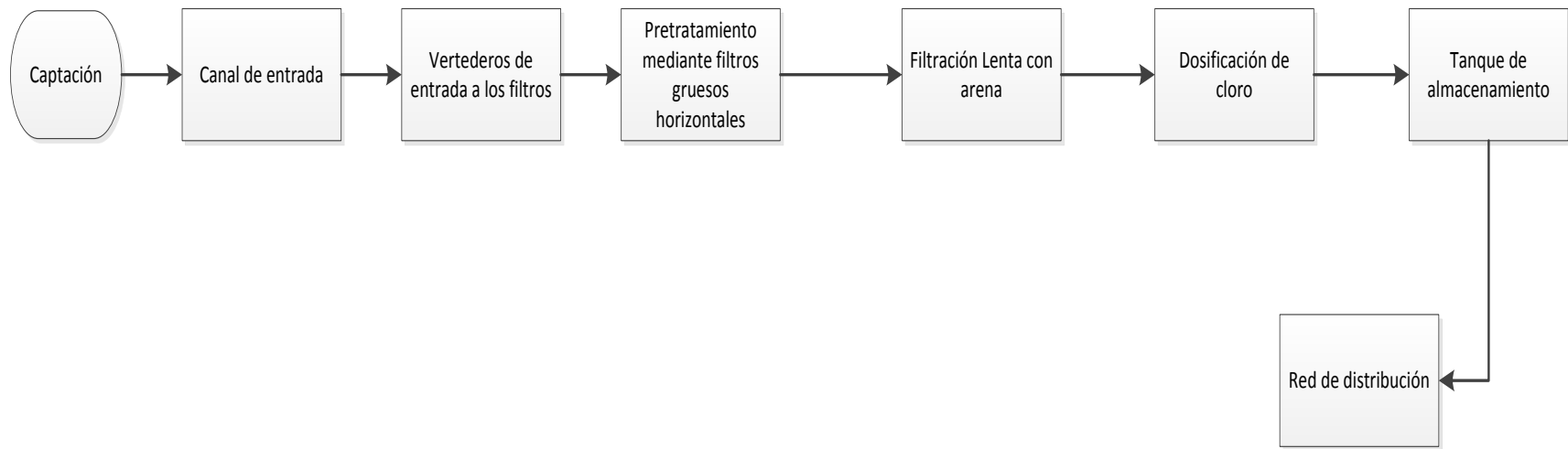


Figura 1.5 Proceso de filtración lenta en arena llevado a cabo en el Sistema Quebrada Tarbaca del Acueducto de San Gabriel. Fuente: Elaboración propia con información tomada de planos constructivos y visitas de campo.

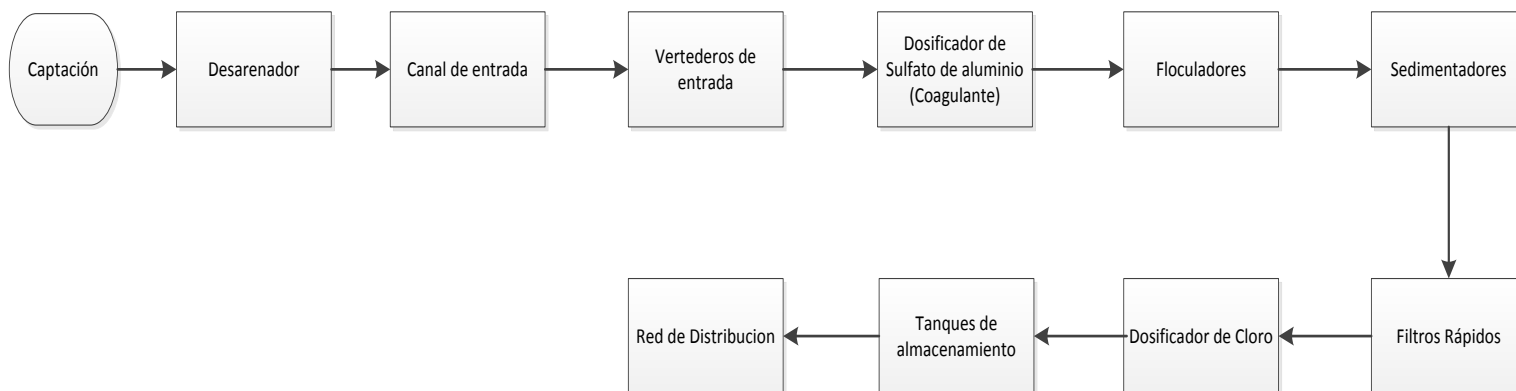


Figura 1.6 Proceso de filtración rápida llevado a cabo en el Sistema Río Tigre del Acueducto de San Gabriel. Fuente: Elaboración propia con información tomada de planos constructivos y visitas de campo.

La problemática que se encontró antes de iniciar el proyecto se resume de la siguiente forma:

- Falta de conocimiento técnico del personal que opera las plantas: Como se mencionó anteriormente, el conocimiento que tienen los operarios es empírico y ha sido adquirido durante el tiempo laborado en el acueducto San Gabriel, sin embargo es importante mencionar que la planta de operación más compleja es la de filtración rápida, que fue puesta en marcha desde el mes de febrero por parte de profesionales del AyA, los cuales, según el Señor Minor Durán se comprometieron a dar una capacitación a los operadores del ASADA que hasta noviembre del 2011 no se había realizado por parte del AyA. Es por esta razón que se hace necesaria la capacitación de los operadores en cuanto a la correcta operación y mantenimiento de dicha planta de tratamiento.
- No existen manuales de operación para ninguna de las dos plantas: en la ASADA no se maneja un manual para ninguno de los dos sistemas, el Administrador de la ASADA tiene interés en que sean elaborados estos manuales con el fin de transmitir el conocimiento de una forma más fácil, ya que según lo que él menciona, cuando se tiene que cambiar de operadores/funcionarios es muy difícil enseñarle la forma correcta de operar, puesto que no existe claridad en la información.
- Existe equipo de laboratorio (anexo 7) el cual no se sabe utilizar (prueba de jarras, equipo de valoración de pH, cloro residual, turbiedad, temperatura). En este aspecto es necesaria la capacitación en cuanto al uso del equipo de laboratorio, puesto que no se tiene la capacidad para el manejo de forma correcta de este equipo el cual además tiene un alto costo.

- Las dosificaciones de cloro y sulfato de aluminio no se controlan, pues no se tiene conocimiento de la dosis que se debe aplicar según el caudal y calidad de agua de entrada: la dosis que manejan en las plantas fue recomendada por personeros del AyA, sin embargo las dosis deberán ser controladas de acuerdo a las características propias del agua de entrada y del caudal, la cual puede variar según las condiciones climáticas siendo esto más crítico para la planta El Tigre.
- El caudal no se registra: No se realizan aforos en las dos plantas, los vertederos están instalados para realizar esta tarea en ambas plantas, sin embargo ninguno de los operarios sabe utilizar los vertederos, además estos vertederos deberán ser revisados y calibrados para garantizar una buena lectura del caudal y garantizar valores correctos, para esto se deberá comprobar el funcionamiento de estos. La medición de caudal es necesaria y vital para determinar las dosis óptimas de cloro y sulfato de aluminio.
- No hay registros de pH, caudal, turbiedad, temperatura: Actualmente los operarios registran su trabajo diario mediante el uso de una bitácora, y se está midiendo y registrando la turbiedad utilizando un turbidímetro digital Hach 210N, este es el único registro que se está llevando actualmente y únicamente se hace en la planta de El Tigre desde que se inició su operación en febrero de 2011, y no así en la planta Quebrada Tarbaca.
- No hay una evaluación periódica del funcionamiento de las plantas: como se ha mencionado anteriormente la planta de tratamiento El Tigre es muy nueva y no ha sido evaluado su funcionamiento, por lo que se hace necesario llevar a cabo esta tarea por parte de un profesional calificado que pueda comprobar su correcto funcionamiento.

- No hay un programa de muestreo en el que se identifiquen los puntos de recolección de muestras en las dos plantas: Actualmente no se realiza medición de parámetros del agua de entrada a la planta, sino únicamente se mide el cloro residual en la red de distribución por lo que se hace necesario planificar y ejecutar un programa periódico de muestreos para el análisis de parámetros después de cada proceso unitario de las plantas y lograr así la evaluación de cada uno de los procesos.

Mediante la ejecución del presente proyecto se buscó minimizar al máximo las deficiencias encontradas, mediante la ejecución de un plan de operación y mantenimiento de las plantas que involucró la evaluación de los sistemas de tratamiento y el grado de capacitación de los operarios.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Establecer un plan técnico de operación y mantenimiento para los sistemas de potabilización de agua que suministra la ASADA de San Gabriel de Aserrí a su comunidad.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Evaluar las condiciones de operación de las dos plantas de tratamiento de agua potable existentes en el distrito de San Gabriel de Aserrí.
- Preparar y ejecutar un programa de capacitación para los operarios de las plantas de tratamiento sobre el plan técnico de operación y mantenimiento.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

Agua potable: Fuente de Salud.

El agua es uno de los componentes más abundantes de la tierra, esta cubre tres cuartas partes de la superficie total de la tierra. Sin embargo, existen diferentes factores que limitan la cantidad de agua disponible para consumo humano. (Arellano, 2002).

Cerca del 97% del total de agua disponible se encuentra en océanos y otros cuerpos de agua salina, por lo que no se puede utilizar para diversos propósitos de consumo humano; un 3% restante se distribuye de la siguiente forma: 2% se encuentra en témpanos de hielo, en la atmósfera o mezclada con el suelo, para el consumo humano se dispone aproximadamente de un 0,62% de agua, la cual se encuentra en lagos de agua fresca, ríos y mantos freáticos. (Arellano, 2002)

El agua para beber, para la higiene personal y para fines sanitarios es de fundamental importancia para la salud y el bienestar de la sociedad. (Henry & Heinke, 1999)

Según la OMS (Organización Mundial de la Salud) (2011), “la calidad del agua potable es una cuestión que preocupa en países de todo el mundo, en desarrollo y desarrollados, por su repercusión en la salud de la población.”

La organización Panamericana de la Salud (OPS), como organismo internacional de salud pública y de apoyo para mejorar la salud y condiciones de vida de los pueblos de las Américas, tiene dentro de sus tópicos de salud, las condiciones del agua potable. Bajo este marco de referencia ha elaborado un trabajo de investigación, extensión y desarrollo de programas que tienen que ver con la calidad del agua en los países de la región americana; siendo Costa Rica uno de los países adscritos a dicha organización (World Health Organization, 2011).

Como parte del programa de saneamiento de la OMS se han establecido una serie de guías que abarcan una amplia variedad de temas en cuanto a la calidad del agua potable, las cuales se encuentran disponibles de forma digital en su página de internet, (World Health Organization, 2011) estas guías incluyen no solo información de carácter social sino también técnica que será de gran ayuda para la ejecución del proyecto.

Importancia de los sistemas de tratamiento de agua potable.

El agua contiene una diversidad de sustancias químicas, físicas y biológicas disueltas y en suspensión. Desde el momento en que se da el proceso de condensación en forma de lluvia, el agua disuelve los componentes químicos de sus alrededores a medida que desciende a través de la atmósfera, corre sobre la superficie del suelo y se filtra a través de este. Adicionalmente, el agua contiene una serie de organismos vivos que reaccionan con sus elementos químicos y físicos. Es por estas razones que se hace necesario un adecuado tratamiento del agua para su uso. (Henry & Heinke, 1999)

Los riesgos a la salud de una población expuesta a agua de mala calidad se originan debido a contaminación microbiológica, química o radioactiva. Sin embargo la contaminación biológica es generalmente la que representa un mayor riesgo a la población ya que ocasiona enfermedades infecciosas que afectan a todos los grupos de una población y que pueden ocasionar epidemias y ser fatales. (World Health Organization)

Para lograr que una organización encargada del suministro del agua, tales como las ASADAS, provea agua de alta calidad que minimice el riesgo a la comunidad se requiere de un plan de control integrado de mediciones y mantenimiento en todos los puntos a lo largo de la cadena de suministro, empezando por la fuente de abastecimiento y protección de los recursos hídricos; y siguiendo con el tratamiento, almacenamiento y líneas de distribución del agua. Por lo anterior, el mantenimiento de sistemas de tratamiento de aguas potables de calidad puede llegar a ser muy caro. Sin embargo la escasez de agua y el sostenimiento de los niveles crecientes de la demanda del líquido pueden llegar a comprometer los estándares de calidad, de manera que se alcance un nivel de calidad de agua realista y satisfactorio para las condiciones de operación local. (Gray, 2008)

Para lograr el control adecuado de la calidad del agua potable servida a una comunidad es necesario el monitoreo por medio de parámetros de calidad o estándares, y por medio de registro de caudales (Colin & Quevauviller, 1998), estos parámetros de calidad para el agua potable se encuentran definidos en Costa Rica mediante el Reglamento para la Calidad del Agua Potable.

En dicho reglamento se establece que las entidades públicas y privadas que fungen como operadores de servicios públicos deben cumplir con un programa de control en el que se evalúen los parámetros establecidos en el anexo 8; además se establece que se debe cumplir con inspección sanitaria para evaluar la operación y mantenimiento que se le esté dando al acueducto tanto en la fuente, en la planta de tratamiento como en el almacenamiento y distribución.

Se establece también en dicho reglamento el cumplimiento de un Programa de Control de Calidad el cual consiste en el estudio de la geografía del sistema de abastecimiento, programas de muestreos y programas de control de riesgo y vulnerabilidad.

A continuación se presenta la descripción de los principales sistemas de tratamiento utilizados para la potabilización del agua en nuestro país.

Sistemas de filtración lenta

Los filtros lentos operan con tasas que normalmente varían entre 0,1 y 0,3 m³/h; estos filtros simulan los procesos de tratamiento que se efectúan en forma espontánea en la naturaleza; al percolar el agua proveniente de las lluvias u otras fuentes de agua, a través de los diferentes perfiles de la corteza terrestre. (De Vargas, 2004)

Esta tecnología se le llama Filtración en Múltiples Etapas (FiME), consiste en la combinación de procesos de filtración gruesa en grava y filtros lentos de arena. Puede estar conformada por dos o tres procesos de filtración, dependiendo del grado de contaminación de las fuentes de agua. Integrada mediante tres procesos: Filtros Gruesos Dinámicos (FGDi), Filtros Gruesos Ascendentes en Capas (FGAC) y Filtros Lentos de Arena (FLA). Los dos primeros constituyen la etapa de pretratamiento, que permite reducir la concentración de sólidos suspendidos. (OPS/CEPIS, 2005)

El sistema de tratamiento de filtración lenta existente en la ASADA de San Gabriel corresponde a un sistema que incluye Filtros Gruesos horizontales de grava y Filtros lentos de Arena¹; se puede decir según la información anterior que consta de un pretratamiento y un tratamiento secundario respectivamente (figura 2.1).

El mecanismo de acción de este tipo de sistemas consiste en la eliminación física y química de las partículas, conforme circula el agua de forma horizontal, en el caso de los filtros gruesos, y de forma descendente en el caso del filtro lento de arena. El paso del agua en ambos casos es posible debido a la acción de la gravedad en los filtros, las partículas más pequeñas son eliminadas al llegar al filtro lento de arena; esta tecnología se considera sencilla, confiable y eficiente, ya que produce agua de baja turbiedad, libre de impurezas en suspensión y libre de entero-bacterias, entero-virus y quistes de protozoarios. (OPS/CEPIS, 2005)

La filtración lenta en arena consiste en un tanque con un lecho de arena fina, colocado sobre una capa de grava que se encuentra sobre un sistema tuberías perforadas que recolectan el agua filtrada. (OPS/CEPIS, 2005)

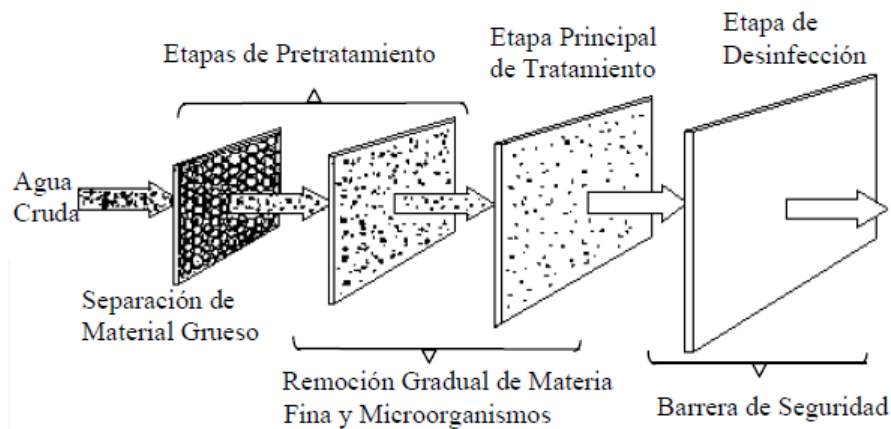


Figura 2.1 Sistema ideal de Filtración en Múltiples etapas (FiME). Fuente: (OPS/CEPIS, 2005)

¹ Información Recopilada mediante visita de inspección al sitio guiada por el administrador de la ASADA: Don Minor Durán

Sistemas de Filtración Rápida

Se denomina así dado que los filtros operan con velocidades altas. De acuerdo con la calidad del agua por tratar, se presentan dos tipos de conformación de plantas: plantas de filtración rápida directa y plantas de filtración rápida completa. (De Vargas, 2004)

Una planta de filtración rápida completa normalmente está integrada por los procesos de medición de caudales, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección y almacenamiento. Los procesos de coagulación, floculación y sedimentación se realizan en tres etapas respectivamente: agitación fuerte del agua para obtener una dispersión en el momento de la adición del coagulante uniformemente en todo el agua (coagulación), seguida de una agitación lenta para promover la rápida aglomeración y crecimiento del floculo (floculación), y la tercera etapa donde se asientan los flocs más pesados (sedimentación). (De Vargas, 2004) Posteriormente se profundizará en el tema de coagulación, floculación y sedimentación debido a su importancia para continuar con la filtración rápida.

La filtración que se lleva a cabo en este tipo de tratamiento debe producir, según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, un efluente con una turbiedad menor o igual a 0,1 UNT. Para lograr esta eficiencia es necesario que la sedimentación produzca un agua con 2 UNT como máximo (De Vargas, 2004).

La filtración directa es una alternativa rápida, constituida por los procesos de mezcla rápida y filtración, sin embargo esta tecnología se recomienda únicamente para aguas claras. (De Vargas, 2004)

El sistema de tratamiento de filtración rápida de la ASADA San Gabriel es de tipo completo, las partes involucradas por lo tanto son las que se describieron anteriormente; siendo el proceso de coagulación el primer proceso unitario para iniciar el proceso de la conformación de los floc mediante la adición de coagulantes y así propiciar que los procesos de sedimentación y filtración actúen como eliminadores de impurezas.

Entre las impurezas solubles e insolubles del agua se destacan las partículas coloidales, las sustancias húmicas y los microorganismos en general. Estas impurezas coloidales tienen una carga de superficie negativa, impidiendo la aproximación de partículas entre sí; haciendo de esta manera difícil que las partículas permanezcan en un medio que favorezca su estabilidad. Para la remoción de estas impurezas, es necesario modificar algunas características del agua, a través de los procesos de coagulación, floculación, sedimentación y filtración. (Barrenechea, 2004)

La coagulación se realiza en forma general mediante la adición de sales de aluminio o hierro. Este proceso se lleva a cabo como resultado de dos fenómenos (Barrenechea, 2004):

- El primero, químico, consiste en las reacciones del coagulante con el agua y la formación de especies hidrolizadas con carga positiva. Este proceso depende de la concentración del coagulante y el pH final de la mezcla.
- El segundo, físico, consiste en el transporte de especies hidrolizadas para que hagan contacto con las impurezas del agua.

La remoción de las partículas coloidales está relacionada estrictamente con una adecuada coagulación, pues de ella depende la eficiencia de las siguientes etapas: floculación, sedimentación y filtración. (Barrenechea, 2004)

ASADAS

Las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados Comunales-ASADAS en Costa Rica son organizaciones en comunidades rurales que se encargan de la administración del suministro del agua potable a la comunidad en la que se encuentran, su constitución y reglamentación se encuentra en El Decreto 32529-S-MINAET; Reglamento de las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales. (Imbach, Imbach, & Umaña, 2009)

Según Arias, 2011 en el Decimoséptimo Informe de la Nación (Costa Rica) para el 2010, las ASADAS en nuestro país cubren en un 71,6% de agua potable a aquellas comunidades a las cuales sirven y estas abastecen a un 23% de la población total de nuestro país. (Ministerio de Salud, OPS, AyA, 2004)

Según la OMS (2006) la gestión integrada y preventiva es el mejor sistema para garantizar la seguridad del agua de consumo. Se deben tener planes de mantenimiento y mejora de los servicios de abastecimiento de agua de consumo que tomen en cuenta las funciones vitales y complementarias del organismo responsable de la vigilancia de la provisión del agua; que para el caso del presente proyecto corresponde a la ASADA de San Gabriel de Aserrí. Los proveedores de agua de consumo son en todo momento responsables por la calidad y la inocuidad del agua que producen.

IMPORTANCIA DE LA OPERACIÓN

Según OPS (2004) la operación normal se da cuando la planta está produciendo el caudal para, la cual fue proyectada con la calidad de agua requerida, esto deberá ser verificado de manera experimental en las plantas de la ASADA de San Gabriel.

La operación normal incluye una serie de actividades de tipo rutinario. A continuación se indican las actividades de operación normal (OPS/CEPIS, 2004):

- medición de caudales;
- medición de parámetros de calidad del agua cruda: turbiedad, color, pH y alcalinidad;
- preparación de las soluciones de los productos químicos;
- ajuste de los dosificadores;
- lavado de las estructuras de la planta;
- medición de cloro residual en el agua tratada y otros parámetros básicos;
- limpieza de las obras complementarias y mantenimiento de zonas verdes;
- control de calidad.

Actualmente el único proceso operativo que se está realizando en el manejo de las plantas (filtración rápida y filtración lenta) de San Gabriel es el lavado de los filtros, sin embargo no existe un procedimiento escrito ni un fundamento teórico que respalde la correcta ejecución de esta actividad. Por lo que es fundamental la preparación de un manual de operación.

Con respecto al manual de operación este es un documento dirigido a los operadores de la planta. Por lo tanto, debe encontrarse redactado tomando en cuenta los siguientes criterios (OPS/CEPIS, 2004):

- A) Hacer uso de la terminología de fácil entendimiento para los operadores.
- B) Emplear diagramas, esquemas y tablas para facilitar la comprensión de los procedimientos de operación de cada planta.
- C) Incluir formularios para que los operadores registren los datos que recopilen de la operación de la planta. (Caudales, parámetros físicos-químicos, dosificaciones de químicos, periodos de lavado de filtros y de la planta en general).
- D) Plan de Mantenimiento Preventivo de los Equipos
- E) Efectuar un inventario de los equipos y válvulas que el operador deberá manipular.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

A continuación se describirá la metodología que se llevó a cabo en la ejecución del proyecto para cada una de las actividades.

3.1 Inspección y evaluación de los sistemas de tratamiento.

Para el estudio de las condiciones base de las plantas de tratamiento, tanto la de filtración lenta como la de filtración rápida se analizaron los planos de diseño realizados por parte de AyA, comparándolos con la planta física. La comparación consistió en el correcto dimensionamiento de las partes involucradas en cada planta de acuerdo a lo establecido en los planos y se verificó la ubicación de cada uno de los equipos. Los planos se encuentran disponibles en la oficina del Acueducto San Gabriel, se procedió a realizar la inspección siguiendo el siguiente procedimiento:

- A) Ubicación y/o cotejamiento de las partes construidas con los planos.
- B) Verificar en la planta las dimensiones reportadas en los planos.
- C) Localización y verificación del estado de cada una de las estructuras y de los equipos instalados (tanques, de las cajas de registro, tuberías, válvulas y otras partes de cada planta).
- D) En caso de encontrar inconformidades en los planos reportar para la corrección de los mismos, esto con el objetivo de mantener un juego de planos que sea acorde a lo establecido en físico en las plantas de tratamiento, esto ayudará a una mejor planificación y/o ejecución de obras en caso que sea necesario realizarlas por parte de la ASADA.

Una vez realizada la verificación de los planos se confeccionó una ficha de inspección para los sistemas (disponible en anexo 9), en la cual se analizaron los siguientes aspectos:

- A) Condición del afluente
- B) Condición de la captación
- C) Vertederos
- D) Tiempo de retención de la planta
- E) Aforos de entrada y salida
- F) Características de la planta:
 - a. Coagulación
 - b. Floculación
 - c. Sedimentación
 - d. Filtración
 - e. Cloración
 - f. Tanque(s) de almacenamiento
- G) Requerimientos para el lavado del material filtrante y de la planta en general.
- H) Equipo de Aplicación de químicos (Coagulante y Cloro.)
- I) Observaciones

Una vez realizada la ficha de evaluación se procedió a la inspección inicial mediante el siguiente procedimiento:

- A) Recorrer cada una de las plantas y llenar la ficha de inspección.
- B) Recopilar y procesar datos de producción.
- C) Determinar la capacidad potencial de la planta.
- D) Elaborar un diagnóstico previo de la condición en la que se encuentra la planta de acuerdo a lo que se reporta en la ficha de inspección.
- E) Completar la ficha.

3.2 Preparación y ejecución de un programa de muestreos y medición periódica de análisis químicos y aforos.

Para la ejecución del programa de muestreo y de medición de parámetros fisicoquímicos se siguieron los siguientes procedimientos:

En el laboratorio que se encuentra en la planta El Tigre, tienen el siguiente equipo de laboratorio disponible para el uso:

- pHmetro de mesa marca: Hach Sension 3
- Turbidímetro digital marca: Hach 2100N
- Equipo para prueba de jarras marca : Phipps & Bird
- Equipo determinación de cloro residual mediante coloración.

Este equipo fue utilizado para el control interno de los parámetros del agua que se registró en la ASADA, una vez realizados los manuales de operación (ver manuales en anexo 10) y brindada la capacitación correspondiente, ya que anterior a la ejecución del proyecto este equipo no estaba siendo utilizado, debido a la falta de conocimiento por parte de los operarios, la utilización de este equipo fue incluido dentro del programa de medición periódica y además se utilizó durante la ejecución del proyecto, para determinar pH, temperatura, turbiedad, cloro residual, color. El procedimiento de análisis que se siguió durante la ejecución del presente proyecto fue el establecido por el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

Una vez recopilada la información se procedió a incluir dentro del manual de operación un programa de muestreo periódico y de medición para control interno que incluyera.

- A) Muestreo
- B) Análisis requerido de parámetros fisicoquímicos
- C) Reporte de los resultados de los parámetros.
- D) Registro de los resultados de los parámetros fisicoquímicos.

El manual incluye la creación de una ficha de registro de parámetros fisicoquímicos que se encuentra dentro de la tabla A.8 y A.12 del manual de operación (anexo 10).

3.3 Capacitación a operarios.

Se preparó un curso de capacitación basado en aspectos operativos, en el curso se les dieron a los operarios las herramientas teórico-prácticas necesarias para la correcta ejecución del plan técnico y de operación de cada planta. Fueron talleres con clases de cuatro horas en las plantas y se hizo uso de material audiovisual, finalmente se realizó una evaluación para establecer el grado de aceptación y entendimiento de la información impartida en los talleres por parte del operario y el agrado hacia el curso, mediante un cuestionario (ver cuestionario en anexo 15).

Objetivo General del Curso:

Capacitar a los operarios de la Asociación Administradora del Acueducto de San Gabriel de Aserrí en la correcta operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento.

PRIMER TALLER:

Objetivos específicos:

- Brindar conocimiento de la calidad del agua, sus características y parámetros que la definen.
- Que los operarios adquieran conocimiento de la normativa nacional concerniente al tratamiento de aguas potables, parámetros de control obligatorio y su nivel máximo permitido.
- Que los operarios puedan utilizar el equipo de laboratorio disponible en la ASADA de San Gabriel, para el registro de los parámetros de calidad: pH, temperatura, turbiedad, cloro residual y color.
- Que los operarios identifiquen los lugares de toma de muestra para la medición y registro de parámetros fisicoquímicos en las plantas de tratamiento.
- Que los operarios aprendan a registrar los parámetros medidos de forma periódica y sistemática en una ficha de registro de parámetros fisicoquímicos.

Material

Para la ejecución de este taller se preparó una presentación con diapositivas las cuales fueron proyectadas en un Video Beam facilitado por la ASADA. Estas diapositivas contenían en su mayoría imágenes que facilitaron la comprensión por parte de los operarios de los conceptos y como parte importante de este taller se preparó una ficha de registro de parámetros fisicoquímicos (tabla A.8 y A.12 del manual de operación), ya que anteriormente no se tenía.

SEGUNDO TALLER:

Objetivos específicos:

- Que los operarios adquieran conocimiento básico acerca de los sistemas de tratamiento y el funcionamiento de cada uno de los procesos unitarios involucrados (mezcla rápida, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección).
- Describir el funcionamiento de la planta El Tigre y la Planta Quebrada Tarbaca, sus diferencias y ventajas y desventajas.
- Que el operario aprenda a manejar el equipo de prueba de jarras disponible en la planta El Tigre para controlar la coagulación-floculación, sedimentación y filtración

Material

Se presentó una serie de imágenes de plantas de tratamiento, fotografías de planos de las plantas de El Tigre y Quebrada Tarbaca y los conceptos teóricos fueron ilustrados mediante imágenes y diagramas. En la parte práctica de la prueba de jarras, se llevó a cabo el procedimiento completo y se programó que cada uno de los operarios realizara al menos una parte del procedimiento, mientras observaba la realización del procedimiento por parte de los otros operarios.

TERCER TALLER:

Objetivos específicos:

- Presentar un manual de operación redactado durante la ejecución del proyecto.
- Definir los procesos operativos que se deben llevar a cabo en las plantas de tratamiento El Tigre y Quebrada Tarbaca, mediante la presentación de un manual de operación que incluye los siguientes aspectos:
 - Diagrama de cada uno de los procesos unitarios involucrados en las plantas de tratamiento, su funcionamiento y operación y mantenimiento.
 - Identificación de la dosis óptima de coagulante mediante prueba de jarras.
 - Funcionamiento y operación del sistema de dosificación de coagulante.
 - Funcionamiento y operación del sistema de Accufloc.
 - Limpieza periódica de los diferentes sistemas tanto de filtración como del resto de cada planta.
 - Correcta medición de caudal en los vertederos de las plantas de tratamiento.
 - Preparación y dosificación de cloro.
 - Medición de los parámetros físico-químicos del agua cruda y tratada.

Material

Para la ejecución de esta capacitación se redactó un manual de operación y mantenimiento de ambas plantas de tratamiento y se presentaron los aspectos operativos a los operarios, esto con el fin que este manual pueda ser un instrumento de gran utilidad en la ASADA. Los manuales de operación y mantenimiento redactados se presentan en el anexo 10.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

Los resultados obtenidos se alcanzaron mediante visitas realizadas a las plantas de tratamiento tanto a la de filtración lenta como a la de filtración rápida; dichas actividades se realizaron de agosto a noviembre de 2011. En cada visita se seguía un procedimiento de observación, registro fotográfico, muestreos, aforos y análisis de laboratorio; a continuación se presentarán los resultados obtenidos de las visitas y del estado de las plantas de tratamiento.

4.1 Evaluación

4.1.1 Planta de Tratamiento de Filtración Rápida Sistema El Tigre

Su fuente de abastecimiento es el Río Tigre, su ubicación geográfica se presenta en la figura 1.3. El agua proveniente del Río Tigre es tomada mediante una captación de fondo a través de rejillas (figura 4.1) y llevada mediante una conducción por gravedad por medio de tubería de PVC de 10 pulgadas de diámetro, transportando el agua por un poco más de 550 metros. Una vez captada, el agua, pasa a un desarenador y finalmente es transportada vía tubería de 10 pulgadas de PVC una distancia de 2 kilómetros, a la cámara de entrada de la planta de tratamiento.



Figura 4.1 Captación de fondo del agua en Río Tigre para el Sistema de Tratamiento. Fuente: Autor.

4.1.1.1 Parámetros físicos, químicos y bacteriológicos

En la tabla 4.1 se presenta un registro de valores de medidas de tendencia central de 358 datos de turbiedad del agua de entrada a la planta de tratamiento (anexo 11), tomados a diferentes horas del día durante los meses de julio a noviembre del año 2011, cabe mencionar la importancia de estos datos, debido a que la planta de tratamiento fue puesta en marcha en febrero del mismo año, tal como se mencionó anteriormente es importante anotar que desde su puesta en marcha, en febrero no se realizaron controles periódicos de turbiedad por parte de la ASADA.

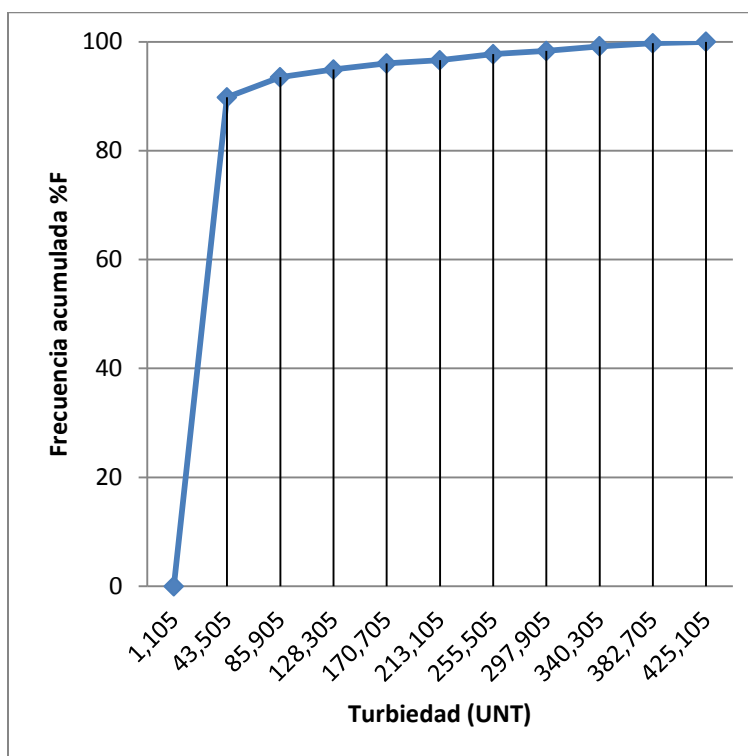
Existen datos de parámetros físicos químicos y bacteriológicos realizados por el Laboratorio Nacional de Aguas del AyA desde el año 2009. Dichos datos se presentan en las tablas 4.6 y 4.7.

Los datos de turbiedad de entrada por parte de la ASADA fueron tomados desde julio, ya que esta fue la fecha en la que los operarios empezaron a registrar dichos datos. Inicialmente se registraron únicamente datos de turbiedad en la planta de tratamiento, sin embargo a partir de los talleres de capacitación brindados a los operarios como parte del presente proyecto, se empezó a registrar mayor cantidad de datos y parámetros físico químicos, estos datos serán presentados posteriormente en el presente capítulo.

Tabla 4.1 Medidas de tendencia central de 358 datos de turbiedad (UNT) de entrada a la planta, tomados por funcionarios de la ASADA San Gabriel, de julio a noviembre del 2011.

Promedio	Máximo	Mínimo	Moda	Desviación Estándar
27,63	442,00	1,52	10,50	65,17

En la figura 4.2 se presenta la frecuencia acumulada de las turbiedades de entrada a la planta. En esta figura se puede observar que cerca del 90% del total de los datos de turbiedad se encuentran por debajo de 45 UNT; el 10% restante se reparte entre valores de 45-425 UNT.



EXCEL

Figura 4.2 Frecuencia acumulada de la turbiedad a la entrada de la planta. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.2 se presentan valores de turbiedad promedio para cada hora durante los meses de julio a noviembre del 2011. De acuerdo a estos valores se presenta la figura 4.3 en la que se puede observar que los valores de mayor turbiedad se encuentran entre las horas 13:00-14:00 y de las 00:00-1:00, dichos valores se registraron en el mes de octubre y septiembre respectivamente.

Tabla 4.2 Turbiedades (UNT) promedio de entrada a la planta de acuerdo a cada hora del día durante los meses de julio-noviembre 2011. Fuente: Elaboración propia.

Hora del día	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Promedio ²
7:00-8:00	N.E ³	9,10	11,47	27,64	7,13	13,83
8:00-9:00	5,71	2,26	5,97	27,48	N.E	10,35
9:00-10:00	7,29	8,88	11,75	N.E	N.E	9,30
10:00-11:00	N.E	9,75	158,87	18,05	7,93	48,65
11:00-12:00	7,59	2,60	67,48	23,97	8,20	21,97
12:00-13:00	6,24	8,95	6,89	103,28	4,92	26,06
13:00-14:00	N.E	3,03	5,71	345,00	N.E	117,91
14:00-15:00	N.E	8,40	2,47	111,86	6,36	32,27
15:00-16:00	6,57	3,63	3,11	14,64	7,41	7,07
16:00-17:00	N.E	3,09	6,37	N.E	N.E	4,73
17:00-18:00	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
18:00-19:00	1,93	30,41	7,76	14,36	7,15	12,32
19:00-20:00	5,20	36,72	51,96	84,97	6,48	37,06
20:00-21:00	N.E	75,69	24,48	42,17	4,96	36,83
21:00-22:00	N.E	66,28	17,15	N.E	N.E	41,71
22:00-23:00	N.E	31,09	24,60	10,40	5,72	17,95
23:00-00:00	N.E	39,75	51,73	13,90	N.E	35,13
00:00-1:00	N.E	N.E	175,67	N.E	N.E	175,67
1:00-2:00	N.E	N.E	79,36	N.E	N.E	79,36
2:00-3:00	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
3:00-4:00	N.E	N.E	6,98	3,15	N.E	5,06
4:00-5:00	N.E	23,90	21,50	7,99	N.E	17,80
5:00-6:00	N.E	7,61	N.E	10,80	N.E	9,21
6:00-7:00	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E

En la tabla 4.3 y figura 4.4 se presentan los valores promedio de turbiedad (UNT) de entrada a la planta y además los valores de precipitación media en mm/día tomados de una estación meteorológica automática que tiene la ASADA de San Gabriel, la cual fue instalada por profesores de la Universidad de Costa Rica⁴. Ambos datos se presentan por mes para el período comprendido de julio-noviembre de 2011. Los meses de septiembre y octubre corresponden a los meses de mayor turbiedad y precipitación.

² Corresponde al promedio de los cinco meses de la hora en cuestión.

³ N.E: No existen datos registrados a esa hora.

⁴ Los datos de la estación meteorológica automática pueden ser accedidos desde el sitio web: http://www.webdelambiente.com/Meteorologia/Estaciones/10604_San_Gabriel/10604_San_Gabriel.htm

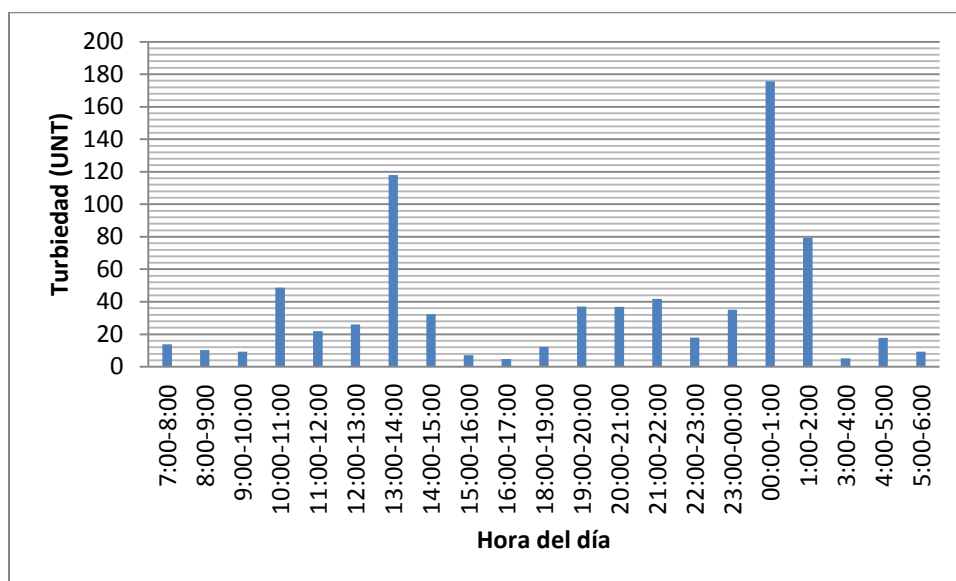


Figura 4.3 Turbiedades (UNT) promedio de entrada por hora del día. Fuente: Elaboración propia de tabla 4.2.

