

**PROPUESTA TECNOLÓGICA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD  
DEL AGUA POTABLE DEL ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ (S).**

**GERMAN EDUARDO PINTO SUÁREZ  
MONICA SOLANO GALLEGO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2012**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD  
DEL AGUA POTABLE DEL ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ (S).**

**GERMAN EDUARDO PINTO SUÁREZ  
MONICA SOLANO GALLEGO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de:  
Ingeniero Químico**

**Director  
Prof. CRISÓSTOMO BARAJAS FERREIRA  
Ingeniero Químico M.Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2012**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo es dedicado a Dios, porque me ha dado lo más importante la VIDA, porque me guió siempre en este largo camino.

A mi madre Luz Marina Gallego por su confianza, apoyo y amor,

A mi padre Luis Eduardo Solano, por el cariño, paciencia y por ser fuente de sabiduría por su gran esfuerzo para que este sueño se hiciera realidad.

A mis hermanos por su apoyo y a mis sobrinos mi fuente de inspiración.

**MONICA**

Primeramente este trabajo lo dedico a Dios, quien es mi sustento, mi apoyo, mi pilar, mi razón de vivir, quien ha estado conmigo siempre en todo tiempo y nunca me ha desamparado.

A mi madre Blanca María Suárez Ortiz quien me ha apoyado durante todo este recorrido por el camino de la vida, por sus consejos, su amor, confianza y fortaleza.

A mi hermana Adriana María Pinto Suárez la cual quiero bastante, gracias por esos buenos momentos.

A mis amigos y personas cercanas las cuales fueron mi apoyo durante este proceso, en especial a Alexis Amaya, Milena Pinto, Los hermanos Olaya.

**GERMAN**

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	16
OBJETIVOS.....	17
OBJETIVO GENERAL.....	17
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	17
1. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	18
1.1 CALIDAD DEL AGUA.....	18
1.2 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS EVALUADOS EN EL AGUA.....	18
1.3. CALIDAD Y CONTROL DEL AGUA EN COLOMBIA.....	19
1.4. TRATAMIENTO PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA.....	20
2. INFORMACION GENERAL.....	20
2.1. VÉLEZ.....	20
2.1.1. Topografía y clima de la zona.....	20
2.1.2. Estimación cuantitativa del recurso hídrico del municipio de Vélez.....	21
2.2. ANTECEDENTES.....	22
2.2.1. Metodología usada para la revisión del estado del sistema de potabilización y distribución del agua en Vélez.....	22
2.2.2 Acueducto del municipio de Vélez.....	23
2.2.3. Diagnóstico realizado a las fuentes hídricas que SURTEN el acueducto del municipio de Vélez.....	24
3. DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO, FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO Y ESTADO DE LA INFRAESTRUCTURA CON LA QUE CUENTA EL ACUEDUCTO DE VÉLEZ.....	24
3.1. CALIDAD DEL AGUA SUMINISTRADA.....	26
3.1.1. Demanda.....	26
4. REDISEÑO DEL ACUEDUCTO.....	27
4.1. PARÁMETROS DE DISEÑO PARA EL SISTEMA DE ACUEDUCTO.....	27
4.1.1. Parámetros de diseño.....	27

4.1.2. Alcance del sistema .....	27
4.2. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN.....	27
4.2.1. Nivel de complejidad.....	27
4.2.2. Cálculo de la población futura.....	29
4.2.3. Población de Diseño .....	29
4.3. DOTACIÓN NETA .....	29
4.3.1. Dotación neta según el nivel de complejidad del sistema .....	30
4.3.2. Correcciones a la dotación neta.....	30
5. MEJORAS A IMPLEMENTAR .....	31
5.1. COMPRA DE PREDIOS .....	31
5.2. ADECUACIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DEL AGUA.....	31
5.3. MEJORAMIENTO DE LAS CANALETAS DE FLOCULACIÓN Y TANQUES DE SEDIMENTACIÓN .....	32
5.3.1. Resumen del diseño del floculador de flujo vertical .....	33
5.3.2. Dimensionamiento del Sedimentador .....	34
5.4. IMPLEMENTACIÓN DEL BIOPACK EN LOS SEDIMENTADORES .....	34
5.5. MEJORAMIENTO DE LA ETAPA DE FILTRACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN LECHO DE CARBÓN ACTIVADO .....	35
5.6. IMPLEMENTACIÓN DE RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO.....	36
5.7. CAMBIO DE AGENTE FLOCULANTE .....	36
5.7.1. Dosis óptima de agente floculante .....	38
5.8. IMPLEMENTACIÓN DE LABORATORIO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO .....	39
5.9. IMPLEMENTACIÓN DE LAMPARAS UV EN LA ETAPA DE DESINFECCIÓN.....	39
6. CONCLUSIONES .....	41
7. RECOMENDACIONES.....	42
BIBLIOGRAFÍA.....	43

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Distribución Urbana .....	21
Tabla 2. Demanda Hídrica .....	27
Tabla 3. Métodos de cálculos permitidos según el nivel de complejidad del sistema. ....	28
Tabla 4. Población futura .....	29
Tabla 5. Dotación neta según el Nivel de Complejidad del Sistema. ....	30
Tabla 6. Dimensiones del desarenador. ....	32
Tabla 7. Dimensiones del floculador. ....	33
Tablas 8. Dimensiones del floculador. ....	33
Tabla 9. Dimensiones del sedimentador. ....	34
Tabla 10. Dimensiones de la unidad de filtración.....	35
Tabla 11. Condiciones de la prueba. ....	42
Tabla 12. Resultados de Turbiedad.....	38
Tabla 13. Características Físicas.....	50
Tabla 14. Características químicas de sustancias que tienen implicaciones sobre la salud humana.....	51
Tabla 15. Características químicas que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana. ....	51
Tabla 16. Características microbiológicas .....	52
Tabla 17. Puntaje de riesgo .....	53
Tabla 18. Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra, el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse.....	54
Tabla 19. Parámetros de calidad de agua para uso humano y domestico. ....	57
Tabla 20. Parámetros de calidad del agua para uso agrícola. ....	57
Tabla 21. Parámetros de calidad del agua para uso pecuario .....	58
Tabla 22. Nivel de calidad del agua de acuerdo al grado de polución.....	58
Tabla 23. Caracterización cuerpo de agua, bocatoma el Batán.....	70
Tabla 24. Caracterización cuerpo de agua bocatoma, La Peña. ....	71

Tabla 25. Caracterización cuerpo de agua, bocatoma Pozo Verde .....	72
Tabla 26. Caracterización del cuerpo de agua del acueducto urbano del municipio Vélez.....	73
Tabla 29. Calidad de la fuente. ....	75
Tabla 30. Normas de calidad del agua potable, según el Decreto 475/98.....	76
Tablas 31. Diseño según el nivel de complejidad del sistema .....	78
Tabla 32. Capacidad de diseño .....	78
Tabla 33. Condiciones para el cálculo de la velocidad de sedimentación del desarenador.....	79
Tablas 34. Tiempos de detención .....	86
Tabla 35. Tipos en las cámaras de floculación .....	86
Tablas 36. Suposiciones para el diseño del floculador. ....	87
Tabla 37. Resumen del diseño del floculador de flujo vertical .....	91
Tabla 38. Carga superficial del sedimentador.....	92
Tabla 39. Medio filtrante, unidad de filtración.....	96

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Metodología usada para la evaluación del acueducto de Vélez .....	23
Figura 2. Uso de sulfato de aluminio Sólido y líquido en los años 2007 – 2010. ..	37
Figura 3. Dosis óptima turbiedad 0.56 NTU .....	38
Figura 4. Floculador hidráulico de flujo vertical (corte vertical) .....	85
Figura 5. Floculador de flujo vertical. ....	87

## LISTA DE ANEXOS

Pág.

ANEXO A. A PARÁMETROS FISIOQUIMICOS EVALUADOS Y TRATAMIENTO CONVENCIONAL DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA.....	46
ANEXO B. NORMATIVIDAD COLOMBIANA DEL AGUA.....	50
ANEXO C. MATERIAL FOTOGRÁFICO ACUEDUCTO DE VÉLEZ Y DESCRIPCIÓN DE SU FUNCIONAMIENTO.....	60
ANEXO D. MATERIAL FOTOGRÁFICO, FUENTES HÍDRICAS QUE ABASTECEN EL ACUEDUCTO DE VÉLEZ.....	66
ANEXO E. RESULTADOS DE LOS ANALISIS DEL AGUA .....	70
ANEXO G. TABLAS NORMATIVIDAD COLOMBIANA DEL AGUA.....	75
ANEXO H. DISEÑO DE DESARENADOR .....	78
ANEXO I. DISEÑO DE LA CÁMARA DE FLOCULACIÓN.....	85
ANEXO J. DISEÑO DEL SEDIMENTADOR .....	92
ANEXO K. DISEÑO DE LA UNIDAD DE FILTRACIÓN.....	96
ANEXO L. EQUIPO BÁSICO DE LABORATORIO PARA EFECTUAR CONTROL DE PROCESOS EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN .....	101

## RESUMEN

**TÍTULO:** PROPUESTA TECNOLÓGICA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE DEL ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ (S).

**AUTORES:** GERMAN EDUARDO PINTO SUÁREZ, MONICA SOLANO GALLEGO\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Calidad de agua, potabilización, acueducto, optimización.

**DESCRIPCION:** Este trabajo de grado se desarrolló con la intención de mejorar la planta de tratamiento de agua del municipio de Vélez aplicando conocimientos ingenieriles y la experiencia adquirida durante el periodo de practica con la incorporación de tecnologías ambientales sostenibles (CTAS), con el fin de brindar una mejor calidad del agua a los habitantes del municipio de Vélez, incentivando la conservación y buen uso de las fuentes hídricas, que son de vital importancia para la vida en ciudades, pueblos y veredas, representa el recurso natural más importante; dependemos del agua, la utilizamos para nuestra vida diaria y somos afortunados en contar con ella, pero no se valora y se está pagando las consecuencias de su mal uso.

Inicialmente se realizó una caracterización de las fuentes hídricas que abastecen el acueducto del municipio, y una revisión al estado actual de la infraestructura de la planta de tratamiento con el fin de diagnosticar los problemas que se presenta en el proceso de la potabilización del agua, se evaluaron los problemas presentados durante la revisión aplicando la normatividad mínima exigida por el “Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2000” del Ministerio de Desarrollo Económico, en el proceso se encontraron fallas en cada etapa del proceso de potabilización e identificando problemas de contaminación en las fuentes hídricas. Seguidamente se plantearon alternativas con el fin de brindar las mejores soluciones técnicas y económicamente viables, haciendo un rediseño a la infraestructura de la planta, sistema de captación y distribución, con el fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes de la cabecera municipal de Vélez y algunas veredas cercanas

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: M.Sc. Crisóstomo Barajas.

## ABSTRACT

**TITLE:** Technological proposal to improve the quality of the potable water in the municipality of Vélez.

**AUTHORS:** GERMAN EDUARDO PINTO SUÁREZ, MONICA SOLANO GALLEGO\*\*

**KEY WORDS:** Water quality, purification, aqueduct, optimization.

**DESCRIPTION:** This project was carried out looking forward to improving the water treatment plant of the municipality of Vélez, by applying both engineering knowledge and the experience acquired during the practice stage at "Corporación de Tecnologías Ambientales Sostenibles", with the purpose of offering a better water quality to the inhabitants of the municipality, as well as motivate them to preserve and manage properly the hydric sources, that are vital for life in cities, towns and villages, it represents the most important natural resource on earth; we depend on water, we use for our daily lives and we are fortunate to have her, but are not valued and are paying the consequences of your misuse.

Initially, a description of the hydric sources that supply the aqueduct of the municipality and a revisión of the current state of the water treatment plant infrastructure were realized in order to diagnose the problems presented in the water purification process, were evaluated during the review problems presented by applying the minimum regulations required by "the Sector Technical Regulations for Drinking Water and Sanitation RAS-2000" of the Ministry of Economic Development, in the process found fault with every step of the purification process and identifying problems of pollution in water sources.

Afterwards, some economically viable strategies were suggested to offer better technical solutions, making a redesign of the plant infrastructure and the collection and distribution system, to improve, as a consequence, the life quality of the in habitants of the municipal seat of Vélez and some nearby villages.

---

\* Research project

\*\*Physical-Chemical Engineering College. Chemical Engineering Department. Advisor: M.Sc. Crisóstomo Barajas.

## INTRODUCCIÓN

En Colombia, al igual que en muchos otros países en vías de desarrollo, gran parte de la población, especialmente la de las zonas rurales, no cuenta con un sistema de abastecimiento efectivo de agua y enfrentan dificultades de acceso al servicio de acueducto [1]. El municipio de Vélez ha venido sufriendo una serie de inconvenientes a lo largo de los años, con el suministro de agua potable, debido a que su acueducto no posee una estructura adecuada para el tratamiento de agua. El manejo inadecuado de los recursos hídricos ha alterado su composición y los han dejado en deterioro, disminuyendo su disponibilidad. Situación que ha llevado al Estado y a los demás entes ambientales del país a planificar el uso sostenible de este recurso y ejecutar programas y proyectos dirigidos a conservar, preservar, proteger o prevenir el deterioro y/o restaurar las fuentes hídricas[2]. Entre esos programas se encuentra: El plan de ordenamiento y manejo de la cuenca del río Suárez (POMCA del río Suárez) desarrollado por La Corporación autónoma de Santander (CAS), donde su principal interés fue la evaluación de la calidad de agua de los afluentes y efluentes del Suárez, la cual se encargó la Corporación de Tecnologías Ambientales Sostenibles, (CTAS). Para este trabajo la corporación CTAS, convocó varios grupos conformados por practicantes y profesionales expertos en el tema, los cuales se encargaron de realizar la evaluación del agua y de las zonas en las diferentes bocatomas, acueductos y vertimientos relacionados con la cuenca del río Suárez, que corresponde al departamento de Santander, en las salidas de campo se pudo observar las diferentes situaciones por las cuales atraviesan los pueblos de Vélez, Barbosa y las distintas poblaciones aledañas (veredas), entre esas se encuentra la problemática que se presenta con el suministro de agua para el consumo humano. Este trabajo de grado pretende dar solución al problema de agua potable presentado en el municipio de Vélez con el fin de brindar una mejor calidad de vida para sus habitantes.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Desarrollar una propuesta tecnológica para mejorar la calidad de agua suministrada por el acueducto del municipio de Vélez.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Realizar una caracterización de las fuentes hídricas que abastecen el acueducto de Vélez.
- Efectuar una revisión al estado actual de la infraestructura de la planta de tratamiento con el fin de diagnosticar los problemas que se presentan en el proceso de la potabilización del agua.
- Plantear posibles alternativas con el fin de brindar las mejores soluciones técnicas y económicamente viables.

# 1. FUNDAMENTO TEÓRICO

## 1.1 CALIDAD DEL AGUA

Considerando el agua como un elemento de vital importancia en el desarrollo normal y funcional de todos los organismos superiores, la calidad química y física de esta sustancia ha ocupado siempre un puesto preferencial en la preocupación del hombre por suministrar agua potable que satisfaga todas las exigencias que ella deba tener, sin causar daños para la salud de todos los consumidores [3]. El agua de un río puede ser considerada apta para sistemas de riego, pero por su carga de sedimentos o concentración de coliformes, la hace inaceptable para consumo humano, sin antes ser tratada [4], cabe señalar sin embargo, que aunque se reconoce que la determinación de la concentración de bacterias en el agua es un elemento crítico para determinar el riesgo de enfermedades relacionadas al consumo de las mismas, no existe una relación simple entre el nivel de coliformes en el agua, la presencia de microorganismos patógenos en la misma y el riesgo de enfermedades[5].

Según la Organización mundial de la salud (OMS) el agua es contaminada cuando su composición ha sido alterada de modo que no puede ser usada beneficiosamente en el consumo. La contaminación del agua de las fuentes hídricas se debe a varios factores, pueden ser urbanos, por las aguas residuales de origen doméstico y desechos sólidos, también por materia orgánica y compuestos nitrogenados, la mayoría de la contaminación se origina de la producción agrícola, deteriorando en gran parte la calidad del agua [6].

## 1.2 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS EVALUADOS EN EL AGUA

Cuando se analiza la calidad del agua se tienen en cuenta fundamentalmente los siguientes parámetros: Temperatura, pH, oxígeno disuelto, demanda bioquímica

de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos disueltos, conductividad, turbidez, dureza, coliformes fecales y coliformes totales, los cuales determinan si es apta para el consumo humano, para más información acerca de estos parámetros dirigirse al anexo A.

### **1.3. CALIDAD Y CONTROL DEL AGUA EN COLOMBIA**

Un programa de control de calidad del agua es un instrumento de evaluación y verificación que tiene como finalidad lograr que el producto cumpla con las disposiciones normativas de calidad del agua para consumo humano y que la calidad sea mantenida en el sistema de distribución hasta que se entrega al usuario.