Tabla 4.3 Turbiedades promedio de entrada (UNT) y precipitación medias (mm/día) de julio a noviembre 2011. Fuente: Elaboración propia.

	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Turbiedad Promedio (UNT)	6,48	19,08	34,41	45,39	6,86
Precipitación media (mm/día)	0,68	24,38	140,63	40,39	12,36

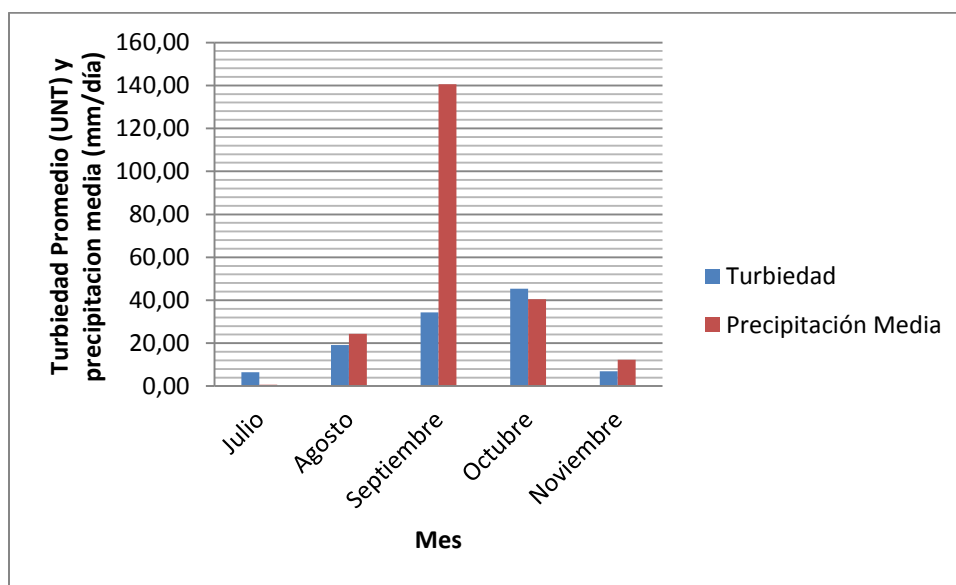


Figura 4.4 Turbiedades promedio de entrada (UNT) y precipitación medias (mm/día) por mes. Fuente: Elaboración propia de tabla 4.3.

En la figura 4.5 se presentan valores de turbiedad (UNT) de entrada por fecha, los valores más altos se registran en los días del 29 de agosto al 19 septiembre de 2011 y del 3 al 14 de octubre de 2011

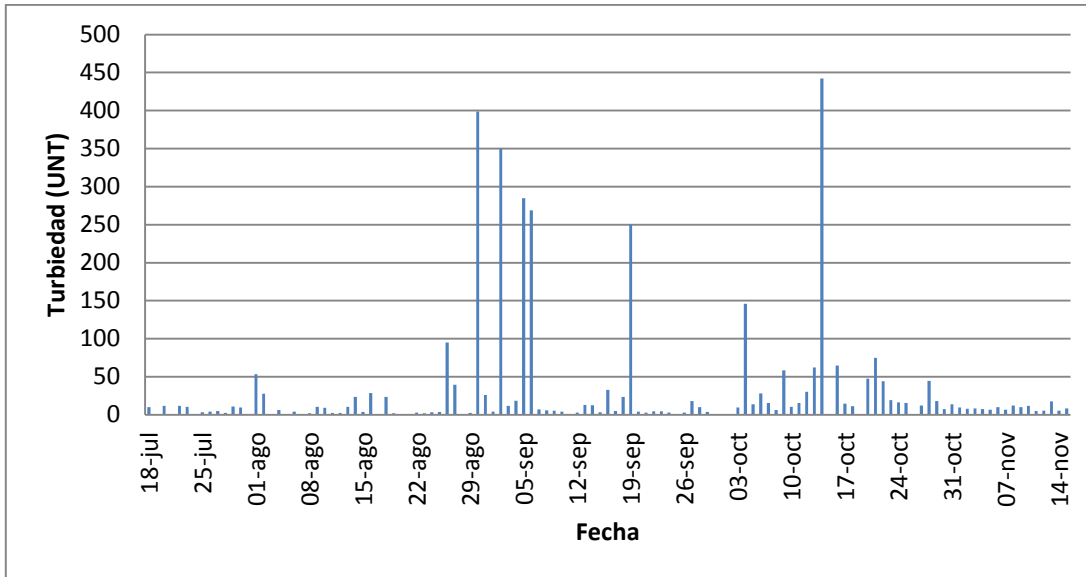


Figura 4.5 Valores de turbiedad de entrada la planta por fecha, del 18 julio al 15 noviembre. Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presentan los datos de color, pH, temperatura y cloro residual registrados por los operarios de la planta de la ASADA de San Gabriel. Estos datos fueron registrados a partir de la capacitación brindada el 28 de septiembre de 2011 como parte de la ejecución de este proyecto, en la que se enseñó a los operarios la forma correcta de tomar muestras, para proceder a realizar los respectivos análisis y registrar la información. Anteriormente únicamente se registraba la turbiedad.

En la tabla 4.4 se presentan medidas de tendencia central (ver tabla completa en anexo 12) de valores de pH y temperatura (°C) en la entrada y salida de la planta de tratamiento, tomados en el mes de octubre por parte de los operarios con un pH metro digital, después de haber recibido la inducción en el taller de capacitación sobre la realización de este análisis. Se tomaron 3 análisis diarios del 4 al 24 de octubre.

Tabla 4.4 Medidas de tendencia central de valores de pH y temperatura tomados 3 veces al día del 4 al 24 octubre. Fuente: elaboración propia

Parámetro	Muestra	Promedio	Max	Min	Desviación estándar
pH	Cámara de entrada	7,29	8,06	6,70	0,396
	Cámara de salida	7,11	7,81	6,05	0,419
Temperatura	Cámara de entrada	18,75	20,90	17,9	0,396
	Cámara de salida	18,63	19,90	17,9	0,547

Los datos de color se presentan en la tabla 4.5 y se registraron para la entrada a la planta de tratamiento. Los valores de color fueron registrados con un colorímetro análogo por parte de los operarios, la determinación de color fue una de los análisis que se enseñaron a los operarios a realizar en el taller de capacitación.

Tabla 4.5 Medidas de tendencia central de valores de color (Pt-Co) de octubre a noviembre. Fuente: elaboración propia.

Medida de tendencia	1-15 nov	16-31 oct	3-14 oct
Promedio	0,066	2,212	10,780
Moda	0,000	0,000	0,000
Mediana	0,000	0,000	2,500
Max	2,500	20,00	150,000
Min	0,000	0,000	0,000
Desviación estándar	0,405	4,939	29,773

A continuación, en la tabla 4.6 se presentan los datos bacteriológicos y de cloro residual realizados por AyA para el Sistema El Tigre para el período comprendido de diciembre de 2008 a agosto de 2011. También se presenta la figura 4.6 en la que se representan los datos de coliformes fecales del Río Tigre desde el año 2008 hasta el 2011. Cabe destacar que anterior a la construcción de la planta de tratamiento El Tigre se suministraba el cloro en el desarenador. En la figura se observa que los valores de coliformes son en su mayoría menores a 500 NMP a excepción de un pico de 2400 NMP de coliformes para la fecha del 6 de agosto de 2010.

Tabla 4.6 Datos bacteriológicos del Sistema El Tigre de diciembre de 2008 a agosto de 2011.

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas AYA.

Punto de Muestreo	Fecha de Muestra	Cloro residual mg/L	Coliformes Fecales/100 mL	NMP E. Coli 44,5° C
Río El Tigre	02/08/2011		430	430
	23/11/2010		16	16
	14/08/2010		240	240
	09/06/2010		2400	2400
	03/03/2010		75	75
	04/11/2009		150	150
	21/09/2009		240	240
	26/12/2008		210	210
Cámara de salida	2/08/2011	0,7	5	5
Tanque Almacenamiento 300	02/08/2011	0,4	Negativo	Negativo
	23/11/2010	0,4	Negativo	Negativo
	14/08/2010	1,8	Negativo	Negativo
Tanque Almacenamiento 150	02/08/2011	0,4	15	Negativo
	23/11/2010	0,6	Negativo	Negativo
	14/08/2010	2,0	Negativo	Negativo
Red de distribución	02/08/2011	0,3	Negativo	Negativo
	23/11/2010	0,4	Negativo	Negativo
	14/08/2010	2,3	Negativo	Negativo

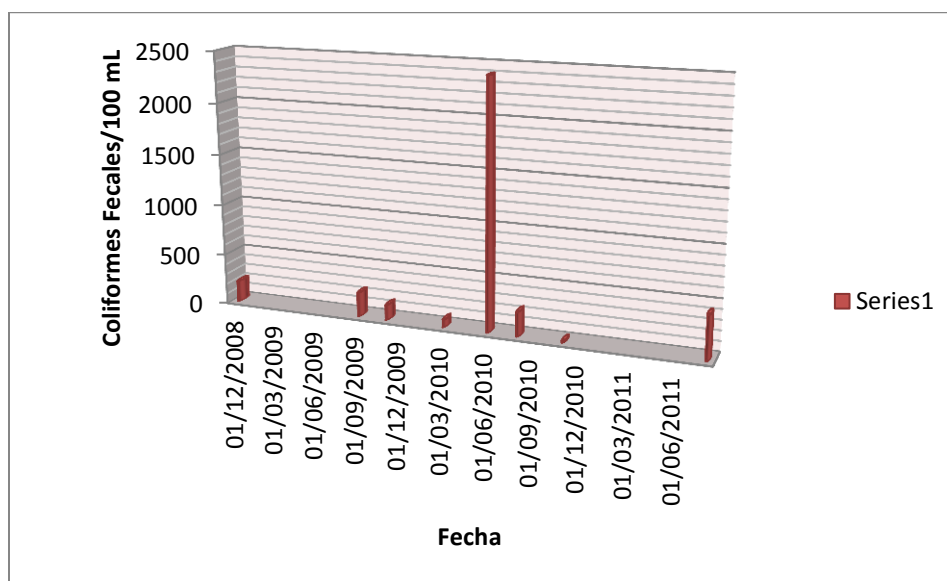


Figura 4.6 Coliformes fecales del Río Tigre del año 2008 al 2011. Fuente: Tabla 4.6 con datos del Laboratorio Nacional de Aguas AYA.

En la tabla 4.7 se presentan los datos de los parámetros físico químicos medidos por el Laboratorio Nacional de Aguas del AyA. Todos los análisis fueron realizados para muestras del Río Tigre.

Tabla 4.7 Datos de parámetros químico físicos del sistema El Tigre de diciembre de 2008 a febrero de 2010. Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas AYA.

PARÁMETRO	RIO TIGRE			VALOR MAX. RECOMENDADO ⁵	
	FECHA	27/02/2010	16/09/2009		22/12/2008
Alcalinidad (mg/L)		119	107	106	
Calcio (mg/L)		36	31,6	26,1	100
Cloruros (mg/L)		1,1	1,4	N.M ⁶	25
Color verdadero (UPt-Co)		2	3	0	5
Conductividad (μS/cm)		197	178	148	400
Dureza de Calcio (mg/L)		90	79	65	
Dureza total (mg/L)		106	99	80	400
Fluoruro (mg/L)		0,11	0,14	N.D ⁷	0,7-1,5
Magnesio (mg/L)		3,9	4,6	3,5	30
Nitratos (mg/L)		0,71	0,75	N.M	50
pH		8,36	7,4	7,82	6,5-8,5
Potasio (mg/L)		0,8	0,8	1,5	10
Sodio (mg/L)		4,7	3,6	2,9	25
Sulfatos (mg/L)		6,18	8,62	N.M	25
Temperatura (°C)		18,6	17,6	17,5	18 a 30
Turbiedad (UNT)		0,1	1	0,3	5

⁵ Según Decreto N° 32327-S- **Reglamento para la Calidad del Agua Potable-Costa Rica.**

⁶ No se mide ese parámetro para la fecha en la que se hizo el análisis.

⁷ No detecta.

4.1.1.2 Aforos: Vertederos y pruebas.

Según los planos de construcción de la planta de tratamiento El Tigre, diseñados por ingenieros del AyA y según datos de dosis óptima de coagulante de AyA el caudal teórico de operación es de 15 l/s. Sin embargo debido a inconformidades constructivas, se presentan incongruencias en la medida del caudal de entrada con respecto al de salida, por lo anterior fue necesario llevar a cabo pruebas de calibración de los vertederos las cuales se presentarán en la presente sección.

La planta fue diseñada y construida con medidor de caudal de entrada, el cual corresponde a un vertedero de tipo rectangular, su diseño en planta se presenta en la figura 4.7. Para la medición del caudal de salida, la planta de tratamiento tiene construido un vertedero triangular con ángulo de 60° en su vértice (figura 4.9). El vertedero triangular por su construcción presenta una mayor precisión que el rectangular, lo cual permite determinar que la medida de caudal de salida es más confiable, no así la del caudal de entrada.

La fórmula utilizada para el cálculo de caudal en el vertedero rectangular (caudal de entrada) se presenta a continuación:

$$Q = 2/3\sqrt{2g}\mu*B*H^{3/2} \quad (4.1)$$

Donde μ = valor dado de forma experimental;

B= ancho del vertedero;

H = altura de la cresta o tirante de agua.

De acuerdo al manual de la Organización Mundial de la Salud para plantas de tratamiento de filtración rápida se establece un valor de μ de 0,622, dejando la fórmula de la siguiente forma.

$$Q = 1,838 * B * H^{3/2} \quad (4.2)$$

Tomando en cuenta un ancho de vertedero de 61,5 cm medido en la planta la fórmula finalmente se convierte en:

$$Q = 1,1304 * H^{3/2} \quad (4.3)$$

La fórmula 4.3 es la que se utilizó para la medición de caudales en las diversas pruebas realizadas al vertedero de la figura 4.8; las cuales se presentan posteriormente.

La medición de caudal de salida (vertedero figura 4.9) se obtiene mediante la fórmula 4.4.

$$Q = c * H^{5/2} \quad (4.4)$$

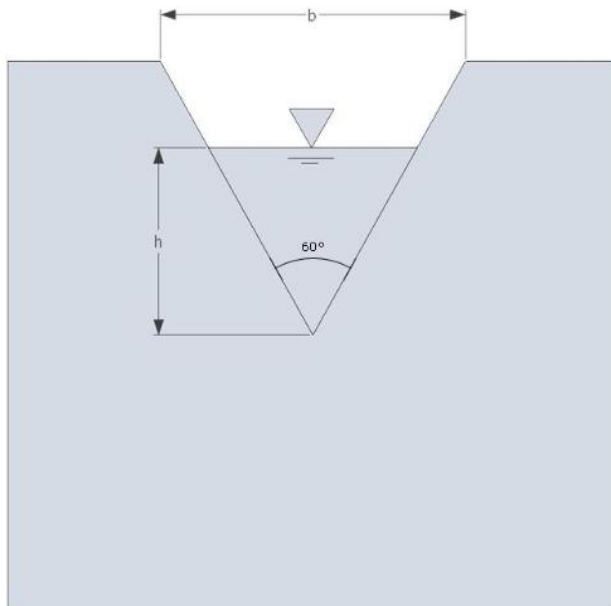
Donde c = valor experimental dependiente del ángulo;

H = la altura de la cresta de agua sobre el vértice del ángulo.

El valor de c fue calculado para el vertedero de la planta de filtración rápida el cual da como resultado la siguiente ecuación.

$$Q = 0,8364 * H^{5/2} \quad (4.5)$$

Finalmente, se utilizó la ecuación 4.5, para calcular el valor del caudal de salida.



GOOGLESKETCH

Figura 4.9 Vertedero Triangular ubicado en la salida de Planta filtración rápida. Fuente: Elaboración propia.

Pruebas en los Vertederos

Debido a la necesidad de los operarios y del administrador del Acueducto de medir inicialmente el caudal cuando la planta fue puesta en operación por el AyA se sugirió atornillar a la pared de un costado de la cámara de entrada una regla graduada en centímetros (ver figura 4.10).

Los personeros del AyA indicaron verbalmente un caudal de 15 L/s cuando la regla de la pared marca 5,5 cm de altura de agua, sin embargo no existía información en la ASADA que pudiera constatar esta información, los operarios usaban esta información para regular el caudal al nivel indicado por la regla de 5,5 cm, para un caudal de acuerdo a la fórmula 4.3 de 14.6 L/s.



Figura 4.10 Regla colocada en la pared de la cámara de entrada por personeros de AyA. Fuente: Autor

En la tabla 4.8 se presenta el resultado del promedio de diez mediciones de caudal que se realizaron cada 30 segundos en cada hora de medición, se realizó midiendo con una regla la altura, H , de la cresta directamente sobre el vertedero de entrada de forma manual (figura 4.8) y se realizó el mismo procedimiento para el vertedero de salida (figura 4.9), se realizó en corto tiempo, ya que el caudal no varía de acuerdo al tiempo sino únicamente de acuerdo a una válvula.

También, se midió el caudal utilizando la regla de la pared (figura 4.10) la cual se le llama medida estándar en la tabla 4.8. Se hizo entonces una comparación entre la medición manual y la medición estándar de los caudales de entrada con respecto a los caudales de salida para determinar comparativamente cual medida es la que tiene menor error. Este procedimiento se llevó a cabo tomando en cuenta que el vertedero de salida es más confiable. Se parte del hecho que la cantidad de agua deberá ser la misma a la que entra, tomando en cuenta que la planta de tratamiento no tiene fugas, esta información fue verificada mediante una inspección en el interior de la planta de tratamiento constatándose que durante el tiempo que se realizaron las pruebas de caudal no existían fugas.

En la figura 4.11 se puede observar que la diferencia de la medida estándar es mayor que la diferencia de medida manual.

Tabla 4.8 Resumen comparativo caudales promedio de medidas estándar, manual y caudal de salida manual. Fuente: Elaboración propia.

Medición	1	2	3	4	5
Hora	12:47	14:58	15:00	15:18	15:39
Caudal entrada estándar (L/s)	16,30	16,30	9,10	12,70	18,80
Caudal entrada Manual (L/s)	13,13	13,13	7,09	9,39	14,36
Caudal Salida Manual (L/s)	14,55	14,50	8,30	11,34	14,41
Diferencia estándar/salida (L/s)	1,73	1,76	0,75	1,31	4,35
Diferencia Manual entrada/ salida (L/s)	1,53	1,38	1,21	1,94	0,05

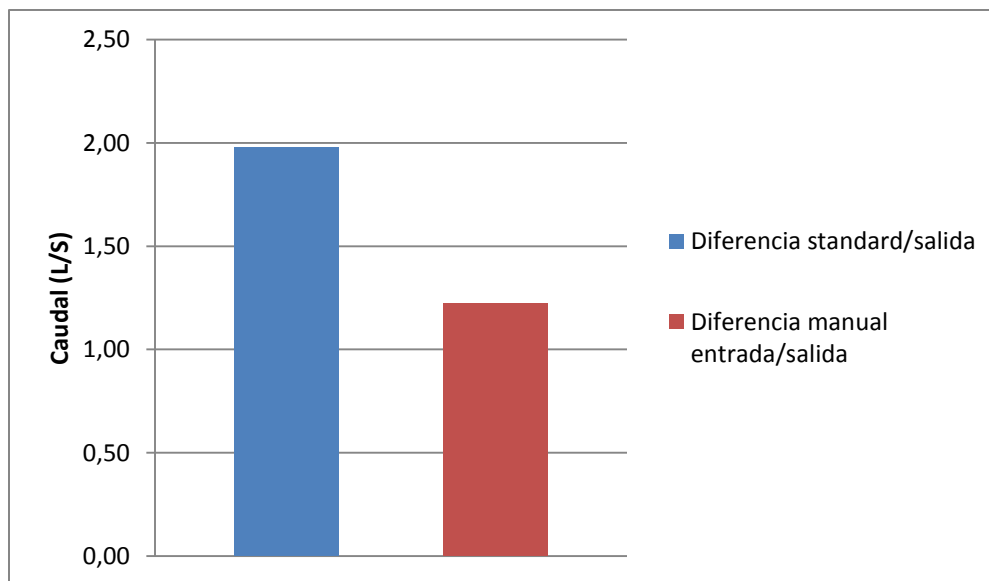


Figura 4.11 Diferencias de caudal entre estándar, medición manual y caudal de salida manual. Fuente: Elaboración propia de tabla 4.8.

En la tabla 4.9 se puede observar el resultado de mediciones hechas a los vertederos de entrada y salida mediante la medida manual, se determina que es más confiable la medida manual, por lo tanto se capacitó a los operarios en cuanto a la forma correcta de medir y registrar el caudal de acuerdo a la medida manual en la entrada y salida, para esto se realizaron dos tablas de calibración de caudal, entrada y salida respectivamente, de acuerdo a la altura medida por los operarios con una regla en el vertedero. Se puede calcular un promedio de caudal de entrada de 12,1 L/s y de salida de 12,1 L/s también.

Las tablas se presentan en el manual de operación y mantenimiento preparado, en el anexo 10, tablas A.2 y A.7, para la entrada y salida respectivamente.

Tabla 4.9 Mediciones de caudal manual de entrada y salida. Fuente: Elaboración propia.

Fecha	Hora	H entrad (m)	H salida (m)	Q entrad(L/s)	Q salida (L/s)	Diferencia Q Entrada-Q salida (L/s)
15-nov	07:00	0,048	0,178	11,900	11,181	0,720
13-nov	07:00	0,048	0,178	11,900	11,181	0,720
12-nov	08:00	0,048	0,183	11,900	11,982	0,082
11-nov	07:00	0,048	0,178	11,900	11,181	0,720
10-nov	07:00	0,048	0,178	11,900	11,181	0,720
09-nov	08:00	0,048	0,178	11,900	11,181	0,720
08-nov	20:00	0,048	0,178	11,900	11,181	0,720
07-nov	08:00	0,048	0,183	11,900	11,982	0,082
06-nov	07:00	0,048	0,178	11,900	11,181	0,720
05-nov	07:00	0,048	0,178	11,900	11,181	0,720
04-nov	07:00	0,048	0,188	11,900	12,818	0,917
02-nov	07:00	0,048	0,183	11,900	11,982	0,082
01-nov	07:00	0,048	0,183	11,900	11,982	0,082
31-oct	08:00	0,048	0,178	11,900	11,181	0,720
30-oct	07:00	0,048	0,198	11,900	14,591	2,691
30-oct	21:00	0,048	0,163	11,900	8,972	2,928
30-oct	11:00	0,048	0,198	11,900	14,591	2,691
30-oct	15:00	0,048	0,203	11,900	15,529	3,629
29-oct	07:00	0,048	0,178	11,900	11,181	0,720
29-oct	19:00	0,048	0,183	11,900	11,982	0,082
28-oct	07:00	0,048	0,188	11,900	12,818	0,917
28-oct	11:00	0,048	0,189	11,900	12,989	1,089
28-oct	20:00	0,048	0,194	11,900	13,865	1,965
27-oct	07:20	0,048	0,178	11,900	11,181	0,720
27-oct	11:00	0,048	0,178	11,900	11,181	0,720
25-oct	07:00	0,048	0,178	11,900	11,181	0,720
25-oct	15:00	0,048	0,183	11,900	11,982	0,082
24-oct	08:00	0,048	0,178	11,900	11,181	0,720
24-oct	11:55	0,048	0,183	11,900	11,982	0,082
23-oct	07:00	0,048	0,215	11,900	17,927	6,027
13-sep	09:46	0,050	0,182	12,652	11,819	0,832
14-sep	10:45	0,055	0,185	14,596	12,312	2,284
21-sep	09:30	0,050	0,186	12,652	12,479	0,172
21-sep	13:20	0,046	0,176	11,164	10,869	0,295
21-sep	14:56	0,051	0,186	13,033	12,479	0,554
22-sep	08:58	0,058	0,198	15,806	14,591	1,216

4.1.1.3 Eficiencia de la planta.

La eficiencia de la planta de tratamiento fue evaluada con respecto a los valores de turbiedad. De esta forma se analizó la eficiencia en términos de remoción de la turbiedad.

En la figura 4.12 se presenta el valor promedio de eficiencia de acuerdo a los procesos principales de la planta de tratamiento. Los datos corresponden a valores recolectados de julio a noviembre de 2011. Los resultados de eficiencia presentados en esta sección serán discutidos ampliamente en el capítulo posterior.

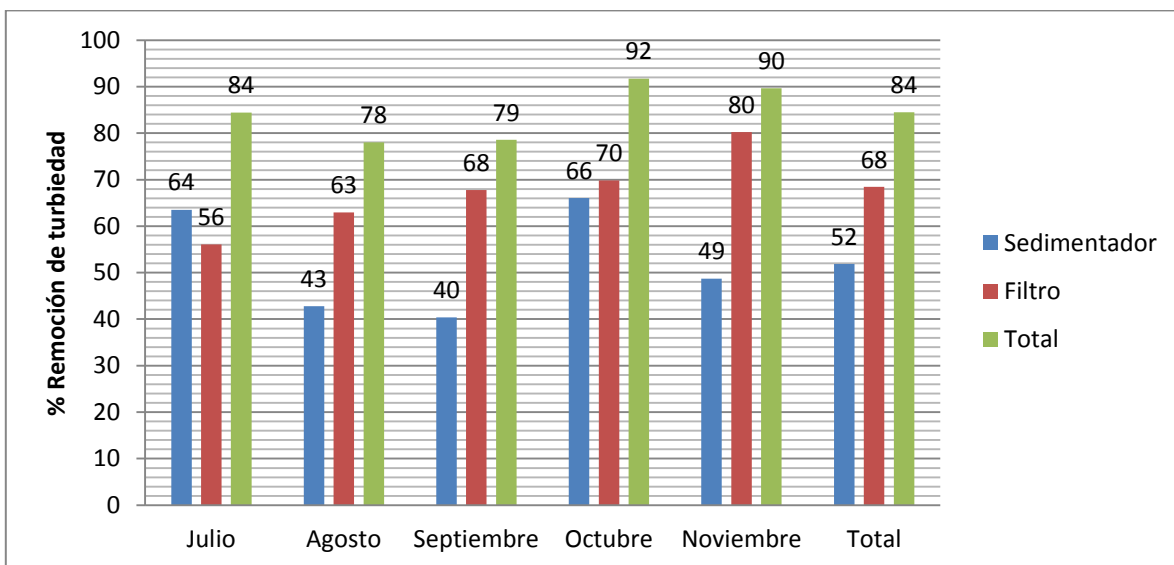


Figura 4.12 Porcentaje de eficiencia promedio de los principales procesos unitarios que conforman la planta de tratamiento El Tigre. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.10 se presentan valores promedio de turbiedad (UNT) de salida de la planta de acuerdo a los meses en los que fueron registrados los datos. En la figura 4.13 se pueden observar los promedios de los valores de turbiedad de salida de julio a noviembre; en octubre se registra el valor promedio más alto.

Tabla 4.10 Medidas de tendencia central para valores de turbiedad (UNT) de salida de la planta de tratamiento con aplicación de coagulante. Fuente: Elaboración propia

Medida de Tendencia	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Total
Promedio	0,84	0,86	0,99	1,76	0,65	1,10
Máximo	1,92	6,49	16,6	33,8	4,44	33,80
Mínimo	0,27	0,16	0,07	0,02	0,07	0,02
Desviación estándar	0,35	0,96	2,03	4,36	0,61	2,58

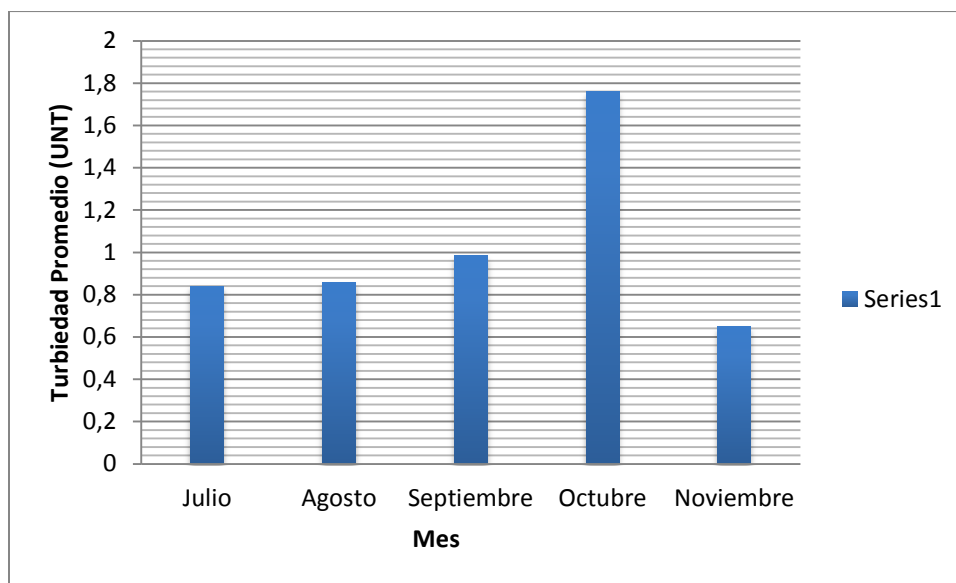


Figura 4.13 Turbiedades promedio de salida de julio a noviembre de 2011. Fuente: Elaboración propia de tabla 4.10.

En la tabla 4.11 se presentan porcentajes de eficiencia de la planta cuando no se está suministrando sulfato de aluminio, se realizaron pruebas con la planta en operación pero sin suministrar coagulante, en esta tabla se presentan los resultados de turbiedades obtenidas. En la figura 4.14 se presenta la eficiencia promedio de la tabla 4.11.

Tabla 4.11 Eficiencia de remoción de diferentes procesos unitarios de la planta El Tigre sin suministrar sulfato de aluminio. Fuente: Elaboración propia

Fecha	Hora	Proceso Unitario	Turbiedad	% Eficiencia remoción turbiedad en Sedimentador	% Eficiencia remoción de turbiedad en Filtro	% Eficiencia remoción turbiedad la planta de tratamiento.
13-sep		cámara entrada	8,2			
13-sep	10:15	salida sedimentador	3,46			
13-sep		salida	0,364	58	89	96
13-sep	11:33	Cámara entrada	9,72			
13-sep		Salida sedimentador	3,96			
13-sep		Salida	0,806	59	80	92
13-sep	12:10	Cámara entrada	10,7			
13-sep		salida sedimentador	4,73			
13-sep		salida	0,756	56	84	93
13-sep	12:35	Cámara entrada	12,8			
13-sep		Salida sedimentador	12,3			
13-sep		Salida	0,869	4	93	93
26-sep		Cámara entrada	2,34			
26-sep	12:10	Salida sedimentador	1,52			
26-sep		Salida	0,455	35	70	81
08-nov		cámara de entrada	4,78			
08-nov	08:00	salida sedimentador	4,82			
08-nov		salida	1,19	-1	75	75

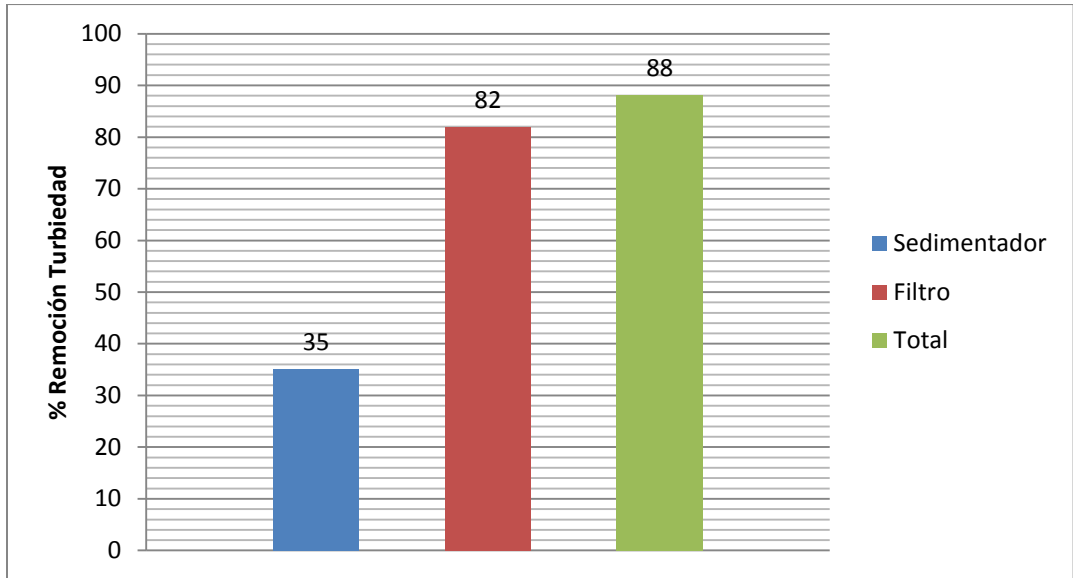


Figura 4.14 Porcentaje de eficiencia promedio de los principales procesos unitarios que conforman la planta de tratamiento El Tigre sin el suministro de coagulante. Fuente: Elaboración propia de tabla 4.11.

Dosificación de sulfato de aluminio.

El sistema El Tigre funciona mediante la adición de sulfato de aluminio como coagulante. El sistema de dosificación de sulfato de aluminio de la Planta de Filtración Rápida El Tigre funciona mediante un medidor de corriente de flujo, llamado Accufloc, el cual regula la dosis de coagulante a suministrar de acuerdo a dicho parámetro de corriente, este sistema de medición de corriente de flujo le indica a un regulador de dosis, el cual regula la bomba para suministrar una cantidad específica de coagulante en litros por hora.

El sistema accufloc toma la muestra de la planta y posteriormente devuelve la muestra del agua a reproceso en la planta, estas muestras pasan por tres filtros, los cuales tienen que ser lavados cada vez que la maquina lo indica, el indicador es una alarma que se enciende en el tablero y suena en repetidas ocasiones, cuando esto sucede el operario deberá proceder a lavar los filtros del accufloc. En la figura 4.15 se presenta la forma de funcionamiento automático del sistema Accufloc.

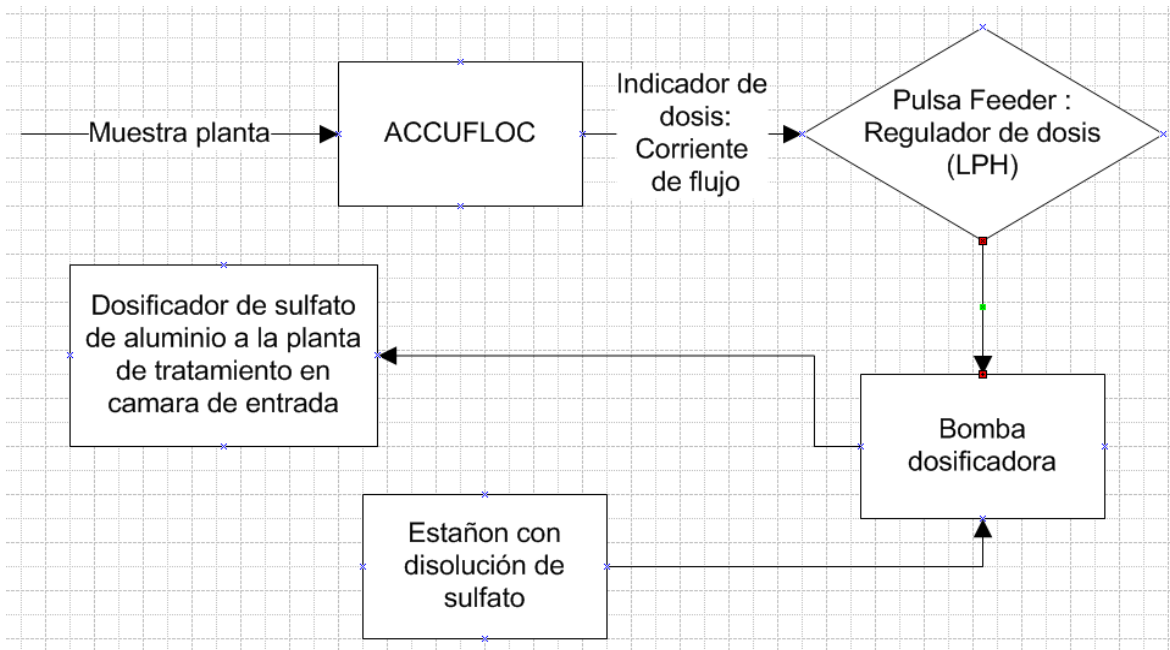


Figura 4.15 Diagrama de funcionamiento del sistema automático de dosificación de sulfato de aluminio Accufloc. Fuente: Elaboración propia.

El sistema de dosificación es automático sin embargo en los primeros meses (febrero-octubre) de funcionamiento de la planta de tratamiento el sistema trabajó sin calibración, por lo que la dosis no se controlaba; lo anterior ya que no se tenían datos de dosis óptima de coagulante según la turbiedad del agua cruda que fueron realizados hasta noviembre mediante prueba de jarras por parte de personeros de AyA.

A continuación se presentan datos de la dosis de sulfato de aluminio suministrada por el sistema Accufloc de acuerdo a la turbiedad de entrada a la planta de tratamiento. En la figura 4.16 se presenta la dosificación de sulfato de aluminio suministrada de forma automática con respecto a la turbiedad de entrada durante la fecha que el equipo no estuvo calibrado con la dosis óptima.

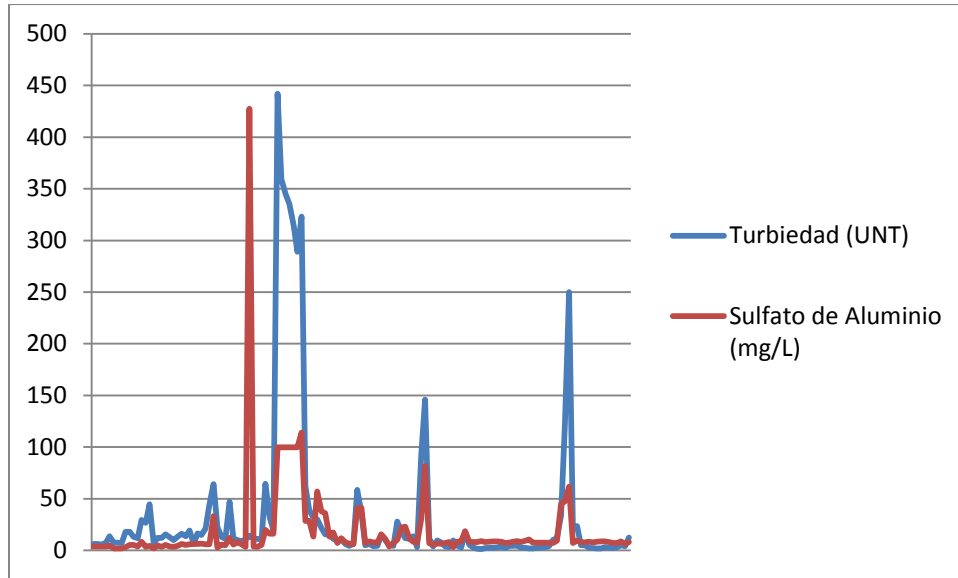


Figura 4.16 Dosificación de sulfato de aluminio de acuerdo a la turbiedad de entrada del 14 de septiembre al 31 de octubre. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.17 y 4.18 se presenta la dosificación de sulfato de aluminio suministrada de forma automática con respecto a la turbiedad de entrada durante la fecha que el equipo fue calibrado, se nota un comportamiento de sulfato de aluminio más relacionado con la turbiedad. Sin embargo se puede ver en la figura 4.18 que no existe un comportamiento lineal.

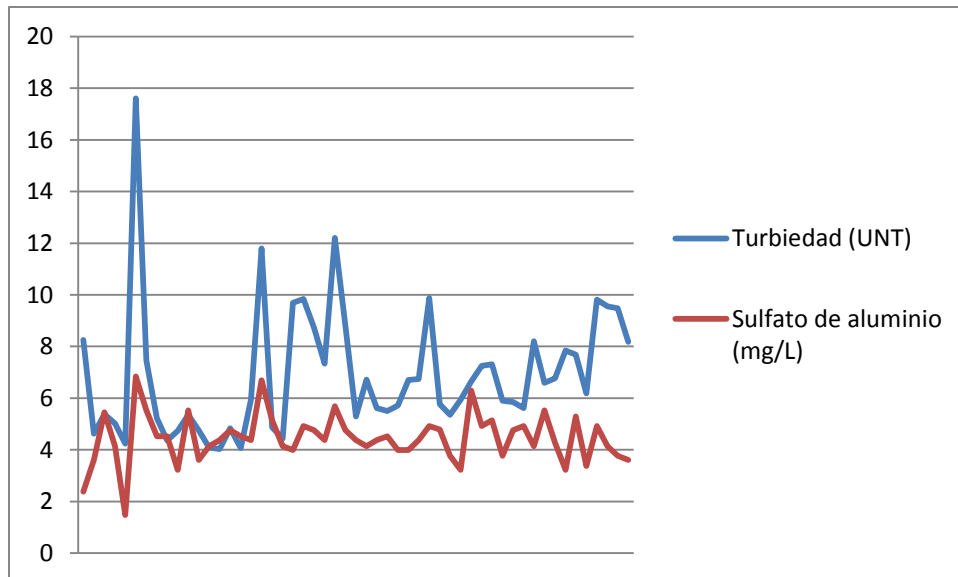


Figura 4.17 Dosificación de sulfato de aluminio de acuerdo a la turbiedad de entrada del 1 al 15 de noviembre. Fuente: Elaboración propia.