En el país, el aspecto relacionado con el agua está regulado en la resolución 2115 de 2007, donde se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano [10]; el decreto 1575 de 2007, que establece el sistema para la protección y control de la calidad de dicha agua [11]; y el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000[12], parte de esta normatividad se resume en el Anexo B.

Pero en Colombia lamentablemente esta normatividad no se cumple a cabalidad, la situación de la calidad del agua para consumo humano es deficiente y se relaciona principalmente con la presencia de gérmenes patógenos, sin descartar los contaminantes de origen fisicoquímico, la mayoría de esta contaminación se genera debido a aguas residuales domésticas e industriales de las cabeceras municipales, pesticidas e insecticidas de la ganadería y agricultura, entre otros tipos de contaminación.

#### **1.4. TRATAMIENTO PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA.**

El agua de la mayoría de las fuentes hídricas usadas para el consumo humano en Colombia requiere un tratamiento convencional debido a su calidad, las etapas más utilizadas para el proceso de tratamiento convencional son: Aireación, floculación, clarificación, filtración, purificación, desinfección, almacenamiento y distribución, para más información dirigirse al anexo A.

## **2. INFORMACION GENERAL**

### **2.1. VÉLEZ**

Municipio del Departamento de Santander cuya cabecera se encuentra a una distancia de 238 km de Bucaramanga, la Capital Departamental. Su punto de ubicación GPS es: 06°01'N 73°40'O, está Situado a 2.150 m de altitud, se encuentra Avenado por los ríos Magdalena, Carare, Guayabito y Opón, las principales actividades económicas son Agricultura (caña de azúcar, guayaba, café, frijol, maíz, cacao, frutas y legumbres), Ganadería (vacuna) y Minería (caliza). Son famosos sus Dulces y Conservas y su Festival de la Guabina y el Tiple. Fue fundado por el capitán Martín Galeano en 1539, en el sitio conocido con el nombre de Ubasá. Desde el siglo XVII es Municipio. En 1832 fue creada la Provincia de Vélez.<sup>[14]</sup>

**2.1.1. Topografía y clima de la zona.** En su territorio se distinguen dos Regiones fisiográficas: al oeste se extiende la zona del Carare, perteneciente al Valle del río Magdalena; al este, el área Montañosa, cuyo relieve forma parte de la cordillera Oriental, en la cual se destacan la peña de Vélez y los cerros de Armas y Tovar. Son suelos localizados cerca de los 2100 m.s.n.m y se dividen en suelos de formas torrenciales, corresponden a suelos pedregosos, bien estructurados con buena retención de humedad y gran tendencia a la sobresaturación.

Químicamente son ligeramente ácidos, con medio a alto contenido de nutrientes y muy susceptibles al deterioro una vez deforestados. Posee los pisos térmicos cálido, templado y frío, con una temperatura media anual de 16,7 °C y un promedio anual de precipitaciones de 1.886 mm.<sup>[15]</sup>

### 2.1.2. Estimación cuantitativa del recurso hídrico del municipio de Vélez.

Según lo indicado por el administrador del acueducto de Vélez, el acueducto urbano posee una cobertura del 100% para 2.496 usuarios y se abastece de tres micro cuencas:

- **Quebrada el Batán:** Ubicada en el municipio de Chipatá, con un caudal captado de 30 L/s en regular estado, el tipo de captación es Lateral.
- **Quebrada la Peña:** Ubicada en la vereda el amarillo, municipio de Vélez, con un caudal captado de 20 L/s en buen estado, la captación es Lateral.
- **Pozo Verde:** Ubicada en el municipio de Bolívar, con un caudal captado por bombeo en buen estado.

En la siguiente tabla, se hace una descripción de las principales redes de distribución urbana y el número de usuarios según el Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio.

**Tabla 1. Distribución Urbana.**

REDES DE DISTRIBUCIÓN URBANA	
Número de predios urbanos:	2.740 (perímetro IGAC, -146 adyacentes)
Numero de predios edificados	2468
Numero de lotes	393
Número de construcciones	15
Recreativos	10
Número suscriptores	2496
Usuarios con medidor	2344
Número de conexiones sin medidor	152
Medidores averiados	710

Fuente: Planeación municipal de Vélez

## **2.2. ANTECEDENTES**

**2.2.1. Metodología usada para la revisión del estado del sistema de potabilización y distribución del agua en Vélez.** Se realizó una visita al acueducto del municipio y a la zona de influencia que abarca, se localizaron las estructuras principales: bocatomas, desarenadores, tanques de almacenamiento y la red de conducción para identificar posibles fallas hidráulicas que se presentan.

Seguidamente se realizaron los estudios pertinentes al agua en las bocatomas y en el acueducto para conocer su calidad, incluyendo caracterización de la zona de influencia de la fuente hídrica, aforos en la bocatoma para revisar el caudal que se está captando, revisión a la tubería que va desde la captación a la planta de tratamiento para revisar si hay pérdidas en el recorrido del cuerpo de agua.

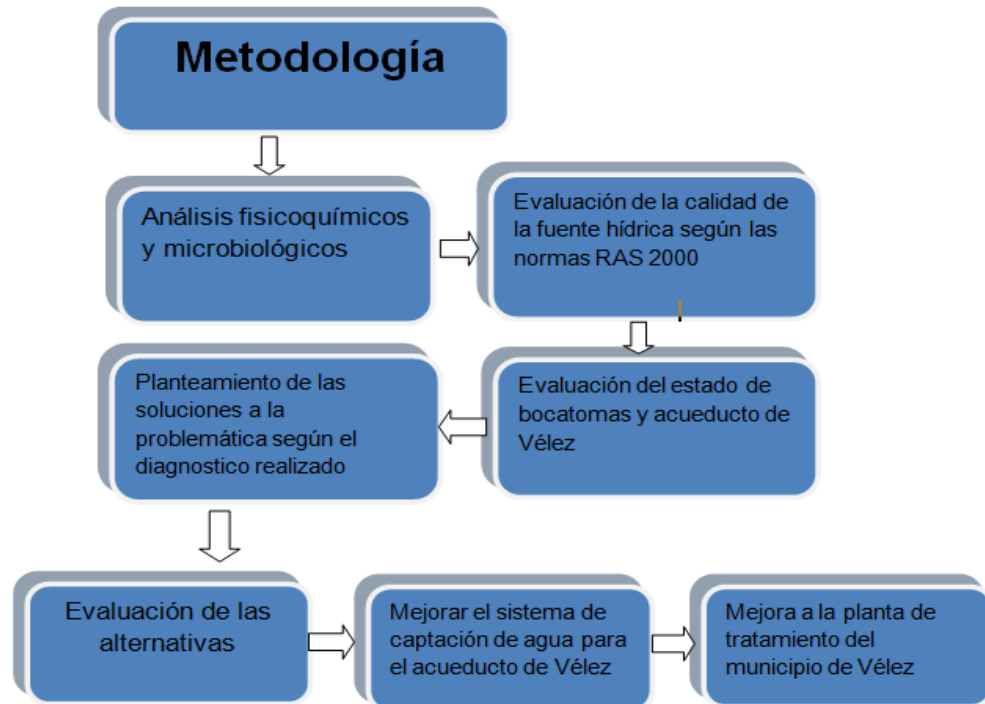
Se realizaron entrevistas a la administradora del acueducto, Sandra Patricia Páez y al respectivo fontanero encargado del funcionamiento y mantenimiento de la planta de tratamiento, “don Uriel”, con el fin de tener conocimiento de datos importantes, como son: el consumo mensual de agua en la cabecera municipal y algunas veredas que se abastecen de la planta, funcionamiento de la planta, periodicidad con lo que se realiza mantenimiento y revisiones al sistema, posibles fallas detectadas al sistema, etc.

Con la ayuda de CTAS y la CAS se realizaron mapas para la georeferenciación de los puntos relevantes necesarios para el desarrollo de este trabajo, mediante el uso de GPS (Global position System) se realizó el respectivo análisis fisicoquímico a las muestras tomadas, además se le realizó un análisis bacteriológico en los laboratorios del IDEAM.

Después de realizar los respectivos estudios y evidenciar los problemas presentes con lo relacionado al agua potable, se plantearon las respectivas soluciones a la

problemática que se presentó de acuerdo a la normatividad establecida en los Títulos A, B y C del RAS 2000, también se tuvieron en cuenta sugerencias de CTAS, empresa con la cual se realizó el trabajo de campo en dicha zona y del director del proyecto.

**Figura 1. Metodología usada para la evaluación del acueducto de Vélez**



Fuente: Los Autores.

**2.2.2 Acueducto del municipio de Vélez.** EL municipio de Vélez cuenta con una planta de tratamiento convencional ubicada cerca de la cabecera municipal, la cual abastece su cabecera municipal y algunas veredas aledañas, este acueducto es administrado por EMPREVEL que es la empresa encargada de los servicios públicos domiciliarios del municipio, esta empresa opera como sociedad anónima y número de NIT 804005973-0, se encuentra ubicada en la calle 9 # 07-01; en el anexo C se muestra una breve descripción de la estructura del acueducto y su funcionamiento.

**2.2.3. Diagnóstico realizado a las fuentes hídricas que SURTEN el acueducto del municipio de Vélez.** El acueducto del municipio de Vélez se surte de tres fuentes hídricas, quebrada el Batán, quebrada la Peña y pozo verde, este último se utiliza solo en temporada de verano, cuando las dos anteriores son insuficientes para cubrir la demanda. Las aguas superficiales ha sido tema de estudio en investigaciones en el casco urbano del municipio, como factor causante de inestabilidad en algunos sectores efectos como reptación, hundimientos.

En el anexo D se muestra una breve descripción de estas importantes fuentes (los datos y descripción que se muestra acerca de estas fueron obtenidos durante un trabajo de campo que se realizó con CTAS durante la toma de datos para la realización del POMCA del río Suárez).

### **3. DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO, FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO Y ESTADO DE LA INFRAESTRUCTURA CON LA QUE CUENTA EL ACUEDUCTO DE VÉLEZ**

Teniendo en cuenta algunas encuestas realizadas a los usuarios del acueducto, se llegó a la conclusión que el servicio no es satisfactorio para algunos sectores de la comunidad debido a ciertas falencias que presenta el acueducto, ya que el agua suministrada no presenta una óptima calidad, poniendo en riesgo la salud de los habitantes.

Durante el diagnóstico realizado a las fuentes y al acueducto se destacan los siguientes problemas:

- Los estudios de laboratorio sobre calidad de las fuentes hídricas y las observaciones de campo permiten evidenciar una problemática creciente en el cuidado de las fuentes hídricas, de las observaciones de campo se puede asumir que las principales fuentes hídricas de abastecimiento no cuentan con políticas claras de conservación y preservación por parte de las

administraciones municipales y de las entidades responsables del manejo y uso eficiente del recurso hídrico, es evidente la falta de gestión de las administraciones municipales y de los organismos de control y preservación. De igual forma se evidencia que progresivamente se hace necesario disponer de nuevas fuentes hídricas de abastecimiento por el crecimiento poblacional y la presión sobre los recursos naturales.

- El sistema de conducción del cuerpo de agua desde la captación hasta el acueducto es deficiente, debido a que parte de la tubería se encuentra en mal estado y hay pérdidas en algunos tramos con riesgo de contaminación.
- El proceso de floculación y clarificación realizado en la planta de tratamiento es deficiente como se muestra en el material fotográfico del anexo C, se observa que el agua presenta un alto grado de turbidez (2.2 NTU) lo cual no debería verse después de pasar por estas dos etapas del proceso, esto se debe a que el caudal que maneja el acueducto es mucho mayor al máximo que puede manejar.
- Sistema de tratamiento deficiente por falta de operación y purificación con carbón activado (carente), para la remoción de sustancias solubles y algunos metales presentes, ya que existe la alta probabilidad que el agua los contenga debido a la actividad ganadera y agrícola cerca de los puntos de captación.
- Al realizar la respectiva caracterización en las bocatomas, se observó que esta agua presenta un nivel de dureza elevado ( $>180$  mg/L  $\text{CaCO}_3$ ) lo cual hace que se presenten problemas de corrosión y daños en las tuberías, debido a que se puede presentar incrustaciones sobre la superficie rugosa de las tuberías y sobre el interior, también rugoso, de los elementos y dispositivos a ella conectados, terminando por inutilizarlos.

- El acueducto no cuenta con un laboratorio para el control del agua que se distribuye a la cabecera municipal del pueblo y algunas veredas, que permita garantizar agua de buena calidad para sus habitantes.

### **3.1. CALIDAD DEL AGUA SUMINISTRADA**

Durante el trabajo de campo en el municipio de Vélez se realizó un análisis fisicoquímico al agua en las captaciones y en el acueducto posteriormente, se enviaron muestras al IDEAM y le realizó su respectivo análisis Bacteriológico.

Los puntos donde se tomaron las respectivas muestras en las bocatomas y el acueducto se encuentran en el anexo D.

Los resultados del análisis se en las tablas del Anexo E Y F, estos resultados se compararon con los parámetros que estipula el Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000 Capitulo B, pagina 45 la cual se muestra en el anexo G, Según los resultados se puede concluir que el nivel del agua de las captaciones es aceptable respecto a la clasificación de la fuente según el grado de polución, aunque se requiere un tratamiento para reducir la dureza (esta en 182 mg/L CaCO<sub>3</sub>) y un tratamiento de desinfección que elimine coliformes para purificar el agua (esta en 10 NMP/100 ml) y en la salida del acueducto es poco deficiente ya que presenta un nivel de dureza por encima de la norma y además sale con cierto grado de turbidez (1.3 NTU) lo cual no es agradable al consumidor.

**3.1.1. Demanda.** De acuerdo al estudio realizado en Vélez con la CAS y algunas entidades del municipio se estableció un estimativo de la demanda anual de agua que se presenta, esta se resume en el siguiente cuadro:

**Tabla 2. Demanda Hídrica**

Demanda Hídrica (Miles de m3/año)				
MUNICIPIO	SECTOR INDUSTRIAL	SECTOR SERVICIOS	SECTOR DOMESTICO	SECTOR PECUARIO
VÉLEZ	118	229	1706	215

#### **4. REDISEÑO DEL ACUEDUCTO**

Debido a la problemática planteada anteriormente respecto al sistema de potabilización de agua de la cabecera municipal del municipio de Vélez, se propone un rediseño de este sistema debido a que no cumple con las normas y características para brindar un agua de calidad a los habitantes.

##### **4.1. PARÁMETROS DE DISEÑO PARA EL SISTEMA DE ACUEDUCTO**

**4.1.1. Parámetros de diseño.** Los parámetros de diseño se definirán siguiendo las recomendaciones dadas en las normas establecidas por el Ministerio de Desarrollo Económico en su documento “Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS-2000).

**4.1.2. Alcance del sistema.** De acuerdo al capítulo del Reglamento A.3.1 del reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000, teniendo en cuenta que es un acueducto urbano y el nivel de población es cercano a los 20000 habitantes, el nivel de complejidad es MEDIO ALTO, se hará el rediseño para 30 años.

##### **4.2. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN**

**4.2.1. Nivel de complejidad.** Según el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento Básico RAS 2000 capítulo B, para el cálculo de la

población futura, dependiendo del nivel de complejidad del sistema, existen varios métodos ilustrados en la tabla.

**Tabla 3. Métodos de cálculos permitidos según el nivel de complejidad del sistema.**

Método por emplear	Nivel de Complejidad del Sistema			
	Bajo	Medio	Medio alto	Alto
Aritmético, Geométrico y exponencial	X	X		
Aritmético + Geométrico + exponencial + otros			X	X
Por componentes (demográfico)			X	X
Detallar por zonas y detallar por densidades			X	X

Fuente: Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento Básico Ras-2000

Como el nivel de complejidad del sistema de acueducto en estudio es medio para la proyección de la población, se utilizó el método aritmético ya que supone un crecimiento balanceado por la mortalidad y la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente, el dato obtenido de los Informes de diagnóstico del municipio, y tomada por el municipio dadas las condiciones de migración por desplazamiento y reasentamiento de la población, se encontró que la población de estudio es de 20000 Habitantes. Se proyectará la población aplicando el método aritmético a partir del año 1995, el método se expresa mediante la siguiente expresión matemática

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} \square (T_f - T_{uc})(1)$$

Donde:

**P<sub>f</sub>**: población correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población

**P<sub>uc</sub>**: población correspondiente al último año censado con información

**P<sub>ci</sub>**: población correspondiente al censo inicial con información

**T<sub>uc</sub>**: año correspondiente al último año censado con información

$T_{ci}$ : año correspondiente al censo inicial con información

$T_f$ : año al cual se quiere proyectar la información.

Considerando que la mejora en la prestación de los servicios de acueducto y el saneamiento básico traerá mejores condiciones de vida a los pobladores se calcula la población futura.

**4.2.2. Cálculo de la población futura.** Según las encuestas realizadas por el departamento administrativo nacional de estadística DANE y los datos obtenidos en el acueducto

**Tabla 4. Población futura**

<b>Pci</b>	<b>8940 Habitantes</b>
<b>Puc</b>	10902 Habitantes
<b>Tuc</b>	2005
<b>Tci</b>	1995
<b>Tf</b>	2042
<b>Pf</b>	8750 Habitantes

Fuente: los Autores

#### **4.2.3. Población de Diseño**

$$Pd = P_{futura} + P_{flotante}$$

En el municipio la población flotante se puede considerar nula

$$Pd = 18750 \text{ Habitantes}$$

#### **4.3. DOTACIÓN NETA**

La dotación neta corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto.

#### 4.3.1. Dotación neta según el nivel de complejidad del sistema

Tabla 5. Dotación neta según el Nivel de Complejidad del Sistema.

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta mínima (L/hab. dia)	Dotación neta máxima (L/hab. dia)
Bajo	100	150
Medio	120	175
Medio alto	130	-
Alto	150	-

Fuente: Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento Básico RAS 2000

La dotación neta con la que se trabajará es de 150 L/hab. dia.

**4.3.2. Correcciones a la dotación neta.** En los niveles bajo y medio de complejidad este ajuste no puede superar el 20% del valor de la dotación neta establecido inicialmente en el RAS 2000 Capítulo B pág 36, se trabajara con un nivel de complejidad medio, solo se realizará la corrección por efecto del clima.

**4.3.3. Necesidades de abastecimiento.** El documento RAS 2000 provee las siguientes expresiones para calcular el consumo medio y el consumo máximo diario:

$$C_M = \frac{P \cdot d}{86400} \left( \frac{L}{S} \right) C_M = K_1 \cdot C_M \quad (2)$$

Donde:

**P:** población proyectada. ; **d:** dotación L/hab. día (RAS); se escoge 150 L/hab. día

**K<sub>1</sub>:** constante que varía entre 1,2 y 1,3; se escoge 1,3 ; De esta forma se obtienen los siguientes valores:

$$CMD_{\text{Total-2042}} = 32,7 \text{ L/s}$$

## **5. MEJORAS A IMPLEMENTAR**

### **5.1. COMPRA DE PREDIOS**

De las observaciones de campo se puede asumir que las fuentes hídricas no cuentan con políticas claras de conservación y preservación por parte de las administraciones municipales y de las entidades responsables del manejo y uso eficiente del recurso hídrico, estas se encuentran en terrenos privados, los cuales son usados en su mayoría para el pastoreo de ganado, esto conlleva a la deforestación de la zona cuando se adecúan los terrenos para esta actividad y generando además problemas de contaminación directa a la fuente por los desechos orgánicos que son arrastrados hacia ella por medio de la lluvia, la cual es predominante en la zona; es evidente la falta de gestión de las administraciones municipales y de los organismos de control y preservación.

Se recomienda la compra de estos terrenos por parte del Estado lo más pronto posible y por parte de los organismos de control y preservación, la creación de un plan de recuperación de dichas zonas y además un control riguroso en los terrenos para que no se presenten problemas en el futuro como los que hay actualmente.

### **5.2. ADECUACIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DEL AGUA**

Se propone un cambio de tubería en la mayoría de los tramos y re-direccionarla, ya que esta pasa por medio de potreros y muy cerca de predios habitados lo cual genera un riesgo de contaminación o posibles daños en el sistema. La tubería a implementar es tubería PVC recubierta de tres pulgadas de diámetro.

El agua que llega al tanque del acueducto llega con mucho sedimento (2,7 NTU de turbiedad y 10 unidades Co/Pt de color) y partículas en suspensión, lo cual

evidencia que los tanques desarenadores no están cumpliendo su función a cabalidad. Se realiza el rediseño de los desarenadores para las dos fuentes principales (Quebrada el Batán y Quebrada la Peña), la captación de pozo verde no requiere desarenador ya que la captación se da a una fuente subterránea y el grado de pureza del cuerpo de agua no lo requiere.

En la siguiente tabla se resumen las dimensiones de los nuevos desarenadores, si el lector desea conocer más detalle del diseño de estos puede ir al anexo H.

**Tabla 6. Dimensiones del desarenador.**

Dimensiones	Bocatoma el Batán	Bocatoma la Peña
Largo ( <i>m</i> )	10,5	8,7
Ancho ( <i>m</i> )	3,5	2,9
Altura ( <i>m</i> )	2,5	2,5
# De orificios de la pantalla deflectora	113	75

Fuente: Los Autores.

### **5.3. MEJORAMIENTO DE LAS CANALETAS DE FLOCULACIÓN Y TANQUES DE SEDIMENTACIÓN**

En el proceso de floculación influyen distintos factores que son de gran importancia como lo son la concentración y naturaleza de la partícula, tiempo de detención y gradiente de velocidad [17]. Se planea utilizar un tipo de floculador hidráulico vertical, de 3 cámaras cada uno y así poder mejorar estas dos etapas del proceso que son las que más falencias presentan según el material fotográfico plasmado en el anexo C, se utilizó la normatividad y el protocolo de la RAS-2000 para realizar este diseño.

Los nuevos parámetros ya debidamente dimensionados se pueden observar en las siguientes tablas y se pueden apreciar con sus respectivos cálculos en los anexos I y J.

**Tabla 7. Dimensiones del floculador.**

Dimensiones del floculador(m)	
Longitud del floculador	90,3
Ancho del floculador	0,15
Altura del primer tabique	3
Altura del último tabique	2,99

Fuente: Los Autores.

### 5.3.1. Resumen del diseño del floculador de flujo vertical

**Tablas 8. Dimensiones del floculador.**

Parámetro	Primera Cámara	Segunda Cámara	Tercera Cámara
$h$ (m)	0,23	0,13	0,025
$G_s^{-1}$	60,3	45	20
$v_2$ (m/s)	0,3	0,25	0,2
$n$ (tabiques)	60	50	40
$h_f$ (m)	0,004	0,003	0,0007
$h_1$ (m)	0,3	0,3	0,3
$h_2$ (m)	0,296	0,297	0,299
$h_2/h_1$	0,99	0,99	0,99
$A$	0,28	0,28	0,28
$q$ (m <sup>2</sup> /s)	0,16	0,16	0,16
$b$ (m)	0,15	0,15	0,15
$e$ (m)	0,51	0,61	0,76
$L$ (m)	30	30,1	30,2
$Ac$ (m <sup>2</sup> )	33,6	33,5	33,4
$A$ (m <sup>2</sup> )	0,77	0,92	1,89
$a$ (m)	0,7	0,84	1,72
$V_3$ (m/s)	0,22	0,19	0,1
$Rh$ (m)	0,095	0,11	0,22
$G$ (s <sup>-1</sup> )	23,6	16,34	3,92

Fuente: Los Autores.

### 5.3.2. Dimensionamiento del Sedimentador

**Tabla 9. Dimensiones del sedimentador.**

Parámetros del sedimentador	Datos
Velocidad horizontal	$Vh = 432 \text{ m/día}$
Caudal de diseño	$45 \text{ L/s} = 3888 \text{ m}^3/\text{día}$
Relación largo profundidad	$L/a = 5$
Caudal de diseño para cada sedimentador Q	$1296 \text{ m}^3/\text{día}$
Área superficial	$47,64 \text{ m}^2$
Longitud del sedimentador	$14,36 \text{ m}$
Volumen total del sedimentador $V_{\text{sed}}$	$58,3 \text{ m}^3$
Altura del sedimentador H	$1,22 \text{ m}$
Tiempo de retención $t_d$	$0,97 \text{ h}$

Fuente: Los Autores.

### 5.4. IMPLEMENTACIÓN DEL BIOPACK EN LOS SEDIMENTADORES

En los tanques de sedimentación, se utilizarán paneles de sedimentación rápida para aumentar la eficiencia del proceso, aumentando la retención de partículas del floculo formado, favoreciendo la sedimentación de los sólidos suspendidos y la clarificación del agua. Los paneles de sedimentación rápida, consisten en películas de polipropileno moldeadas en forma de paneles semitubos, tipo colmena de abejas, con los cuales se logra que el agua tome una dirección específica permitiendo que las partículas de floculo formadas en el proceso anterior queden atrapadas en sus paredes y sean precipitadas al fondo. Este material no es tóxico, es resistente a todo tipo de sustancias químicas y no reacciona con ninguna sustancia que pueda estar en el agua o las sustancias químicas del tratamiento. Para su fabricación se utiliza una mezcla de polipropileno con materiales ferromagnéticos que permiten que el panel tenga propiedades magnéticas frente al floculo formado.

El medio presenta un área efectiva superficial de  $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$  y una tasa volumétrica de vaciado del 95%. Para asegurar un adecuado tiempo de contacto y una difusión del líquido, el panel es capaz de redistribuir horizontalmente el agua.

## 5.5. MEJORAMIENTO DE LA ETAPA DE FILTRACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN LECHO DE CARBÓN ACTIVADO

Los filtros de arena y antracita que actualmente operan en el acueducto están sobrecargados debido a la deficiencia que se presentan en las etapas anteriores del proceso de potabilización, se propone un nuevo dimensionamiento de estas unidades teniendo en cuenta las mejoras planteadas en las etapas anteriores del proceso. Para eliminar las impurezas que no son removidas en las etapas anteriores, se implementaran lechos de carbón en los filtros de arena, para garantizar que el agua que sale del acueducto presente las condiciones organolépticas óptimas (sin sabores, olores y demás químicos orgánicos), y también para eliminar compuestos orgánicos volátiles y contaminantes la cual tiene una alta probabilidad de estar presentes debido a la actividad agrícola y ganadera cerca a los puntos de captación, este filtro funciona con el mismo principio del filtro de arena, la diferencia radica en los elementos filtrantes y su finalidad, el filtro es fabricado en acero al carbón de alta resistencia y tendrá un recubrimiento interno de polietileno para evitar la corrosión.

En la siguiente tabla se observa el dimensionamiento de la unidad de filtración de la cual se puede apreciar con sus debidos cálculos en el anexo K.

**Tabla 10. Dimensiones de la unidad de filtración.**

Parámetros de diseño unidad de filtración	Datos
Profundidad del lecho filtrante	0,7 m
Espesor de la antracita	0,42 m
Espesor de la arena	0,28 m
Rata de filtración o carga superficial	$240 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot d$

Profundidad de la capa de agua sobre el filtro	1,40 m
Lavado de filtro	80 cm/min
Numero de filtros	3 filtros
Caudal que entra a cada filtro Q'	1296 m <sup>3</sup> /día
Área superficial de cada filtro A	5 m <sup>2</sup>
Largo del filtro L	5 m
Ancho del filtro B	3 m
Velocidad mínima de fluidización, $V_{a \text{ min}}$ de arena	0,834 m/min
Velocidad mínima de fluidización, $V_{a \text{ min}}$ de antracita	0,414 m/min
Pérdida total de carga en el lecho $h_L$	0,378 m

Fuente: Los Autores

## 5.6. IMPLEMENTACIÓN DE RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO

El intercambio iónico es una operación de separación basada en la transferencia de materia fluido-sólido. Implica la transferencia de uno o más iones de la fase fluida al sólido por intercambio o desplazamiento de iones de la misma carga, que se encuentran unidos por fuerzas electrostáticas a grupos funcionales superficiales. La eficacia del proceso depende del equilibrio sólido-fluido y de la velocidad de transferencia de materia.<sup>[16]</sup> Para lograr la eliminación de la dureza que presenta el agua en el municipio nos hemos interesado por resinas catiónicas de sodio que eliminan la dureza del agua por intercambio de sodio por el calcio y el magnesio debido a que son mas económicas.

## 5.7. CAMBIO DE AGENTE FLOCULANTE

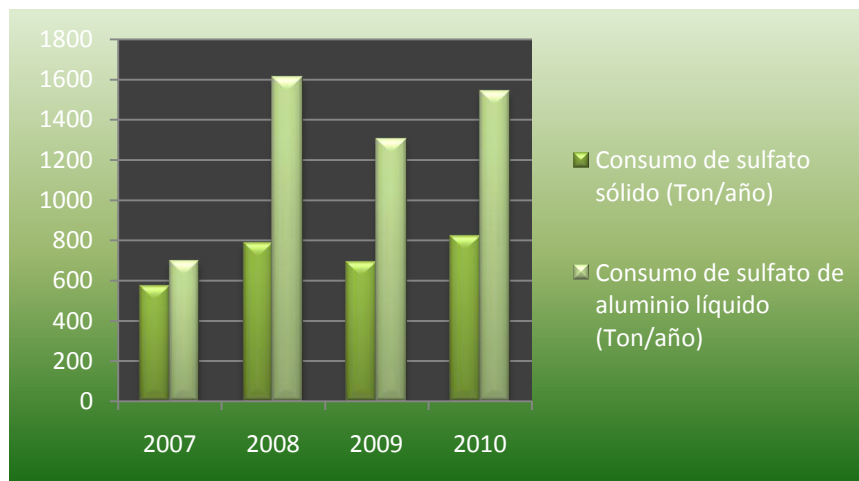
Hoy en día la industria y la tecnología han ido avanzado a grandes pasos, en el sector de potabilización de aguas, se han venido implementado tecnologías nuevas como lo son la automatización del proceso, nuevos tipos de filtros, nuevos químicos para las diferentes etapas del proceso, etc. En “pro” de mejorar la eficiencia de la planta, se propone la idea de implementar otro tipo de agente floculante, actualmente se está implementado sulfatos de aluminio sólido

granulado tipo B, se cambiara a sulfato de aluminio líquido tipo B, este cambio trae muchas ventajas como lo son:

- Concentración constante, para su uso inmediato.
- Permite un mayor control en la dosificación del proceso, lo que evita variaciones.
- Se ahorra tiempo y energía eléctrica en la disolución del sulfato de aluminio granulado (para la disolución y homogenización requiere una maquina agitadora como se aprecia en la foto 9, anexo C),
- Más fácil manejo, carga y descarga por bomba, por su baja dosificación, ahorro de energía en la aplicación (bombeo).
- Menos riesgos de salud para los operarios por el polvo.
- Se libera espacio de almacén del sólido, se evita la disposición de sacos y el manejo de tarimas.
- Menor contenido de insolubles y su consecuente limpieza de los tanques y disposición de residuos.

Se consultó el informe de sustentabilidad del año 2010 del acueducto metropolitano de Bucaramanga, [18] y esta muestra un gran incremento en el uso del sulfato de aluminio líquido respecto al sulfato de aluminio sólido lo cual apoya nuestra implementación, se resume en los siguientes gráficos:

**Figura 2. Uso de sulfato de aluminio Sólido y líquido en los años 2007 – 2010** [18]



Fuente: los autores

El sulfato líquido es el coagulante por excelencia ya que brinda buena calidad a un excelente costo.

**5.7.1. Dosis óptima de agente floculante.** Se realizó una prueba de jarras con el fin de precisar la cantidad de floculante requerida para esta etapa del proceso, la jarra óptima de menor turbidez para las propiedades del agua fue de 30 ml de coagulante la cual midió el turbidímetro en 0,56 NTU. Luego del filtrado se le adicionó a la jarra óptima 0,2 ml de hipoclorito de sodio (1.5%).

Las condiciones de la prueba y los resultados obtenidos del laboratorio son:

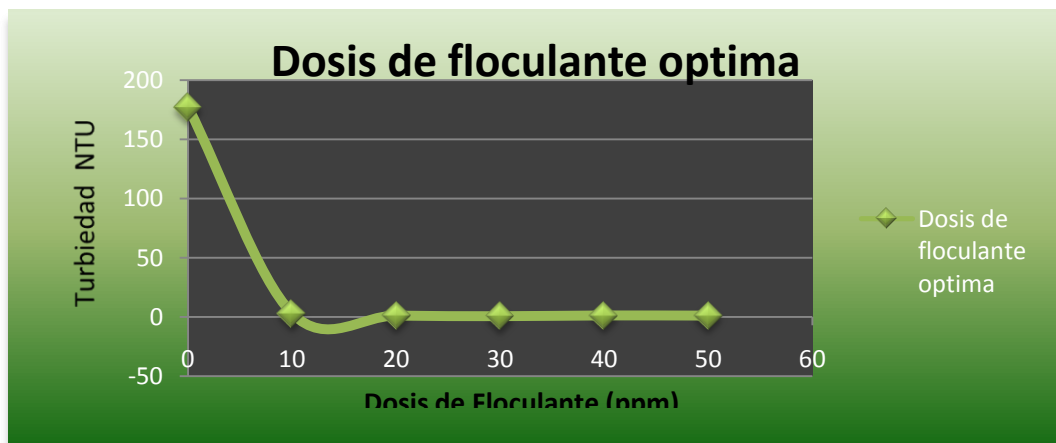
**Tabla 11. Condiciones de la prueba.**

Agua antes de la prueba	
pH	6,74
Temperatura	26,2
Turbiedad del agua	177 NTU

**Tabla 12. Resultados de Turbiedad.**

NTU	Turbiedad
0	177
10	2,88
20	1,04
30	0,56
40	1,17
50	1,05

**Figura 3. Dosis óptima turbiedad 0.56 NTU**



Fuente: Los autores.