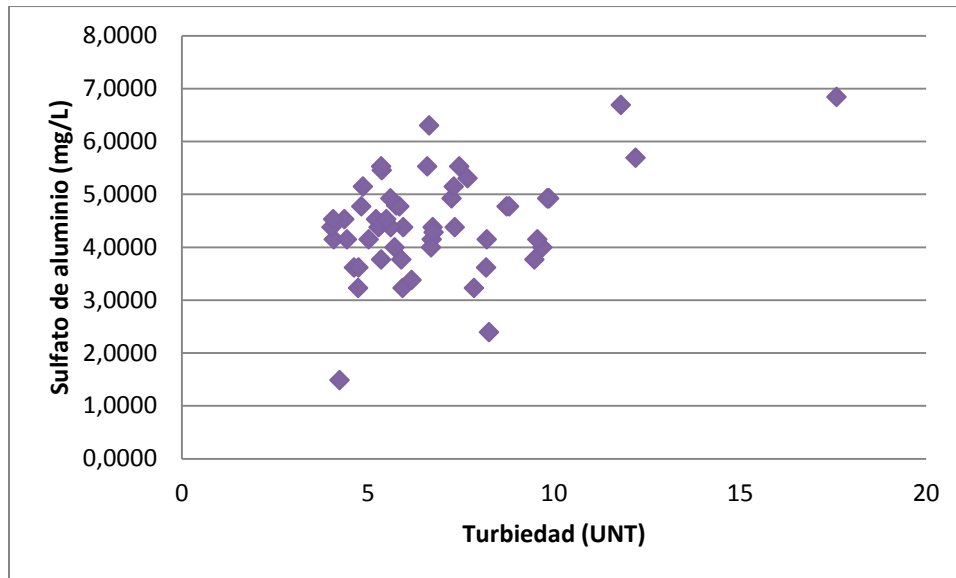


Figura 4.18 Dosis de sulfato de aluminio suministrada en función de la turbiedad de entrada del 1 al 15 de noviembre. Fuente: Elaboración propia.

A continuación en la tabla 4.12, se presenta el resultado de ensayo de coagulante realizado por AyA mediante prueba de jarras. Esta tabla representa la dosis a utilizar de sulfato de aluminio de acuerdo a la turbiedad de agua cruda. La dosis de sulfato de aluminio deberá ser suministrado únicamente a una concentración de 8,3% según lo indicado por los personeros del Laboratorio Nacional de Aguas del AyA; para lograr esta concentración los operarios deberán verter dos sacos de 25 kg cada saco de sulfato de aluminio en los recipientes de 600 L dispuestos para la dosificación del coagulante. Lo único que cambiaría entonces es el volumen de sulfato a añadir de acuerdo a la turbiedad y no así la concentración de sulfato de aluminio.

Tabla 4.12 Dosis teórica de sulfato de aluminio al 8,3%⁸. Fuente: AyA, modificado por autor.

Turbiedad (UNT)	Ajuste de bomba dosificadora en LPH
20 o menos	5,20
22,5	5,85
25	6,50
27,5	7,15
30	7,80
40	8,45
60	9,75
65	10,40
70	11,05
75	11,70
91	12,35
107	13,00
126	13,65
145	14,30
164	14,95
183	15,60
200	16,25
215	16,90
230	17,55
245	18,20
260	18,85
275	19,50
280	20,15
285	20,80
290	21,45
295	22,10
300	22,75
315	23,40
330	24,05
345	24,70
360	25,35
375	26,00
386	26,65
397	27,30
408	27,95
419	28,60
430	29,25

⁸ Dos sacos de sulfato de aluminio de 25 kg cada uno en un recipiente de 600 L.

En las figuras 4.19 y 4.20 se presenta una comparación de la dosis experimental con la dosis teórica de la tabla 4.12. La dosis experimental se determinó tomando los valores de dosis suministrada (en mg/L de sulfato de aluminio) a la planta de tratamiento cuando la eficiencia en el sedimentador es mayor al 85%⁹.

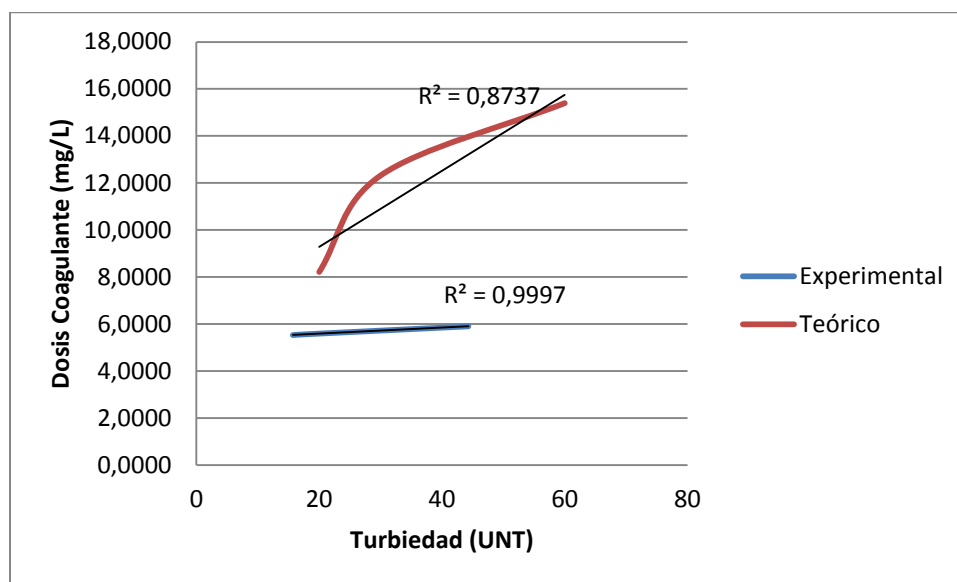


Figura 4.19 Dosis experimental y teórica según turbiedades de 15 a 60 UNT. Fuente: Elaboración propia de tabla 4.12

⁹ Valor teórico según guías de OMS para el buen funcionamiento de un sistema de tratamiento con suministro de coagulante.

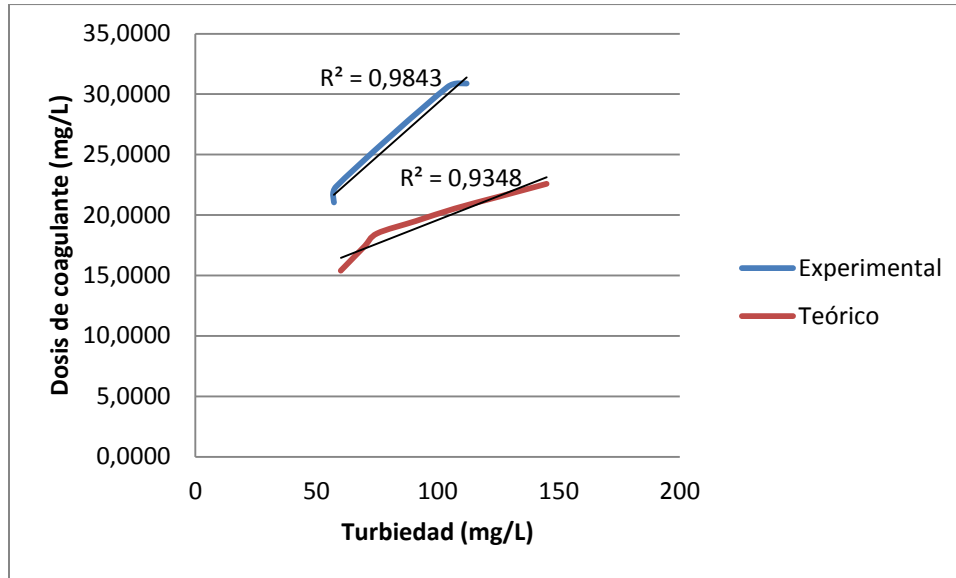


Figura 4.20 Dosis óptima experimental y teórica según turbiedades de 50 a 150 UNT. Fuente: Elaboración propia de tabla 4.12

4.1.1.4 Dimensionamiento de la planta y cotejo de planos de diseño.

En la tabla 4.13 se presentan los resultados de las dimensiones tomadas en la planta la planta de tratamiento el Tigre, de las principales secciones que la componen. Se comparan las dimensiones de las principales secciones con lo señalado en los planos de diseño. Se notan diferencias de lo construido con respecto a lo que se presenta en los planos. Estas diferencias serán discutidas ampliamente en el capítulo 5.

En la tabla 4.14 se presentan las dimensiones para las secciones que componen el floculador debido a su conformación se eligió establecer su revisión mediante el dimensionamiento en una tabla aparte.

Tabla 4.13 Medición de los principales procesos unitarios de la planta de filtración rápida y dimensiones de los planos de diseño. Fuente: Elaboración propia.

DIMENSIONES (m)		Cámara entrada	Cámara Mezcla rápida	Vertedero (Lámina de entrada rectangular)	Cámara sedimentación	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4
Medición de campo	Ancho	0,62	0,62	Espesor Despreciable	3,58	0,54	0,57	0,56	0,58
	Largo	0,98	1,53	0,62	2,44	1,84	1,84	1,84	1,82
	Profundidad	1,98	1,90	0,60	3,60	1,88	1,88	1,87	1,87
Datos según Planos	Ancho	0,60	0,60	Espesor Despreciable	3,64 ^A	0,58	0,58	0,58	0,58
	Largo	0,90	1,50	0,60	2,44	1,86	1,86	1,86	1,86
	Profundidad	1,98	0,76	0,60	3,94	1,90	1,90	1,90	1,90

A: Desde nivel máximo de agua reportado en planos a losetas de concreto en fondo del sedimentador.

Tabla 4.14 Mediciones del floculador y dimensiones según planos. Fuente: Elaboración propia

DIMENSIONES (m)		Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
Medición de campo	Ancho	1,10 inicial 1,55 final ^B	1,10 inicial 1,10 final	1,05 inicial 1,08 final
	Largo láminas	4,97	4,75	4,82
	Largo total tramo	5,17	5,16	5,17
	Profundidad	1,42 inicial 1,22 final	1,223 inicial 1,22 final	1,22 inicial 1,22 final
	Número láminas	47,00	38,00	33
	Pendiente %	3,75	0,08	0,04
	Separación entre láminas	0,09	0,12	0,14
Datos según Planos	Ancho	1,10	1,10	1,10
	Largo Láminas	4,91	4,80	4,82
	Largo total tramo	5,20	5,20	5,20
	Profundidad	1,22	1,22	1,22
	Numero láminas	52,00	40,00	34
	Pendiente %	1,20	0,60	0,58
	Separación entre láminas	0,09	0,12	0,14

B: La medición inicial se refiere al principio de las láminas del tramo en cuestión y la final a la sección final del mismo tramo.

4.1.2 Planta de Filtración Lenta Quebrada Tarbaca.

Su fuente de abastecimiento corresponde a la quebrada Tarbaca y dos nacientes principalmente que se encuentran a menos de 25 metros de la toma de la quebrada, existen otras dos nacientes sin embargo estas no son utilizadas de forma continua para el suministro de agua a la planta sino, tal y como se mencionó anteriormente, la naciente La Muni y El Yos. La ubicación geográfica de Quebrada Tarbaca se puede observar en figura 1.3. El agua proveniente de la quebrada es tomada mediante rejillas de captación (figura 4.21) y llevada por medio de tubería mediante gravedad.



Figura 4.21 Rejillas de captación de agua de la Quebrada Tarbaca Fuente: Autor.

4.1.2.1 Parámetros físicos, químicos y bacteriológicos.

En la tabla 4.15 se presenta la medición de turbiedades realizadas en el mes de octubre por los operarios de la planta. Los valores corresponden a medidas hechas con un tubo de turbiedad por lo que se presentan en valores aproximados. El tubo de turbiedad es un instrumento análogo en el cual se introduce el agua a la cual se le medirá la turbiedad, este se encuentra graduado en marcas de UNT, Si el valor de turbiedad que se obtiene es <5 esto quiere decir que la turbiedad es menor a 5. (Ver figura A.44, anexo 10).

Tabla 4.15 Turbiedades del Sistema Tarbaca según proceso unitario. Fuente: Elaboración Propia.

Fecha	Hora	Lugar	Turbiedad (UNT)
25-oct	09:00	Cámara entrada	<5
		Salida filtros gruesos	<5
		Después filtros lentos	<5
24-oct	09:00	Cámara entrada	<10
		Salida filtros gruesos	<5
		Después filtros lentos	<5
11-oct	08:00	Cámara entrada	<10
		Salida filtros gruesos	<10
		Después filtros lentos	<5
10 al 8 Oct	10:00	Cámara entrada	<10
		Salida filtros gruesos	<5
		Después filtros lentos	<5
07-oct	8:00	Cámara entrada	<20
		Salida filtros gruesos	<5
		Después filtros lentos	<5
	14:00	Cámara entrada	<5
		Salida filtros gruesos	<5
		Después filtros lentos	<5
06-oct	8:00	Cámara entrada	<30
		Salida filtros gruesos	<10
		Después filtros lentos	<5
	14:00	Cámara entrada	<20
		Salida filtros gruesos	<10
		Después filtros lentos	<5
5-4 oct	8:00	Cámara entrada	<10
		Salida filtros gruesos	<5
		Después filtros lentos	<5
03-oct	9:00	Cámara entrada	<10
		Salida filtros gruesos	<5
		Después filtros lentos	<5
	14:00	Cámara entrada	<5
		Salida filtros gruesos	<5
		Después filtros lentos	<5

En la tabla 4.16 se presenta el resultado de análisis bacteriológicos realizados a muestras de distintos puntos del Sistema de Filtración Lenta Quebrada Tarbaca. En la figura 4.22 se puede observar la cantidad de coliformes por cada 100 mL en la cámara de entrada. Los resultados serán discutidos en el capítulo posterior.

Tabla 4.16 Parámetros bacteriológicos de diferentes lugares del Sistema Quebrada Tarbaca. Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas, AyA.

Punto de Muestreo	Fecha de Muestra	Cloro residual mg/L	Coliformes Fecales/100 mL	NMP E. Coli 44,5° C
Naciente La Muni	01/03/2011		Negativo	Negativo
	23/11/2010		Negativo	Negativo
	02/03/2010		Negativo	Negativo
	04/11/2009		23,00	23
Naciente El Yos	01/03/2011		3,60	3,60
	23/11/2010		3,60	3,60
	02/03/2010		Negativo	
	04/11/2009		43,0	43,00
Tanque Almacenamiento	01/03/2011	0,98	Negativo	Negativo
	23/11/2010	0,50	Negativo	Negativo
	02/03/2010	0,44	Negativo	Negativo
	04/11/2009	1,40	Negativo	Negativo
	26/12/2008	0,90	Negativo	Negativo
Cámara de entrada	01/03/2011		390,00	390,00
	02/03/2010		240,00	240,00
	04/11/2009		930,00	930,00
	26/12/2008		1500,00	1500,00
Después de Filtros Gruesos	01/03/2011		23,00	15,00
	02/03/2010		93,00	93,00
	04/11/2009		430,00	430,00
	26/12/2008		750,00	750,00
Después de Filtro lento	01/03/2011		Negativo	Negativo
	02/03/2010		negativo	Negativo
	04/11/2009		negativo	Negativo
	26/12/2008		3,8	3,8
Red de distribución	01/03/2011	0,53	Negativo	Negativo
	23/11/2010	0,33	Negativo	Negativo
	02/03/2010	0,47	Negativo	Negativo
	04/11/2009	0,53	Negativo	Negativo

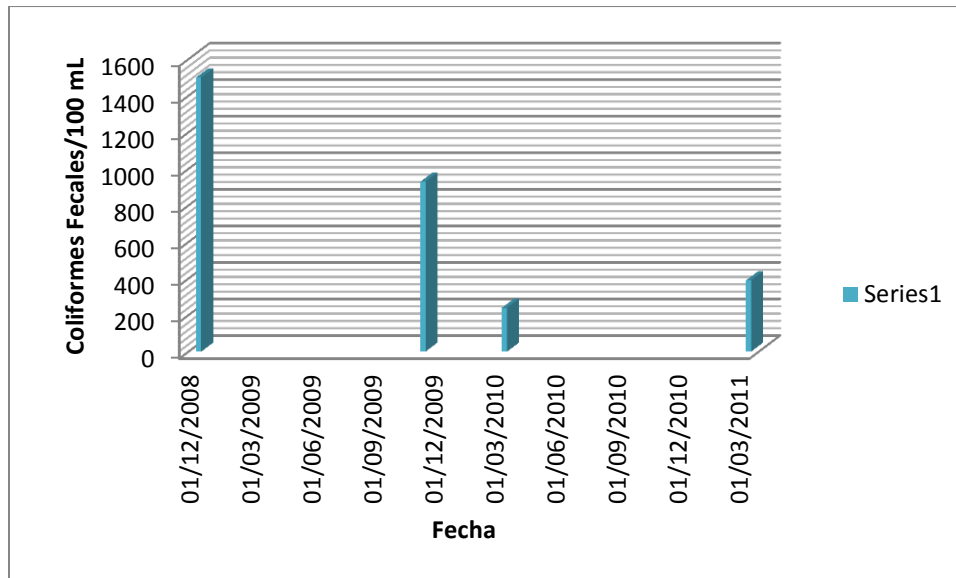


Figura 4.22 Coliformes fecales en la cámara de entrada del Sistema Quebrada Tarbaca. Fuente: Autor.

En la tabla 4.17 se presenta el resultado de los análisis físico químicos de diferentes muestras realizados por AyA.

Tabla 4.17 Parámetros químico físicos de diferentes lugares del Sistema Quebrada Tarbaca. . Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas, AyA.

PARAMETRO	Naciente La Muni	Naciente El Yos	Cámara de entrada Planta tratamiento	Tanque de almacenamiento	Naciente El Yos	Naciente La Muni	Valor Máx. recomendado ¹⁰
FECHA	01/03/2011	01/03/2011	01/03/2011	01/03/2011	27/02/2010	27/02/2010	
Alcalinidad (mg/L)	121,00	111,00	86,00	95,00	137,00	145,00	
Calcio (mg/L)	43,50	35,30	27,50	29,30	38,40	48,80	100,00
Cloruros (mg/L)	0,76	0,63	2,42	1,82	1,43	1,65	25,00
Color verdadero (UPt-Co)	2,00	9,00	12,00	4,00	2,00	2,00	5,00
Conductividad (µS/cm)	266	220,00	193,00	203,00	235,00	258,00	400,00
Dureza de Calcio (mg/L)	109,00	88,00	69,00	73,00	96,00	122,00	
Dureza total (mg/L)	124,00	109,00	86,00	93,00	120,00	134,00	400,00
Fluoruro (mg/L)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,10	0,70-1,50
Magnesio (mg/L)	3,70	5,00	4,10	4,90	5,80	2,90	30,00
Nitratos (mg/L)	0,27	0,44	N.D ¹¹	2,29	0,36	1,45	50,00
pH	7,22	7,25	7,55	7,59	7,42	7,71	6,50-8,50
Potasio (mg/L)	0,80	0,80	0,90	1,00	0,80	0,80	10,00
Sodio (mg/L)	5,90	5,30	4,70	5,10	5,10	5,40	25,00
Sulfatos (mg/L)	10,88	5,24	4,45	4,62	5,12	11,17	25,00
Temperatura (°C)	17,30	17,70	16,70	20,10	18,90	18,40	18,00 a 30,00
Turbiedad (UNT)	0,30	23,80	0,90	0,30	2,60	0,10	5,00

¹⁰ Según Decreto N° 32327-S- Reglamento para la Calidad del Agua Potable-Costa Rica.

¹¹ No detecta.

4.1.2.2. Aforos.

La planta de tratamiento de Filtración Lenta Quebrada Tarbaca cuenta con seis vertederos triangulares para la medición de caudal. Los vertederos se presentan en la figura 4.23. La planta cuenta con vertederos instalados en la cámara de entrada, uno a la derecha y otro a la izquierda, la misma construcción se tiene para la cámara de entrada hacia los filtros lentos, uno a la derecha y otro a la izquierda y en la cámara de salida de la planta de tratamiento, de la misma manera, así se tienen en total seis vertederos, dos por cada cámara. La fórmula de caudal para cada uno de los vertederos es

$$Q = 0,8364 * H^{\left(\frac{5}{2}\right)} \quad (4.6)$$



Figura 4.23 Vertederos de la cámara de entrada del Sistema Quebrada Tarbaca. Fuente: Autor.

Para verificar que los vertederos estén calibrados correctamente se hizo una medida volumétrica del caudal en los diferentes puntos en los que se encuentran los vertederos. La medida volumétrica se realizó midiendo el tiempo que duraba en llenarse de agua un recipiente de volumen conocido, dividiendo el volumen entre el tiempo se obtuvo el valor de caudal.

En la tabla 4.18 se presentan los resultados. Se puede observar una diferencia en cuanto a las medidas de caudal volumétrico y la medida del caudal del vertedero calculado con la fórmula 4.6. En la figura 4.24 se puede observar la diferencia existente entre las medidas volumétricas y con la fórmula.

Las diferencias encontradas en la medición de caudales se discutirán en el capítulo posterior, sin embargo es importante mencionar que se realizó una calibración de los vertederos con respecto al caudal volumétrico y se presentaron tablas de determinación de caudal, de acuerdo a la altura medida con regla en los vertederos y se presenta en la tabla A.9 del anexo 10 (Manual de operación y mantenimiento realizado).

Los operarios fueron capacitados en cuanto a la medida de este caudal en cada vertedero utilizando una regla y la tabla mencionada, también se brindó capacitación y se registró en el manual de operación la forma de medir el caudal de forma volumétrica.

Tabla 4.18 Prueba de calibración de vertederos de la planta Quebrada Tarbaca. Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas, AyA.

Lugar de aforo	Vertedero	Fecha	Caudal volumétrico (L/s)	Caudal de vertedero (L/s)
Cámara de entrada		4 de octubre	2,87	1,76
	Derecho	15 de noviembre	4,97	3,63
	Izquierdo	4 de octubre	2,63	1,51
Cámara de salida		4 de octubre	2,01	1,71
	Derecho		1,19	0,73
		4 de octubre	2,70	1,08
	Izquierdo		0,68	0,36

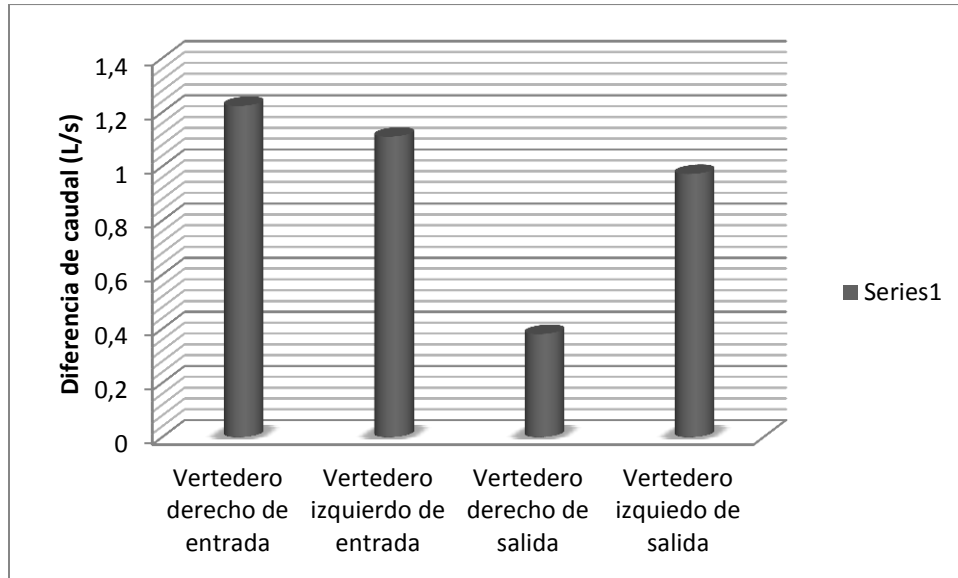


Figura 4.24 Diferencia de caudal (L/s) por cada vertedero entre la medida volumétrica y la calculada con la altura de la cresta en el vertedero. Fuente: Elaboración propia de tabla 4.18

4.1.2.3. Dimensionamiento de la planta y cotejo de planos de diseño.

En la tabla 4.19 se presenta la medida de las dimensiones de las principales secciones que componen la planta de tratamiento Quebrada Tarbaca, se compara el tamaño de las principales secciones con lo señalado en los planos de diseño. Se notan diferencias de lo construido con respecto a lo que se presenta en los planos.

Tabla 4.19 Dimensiones de los principales procesos unitarios de la Planta Quebrada Tarbaca. Fuente: Elaboración propia con información de planos constructivos de AyA.

DIMENSIONES (m)		Cámara entrada	Filtro grueso horizontal 1		Filtro grueso horizontal 2		Filtro grueso horizontal 3		Filtro Lento	
			Izquierdo	derecho	Izquierdo	derecho	Izquierdo	derecho	Izquierdo	Derecho
Medición de campo	Ancho	0,79	1,97	1,98	1,78	1,79	0,78	0,78	5,00	4,97
	Largo	1,60	4,79	4,78	4,79	4,78	4,79	4,78	10,14	10,14
	Profundidad	1,19	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	2,35	2,35
Planos	Ancho	0,80	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	5,05	5,05
	Largo	1,60	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	10,40	10,40
	Profundidad	1,20	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	2,50	2,50

En la tabla 4.20 se presenta el valor de altura mínima (m) de arena que los filtros deben poseer y lo que realmente tienen de acuerdo a medición de campo.

Tabla 4.20 Altura de arena en filtros lentos. Fuente: Elaboración propia con información de planos constructivos de AyA.

Parámetro	Filtros Lentos	
	Izquierdo	Derecho
Medición de campo	1,25	1,25
Planos	1,300	1,300

4.1.3 Estudio de costos.

Con el fin de evaluar la condición económica de la ASADA San Gabriel se recolectó y procesó información de consumos de agua por abonado, ingresos de dinero por concepto de pago de servicios y gastos operativos. Los datos de consumo por abonado fueron tomados de un sistema de computadora que se tiene en la ASADA para procesar los pagos y la facturación; dicho sistema mantiene almacenado los datos de consumo; a partir de estos datos se calcularon los ingresos. La información sobre los gastos fue provista por el administrador de la ASADA, los cuales a su vez fueron realizados por el contador de la asociación administradora del acueducto.

A continuación en la tabla 4.21 se presentan datos de consumo por parte de los abonados, medidos en metros cúbicos por cada planta de tratamiento. De estos datos de consumo se procede al cálculo de la factura por abonado, tomando como tarifa única $\$90/\text{m}^3$ consumido y $\$1615/\text{abonado}$ de tarifa básica, más $\$12/\text{m}^3$ por concepto de hidrantes instalados. Estos son los valores que utiliza la Asociación para su facturación y cobro a los abonados activos y consumidores del agua del acueducto respectivo. Los resultados se observan en la tabla 4.22 y 4.23.

El sistema El Tigre cubre las poblaciones de San Gabriel Centro, Salitral, Calle Los Solano, La Fila, La Trinidad, María Auxiliadora y parte de Calle Los Ángeles. Mientras que el sistema Quebrada Tarbaca cubre las poblaciones de Las Brisas, Tranquerillas y parte de calle Los Ángeles.

Tabla 4.21 Resumen de consumo de abril a setiembre de 2011 de los dos sistemas de tratamiento.

Fuente: Elaboración propia con información suministrada por la ASADA San Gabriel.

PARAMETRO	EL TIGRE	TARBACA
Promedio consumo (m ³ /mes/abonado)	17,64	21,52
Total de abonados	1014,00	294,00
Consumo Total (m ³)	113534,00	66667,00
Caudal de consumo (L/s)	6,90	2,44

Los resultados de estas tablas serán discutidos en el capítulo posterior.

Tabla 4.22 Consumos e ingresos por facturación de agua a los consumidores activos del Sistema El Tigre. Fuente: Elaboración propia con información suministrada por la ASADA San Gabriel.

PARAMETRO	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Promedio	Suma
CONSUMO (m ³)	19.554,00	19.470,00	20.778,00	17.370,00	18.365,00	17.997,00	18.922,00	113.534,00
INGRESO (¢)	3.633.733	3.625.165	3.758.581	3.410.965	3.512.455	3.474.919	3.569.303	21.415.818
ABONADOS QUE CONSUMIERON AGUA	896,00	890,00	890,00	879,00	872,00	888,00	886,00	
DOTACION (L/día/abonado)	119,25	119,54	127,57	107,98	115,09	110,75	117,00	
CONSUMO PROMEDIO POR ABONADO (m ³)	17,90	18,74	18,25	16,85	16,30	17,76	17,63	

Tabla 4.23 Consumos e ingresos por facturación de agua a los consumidores activos del Sistema Quebrada Tarbaca. Fuente: Elaboración propia con información suministrada por la ASADA San Gabriel.

PARAMETRO	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Promedio	Suma
CONSUMO (m ³)	6.914,00	6.070,00	6.857,00	7.000,00	6.377,00	10.415,00	7.272,00	43.633,00
INGRESO (₡)	1.180.038	1.093.950	1.174.224	1.188.810	1.125.264	1.537.140	1.216.571	7.299.426
ABONADOS	263,00	259,00	259,00	249,00	267,00	265,00	260,00	
DOTACION (L/día/abonado)	143,66	128,07	144,67	153,62	130,51	214,76	153,00	
CONSUMO PROMEDIO POR ABONADO (m ³)	20,57	21,01	20,56	22,54	18,83	25,97	21,58	

Tabla 4.24 Ingresos y gastos promedio anual de la Asada San Gabriel. Fuente: Elaboración propia con información suministrada por la ASADA San Gabriel.

Ingreso	Gasto	Utilidad
₡65.783.848	₡61.573.284	₡4.210.564

Los datos de gastos e ingresos presentados en la tabla 4.24 pertenecen a un balance realizado por el contador de la ASADA San Gabriel para el año 2010.

De acuerdo a este balance se calcula un costo aproximado de ₡59/m³ de agua para la planta El Tigre y ₡49/m³ para la planta Quebrada Tarbaca.

Reducción del gasto operativo en planta El Tigre

Como se mencionó anteriormente en la sección de evaluación de la planta El Tigre, la dosis de sulfato de aluminio utilizada durante los meses de febrero-noviembre de 2011 no era la correcta, lo que ocasionó un gran gasto en la compra de este coagulante. Mediante los datos de dosis a aplicar según turbiedad y caudales obtenidos, se presenta el gasto de sulfato de acuerdo a la turbiedad promedio en los últimos 5 meses, esto permitirá calcular un ahorro en el consumo de sulfato de aluminio de acuerdo a la calibración del equipo. Los resultados se presentan en la tabla 4.25

El gasto anual de sulfato de aluminio antes de que se calibrara el equipo para la dosis óptima de coagulante era de ₡2334186.429, para un total de 6514 kg de sulfato de aluminio, lo que equivale a un 4% del gasto anual presentado en la tabla 4.24, una vez calibrado el equipo de acuerdo a la dosis óptima de coagulante el gasto de sulfato de aluminio pasaría a 4229 kg de sulfato para un total de ₡1514252, logrando un ahorro para el año 2011 de ₡819934 (ver costo de sulfato en anexo 13).

Este resultado se obtiene tomando en cuenta que siempre se suministra coagulante, sin embargo el ahorro sería cercano a ₡1.600.000 tomando en cuenta que es posible la no aplicación de coagulante con una buena eficiencia cuando la turbiedad es menor a 10 UNT, según la figura 4.14 y tabla 4.11.

Tabla 4.25 Gasto en sulfato de aluminio por mes de acuerdo a la turbiedad. Fuente: Elaboración propia con información suministrada por la ASADA San Gabriel.

PARAMETRO	Enero- junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Turbiedad promedio ¹²	<20	6,48	19,08	34,41	45,39	6,86	<20
Dosis de coagulante (mg/L)	8,20	8,20	8,20	12,83	13,96	8,20	8,20
Sulfato de aluminio teórico a suministrar (kg)	1912,90	318,82	318,82	498,83	542,76	318,82	318,82
Costo sulfato (colones)	₡684.817	₡114.136	₡114.136	₡178.581	₡194.310	₡114.136	₡114.136

¹² La turbiedad promedio de enero-junio y diciembre se considera que es menor a 20 tomando en cuenta que la precipitación es baja en estos meses, los meses críticos son de agosto a octubre, la turbiedad promedio de julio y noviembre es muy similar de acuerdo a los datos recolectados.

4.2 Capacitación

A los tres talleres asistieron los seis operarios de las dos plantas, el fontanero, Martín Monge y el Administrador de la ASADA, Don Minor Duran, ver listas de asistencia en anexo 14.

Todas las capacitaciones tuvieron frutos muy satisfactorios, por ejemplo en la primera, a partir de impartida la charla, los operarios empezaron a utilizar el equipo de pH, temperatura, color, y a registrar de forma correcta los resultados de los parámetros medidos, esto fue de gran ayuda para la recolección de datos para el presente proyecto, gran parte de los datos recolectados fueron utilizados en la sección de evaluación y resultados del capítulo 4 en la sección de evaluación. La respuesta por parte de los operarios fue inmediata en cuanto a las recomendaciones brindadas durante el curso impartido.

La falta de conocimiento existente en los operarios con respecto a la operación de las plantas de tratamiento fue resuelta, con lo cual se pudo observar una mejoría en cuanto a la recolección de datos y participación de los operarios en los procesos técnicos de operación de cada planta.

En los talleres de capacitación se brindó información acerca del uso del equipo de laboratorio disponible en la Planta de Tratamiento El Tigre, para esto se realizaron ensayos de laboratorio junto con los operarios en los que se determinaron los valores de pH utilizando un pHmetro digital, medición de turbiedad mediante el uso de turbidímetro digital, medida de color mediante el uso de un colorímetro análogo, determinación de cloro residual mediante prueba Hach y prueba de jarras mediante equipo completo de prueba de jarras. (ver equipo de laboratorio en anexo 7).

También como parte de la capacitación se presentó el manual de operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento, dicho manual comprende un resumen de los talleres brindados, el manual contiene procedimientos operativos para cada uno de los procesos unitarios que comprenden las dos plantas de tratamiento. Contiene paso a paso las instrucciones que se deben seguir para la correcta operación y mantenimiento tanto de la Planta de Filtración Rápida El Tigre como para la Planta de Filtración Lenta Quebrada Tarbaca. El manual se puede observar en el anexo 10.

En la tabla 4.26 se presenta la respuesta por parte de los operarios y el administrador del acueducto a la capacitación brindada. El cuestionario de evaluación del curso fue aplicado a los seis operarios, al fontanero y a al Administrador de la ASADA (ver anexo 15 para ver respuestas de los operarios al cuestionario).

En la figura 4.25 se pueden observar fotografías de los talleres de capacitación brindados como parte del presente proyecto.

En la figura 4.26 se presenta un diseño de la planta de tratamiento El Tigre, realizado en un programa de dibujo de ingeniería, el diseño se hizo a partir de las dimensiones presentadas en los planos de AyA. Mediante la realización de este diseño fue posible presentar en los talleres, con detalle, cada una de las secciones de la planta de tratamiento; dichas ilustraciones representaron una herramienta fundamental para que los operarios pudieran entender el funcionamiento de la planta de tratamiento. (Para ver la totalidad de las imágenes ver anexo 10: Manual de Operación y Mantenimiento)

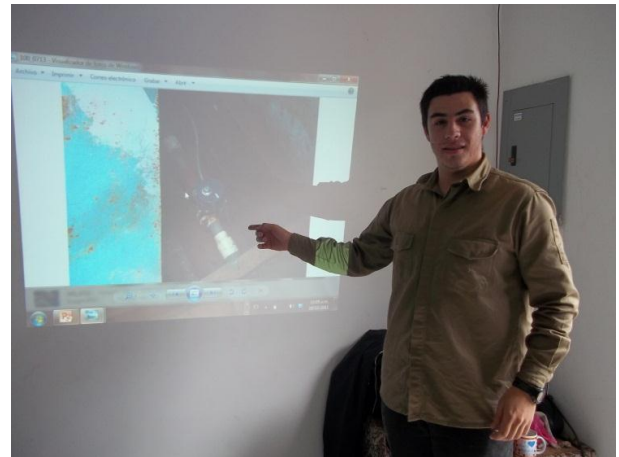
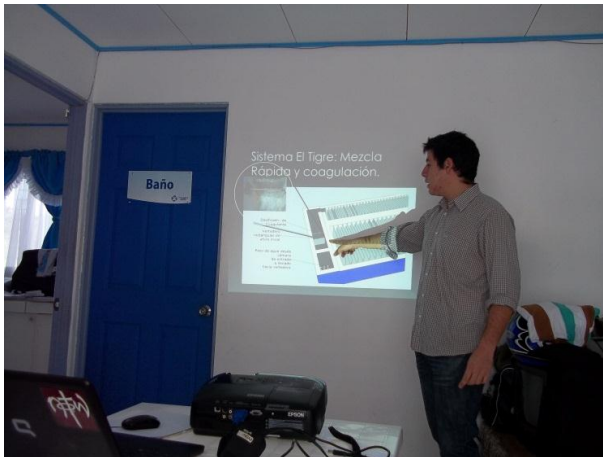
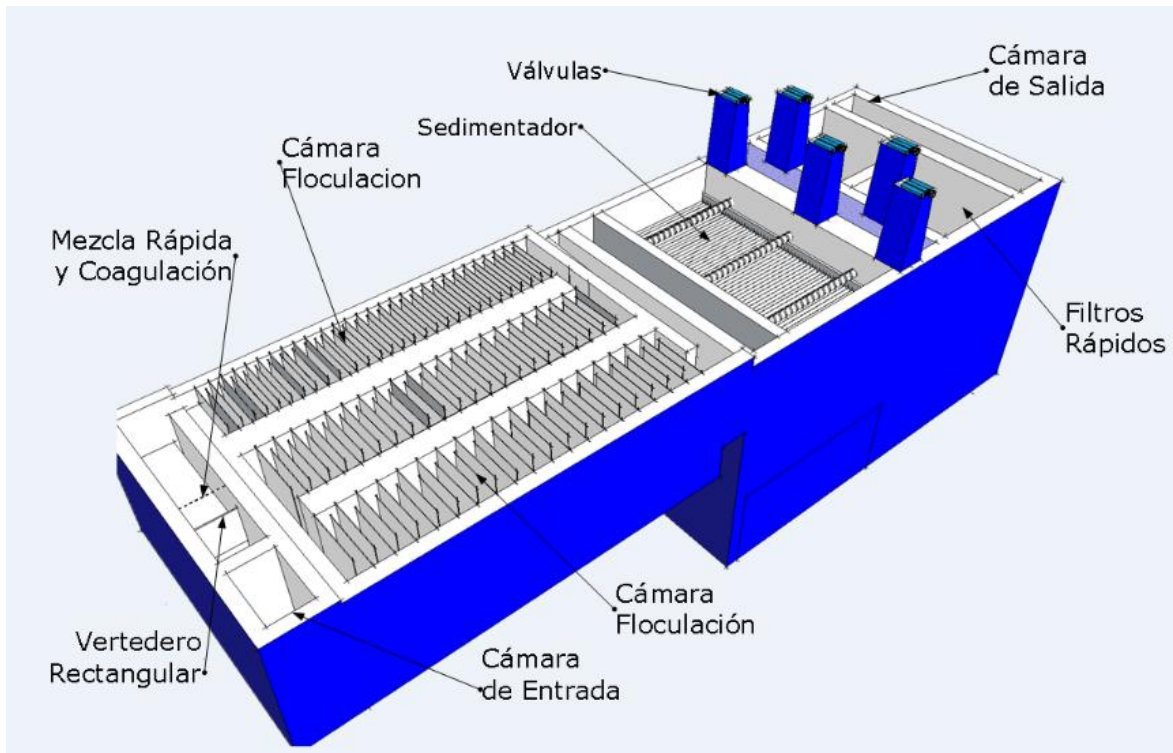


Figura 4.25 Imágenes fotográficas de los tres talleres de capacitación brindados al personal operativo de la ASADA San Gabriel. Fuente: Autor.