## **5.8. IMPLEMENTACIÓN DE LABORATORIO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO**

Se ve necesaria la implementación de un laboratorio dentro de la planta para poder mantener un control de la calidad del agua que suministra el acueducto y la que ingresa de las bocatomas, esta implementación se justifica porque:

- En la normatividad del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable Y Saneamiento Básico, título A, artículo 108 se habla sobre los análisis tanto fisicoquímicos como microbiológicos que deben realizarse al agua periódicamente para garantizar que esta esté en las condiciones óptimas de calidad, pero el municipio de Vélez no cuenta con laboratorios para dichos análisis .
- El acueducto está catalogado en un nivel de complejidad medio alto según lo conceptualizado anteriormente en el documento, este debe poseer un laboratorio para análisis fisicoquímicos y microbiológico (punto A.11.2. y 15.3 del título A, RAS 2000) [19]

Los equipos de análisis permiten determinar sobre el cuerpo de agua parámetros clave de calidad, como el recuento de coliformes termotolerantes, el cloro libre residual, el pH, alcalinidad, dureza, turbidez, etc. La instrumentación contenida en el laboratorio para el control del proceso se resumirá en el anexo L.

## **5.9. IMPLEMENTACIÓN DE LAMPARAS UV EN LA ETAPA DE DESINFECCIÓN**

Si bien el cloro aporta múltiples beneficios a la salud de las personas, también origina riesgos. Cuando el cloro se combina con algunos constituyentes de la materia orgánica (ácidos húmicos y fúlvicos) genera subproductos tóxicos, que resultan "cancerígenos" para el ser humano.

Los ácidos húmicos y fúlvicos forman parte de las sustancias húmicas (humus) que se encuentra en forma natural en suelos y en cuerpos de agua. Resulta curioso que un elemento fundamental para el desarrollo de las plantas, como el humus, genera un tóxico cancerígeno cuando se combina con el cloro en el agua. Los tóxicos que se pueden producir son diversos, pero los que más interesan son los llamados trihalometanos (THM). Son compuestos químicos formados principalmente por cloro y metano. Los THM causan daños al hígado y riñón y se lo relaciona con el cáncer de vejiga. [21]

Por las razones mencionadas anteriormente se propone la implementación de lámparas UV en esta etapa del proceso, en los tanques de almacenamiento, dos lámparas por cada tanque de almacenamiento, ya que el uso de la luz ultravioleta es seguro y no presenta riesgos de manipulación, el agua tratada no se altera en olor ni sabor y la desinfección es rápida, el costo es relativamente equivalente al del uso del cloro gaseoso. La radiación ultravioleta es efectiva contra un gran espectro de microorganismos y no genera subproductos en su utilización, ni al agua ni al medio. Se descarta la opción de usar ozono debido a su alto costo de inversión y los equipos son técnicamente complejos y costos en su mantenimiento y operación.

Actualmente se ha venido implementando esta tecnología en pequeñas plantas de tratamiento de agua potable (50-100 habitantes), con buenos resultados, se proyecta implementar en los acueductos municipales, a medida que se establezca y masifique su uso.

## 6. CONCLUSIONES

- La caracterización y los resultados de laboratorio de las fuentes que abastecen el acueducto del municipio de Vélez evidencia la problemática de contaminación y mal uso de las fuentes hídricas.
- Los diseños de cada una de las etapas del sistema de tratamiento se realizaron según el “Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS-2000), cumpliendo a cabalidad con la normatividad Colombiana.
- La materialización de este proyecto aumentará considerablemente la calidad de agua suministrada y el cubrimiento del servicio a los habitantes de la cabecera municipal del municipio de Vélez.

## **7. RECOMENDACIONES**

- Solicitar la intervención del Gobierno Nacional en la compra de predios aledaños a las fuentes hídricas que abastecen el acueducto del municipio para su conservación y preservación, ya que estas, en su estado actual se encuentran en gran peligro debido a la contaminación directa que se realiza sobre la fuente y la deforestación.
- Buscar otras fuentes hídricas alternativas para que se logre suplir las necesidades básicas de la comunidad con el paso de los años, ya que las que actualmente se usan están en alto riesgo debido a la deforestación y contaminación.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] TEBBUT. Fundamentos de control de la calidad del agua. Primera edición. México D. F. Editorial Limusa, 1998.

[2] congreso de la republica de Colombia, programa de fortalecimiento legislativo, oficina de asistencia técnica legislativa. estudio de antecedentes de zonas de páramos. Bogotá d.c. febrero del 2004. p. 91.

[3] DELGADO, Carlos I. Química de las aguas subterráneas y su importancia. Ingeominas. Bogotá. 1956

[4] GARCIA OBANDO, Lina Andrea. Monitoreo de la calidad del agua en cursos de agua: ríos y arroyos. Primera edición. Cali: Unidad central del Valle del Cauca, 2009. p 15.

[5] TODD, D.K, Groundwater hydrology, 2ª. Ed. Nueva York, wiley.

[6] HUNTER,C; Perkins, J; Tranter, J and Hardwick, P. 2000. Fecal bacteria in the water of and upland area in Derbyshire, England; The influence of agricultural land use. J. Environ.

[7] Standard methods for the examination of water and waste water. American PublicHealth Association.20 ed 1988. Washington.

[8] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS: Normas técnicas colombianas para la construcción. Instituto colombiano de productores de cemento, Bogota; 1980.

[9] American Society for Testing and Materials. Annualbook of Standards 1994  
Determinación de dureza en agua. Metodo ASTM D 1126-92

[10] MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE,  
VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 de 2007.  
Capítulo II, art. 2, art.5, art.6, art.7, art. 9. Capítulo III, art. 11. Capítulo IV, art. 13,  
art.14, art.15. Bogotá D.C. Junio 22 de 2007

[11] MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE,  
VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 1575 de 2007. Capítulo I, Art  
2. Capítulo IV, Art 12 Bogotá D.C. Mayo de 2007.

[12] MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUA  
POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Reglamento técnico del sector de agua  
potable y saneamiento básico RAS 2000. Sección I; Título A. Sección II; Título B,  
Título C. Bogotá D.C. Noviembre de 2000.

[13] Pérez Carrión, J.; Méndez, G. El agua. Calidad y tratamiento para consumo  
humano. Lima, CEPIS, 1990.

[14] <http://www.vélez-santander.gov.co>

[15] Corporación autónoma de Santander (CAS), Corporación de áreas naturales  
Protegidas (APN) , Corporación de tecnologías ambientales Sostenibles (CTAS).  
POMCA río Suárez, informe final, fase diagnóstico, 2011. P 47-

[16] McCabe, W.L.; Smith, J.C. y Harriot, P. (1994). "Operaciones unitarias de  
Ingeniería Química". McGraw-Hill. Madrid.

[17] Restrepo Osorno, Hernán Alonso. Evaluación del proceso coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua potable. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de minas. 2009.

[18] Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P., Informe de sustentabilidad 2010. [www.amb.com.co](http://www.amb.com.co)

[19] MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO, REPUBLICA DE COLOMBIA, Documentación Técnico normativa del sector del agua y Saneamiento Básico. Resolución No. 1096 del 17 de Noviembre de 2000. Título A. pág. 72, 77.

[20] Pacheco Secades, Victoria. Manual de tratamiento de Aguas., Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) San José, Costa Rica. 2000. Capítulo 6, control de calidad. Pág. 272-274.

[21] Leal Ascencio, María Teresa. Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col Progreso, Jiutepec, Morelos, México

## ANEXO A. A PARÁMETROS FISIOQUÍMICOS EVALUADOS Y TRATAMIENTO CONVENCIONAL DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA

- **pH:** La medida del pH es muy importante en el análisis del agua, a una temperatura determinada la intensidad del carácter ácido o básico de una solución está indicada por la actividad del ión hidrógeno o hidrónio.<sup>[7]</sup>
- **Temperatura:** La variación de la temperatura en el agua, afecta directamente la solubilidad de gases como lo son el oxígeno y el dióxido de carbono, la solubilidad de las sales y conductividad eléctrica, el pH entre otros parámetros<sup>[7]</sup>
- **Oxígeno Disuelto:** El nivel de oxígeno disuelto en el agua depende de las actividades, químicas, físicas y biológicas en el cuerpo de agua. La solubilidad de del oxígeno como cualquier otro gas depende de algunos parámetros claves, depende de la presión atmosférica imperante en cada sitio, de la temperatura media del cuerpo de aguas y de su contenido en sales disueltas. El déficit de oxígeno se da en aguas que por la falta casi total del mismo provoca muertes o daños graves a la vida en el agua. <sup>[7]</sup>
- **Demanda Bioquímica de oxígeno:** Esta mide la cantidad de oxígeno consumido durante un periodo de incubación específico, para la degradación bioquímica de la materia orgánica y la oxidación del material inorgánico, compuesto por sulfuros y/o hierro ferroso y la oxidación de formas reducidas del nitrogenadas. <sup>[7]</sup>
- **Demanda Química de oxígeno:** Es una medida del oxígeno equivalente al contenido de materia orgánica de una muestra, que es susceptible a la oxidación por un oxidante químico fuerte. Esta prueba es útil para el monitoreo y control. <sup>[7]</sup>
- **Sólidos Disueltos:** los sólidos disueltos son aquellos que pasan a través de un filtro de tamaño de poro de 2  $\mu\text{m}$  bajo condiciones específicas de muestreo como: fraccionamiento de la muestra, temperatura de almacenamiento,

temperatura de secado y homogenización, las cuales pueden producir variaciones en los resultados del análisis. [7]

- **Conductividad:** Es una expresión numérica de la capacidad del agua para transportar una corriente eléctrica, esta depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura. El valor de la conductividad es muy usado en el análisis de aguas para obtener un estimativo rápido de sólidos disueltos. [8]
- **Turbidez:** La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua, esta puede ser causada por una gran cantidad de materiales en suspensión de diferentes tamaños, desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otras como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, microorganismos, etc. [8]
- **Dureza:** La dureza es una característica química del agua que está determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y ocasionalmente nitratos de calcio y magnesio. La dureza le dá un sabor indeseable al agua y es no es grata en algunos procesos ya que puede hacer que se presenten problemas de corrosión y daños en las tuberías, debido a que se presentan incrustaciones sobre la superficie rugosa de las tuberías y sobre el interior, también daña los elementos y dispositivos a ella conectados, terminando por inutilizarlos; La mayoría de los suministros de agua potable tienen un promedio de 250 mg/l de dureza. [9]
- **Coliformes fecales:** También son denominados coliformestermotolerantes, llamados así por que soportan temperaturas hasta de 45°C, comprende un grupo muy reducido de microorganismos los cuales son indicadores de calidad, ya que son de origen fecal. En su mayoría están representados por el microorganismo *Escherichiacoli*, la presencia de estos indica presencia de contaminación fecal de origen humano o animal.

- **Coliformes totales:** Se define como todo el grupo de las bacterias Gram negativas en forma bacilar, Entre ellos se encuentran los diferentes Escherichiacoli, Citrobacter, Enterobacter y Klebsiella. Son utilizados como indicadores de contaminación bacteriana, La presencia de coliformes totales deben estar ausentes en 85% de las muestras de aguas potables tratadas.

## **ETAPAS DEL TRATAMIENTO CONVENCIONAL DE POTABILIZACIÓN DE AGUA.**

- **Aireación:** Es el proceso mediante el cual el agua es puesta en contacto intimo con el aire, con propósito de modificar las concentraciones de sustancias volátiles y láviles contenidas en ella.
- **Floculación:** En esta etapa se adicionan compuestos químicos al agua para reducir las fuerzas que separan a los sólidos suspendidos para que formen aglomerados que sean removidos del agua por sedimentación.
- **Clarificación:** Proceso preliminar de tratamiento, por el cual se remueven partículas suspendidas del agua turbia para hacerla clara. Al adicionar sustancias químicas o naturales al agua turbia, se logra que algunas partículas suspendidas se precipiten al fondo del recipiente dejando una capa de agua más clara arriba y una capa de sedimentos (lodo), en el fondo. Estos sedimentos deberán ser removidos con el propósito de garantizar el buen funcionamiento del proceso de floculación.
- **Filtración:** Proceso físico de remoción partículas, que logra superar la barrera de floculación, que consiste en forzar a pasar el agua a través de un lecho o capas de arenas silícicas, con el fin de retener bacterias y partículas suspendidas en el líquido de diferentes tamaños, dispuesto del más fino al más grueso.
- **Purificación:** Esta etapa se da mediante el uso de Carbón activado, En este sistema el agua pasa por un filtro de carbón activado, el cual contiene millones

de agujeros microscópicos que capturan y rompen las moléculas de los contaminantes. Este método es muy eficiente para eliminar el cloro, el mal olor, los sabores desagradables y los sólidos pesados en el agua. También retiene algunos contaminantes orgánicos, como insecticidas, pesticidas y herbicidas.

- **Desinfección:** Debido a lo pequeño de mucho microorganismos, no es posible garantizar que su remoción sea completa con los tratamientos de coagulación o filtrado. Por esta tal razón, es necesario efectuar una desinfección para asegurar la eliminación de microorganismos potencialmente dañinos para la salud.<sup>[13]</sup>
- **Almacenamiento y distribución:** Se debe almacenar el agua potable de manera que pueda ser distribuida de un modo regular, con volúmenes suficientemente capaces para atender la demanda. Estos deben estar protegidos de la contaminación y de los cambios de temperatura. A partir del depósito se distribuye mediante redes de canalización de tubería, de este sale una tubería maestra, que se divide después en otras cada vez menores que cubren todo el núcleo urbano.

## ANEXO B. NORMATIVIDAD COLOMBIANA DEL AGUA

### PARÁMETROS Y NORMATIVIDAD

El Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2000 del Ministerio de Desarrollo Económico, señala los requerimientos técnicos mínimos que deberían cumplir las obras relacionadas con el abastecimiento de agua potable y el saneamiento básico ambiental en la República de Colombia. Título A: aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico, Título B. Sistemas de acueducto, Título C. Sistemas de potabilización.

Agua apta es el calificativo que identifica al agua potable, es decir que por reunir los requisitos físicos, químicos y microbiológicos en las condiciones señaladas en la Resolución 2115 de 2007 puede ser consumida por la población sin producir efectos adversos a su salud, el decreto 1575 de 2007 Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

### RESOLUCIÓN 2115 DE 2007

- **CAPÍTULO II ARTÍCULO 2º. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS** El agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas que se señalan a continuación:

**Tabla 13. Características Físicas.**

Características físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidades de platino cobalto (UPC)	15
Olor y Sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

- **ARTÍCULO 6º. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SUSTANCIAS QUE TIENEN IMPLICACIONES SOBRE LA SALUD HUMANA.** Las características químicas del agua para consumo humano en relación con los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana se señalan en el siguiente cuadro:

**Tabla 14. Características químicas de sustancias que tienen implicaciones sobre la salud humana.**

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Carbóno Orgánico Total	COT	5
Nitritos	NO <sub>2</sub>	0,1
Nitratos	NO <sub>3</sub>	10
Fluoruros	F	1

- **ARTÍCULO 7º. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS QUE TIENEN CONSECUENCIAS ECONÓMICAS E INDIRECTAS SOBRE LA SALUD HUMANA.** Las características químicas del agua para consumo humano en relación con los elementos y compuestos químicos que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud se señalan a continuación:

**Tabla 15. Características químicas que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana.**

Elementos y compuestos químicos que tienen implicaciones de tipo económico	Expresadas como	Valor máximo aceptable (mg / L)
Calcio	Ca	60
Alcalinidad Total	CaCO <sub>3</sub>	200
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	250
Aluminio	Al <sup>3+</sup>	0,2
Dureza Total	CaCO <sub>3</sub>	300
Hierro Total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0,1

Molibdeno	Mo	0,07
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	PO <sub>4</sub> <sup>3+</sup>	0,5

- **ARTÍCULO 11º. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS.** Las características microbiológicas del agua para consumo humano deben enmarcarse dentro de los siguientes valores máximos aceptables desde el punto de vista microbiológico, los cuales son establecidos teniendo en cuenta los límites de confianza del 95% y para técnicas con habilidad de detección desde 1 Unidad Formadora de Colonia (UFC) ó 1 microorganismo en 100 cm<sup>3</sup> de muestra:

**Tabla 16. Características microbiológicas**

Técnicas utilizadas	Coliformes Totales	Escherichiacoli
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>
Enzima Sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>	< de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>
Sustrato Definido	0 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>	0 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>
Presencia- Ausencia	Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>	Ausencia en 10 cm <sup>3</sup>

## **CAPÍTULO IV INSTRUMENTOS BÁSICOS PARA GARANTIZAR LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO**

- **ARTÍCULO 13º. ÍNDICE DE RIESGO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO IRCA.** Para el cálculo del IRCA al que se refiere el artículo 12 del Decreto 1575 de 2007 se asignará el puntaje de riesgo contemplado en el cuadro N°.6 a cada característica física, química y microbiológica, por no cumplimiento de los valores aceptables establecidos en la presente Resolución:

**Tabla 17. Puntaje de riesgo**

Característica	Puntaje de riesgo
Color Aparente	6
Turbiedad	15
pH	1,5
Cloro Residual libre	15
Alcalinidad Total	1
Calcio	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno	1
Magnesio	1
Zinc	1
Dureza Total	1
Sulfatos	1
Hierro Total	1,5
Cloruros	1

Características	Puntaje de riesgo
Nitratos	1
Nitritos	3
Aluminio (Al 3-)	3
Fluoruros	1
COT	3
Coliformes Totales	15
EscherichiaColi	25
Sumatoria de puntajes asignados	100

El valor del IRCA es cero (0) puntos cuando cumple con los valores aceptables para cada una de las características físicas, químicas y microbiológicas contempladas en la presente Resolución y cien puntos (100) para el más alto riesgo cuando no cumpliendo uno de ellos.

- **ARTÍCULO 15º. CLASIFICACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO.** Teniendo en cuenta los resultados del IRCA por muestra y del IRCA mensual, se define la siguiente clasificación del nivel de riesgo del agua suministrada para el consumo humano por la persona prestadora y se señalan las acciones que debe realizar la autoridad sanitaria competente:

**Tabla 18. Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra, el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse.**

<b>Clasificación IRCA (%)</b>	<b>Nivel de Riesgo</b>	<b>IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)</b>	<b>IRCA mensual (Acciones)</b>
<b>80,1 -100</b>	INVIABLE SANITARIAMENTE	Informar la persona prestadora, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional.
<b>35,1-80</b>	ALTO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador y a la SSPD.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.
<b>14,1 -35</b>	MEDIO	Informar a la persona prestadora y al COVE, Alcalde y Gobernador.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora.
<b>5,1-14</b>	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE.	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.
<b>0-5</b>	SIN RIESGO	Continuar el control y vigilancia.	Agua apta para consumo humano, continuar la vigilancia.

## **EL DECRETO 1575 DE 2007**

### **CAPÍTULO II CARACTERÍSTICAS Y CRITERIOS DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO**

- **ARTÍCULO 3º. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO.** Las características físicas, químicas y microbiológicas, que puedan afectar directa o indirectamente la salud humana, así como los criterios y valores máximos aceptables que debe cumplir el agua para el consumo humano, serán determinados por los Ministerios de la Protección

Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en un plazo no mayor a un (1) mes contado a partir de la fecha de publicación del presente decreto.

- **ARTÍCULO 6º. RESPONSABILIDAD DE LA SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS.** De conformidad con lo previsto en los artículos 79 modificado por el artículo 13 de la Ley 689 de 2001 y 81 de la Ley 142 de 1994 y demás normas concordantes, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios será la autoridad competente para iniciar las investigaciones administrativas e imponer las sanciones a que haya lugar a las personas prestadoras que suministren o distribuyan agua para consumo humano por incumplimiento de las disposiciones del presente decreto y en los actos administrativos que lo desarrollen, sin perjuicio de la competencia de la autoridad sanitaria en dicha materia.

### **CAPÍTULO III RESPONSABLES DEL CONTROL Y VIGILANCIA PARA GARANTIZAR LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO**

- **ARTÍCULO 4º.- RESPONSABLES.** La implementación y desarrollo de las actividades de control y calidad del agua para consumo humano, será responsabilidad de los Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, el Instituto Nacional de Salud, las Direcciones Departamentales Distritales y Municipales de Salud, las personas prestadoras que suministran o distribuyen agua para consumo humano y los usuarios, para lo cual cumplirán las funciones indicadas en los artículos siguientes.
- **ARTÍCULO 17. PROCESOS.** Los procesos básicos del control y vigilancia para garantizar la calidad del agua para consumo humano incluyen la recolección de muestras de control y de vigilancia, el análisis e interpretación, el suministro y difusión de la información y su utilización en

la orientación en salud pública o en actuaciones administrativas, según el caso.

- **ARTÍCULO 19. REPORTES DE CONTROL.** Las personas prestadoras deberán consignar los resultados de los análisis de las muestras exigidas en el presente decreto, en el libro de registro de control de la calidad de agua para consumo humano, el cual debe ser foliado y no se permitirán enmendaduras, sólo aclaraciones al margen. En el caso que se utilice un registro sistematizado de control de la calidad de agua se debe garantizar las medidas de seguridad para evitar la alteración de los datos registrados. El libro o registro sistematizado de control de la calidad de agua para consumo humano debe mantenerse actualizado.

## **NORMAS COLOMBIANAS PARA CALIDAD DE AGUA**

En Colombia el servicio de agua potable y saneamiento básico incluye, la captación, tratamiento, almacenamiento, transporte y distribución del agua potable y la recolección transporte y tratamiento de aguas residuales.

- **Decreto 1575 de 2006**

### ***Agua potable o agua para consumo humano***

Es aquella que por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, en las condiciones señaladas en el presente y demás normas que la reglamenten, es apta para consumo humano. Se utiliza en bebida directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal.[6\*\*]

- **Decreto 1594 del 16 de junio de 1984**

**Capítulo III artículo 29,** para los efectos del siguiente decreto se tendrán en cuenta los siguientes usos del agua\*

1. Consumo humano y doméstico

2. Preservación de flora y fauna
3. Agrícola
4. Pecuaria
5. Recreativo
6. Industrial
7. Transporte

**Capítulo IV Artículo 38.** Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico son los que se relacionan a continuación, e indican que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional.\*

**Tabla 19. Parámetros de calidad de agua para uso humano y doméstico.**

REFERENCIA	EXPRESADO COMO	VALOR
Cadmio	Mg Cd/L	0,01
Cianuro	MgCN <sup>-</sup> /L	0,2
Cinc	MgZn/L	15,0
Cobre	MgCu/L	1,0
Mercurio	Mg./L	0,002
Plomo	MgPb/L	0,05
pH	Unidades de pH	5 – 9

**Capítulo IV Artículo 40** Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola son los siguientes\*

**Tabla 20. Parámetros de calidad del agua para uso agrícola.**

REFERENCIA	EXPRESADO COMO	VALOR
Aluminio	MgAl/L	5,0
Cadmio	Mg Cd/L	0,01
Cinc	MgZn/L	2,0
Cobre	MgCu/L	0,2
Hierro	MgFe/L	5,0
Niquel	MgNi/L	0,2
Plomo	MgPb/L	5,0
pH	Unidades de pH	4,5 – 9

**Capítulo IV Artículo 41** Los criterios de calidad admisibles para la destinación de los recursos para uso pecuario, son los siguientes\*

**Tabla 21. Parámetros de calidad del agua para uso pecuario**

REFERENCIA	EXPRESADO COMO	VALOR
Aluminio	MgAl/L	5,0
Cadmio	Mg Cd/L	0,05
Cinc	MgZn/L	25,0
Cobre	MgCu/L	0,5
Mercurio	Mg./L	0,01
Plomo	MgPb/L	0,1

**Niveles de calidad del agua de acuerdo al grado de polución según el RAS 2000<sup>14</sup>**

**Tabla 22. Nivel de calidad del agua de acuerdo al grado de polución.**

PARÁMETROS	Fuente aceptable	Fuente regular	Fuente deficiente	Fuente muy deficiente
DBO <sub>5</sub>	1-3	3-4	4-6	>6
pH	6-8,5	5-9	3,8-10,5	
Turbiedad	<2	2-40	40-150	=150

## **NORMATIVIDAD COLOMBIANA DE PLANTAS DE TRATAMIENTO**

La normatividad colombiana regula las plantas de tratamiento por medio de una serie de criterios esenciales que se deben tener en cuenta, parte de este protocolo es:

*Los criterios que se deben seguir son los siguientes:*

- **Control de calidad fisicoquímica**

a) Plantas localizadas cerca de centros urbanos importantes y con fácil acceso: deben muestrearse con una frecuencia semanal.

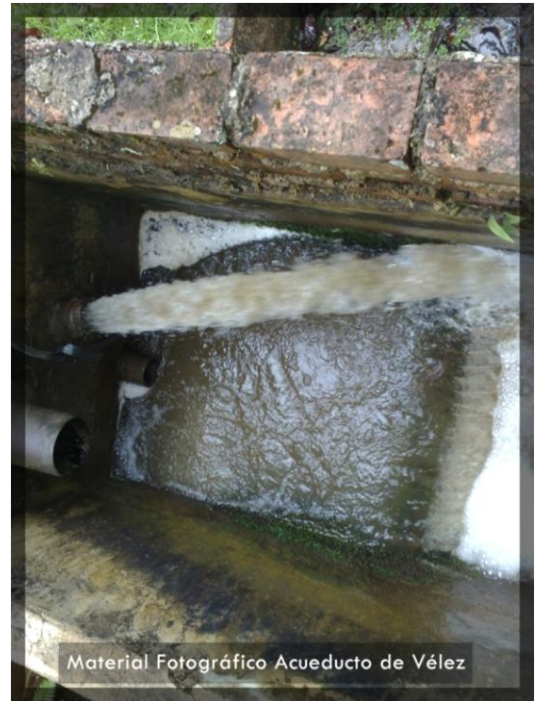
b) Plantas en zonas rurales: deben muestrearse al menos dos veces al mes.

- ***Control de calidad bacteriológica***

El control de calidad bacteriológica en las plantas de tratamiento en localidades urbanas también difiere del control en zonas rurales, sobre todo si el acceso y la distancia son importantes.

En el caso de las plantas ubicadas en zonas urbanas, usualmente se efectúan muestreos diarios cuando las aguas van a ingresar al sistema de distribución (salida del tanque de almacenamiento u otro punto que garantice un tiempo de contacto adecuado para la desinfección). A estas muestras se les practica la determinación de coliformes (principal indicador de contaminación de origen fecal) mediante la técnica de filtración en membrana o tubos múltiples<sup>[10]</sup>.

## ANEXO C. MATERIAL FOTOGRÁFICO ACUEDUCTO DE VÉLEZ Y DESCRIPCIÓN DE SU FUNCIONAMIENTO



**Foto 1, 2: Ingreso del agua a la planta de tratamiento**



**Foto 3: Canaletas donde se da el proceso de floculación.**



**Foto 4: Tanques de clarificación.**



**Foto 5,6: Tanques de filtración.**



**Foto 7: Válvulas, para el lavado de los filtros.**



**Foto 9: Dosificador agente flocculante.**



**Foto 10: Bala de cloro usada en la Desinfección.**



**Foto 11: “Don Uriel” fontanero encargado del funcionamiento del acueducto.**



**Foto 12: Tanque de almacenamiento del acueducto.**



**Foto 13: Panorámica alrededores del acueducto**



Foto 14. Vista satelital acueducto de Vélez

## FUNCIONAMIENTO DEL ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ

El agua cruda se descargan a un solo tanque que está en la parte superior de la planta de tratamiento a 20 *m* de distancia, esta agua proviene de:

- Quebrada el Batán, esta bocatoma está ubicada a 5 *Km* distancia a la planta de tratamiento, el agua baja por medio gravedad en una tubería de 152,4 *mm*.
- Quebrada la peña, esta bocatoma está ubicada a 3 *Km* de distancia de la planta de tratamiento, el agua baja por medio de gravedad en una tubería de 76,2 *mm*
- Quebrada pozo, esta bocatoma está ubicada en el municipio de Bolívar, el agua llega por bombeo en una tubería de 76,2 *mm*, esta solo se utiliza en

época de verano cuando las otras dos captaciones son insuficientes para abastecer el acueducto.

Del tanque el agua entra a la planta con un caudal de 50  $L/s$ , El tratamiento que se le hace es de tipo convencional, en la entrada se le adiciona sulfato de aluminio, por agitación se homogeniza para ayudar a la formación del flóculo en unas canaletas parshall de 96 celdas, estas se dividen en dos series de 48, se utiliza una canaleta adicional para almacenar o sedimentar el exceso de sulfato, en seguida el agua pasa a los tanques de clarificación, estos son dos tanques con una capacidad de 30000  $L$  en los cuales se desarrolla la sedimentación del flóculo formado en la etapa anterior, después pasa a los filtros para su previa purificación, estos constan de tres tanque de lecho poroso, compuestos de antracita, arenilla, arena gruesa, arena fina y gravilla, la filtración se da por gravedad, a la salida de los filtros se realiza la inyección de cloro gaseoso para la respectiva desinfección y finalmente pasa a los tanques de distribución para ser almacenada y distribuida, estos son dos tanques de 350 $m^3$  cada uno, en el anexo B se muestra una descripción fotográfica del mismo.

La red de distribución del acueducto urbano tiene cobertura del 100% sobre la totalidad de los predios edificados del área urbana está instalada en algunos sectores en tubería de P.V.C., asbesto cemento (Eternit), hierro y galvanizado.

El abastecimiento de agua constituye uno de los principales problemas del área urbana, la población se ve afectada por los racionamientos entre 6 horas en épocas de invierno y 12 horas en verano.

## ANEXO D. MATERIAL FOTOGRÁFICO, FUENTES HÍDRICAS QUE ABASTECEN EL ACUEDUCTO DE VÉLEZ

### 1. Quebrada el Batán



Foto 1: tanque de captación.

Foto 2: Salida del tanque de captación.



Foto 3: toma de muestras



Foto 4: Vegetación nativa cerca a la bocatoma.

## 2. Quebrada la Peña



Foto 5: Tanque de captación



Foto 6: Vegetación nativa aledaña a la bocatoma

## 3. Quebrada Pozo Verde



Foto 7: Tanque de captación.



Foto 8: toma de muestras.

## Descripción de las bocatomas

- **Quebrada el Batán:** El punto de captación se encuentra ubicado en: N 06° 02' 36" W 073° 40' 38,8" Altura: 2249 msnmERROR = ± 16m (datos tomados con ayuda del GPS de dotación); En el lugar donde se encuentra la bocatoma se observa Abundante vegetación nativa, buena cantidad de gaques sobre roca, la vegetación predominante en la zona son los sauces y arrayán. La Tubería que sale del tanque al acueducto es metálica de 76,2 mm de diámetro, está en mal estado, presenta alto grado de oxidación y remiendos mal realizados. Hay dos tanques desarenadores cada uno de 1 m<sup>3</sup>, la tubería de entrada y salida es de 152,4 y 76,2 mm respectivamente, Los tanques desarenadores están a 20 m de la bocatoma. En el momento de tomar la muestra y realizar las pruebas fisicoquímicas había abundante lluvia y nubosidad. Caudal ecológico un 95% del total de la quebrada. A lo largo de la tubería, se percibe una pérdida de un 15% aproximadamente con respecto al agua tomada en la captación. En algunas zonas donde pasa la tubería hay alta deforestación lo que está provocando alta erosión y por tanto daños en la tubería. Es necesario reubicar la trayectoria de la tubería de tal forma que no se vea afectada por la erosión.
- **Quebrada la Peña:** El punto de captación se encuentra ubicado en: N 06°21' 21,8" W 073° 41' 1,3" Altura: 2316 msnmERROR = ± 09m; En el lugar donde se encuentra la bocatoma se observa abundante vegetación nativa, predominan sauces y arrayán. La Tubería que sale del tanque al acueducto Tubería PVC de 76,2 mm de diámetro, está en mal estado, presenta remiendos mal realizados. En el momento de tomar la muestra y realizar las pruebas fisicoquímicas había abundante lluvia y nubosidad. Caudal ecológico un 90% del total de la quebrada. Hay agua permanente, cauce con bosque marginal nativo. A lo largo de la tubería, se percibe una pérdida de un 10% con

respecto al agua tomada en la captación. En algunas zonas donde pasa la tubería hay alta deforestación lo que está provocando alta erosión y por tanto daños en la tubería. Es necesario reubicar la trayectoria de la tubería de tal forma que no se vea afectada por la erosión.

- **Quebrada Pozo verde:** El punto de captación se encuentra ubicado en: X=1033907; Y=1154676; ALTURA= 2164m.  $\pm 5$ ; En el lugar donde se encuentra la bocatoma se observa Muy buena cobertura vegetal, captación por rejilla. Represa en concreto. El agua llega de forma subterránea. Tubería de aducción en PVC de 76,2 mm. Posee Tanque desarenador y tanque de almacenamiento 3 m abajo de la represa. Esta fuente hídrica se usa en temporada de verano, cuando las dos fuentes anteriores son insuficientes para abastecer la demanda del municipio.

## ANEXO E. RESULTADOS DE LOS ANALISIS DEL AGUA

Tablas con los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados en los puntos de captación.