Tabla 4.26 Respuesta por parte de Operarios y Administrador de la ASADA hacia el curso de capacitación. Fuente: Elaboración propia.

Cuestionario	% de personas que consideran que Si	% de personas que consideran que No	Comentarios de los operarios y administrador de la ASADA.
Se siguió una secuencia lógica	100	0	"Se siguió una secuencia que permitió entender las siguientes etapas con mayor facilidad."
La forma presentación de la información fue clara	100	0	"La manera de impartir las charlas fue muy dinámica y el diálogo que existió entre el instructor y los operarios."
Los procedimientos prácticos fueron explicados con claridad	100	0	"Los instrumentos como manuales y fórmulas de control se elaboraron con una sencillez y de forma práctica, por lo que podrán ser utilizadas en todo momento."
El curso lo ayudo a mejorar en su desempeño laboral	100	0	"Considero que el conocimiento adquirido ya está causando resultados positivos en la operación de la planta."
Las tablas, figuras, diagramas tienen utilidad práctica para su labor	100	0	"Con las herramientas presentadas se facilita el trabajo y nos dan exactitud en el trabajo."
Opinión general			"Fue de gran ayuda para todos los operadores", " Me gustó mucho porque aprendí más", "muy importante para todos nosotros", "Muy claro y beneficiosa", "Todo entendible".



GOOGLESKETCH

Figura 4.26 Diseño realizado a partir de las dimensiones de los planos de AyA de la Planta de Tratamiento El Tigre. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Evaluación del Sistema de Filtración Rápida El Tigre.

En la figura 4.2 en la cual se presenta la frecuencia acumulada de las turbiedades de entrada a la planta de tratamiento, se puede observar que la mayor cantidad de datos se encuentra por debajo del valor de turbiedad de 45 UNT (cerca del 90%), de los meses de agosto a noviembre, los valores de color de la tabla 4.5 demuestran un valor bajo de color de entrada a la planta de tratamiento, presentando un promedio de 4,3 unidades de Pt-Co, la tabla 4.6 presenta un promedio de coliformes fecales de 2008 a 2011 de 470 NMP/100 mL. Al observar estos resultados se determina que en la mayoría del tiempo los parámetros físicos-bacteriológicos de entrada a la planta se encuentran en un rango bajo; según informes de AyA la planta de tratamiento El Tigre tiene la capacidad de procesar hasta 300 UNT, inclusive se le dio la orden a los operarios de parar el funcionamiento de la planta cuando los valores sean mayor a este dato; sin embargo según documentos de la OMS para la calidad del agua potable, plantas de tratamiento de tipo convencional como la del Sistema de Filtración Rápida El Tigre, pueden procesar hasta 800 UNT el 80% del tiempo con un valor de color menor a 150 UC el 90% de tiempo y menor a 600 NMP de coliformes/100ml el 90% del tiempo. Lo anterior nos permite concluir que de acuerdo a los parámetros de entrada de color, turbiedad y coliformes la planta de tratamiento está subutilizada, de acuerdo a su capacidad, se recomienda aumentar el nivel de turbiedad que pueda ser procesado por la planta. Ahora bien, para poder procesar mayor turbiedad es necesario aumentar la eficiencia que se encontró en el proceso de la Planta de Tratamiento, esto es posible y será discutido posteriormente en el presente capítulo.

Con respecto a los niveles críticos de los parámetros medidos de entrada a la planta El Tigre se presentan los resultados en la tabla 4.3 y figura 4.4, en estos se pueden observar los meses en los cuales los niveles de turbiedad de entrada son más altos, corresponden a los meses de septiembre y octubre del año 2011, y además tal como se observa en el gráfico, estos meses son los de mayor precipitación, por lo que se puede decir que la alta turbiedad se produce debido al arrastre de sedimentos y escorrentía que corre por el Rio Tigre y pasa al sistema de tratamiento. Permitiendo concluir que la época lluviosa afecta de manera directa la operación normal de la planta de tratamiento, sobre este tema se brindará mayor información posteriormente.

En la figura 4.3 se pueden observar valores de turbiedad de entrada promedio según la hora del día, las horas críticas se presentan de 11:00- 14:00 y de 00:00- 2:30, estas horas son comúnmente para el invierno de nuestro país horas del día en las cuales la precipitación es alta.

Los niveles altos de precipitación son críticos para el Sistema de Tratamiento El Tigre. Durante la época de invierno en la que las precipitaciones fueron mayores para el año 2011 (setiembre-octubre, tabla 4.3) aún no se conocía la dosis de coagulante que se debía aplicar, en función de la turbiedad, para mejorar la calidad del agua de salida, por lo tanto la planta de tratamiento tuvo que ser sacada de operación en repetidas ocasiones, esto porque la turbiedad de salida de la planta era mucho mayor a lo que la legislación nacional permite. Se concluye entonces que la determinación de la dosis correcta a suministrar de coagulante es fundamental para mejorar la calidad del agua en las épocas lluviosas, esto es, las épocas críticas para el Sistema El Tigre, sobre la dosis que se determinó de coagulante a aplicar por parte de AyA se discutirá posteriormente en el presente capítulo.

Continuando con la evaluación del sistema, en la tabla 4.6 se presentan los datos bacteriológicos de la Planta de Tratamiento. El Reglamento para la Calidad del Agua en Costa Rica establece que el valor de coliformes fecales debe ser negativo para el suministro de agua potable a la población. En esta tabla se puede observar que en la red de distribución siempre fue negativo el valor de coliformes fecales, cabe destacar que el parámetro de coliformes para la red de distribución de la tabla 4.6 se realizó tomando diferentes puntos de la red para cada una de las fechas, y en ningún punto el valor fue positivo, por lo anterior el agua servida cumple con la legislación en cuanto a posible transmisión de enfermedades. Sin embargo se debe poner atención al valor de 15 NMP de coliformes /100mL que se presenta en la muestra del tanque de almacenamiento de 150 m³, como se puede ver el valor de cloro residual en este punto es de 0,4 mg/L el cual es muy bajo para ser en un punto de inicio de la red de distribución; se recomienda por la OMS al menos 1 mg/L al inicio del Sistema de Tratamiento, el valor bajo de cloro residual representa un peligro en cuanto a posible presencia de bacterias patógenas. Lo anterior también podría deberse a suciedad en el tanque de almacenamiento por lo que se recomienda hacer un lavado periódico (una vez al mes de acuerdo a los valores bacteriológicos) de los tanques de almacenamiento.

Con respecto a los parámetros físicos-químicos del agua de entrada a la Planta de Tratamiento El Tigre, se presentan en la tabla 4.7 datos de calidad del agua para el Río Tigre, todos los valores cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable de Costa Rica.

Finalmente con respecto a la evaluación de acuerdo a parámetros de calidad del agua se determina que el agua de entrada a la planta de tratamiento El Tigre tiene durante la mayor parte del tiempo valores bajos, sin embargo existe una época crítica que corresponde a la época lluviosa en la cual por el arrastre de sedimentos del Río se presentan valores de turbiedad muy altos, en esta época la Planta de Tratamiento detiene su operación haciendo que se detenga también el suministro de agua a la comunidad, generando malestar e inconformidad en la población,

esto se puede resolver con la determinación correcta de la dosis de coagulante, ya que no sería necesario parar la operación a niveles tan bajos de turbiedad como los 100 UNT como se hace ahora.

También, tomando en cuenta el tiempo de vaciado de los tanques de almacenamiento, se pueden hacer paradas controladas sin cortar el suministro de agua, según la tabla 4.21 el caudal promedio de consumo para la Planta El Tigre es de 6,9 L/s y la capacidad de almacenamiento de esta planta es de 450000 L, con lo cual se determina que se requieren de aproximadamente 18 horas para que los tanques de almacenamiento se vacíen por completo, esto permite realizar paradas controladas sin controlar el suministro, tomando en cuenta que los tanques deben estar llenos cuando se realizan las paradas operativas.

Con respecto a los valores bacteriológicos se tiene un agua que cumple con los valores establecidos para garantizar la potabilidad del agua que se sirve en la comunidad de San Gabriel.

Vertederos

La tabla 4.8 presenta un resumen comparativo de las pruebas realizadas a los vertederos y se pudo ver que siempre existe una diferencia en cuanto a la medición de caudal de entrada con respecto al de salida, sin embargo es más recomendable según la figura 4.11 utilizar como parámetro de operación el caudal de entrada manual, tomando la medida con la regla directamente sobre el vertedero, tal como se explicó anteriormente en el capítulo 4.

Ahora bien, los valores de caudal varían con respecto al de entrada básicamente debido a problemas constructivos tales como las dimensiones del vertedero de entrada y abultamientos en la cámara de entrada, tal como se ve en la tabla 4.13 existen diferencias entre lo diseñado y lo construido en la cámara de entrada y en el propio vertedero, por lo anterior fue necesario realizar una calibración para la determinación del caudal mediante la medida manual, la tabla A.2 del anexo 10 Manual de Operación y Mantenimiento, presenta la forma de medir el caudal con la calibración, de esta forma se facilita la medida del caudal de entrada por parte de los operarios.

La tabla 4.9 presenta los valores de caudal medidos de septiembre a octubre de 2011 y se puede observar que por lo general se maneja un caudal cercano a los 12 L/s. El caudal de operación normal de la planta El Tigre, según AyA es de 15 L/s. Al manejar un caudal menor al de operación se verá afectada la dosis de coagulante cuando el sistema trabaje de forma manual, ya que la dosis óptima de coagulante que se presenta en la tabla 4.12 fue calculada para un caudal de 15 L/s, por lo anterior se recomienda que se trabaje con el caudal adecuado para la planta de tratamiento y no así uno menor. También, el Monitor de Coagulante Accufloc que se tiene en esta planta mide la intensidad de la carga eléctrica del agua tratada químicamente y está correctamente calibrado de acuerdo a la dosis de sulfato de aluminio que se debe suministrar de acuerdo a la turbiedad de entrada a la planta. Por lo anterior se puede concluir que el caudal con el que se está operando la planta actualmente es menor al caudal de diseño lo cual puede influir en la eficiencia del sistema de tratamiento cuando este se encuentre trabajando de forma manual.

Lo anterior se concluye tomando en cuenta que el cálculo de dosificación fue realizado para un caudal de 15 L/s y según los datos de caudal se está operando la planta con un caudal menor, esto hace que haya un desperdicio de coagulante y una disminución de la eficiencia, sobre la eficiencia se hablará más ampliamente a continuación. Ahora bien, se deberá entonces profundizar en el cálculo de diferentes dosis dependiendo del caudal que se maneje en la planta. Sin embargo por la naturaleza del sistema de dosificación se recomienda manejar una sola dosis de acuerdo a un único caudal, ya que en caso contrario el equipo Accufloc deberá ser calibrado cada vez que se trabaje a un diferente caudal.

Eficiencia del Sistema El Tigre.

La eficiencia del Sistema de Tratamiento el Tigre se evaluó de acuerdo a la turbiedad. Los sistemas de tratamiento de aguas potables están diseñados para remover principalmente la turbiedad y a medida que elimina este parámetro se remueven los otros contaminantes que afectan en la calidad del agua potable.

En la figura 4.12 se puede observar una eficiencia de remoción de turbiedad en el sedimentador de 52%, y un 68% en los filtros rápidos para un 84% de eficiencia de remoción de todo el sistema. La evaluación de la eficiencia en el sedimentador está supeditada a la eficiencia obtenida en los procesos unitarios de mezcla rápida, coagulación y floculación, ya que estos procesos se encuentran previos a la sedimentación. Por lo tanto al medir la remoción de turbiedad en muestras que salen del sedimentador, se está tomando en cuenta el buen funcionamiento de los anteriores procesos unitarios.

Si se toma en cuenta que la turbiedad de entrada a la planta promedio en agosto es de 19,08, en septiembre es de 34,41 y en octubre 45,39 UNT (tabla 4.3), con la eficiencia de remoción de un 52 %, tendríamos respectivamente, 9,15; 16,52; y 21,79 UNT de valores promedio de turbiedad al pasar por la coagulación, floculación y sedimentación para los meses de agosto, septiembre y octubre. Lo cual según documentos de OPS para evaluación de sistemas de tratamiento el valor de 9,15 UNT es una eficiencia muy buena, pero una turbiedad mayor a 15 UNT es una eficiencia regular, si se quisiera tener una eficiencia excelente o muy buena el valor de turbiedad de salida debería estar entre 5-10 y menor a 5 respectivamente, estos datos sin tomar en cuenta la filtración.

Para lograr estos valores de turbiedad la eficiencia en el sedimentador debería ser de al menos un 79% para el valor más crítico de turbiedad promedio. Por lo anterior se puede decir que la eficiencia en el sedimentador no es la óptima y puede ser mejorada. Estas mejores dependen en gran manera de la dosis de coagulante, al determinar la dosis óptima a suministrar se alcanza un crecimiento en la eficiencia.

La razón por la cual la eficiencia no es la óptima se debe a que durante el período de febrero a octubre la planta de tratamiento trabajó sin la determinación de esta dosis óptima de coagulante que se aplica en función del caudal y la turbiedad del agua cruda, por lo que el sistema Accufloc mencionado anteriormente se encontraba descalibrado, tal como se puede observar en la figura 4.16.

Esto afecta el proceso de coagulación, floculación y sedimentación debido a la no formación de flocs que sedimenten correctamente. La dosis de coagulante permite obtener un floc de acuerdo a la turbiedad, que pueda ser correctamente formado en la etapa de coagulación y floculación y además que pueda alcanzar un tamaño tal que su densidad sea mayor a la del agua; también para alcanzar una buena formación del floc es necesario tomar en cuenta la geometría y construcción de las secciones de los Floculadores, en la tabla 4.14 se pueden observar las inconsistencias constructivas de las secciones de láminas del floculador lo cual puede generar cortocircuitos, espacios muertos o formación de remolinos en el flujo del agua que impida que se forme un buen floc.

La eficiencia de los filtros es buena, esto lo podemos ver en la tabla 4.10 en la que se presentan los valores de turbiedad de salida, vemos que ninguno de los valores se encuentran por encima de lo establecido por la norma costarricense que serían 5 UNT. Aún en octubre cuando la operación de la planta de tratamiento fue crítica se mantuvo un promedio de turbiedad de salida de 1,76 UNT. La filtración remueve partículas suspendidas y coloidales presentes en la suspensión acuosa que pasa a través de un medio poroso. El medio poroso para esta planta de tratamiento está compuesto por diferentes tipos de grava y antracita los cuales atrapan partículas clarificando el agua de forma eficiente. En la figura 5.1 se puede observar la conformación de los filtros rápidos de la Planta El Tigre.

Lo anterior permite tomar en cuenta la posibilidad de utilizar el filtro y la desinfección como medios únicos de tratamiento, esto cuando no se tienen valores críticos de turbiedad, de hecho la Planta de Tratamiento El Tigre tiene la posibilidad de redirigir el agua de entrada directamente a los filtros.

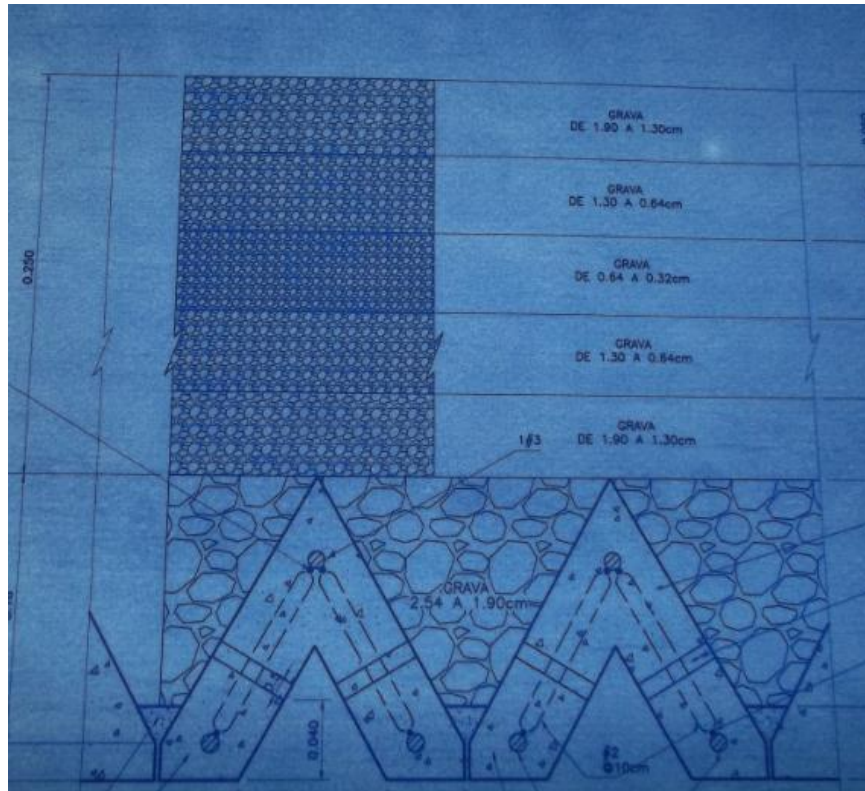


Figura 5.1 Conformación de gravas en filtro rápido de la Planta El Tigre.. Fuente: Planos de diseño AyA.

En conclusión, existe un gran potencial de aumento de la eficiencia del sistema. Tomando en cuenta que el presente estudio se realizó a seis meses del arranque operativo de la Planta de Tratamiento, se espera una mejora gradual con respecto al tiempo de la eficiencia de la planta, aunado a los aportes realizados en cuanto a capacitación y evaluación generados mediante la ejecución del presente proyecto. Con lo cual se recomienda una evaluación posterior a realizar a fin de determinar las mejoras esperadas.

Dosificación de coagulante

En la figura 4.13 se presenta un gráfico en el cual se observa la eficiencia promedio de salida de la planta de tratamiento para cada uno de los meses en los cuales se recolectó la información. Para noviembre se puede observar una eficiencia en el sedimentador de 49 %. Para el mes de noviembre el equipo Accufloc que suministra el sulfato de aluminio fue calibrado, esto quiere decir que todos los valores de eficiencia en remoción de turbiedad de este mes se realizaron con el equipo suministrando la dosis propuesta por AyA, (la dosis diseñada se puede observar en la tabla 4.12), sin embargo la eficiencia no fue mayor a la de algunos meses como octubre o julio en los cuales el equipo dosificó coagulante sin estar calibrado.

En la figura 4.16 se puede observar que el equipo de Accufloc no estaba calibrado para la aplicación de coagulante que se realizó en los meses de septiembre y octubre, ya que la dosis de sulfato de aluminio (mg/L) que se suministraba no fue consecuente con los cambios de turbiedad. En la figura 4.17 se observa el comportamiento de la dosis de acuerdo a la turbiedad durante el mes de noviembre y se puede ver una línea que tiene un comportamiento que va de acuerdo a los cambios en la turbiedad, sin embargo en la figura 4.18 se presenta un gráfico de puntos de sulfato de aluminio (mg/L) en función de la turbiedad (UNT), para este mismo mes y en esta figura se puede ver que el comportamiento no es lineal como se esperaría. Debido a esto se realizó una comparación entre la dosis experimental y la dosis teórica dada por la tabla 4.12; los resultados de esta comparación se pueden ver en las figuras 4.19 y 4.20. Se puede ver en la figura 4.19 que se está suministrando más sulfato de aluminio que el que se debería según la turbiedad de 15 a 60 UNT y en la figura 4.20 se está suministrando menos de acuerdo a la turbiedad de 50 a 150 UNT.

Esto lo que demuestra es que las pruebas de jarras realizadas para la determinación de la dosis de coagulante se deben hacer con más cantidad de puntos de turbiedad, ya que la dosis fue determinada de acuerdo a puntos que están más arriba de 30 UNT o sea dejando por fuera valores de turbiedad menores a 30 UNT y la cantidad de valores de turbiedad tomados de 50 a 150 son escasos y no todos están correctamente correlacionados. (se puede observar la curva de dosis en el anexo 16). Por lo anterior se concluye que la tabla de dosis puede ser utilizada por el momento, sin embargo son necesarias posteriores pruebas para ir corrigiendo y calibrando conforme pasa el tiempo, esta dosis para alcanzar la mayor eficiencia.

Cotejo de planos

En las tablas 4.13 y 4.14 se puede observar el cotejo de planos con lo construido y es evidente que existen inconsistencias constructivas con respecto a lo diseñado, esto puede afectar en la eficiencia, tal como se mencionó anteriormente.

De acuerdo a las normas de diseño, se debe establecer las dimensiones correctas de cada uno de los sistemas y cumplir con los requerimientos básicos o criterios de diseño de varios autores en este tema, sin embargo al no tener las dimensiones adecuadas es posible que existan inconsistencias de diseño con respecto a lo estipulado por diferentes autores, esto afectaría en la eficiencia de cada componente del sistema de tratamiento.

5.2 Evaluación del Sistema de Filtración Lenta Quebrada Tarbaca

Parámetros y eficiencia

En la tabla 4.15 se pueden observar los valores de turbiedad medidos con el tubo de turbiedad durante el mes de octubre. Estos valores no son tan precisos como aquellos que fueron medidos para la Planta El Tigre, esto se debe a que en la planta de tratamiento El Tigre se tiene equipo digital para la determinación de turbiedad, sin embargo el tubo de turbiedad es un equipo que la OPS recomienda para la medición IN Situ. En la tabla se puede observar que todas las turbiedades de salida se encuentran por debajo del valor de 5 UNT aceptado por la norma vigente y la turbiedad de entrada no es mayor a las 30 UNT aun cuando se midió la turbiedad para el mes crítico de turbiedad para la planta El Tigre, esto se debe a que las fuentes hídricas de esta planta de tratamiento fueron únicamente de nacientes durante el tiempo de lluvia, lo cual garantizó durante el tiempo del presente estudio un agua de calidad superior a la superficial que da la Quebrada Tarbaca. En tiempo de verano cuando el agua de las nacientes es más escasa se utiliza el agua de la fuente superficial Quebrada Tarbaca, esto podría aumentar la turbiedad.

En la tabla 4.16 se registran los parámetros bacteriológicos de diferentes puntos del Sistema Quebrada Tarbaca, destacan los valores en la cámara de entrada, los cuales son altos a pesar de que en las nacientes se tienen valores bajos y negativos de coliformes. Esto se debe a que durante la época de verano no solo se utiliza el agua de las nacientes sino también de la fuente superficial, Quebrada Tarbaca, en la cual existen descargas de aguas residuales de los vecinos de Tarbaca. Actualmente no existen análisis bacteriológicos realizados en la fuente Quebrada Tarbaca, sin embargo el valor alto de la cámara de entrada confirma el hecho de que existan aguas residuales domésticas vertidas en la Quebrada Tarbaca.

De acuerdo al problema anterior se recomienda realizar una revisión en conjunto con la municipalidad y reportar aquellas descargas que se están realizando de forma irregular, la ASADA San Gabriel tuvo una iniciativa al aplicar Planes de Seguridad del Agua en conjunto con diferentes entidades, el desarrollo de este plan permitirá corregir las irregularidades que se están dando en cuanto a la fuente Quebrada Tarbaca. En cuanto a la eliminación de coliformes y E Coli en los filtros, se puede observar que los filtros gruesos de grava, los cuales constituyen la primer fase de tratamiento del Sistema Quebrada Tarbaca, no son eficientes en la remoción de bacterias, mientras que el filtro lento si lo es. Tomando el valor de 1500 coliformes fecales/100mL, el cual es el dato más alto de coliformes fecales en la cámara de entrada, podemos ver que cuando pasa por los filtros gruesos el valor de coliformes disminuye a 750, teniéndose un 5% de porcentaje de eficiencia en remoción de bacterias para los filtros gruesos, mientras que una vez que pasa por el filtro lento el valor de coliformes desciende de 750 a 3,8/100mL para un porcentaje de eficiencia en remoción de bacterias de 99,5%. Este resultado es el esperado ya que los filtros gruesos horizontales de grava están diseñados para atrapar las partículas más gruesas, y eliminar la alta turbiedad para que se sirva un agua óptima para la filtración lenta de arena; la granulometría de las gravas existentes en los filtros gruesos del Sistema Quebrada Tarbaca va de forma gradual de la siguiente forma: el filtro 1 tiene grava de 12,5 a 19 mm, el filtro 2 tiene grava de 9,5 a 12,5 mm y el filtro 3 de 4,75 a 6,3 mm. Atrapando todas aquellas partículas que se encuentren por debajo de estos valores. En la figura 5.2 se pueden observar los tamaños de partículas de diferentes fuentes. Los filtros lentos de arena como el de la planta de tratamiento Tarbaca tienen un diámetro efectivo de partícula de 0,15-0,35 mm eliminando así gran cantidad de partículas suspendidas. Además los filtros lentos de arena constituyen un conjunto de mecanismos de naturaleza biológica y física, encima de la arena se forma una capa biológica que se alimenta de la materia orgánica que contiene el agua de entrada en la cual se eliminan partículas suspendidas, esto mejora la calidad microbiológica del agua.

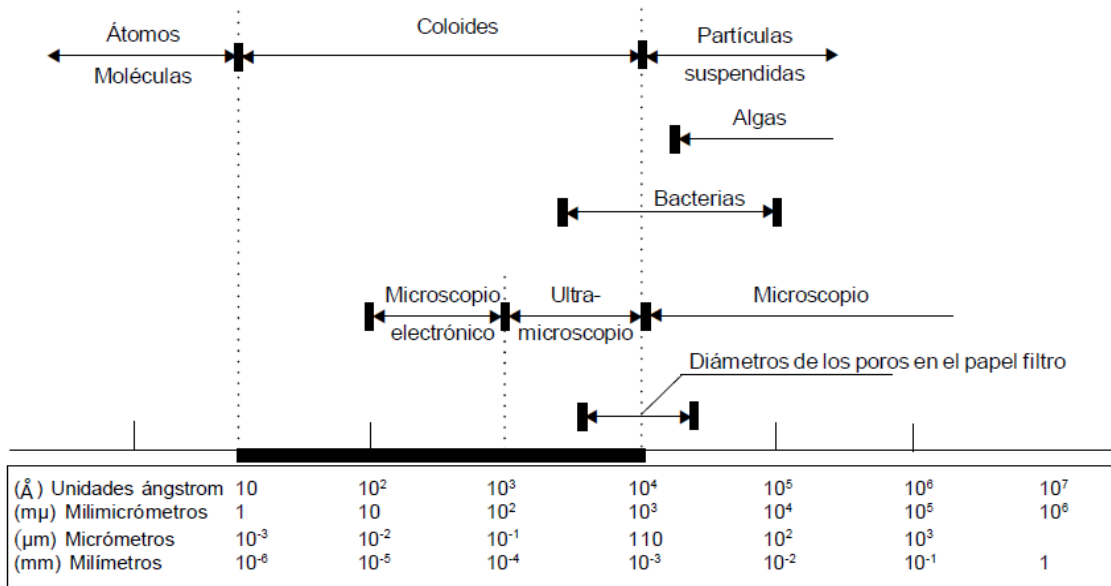


Figura 5.2 Distribución del tamaño de partículas. Fuente: Manual OMS

En la tabla 4.17 se presenta el resultado de medidas de parámetros físico químicos medidos en muestras de diferentes puntos del Sistema Tarbaca, se puede observar que todos los valores se encuentran por debajo de lo permitido por la norma nacional vigente.

Como parte de la eficiencia del sistema Quebrada Tarbaca es importante mencionar que actualmente el sistema cuenta con un problema en la medición automática de turbiedad. El sistema automático de turbiedad funciona mediante un medidor de turbiedad y válvulas que se cierran y se abren automáticamente de acuerdo a los valores de turbiedad que tenga el agua cruda que ingresa por la cámara de entrada; así cuando la turbiedad es mayor a 200 UNT el sistema automáticamente cierra las válvulas de entrada de agua a la planta de tratamiento. El sistema cuenta con dos válvulas, cada una con un valor de dos millones de colones y dichas válvulas se encuentran dañadas por lo que el sistema automático no está en funcionamiento.

Debido al costo de las válvulas no se ha resuelto la situación, por esta misma razón es muy importante que se siga un registro de la turbiedad de los caudales y turbiedad que entra y sale de la planta tal y como se enseñó a los operarios en los talleres de capacitación. Ahora bien, para eliminar el uso de estas válvulas el AyA en conjunto con la Escuela de Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica planificó realizar el diseño de un sistema de filtración gruesa dinámica, estos diseños ya se realizaron y están en poder del AyA para su evaluación y proceder con la construcción y así poder retirar las válvulas.

Aforos

En la figura 4.23 se presenta el resultado de la diferencia entre la medición volumétrica y con la fórmula aplicada al vertedero, el vertedero de entrada de la derecha se presenta una diferencia mayor al del resto, y en todos se presenta diferencia, esto se debe a la condición de los vertederos, ya que estos se encuentran oxidados y deteriorados, además su construcción y diseño es irregular. Esto se puede observar en la figura 5.3.



Figura 5.3 Vertedero de cámara de entrada de la Planta Tarbaca. Fuente: Autor.

Se determina que la medida volumétrica es más confiable que la medida con los vertederos, por lo tanto se recomienda volver a hacer los vertederos, calibrados correctamente de acuerdo a la medida volumétrica.

Dimensiones

Se observa una ligera diferencia en la tabla 4.19 de lo construido con respecto a lo diseñado en planos sin embargo no hay ningún valor en el que exista un problema significativo de incongruencia con respecto a lo construido.

En la tabla 4.20 se presenta la cantidad de arena en cada uno de los filtros lentos, según la teoría de OMS lo recomendado es al menos 1 metro de arena y se puede observar que se cumple con lo establecido.

5.3 Análisis de costos y consumo.

En la tabla 4.21 se presenta el resultado del consumo de agua por m³ por abonado, se puede observar que el consumo por abonado en el Sistema Tarbaca es mayor al del Tigre. Sin embargo el consumo total es mayor en El Tigre que del sistema Tarbaca puesto que son más abonados, el Sistema El tigre abastece a 1014 abonados mientras que el Sistema Tarbaca a 294, esto pues el sistema el Tigre tiene un caudal de 15 L/s de diseño de abastecimiento teórico a los tanques y el Sistema Tarbaca 5 L/s.

De acuerdo al consumo se establece una tarifa según la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos de \$1615,00 de tarifa básica y \$90,00 por m³. De estos valores y de acuerdo al consumo fueron calculados los ingresos presentados en las tablas 4.22 y 4.23 para los sistemas El Tigre y Tarbaca, respectivamente. El ingreso de El Tigre es obviamente mayor al de Tarbaca, sin embargo los gastos operativos del El Tigre son mayores también, debido a la compra de sulfato de aluminio y electricidad y agua.

De acuerdo a la tabla 4.22 y 4.23 es posible calcular también la relación de lo producido en agua potable por cada una de las plantas de tratamiento y lo facturado en metros cúbicos.

Para la planta El Tigre, tomando en cuenta que su producción de diseño es de 15 L/s, tendríamos para el período de abril-setiembre una producción de agua de 237168 m³ contra un consumo real en m³ de 113534. Ahora bien, esto tomando en cuenta que la planta haya operado las 24 horas al día sin ningún inconveniente, lo cual no es real, se tendría entonces un déficit de producción de acuerdo al diseño de 123634 m³ que se genera debido a paradas programadas y no programadas de la planta de tratamiento.

Para la planta Tarbaca, la cual tiene un caudal de diseño de 5 L/s tendríamos una producción teórica de 79056 m³ de agua potable producida contra un consumo real de 43633 m³ para el período de abril-setiembre; teniéndose un déficit de producción de 35423 m³.

En la tabla 4.21 se presenta una diferencia significativa entre el caudal de consumo y el caudal de entrada a cada una de las plantas de tratamiento. Para la planta el Tigre el caudal teórico de entrada es de 15 L/s y se tiene 6,9 L/s de caudal de consumo; para la planta Tarbaca se tienen 5 L/s de caudal teórico de entrada y se tiene un caudal de consumo de 2,44 L/s.

Según información provista por los operadores de la ASADA San Gabriel cada vez que llenan los tanques de almacenamiento, estos no tienen forma de parar la producción de agua, por lo que se rebalsan, dándose pérdidas de agua clarificada, esto explica los resultados obtenidos de estas tablas (4.21,4.22 y 4.23). Se recomienda la implementación de un sistema de boya que permita el parado de las plantas una vez que se llenen los tanques.

Con respecto al gasto de sulfato de aluminio en la planta de tratamiento EL Tigre, en la tabla 4.25 se observa el gasto por concepto de compra de este químico coagulante. Se pretende determinar un ahorro anual tomando en cuenta que no se use sulfato de aluminio cuando la turbiedad es menor a 10 UNT, este resultado basado en datos experimentales presentados en la tabla 4.11 en la cual se presentan resultados de operación de la planta cuando no se está suministrando sulfato de aluminio, se puede observar que en todos los casos la turbiedad de salida de la planta cumple con lo establecido por la normativa vigente. Por lo anterior se podría reducir el uso de sulfato de aluminio en los meses en los que la turbiedad es baja. (Enero-julio, noviembre-diciembre). Según manuales de OMS cepis (2004) : “Un agua que presenta color (de origen coloidal) y turbiedad relativamente baja a temperatura superior a 15 °C, sin tomar en cuenta los demás parámetros de calidad, puede ser candidata potencial al uso de filtración directa y se obviará, en la mayoría de los casos, la necesidad de floculación y sedimentación”.

Esta reducción de sulfato en estos meses permitiría un ahorro de aproximadamente \$1.110.172,00 anual, tomando en cuenta un 12% de aumento anual en el precio del kilo de sulfato. Si se proyecta a 10 años sería un ahorro de \$19.482.114,00 en ahorro de sulfato

Con respecto a la no aplicación de coagulante en la planta, esto implicaría que los filtros rápidos se encargarían del proceso de purificación del agua, tal y como se mencionó anteriormente en el presente capítulo, estos filtros tienen la capacidad de soportarlo. Sin embargo sería necesario un lavado más continuo de los filtros, ya que estos se llenarían de impurezas de forma más rápida que cuando se está aplicando coagulante.

5.4 Comparación entre plantas.

Tabla 5.1 Comparación operativa de los sistemas de tratamiento. Fuente: Autor.

Sistema de Tratamiento de Filtración Rápida El Tigre.	Sistema de Tratamiento de Filtración Lenta Quebrada Tarbaca.
Caudal de diseño: 15 L/s, operación teórica de 24 horas al día con paradas en épocas críticas, 1 operario.	Caudal de diseño: 5 L/s, operación 24 horas al día, 1 operario.
Fuente superficial	Fuente superficial y subterránea.
Tuvo que pararse la operación en repetidas ocasiones durante la época de lluvia, ocasionando molestia en la población por la falta de agua.	Durante la época de lluvia hay más agua en las nacientes por lo que no es necesario usar el agua de la Quebrada Tarbaca.
El costo de operación es aprox. ₡59/m ³ debido a la compra de sulfato de aluminio y debido a la electricidad del sistema de dosificación.	Costo de operación es de ₡49/m ³ aproximadamente.
Es necesaria la vigilancia constante debido a la limpieza de los filtros del Accufloc, ya que sin este procedimiento que se lleva a cabo aproximadamente cada media hora, el sistema de dosificación no sirve.	La planta tiene la posibilidad que en caso de alguna eventualidad se quede sin la supervisión de algún operario y pueda operar sin ningún problema.
La limpieza de los filtros rápidos se debe realizar al menos cada 12 horas por filtro (son dos filtros).	La limpieza de los filtros gruesos es semanal y la limpieza del filtro lento es aproximadamente cada seis meses.
Si la turbiedad es alta y se va la electricidad, el sistema no puede operar debido a que no se puede aplicar coagulante ni cloro.	No hay problema de que se vaya la electricidad o el agua, la planta puede continuar su operación. La cloración es un sistema manual y puede continuar si hay cloro disponible.
La eficiencia de la planta es susceptible a la turbiedad y caudal de entrada dado que la dosis de sulfato se debe cambiar, esto ocasiona cambios en la eficiencia.	La eficiencia varía únicamente de acuerdo la saturación de los filtros, lo cual se puede resolver lavándolos.
La limpieza de sus procesos unitarios ocasiona problemas al suministro de agua potable.	La limpieza de los filtros gruesos compromete por unas horas, no afecta el suministro de agua, dado que existen dos filtros lentos y operan en paralelo.
Capacidad de almacenamiento: 450 m ³	Capacidad de almacenamiento: 100 m ³ .

De acuerdo a la tabla 5.1 se determina que la mayor cantidad de beneficios, para un sistema de tratamiento de agua potable para comunidad rural, se encuentran en la filtración lenta y no así en la de filtración rápida, por la dificultad y costo de operación. De acuerdo al estudio realizado en ambas plantas de tratamiento, se percibió por parte del personal operativo de la ASADA y el personal Administrativo una preferencia por el sistema Quebrada Tarbaca, los funcionarios mencionan que por la facilidad de operación y los resultados obtenidos de la calidad del agua prefieren este sistema por encima de la planta El Tigre. El administrador de la ASADA comenta que por fallas operativas, por altos costos de operación, así como la necesidad de conocimiento técnico por parte del personal, la planta El Tigre ha representado un verdadero reto para la ASADA de San Gabriel de Aserrí. En cuanto a este tema cabe mencionar la posibilidad de haber implementado también el Sistema de filtración lenta en la fuente El Tigre, de acuerdo a la calidad del agua de la fuente del Río Tigre se considera que era posible la construcción de un sistema de filtración lenta. Según la OPS, los límites de calidad del agua para poder construir un sistema de filtración lenta que incluya filtros gruesos de grava y un sedimentador, son 100 UNT el 90% del tiempo o en su defecto <50 UNT el 80 %, <15 Unidades de color el 90% y 3000 NMP de coliformes fecales/100 mL, de acuerdo a los resultados obtenidos para la fuente El Tigre presentados en el capítulo 4, efectivamente se cumplen estos parámetros, teniéndose 45 UNT del 90% de los resultados medidos (figura 4.2), 4,3 Unidades de color promedio (tabla 4.5) y un valor máximo de 2400 NMP/ 100 mL de coliformes fecales (tabla 4.6). Se puede concluir entonces que de acuerdo a los estándares de la OPS era posible la construcción de un sistema de filtración lenta para la fuente El Tigre.

5.5 Capacitación

Las plantas de tratamiento de la Asociación Administradora del Acueducto de San Gabriel de Aserrí están en todo tiempo siendo resguardadas por los operarios. Los operadores deben cumplir con funciones técnicas, para garantizar la correcta operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento. Es de vital importancia que los operadores cuenten con conocimiento técnico básico para el correcto control de las funciones de las plantas de tratamiento. La mayoría de los funcionarios operativos contratados por la ASADA de San Gabriel no contaban con ningún conocimiento técnico antes de la implementación de este proyecto y ninguno de ellos cuenta con un título técnico o de algún tipo que lo acredite para las labores operativas de una planta de tratamiento de agua potable.

Para la operación técnica de las plantas, la ASADA de San Gabriel cuenta con seis operarios de planilla fija y uno que acude en caso que se suscite alguna eventualidad. Sus nombres son Humberto Hidalgo Segura, Miguel Moreno Fonseca, Carlos Chavarría Sandí, Juan Carlos Ríos Garro, Rodrigo Mora Almonte y Daniel Mora Ríos.

El señor Humberto Hidalgo Segura posee conocimiento empírico adquirido en diez años de trabajo en la planta de tratamiento de agua potable de Aserrí, y en los años de trabajo en el Acueducto de San Gabriel.

Cuando la planta de tratamiento el Tigre entró en operación fue el señor Hidalgo quien brindó su conocimiento para las labores operativas de arranque del sistema y de operación normal posterior, esto fue necesario debido a que en la ASADA de San Gabriel no se tenía conocimiento sobre la operación de sistemas de tratamiento de filtración rápida sino únicamente de filtración lenta por la planta de filtración lenta Quebrada Tarbaca, la cual inició su operación en el año 2005. Además no recibieron por parte de AyA capacitación ni suministro de manuales de operación de los sistemas, suscitándose incertidumbre y fallas en cuanto a la operación de la planta El Tigre.

Don Humberto fue quien tomó la iniciativa de las labores técnicas cuando la planta El Tigre empezó a operar, él brindó capacitación rápida y mínima a sus compañeros operarios. Sin embargo era necesaria la adquisición de conocimiento teórico-práctico más especializado para una operación para ambas plantas de tratamiento.

Por la razón anteriormente expuesta fue que se decidió impartir un curso mediante talleres a los operarios de la ASADA de San Gabriel en cuanto a la correcta operación y mantenimiento de ambas plantas de tratamiento.