**Tabla 23. Caracterización cuerpo de agua, bocatoma el Batán.**

<b>ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO BOCATOMA EL BATÁN (VÉLEZ) -MUESTRA: 01</b>			
LUGAR: Bocatoma en la quebrada El Batán, municipio Chipatá. Destino: planta de tratamiento del acueducto urbano del municipio Vélez.		FECHA ANÁLISIS: FECHA TOMA DE MUESTRA: 2011/03/04 Nro. MUESTRA: 01	
PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO ANALÍTICO	RESULTADO
CAUDAL	L/s	VOLUMÉTRICO	137
PH	UNIDAD	ROJO DE FENOL	6,0
TEMPERATURA	°C	TERMÓMETRO	12
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	S.M. 2540D	1,5
OXÍGENO DISUELTO	mg O <sub>2</sub> /L	S.M. 5210	7,8
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	S.M. 5210B	<VMD
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	S.M. 5250B	4,8
CLORO TOTAL	Ppm	Orto-todilina (OTO)	N.A.
GRASAS Y ACEITES	mg/L	S.M. 5520C	N.A.
COLIFORMES FECALES	NMP/100mL	S.M. 9230B	<VMD
COLIFORMES TOTALES	NMP/100mL	S.M. 9230B	<VMD
ALCALINIDAD	mmol/L	Prueba M	1,8
DUREZA	Grados d		10
	mg/L CaCO <sub>3</sub>		182
POSICIÓN: N 06° 02' 36" W 073° 40' 38,8"    Altura: 2249 msnmERROR = ± 16m;			

Fuente: Los Autores.

**Tabla 24. Caracterización cuerpo de agua bocatoma, La Peña.**

<b>ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO BOCATOMA LA PEÑA (VÉLEZ) -MUESTRA: 03</b>			
LUGAR: Bocatoma La Peña, vereda El Amarillo-Municipio de Vélez. Destino: acueducto del municipio de Vélez.		FECHA ANÁLISIS: FECHA TOMA DE MUESTRA: 2011/03/04 Nro. MUESTRA: 03	
PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO ANALÍTICO	RESULTADO
CAUDAL	L/s	VOLUMÉTRICO	10,94
PH	UNIDADES DE pH	ROJO DE FENOL	6,0
TEMPERATURA	°C	TERMÓMETRO	15
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	S.M. 2540D	<VMD
OXÍGENO DISUELTO	mg O <sub>2</sub> /L	S.M. 5210	8,3
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	S.M. 5210B	8
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	S.M. 5250B	10.5
CLORO TOTAL	Ppm	Orto-todilina (OTO)	N.A.
GRASAS Y ACEITES	mg/L	S.M. 5520C	N.A.
COLIFORMES FECALES	NMP/100mL	S.M. 9230B	<VMD
COLIFORMES TOTALES	NMP/100mL	S.M. 9230B	<VMD
ALCALINIDAD	mmol/L	Prueba M	1,5
DUREZA	Grados d		5,5
	mg/L CaCO <sub>3</sub>		100,1
POSICIÓN: N 06°21' 21,8" W 073° 41' 1,3" Altura: 2316 msnmERROR = ± 09m;			
<			

Fuente: Los Autores.

**Tabla 25. Caracterización cuerpo de agua, bocatoma Pozo Verde**

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO MUNICIPIO BOLIVAR-MUESTRA: 128			
LUGAR: Bocatoma sector Pozo Verde: Quebrada Pozo Verde. Destino: acueducto del municipio de Vélez.		FECHA ANÁLISIS: FECHA TOMA DE MUESTRA: Marzo 29 de 2011 MUESTRA : 128	
PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO ANALÍTICO	RESULTADO
CAUDAL	L/s	VOLUMÉTRICO	170
PH	UNIDADES DE pH	CINTAS INDICADORAS	6
TEMPERATURA	C	TERMÓMETRO	18
DUREZA	mg/L	S.M. 2540D	55
OXÍGENO DISUELTTO	mg O <sub>2</sub> /L	S.M. 5210	6.9
ALCALINIDAD	mg/L		<VMD
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	S.M. 5210B	<VMD
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	S.M. 5250B	2.6
COLORO TOTAL	Ppm	Orto-Todilina (OTO)	N.A.
GRASAS Y ACEITES	mg/L	S.M. 5520C	N.A.
COLIFORMES FECALES	NMP/100mL	S.M. 9230B	<VMD
COLIFORMES TOTALES	NMP/100mL	S.M. 9230B	<VMD
POSICIÓN: X=1033907; Y=1154676; ERROR=±5; ALTURA= 2164m.			

Fuente: Los Autores.

**Tabla 26. Caracterización del cuerpo de agua del acueducto urbano del municipio Vélez**

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO ACUEDUCTO MUNICIPIO DE VÉLEZ -MUESTRA: 02			
LUGAR: planta de tratamiento del acueducto urbano del municipio Vélez.		FECHA ANÁLISIS: FECHA TOMA DE MUESTRA: 2011/03/04 Nro. MUESTRA: 02	
PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO ANALÍTICO	RESULTADO
CAUDAL	L/s	VOLUMÉTRICO	50
PH	UNIDAD	ROJO DE FENOL	6,0
TEMPERATURA	°C	TERMÓMETRO	16
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	S.M. 2540D	0,5
OXÍGENO DISUELTO	mg O <sub>2</sub> /L	S.M. 5210	8,0
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	S.M. 5210B	<VMD
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	S.M. 5250B	4,9
COLORO TOTAL	Ppm	Orto-todilina (OTO)	N.A.
GRASAS Y ACEITES	mg/L	S.M. 5520C	N.A.
COLIFORMES FECALES	NMP/100mL	S.M. 9230B	<VMD
COLIFORMES TOTALES	NMP/100mL	S.M. 9230B	<VMD
ALCALINIDAD	mmol/L	Prueba M	2,0
DUREZA	Grados d		10
	mg/L CaCO <sub>3</sub>		182
POSICIÓN: N 06° 01' 45" W 073° 40' 38" Altura: 2152 msnm ERROR = ± 6m;			

Fuente: Los Autores.

# ANEXO F. RESULTADOS IDEAM

INFORME N°: GA-PR-15-FR-01 V03  
29

CLIENTE: AREAS NATURALES PROTEGIDAS Sr: JESUS EUGENIO HENAO Telefono: 301 430 4879 Solicitud: CAS  
PROGRAMA: POMCA RIO SUAREZ Direccion: \_\_\_\_\_

Municipio de muestreo: VELEZ Comisión de muestreo: ANP N° de muestras: 3 DE 28  
Fecha Muestreo: 04-mar-2011 GULLERMO  
Recepción: 06-mar-2011 LEANDRO  
Reporte: 07-mar-2011 Plan de muestreo No. ANP 05

**IDENTIFICACIÓN DE LA(S) MUESTRA(S):**

Muestra N° 1 BOCATOMA QUEBRADA EL BATÁN Muestra N° 2 BOCATOMA QUEBRADA EL BATÁN Muestra N° 3 BOCATOMA QUEBRADA LA PEÑA  
BOCATOMA ACUEDUCTO VELEZ ACUEDUCTO VEREDA LOMA ALTA ACUEDUCTO MUNICIPAL DE VELEZ  
ACUEDUCTO MUNICIPAL ACUEDUCTO MUNICIPAL ACUEDUCTO MUNICIPAL

El muestreo se realizó con base en el procedimiento de Toma y preservación de muestras GA-POE 37 V 8 del Laboratorio.

**RESULTADOS ANALISIS AGUA**

N°	PARÁMETRO	UNIDADES	Método Analítico <small>(Ref. Standard Methods Edición 21)</small>	Fecha Análisis	VMD	LÍMITE PERMISIVO	MUESTRAS N°.		
							1	2	3
	Aceites & Grasas	mg A&G/ L	Método de extracción Soxhlet 5-52	07/03/11	5,00	AUSENTE	N.A.	N.A.	N.A.
9	Cloruros	mg Cl / L	Argentométrico (4500-Cl B)	07/03/11	1,00	250	<VMD	0,6 +/- 0,06	0,6 +/- 0,06
11	Coliformes Totales	NMP / 100 mL	Sustrato Definido (9223 B)	07/03/11	<1	20000	<10E+01 +/- 0,04	<10E+01 +/- 0,04	<10E+01 +/- 0,04
12	E. Coli	NMP / 100 mL	Sustrato Definido (9223 B)	07/03/11	<1	2000	<10E+01 +/- 0,04	<10E+01 +/- 0,04	<10E+01 +/- 0,04
13	Color	Unidades CorPt	Comparación Visual (2120 B)	07/03/11	5	75	10	10	5
15	Conductividad	µS / cm	Electrométrico (2510 B)	07/03/11	0,0	150	88,9 +/- 1,32	84,4 +/- 1,3	79,0 +/- 3,21
16	DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> / L	Prueba de 5 días (5210 B)	07/03/11	2,0	<VMD	<VMD	2,4 +/- 0,02	8,0 +/- 0,09
	DDO	mg O <sub>2</sub> / L	Reflujo Abierto (5220 B)	07/03/11	0,100		4,8 +/- 0,03	5,50 +/- 0,03	10,50 +/- 0,03
27	Fósforo Total	mg-P/ L	Acido Ascórbico (4500-P E)	07/03/11	0,060	1	<VMD	<VMD	<VMD
29	N- Amoniacal	mg-NH <sub>3</sub> / L	Nesslerización (417.3 - Ed. 16)	07/03/11	0,70	1,0	<VMD	<VMD	<VMD
32	N- Nitrito	mg-NO <sub>2</sub> / L	Acido Cromotrópico (418 D - Ed 16)	07/03/11	0,10	10,0	<VMD	0,1 +/- 0,02	0,3 +/- 0,03
33	N- Nitrito	mg-NO <sub>2</sub> / L	Colorimétrico (4500-NO <sub>2</sub> B)	07/03/11	0,004	1,0	<VMD	<VMD	<VMD
35	Oxígeno Disuelto	mg O <sub>2</sub> / L	Electrodo de membrana (4500-O G)	07/03/11	0,0		7,8 +/- 0,02	6,8 +/- 0,02	8,3 +/- 0,02
36	pH	Unidades	Electrométrico (4500 H)	07/03/11	1,0	5,0-9,0	6,0 +/- 0,05	6,0 +/- 0,05	6,0 +/- 0,05
40	Sólidos Suspendidos	mg-SST / L	Secado a 103-105°C (2540 D)	07/03/11	5,0	0	1,5 +/- 0,02	<VMD +/- 0,02	<VMD
44	Sulfatos	mg-SO <sub>4</sub> / L	Turbidimétrico (4500 SO <sub>4</sub> E)	07/03/11	1,5	400	<VMD	<VMD	<VMD
	Tensioactivos	mg A&G/ L	SAAN (Método 5540 C)	07/03/11	0,1	AUSENTE	N.A.	N.A.	N.A.
66	Cobalto	µg Co / L (ppb)	ICP-MS (EPA 200.8)		0,300				
70	Cromo +6	mg Cr <sup>6+</sup> / L (ppm)	Colorimétrico		0,020				
86	Mercurio	µg Hg / L (ppb)	ICP-MS (EPA 200.8)		1,500				
93	Plata	µg Ag/ L (ppb)	ICP-MS (EPA 200.8)		0,200				
95	Piomo	µg Pb/ L (ppb)	ICP-MS (EPA 200.8)		0,400				
99	Selenio	µg Se / L (ppb)	ICP-MS (EPA 200.8)		10,000				

NR No Representativo  
N.A. NO Aplica  
VMD Valor Mínimo Detectable

Decreto 1564 de 1984 del Ministerio de Agricultura

CONDICIONES AMBIENTALES DE CAMPO			MUESTRAS N°.		
	UNIDADES	LÍMITE PERMISIVO	1	2	3
Caudal	lps	#/REF	137,0	9,80	10,90
Temperatura agua	°C	#/REF	12,0	15,0	15,0
Temperatura aire	°C				
Lluvia	Si/No		NO	NO	NO
Tipo de agua			SUPERFICIAL	SUPERFICIAL	SUPERFICIAL
Tipo de Muestreo			PUNTUAL	PUNTUAL	PUNTUAL
Hora de toma					
Georreferenciación	Long (Y): N		06°21'21,3"	06°21'21,3"	06°21'21,8"
	Latitud (X): W		73°40'04,4"	73°40'00,4"	73°41'01,3"
	Altitud (msnm):		2650	2650	2316
	Error GPS (m):		16	10	9

**RESULTADO(S) VÁLIDO(S) ÚNICAMENTE PARA LA(S) MUESTRA(S) ANALIZADA(S)**  
EL INFORME INCLUYE ÚNICAMENTE LAS MUESTRAS 159 - 161

OBSERVACIONES: MUESTRAS PUNTUALES TOMADAS EN LAS FUENTES HORICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA AFECTACIÓN DE LA FUENTE RECEPTORA.

FIRMAS AUTORIZADAS:

Servicio al Cliente

Vo. Bo. Jefe de Laboratorio /  
Vo.Bo. Responsable de Calidad

## ANEXO G. TABLAS NORMATIVIDAD COLOMBIANA DEL AGUA.

**Tabla 29. Calidad de la fuente.**

<b>CALIDAD DE LA FUENTE</b>						
<b>Parámetros</b>	<b>Análisis según</b>		<b>Nivel de calidad de acuerdo al grado de polución</b>			
	Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
DBO 5 días	3630					
<b>Promedio mensual mg/L</b>			≤ 1,5	1,5 – 2,5	2,5 – 4	> 4
<b>Máximo diario mg/L</b>			1 – 3	3 – 4	4 – 6	> 6
Coliformes totales (NMP/100ml)						
<b>Promedio mensual</b>		D-3870	0 – 50	50 – 500	500 – 5000	> 5000
Oxígeno disuelto mg/L	4705	D-888	≥ 4	≥ 4	≥ 4	< 4
PH promedio	3651	D 1293	6,0 – 8,5	5,0 – 9,0	3,8 – 10,5	
Turbiedad (UNT)	4707	D 1889	< 2	2 – 40	40 – 150	≥ 150
Color verdadero (UPC)			< 10	10 – 20	20 – 40	≥ 40
Gusto y olor		D 1292	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/L -Cl)		D 515	< 50	50 – 150	150 – 200	300
Fluoruros (mg/L -F)		D 1179	< 1,2	< 1,2	< 1,2	> 1,7
<b>GRADO DE TRATAMIENTO</b>						
<b>-Necesita tratamiento convencional</b>			NO	NO	Si, hay veces (ver requisitos para uso FLDE : literal C.7.4.3.3)	SI
<b>-Necesita unos tratamientos específicos</b>			NO	NO	NO	SI
<b>-Procesos de tratamientos utilizados</b>			(1)= Desinfección y Estabilización	(2)= Filtración lenta o filtración directa + (1)	(3= Pre tratamiento +[Coagulación+Sedimentación +Filtración rápida] o[Filtración lenta, diversas etapas] +(1)	(4)= (3)+ tratamientos específicos

Fuente: Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico- RAS 2000 título B

**Tabla 30. Normas de calidad del agua potable, según el Decreto 475/98**

Características	Valor máximo admisible	Procedimientos analíticos recomendados		Parámetros de comparación de la calidad de la fuente recomendados según el nivel calidad de la fuente			
		Norma técnica	Standard Method ASTM	1. Aceptable	2. Regular	3. Deficiente	4. Muy deficiente
<b>MICROBIOLÓGICAS</b>							
Coliformes totales UFC/100 cc	0			X	X	X	X
Escherchiacoli UFC/100cc	0		D 5392			X	X
<b>ORGANOLÉPTICAS Y FÍSICAS</b>							
pH	6,5-9,0		D 1292	X	X	X	X
Turbiedad UNT	5	4707	D 1889	X	X	X	X
Color verdadero - UC	15			X	X	X	X
Conductividad US/ cm	50-1,000		D 1125	X	X	X	X
Sustancias flotantes	Ausentes			X	X	X	X
Olor y sabor	Ninguno		D 1292	X	X	X	X
<b>QUÍMICAS CON EFECTOS ADVERSOS EN LA SALUD HUMANA</b>							
Fenoles totales-mg/L	0,001	4582	D 1783				X
Grasas y aceites – mg/L	Ausentes	3362	D4281				X
Aluminio- mg/L	0,20		D 857				X
Nitratos – mg/L	10		D 3867				X
Nitritos – mg/L	0,1		D 3867	X	X	X	X
Antimonio- mg/L	0,005		D 3697				X
Arsénico – mg/L	0,01		D 2972				X
Bario- mg/L	0,5		D 4382				X
Cadmio – mg/L	0,003		D 3557				X
Cianuros totales – mg/L	0,1	1312	D2036				X

Cobre-mg/L	1,0		D 1688				X
Cromo hexavalente – mg/L	0,01		D1687				X
Mercurio – mg/L	0,001		D3223				X
Níquel – mg/L	0,02		D1886				X
Plomo – mg/L	0,01		D3559				X
Selenio – mg/L	0,01	1460	D3859				X
Sustancias activas al azul de metileno – mg/L AB5	0,5		D2330				X
<b>PLAGUICIDAS Y OTRAS SUSTANCIAS</b>							
Tóxicos tipo I –mg/L	0,001						X
Tóxicos tipo II Y III –mg/L	0,01						X
Baja toxicidad –mg/L	0,1						X
Trihalometanos totales - mg/L	0,1						X
<b>QUIMICAS CON EFECTO INDIRECTO SOBRE LA SALUD HUMANA</b>							
Alcalinidad total – mg/L	100		D1067	X	X	X	X
Acidez –mg/L	50		D1067	X	X	X	X
Dureza total – mg/L	160	4706	D1126	X	X	X	X
Calcio –mg/L	60		D511	X	X	X	X
Magnesio - mg/L	36		D858	X	X	X	X
Cloruros - mg/L	250		D521	X	X	X	X
Sulfatos - mg/L	250	4708	D516	X	X	X	X
Hierro total - mg/L	0,3		D1068	X	X	X	X
Manganeso	0,1		D858			X	X
Fosfatos	0,2		D515			X	X
Zinc	5	D1691					X
Fluoruros (mg/L)	1,2	D1179					X

Fuente: Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico- RAS 2000 título B

## ANEXO H. DISEÑO DE DESARENADOR

En el Título B del reglamento RAS 2000 para sistemas de acueducto, en el numeral B4.4 se muestran los parámetros de diseño para los desarenadores, Los cálculos realizados se hacen de acuerdo a esta normatividad a continuación.

### ➤ **Período de diseño**

El período de diseño debe fijar tanto las condiciones básicas del proyecto, como la capacidad de la obra para atender la demanda futura. Se ubico el sistema en un nivel de complejidad medio alto según lo dicho en el texto, y según la siguiente tabla la proyección se hace para 25 años.

### **Período de diseño según el nivel de complejidad del sistema**

**Tablas 31. Diseño según el nivel de complejidad del sistema**

<b>Nivel de complejidad del sistema</b>	<b>Período de diseño</b>
<b>Bajo</b>	15 años
<b>Medio</b>	20 años
<b>Medio alto</b>	25 años
<b>Alto</b>	30 años

Fuente: Titulo B del reglamento RAS 2000

### ➤ **Capacidad de diseño**

Según el nivel de complejidad del sistema la capacidad de diseño de las estructuras de captación debeseer igual a 1.5 veces el caudal máximo diario.

**Tabla 32. Capacidad de diseño**

<b>Captación</b>	<b>Caudal máximo diario [L/s]</b>	<b>Caudal de diseño [L/s]</b>
<b>Quebrada el Batán</b>	30	45
<b>Quebrada La Peña</b>	20	30

Fuente: Titulo B del reglamento RAS 2000

### ➤ **Tamaño de partícula**

Se diseñara para remover partículas con diámetros iguales o superiores a 0.1 mm según la normatividad.

➤ **Velocidad de sedimentación**

Teniendo en cuenta la temperatura de la zona, se diseñara para un clima frio, Se maneja una temperatura promedio de 18°C para las dos captaciones ya que se da la captación en condiciones similares.

Se realizara el cálculo de la velocidad de sedimentación por Stokes, se procede primero a calcular la viscosidad del agua a la temperatura de trabajo.

$$\mu_{18^{\circ}C} = \mu_{18^{\circ}C} \times \frac{33.3}{T^{\circ}C+23.3} \quad (3)$$

$$\mu_{18^{\circ}C} = 0.01056$$

Se tienen de datos:

**Tabla 33. Condiciones para el cálculo de la velocidad de sedimentación del desarenador.**

<b>Temperatura:</b>	<b>18°C</b>
<b>Viscosidad <math>\mu_{18^{\circ}C}</math>:</b>	0.01056
<b>Ss:</b>	2.65
<b>Sw:</b>	1
<b>D partícula:</b>	0.01 cm
<b>V<sub>10c</sub>:</b>	0.3 cm/s

$$V_s = \frac{980}{T^{\circ}C} \left( \frac{S_s - S_w}{\mu_{18^{\circ}C}} \right) (d_{cm})^2 \quad (4)$$

$$V_s = 0.852 \text{ (cm/s)}$$

También se calcula la velocidad de sedimentación por Allen-Hazen y luego se promedia con la velocidad calculada por Stokes y se obtiene la velocidad de sedimentación a utilizar.

$$V_{s18^{\circ}C} = V_{10^{\circ}C} \times \left( \frac{T^{\circ}C+23.3}{33.3} \right) \quad (5)$$

$$V_{s18^{\circ}C} = 0.372 \text{ (cm/s)}$$

Al realizar el promedio se obtiene una velocidad de:

$$V_s = 0.612 \text{ cm/s}$$

➤ **Tiempo de sedimentación:**

Para esto se asume una profundidad útil de 2.50 m.

$$t_s = \frac{H}{V_s} \quad (6)$$

$$t_s = 408.496 \text{ (seg)}$$

➤ **Definición del factor de seguridad**

Se implementara en el desarenador buenos deflectores con un porcentaje de remoción del 87.5 %

Se usara un factor de seguridad de 2.75

$$\frac{t_r}{t_s} = 2.75 \quad (7)$$

$$t_r = 18.723 \text{ (min)}$$

La norma dice que el tiempo de remoción se debe encontrar en el intervalo:

$$0.5 \text{ horas} < t_r < 4 \text{ horas}$$

Como  $t_r = 0.312 \text{ horas}$ , no cumple con la regla, por lo cual se toma el tiempo de remoción de 0.55 horas que equivale a 1980 Seg

**Desarenador Bocatoma el Batán**

➤ **Capacidad del desarenador**

Se conoce el caudal de diseño y se conoce el tiempo de remoción con estos datos se calcula la capacidad de la siguiente forma:

$$V = t_r \times Q \quad (8)$$

$$Q = 45 \text{ L/s} = 0.045 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$tr = 1980 \text{ Seg}$$

$$V = 89.100 \text{ m}^3$$

➤ **Área superficial del desarenador disponible**

$$V = A \times H(9)$$

$$A = V / H$$

$$A = 35.64 \text{ m}^2$$

➤ **Cálculo del área superficial requerida**

$$A_r = Q / V_s(10)$$

$$A_r = 7.353 \text{ m}^2$$

Se debe cumplir que  $A > A_r$

➤ **Dimensiones de la zona de sedimentación**

$$L = 3b$$

(11)

$$A = L \times b(12)$$

$$b = \cong 3.5 \text{ m}$$

$$L \cong 10.5 \text{ m}$$

➤ **Diseño pantalla deflectora**

Velocidad de paso máxima a través de los orificios:

Área efectiva de los orificios:

$$A_e = \frac{0.045 \left( \frac{m^3}{s} \right)}{0.2 \left( \frac{m}{s} \right)}$$

$$A_e = 0.225 \left( \frac{m}{s} \right)$$

Área de un orificio:

Se tomaran orificios circulares de 5,8 mm de diámetro:

$$A_o = \pi \times \frac{d^2}{4} (13)$$

$$A_o = 0.002 \text{ m}^2$$

número de orificios:

$$\# \text{ orificios} = \frac{0.225}{0.002} = 112.5 \cong 113 \text{ orificios}$$

Se adopta como dimensiones del desarenador del Bátan:

$$L = 10.5 \text{ m}$$

$$b = 3.5 \text{ m}$$

$$H = 2.5 \text{ m}$$

$$\# \text{ orificios de la pantalla deflectora} = 113$$

- **Desarenador Bocatoma la Peña**

- **Capacidad del desarenador**

Se conoce el caudal de diseño y se conoce el tiempo de remoción con estos datos se calcula la capacidad de la siguiente forma:

$$V = tr \times Q$$

$$Q = 30 \text{ L/s} = 0.030 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$tr = 1980 \text{ Seg}$$

$$V = 59.400 \text{ m}^3$$

➤ **Área superficial del desarenador disponible.**

$$V = A \times H$$

$$A = V / H$$

$$A = 23.76 \text{ m}^2$$

➤ **Cálculo del área superficial requerida**

$$A_r = Q / V_s$$

$$A_r = 4.902 \text{ m}^2$$

Se debe cumplir que  $A > A_r$

➤ **Dimensiones de la zona de sedimentación**

$$L = 3b$$

$$A = L \times b$$

$$b \cong 2.9 \text{ m}$$

$$L \cong 8.7 \text{ m}$$

➤ **Diseño pantalla deflectora**

Velocidad de paso máxima a través de los orificios:

Área efectiva de los orificios:

$$A_e = \frac{0.030 \left( \text{m}^3/\text{s} \right)}{0.2 \left( \text{m}/\text{s} \right)}$$

$$A_e = 0.150 \left( \text{m}^2 \right)$$

Área de un orificio:

Se tomaran orificios circulares de 2" de diámetro:

$$A_o = \pi \times \frac{d^2}{4}$$

$$A_o = 0.002 \text{ m}^2$$

número de orificios:

$$\# \text{ orificios} = \frac{0.150}{0.002} = 75.0 \cong 75 \text{ orificios}$$

Se adopta como dimensiones del desarenador de La Peña:

$$L = 8.7 \text{ m}$$

$$b = 2.9 \text{ m}$$

$$H = 2.5 \text{ m}$$

$$\# \text{ orificios de la pantalla deflectora} = 75$$

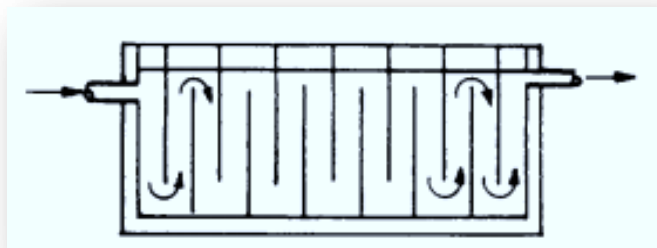
## ANEXO I. DISEÑO DE LA CÁMARA DE FLOCULACIÓN

En el reglamento RAS 2000 Título C para sistemas de acueducto se establecen los requisitos mínimos de diseños de las unidades de floculación, las pruebas previas que deben realizarse los parámetros y características mínimas con las que deben diseñarse estas unidades.

El diseño de la planta en el municipio de Vélez se realizara con el diseño de un floculador hidráulico de flujo vertical, En el floculador de flujo vertical el agua debe fluir por encima y por debajo de las pantallas que dividen el tanque. La unidad puede tener una profundidad de 2 m a 5 m, debe dejarse una abertura en la base.

de cada pantalla con un área equivalente al 5% del área horizontal del compartimiento, para prevenir la acumulación de lodos.

**Figura 4. Floculador hidráulico de flujo vertical (corte vertical)**



**Fuente:** Elemento de diseño para acueductos y alcantarillados. Escuela Colombiana de ingeniería.

En la tabla se muestran los valores para la longitud del canal necesario y por tanto el número de tabiques es función de la velocidad del flujo y del tiempo de retención ( $L = Vt$ ), determina ancho profundidad del canal.

Longitud en *m* de canal requerido en floculadores hidráulico.

**Tablas 34. Tiempos de detención**

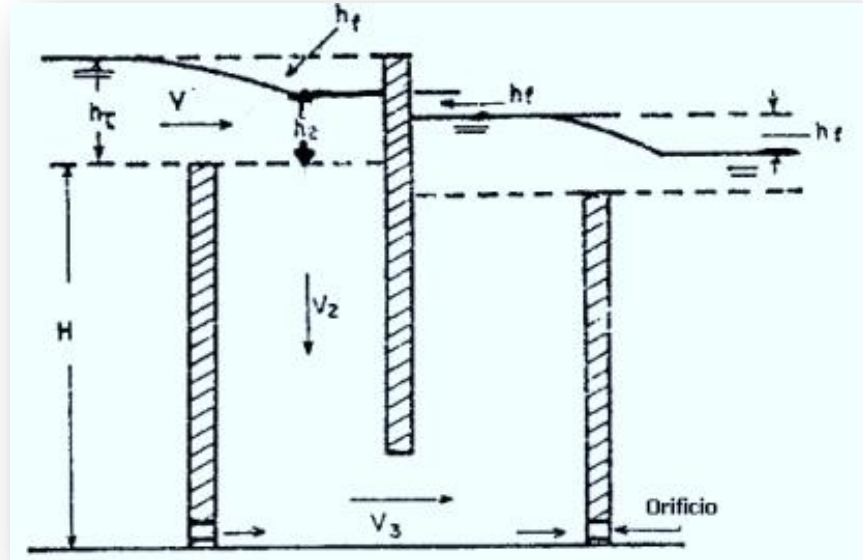
Velocidad del flujo <i>cm/s</i>	Tiempo de detención, minutos			
	15	20	25	30
5	45	60	75	90
10	90	120	150	180
20	180	240	300	360
30	270	360	450	540
40	360	480	600	720
50	450	600	750	900
60	540	720	900	1080

**Tabla 35. Tipos en las cámaras de floculación**

Según la energía de agitación.	Según el sentido del flujo	Descripción	Nombre
Hidráulicos	Flujo vertical	Con tabiques arriba y abajo del tanque.	De tabiques
		Con codos en el fondo que proyectan el agua hacia arriba	Alabama
		Con entrada lateral al tanque	Cox.

**Características del Floculador:** Este tipo de floculador es más compacto su profundidad radica según las normas del RAS 2000 de 2.0 a 5.0 *m* y por lo tanto requiere de menos área superficial, uno de sus principales problemas es la acumulación de lodos en la parte inferior de los compartimientos los cuales son difícil de extraer, se usa para plantas relativamente grandes ( mayores de 50 *L/s*).

Figura 5. Floculador de flujo vertical.



Fuente: Elemento de diseño para acueductos y alcantarillados. Escuela Colombiana de ingeniería.

### DISEÑO DEL FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUJO VERTICAL

El gradiente medio de velocidad ( $G$ ) debe estar entre  $20 \text{ s}^{-1}$  y  $70 \text{ s}^{-1}$

y el tiempo de detención ( $t_d$ ) entre 20 y 30 minutos, deben determinarse en base a las pérdidas de carga y la longitud de trayectoria del flujo condiciones reglamentadas en el RAS 2000 Título c.

A continuación se enuncian las principales suposiciones tomadas para el diseño del floculador, así:

Tablas 36. Suposiciones para el diseño del floculador.

Caudal de Diseño	$Q$	$0.045 \text{ m}^3/\text{s}$
Tiempo de retención	$t_d$	$1800 \text{ s}$
Gradiente general	$G$	$45 \text{ s}^{-1}$
Viscosidad del agua	$\mu$	$1.01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
Coficiente orificio inferior	$C_d$	$0.8$

Fuente: RAS 2000 Título C.

Se van a diseñar 2 floculadores de flujo vertical, de 3 cámaras cada uno.

- En la última cámara se supone una velocidad  $V_{23} = 0.20$  m/s, se supone un gradiente de:

$G_3 = 20 \text{ s}^{-1}$  y con un  $t_d = 600$  s, se calcula  $h_3$  de la formula

$$h_3 = \frac{G^2 \mu t_d}{g} = 0.025 \text{ m} \quad (14)$$

- En la segunda se supone una velocidad  $V_{22} = 0.25$  m/s, se supone un gradiente de:

$G_2 = 45 \text{ s}^{-1}$  y con un  $t_d = 600$  s cálculo  $h_2$  de la formula

$$h_2 = \frac{G^2 \mu t_d}{g} = 0.13 \text{ m} \quad (15)$$

- En la primera cámara, con una velocidad  $V_{21} = 0.3$  m/s, cálculo  $h_T$  de la formula con el gradiente general y un tiempo de retención de 1800 s:

$$h_T = \frac{G^2 \mu t_d}{g} = 0.38 \text{ m} \quad (16)$$

Conozco  $h_T$ , cálculo  $h_1$ , despejando de la siguiente formula

$$h_T = h_1 + h_2 + h_3 \quad (17)$$

$h_1 = 0.225$  m, conocido  $h_1$ , cálculo  $G_1$  de la formula general, entonces:

$$G_1 = 60.3 \text{ s}^{-1}$$

Con los datos anteriores se procede hacer los cálculos para una de las cámaras.

### En la primera cámara

Para los pasos superiores:

1. la pérdida de carga:

$$h_1 = 0.225 \text{ m}$$

2. el número de compartimientos o tabique es:

$$n_1 = \frac{v_{21} * t_d}{H} = \frac{0.3 * 600}{3} = 60 \text{ tabiques(18)}$$

Donde H es la profundidad del agua en el floculador

3. la pérdida de carga en cada tabique es:

$$h_{f1} = \frac{h_1}{n_1} = 0.00375 \text{ m(19)}$$

4.  $h_{21}$  se puede calcular dándole un valor aleatorio a  $h_{11}$  así:

$$h_{21} = h_{11} - h_{f1} = 0.29625 \text{ m(20)}$$

5. Tomando el coeficiente de  $h_{21}/h_{11}$  se mira en la siguiente tabla y obtener el coeficiente de sumergencia  $\alpha$ ,  $h_{21}/h_{11} = 0.99$

$$\alpha_1 = 0.275$$

Ahora se procede a calcular el gasto unitario por metro de vertedero para  $b = \text{ancho}$ .

$$1. q_1 = 1.84 * \alpha_1 * h_{11} = 0.1518 \text{ m}^2/\text{s(21)}$$

El gasto total con que se quiere calcular el floculador Q es de  $0.0225 \text{ m}^3/\text{s}$

$$b_1 = \frac{Q}{q_1} = \frac{0.0225}{0.1518} = 0.15 \text{ m(22)}$$

Q= gasto total con que se quiere calcular el floculador.