Como se puede observar en la tabla 4.26 todos los operarios sintieron que se siguió una secuencia lógica para la explicación de los temas, además consideran que fue clara la información y que pueden aplicarla en un futuro. Cabe destacar que los resultados de la capacitación fueron muy beneficiosos en cuanto a un cambio en la mentalidad de los operadores hacia una mejora de su trabajo, así como la aplicación de los procedimientos mostrados en los talleres. A partir de las capacitaciones, los operarios de la planta el Tigre cambiaron su forma de operación de la planta, esto se evidenció en la bitácora de seguimiento del trabajo diario que se tiene en la planta de tratamiento y en la forma de registro de los parámetros físico químicos. El plan técnico de operación fue exitosamente impartido a los operarios quienes tuvieron una respuesta satisfactoria.

La capacitación se resume en los manuales de operación, en dichos manuales se encuentra toda la información que se suministró durante el curso impartido a los operarios, por lo que el manual es una herramienta de gran ayuda para el refrescamiento de los conceptos y procedimientos establecidos durante el curso.

Los operarios son contratados con un bajo perfil, se escogen personas con baja escolaridad para que cumplan funciones de guardas, sin embargo las plantas de tratamiento de la ASADA de San Gabriel exigen que el operario sea una persona técnicamente calificada para el trabajo, se le debe prestar mayor atención al personal de trabajo y contemplar su entrenamiento para garantizar una operación satisfactoria de las plantas de tratamiento.

CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones: Planta de Tratamiento El Tigre

- La mayor cantidad de datos de turbiedad de entrada a la planta El Tigre (cerca del 90%) se encuentran por debajo del valor de 45 UNT, se presenta un valor promedio de color de entrada de 4,3 Unidades de PT-Co y un promedio de coliformes fecales de 470 NMP/ 100 mL. Permitiendo concluir que en la mayor parte del tiempo los parámetros físicos bacteriológicos de entrada a la planta El Tigre se encuentran en un rango bajo.
- Los meses en los cuales es crítica la operación en la planta de tratamiento el Tigre son aquellos en los que hay una alta precipitación, en estas épocas los valores de turbiedad son mayores a los 300 UNT, llegando inclusive a valores mayores a los 400 UNT. En estos meses se debe tener mayor control operativo para disminuir el racionamiento de agua a la población
- Se determinó que la planta de tratamiento El Tigre tiene un 100% de efectividad en cuanto a eliminación de microorganismos, cumpliendo así con la norma nacional vigente en cuanto al tema de transmisión de enfermedades por medio del agua.
- Se preparó una tabla de calibración de caudal de acuerdo a la altura medida, permitiendo una certeza en cuanto al registro por parte de los operarios del caudal de entrada y de salida de la planta de tratamiento.

- La eficiencia promedio de remoción de turbiedad de la planta de tratamiento el Tigre es de un 84%, la de los filtros es de 68% y la de coagulación, floculación sedimentación es de 52%. Estos porcentajes tienen un alto potencial de aumento, hasta llegar a un valor de al menos 65% en el sedimentador de acuerdo a las recomendaciones brindadas en el presente proyecto y a mejoras en la dosis de coagulante.
- La eficiencia de los filtros rápidos de la planta de tratamiento El Tigre es muy buena, tomando en cuenta que este proceso unitario remueve las impurezas que no fueron eliminados en los anteriores procesos unitarios, y se registró que siempre se cumple con la norma de turbiedad.
- Con respecto a la aplicación de cloro del sistema El Tigre, se determinó que este sistema automatizado es efectivo y no genera mayores inconvenientes; es fácil de operar y no tiene fallas.
- Se determinó que los planos de diseño difieren en cuanto a dimensiones con respecto a lo construido, lo cual afecta la operación de la planta de tratamiento, la eficiencia del sistema se ve afectada por incongruencias constructivas que generan fallos en el funcionamiento de los sistemas; por ejemplo una pendiente mayor en los Floculadores genera cortos circuitos en el flujo, haciendo que los flocs no se formen de manera adecuada, esto afectaría el proceso de sedimentación posterior y finalmente la eficiencia total del sistema.
- Se determinó que la planta de tratamiento el Tigre está operando con un caudal menor al de diseño, opera con 12 L/s y debería operar con un valor cercano a 15 L/s, lo cual puede afectar la eficiencia del sistema de acuerdo a la dosis de coagulante, ya que el equipo de dosificación se encuentra calibrado de acuerdo al caudal de diseño.

- El agua producida por la planta El Tigre tiene una calidad potable de acuerdo a los parámetros definidos por el Reglamento para la Calidad del Agua Potable de Costa Rica y existe un gran potencial de mejora en la calidad del agua procesada por la planta.
- Con el equipo Accufloc calibrado de acuerdo a la dosis de coagulante determinada por AyA, es posible alcanzar un ahorro de ₡819.934,00 anual, en comparación con el suministro de coagulante que se realizaba antes de la calibración del equipo.
- La planta de tratamiento el Tigre puede trabajar sin sulfato de aluminio para turbiedades menores a 10 UNT, con la implicación de que los filtros se saturan más rápido logrando un ahorro en costos operativos del orden de ₡1.110.172,00 anuales.
- De acuerdo a los resultados obtenidos para la fuente El Tigre presentados en el capítulo 4 del presente proyecto, se tiene una turbiedad de 45 UNT del 90% de los resultados medidos (figura 4.2), 4,3 Unidades de color promedio (tabla 4.5) y un valor máximo de 2400 NMP/ 100 mL de coliformes fecales (tabla 4.6). Se puede concluir entonces que de acuerdo a los estándares de la OPS era posible la construcción de un sistema de filtración lenta para la fuente El Tigre.
- La planta de tratamiento El Tigre abastece a 1024 abonados los cuales alcanzaron un consumo real de agua potable, el período comprendido de abril a setiembre de 2011, de 113534 m³, contra una producción teórica (24 horas al día/7 días a la semana) calculada de acuerdo al caudal de diseño (15 L/s) de 237168 m³. La diferencia con respecto a lo teórico se debe a paradas operativas de la planta de tratamiento, rebalse de los tanques de almacenamiento y un caudal menor de operación.

- La capacitación fue exitosa en cuanto a agrado por parte de los operarios y su respuesta hacia las recomendaciones brindadas, esto se evidenció en mejoras operativas y registro de la información.
- La capacitación en cuanto al entendimiento de los procesos unitarios que comprenden la Planta El Tigre fue de gran ayuda para que los operarios entendieran la forma correcta de operación de dicha planta.
- El uso de ilustraciones y diseños de fácil entendimiento facilitó la presentación de la información a los operarios durante los talleres de capacitación, resultando en una respuesta positiva por parte de los operadores.
- El Manual de Operación y Mantenimiento realizado para la planta de tratamiento El Tigre de tratamiento era de imperativa necesidad para documentar la forma correcta de operar esta planta, la cual tiene un nivel técnico que requiere de procedimientos estandarizados para su operación exitosa, este manual está siendo utilizado actualmente por los operarios de la planta de tratamiento.
- La capacitación proyectó una mejoría en cuanto a la operación de las plantas, registrándose en las actividades operativas que los operarios datan en la bitácora y en las fichas de parámetros químicos físicos y de caudal; estas fichas no se llenaban anteriormente, después del proyecto se están utilizando para registrar correctamente la información operativa de la planta El Tigre.
- Se determinó un costo aproximado de producción de agua para esta planta de $\$59/m^3$.

6.2 Recomendaciones: Planta de Tratamiento El tigre

- Se recomienda sostener los picos de turbiedad durante la época de lluvia bajando el caudal en el desarenador cuando la turbiedad sea muy alta en El Río Tigre, de esta forma se disminuye la afluencia de agua sucia.
- Se recomienda hacer un lavado periódico (cada dos meses) de los tanques de almacenamiento de agua que están fuera de la planta de tratamiento para eliminar la posible acumulación de microorganismos patógenos producto de la suciedad acumulada en las paredes de los tanques.
- En la eventualidad que haya que suspender la operación de la planta de tratamiento se recomienda hacer paradas controladas, esto incluye cuando hayan picos de turbiedad o en caso de mantenimiento preventivo, para no detener el suministro de agua a la población se debe tomar en cuenta que los tanques de almacenamiento y suministro tardan 18 horas en vaciarse, sosteniendo el consumo, de tal manera que se cuenta con este tiempo para la parada operativo de la planta. Es importante tomar en cuenta también el tiempo que toma la planta en recuperar el suministro a los Tanques de Tratamiento, el cual es de aproximadamente hora y media.
- Se recomienda operar el sistema con un caudal cercano al de diseño, es decir aumentar el caudal de operación actual, ya que es menor al de diseño. Esto afecta la eficiencia del sistema ya que la coagulación se encuentra calibrada de acuerdo a este caudal, ahora bien también se recomienda calibrar el sistema de acuerdo a un caudal menor cercano al que se está operando actualmente, dado la cantidad de agua que no se está consumiendo, determinado en el estudio de consumo.

- Se recomienda la implementación de un sistema de boya que permita el parado de las plantas una vez que se llenen los tanques de almacenamiento.
- Se recomienda corregir los planos de la planta de acuerdo a lo construido, ya que se encontraron inconformidades en la construcción de acuerdo a los planos de diseño; con los resultados de las mediciones realizadas en el presente proyecto es posible, la corrección de estos planos.
- Se recomienda seguir un monitoreo de la turbiedad de acuerdo a la nueva dosis sugerida por AyA, la curva de dosis realizada debe ser revisada por personeros de AyA y recalibrada.
- Se recomienda la planificación y ejecución de un futuro proyecto en esta planta de tratamiento para el tratamiento del agua del lavado de los filtros rápidos, ya que esta es agua contaminada que está siendo desechada al río.
- Se recomienda proyectar y ejecutar futuros entrenamientos para los operarios de la planta, con el objetivo de refrescar los conceptos que adquirieron los operarios en los talleres de capacitación.
- Se recomienda la contratación de personal operativo capacitado para la operación de las plantas o en su defecto la visita de profesionales en el tema que puedan brindar capacitación periódica al personal operativo de la ASADA San Gabriel.
- Se recomienda tener a mano el Manual de Operación y Mantenimiento realizado en la planta de Tratamiento para referencias de operación diarias.

- Se recomienda mantener la operación de las plantas las 24 horas del día para evitar el racionamiento de agua producto del vaciado de los tanques, no parar la operación durante las madrugadas a menos que sea estrictamente necesario y planificado con anterioridad.
- Se recomienda realizar un proyecto de estudio de consumo vs. Capacidad real de producción para determinar la causa de las pérdidas de agua tratada y disminuir esta problemática encontrada.

6.3 Conclusiones: Planta de Tratamiento Quebrada Tarbaca

- Los valores de turbiedad medidos de entrada a la planta de tratamiento no superan las 30 UNT, aun cuando se midió la turbiedad para los meses críticos de precipitación, esto debido a la fuente hídrica que es subterránea (nacientes), esto significa que la calidad de las nacientes es superior a la fuente superficial, dando un nivel de turbiedad bajo aún en meses críticos de turbiedad para la planta El Tigre.
- El 100% de los valores de turbiedad de salida de la planta de Tratamiento Quebrada Tarbaca se encuentran por debajo del valor de 5 UNT, valor mínimo establecido por la legislación para la calidad del agua potable.
- Los valores altos de coliformes fecales (entre 900 y 1500 NMP /100 mL) registrados en la cámara de entrada del Sistema Quebrada Tarbaca son producto de las descargas de aguas residuales en la fuente superficial.
- El filtro lento de la planta Tarbaca tiene una alta eficiencia en cuanto a eliminación de bacterias, de acuerdo a los resultados presentados en el capítulo 4, para el agua de salida se cumple con el parámetro establecido en cuanto a Coliformes Fecales y E. Coli en el 100% de las ocasiones, estableciendo la alta eficiencia en cuanto al nivel de purificación de estos sistemas de filtración lenta.
- El sistema de filtros gruesos de la planta de tratamiento Quebrada Tarbaca reduce la turbiedad con una alta eficiencia en todas las ocasiones en las que se midió, teniendo valores de turbiedad en la entrada de 20 UNT y disminuyendo este nivel después de los filtros gruesos hasta valores menores a las 5 UNT.

- Es posible medir el caudal mediante método volumétrico en la planta Quebrada Tarbaca, también se determinó una tabla de calibración para medir el caudal utilizando los vertederos instalados en la planta de tratamiento.
- Con respecto a la aplicación de cloro del sistema Quebrada Tarbaca, se determinó que este sistema manual es efectivo para la aplicación de cloro sin embargo es poco preciso, lo cual genera dificultad para determinar la dosis de cloro correcta a aplicar, sin embargo el sistema es fácil de operar y no tiene fallas.
- Para la planta Tarbaca, la cual tiene un caudal de diseño de 5 L/s se calculó una producción teórica (24 horas al día/7días a la semana) de 79056 m³ de agua potable producida contra un consumo real de 43633 m³ para el período de abril-setiembre. La diferencia con respecto a lo teórico se debe a paradas operativas de la planta de tratamiento, rebalse del tanque de almacenamiento y un caudal menor de operación.
- Se determinó una ligera diferencia de las dimensiones de los planos de diseño con respecto a lo construido, sin embargo no hay ningún valor en el que exista un problema significativo de incongruencia que pueda afectar la eficiencia del sistema.
- La capacitación fue exitosa en cuanto a agrado por parte de los operarios y su respuesta hacia las recomendaciones brindadas.

- La capacitación proyecto una mejoría en cuanto a la operación de la Planta de Tratamiento Quebrada Tarbaca, evidenciándose en el registro de los datos y respuesta por parte de los operarios.
- La operación de la planta de tratamiento Quebrada Tarbaca es más asequible a la realidad de la ASADA San Gabriel que la planta El Tigre, de acuerdo a las características de costo y dificultad de operación de la planta El Tigre se determina que el sistema de filtración lenta es más recomendable para comunidades rurales que los sistemas de filtración rápida.
- Se determinó un costo aproximado de producción de agua para esta planta de $\text{¢}49/\text{m}^3$.

6.4 Recomendaciones: Planta de Tratamiento Quebrada Tarbaca

- Se recomienda la implementación de un plan de protección al recurso Quebrada Tarbaca mediante el seguimiento de Planes de Seguridad del Agua, iniciados por la ASADA San Gabriel, esto para evitar la contaminación por aguas residuales que se están dando actualmente.
- Los vertederos de la planta quebrada Tarbaca pueden mejorar su medición, se recomienda construir nuevos vertederos en esta planta, ya que los existentes se encuentran oxidados e irregulares, por lo que se pueden tener inconsistencias en la medida del caudal, para esto se recomienda calibrar los vertederos utilizando el método volumétrico como comparación.
- Se recomienda la instalación de un sistema automatizado como el que se tiene en la planta El Tigre para la dosificación del cloro, ya que esto permite disminuir los errores de precisión en cuanto a la dosis que se debe suministrar.
- Se recomienda proyectar futuros entrenamientos para los operarios de la planta.
- Se recomienda la construcción de un sistema de filtración gruesa dinámica para esta planta y así tener la capacidad de procesar mayor turbiedad en épocas críticas además de disminuir costos operativos por el sistema de medición de turbiedad electrónico que requiere la operación de las válvulas de alto costo.

- Se recomienda seguir las indicaciones presentadas en el Manual de Operación y Mantenimiento en cuanto a lavados del sistema (filtros gruesos y filtros lentos) y registro diario de datos físicos (turbiedad y caudal).
- Se recomienda tener a mano el Manual de Operación y Mantenimiento realizado en la planta de Tratamiento para referencias de operación diarias.
- Se recomienda mantener la operación de las plantas las 24 horas del día para evitar el racionamiento de agua producto del vaciado de los tanques, no parar la operación durante las madrugadas a menos que sea estrictamente necesario y planificado con anterioridad.

BIBLIOGRAFÍA

ASADA de San Gabriel, *registros e información provista mediante entrevistas*.

Arellano, J. (2002). *Introducción a la Ingeniería Ambiental*. Mexico, D.F.: Alfaomega.

Arias, L. (2011). *Decimoséptimo Informe del Estado de la Nación para Costa Rica: Sector Agua Potable y Saneamiento*. Costa Rica: Estado de la Nación de Desarrollo Humano Sostenible.

Barrenechea, A. (2004). *Tratamiento de Agua para Consumo Humano: Manual I Capítulo 4 Coagulación*. Lima: OPS/CEPIS.

Colin, F., & Quevauviller, P. (1998). *Monitoring of Water Quality*. Oxford: Elsevier Science.

De Vargas, L. (2004). *Tratamiento de Agua para Consumo Humano: Manual I Capítulo 3 Procesos Unitarios y Plantas de Tratamiento*. Lima: OPS/CEPIS.

Gray, N. (2008). *Drinking Water Quality*. Cambridge: Cambridge University Press.

Henry, J., & Heinke, G. (1999). *Ingeniería Ambiental*. Mexico: Prentice Hall.

Imbach, P., Imbach, A., & Umaña, C. (2009). *Informe Proyecto Río Frío: Análisis de las ASADAS de Guatuso y los Chiles, Costa Rica*. Costa Rica: INBIO.

Ministerio de Salud, OPS, AyA. (2004). *Calidad del agua potable en Costa Rica: Situación actual y perspectivas*. San José: Ministerio de Salud.

OPS/CEPIS. (2004). *Filtración rápida : Manual I Teoría*. Lima: Versión Electrónica.

OPS/CEPIS. (2004). *Plantas de Filtración Rápida: Manual II Diseño de plantas de Tecnología apropiada*. Lima: Versión Electrónica.

OPS/CEPIS. (2004). *Plantas de Filtración Rápida: Manual III Evaluación de Plantas de Tecnología Adecuada*. Lima: Versión electrónica.

OPS/CEPIS. (2004). *Plantas de Tratamiento de Filtración Rápida : Manual IV Operación, Mantenimiento y Control de Calidad*. Lima: Versión Electrónica.

OPS/CEPIS. (2004). *Tratamiento de Agua para Consumo Humano: Manual IV Capítulo 1 Criterios Generales de Operación*. Lima: Versión Electrónica.

OPS/CEPIS. (2005). *Guía para el Diseño de Sistemas de Tratamiento de Filtración en Múltiples Etapas*. Lima: Versión Electrónica.

World Health Organization. (2011). *Guías para la Calidad del Agua Potable de la OMS*. Recuperado el 04 de Julio de 2011, de http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/dwqtraining/es/

World Health Organization. (2011). *Sobre OPS*. Recuperado el 04 de julio de 2011, de http://new.paho.org/hq/index.php?option=com_content&task=view&id=91&Itemid=220

World Health Organization. (2011). *Tópicos de Salud*. Recuperado el 04 de Julio de 2011, de http://new.paho.org/hq/index.php?option=com_joomlabook&Itemid=260

World Health Organization. (s.f.). *Water Treatment*. Recuperado el 04 de Julio de 2011, de http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/S12.pdf

ANEXOS

Anexo 1 Imágenes de la zona de San Gabriel



Figura A.1 Paisaje San Gabriel. Fuente: Autor.

Anexo 2 Oficina de la ASADA San Gabriel ubicada en el centro de San Gabriel, frente a la escuela del distrito.



Figura A.2 Oficina del Acueducto de San Gabriel. Fuente: Autor.

Anexo 3 Pocket PC utilizada para el registro de m³ de agua consumidos por cada usuario del servicio del acueducto.



Figura A.3 registro de medidores de la ASADA San Gabriel. Fuente: Autor.

Anexo 4 Mapa del acueducto principal que maneja la ASADA para
ubicación de nuevos servicios.

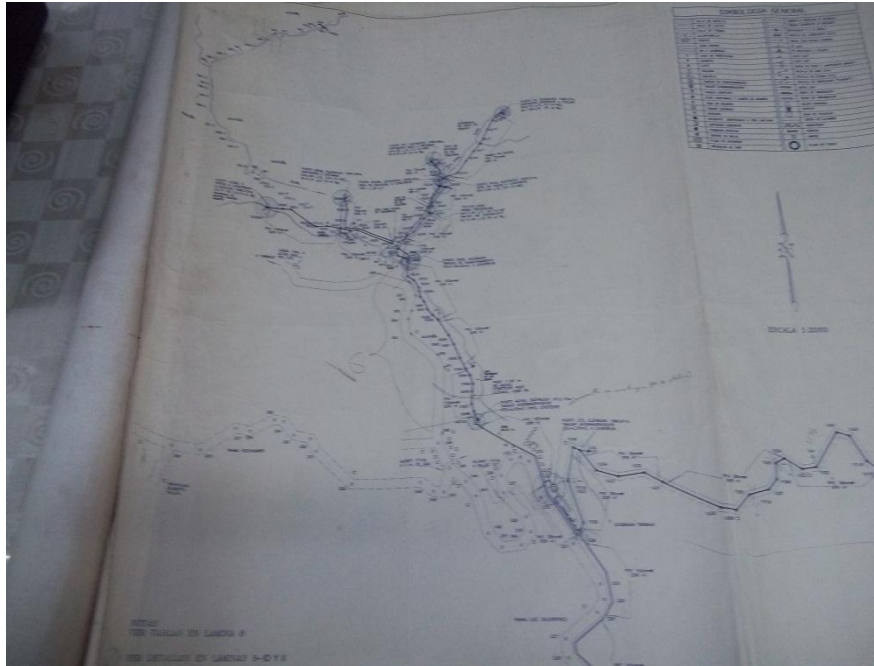


Figura A.4 Mapa del acueducto de los sistemas de tratamiento. Fuente: Mapa realizado por AyA.

Anexo 5 Planos e imágenes del Sistema Quebrada Tarbaca.

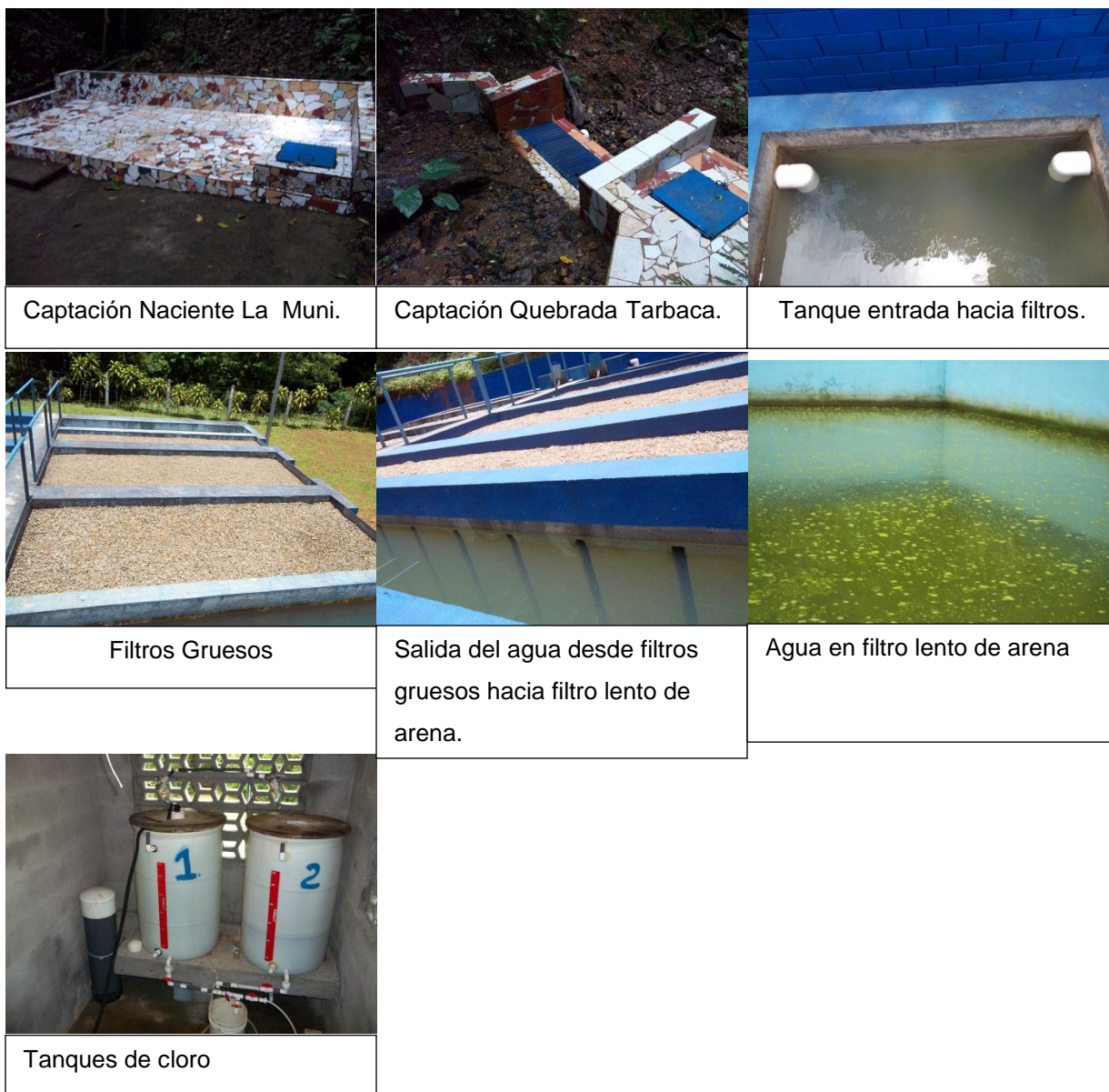


Figura A.5 Descripción Gráfica de los principales procesos unitarios de la Planta de Tratamiento Quebrada Tarbaca. Fuente: Autor.



Figura A.6 Planta de tratamiento de Filtración Lenta Quebrada Tarbaca.

Fuente: Autor.

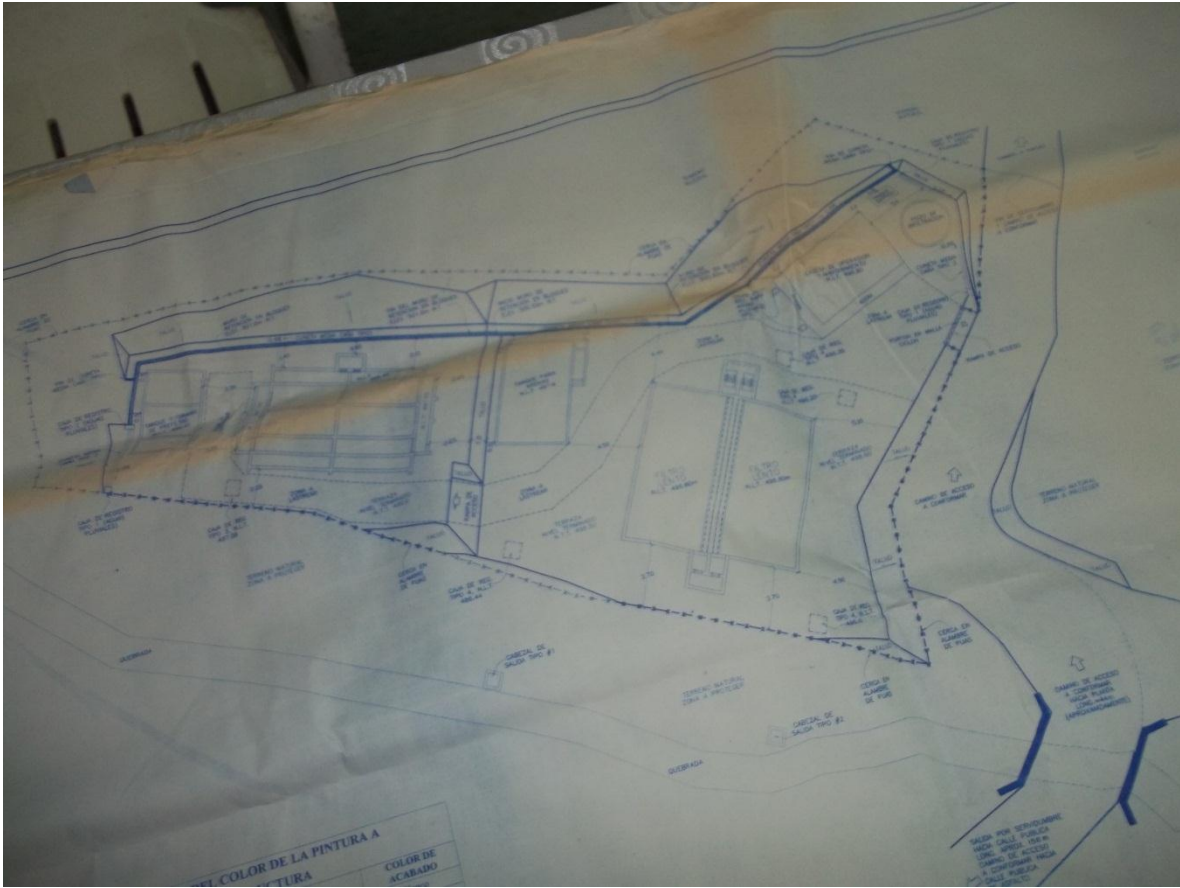


Figura A.7 Planta de tratamiento de Filtración Lenta Quebrada Tarbaca, vista en planta del plano realizado por AyA. Fuente: Autor.

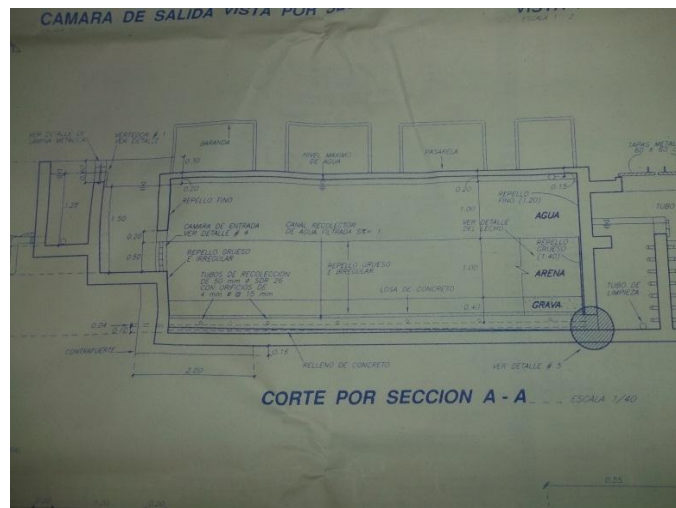


Figura A.8 Corte Lateral en plano del filtro lento de arena. Fuente: Autor de plano de AyA.

Anexo 6 Planos e imágenes del Sistema El Tigre.



Figura A.9 Descripción Gráfica de los principales procesos unitarios de la Planta de Tratamiento El Tigre. Fuente: Autor.



Figura A.10 Planta de Tratamiento El Tigre. Fuente: Autor.

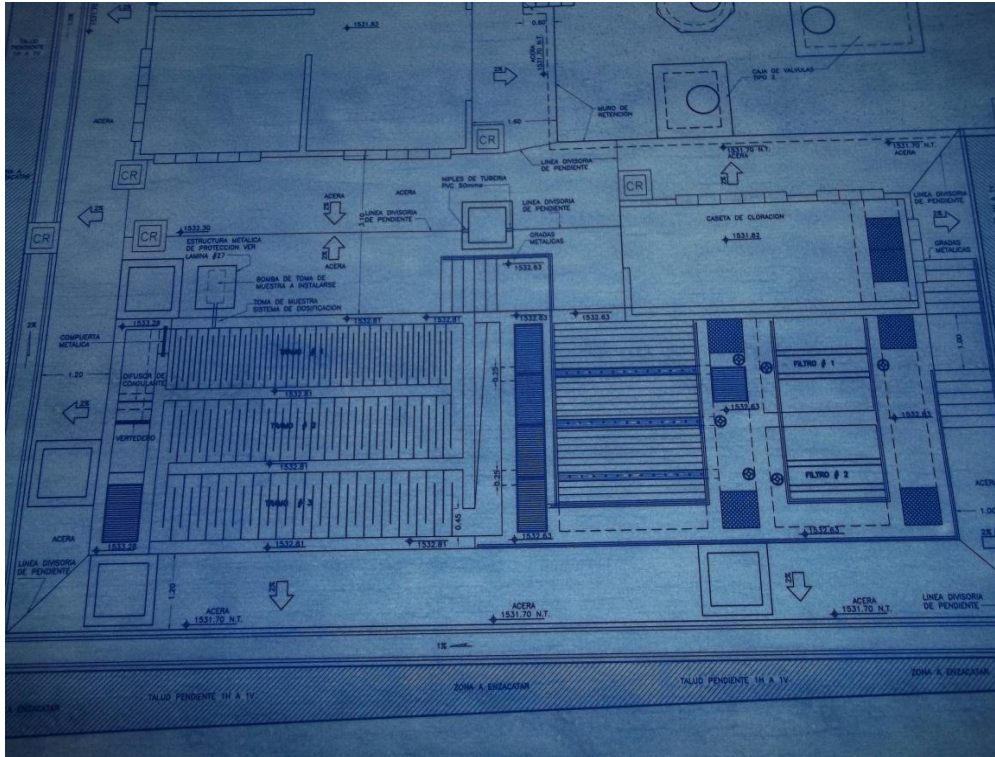


Figura A.11 Sistema de filtración rápida El Tigre, Vista en planta en plano realizado por AyA.
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 7 Laboratorio existente en la planta de tratamiento de filtración rápida El Tigre.



Figura A.12 Equipo de laboratorio para el análisis de parámetros químico Físicos de la Planta El Tigre. Fuente: Elaboración propia.

Anexo 8 Parámetros de calidad del agua para Costa Rica.

Tabla A.1 Parámetros de calidad del agua, primer nivel de control, N1. Fuente: Reglamento N° 32327-S para la Calidad del Agua Potable

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Coliformes fecal	NMP/100 mL	Ausente	Ausente
	UFC/100 mL		
<u>Escherichia coli</u>	NMP/100 mL	Ausente	Ausente
	UFC/100 mL		
Color aparente	mg/L (U - Pt-Co)	5	15
Turbiedad	UNT	<1	5
Olor	--	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
Sabor	--	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
Temperatura	°C	18	30
pH ^c	Valor pH	6,5	8,5
Conductividad	μS/cm	400	No reporta
Cloro Residual Libre	mg/L	0,3	0,6
Cloro Residual Combinado	mg/L	1	1,8

Anexo 9 Ficha de inspección inicial para las plantas de tratamiento

Ficha técnica para la inspección inicial: Planta de tratamiento de filtración rápida

Fecha

A. UBICACIÓN

1. País: Costa rica
2. Nombre de la planta: Sistema de Filtración rápida Río Tigre
3. _____ Localidades abastecidas:

4. Localización:

Provincia: _____ Cantón: _____ Distrito: _____

5. Dirección de la planta: _____

Distancia de la capital: _____ km Altitud: _____ m. s. n. m.

6. Institución propietaria o administradora: Asociación administradora del acueducto San Gabriel

B. FUENTE DE ABASTECIMIENTO, CAPTACIÓN, CONDUCCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO PREVIO

7. Fuente de abastecimiento:

a) Quebrada :

b) Río :

c) Naciente :

7.1 Tipo de toma

7.2 Conducción de agua cruda:

a) Por gravedad

b) Por bombeo

7.3 Desarenador

C. COLOCAR INDICADORES DE CALIDAD COMO SE PRESENTA EN CEPIS, YA SE TIENEN POR LO QUE ES NADA MAS DE COLOCARLOS.

D. CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA

8. Caudal de la planta

- 8.1 Caudal de proyecto:..... L/s
- 8.2 Caudal máximo con el que opera la planta: L/s
 Indique los meses del año o situaciones en que se da esta condición:

- 8.3 Caudal mínimo con el que opera la planta L/s
 Indique los meses del año o las situaciones en que se da esta condición:

9. Tipo de planta: filtración rápida
- a) Patente:
- b) Convencional clásica:
- c) Tipo CEPIS/OPS:
- Año en que se diseñó:
- Año en que se remodeló/amplió/optimizó:
10. Descripción:
- 10.1 Medidor de caudal Tipo:
- 10.2 Mezcla rápida: Tipo: Punto de aplicación:
- 10.3 Floculadores
- a) Tipo:
- b) Número de unidades:
- c) Número de tramos:
- d) Profundidad útil: m
- e) Largo: m
- f) Ancho: m
- 10.4 Decantadores
- a) Tipo
- b) N.º de unidades
- c) Área de cada unidad m²
- 10.5 Filtros
- a) Tipo de filtro: tasa constante Tasa declinante
- b) N.º de unidades
- c) Tipo de lecho filtrante: simple doble
- d) Área de cada filtro m²
- 10.6 Dosificación
- a) Coagulante: Tipo de dosificador Número
- b) Polímero: Tipo de dosificador Número
- c) Cal: Tipo de dosificador Número
- d) Cloro: Tipo de dosificador Número

Planta filtración Lenta

Fecha

A. UBICACIÓN

1. País: Costa rica
2. Nombre de la planta : Sistema de Filtración rápida Río Tigre
3. _____ Localidades _____ abastecidas:

4. Localización:

Provincia: _____ Cantón: _____ Distrito: _____

5. Dirección de la planta: _____

Distancia de la capital: _____ km Altitud: _____ m. s. n. m.

6. Institución propietaria o administradora: Asociación administradora del acueducto San Gabriel

B. FUENTE DE ABASTECIMIENTO, CAPTACIÓN, CONDUCCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO PREVIO

7. Fuente de abastecimiento:

a) Quebrada :

b) Río :

c) Naciente :

7.1 Tipo de toma

7.2 Conducción de agua cruda:

a) Por gravedad

b) Por bombeo

7.3 Desarenador

C. EN CUANTO A LA CALIDAD DE LA PLANTA CON RESPECTO A PARÁMETROS SE DEBERÁ MEDIR MÁS TIEMPO

D. CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA

8. Caudal de la planta

8.1 Caudal de proyecto:..... L/s

8.2 Caudal máximo con el que opera la planta: L/s

Indique los meses del año o situaciones en que se da esta condición:

.....
8.3 Caudal mínimo con el que opera la planta L/s
Indique los meses del año o las situaciones en que se da esta condición:
.....

9. Tipo de planta: FiME

Año en que se diseñó:

Año en que se remodeló/amplió/optimizó:

10. Descripción:

10.1 Medidor de caudal Tipo:

10.2 Filtros Gruesos

a) Tipo:

b) Número de unidades

c) Número de tramos con diámetro de gravas

d) Área de la unidad

10.3 Filtro Lento

a) Tipo de filtro: tasa constante Tasa declinante

b) N.º de unidades

c) Tipo de lecho filtrante: simple doble

d) Área de cada filtro m²

10.6 Dosificación

a) Coagulante: Tipo de dosificador Número

b) Polímero: Tipo de dosificador Número

c) Cal: Tipo de dosificador Número

d) Cloro: Tipo de dosificador Número

Anexo 10 Manual de operación y mantenimiento de planta El Tigre y Tarbaca.

Objetivo de este manual

Señor Operario el objetivo de este manual es brindarle a usted una herramienta que le permita conocer a fondo la forma de funcionamiento de las plantas de tratamiento que administra la ASADA San Gabriel, tanto la planta de tratamiento de Filtración Rápida como la de Filtración Lenta. Este manual fue creado con la ayuda de los operarios que a lo largo de los años han adquirido conocimiento valiosísimo para la correcta operación de los sistemas de tratamiento. Su conocimiento y experiencia tienen un gran valor para la comunidad de San Gabriel, ya que de su trabajo depende la calidad del agua que todos los días los usuarios de las comunidades abastecidas consumen para sus labores diarias.

Fuentes de Abastecimiento

El Río Tigre y La Quebrada Tarbaca nacen en el cantón de Aserrí en el distrito de Tarbaca y confluyen en un solo río llamado Río Chirogres. Las plantas de tratamiento que administra la ASADA San Gabriel se abastecen de sus aguas. La planta de filtración rápida se abastece del Río Tigre y la planta de filtración lenta se abastece de la quebrada Tarbaca y otras nacientes. A continuación se presenta un mapa de la región de san Gabriel (figura A.13) en el cual usted podrá identificar la ubicación de las plantas de tratamiento y además las fuentes hídricas que las abastecen.

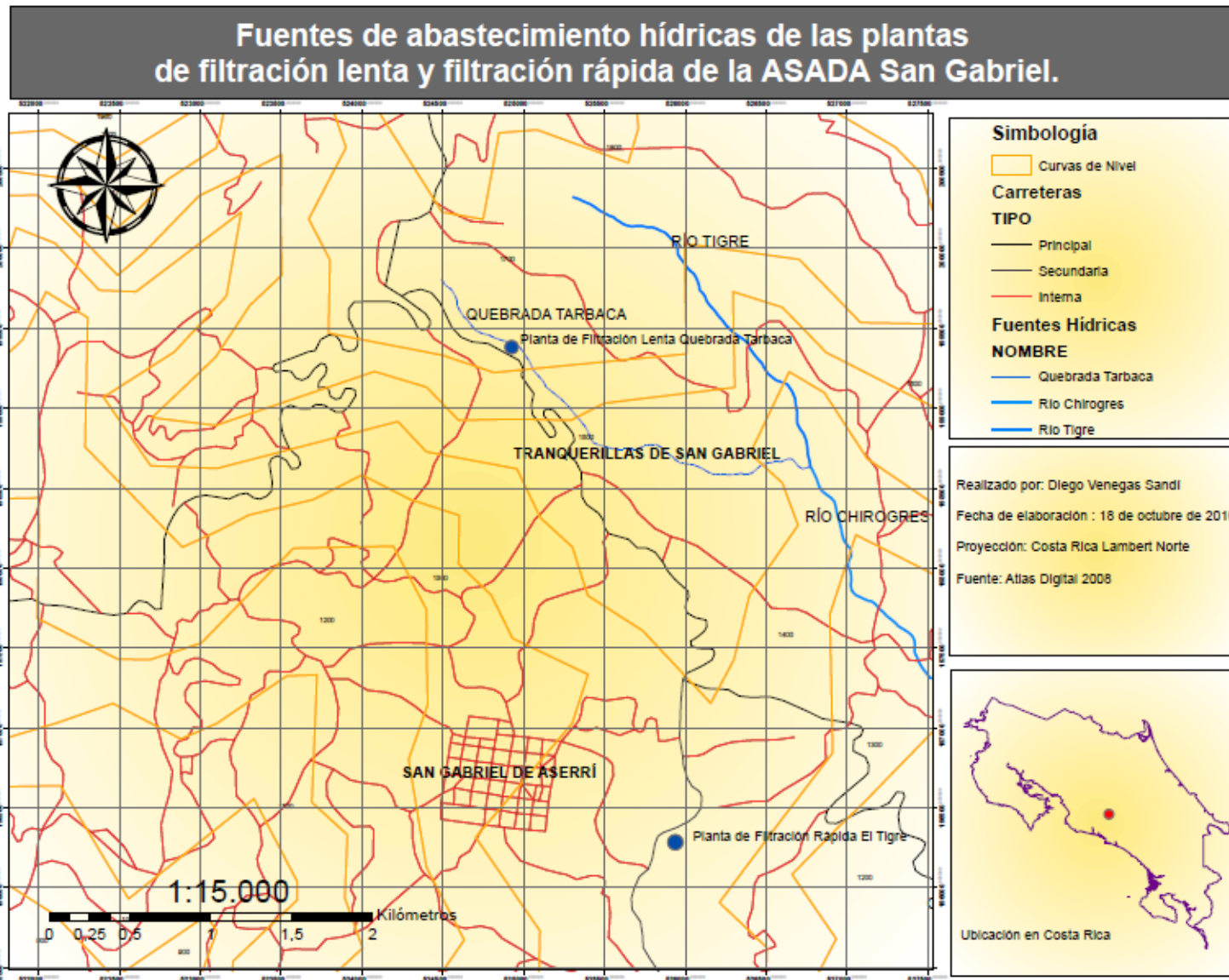
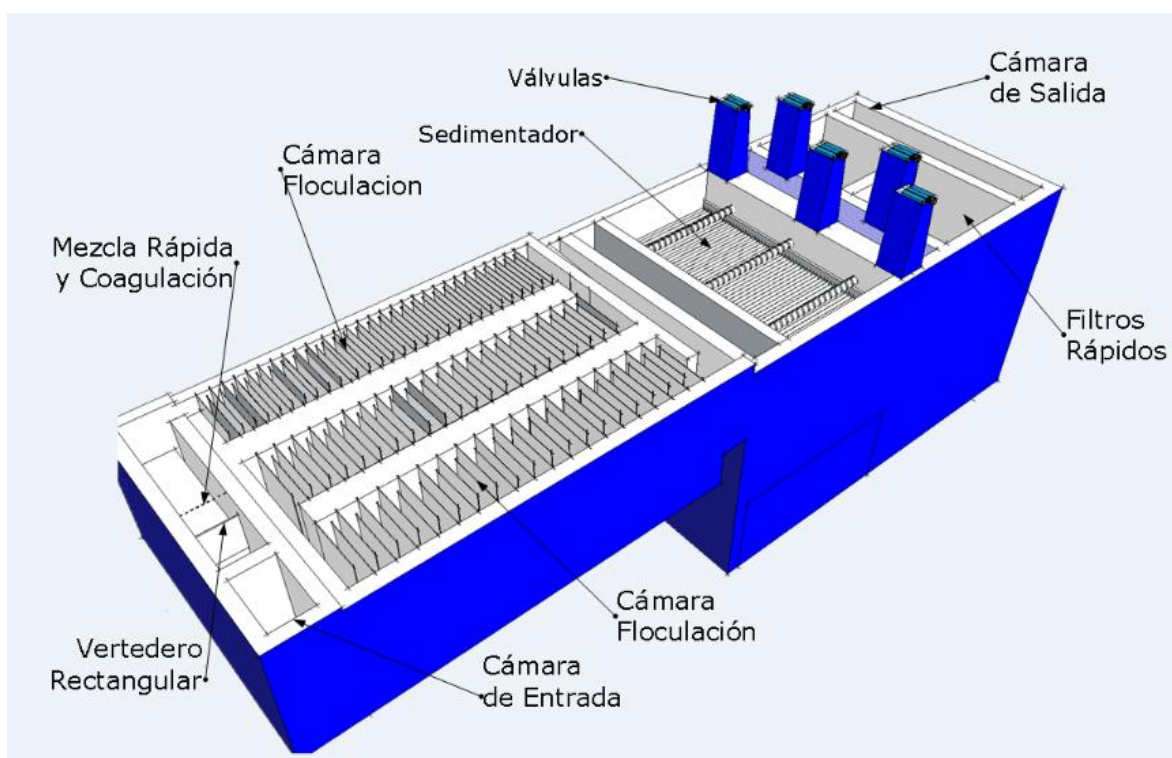


Figura A.13 Mapa de fuentes de abastecimiento hídricas de las plantas de tratamiento de la ASADA .San Gabriel. Fuente :Autor

Una vez captadas las aguas de sus respectivas fuentes se procede a conducir las hasta el respectivo tratamiento. Mediante los diferentes mecanismos existentes en cada una de las plantas. Se presentará inicialmente la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de filtración rápida sistema El Tigre.

Planta de Tratamiento Sistema El Tigre

Cada unidad del proceso de tratamiento es llamado proceso unitario, este se encarga de disminuir de forma gradual la contaminación generada por los diferentes componentes del agua. En la figura A 14 se pueden observar los diferentes procesos unitarios que conforman la planta El Tigre: Mezcla Rápida donde se realiza la coagulación, Floculación, Sedimentación y Filtros Rápidos.

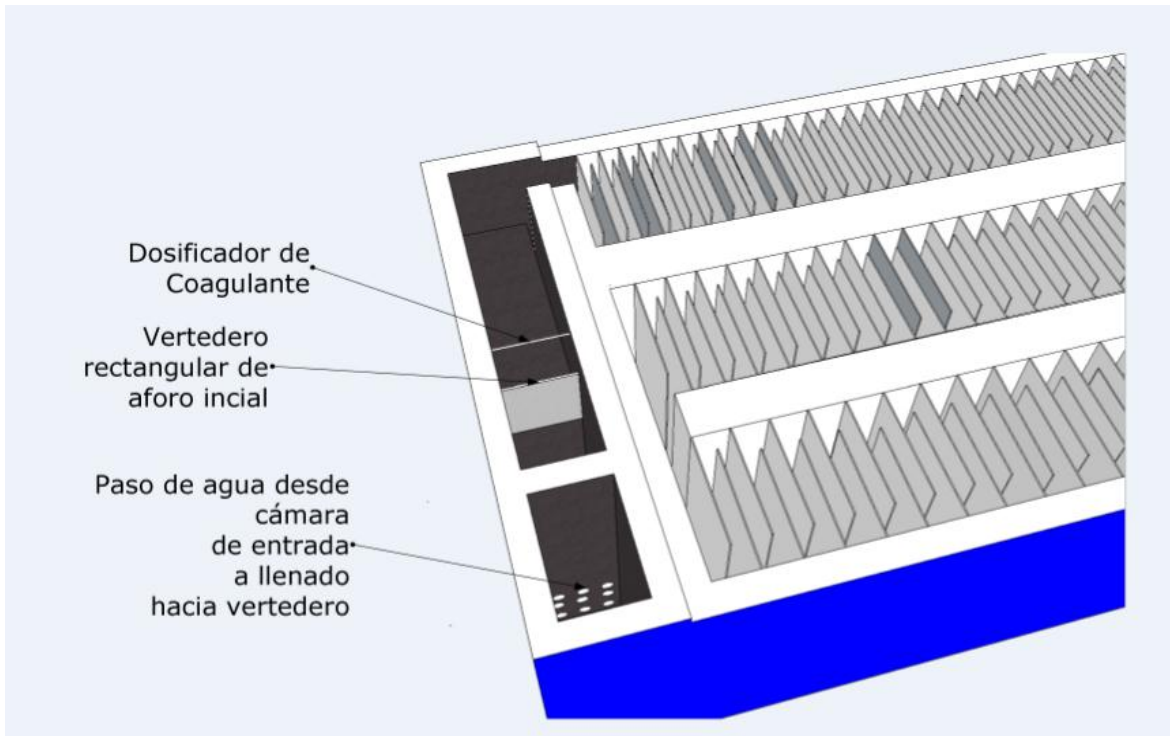


GOOGLESKETCH

Figura A.14 Vista isométrica de los principales procesos unitarios de la planta de tratamiento de filtración rápida El Tigre, ubicada en San Gabriel de Aserrí. Fuente Elaboración Propia.

Se analizarán cada uno de los procesos por separado dando un especial énfasis a la operación y mantenimiento de cada uno.

Mezcla Rápida y coagulación



GOOGLESKETCH

Figura A.15 Representación de la cámara de entrada y sus principales componentes. Fuente Elaboración Propia.

El proceso de coagulación inicia con la dosificación del químico que se encarga de atrapar la turbiedad del agua; para esto la planta El Tigre tiene un dosificador, este se encarga de inyectar cierta cantidad de dosis de coagulante.

El coagulante utilizado es sulfato de aluminio y se suministra disuelto en agua. En la imagen anterior se puede observar el tubo que se encarga de dicho suministro, la colocación del tubo es importante ya que se encuentra justo en el punto en el cual el agua cae y se forma un resalto, esto se puede ver mejor en la siguiente imagen (figura A.16). Es necesario que sea de esta forma para una mezcla homogénea del sulfato de aluminio con el agua, en este proceso se da la coagulación.



Resalto
Hidráulico:
Punto
Dosificación de
coagulante

Figura A.16 Fotografía cámara de entrada, agua después del vertedero. Fuente Elaboración Propia.

Aforos

La cámara de entrada posee un vertedero (figura A.17) el cual tiene la función de servir de aforador inicial, un aforo es la medición de la cantidad de agua que lleva una corriente en un determinado punto y tiempo, a esto se le llama caudal. La forma de medir el caudal inicial es midiendo con una regla sobre el vertedero, el nivel de agua horizontal y comparar dicho nivel con la tabla A.2 de caudal que se ofrece a continuación.

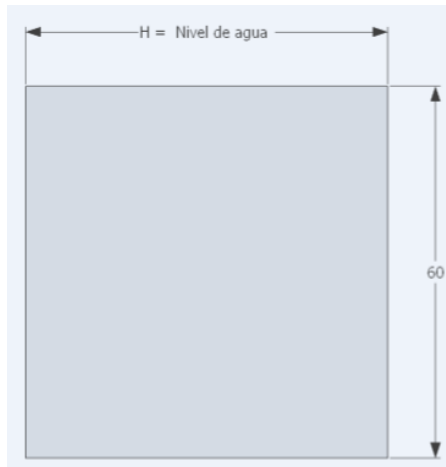


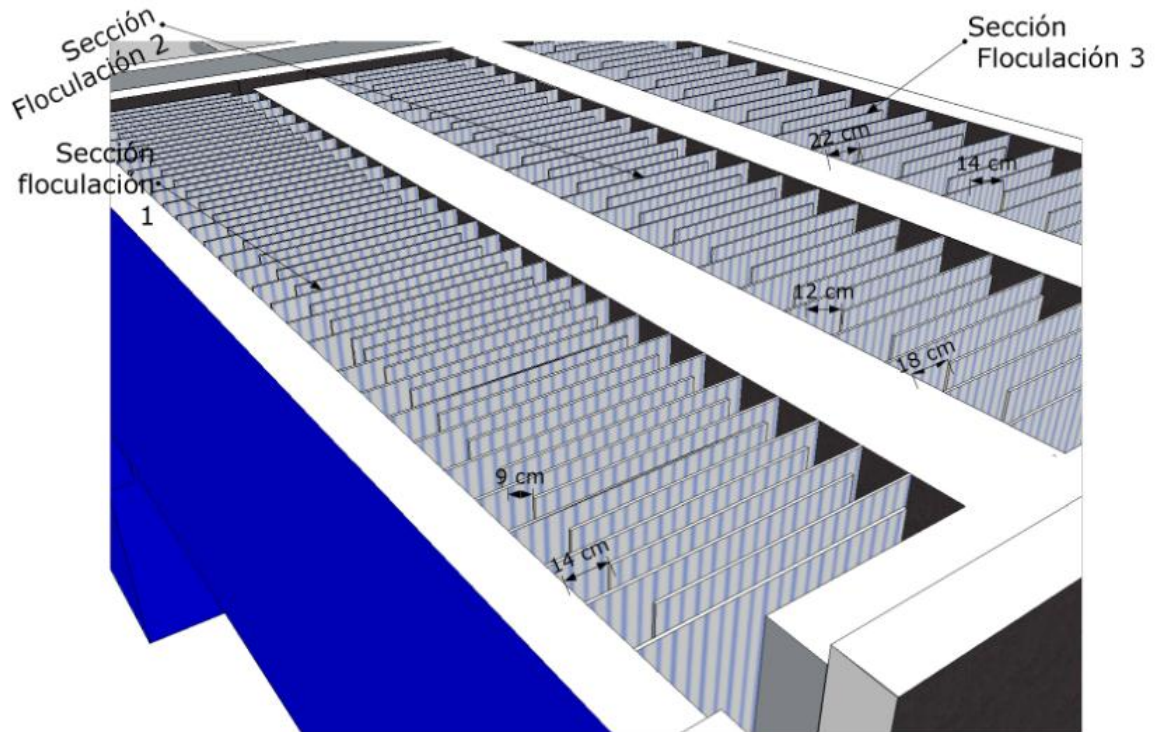
Figura A.17 Vertedero Rectangular. Fuente Elaboración Propia.

Tabla A.2 Calibración de caudales. Fuente Elaboración Propia.

Medida de la regla en centímetros	Caudal	Unidades
5,5	14,5	L/s
5	12,5	L/s
4,5	11,3	L/s
4	11,0	L/s

La tabla A.2 consta de tres valores de caudal principales con los cuales usted podrá operar la planta correctamente, en caso que se dé alguna eventualidad y usted requiera aumentar o disminuir el caudal, esto lo podrá realizar dando vuelta a las válvulas de entrada del agua ubicadas a un lado de la cámara de entrada. Es importante llevar un registro constante de este valor ya que es un parámetro de operación para los otros procesos unitarios que se llevan a cabo en la planta de tratamiento. Se determina que es necesario la medición y registro de caudal cada 3 horas por parte de los operarios encargados en el turno.

Cámara de floculación



GOOGLESKETCH

Figura A.18 Cámara de floculación con sus respectivas secciones. Fuente Elaboración Propia.

La planta de tratamiento el Tigre consta de tres secciones o cámaras de floculación (figura A.18), las cuales se encuentran separadas en forma gradual y tienen la función de darle un movimiento al flujo de agua de tal forma que se formen partículas de floc con las partículas que conforman la turbiedad del agua, estas partículas una vez acumuladas pueden ser asentadas en el proceso de sedimentación o decantación. Ahora bien, para garantizar una formación adecuada de floc se debe tener una dosis específica de coagulante que permita la formación de flocs sedimentables, es función del operario suministrar una dosis correcta de coagulante.

Área de control de coagulante

El coagulante que se utiliza en la planta de tratamiento El Tigre es sulfato de aluminio en polvo, el cual viene suministrado en sacos, cada uno de estos sacos tiene 25 kilogramos de sulfato de aluminio en polvo el cual tiene que ser disuelto en agua, una vez que se mezcla el sulfato en polvo con el agua, se tiene una disolución con cierta concentración de sulfato de aluminio. Una concentración es la medida de una cantidad de una sustancia disuelta en otra; para el caso de la planta de tratamiento El Tigre tenemos entonces una concentración de sulfato disuelta en agua.



Figura A.19 Almacenamiento de sacos de coagulante en la planta El Tigre. Fuente Elaboración Propia.

Con el fin de realizar la mezcla, en el cuarto de control de sulfato se tienen tres recipientes, estos recipientes están graduados para 600 litros cada uno, por lo que se pueden utilizar los recipientes para preparar diferentes concentraciones de muestra según la cantidad de sacos de sulfato que se agregue a cada uno de los recipientes. La concentración de la muestra se prepara según la siguiente tabla.

Tabla A.3. Sacos de sulfato a añadir a los estañones de 600L de agua según la concentración deseada. Fuente Elaboración Propia.

Concentración	Cantidad de sacos a añadir	Cantidad de sulfato de aluminio.
4%	1 saco	25 kg
8%	2 sacos	50 kg
16%	3 sacos	100 kg

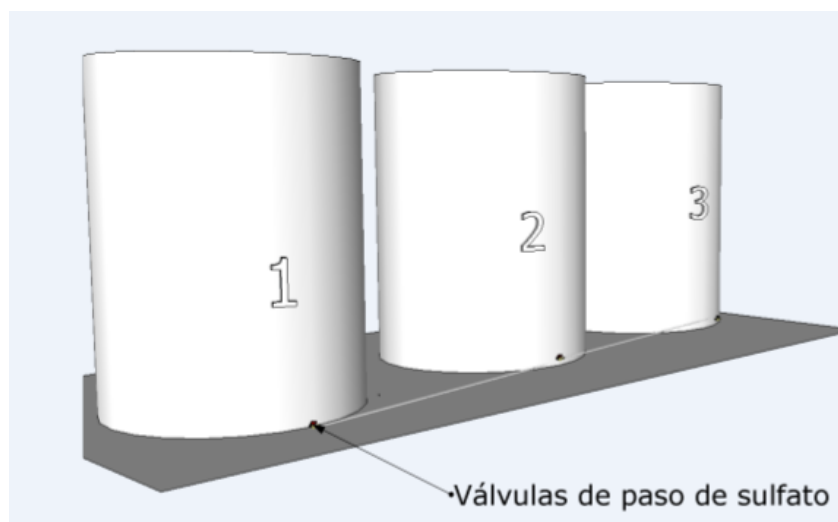


Figura A. 20. Ilustración de los recipientes que contienen la disolución de sulfato de aluminio. Fuente Elaboración Propia.

Cada uno de los estañones de la figura A.20 posee un agitador, así que cada vez que se agrega sulfato de aluminio en polvo a los recipientes, es importante dejar el agitador encendido durante aproximadamente una hora, esto permite que se mezcle correctamente el coagulante en el agua.

El procedimiento a utilizar para la preparación de la disolución de sulfato es el siguiente:

1. Utilizar la concentración de 8% y prepararla siguiendo la indicación de la tabla A.3.
2. Abrir la válvula que tiene agua de Tarbaca para llenar el estañón hasta la marca de los 600 L.
3. Agregar la cantidad elegida de sacos de sulfato de aluminio en polvo.
4. Encender el agitador en el tablero
5. Apagar el agitador después de una hora de agitación.

Cada uno de los recipientes o estañones tiene una válvula con la cual se puede regular de cuál de los tres estañones se toma la disolución de sulfato de aluminio que se va a suministrar a la planta de tratamiento, es importante que el operario registre en el tablero eléctrico (figura A.21) de cuál de los tres estañones se está suministrando coagulante a la planta de tratamiento, para esto el tablero mostrado en la figura A.21 tiene la indicación.



Figura A 21. Panel de control eléctrico para el sistema de dosificación de coagulante. Fuente Elaboración Propia.

Para la dosificación de sulfato de aluminio a la planta, se cuenta con un sistema automático el cual elige, según la calibración que se le haya dado por parte del técnico encargado por parte de AyA, la dosificación en litros por hora (LPH). Este sistema inyecta mediante el uso de una bomba, el sulfato de aluminio a la planta de tratamiento. Este sistema es automático sin embargo existe la opción de hacerlo manual. A continuación se explicará la operación tanto manual como automática del sistema.

Sistema automático de dosificación de sulfato de aluminio

Este sistema funciona mediante un medidor de corriente de flujo el cual regula la dosis de coagulante a suministrar de acuerdo a dicho parámetro de corriente, este sistema de medición de corriente de flujo le indica un regulador de dosis el cual regula la bomba para suministrar una cantidad específica de coagulante en litros por hora. El sistema accufloc toma la muestra de la planta y posteriormente devuelve la muestra del agua a reproceso en la planta, estas muestras pasan por tres filtros, los cuales tienen que ser lavados cada vez que la maquina lo indica, el indicador es una alarma que se enciende en el tablero y suena en repetidas ocasiones, cuando esto sucede el operario deberá proceder a lavar los filtros del accufloc. A continuación se presenta la forma de funcionamiento automático del sistema Accufloc. (figura A. 22 y A.23)

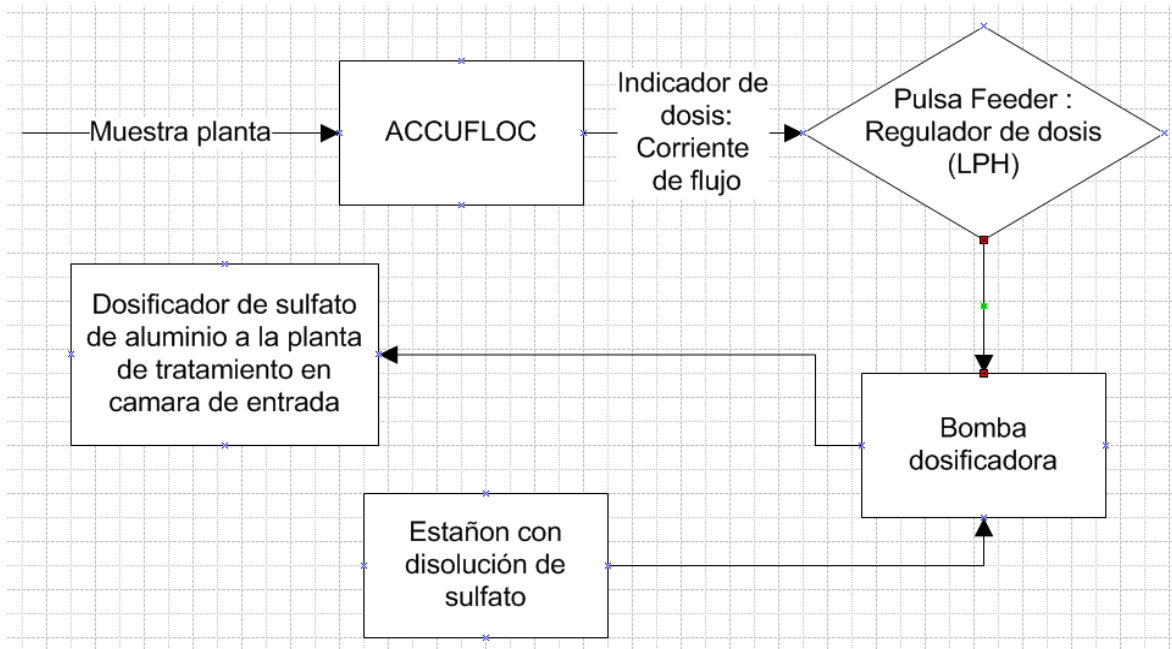


Figura A. 22 Diagrama de funcionamiento del sistema automático Accufloc. Fuente Elaboración Propia.

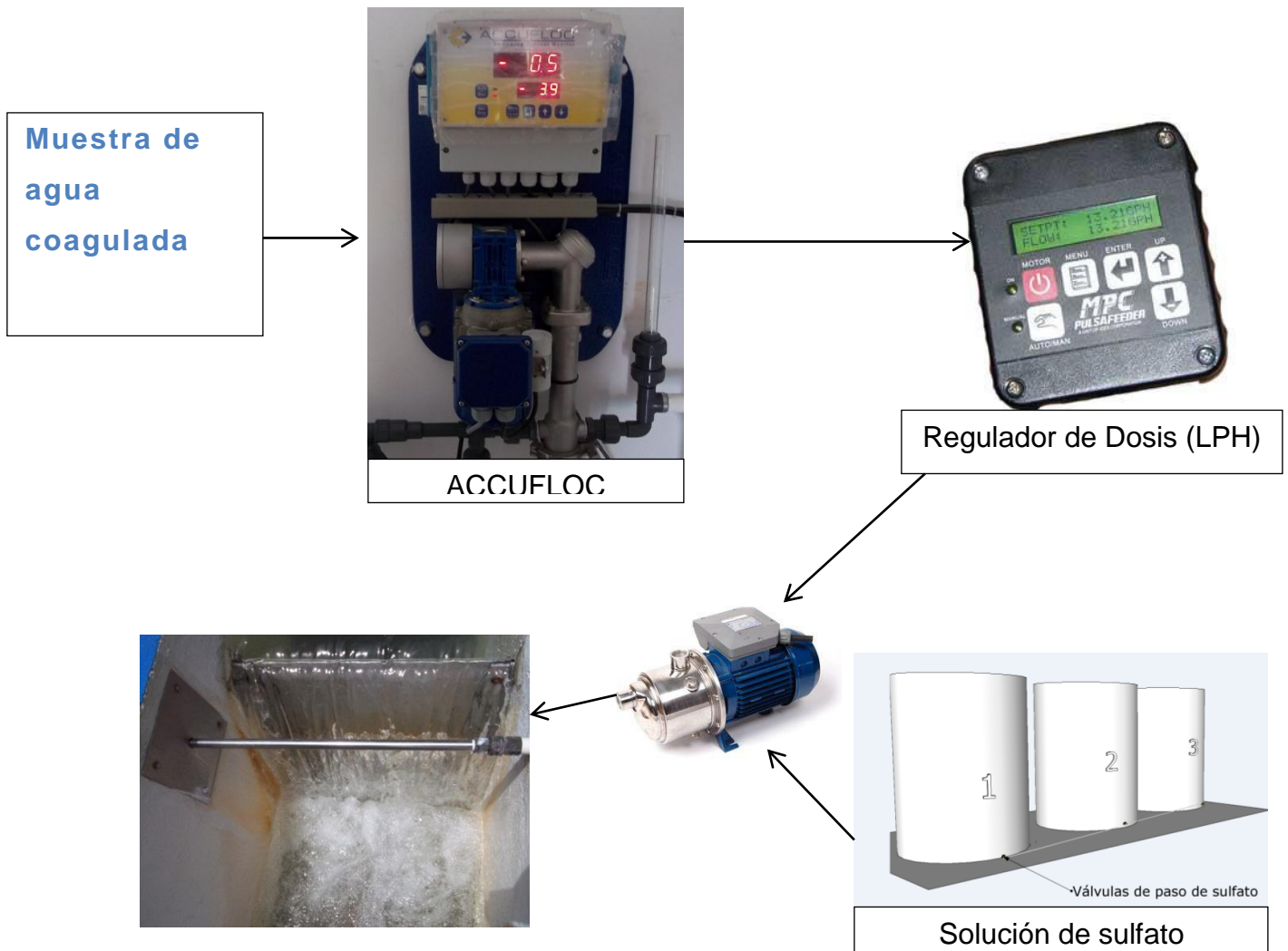


Figura A.23 Ilustración del funcionamiento automático del sistema Accufloc. Fuente Elaboración Propia.

Tabla A.4 Dosis óptima de sulfato al 8% a dosificar de acuerdo a la turbiedad. Fuente AyA.

Turbiedad (UNT)	Ajuste de bomba dosificadora en LPH
20 o menos	5,20
22,5	5,85
25	6,50
27,5	7,15
30	7,80
40	8,45
50	9,10
60	9,75
65	10,40
70	11,05
75	11,70
91	12,35
107	13,00
126	13,65
145	14,30
164	14,95
183	15,60
200	16,25
215	16,90
230	17,55
245	18,20
260	18,85
275	19,50
280	20,15
285	20,80
290	21,45
295	22,10
300	22,75
315	23,40
330	24,05
345	24,70
360	25,35
375	26,00
386	26,65
397	27,30
408	27,95
419	28,60
430	29,25

En la tabla A.4 se presenta la dosis óptima a dosificar de acuerdo a la turbiedad que este entrando a la planta de tratamiento, se recomienda manejar únicamente la concentración de 8% recomendada por AyA. El sistema automático de dosificación se encuentra calibrado de acuerdo a esta dosis óptima, por lo que en teoría debería suministrar la dosis indicada en la tabla A.4 de acuerdo a la turbiedad de entrada; en caso de que no sea así el operador deberá operar de forma manual el dosificador, mediante el procedimiento que se explica en el siguiente apartado, y regular la dosis indicada según la turbiedad y además reportar la inconsistencia del sistema automático con respecto a la turbiedad para que se calibre adecuadamente el sistema Accufloc.

Lavado de los filtros del accufloc

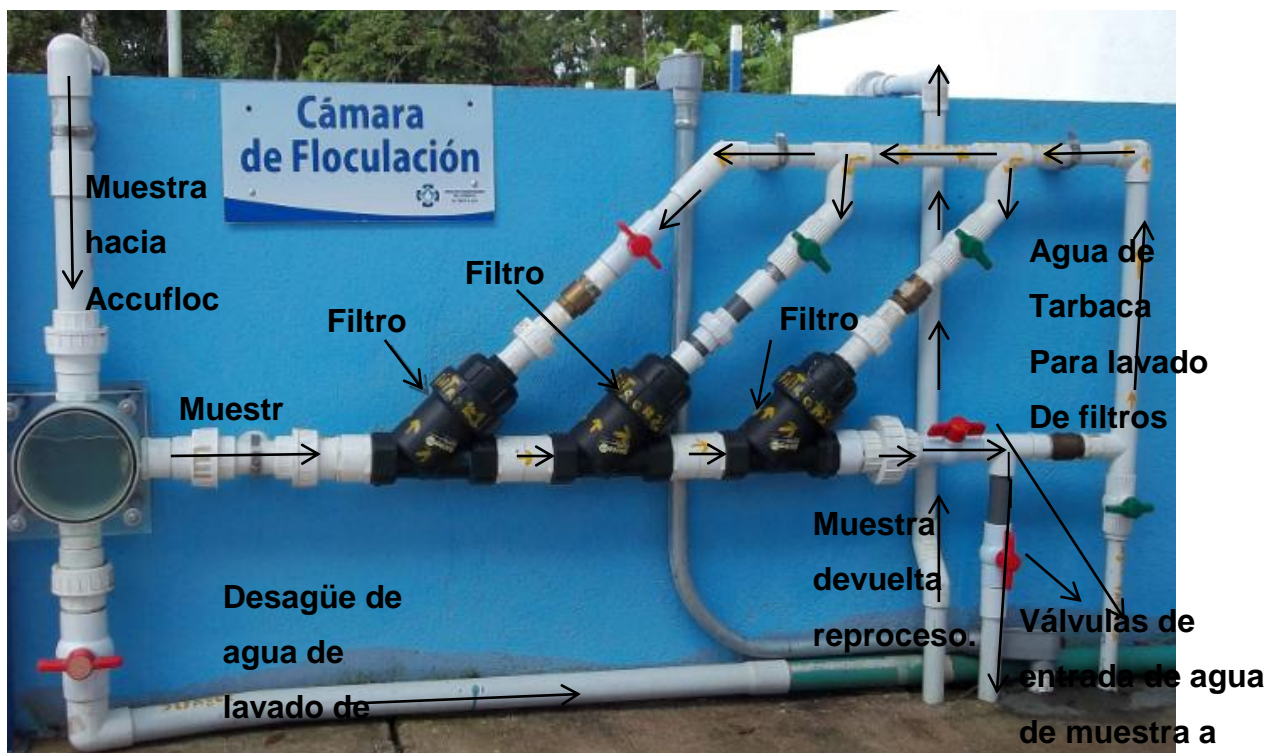


Figura A.24 Sistema de lavado de filtros del Accufloc. Fuente Elaboración Propia.

En esta imagen (figura A.24) se puede observar el sistema de recolección de muestra del Accufloc y sus filtros. Las flechas negras sobre las tuberías indican la dirección del flujo.

Para el lavado de los filtros se seguirá el siguiente procedimiento.

1. Antes de realizar el lavado de los filtros deberá apagar el panel de control eléctrico que se encuentra en el cuarto de control de sulfato de aluminio.
2. Chequear que la válvula de entrada del agua de Tarbaca para el lavado de los filtros se encuentre cerrada.
3. Abrir la válvula para el desagüe de lavado de los filtros.
4. Cerrar las dos válvulas de entrada de agua de muestra hacia el accufloc.
5. Abrir válvula de agua de lavado que se dirige hacia el filtro # 3.
6. Abrir válvula de agua de Tarbaca para el lavado del filtro.
7. Abrir válvula de lavado de filtro # 2 antes de cerrar la válvula del filtro # 3.
8. Cerrar válvula de lavado de filtro # 3.
9. Abrir válvula de lavado # 1 antes de cerrar la válvula del filtro # 2.
10. Cerrar la válvula de lavado de filtro # 2.
11. Cerrar la válvula de lavado de filtro # 1 de forma suave para evitar el golpe de ariete.
12. Cerrar válvula de agua de Tarbaca para lavado de los filtros.
13. Cerrar la válvula de desagüe de lavado.
14. Abrir las dos válvulas de muestra hacia accufloc.
15. Encender el panel.

Sistema manual de dosificación de sulfato de aluminio

En caso de que el operario requiera poner de forma manual la dosificación de sulfato de aluminio, deberá programar la bomba de dosificación de sulfato de aluminio en modo manual, esto se hace en el panel eléctrico. También una vez realizado el cambio en el panel, deberá programar el regulador de dosis de sulfato de aluminio en el botón que dice AUTO/MAN, con las flechas subir o bajar la dosis en LPH.



Figura A.25 Regulador de dosis de coagulante, Pulsa Feeder. Fuente Elaboración Propia.

El procedimiento para programar el sistema de dosificación de sulfato de al aluminio en manual es el siguiente:

1. Apagar el Accufloc desde el panel eléctrico, poniendo la perilla de dosificación en manual.
2. Darle al botón manual de la figura A.25.
3. Poner la dosis deseada en LPH.

Dosis Óptima: El sulfato de aluminio reacciona con las partículas de turbiedad del agua formando floc, este tiene la función de quedarse en el fondo del sedimentador para que el agua pase al siguiente proceso de tratamiento más limpia, sin embargo no todo tipo de floc es funcional para el proceso de sedimentación; por lo tanto es necesario que en el proceso de coagulación-floculación se forme un floc que sea lo suficientemente pesado para que logre quedarse en el fondo del sedimentador; para esto existe una dosis específica de coagulante para cada turbiedad que llega a la planta. Para conocer la mejor dosis se trabaja de forma experimental mediante un ensayo de jarras o prueba de jarras utilizando el equipo que tienen disponible en el laboratorio de la planta de tratamiento El Tigre.

Procedimiento para el uso del equipo de prueba de jarras

Soluciones Químicas

Se debe preparar una disolución madre del coagulante, a una concentración tal que las cantidades adecuadas de sulfato de aluminio a utilizarse en las pruebas de coagulación se puedan medir exacta y convenientemente.

Para preparar la solución madre de sulfato de aluminio, se requiere elegir una concentración, la cual puede ser de 2%, 5% o 10% según la turbiedad que se tenga en la planta. Para preparar la concentración adecuada usted deberá:

Medir los gramos de sulfato de aluminio a añadir a cierta cantidad de agua de acuerdo a la concentración que se requiera preparar, para lo cual puede utilizar la tabla A.5 de ayuda.

Tabla A.5 Preparación de disolución madre de sulfato de aluminio. Fuente Elaboración Propia.

Concentración	Gramos a añadir
10 % para 200 mL de disolución madre.	Añadir 20 gramos de sulfato de aluminio en polvo a 200 mL de agua
10 % para 500 mL de disolución madre	Añadir 50 gramos de sulfato de aluminio en polvo a 200 mL de agua.
5% para 200 mL de disolución madre.	Añadir 10 gramos de sulfato de aluminio en polvo a 200 mL de agua.
5% para 500 mL de disolución madre.	Añadir 25 gramos de sulfato de aluminio en polvo a 500 mL de agua
2% para 200 mL de disolución madre.	Añadir 4 gramos de sulfato de aluminio en polvo a 200 mL de agua
2% para 500 mL de disolución madre.	Añadir 10 gramos de sulfato de aluminio en polvo a 500 mL de agua.

Procedimiento de la prueba en Jarras para el tratamiento por coagulación

1. Tomar suficiente muestra de agua de la cámara de entrada con los picheles, para llenar las jarras.
2. Tomar una muestra del agua de los picheles y medir la turbiedad, el pH y la temperatura para esto es importante mezclar bien el agua para que la muestra sea la misma, además anotar el caudal de entrada de la planta.
3. Colocar en cada vaso exactamente 900 mililitros, de una muestra fresca del agua cruda que tiene en los picheles.
4. Anotar en la hoja de datos la cantidad de coagulante que se debe añadir a cada vaso. Esta cantidad variará de vaso a vaso. Ejemplo: Vaso 1, cero mililitros, el vaso 2, diez mililitros de sulfato, el vaso 3 veinte mililitros de sulfato y así sucesivamente hasta llegar al sexto vaso.
5. Con cada pipeta y su respectiva bomba de aire para succión de muestra, añadir el coagulante en cantidades crecientes en vasos sucesivos. Dejando siempre el primer vaso sin coagulante para comparar.
6. Colocar las paletas de agitación dentro de los vasos, arrancar el agitador y operarlo durante 1 min a una velocidad de 60 a 80 rpm.
7. Reducir la velocidad al grado seleccionado de agitación (normalmente 30 rpm) aproximadamente y permitir que la agitación continúe durante unos 15 minutos, Se debe procurar que el grado y tiempo de agitación igualen las condiciones de operación de la planta de floculación.
8. Observar la formación del flóculo.
9. Una vez que transcurre el periodo de agitación, detener el agitador y anotar cuánto tiempo transcurre para que el flóculo se sedimente en el fondo del vaso.
10. Después de permitir que el flóculo se asiente durante 20 min, determinar la turbiedad del líquido por encima de los flóculos para cada una de las jarras.
11. En las hojas de registro se deben anotar las dosis, el tiempo y la velocidad de mezclado, el pH, características de crecimiento de flóculos.

12. Determinar cuál dosis o cantidad de sulfato fue la que hizo que se tuviera una menor turbiedad.

Para registrar correctamente los datos de la prueba de jarras se ofrece la siguiente ficha de llenado, durante la prueba.

Tabla A.6 Ficha para el registro de datos de la prueba de jarras. Fuente Elaboración Propia.

Operario:	Fecha :					
	Concentración de sulfato en la disolución madre:	Caudal de la planta (L/s) :	pH y temp:	Turbiedad Inicial:	Dosis de coagulante que obtuvo la menor turbiedad:	
Jarra	1	2	3	4	5	6
mL de sulfato añadidos						
Turbiedad						

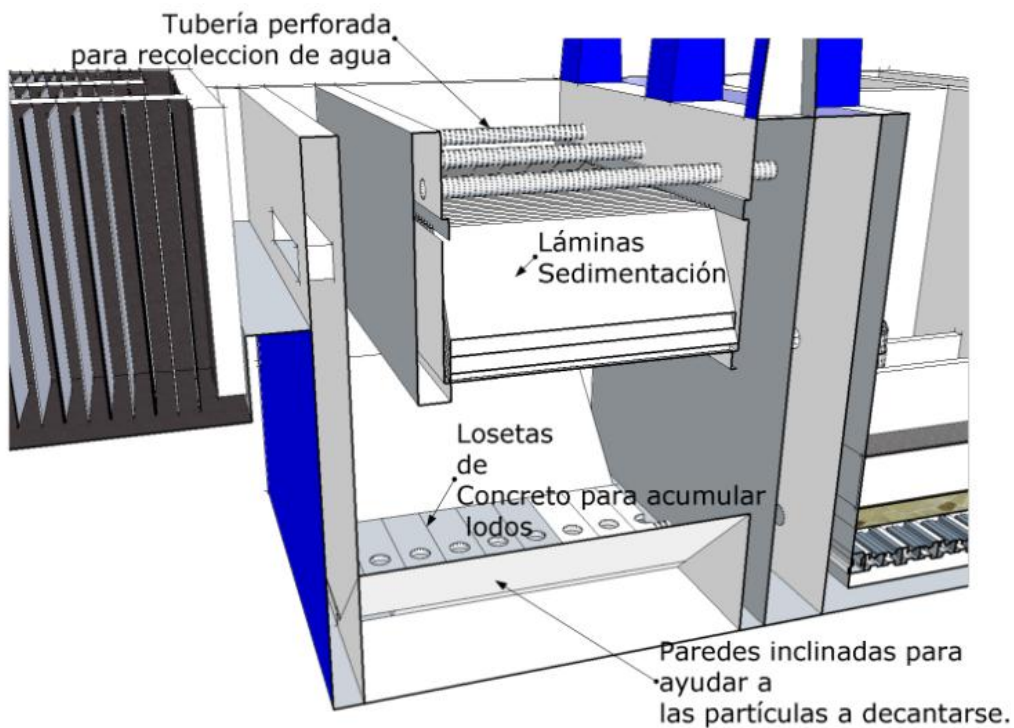
Una vez determinada el volumen añadido de coagulante a la jarra con menor turbiedad se procede a calcular la dosis óptima.