$b_1$  = gasto unitario para  $b = 1$

7. El espaciamiento entre tabiques (e):

$$e_1 = \frac{Q}{b_1 V_{21}} = 0.5 \text{ m} \quad (23)$$

8. La longitud de la primera cámara es:

$$L_1 = n_1 * e_1 = 30 \text{ m} \quad (24)$$

9. Área de la primera cámara:

$$A_{C1} = L_1 * b_1 = 4.5 \text{ m}^2 \quad (25)$$

**b. para los pasos inferiores se utiliza la ecuación:**

El área del orificio de la ecuación se calcula con

$$A_1 = \frac{Q}{\sqrt{(Cd^2 * 2 * g * h_{f1})}} = \frac{0.0225}{\sqrt{(0.8^2 * 2 * 9.8 * 0.00375)}} = 0.104 \text{ m}^2 \quad (26)$$

La altura del orificio inferior:

$$a_1 = \frac{A_1}{b_1} = 0.69 \text{ m} \quad (27)$$

la velocidad del flujo en el orificio:

$$V_{31} = \frac{Q}{b_1 * a_1} = 0.217 \text{ m/s} \quad (28)$$

Cálculo del gradiente de velocidad en el orificio inferior se asume un factor

de fricción (f) de 0.04:  $\sqrt{\frac{f * V_{31}^3}{8 * R * h * \mu}}$  (29)

Donde Rh:

$$Rh = \frac{\text{Area}}{\text{Perimetro}} = 0.095 \text{ m(30)}$$

Reemplazando valores

$$G_1 = \sqrt{\frac{0.04 * 0.22^3}{8 * 0.095 * 1.01 * 10^{-6}}} = 23.6 \text{ s}^{-1} \text{(31)}$$

Longitud del floculador:  $L_{\text{Total}} = 90.3 \text{ m}$

Ancho del floculador:  $b = 0.15 \text{ m}$

Altura del primer tabique:  $H = 3 \text{ m}$

Altura del último tabique:  $H - (n_3/2) * h_{f3} = 2.99 \text{ m(32)}$

**Tabla 37. Resumen del diseño del floculador de flujo vertical**

PARAMETRO	PRIMERA CAMARA	SEGUNDA CAMARA	TERCERA CAMARA
h(m)	0.225	0.13	0.025
G(s <sup>-1</sup> )	60.3	45	20
V <sub>2</sub> (m/s)	0.3	0.25	0.2
n (tabiques)	60	50	40
h <sub>f</sub> (m)	0.00375	0.0026	0.000625
h <sub>1</sub> (m)	0.3	0.3	0.3
h <sub>2</sub> (m)	0.29625	0.2974	0.2994
h <sub>2</sub> / h <sub>1</sub>	0.99	0.99	0.99
A	0.275	0.275	0.275
q(m <sup>2</sup> /s)	0.1518	0.1518	0.1518
b(m)	0.15	0.15	0.15
e(m)	0.51	0.61	0.76
L(m)	30	30.1	30.2
A <sub>C</sub> (m <sup>2</sup> )	33.66	33.55	33.44
A(m <sup>2</sup> )	0.77	0.92	1.89
a(m)	0.7	0.84	1.72
V <sub>3</sub> (m/s)	0.22	0.181	0.1
Rh (m)	0.095	0.11	0.22
G(s <sup>-1</sup> )	23.6	16.34	3.92

## ANEXO J. DISEÑO DEL SEDIMENTADOR

Para nuestro diseño es necesario conocer la carga superficial que va hacer la misma velocidad de sedimentación crítica, debe diseñarse de forma que permita una carga superficial entre  $20 \text{ m}^3/(\text{m}^2.\text{día})$  y  $30 \text{ m}^3/(\text{m}^2.\text{día})$ , máximo  $60 \text{ m}^3/(\text{m}^2.\text{día})$ , mencionado en la RAS 2000 C.6.5.1.2.

**Tabla 38. Carga superficial del sedimentador**

Tipo de instalación	Carga superficial	
	$\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$	$\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$
Instalaciones pequeñas con operación precaria	20-30	0.8-1.2
Instalaciones proyectadas con la nueva tecnología, con operación razonable	30-40	1.2- 1.7
Instalaciones proyectadas con la nueva tecnología, con operación buena	35-45	1.5-1.9
Instalaciones grandes con nueva tecnología, operación excelente y con auxiliares de coagulación siempre que se necesiten	40-60	1.7-2.5

**Fuente:** RAS 2000 Titulo C.

la proyección de la planta se hará para una operación precaria o apenas razonable, por condiciones económicas del municipio.

Se diseñara con una carga superficial de  $30 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$  , dentro del rango permitido en la RAS 2000.

### **Forma del sedimentador**

Se escogerá un tanque rectangular, debido a que con estos se obtienen mejores resultados, la relación ancho: largo = 1:5

### **Velocidad horizontal y relación largo- profundidad de la zona de sedimentación**

El sedimentador de flujo horizontal debe diseñarse de forma que permita una velocidad horizontal del flujo de agua de máximo  $1 \text{ cm/s}$ .

Nuestro diseño de velocidad horizontal será de  $0.5 \text{ cm/s}$

$$V_h = 0.5 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 432 \frac{\text{m}}{\text{d}}$$

Caudal de diseño  $45 \text{ L/s} = 3888 \text{ m}^3/\text{día}$

Velocidad critica de sedimentación:  $V_{sc} = 30 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$

$$L/a = 5$$

Numero de sedimentadores 3

El porcentaje adicional de diseño es del 11%

### **Caudal de diseño para cada sedimentador**

$$Q = \frac{3888 \text{ m}^3}{3} = 1296 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} = 15 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

### Ancho del sedimentador

$$Q = V_{sc} aL = 5 * V_{sc} * aL(33)$$

$$a = \left( \frac{Q}{5 * V_{sc}} \right)^{\frac{1}{2}} = \left( \frac{1296 \frac{m^3}{día}}{5 * 30 m^3 / (m^2 día)} \right)^{\frac{1}{2}} = 2.93 m(34)$$

### Cálculo de la longitud del sedimentador

$$L = 5 * aL = 14.65 m(35)$$

### Altura del sedimentador

$$Q = Vh * a * h(36)$$

$$h = \left( \frac{Q}{Vh * a} \right) = \left( \frac{1296 \frac{m^3}{día}}{432 * 2.93 m} \right) = 1.02 m$$

### Relación longitud- altura

$$\frac{L}{h} = \frac{14.65 m}{1.02 m} = 14.41$$

### Área superficial

$$A_{superficial} = a * L = 14.65 m * 2.93 m = 42.9 m^2(37)$$

$$A_{superficial} + A_{adicional} = 42.9 m^2 + 42.9 m^2 * 0.11 = 47.64 m^2 \quad (38)$$

La nueva longitud del sedimentador será:

$$L = \frac{14.65 m^2}{1.02 m} = 14.36 m$$

### Volumen del sedimentador

$$V_{sed} = A_s * h = 47.64 m^2 * 1.02 m = 48.6 m^3(39)$$

Para la zona de lodos el volumen muerto suele especificarse empíricamente para 10 y 20% para sedimentadores de flujo horizontal. Este diseño estará un 20% del volumen total

$$V_{\text{total del sedimentador}} = V_{ts} = 48.6m^3 + 48.6m^3 * 0.20 = 58.3 m^3(40)$$

### **Altura total del sedimentador**

$$H = \frac{v_{st}}{A_{st}} = \frac{58.3m^3}{47.64m^2} = 1.22 m \quad (41)$$

### **Tiempo de retención**

$$td = \frac{H}{V_{sc}} = \frac{1.22m}{30m^3/m^2día} = 0.0408 d = 0.97h \quad (42)$$

## ANEXO K. DISEÑO DE LA UNIDAD DE FILTRACIÓN.

Para la planta de tratamiento de Vélez se hará un diseño de filtración de tipo tasa declinante y de lecho mixto (arena y antracita).

### Parámetros de diseño

1. Medio filtrante: el número de medios utilizados para la planta son dos, medio doble de arena y antracita en la tabla se especifican las características según las RAS 2000 para el medio filtrante seleccionado.

**Tabla 39. Medio filtrante, unidad de filtración.**

Material	Altura en (cm)		TE (mm)		Densidad		CU	
	Máxima	Usual	Máxima	Usual	Máxima	Usual	Máxima	Usual
Antracita	45-50	45	0.8-1.4	0.8	1.65	1.40	1.80	1.50
Arena	15-45	15	0.45-0.6	0.55	2.65	2.60	1.30-1.7	1.60

Fuente: RAS 2000 título C.

**Arena:** para la arena se toma un  $TE = 0.55 \text{ mm}$ , un coeficiente de uniformidad  $CU = 1.60$  y una porosidad  $P_0 = 0.40$ .

**Antracita:** es aconsejable que el coeficiente de uniformidad de la antracita sea idéntico al de la arena,  $CU = 1.60$ , el tamaño efectivo es  $TE = 0.75$ ; porosidad  $P_0 = 0.40$ .

Para manejar la menor pérdida de carga de esta unidad se selecciono que el espesor de la antracita fuera el 60% del total del lecho.

**Profundidad del lecho filtrante:**  $0.7 \text{ m}$

**Espesor de la antracita:**  $0.42 \text{ m}$

**Espesor de la arena:**  $0.28 \text{ m}$

La selección del tamaño efectivo de la arena nos garantiza que los granos más gruesos reportados en la literatura tienen un tamaño mayor a  $0.9 \text{ mm}$ , debido a

esto podemos seleccionar la gravilla común de 2.4 mm (3"/32), un lecho de grava convencional con profundidad de 0.4 m.

**Rata de filtración o carga superficial:** Va hacer de filtración media

$$240 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$$

**Profundidad de la capa de agua sobre el filtro**

Capa de agua: 1.40 m

**Lavado del filtro**

Se usan lavados de agua tanto ascendente como auxiliar, la cual se lleva a cabo a una alta velocidad para que sus partículas fluidifiquen

Velocidad de lavado: 80 cm/min.

**Numero de filtros:** se requieren por lo menos cuatro unidades para que las tres unidades que permanecen en operación sean lo suficientemente capaces de abastecer el caudal de lavado de la que está en mantenimiento.

La fórmula para calcular el número de filtros es la propuesta por Morrill y Wallace:

$$N = 0.044 * \sqrt{Q}(43)$$

N= número de filtros

Q= caudal total de filtración,  $\text{m}^3/\text{d}$ ;  $Q = 3888 \text{ m}^3/\text{d}$

$$N = 0.044 * \sqrt{3888} = 2.75 = 3 \text{ filtros}$$

**Dimensiones de los filtros**

Caudal que entra a cada filtro es:

$$Q' = \frac{Q}{N} = \frac{3888}{3} = 1296 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} (44)$$

### Área superficial de cada filtro

$$A = \frac{Q'}{q} \quad (45)$$

$Q'$  = caudal que entra a cada filtro,  $m^3/d$

$q$  = Rata de filtración media,  $\frac{m^3}{m^2d}$

$$A = \frac{Q'}{q} = \frac{1296}{240} = 5.4m^2 = 5 m^2$$

L: largo del filtro = 5 m       $1 \leq \frac{L}{B} \leq 3$

B: ancho del filtro = 3 m

### Hidráulica del lavado

Velocidad mínima de fluidización

Numero de galileo, Ga

$$Ga = \frac{g \cdot (s_s - 1) d_{90}^3}{\mu^2} \quad (46)$$

$g$ : gravedad

$S_s$ : densidad relativa de los granos suspendidos, para la arena  $S_s = 2.65$

Para la antracita  $S_s = 1.40$

$d$ : diámetro de los granos, según la literatura cleasby recomienda  $d_{90}$

Arena:  $d_{90} = 0.118$

Antracita  $d_{90} = 0.165$

$\mu$ : Viscosidad cinemática a 17 °C,  $0.01088 \frac{cm^2}{s}$

Reemplazando para la arena:

$$Ga = \frac{981 * (2.65 - 1) 0.118^3}{0.01088^2} = 22466$$

Para la antracita:

$$Ga = \frac{981 * (1.40 - 1) 0.165^3}{0.01088^2} = 14890$$

Velocidad mínima de fluidización,  $V_a$  min:

$$V_a \text{ min} = \frac{1.3 * \mu}{d_{90}} \left[ (3.37^2 + 0.0408 * Ga)^{0.5} - 33.7 \right] \quad (47)$$

Para la arena:

$$V_a \text{ min} = \frac{1.3 * 0.01088}{0.118} \left[ (3.37^2 + 0.0408 * 22466)^{0.5} - 33.7 \right] =$$

$$1.39 \text{ cm/s} = 0.834 \text{ m/min}$$

Para la antracita:

$$V_a \text{ min} = \frac{1.3 * 0.01088}{0.165} \left[ (3.37^2 + 0.0408 * 14890)^{0.5} - 33.7 \right] =$$

$$0.69 \text{ cm/s} = 0.414 \text{ m/min}$$

### **Perdida de carga durante el lavado**

Perdida de carga en la arena:

$$h_L = (s_s - 1) * (1 - P_0) * L_0 \quad (48)$$

$$h_L = 0.277 \text{ m}$$

Perdida de carga en la antracita:

$$h_L = (s_s - 1) * (1 - P_0) * L_0$$

$$h_L = 0.1008\text{m}$$

Pérdida total de carga en el lecho

$$h_L = 0.378\text{ m}$$

Perdida de la carga en la grava:

$$h_{LG} = \frac{v_{a*l}}{3} = \frac{0.8*0.40}{3} = 0.11\text{ m}(49)$$

## **ANEXO L. EQUIPO BÁSICO DE LABORATORIO PARA EFECTUAR CONTROL DE PROCESOS EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN**

La siguiente lista contiene el equipo mínimo recomendado para efectuar las labores de control de procesos en una planta de potabilización del agua.<sup>[20]</sup>

1. Equipo de medición de color por comparación (*aquatester*): Debe incluir dos tubos Nessler, dos tapones de vidrio óptico, lámpara de 120 ó 229 voltios y los discos de comparación con los siguientes rangos:
  - a) 0 a 25 UC.
  - b) 0 a 50 UC.
  - c) 5 a 100 UC.
  
2. Turbidímetronefelométrico: Debe incluir el respectivo juego de patrones de calibración y al menos cuatro cubetas para muestra.
  
3. Plantilla eléctrica de porcelana con agitador.
  
4. Una caja de agitadores magnéticos y su barra de recuperación.
  
5. Solución *buffer* de pH = 7.
  
6. Solución *buffer* de pH = 4.
  
7. Equipo medidor de pH con sus respectivos electrodos.
  
8. Un agitador magnético con base de porcelana.
  
9. Soporte con base de porcelana y prensa de buretas para titulación.

10. Una centrífuga.
11. Un recipiente de polipropileno de 10 L con tapa y llave para almacenar agua destilada.
12. Un destilador de agua pequeño.
13. Tres recolectores de muestra de polietileno con un brazo de 3,7 m de largo.
14. Dos bulbos esféricos de 3 onzas para llenar pipetas.
15. Una balanza granataria de hasta 2.000 gramos con 2 decimales de precisión.
16. Un comparador de cloro con dos discos.
17. Un agitador múltiple (6 paletas) para prueba de jarras con velocidad máxima de 100 rpm en los tipos analógicos y 300 rpm en los modelos digitales, incluida una base iluminada y juegos de jarras de 2 L.
18. Dos descartadores de pipetas.
19. Dos frascos lavadores de 500 mL.
20. Dos buretas de 50 mL.
21. Una docena de erlenmeyers de vidrio de 125 mL.
22. Una docena de erlenmeyers de vidrio de 250 mL.
23. Una docena de *beakers* de vidrio de 50 mL.

24. Una docena de *beakers* de vidrio de 125 mL.
25. Una docena de *beakers* de vidrio de 250 mL.
26. Dos *beakers* plásticos de 4 L.
27. Dos pipetas volumétricas de 100 mL.
28. Dos pipetas volumétricas de 50 mL.
29. Dos pipetas volumétricas de 25 mL.
30. Dos pipetas volumétricas de 10 mL.
31. Dos pipetas volumétricas de 5 mL.
32. Cuatro pipetas de Mohr de 10 mL.
33. Cuatro pipetas de Mohr de 5 mL.
34. Cuatro pipetas de Mohr de 2 mL.
35. Dos frascos volumétricos de 1.000 mL.
36. Dos frascos volumétricos de 500 mL.
38. Dos conos Imhoff con sus soportes.