Dosis óptima = (ml de sulfato añadidos a la jarra x Caudal (LPS))x4;

este cálculo da el resultado en LPH, los cuales se deben programar de forma manual en el regulador de dosis.

Se recomienda realizar una prueba de jarras diaria, esto para llevar un control cruzado de la curva de calibración de coagulante con la turbiedad de entrada que se tiene cada día.

Sedimentador



GOOGLESKETCH

Figura A.26. Corte del sedimentador de la planta de tratamiento El Tigre. Fuente Elaboración

En la figura A.26 se presenta un corte transversal del sedimentador lo cual permite visualizar su interior, este proceso unitario consta de varias partes importantes para su correcto funcionamiento. Tiene unas láminas inclinadas con un ángulo de 60° para que las partículas que no se hayan quedado en el fondo del sedimentador queden adheridas a estas láminas, el fondo es de paredes inclinadas para que las partículas queden adheridas, la recolección del agua se hace por medio de tubería perforada en la parte superior del sedimentador (figura A.27).

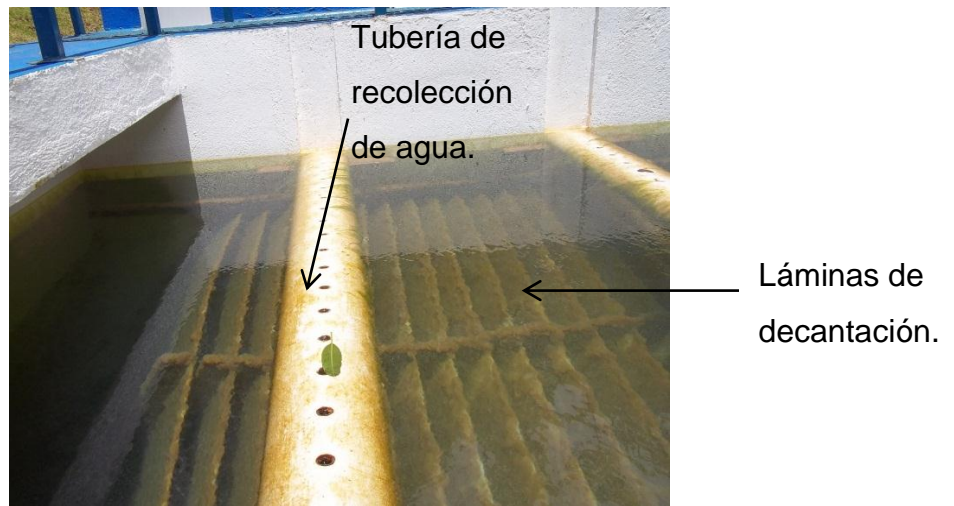
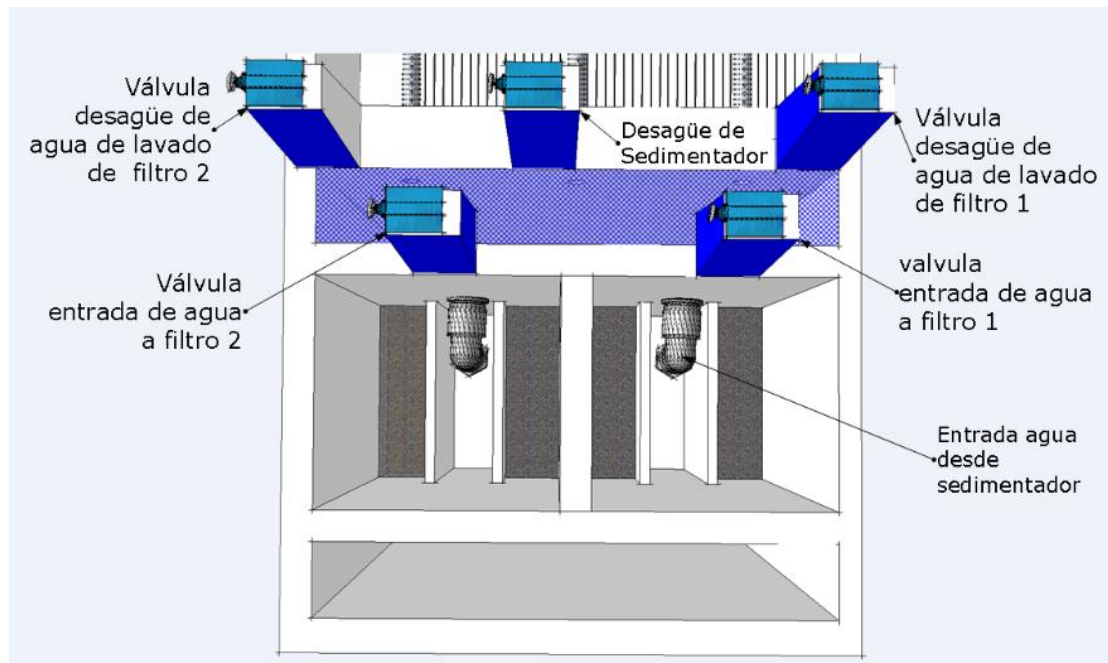


Figura A.27 Sedimentador, tubos de recolección de agua. Fuente Elaboración Propia.

El sedimentador deben lavarse completamente cada 15 días, drenando todos los lodos y haciendo un lavado con escoba y desinfectante en las paredes de la estructura.

Filtros Rápidos



GOOGLESKETCH

Figura. A.28 Vista superior de los filtros rápidos de la planta de tratamiento El Tigre. Fuente Elaboración Propia.

Los filtros rápidos constan de material filtrante con poros muy pequeños, que hacen que la suciedad y microorganismos se queden adheridos a sus poros. La planta de tratamiento El Tigre consta de grava fina y antracita como material filtrante. Es importante que este material se encuentre libre de impurezas para que haya un correcto funcionamiento de la planta de tratamiento. Cuando los filtros están saturados de suciedad es necesario proceder al lavado de los mismos.

Es importante el lavado en los filtros rápidos, este lavado se efectúa aproximadamente cada 12 horas sin embargo es variable dependiendo de la turbiedad que tenga el agua cruda, para realizar el lavado el operario deberá asegurarse que sea necesario, esto lo indica el nivel de agua en los filtros, cuando suba del nivel marcado en la pared del filtro es necesario realizar el lavado.



Figura A.29 Ilustración de nivel máximo en filtros. Fuente Elaboración Propia.

El lavado de filtros se efectúa de la siguiente manera:

1. Se cierra la válvula de admisión al filtro.
2. Se abre la válvula de salida de agua de lavado.
3. Se espera un lapso de 7 a 8 minutos aproximadamente.
4. Se cierra la válvula de salida del agua de lavado.
5. Se abre lentamente la válvula de admisión (en un lapso de 2 a 3 minutos aproximadamente).

Agitación adicional (lavado superficial). Para mantener el medio filtrante en buenas condiciones, es recomendable aplicarle, junto con el lavado normal, un proceso de agitación adicional que evita la formación de bolas de barro en el lecho. El proceso puede ser ejecutado manualmente por el operador de la siguiente manera:

1. El filtro se pone a lavar normalmente.
2. Con una escoba larga o rastrillo de jardín, de extremo a extremo del filtro, se rasga la superficie del lecho filtrante con un movimiento de vaivén durante tres o cuatro minutos.
3. Se concluye el lavado normalmente.

Es necesario registrar en la bitácora la hora del lavado del filtro y cuál de los filtros fue lavado para un correcto control interno. Cabe destacar que en la bitácora se deben registrar todas las actividades de carácter operativo que se lleven a cabo en la planta de tratamiento.

Cámara de salida y cloración



Figura A.30 Cámara de salida. Fuente Elaboración Propia.

Después de pasar por los procesos de coagulación-floculación, sedimentación y filtración, el agua de la planta El Tigre continúa su curso a su proceso final de tratamiento, el cual es la cloración. En la figura A.30 se puede observar la tubería de dosificación de cloro y el vertedero de salida, en esta etapa es importante que el operario lleve a cabo la medición de la cantidad de cloro residual libre y de caudal de salida.

Dosis de cloro



Figura A.31 Sistema de suministro de cloro de la planta El Tigre. Fuente Elaboración Propia.

La forma de preparar el cloro en la planta El Tigre es mediante la acción de la electrolisis, este proceso convierte la sal de mesa en hipoclorito de sodio utilizando la electricidad, el hipoclorito de sodio es la forma de cloro líquido que se utiliza en la planta de tratamiento para la desinfección de los microorganismos, que puedan haber quedado en el agua, luego de haber pasado por los procesos anteriormente explicados. En la figura A.31 se observan los estanques que contienen el cloro líquido en forma de hipoclorito de sodio, el procedimiento a llevar a cabo para preparar el cloro es el siguiente.

1. Abrir válvula de agua de Tarbaca para llenar el estanque de agua hasta la marca de 400 litros.
2. Una vez lleno el estanque, añadir 28 bolsas de sal de mesa.
3. Encender la fuente de alimentación de corriente continua y ponerlo a un voltaje de 50 amperios.
4. Introducir el electrodo al estanque y dejarlo durante 24 horas.
5. Después de 24 horas, apagar la fuente de corriente y sacar el electrodo del recipiente.

La preparación del cloro es la primera parte que el operario deberá realizar para llevar a cabo la cloración, una vez preparado el cloro en el estañón el operario deberá controlara la dosificación mediante el regulador de dosis, para tener una guía en cuanto a la dosificación es importante que se realice una prueba de cloro residual libre y este valor se debe encontrar cercano a 1 mg/L, en caso de que sea menor se aumenta la dosis y en caso contrario se disminuye.

Vertedero de salida

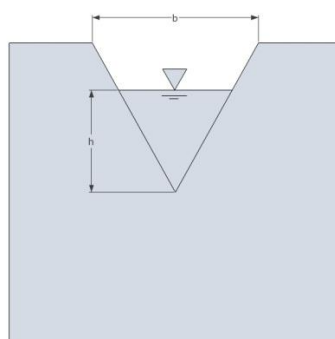


Figura A.32. Vertedero triangular ubicado en la salida de la planta de tratamiento El Tigre. Fuente Elaboración Propia.

El vertedero de salida permite conocer el caudal que se está suministrando a los tanques de almacenamiento de agua. Para medir el caudal mediante el uso de este vertedero se mide con una regla posicionada desde la formación del vértice, el nivel de agua h que se marca en la figura y se registra el valor en centímetros. Para conocer el valor en L/s se compara con la siguiente tabla (A.7).

Tabla A.7 Caudal según altura para vertedero triangular de la salida de la planta El tigre. Fuente Elaboración Propia.

Altura en centímetros	Caudal en Litros/ Segundo
12,0	4,2
12,5	4,6
13,0	5,1
13,5	5,6
14,0	6,1
14,5	6,7
15,0	7,3
15,5	7,9
16,0	8,6
16,5	9,2
17,0	10,0
17,5	10,7
18,0	11,5
18,5	12,3
19,0	13,2
19,5	14,0
20,0	15,0
20,5	15,9
21,0	16,9
21,5	17,9
22,0	19,0

Criterios generales de operación planta El Tigre

El control de la operación de plantas de tratamiento se puede clasificar en cuatro tipos.

- Operación de puesta en marcha
- Operación Normal
- Operación eventual

Puesta en marcha

Este tipo de operación se lleva a cabo cada vez que la planta se saca de operación por diversas razones. Sus principales actividades comprenden, la inspección preliminar, las operaciones iniciales y el llenado de la planta.

La inspección preliminar consiste en aprovechar el vaciado de la planta para inspeccionar de forma visual el estado de la planta de tratamiento, es inspeccionar que la parte constructiva del sistema El Tigre se encuentre en buen estado y reportar al administrador del acueducto cualquier falla existente.

La operación inicial después de que se pare la operación de la planta se puede aprovechar para realizar un lavado de las instalaciones de la planta de tratamiento en sitios donde es imposible hacerlo cuando la planta está operando, por ejemplo el interior del sedimentador, el fondo de la cámara de floculación, el interior de los filtros, entre otros sitios que requieran limpieza.

El llenado de la planta se hace siguiendo el siguiente procedimiento:

1. Abrir lentamente la válvula de ingreso de agua cruda a la planta, para lo cual es necesario tener coordinación con la persona que se encuentre operando el desarenador que tenga la válvula abierta.
2. Llenar los Floculadores y una vez que el agua llegue al nivel máximo establecer la dosificación, ya sea manual o automática según la turbiedad que se tenga en el momento.
3. Esperar a que se complete el llenado de los sedimentadores y suspender el flujo por 15 minutos antes de pasar a los filtros.
4. Llenar los filtros e iniciar la operación eliminando la producción al desagüe hasta que se obtenga la calidad de agua deseada.
5. Efectuar lavados sucesivos de los filtros siguiendo el procedimiento que se mencionó anteriormente.

Operación Normal

La operación normal se da cuando la planta está trabajando con el caudal para el cual fue diseñada, de 15 L/s, en la planta El Tigre se opera normalmente, cuando la altura de agua en la cámara de entrada coincide con el nivel de operación normal marcado en la regla en la pared dicha cámara.



Figura A 33. Ilustración del nivel de operación normal en la planta de tratamiento El Tigre. Fuente Elaboración Propia.

La operación normal de la planta incluye actividades que se deben realizar de forma periódica, como la **Medición de parámetros de calidad del agua** cruda y durante el tratamiento, mediante el llenado de la ficha de registro que se presenta a continuación. Tabla A.8.

Tabla A.8 Ficha de registro de parámetros físico químicos. Fuente Elaboración Propia.

		Planta Tratamiento Filtración Rápida Sistema El Tigre					
		Fecha	Hora toma de muestras (Recomendado cada 4 horas)				
ASADA SAN GABRIEL							
Sitio de muestreo	Parámetros						
	Nombre del operador						
	Caudal de la planta (L/s)						
	Dosificador de sulfato (LPH)						
Cámara de entrada (Agua Cruda)	Color (Pt-Co)						
	Temperatura (°C)						
	pH						
	Turbiedad						
Después de Coagulación y Floculadores	Color (Pt-Co)						
	Turbiedad (UNT)						
Después de Sedimentador (Agua Clarificada)	Turbiedad (UNT)						
Después Filtros	Turbiedad (UNT)						
Cámara de salida (Agua Tratada)	Temperatura (°C)						
	Caudal de salida (L/s)						
	pH						
	Turbiedad						
	Cloro residual						
Notas:							

En la ficha se indica que se recomienda hacer el registro de los parámetros cada 4 horas, en la ficha también se menciona el lugar en el cual se deberá tomar la muestra y cuales parámetros se deben medir, para medir estos parámetros es necesario que el operario utilice el equipo de pH y temperatura, turbiedad, cloro residual libre y medición de color que tiene disponible la ASADA San Gabriel en el laboratorio de la planta El Tigre.

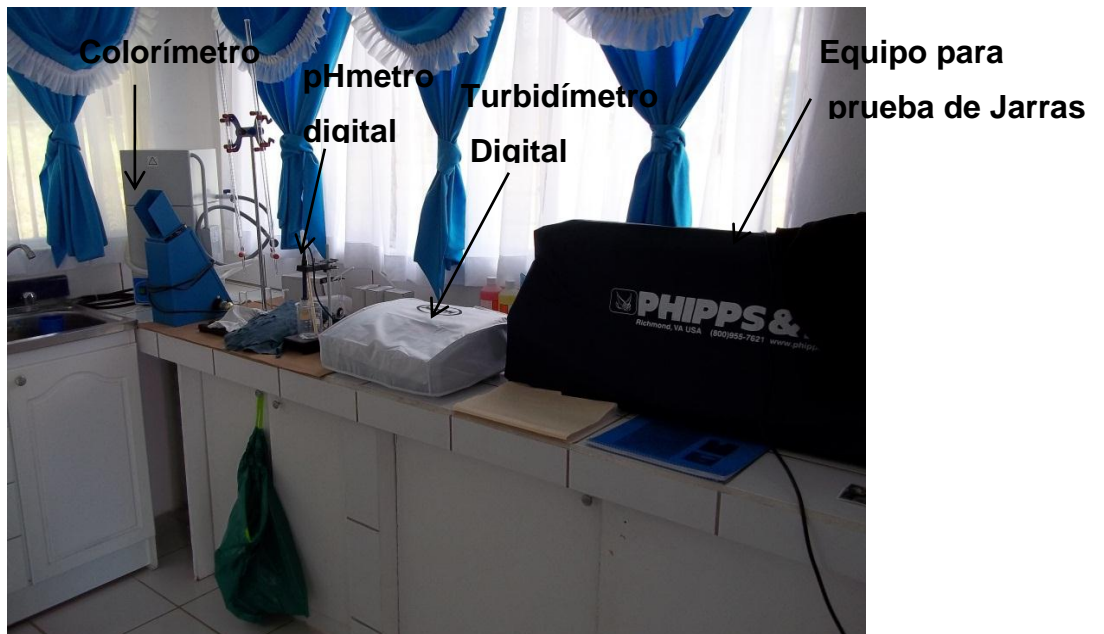


Figura A.34 Laboratorio de la planta de tratamiento El Tigre. Fuente Elaboración Propia.

El procedimiento para medir pH y temperatura es el siguiente:

1. Encender el pH metro de mesa HachSension 3 en el botón de encendido.
2. Introducir el electrodo en la muestra.
3. Presionar el botón ENTER.
4. Esperar a que el pHmetro indique mediante un pito que termino la lectura.
5. Anotar los valores de temperatura y pH.

El procedimiento para medir la turbiedad es el siguiente:

1. Tomar la muestra en un frasco para medición de turbiedad, los cuales tienen tapa negra.
2. Introducir el frasco en el compartimiento que tiene el turbidímetro.
3. Anotar el resultado.

En cuanto al turbidímetro es importante tomar en cuenta el nivel de turbiedad con el que se está trabajando, cuando la turbiedad es menor de 40 UNT se deberá apagar el botón de RATIO que tiene el equipo, cuando sea mayor se enciende el botón RATIO.

El procedimiento para medir el color es el siguiente:

1. Llenar los dos frascos de muestra para medir color, son dos tubos de vidrio de aproximadamente 15 cm de largo.
2. Insertar los frascos en el compartimiento del colorímetro.
3. Poner la tapa a cada frasco.
4. Encender la lámpara del colorímetro
5. Mirar por los lentes la comparación para el color del agua, moviendo el disco, ambos frascos deben observarse con la misma coloración.
6. Anotar el valor de Pt-Co al cual ambos frascos se ven igual.

El procedimiento para la medición de cloro residual libre es el siguiente:

1. Llenar los tubos plásticos con muestra.
2. Añadir el reactivo DPD a una de las muestras.
3. Agitar con cuidado el tubo con la muestra.
4. Colocar los tubos de forma que el tubo que no tiene el reactivo quede fuera del disco comparador.
5. Dar la vuelta al disco hasta que los colores de ambos tubos sean el mismo.
6. Anotar el resultado.

La operación normal de la planta incluye las actividades de preparación de las soluciones de sulfato de aluminio, medición de caudales, ajuste de los dosificadores, lavado de filtros y limpieza en general de las instalaciones. La operación normal incluye cualquier actividad que se lleve a cabo en la planta de tratamiento que no provoque la suspensión de la planta.

Los ensayos de jarras se deberán llevar a cabo una vez al día y registrar dicha información en la bitácora así como en la tabla A.6.

En cuanto al lavado de los filtros y purga de los Sedimentadores se reportará en la bitácora el lavado de los mismos. La purga de los Sedimentadores se deberá realizar aproximadamente cada quince días

El lavado total de la planta una vez al mes.

Operación eventual

Fallo eléctrico

Algunos procesos de la planta de tratamiento El Tigre funcionan de forma eléctrica, el dosificador de sulfato de aluminio es uno de ellos, ya sea que esté operando de forma manual o automática es necesario que haya un suministro eléctrico. En caso de que el suministro eléctrico falle, se puede dosificar sulfato de aluminio de forma manual mediante el uso de un galón y una manguera. El procedimiento se describe a continuación:

1. Tomar disolución de sulfato de aluminio de los tanques de suministro y llenar un galón con sulfato.
2. En la cámara de entrada posicionar una serie de galones uno encima de otro y en el tope colocar el galón con sulfato de aluminio. (ver figura A.35)
3. Insertar una manguera al galón, se recomienda que el principio este amarrado a un objeto pesado para evitar que se salga del galón.
4. Amarrar el otro extremo de la manguera al dosificador de sulfato de aluminio para asegurarse de dosificar en el punto correcto. (figura A.35)
5. Asegurarse que el galón tenga disolución de sulfato.
6. Para medir la el caudal de sulfato suministrado se puede utilizar el método volumétrico que se describe posteriormente en este manual.



Figura A.35 Dosificación de sulfato de aluminio en caso de no tener electricidad. Fuente Elaboración Propia.

Limpieza de las instalaciones y lavado de sistemas

El orden y aseo que se mantenga en todas las instalaciones de la planta de tratamiento son de suma importancia ya que eliminará cualquier potencial contaminación en el agua, es por esto que se deben programar limpiezas continuas a toda la planta y dependiendo de cada proceso unitario, tener todo limpio.

El operario de la planta El Tigre deberá encargarse de limpiar de forma periódica la salida de la cámara de floculación ya que se acumula sulfato y algas en esta zona, es importante procurar mantener limpia esta zona (figura A.36).

Las placas de sedimentación y la tubería de recolección de agua se deben limpiar cada quince días para evitar la formación de algas, para la limpieza se puede utilizar cloro.

Las paredes de los filtros también deberán ser lavadas cuando se encuentren muy sucias utilizando algún desinfectante, preferiblemente cloro.



Figura A.36 Zona de salida de la cámara de floculación. Fuente Elaboración Propia.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE FILTRACIÓN LENTA QUEBRADA TARBACA

Fuente de abastecimiento

La planta de Tratamiento Quebrada Tarbaca se abastece de la naciente el Yos, naciente La Muni y de la toma que se hace a la Quebrada Tarbaca, el diseño de la planta de tratamiento es para 5 L/s.

La planta de tratamiento de Filtración Lenta Quebrada Tarbaca consta de los procesos de filtración gruesa horizontal con la utilización de grava, filtro lento de arena y finalmente la desinfección mediante la cloración.

Filtro Grueso de Flujo Horizontal

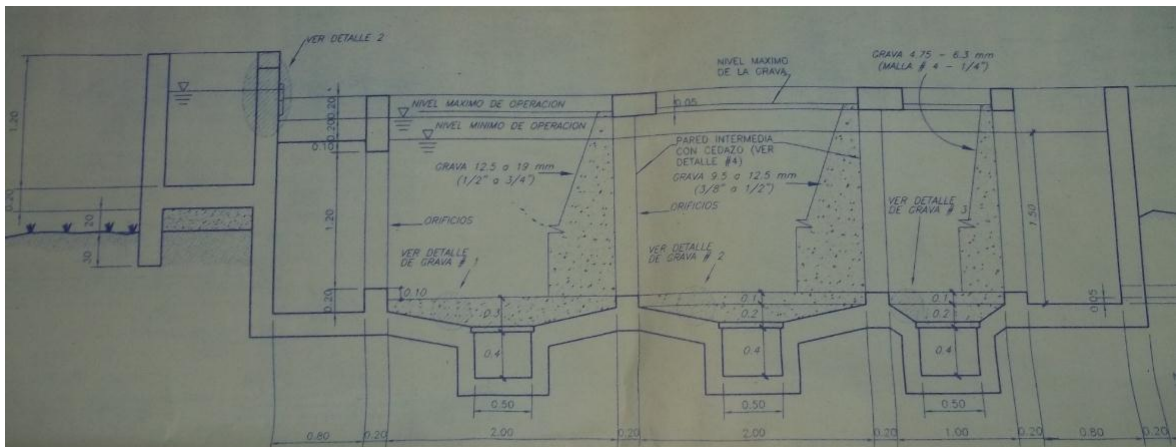


Figura A.37. Corte Lateral del filtro grueso horizontal de la planta de tratamiento quebrada Tarbaca. Fuente Elaboración Propia.

En la imagen (figura A.37) se puede observar la conformación del filtro en su interior, el tamaño de la grava utilizada es gradual y va disminuyendo conforme avanza el flujo de agua. El flujo de agua es horizontal.

Aforos

Estos tres filtros en serie constituyen el primer proceso de tratamiento que recibe el agua en la planta de Quebrada Tarbaca, es importante llevar a cabo las mediciones de caudal, mediante la utilización de los vertederos que se encuentran en la entrada de la planta (figura A.38)



Figura A.38. Vertederos de la cámara de entrada hacia filtro grueso de flujo horizontal. Fuente Elaboración Propia.

Estos vertederos están diseñados con un ángulo de 60° y se mide la altura de la cresta de agua y se determina el caudal mediante el uso del siguiente cuadro (tabla A.9). Una vez determinado el caudal de un vertedero se le deberá sumar el valor de caudal del otro vertedero ya que la suma del caudal de ambos vertederos será el valor total de caudal que estaría entrando a la planta.

Tabla A.9. Determinación de caudal según altura de agua medida con regla en vertedero.

Fuente Elaboración Propia.

Altura en centímetros	Caudal en Litros/Segundo
10,0	2,6
10,5	3,0
11,0	3,4
11,5	3,8
12,0	4,2
12,5	4,6
13,0	5,1
13,5	5,6
14,0	6,1
14,5	6,7
15,0	7,3
15,5	7,9
16,0	8,6
16,5	9,2
17,0	10,0

Existe otra forma de medir los caudales, es mediante un método volumétrico sencillo. El procedimiento es el siguiente:

1. Tomar un recipiente de volumen conocido, ejemplo un galón = 3,8 litros.
2. Tener a mano un reloj que permita medir en segundos, preferiblemente un cronómetro.
3. Colocar el recipiente debajo del chorro de agua en el vertedero, teniendo cuidado que la totalidad del flujo entre al recipiente; en el momento que se introduce el recipiente simultáneamente debe empezar la medición del tiempo que dura el recipiente en llegar al valor de volumen conocido.
4. Repetir el procedimiento 10 veces.
5. Para calcular el caudal se utiliza la siguiente fórmula:
Caudal = Volumen conocido / tiempo en segundos que dura en llenarse
Como ejemplo se realizará un galón de 3,7 litros que se llena en 5 segundos.
$$\text{Caudal (L/S)} = 3,8 \text{ Litros} / 5 \text{ segundos} = 0,76 \text{ L/s}$$
6. Se realiza un promedio de las 10 mediciones sumándolas todas y dividiéndolas entre diez.
7. Anotar el resultado.

Lavado de filtros gruesos.

Es importante llevar a cabo el lavado por del filtro horizontal, este lavado se hace de forma periódica. La indicación de la necesidad del lavado es la carga que se tiene en la cámara de entrada a los filtros, esto indicará la necesidad de lavado para esto el operario deberá estar chequeando regularmente este nivel. Para medir el nivel de carga el operario deberá utilizar una regla o metro.

Cuando la pérdida de carga de los filtros aumenta es cuando el nivel de agua en la cámara aumenta y esto indica que es necesario lavar los filtros. El lavado se realiza mediante el siguiente procedimiento.

1. Cerrar la válvula de agua hacia el filtro lento.
2. Realizar los lavados abriendo y cerrando la válvula del filtro 1 una vez.
3. Dejar que el agua salga hasta que aclare y cerrar la válvula de lavado.
4. Pasar a la siguiente válvula del filtro 2 al día siguiente de haber realizado el en filtro 1 y después el 3.
5. La semana siguiente hacer el lavado al lado contrario del filtro que fue lavado.



Figura A.39 Válvulas para lavado por de la planta de tratamiento Quebrada Tarbaca. Fuente Elaboración Propia.

Lavado Mensual

Limpieza cámaras de entrada y salida

- Limpiar material adherido al fondo y paredes de cámaras, con un cepillo de cerdas sintéticas.

Limpieza superficial de la grava

- Cerrar salida de agua filtrada.
- Abrir compuertas laterales o adaptadores de limpieza.
- Revolver la superficie de la grava utilizando una pala metálica, hasta que el agua producto del lavado aclare.
- Cerrar compuertas laterales.
- Cerrar entrada de agua.

Retiro y lavado de toda la grava del filtro.

Este proceso se realiza de forma eventual cuando se considere necesario, ya que requiere la ayuda de varias personas para llevarlo a cabo, se recomiendan las acciones resumidas en la siguiente tabla.

Tabla A.10. Acciones a realizar durante el retiro y lavado de toda la grava del filtro grueso de flujo horizontal. Fuente Elaboración Propia.

Actividad	Acciones claves
Retiro y lavado de toda la grava	<ul style="list-style-type: none">• Cerrar salida de agua hacia los filtros lentos.• Cerrar entrada de agua al filtro grueso de flujo horizontal.• Dejar salir el agua de los tres compartimentos del filtro grueso, drenando el agua por medio de las válvulas de desfogue.• Retirar la grava de cada uno de los compartimentos del filtro sin revolver la grava entre compartimentos.• Lavar los tipos de grava de forma separada.• Lavar tuberías, fondo y paredes del filtro.• Instalar la grava en cada uno de los compartimentos de acuerdo al espesor de la grava, recordando que la grava más gruesa se encuentra al principio y la más fina al final; siguiendo el flujo del agua.• Llenar el filtro con agua abriendo la válvula de entrada de agua.• Realizar varios drenajes siguiendo las recomendaciones del lavado de los filtros gruesos.• Abrir la salida del agua hacia los filtros lentos.

Filtro Lento de Arena

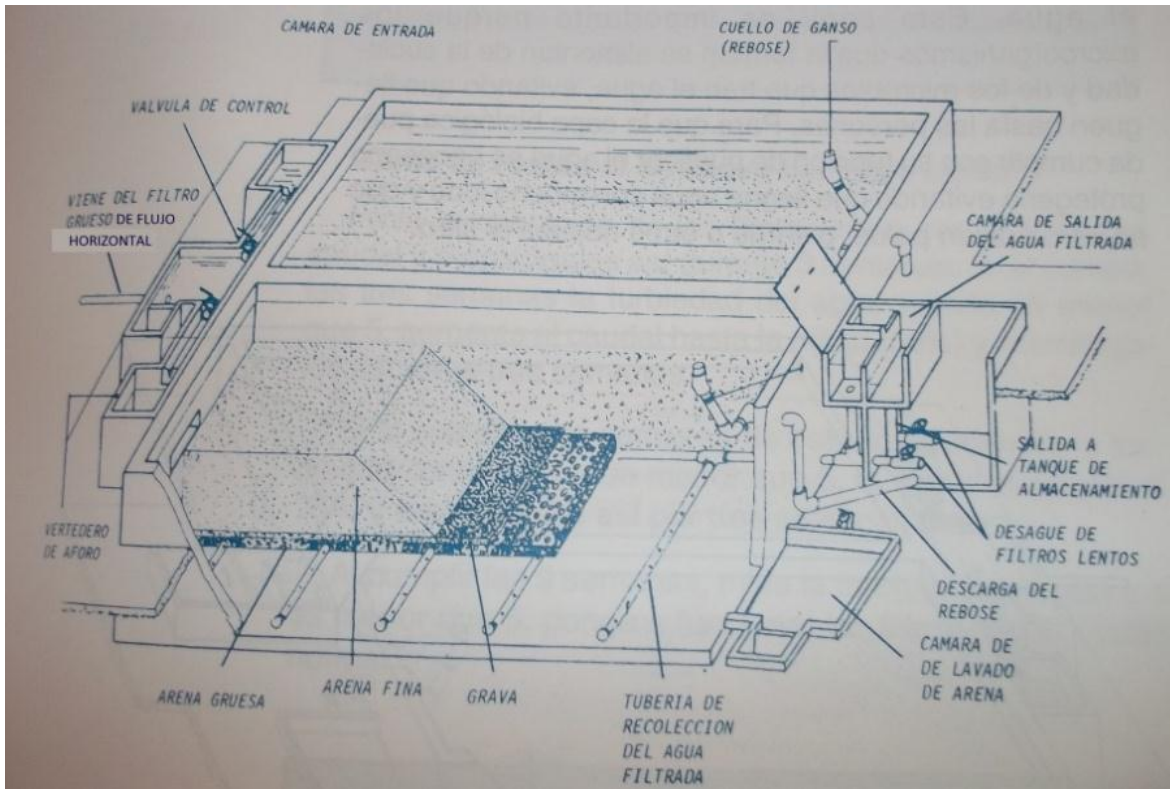


Figura A.40 Componentes del filtro lento de arena de la planta Quebrada Tarbaca. Fuente Elaboración Propia.

El filtro lento es el último componente de la planta de tratamiento, este dispositivo tiene, tal y como se puede observar en la figura anterior vertederos de aforo en la entrada y la salida del filtro; es importante que se registren los caudales que se están sirviendo al filtro mediante la tabla A.9 presentado anteriormente.

El filtro lento le quita al agua los microorganismos que causan enfermedades y la turbiedad que trae después de pasar por el filtro grueso de flujo horizontal. Cuando el filtro opera bien y está funcionando normalmente, el agua sale libre de microorganismos y puede ser consumida sin riesgo para la salud; una vez que se suministre el cloro.

En la superficie de la arena se forma una capa biológica (figura A.41) compuesta por los microorganismos que llegan en el agua. Esta capa es importante ya que eliminan cierta suciedad del agua al consumir la materia orgánica para sus actividades metabólicas. En otras palabras se alimentan de la suciedad y la turbiedad eliminándola y quedándose en esta capa biológica.

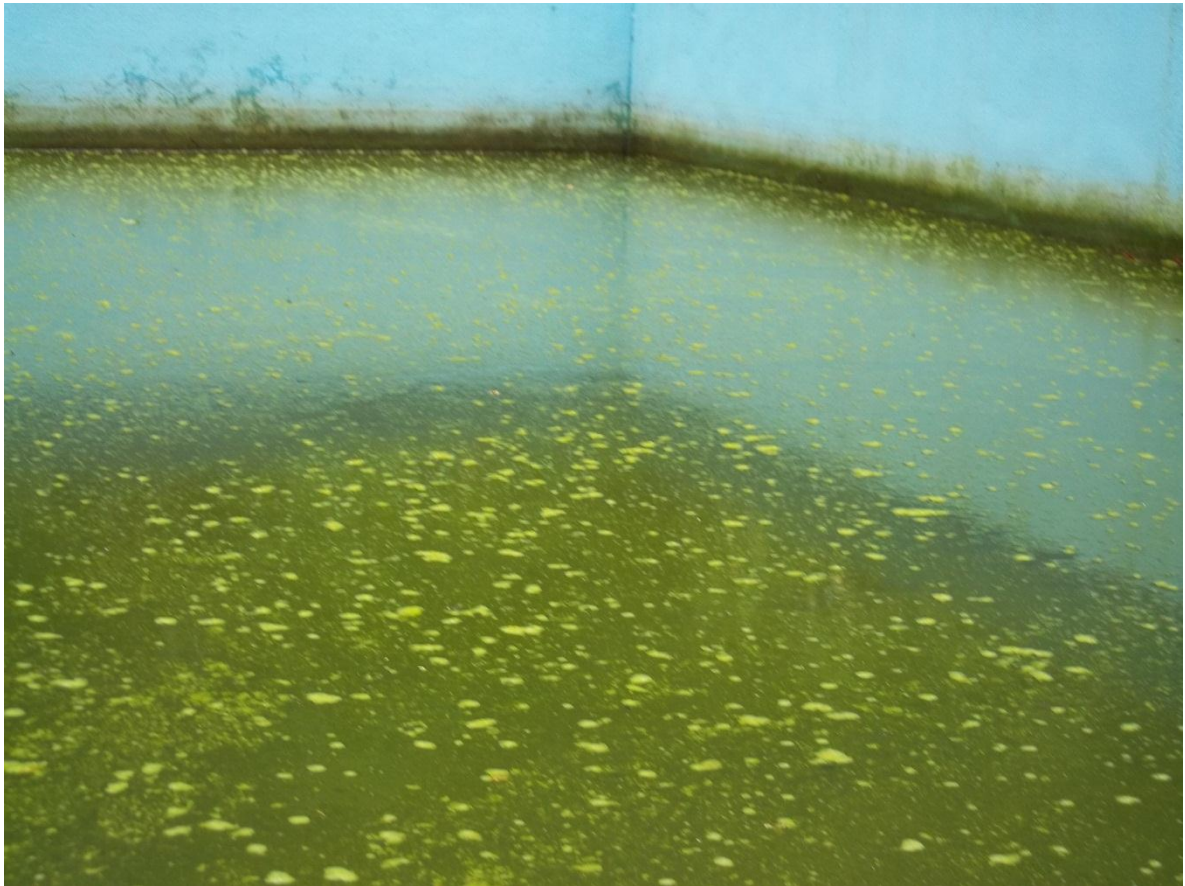


Figura A.41 Capa biológica formado en el filtro lento de arena de la planta Quebrada Tarbaca. Fuente Elaboración Propia.

Es importante como parte del mantenimiento que se le dé a los filtros lentos, que se retire con una nasa o colador las hojas, palos, y otras basuras grandes que flotan en el filtro.

Revisión de la pérdida de carga.

Al igual que en el filtro grueso, en los filtros lentos se deberá chequear el nivel del agua, si sube o baja ya que esto da una idea del funcionamiento de los filtros y la posible saturación de estos. La pérdida de carga se observa cuando el nivel del agua en el filtro aumenta. Si al observar el filtro la pérdida de agua es tan alta que el nivel de agua está a la altura del rebose o cuello de ganso, es el momento de hacer el raspado.

Raspado de filtros

Los raspados periódicos se realizan hasta alcanzar una profundidad mínima del lecho de arena del orden de 0.50 m; una vez alcanzado este nivel se debe proceder al rearenamiento. Por esto es importante también que el operario mida el nivel de arena e indique cuando es necesario proceder al rearenamiento.

Para el rearenamiento es importante conocer previamente la cantidad de arena disponible en la caseta de almacenamiento, la cual debe ser suficiente para restablecer la altura inicial del lecho filtrante; debe tenerse en cuenta que cerca del 20% de la arena instalada inicialmente en el filtro se pierde en el lavado y transporte entre el filtro, la cámara de lavado y la caseta de almacenamiento.

Tabla A.11. Procedimiento para limpiar un lecho filtrante de arena. Fuente Elaboración Propia.

Actividad	Acciones clave
1. Extraer el material flotante	<ul style="list-style-type: none"> • Retirar el material flotante con una nasa.
2. Drenar el agua sobrenadante	<ul style="list-style-type: none"> • Cerrar la válvula de entrada. • Abrir la válvula de vaciado. • Limpiar las paredes del filtro con un cepillo largo. • Cerrar la válvula de vaciado cuando el agua llegue a 0.20 m por debajo de la superficie del lecho filtrante.
3. Proteger el lecho filtrante	<ul style="list-style-type: none"> • Raspar una pequeña área, cúbrala con tablas y coloque el equipo sobre ella.
4. Raspar la capa superior	<ul style="list-style-type: none"> • Marcar áreas (3 x 3 m²) raspando en franjas estrechas. Raspar de 1 a 3 cm de la parte superior de cada área.
5. Retirar el material raspado	<ul style="list-style-type: none"> • Trasladar el material raspado a la plataforma de lavado.
6. Retirar el equipo	<ul style="list-style-type: none"> • Retirar el equipo de la zona de trabajo.
7. Nivelar la superficie de la arena.	<ul style="list-style-type: none"> • Retirar el equipo de la zona de trabajo.
8. Comprobar la profundidad del lecho de arena.	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar una tabla o un rastrillo de dientes finos para nivelar la superficie.

<p>9. Dar tiempo para la maduración biológica.</p> <p>10. Suministro a la población.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Medir la altura desde el borde superior del muro hasta el lecho filtrante. Tomar en cuenta 50 cm mínimo de profundidad de lecho de arena. • La maduración generalmente toma de 1 a 2 días. Durante este tiempo el caudal deberá ser menor al de diseño. • Si al segundo día la calidad del agua efluente del filtro recién raspado es aceptable, abra la válvula de suministro.
--	---

Consideraciones para el lavado de la arena.

- En vista de que la arena es costosa, se recomienda lavar y almacenar la arena proveniente de los raspados para ser usada en el rearenamiento del filtro; para esto la planta de Quebrada Tarbaca tiene un sitio preparado, el cual sirve de bodega de arena.
- La arena raspada debe lavarse tan pronto como se extrae del filtro, porque tiene materia orgánica adherida y este material al descomponerse produce sustancias con olores y sabores muy difíciles de remover.
- Para lavar la arena sucia en una planta pequeña, se empleara el sitio diseñado para esto en la planta Tarbaca, esta pila será de gran ayuda para el lavado de la arena. El flujo de agua mantiene la arena y los residuos en suspensión. La arena sedimentara dentro de una caja y los residuos serán removidos por la corriente de agua.

Cuarto de control de turbiedad

En la planta de tratamiento Quebrada Tarbaca, se tiene disponible un sistema automático para el control de la turbiedad el cual se presenta en la figura A.42. Este sistema le dará una guía al operario del funcionamiento de la planta de tratamiento.

Este sistema tiene la función de cerrar las válvulas de entrada cuando la turbiedad es mayor a 200 UNT y el agua de la cámara es llevada automáticamente a desfogue parando de operación el sistema. El sistema toma una muestra de la cámara de entrada, la analiza y da un valor en unidades de turbiedad (figura A. 43). Este sistema es controlado mediante un panel eléctrico el cual tiene la función de controlar la entrada de las muestras hacia el sistema. Las válvulas que se muestran en las tuberías deben estar abiertas, cuando el sistema está funcionando correctamente.

El sistema cierra la entrada y abre los desfogues después los 200 UNT.



Figura A.42. Sistema automático de control de turbiedad. Fuente Elaboración Propia.



Figura A.43. Lector de turbiedad en Unidades nefelométricas de turbiedad de la planta Quebrada Tarbaca. Fuente Elaboración Propia.

Cloración

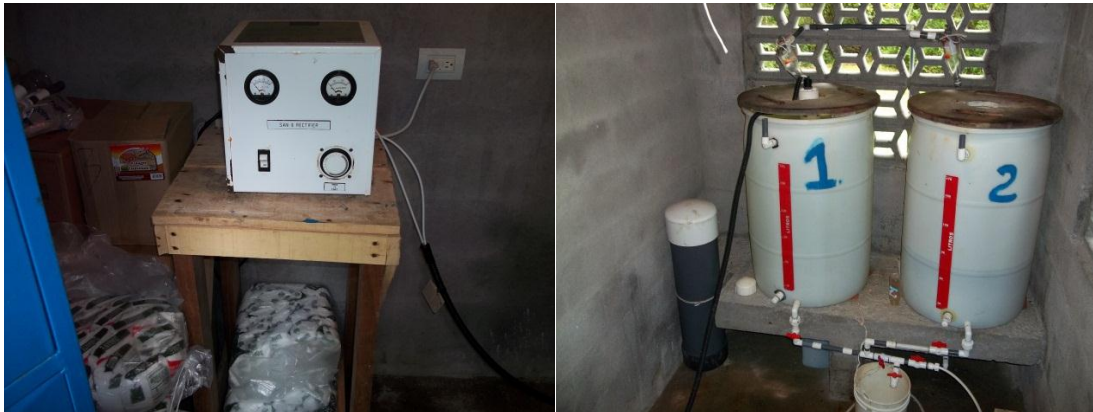


Figura A.44 Proceso de cloración de la planta Quebrada Tarbaca. Fuente Elaboración Propia.

El suministro de cloro debe realizarse de forma manual calibrando la apertura de las válvulas para regular el caudal de la dosis de cloro que se está suministrando al agua antes de entrar al tanque de almacenamiento. Para calcular el caudal se puede utilizar el método volumétrico, midiendo el tiempo que dura en llenarse de la disolución de cloro un recipiente con volumen conocido y dividiendo. Utilizando la fórmula que se presenta se calcula el caudal de la dosis:

$$\text{Caudal} = \text{Volumen} / \text{Tiempo}$$

Para llevar un control de la cantidad de cloro que se debe suministrar, se recomienda estar midiendo el cloro residual y comparar dicha medición con la dosis que se está suministrando; tomando en cuenta que el valor de cloro residual libre no debe ser mayor a 1 mg/L y no ser menor a 0,3 mg/L.

Preparación de la disolución de cloro

Al igual que en la planta de Filtración Rápida El Tigre, en esta planta de tratamiento el cloro se prepara mediante el uso de la electricidad. La electrólisis convierte la sal de mesa en una disolución de hipoclorito de sodio que tiene un efecto desinfectante, eliminando cualquier microorganismo que no haya sido removido por los procesos anteriores de tratamiento. Para preparar la disolución de cloro el procedimiento es el siguiente:

1. Llenar el estañón de agua hasta la marca de 170 litros.
2. Una vez lleno el estañón, añadir 12 bolsas de sal de mesa.
3. Encender la fuente de alimentación de corriente continua y ponerlo a un voltaje de 50 amperios.
4. Introducir el electrodo al estañón y dejarlo durante 24 horas.
5. Después de 24 horas, apagar la fuente de corriente y sacar el electrodo del recipiente.

Ficha de Registro

Para la medición y registro de parámetros fisicoquímicos se ofrece la siguiente ficha de para el llenado, en esta se establece los lugares en los cuales se debe hacer las medidas y cada cuanto se deben hacer. Se recomienda hacer uso del equipo de laboratorio que está disponible en la planta El Tigre, para lo cual sería necesario que se trasladen las muestras a dicho laboratorio, al menos dos veces diarias.

Tabla A.12. Ficha de registro de parámetros de calidad de la planta de tratamiento. Fuente Elaboración Propia.

		Planta Tratamiento Filtración Lenta Sistema Quebrada Tarbaca					
		Fecha	Hora toma de muestras (Recomendado cada 4 horas, mínimo 2 diarias)				
ASADA SAN GABRIEL							
Sitio de muestreo	Parámetros						
	Nombre del operador						
	Caudal de la planta (L/s)						
	Dosificador de sulfato (LPH)						
Cámara de entrada (Agua Cruda)	Color (Pt-Co)						
	Temperatura (°C)						
	pH						
	Turbiedad						
Después de prefiltración	Color (Pt-Co)						
	Turbiedad (UNT)						
Después de filtros lentos	Turbiedad (UNT)						
Cámara de salida (Agua Tratada)	Temperatura (°C)						
	Caudal de salida (L/s)						
	pH						
	Turbiedad						
	Cloro residual						
Notas:							

Medición de turbiedad con el uso del tubo

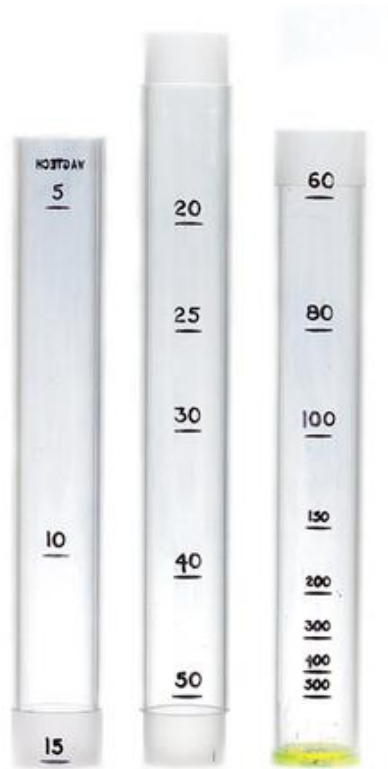


Figura A.45 Tubo de medición de turbiedad. Fuente Elaboración Propia.

El tubo viene graduado en valores variables de turbiedad. Para medir con este instrumento este es el procedimiento:

1. Tome el tubo con la boca hacia arriba a una altura que le permita observar desde el orificio del tubo, el círculo negro que se encuentra en el fondo del tubo.
2. Vierta lentamente la muestra de agua observando el círculo negro desde arriba hasta que empiece a desaparecer.
3. Mire la escala y registre el valor de la turbiedad de la muestra. Registre el resultado correspondiente a la línea más cercana al nivel de agua.

Documentos utilizados.

CINARA, Instituto de Investigación y desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y conservación del Recurso Hídrico. (1999). *Manual de Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento por Filtración en Múltiples Etapas*. Cali: Universidad del Valle.

OPS/CEPIS. (2005). *Guías para la Operación y Mantenimiento de Sistemas de Filtración en Múltiples Etapas*. Lima: Versión Digital.

OPS/CEPIS. (2005). *Manual IV: Operación, Mantenimiento y Control de Calidad; Capítulo I: Criterios Generales de Operación*. Lima: Versión Digital.

Anexo 11 Lista de turbiedades de entrada

Tabla A.13 Turbiedades de entrada a la Planta El Tigre. Fuente: Elaboración propia.

Fecha	Hora	Muestra	Turbiedad (UNT)
15-nov	7:00:00	Cámara entrada	8,26
14-nov	8:00:00	Cámara entrada	4,63
14-nov	12:05:00	Cámara entrada	5,38
14-nov	16:00:00	Cámara entrada	5,02
14-nov	20:00:00	Cámara entrada	4,24
13-nov	7:00:00	Cámara entrada	17,6
13-nov	11:00:00	Cámara entrada	7,46
13-nov	15:00:00	Cámara entrada	5,22
13-nov	21:00:00	Cámara entrada	4,37
12-nov	8:00:00	Cámara entrada	4,74
12-nov	12:05:00	Cámara entrada	5,36
12-nov	16:00:00	Cámara entrada	4,75
11-nov	7:00:00	Cámara entrada	4,09
11-nov	12:05:00	Cámara entrada	4,03
11-nov	16:00:00	Cámara entrada	4,83
11-nov	21:00:00	Cámara entrada	4,07
10-nov	7:00:00	Cámara entrada	5,95
10-nov	11:00:00	Cámara entrada	11,8
10-nov	15:00:00	Cámara entrada	4,87
10-nov	21:00:00	Cámara entrada	4,44
09-nov	8:00:00	Cámara entrada	9,69
09-nov	12:00:00	Cámara entrada	9,84
09-nov	16:00:00	Cámara entrada	8,73
09-nov	20:00:00	Cámara entrada	7,34
08-nov	8:00:00	Cámara entrada	4,78
08-nov	16:00:00	Cámara entrada	12,2
08-nov	19:00:00	Cámara entrada	8,8
07-nov	8:00:00	Cámara entrada	5,29
07-nov	11:00:00	Cámara entrada	6,72
07-nov	15:00:00	Cámara entrada	5,62

07-nov	19:00:00	Cámara entrada	5,5
07-nov	23:00:00	Cámara entrada	5,72
06-nov	7:00:00	Cámara entrada	6,7
06-nov	11:00:00	Cámara entrada	6,74
06-nov	15:00:00	Cámara entrada	9,87
06-nov	21:00:00	Cámara entrada	5,76
05-nov	7:00:00	Cámara entrada	5,36
05-nov	11:00:00	Cámara entrada	5,94
05-nov	15:00:00	Cámara entrada	6,65
04-nov	7:00:00	Cámara entrada	7,25
04-nov	11:00:00	Cámara entrada	7,31
04-nov	15:00:00	Cámara entrada	5,9
04-nov	20:00:00	Cámara entrada	5,85
03-nov	8:00:00	Cámara entrada	5,61
03-nov	12:00:00	Cámara entrada	8,2
03-nov	16:00:00	Cámara entrada	6,6
03-nov	20:00:00	Cámara entrada	6,77
02-nov	7:00:00	Cámara entrada	7,85
02-nov	16:00:00	Cámara entrada	7,68
02-nov	21:00:00	Cámara entrada	6,18
01-nov	7:00:00	Cámara entrada	9,82
01-nov	11:00:00	Cámara entrada	9,56
01-nov	16:00:00	Cámara entrada	9,48
01-nov	20:00:00	Cámara entrada	8,18
31-oct	8:00:00	Cámara entrada	6,31
31-oct	12:05:00	Cámara entrada	6,24
31-oct	16:00:00	Cámara entrada	5,82
31-oct	20:00:00	Cámara entrada	7,2
31-oct	0:00:00	Cámara entrada	13,9
30-oct	7:00:00	Cámara entrada	7,53
30-oct	11:00:00	Cámara entrada	7,59
30-oct	15:00:00	Cámara entrada	7,24
29-oct	7:00:00	Cámara entrada	18,1
29-oct	11:00:00	Cámara entrada	18,1
29-oct	15:00:00	Cámara entrada	13,2

29-oct	19:00:00	Cámara entrada	11,8
28-oct	7:00:00	Cámara entrada	29,7
28-oct	11:00:00	Cámara entrada	26,7
28-oct	20:00:00	Cámara entrada	44,6
27-oct	7:20:00	Cámara entrada	6,55
27-oct	11:00:00	Cámara entrada	12,1
27-oct	15:00:00	Cámara entrada	6,57
25-oct	7:00:00	Cámara entrada	12,1
25-oct	11:00:00	Cámara entrada	15,7
25-oct	15:00:00	Cámara entrada	12,7
25-oct	19:00:00	Cámara entrada	10,1
24-oct	8:00:00	Cámara entrada	13,4
24-oct	11:55:00	Cámara entrada	16,3
24-oct	16:00:00	Cámara entrada	13,81
23-oct	7:00:00	Cámara entrada	19,4
23-oct	11:00:00	Cámara entrada	6,62
23-oct	15:00:00	Cámara entrada	16,7
23-oct	19:00:00	Cámara entrada	15,1
22-oct	7:00:00	Cámara entrada	21,1
22-oct	18:30:00	Cámara entrada	44,3
21-oct	7:20:00	Cámara entrada	64,3
21-oct	15:20:00	Cámara entrada	42,5
21-oct	21:00:00	Cámara entrada	74,8
20-oct	8:15:00	Cámara entrada	22,8
20-oct	12:15:00	Cámara entrada	13,2
20-oct	16:00:00	Cámara entrada	11,2
20-oct	21:00:00	Cámara entrada	47,3
18-oct	9:00:00	Cámara entrada	11,5
18-oct	12:05:00	Cámara entrada	10,05
18-oct	16:00:00	Cámara entrada	8,87
18-oct	5:30:00	Cámara entrada	10,8
17-oct	11:00:00	Cámara entrada	14,5
17-oct	15:00:00	Cámara entrada	11,3
17-oct	18:40:00	Cámara entrada	11,4
17-oct	22:05:00	Cámara entrada	10,4

16-oct	8:30:00	Cámara entrada	64,6
16-oct	13:00:00	Cámara entrada	32,5
14-oct	7:00:00	Cámara entrada	19,5
14-oct	12:45:00	Cámara entrada	442
14-oct	13:12:00	Cámara entrada	359
14-oct	13:50:00	Cámara entrada	345
14-oct	14:15:00	Cámara entrada	335
14-oct	14:30:00	Cámara entrada	315
14-oct	14:40:00	Cámara entrada	289
14-oct	15:15:00	Cámara entrada	323
13-oct	7:05:00	Cámara entrada	62,4
13-oct	11:00:00	Cámara entrada	39,3
13-oct	15:20:00	Cámara entrada	31,6
12-oct	7:10:00	Cámara entrada	30,3
12-oct	11:00:00	Cámara entrada	21,8
12-oct	15:10:00	Cámara entrada	15,5
11-oct	8:00:00	Cámara entrada	15,3
11-oct	12:05:00	Cámara entrada	11,2
11-oct	16:00:00	Cámara entrada	9,54
10-oct	8:30:00	Cámara entrada	10,4
10-oct	12:10:00	Cámara entrada	6,31
10-oct	18:30:00	Cámara entrada	4,61
10-oct	22:10:00	Cámara entrada	6,54
09-oct	8:00:00	Cámara entrada	58,6
09-oct	12:00:00	Cámara entrada	36,8
08-oct	8:00:00	Cámara entrada	5,18
08-oct	12:05:00	Cámara entrada	6,29
08-oct	16:00:00	Cámara entrada	4,32
08-oct	20:00:00	Cámara entrada	4,36
07-oct	8:00:00	Cámara entrada	15,3
07-oct	12:05:00	Cámara entrada	10,1
07-oct	16:00:00	Cámara entrada	5,53
07-oct	21:00:00	Cámara entrada	4,42
06-oct	8:05:00	Cámara entrada	28,09
06-oct	11:50:00	Cámara entrada	18,8

06-oct	16:00:00	Cámara entrada	12
06-oct	20:00:00	Cámara entrada	11,4
05-oct	19:00:00	Cámara entrada	13,7
04-oct	4:00:00	Cámara entrada	3,15
04-oct	8:00:00	Cámara entrada	92,5
04-oct	12:10:00	Cámara entrada	146
04-oct	16:00:00	Cámara entrada	11,5
03-oct	18:50:00	Cámara entrada	3,88
03-oct	23:00:00	Cámara entrada	9,67
03-oct	4:50:00	Cámara entrada	7,99
29-sep	2:00:00	Cámara entrada	3,72
29-sep	7:30:00	Cámara entrada	3,24
28-sep	3:30:00	Cámara entrada	9,88
28-sep	21:00:00	Cámara entrada	4,69
27-sep	9:05:00	Cámara entrada	2,98
27-sep	12:10:00	Cámara entrada	18
27-sep	15:05:00	Cámara entrada	5,87
26-sep	9:10:00	Cámara entrada	2,99
26-sep	12:10:00	Cámara entrada	2,34
26-sep	18:05:00	Cámara entrada	1,83
26-sep	22:05:00	Cámara entrada	1,53
24-sep	9:00:00	Cámara entrada	2,47
24-sep	12:10:00	Cámara entrada	2,66
24-sep	15:10:00	Cámara entrada	2,49
24-sep	20:00:00	Cámara entrada	3,04
23-sep	21:00:00	Cámara entrada	3,87
23-sep	15:15:00	Cámara entrada	2,33
23-sep	9:02:00	Cámara entrada	4,4
22-sep	23:40:00	Cámara entrada	4,62
22-sep	16:40:00	Cámara entrada	4,65
22-sep	7:40:00	Cámara entrada	2,5
22-sep	0:00:00	Cámara entrada	2,55
21-sep	20:00:00	Cámara entrada	2
21-sep	14:46:00	Cámara entrada	1,91
21-sep	9:05:00	Cámara entrada	2,71

20-sep	15:10:00	Cámara entrada	2,98
20-sep	11:50:00	Cámara entrada	2,93
20-sep	8:50:00	Cámara entrada	4,11
19-sep	12:10:00	Cámara entrada	10,5
19-sep	8:50:00	Cámara entrada	11,8
19-sep	0:00:00	Cámara entrada	33,8
19-sep	0:20:00	Cámara entrada	122
19-sep	0:35:00	Cámara entrada	155
19-sep	0:50:00	Cámara entrada	250
19-sep	4:30:00	Cámara entrada	20,5
18-sep	23:25:00	Cámara entrada	23,7
17-sep	9:20:00	Cámara entrada	4,98
17-sep	12:05:00	Cámara entrada	5,02
17-sep	15:05:00	Cámara entrada	2,57
16-sep	19:20:00	Cámara entrada	11,6
16-sep	19:30:00	Cámara entrada	15,2
16-sep	19:50:00	Cámara entrada	21,08
16-sep	20:02:00	Cámara entrada	29,8
16-sep	20:20:00	Cámara entrada	31,2
16-sep	20:45:00	Cámara entrada	32,6
16-sep	21:37:00	Cámara entrada	25,6
16-sep	21:50:00	Cámara entrada	22,5
16-sep	22:32:00	Cámara entrada	20,8
16-sep	9:28:00	Cámara entrada	2,19
16-sep	12:10:00	Cámara entrada	1,89
16-sep	15:10:00	Cámara entrada	2,05
15-sep	7:05:00	Cámara entrada	3,37
15-sep	11:25:00	Cámara entrada	2,77
15-sep	15:10:00	Cámara entrada	2,44
15-sep	23:00:00	Cámara entrada	3,15
14-sep	0:00:00	Cámara entrada	5,18
14-sep	3:30:00	Cámara entrada	4,08
14-sep	9:36:00	Cámara entrada	12,6
13-sep	22:00:00	Cámara entrada	7,38
14-sep	0:00:00	Cámara entrada	5,18

14-sep	3:30:00	Cámara entrada	4,08
14-sep	9:36:00	Cámara entrada	12,6
13-sep	13:59:00	Cámara entrada	6,77
13-sep	10:15:00	Cámara entrada	8,2
13-sep	11:33:00	Cámara entrada	9,72
13-sep	12:10:00	Cámara entrada	10,7
13-sep	12:35:00	Cámara entrada	12,8
13-sep	9:29:00	Cámara entrada	5,7
13-sep	9:08:00	Cámara entrada	4,79
12-sep	21:10:00	Cámara entrada	2,79
12-sep	18:40:00	Cámara entrada	2,86
12-sep	15:11:00	Cámara entrada	2,55
12-sep	12:10:00	Cámara entrada	2,62
12-sep	9:20:00	Cámara entrada	2,5
10-sep	15:00:00	Cámara entrada	2,47
10-sep	11:58:00	Cámara entrada	2,94
10-sep	9:20:00	Cámara entrada	4,28
09-sep	22:00:00	Cámara entrada	4,59
09-sep	12:30:00	Cámara entrada	3,72
09-sep	8:59:00	Cámara entrada	5,48
08-sep	20:00:00	Cámara entrada	5,53
08-sep	23:30:00	Cámara entrada	4,95
08-sep	15:55:00	Cámara entrada	3,73
08-sep	13:15:00	Cámara entrada	4,65
08-sep	9:30:00	Cámara entrada	4,69
08-sep	7:10:00	Cámara entrada	3,91
08-sep	0:00:00	Cámara entrada	5,77
07-sep	8:00:00	Cámara entrada	5,92
07-sep	20:00:00	Cámara entrada	7,24
06-sep	21:00:00	Cámara entrada	57,3
06-sep	10:26:00	Cámara entrada	206
06-sep	10:32:00	Cámara entrada	236
06-sep	10:40:00	Cámara entrada	248
06-sep	10:52:00	Cámara entrada	269
06-sep	11:00:00	Cámara entrada	255

06-sep	11:08:00	Cámara entrada	199
06-sep	11:20:00	Cámara entrada	143
06-sep	11:50:00	Cámara entrada	112
06-sep	9:02:00	Cámara entrada	104
06-sep	7:44:00	Cámara entrada	57,2
06-sep	5:00:00	Cámara entrada	22,5
06-sep	1:35:00	Cámara entrada	155
05-sep	23:10:00	Cámara entrada	285
05-sep	22:30:00	Cámara entrada	58,1
05-sep	21:05:00	Cámara entrada	6,06
05-sep	18:05:00	Cámara entrada	4,87
05-sep	15:15:00	Cámara entrada	4,09
05-sep	12:10:00	Cámara entrada	4,2
05-sep	9:25:00	Cámara entrada	4,92
05-sep	0:00:00	Cámara entrada	6,93
04-sep	21:00:00	Cámara entrada	11,9
04-sep	19:00:00	Cámara entrada	18,6
03-sep	16:10:00	Cámara entrada	8,08
03-sep	12:15:00	Cámara entrada	8,18
03-sep	9:40:00	Cámara entrada	11,6
02-sep	20:00:00	Cámara entrada	350
02-sep	22:00:00	Cámara entrada	65,22
02-sep	23:00:00	Cámara entrada	39,4
01-sep	22:00:00	Cámara entrada	3,03
01-sep	7:45:00	Cámara entrada	4,12
31-ago	9:08:00	Cámara entrada	8,72
31-ago	0:00:00	Cámara entrada	26
30-ago	23:00:00	Cámara entrada	55
30-ago	20:00:00	Cámara entrada	108
30-ago	20:30:00	Cámara entrada	399
30-ago	22:00:00	Cámara entrada	174
30-ago	19:00:00	Cámara entrada	31,2
30-ago	19:18:00	Cámara entrada	48
30-ago	18:38:00	Cámara entrada	18,9
30-ago	9:17:00	Cámara entrada	2,37

29-ago	18:20:00	Cámara entrada	2,17
29-ago	15:10:00	Cámara entrada	2,11
29-ago	11:58:00	Cámara entrada	2,47
29-ago	9:23:00	Cámara entrada	2,28
27-ago	23:00:00	Cámara entrada	7,18
27-ago	15:25:00	Cámara entrada	9,17
27-ago	12:10:00	Cámara entrada	28,2
27-ago	9:02:00	Cámara entrada	39,6
26-ago	18:50:00	Cámara entrada	94,9
26-ago	18:30:00	Cámara entrada	55,2
26-ago	15:05:00	Cámara entrada	1,93
26-ago	12:20:00	Cámara entrada	2,82
26-ago	9:18:00	Cámara entrada	2,06
25-ago	15:10:00	Cámara entrada	2,01
25-ago	11:00:00	Cámara entrada	2,25
25-ago	7:25:00	Cámara entrada	3,61
24-ago	16:10:00	Cámara entrada	3,09
24-ago	13:10:00	Cámara entrada	2,08
24-ago	10:05:00	Cámara entrada	3,49
23-ago	15:20:00	Cámara entrada	2,09
22-ago	21:00:00	Cámara entrada	1,83
22-ago	15:15:00	Cámara entrada	2,48
22-ago	12:10:00	Cámara entrada	3,05
22-ago	9:03:00	Cámara entrada	2,23
19-ago	14:57:00	Cámara entrada	1,99
19-ago	12:10:00	Cámara entrada	2,01
19-ago	9:20:00	Cámara entrada	1,84
18-ago	14:20:00	Cámara entrada	3,15
18-ago	10:40:00	Cámara entrada	23,5
18-ago	7:55:00	Cámara entrada	7,19
16-ago	14:55:00	Cámara entrada	4,94
16-ago	7:27:00	Cámara entrada	28,6
16-ago	5:00:00	Cámara entrada	23,9
15-ago	21:20:00	Cámara entrada	1,53
15-ago	18:15:00	Cámara entrada	3,55

14-ago	20:30:00	Cámara entrada	15
14-ago	21:00:00	Cámara entrada	18,7
14-ago	21:40:00	Cámara entrada	23,3
13-ago	19:20:00	Cámara entrada	8,3
13-ago	19:33:00	Cámara entrada	8,78
13-ago	19:54:00	Cámara entrada	10,5
13-ago	20:15:00	Cámara entrada	9,1
13-ago	20:46:00	Cámara entrada	10,5
13-ago	15:03:00	Cámara entrada	2,8
13-ago	12:08:00	Cámara entrada	3,29
12-ago	15:25:00	Cámara entrada	2,2
12-ago	12:11:00	Cámara entrada	2,33
12-ago	8:52:00	Cámara entrada	2,18
11-ago	15:00:00	Cámara entrada	1,56
11-ago	11:35:00	Cámara entrada	2,22
11-ago	8:05:00	Cámara entrada	2,33
10-ago	15:28:00	Cámara entrada	4,08
10-ago	12:03:00	Cámara entrada	2,1
10-ago	9:28:00	Cámara entrada	9,16
09-ago	15:15:00	Cámara entrada	3,2
09-ago	12:20:00	Cámara entrada	10,5
09-ago	9:10:00	Cámara entrada	2,1
09-ago	5:25:00	Cámara entrada	1,52
08-ago	18:45:00	Cámara entrada	1,77
08-ago	15:10:00	Cámara entrada	1,86
06-ago	15:05:00	Cámara entrada	4,12
06-ago	11:50:00	Cámara entrada	3,12
06-ago	9:10:00	Cámara entrada	2,84
04-ago	16:00:00	Cámara entrada	3,75
04-ago	13:50:00	Cámara entrada	3,98
04-ago	10:00:00	Cámara entrada	5,66
04-ago	7:45:00	Cámara entrada	6,1
02-ago	14:50:00	Cámara entrada	14,8
02-ago	12:11:00	Cámara entrada	25,9
02-ago	9:40:00	Cámara entrada	27,6

02-ago	5:30:00	Cámara entrada	13,7
01-ago	18:40:00	Cámara entrada	35,6
01-ago	23:40:00	Cámara entrada	53,5
01-ago	15:05:00	Cámara entrada	9
01-ago	12:10:00	Cámara entrada	9,3
01-ago	9:20:00	Cámara entrada	11,1
30-jul	15:10:00	Cámara entrada	8,95
30-jul	12:02:00	Cámara entrada	9,74
30-jul	9:05:00	Cámara entrada	6,3
29-jul	20:00:00	Cámara entrada	5,2
29-jul	15:06:00	Cámara entrada	10,8
28-jul	15:10:00	Cámara entrada	1,99
28-jul	11:45:00	Cámara entrada	2,22
28-jul	8:35:00	Cámara entrada	2,31
27-jul	15:17:00	Cámara entrada	3,9
27-jul	12:00:00	Cámara entrada	4,97
27-jul	9:10:00	Cámara entrada	3,55
26-jul	15:20:00	Cámara entrada	4,18
26-jul	12:08:00	Cámara entrada	2,55
25-jul	18:35:00	Cámara entrada	1,93
25-jul	15:09:00	Cámara entrada	3,21
25-jul	12:15:00	Cámara entrada	3,45
25-jul	9:05:00	Cámara entrada	2,26
23-jul	15:27:00	Cámara entrada	10,6
23-jul	12:39:00	Cámara entrada	9,23
23-jul	9:48:00	Cámara entrada	9,81
22-jul	11:55:00	Cámara entrada	10
22-jul	9:05:00	Cámara entrada	11,7
20-jul	11:59:00	Cámara entrada	11,6
20-jul	9:00:00	Cámara entrada	9,1
18-jul	15:10:00	Cámara entrada	8,9
18-jul	11:58:00	Cámara entrada	6,52
18-jul	9:13:00	Cámara entrada	10,1

Anexo 12 Lista de pH y temperatura.

Tabla A.14 valores de pH y temperatura. Fuente: Elaboración propia.

Fecha	Hora	Lugar de toma de muestras	pH	Temp
15-nov	07:00	cámara de entrada	9,38	18,5
		salida cloro	8,94	18,3
14-nov	08:00	cámara de entrada	8,59	18,5
		salida cloro	8,35	18,1
	12:05	cámara de entrada	8,76	19,3
		salida cloro	8,66	18,6
	16:00	cámara de entrada	8,89	18,5
		salida cloro	8,72	18,6
20:00	cámara de entrada	8,39	18,7	
	salida cloro	8,35	18,9	
13-nov	07:00	cámara de entrada	8,27	17,7
		salida cloro	8,95	17,9
	11:00	cámara de entrada	8,84	18,4
		salida cloro	8,57	18
	15:00	cámara de entrada	8,6	18,4
		salida cloro	8,05	18,3
21:00	cámara de entrada	8,81	18,8	
	salida cloro	7,8	18,6	
12-nov	08:00	cámara de entrada	8,56	18,3
		salida cloro	8,51	17,8
	12:05	cámara de entrada	8,4	19,2
		salida cloro	8,53	18,3
16:00	cámara de entrada	8,46	19,7	
	salida cloro	8,51	18,7	
24-oct	07:05	cámara de entrada	7,85	18,4
		salida cloro	7,46	18,5
	11:00	cámara de entrada	7,95	18,6
		salida cloro	7,61	18,7
15:20	cámara de entrada	8,04	18,6	
	salida cloro	7,74	18,6	
23-oct	07:00	cámara de entrada	7,19	18
		salida cloro	7,1	18
	11:00	cámara de entrada	7,18	18,3
		salida cloro	6,98	18,2
15:10	cámara de entrada	8,06	18,5	

		salida cloro	7,01	18,3
	19:00	cámara de entrada	7,98	18,5
		salida cloro	7,32	18,4
22-oct	07:00	cámara de entrada	7,58	18,5
		salida cloro	7,81	18,2
	18:30	cámara de entrada	7,69	18,3
		salida cloro	7,79	18,4
21-oct	07:20	cámara de entrada	7,81	18
		salida cloro	7,25	18,5
	15:20	cámara de entrada	7,29	18,7
		salida cloro	6,36	18,2
	21:00	cámara de entrada	6,7	17,9
		salida cloro	6,98	17,9
20-oct	08:15	cámara de entrada	7,13	19,02
		salida cloro	6,9	19,2
	12:15	cámara de entrada	7,56	18,5
		salida cloro	7,41	18,9
	16:00	cámara de entrada	7,77	18
		salida cloro	7,72	18,1
	21:00	cámara de entrada	8,06	18,2
		salida cloro	7,47	18
18-oct	09:00	cámara de entrada	7,04	18,01
		salida cloro	7,16	18,01
	12:05	cámara de entrada	7,36	18,02
		salida cloro	7,36	18,02
	16:00	cámara de entrada	7,37	18,04
		salida cloro	7,68	18,01
17-oct	11:00	cámara de entrada	7,07	18
		salida cloro	7,02	17,9
	15:00	cámara de entrada	7,08	18,2
		salida cloro	7,04	18,1
16-oct	08:30	cámara de entrada	7,04	18,6
		salida cloro	6,65	18,2
	13:00	cámara de entrada	7,06	18,1
		salida cloro	6,89	18
14-oct	07:00	cámara de entrada	7,11	18,5
		salida cloro	7,11	18,4
13-oct	07:05	cámara de entrada	7,02	18,6
		salida cloro	6,63	18,6
	11:00	cámara de entrada	7,02	18,6

		salida cloro	6,63	18,6
	15:20	cámara de entrada	6,85	18,5
		salida cloro	6,72	18,4
12-oct	07:10	cámara de entrada	6,93	18,5
		salida cloro		19
	11:00	cámara de entrada	7,04	18,3
		salida cloro	6,66	18,6
	15:10	cámara de entrada	6,96	19
		salida cloro	6,77	18,6
11-oct	08:00	cámara de entrada	7,05	18,8
		salida cloro	6,99	18,7
	12:05	cámara de entrada	6,99	19,4
		salida cloro	7,02	18,7
	16:00	cámara de entrada	7,01	18,8
		salida cloro		18,6
10-oct	08:30	cámara de entrada	7,01	20
		salida cloro		19,8
	12:10	cámara de entrada	6,99	19,4
		salida cloro		19,2
09-oct	08:00	cámara de entrada	7,08	18,9
		salida cloro	6,05	19,2
	12:00	cámara de entrada	6,97	18,7
		salida cloro	6,61	19,6
08-oct	08:00	cámara de entrada	7,64	19,8
		salida cloro	7,7	
	12:05	cámara de entrada	7,02	20,9
		salida cloro	7,13	
	16:00	cámara de entrada	6,95	19,8
		salida cloro	6,93	19,9
07-oct	08:00	cámara de entrada	7,95	19,1
		salida cloro	7,6	19,3
	12:05	cámara de entrada	6,89	20,1
		salida cloro	6,89	19,5
	16:00	cámara de entrada	6,97	19,7
		salida cloro	6,89	19,3
06-oct	11:50	cámara de entrada	7,87	
		salida cloro	7,43	19,7
04-oct	08:00	cámara de entrada		18,6
		salida cloro	7,81	18,6
	12:10	cámara de entrada	6,9	18,8



ASOCIACIÓN ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO RURAL Y
ALCANTARILLADO SANITARIO
DE SAN GABRIEL DE ASERRÍ
Cedula jurídica 3-002-317684
TELEFAX 2540-13-13

Costado Norte de la Escuela Gabriel Brenes Robles.

04 de julio 2011

N° 030-2011

ORDEN DE COMPRA

Señores
Importadora Quimica del Norte

Atención: Shirley Solis Cortes

Favor despachar, a nombre de Acueducto de San Gabriel de Aserrí:

Cantidad	Descripción	Costo Unitario €	Total
1 250 kg	Sulfato de Aluminio	365.30	445 375.00
	Subtotal		445 375.00
	Descuento		0.000
	Impuesto de ventas		57 898.75
	Total		503 273.75

P/ ASOCIACION ADMINISTRADORA
ACUEDUCTO SAN GABRIEL-ASERRI

Mainor Durán M.
Administrador
 Archivo

Anexo 14 Listas de asistencia a cursos de capacitación y fotografías de las lecciones.


28 Septiembre 2011
ASISTENCIA CAPACITACION OPERARIOS
JUAN CARLOS RIOS GATTO *JCR*
MIGUEL MORENO FONSECA
Carlos Chavarrí Sardi
Martín
Humberto Hidalgo *H*
Rodrigo Mora Almona *RAM*
Daniel Mora Rios *DMR*
Mainor Durán Monge *MDM-1778-798*

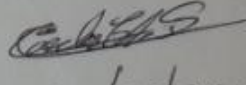
ASISTENCIA
2DA CAPACITACIÓN

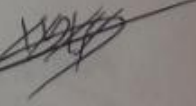
19 OCTUBRE 2011

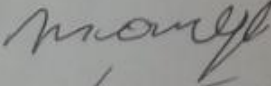
Miguel morano F (tany)
Daniel Mora Ríos
Rodrigo Mora Almonte
Carlos Chavarría Sandi
Juan Carlos Ríos Saito
Humberto Hidalgo Segura
Monteí Muñoz


Asistencia Zona Capacitación
23 NOV.

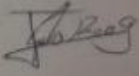
Humberto Hidalgo Segura 

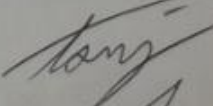
Carlos Chavarria Sardi 


~~Minor Duán Monge Administrador ~~

M. Anten  money

Rodrigo Mora  V. MORA

Juan Carlos Rios Gatto 

M. Guel Moreno  tanj

Daniel Mora Rios 

Anexo 15 Respuestas de los operarios al cuestionario

Evaluación del curso de capacitación

El presente documento tiene el objetivo de conocer su opinión acerca de las tres lecciones de capacitación brindadas por el estudiante Diego Venegas Sandí como parte de su proyecto de graduación: Plan Técnico de Operación y Mantenimiento para las Plantas de Tratamiento de la ASADA de San Gabriel de Aserri.

1. Considera que las lecciones se realizaron siguiendo una secuencia lógica (Si) (No). ¿Por qué?

Efectivamente siguieron una secuencia que permitió comprender los siguientes etapas con mayor facilidad.

2. ¿Considera que la forma de presentación de la información fue clara? (Si) (No). Explique de qué forma fue clara en caso de que su respuesta sea sí.

Las técnicas utilizadas y los instrumentos utilizados facilitaron la información y el proceso de aprendizaje.

3. ¿La explicación acerca de los procedimientos prácticos fue suficientemente clara para aplicarlos en el futuro? (Si) (No). Brinde una explicación.

Las instrucciones como manuales y fórmulas de control se elaboraron con una sencillez y de forma práctica, por lo que pueden ser utilizados en todo momento.

4. De su labor como operario, ¿ Cree usted que las lecciones impartidas lo ayudaron a realizar mejor su trabajo? ~~(Si)~~ (No)

Considero que el conocimiento adquirido ya esta buscando resultados positivos en la operación de la planta.

5. ¿Las herramientas presentadas, como diagramas, figuras o cuadros presentados tienen utilidad práctica para su labor? ~~(Si)~~ (No)

Todas las herramientas presentadas, indistintamente son muy útiles y facilitan las labores prácticas.

6. En general, ¿Cual es su opinión acerca de la capacitación brindada?

Excelente capacitación, muy buena profesional, serio y comprometido transmitiendo el conocimiento de una forma sencilla y práctica.

7. Recomendaciones

Seguir adelante. Felicitarlos. Excelente profesional. Éxitos a futuro.

Evaluación del curso de capacitación

El presente documento tiene el objetivo de conocer su opinión acerca de las tres lecciones de capacitación brindadas por el estudiante Diego Venegas Sandí como parte de su proyecto de graduación: Plan Técnico de Operación y Mantenimiento para las Plantas de Tratamiento de la ASADA de San Gabriel de Aserri.

Daniel Mora Ríos

1. Considera que las lecciones se realizaron siguiendo una secuencia lógica (No). ¿Por qué?

Me parece que la secuencia fue en orden de los primeros pasos de como trabajar hasta lo científico.

2. ¿Considera que la forma de presentación de la información fue clara? (No). Explique de qué forma fue clara en caso de que su respuesta sea sí.

La manera en impartir las charlas fue muy dinámica y el dialogo que existió entre Diego y los operadores.

3. ¿La explicación acerca de los procedimientos prácticos fue suficientemente clara para aplicarlos en el futuro? (No). Brinde una explicación.

Muchas cosas no sabemos manejar y las que sabemos nos faltaba conocimiento y la mejor es el manual que es la última que nos regaló que está muy completa.

4. De su labor como operario, ¿ Cree usted que las lecciones impartidas lo ayudaron a realizar mejor su trabajo? (No)

Si claro las dudas las aclaramos y damos
nuestras opiniones y si alguna duda nos
dirijimos al manual

5. ¿Las herramientas presentadas, como diagramas, figuras o cuadros presentados tienen utilidad práctica para su labor? (No)

Si con esos cuadros mas facilitan el
trabajo y nos dan exactitud en el trabajo

6. En general, ¿Cual es su opinión acerca de la capacitación brindada?

fue todo una ayuda para todos los
operadores

7. Recomendaciones

Seguir impartiendo estas charlas.

Anexo 16 Curva de dosis óptima de AyA.

