

Maestría en Ingeniería Civil

**Evaluación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del
Municipio de Barbosa-Santander**

Ing. Rafael Yamid Quintero Sánchez

Bogotá, D.C., 6 de julio de 2016



**Evaluación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del
Municipio de Barbosa-Santander**

**Tesis para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil, con
énfasis en Ingeniería Ambiental**

Ing. Jairo Alberto Romero Rojas

**Master of Engineering in Environmental Engineering
Director**

Bogotá, D.C., 6 de julio de 2016



La tesis de maestría titulada “Evaluación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de Barbosa-Santander”, presentada por Rafael Yamid Quintero Sánchez, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería Ambiental.

Director de la tesis

Ing. Jairo Alberto Romero Rojas

Jurado

Ing. Héctor Alfonso Rodríguez Díaz

Jurado

Ing. Héctor Matamoros Rodríguez

Bogotá, D.C., _____

Agradecimientos

El autor agradece primeramente a Dios, fuente del conocimiento y la sabiduría y a su familia por su apoyo incondicional

Al Ingeniero Jairo Alberto Romero Rojas, director del proyecto, por sus orientaciones oportunas, las cuales fueron fundamentales para la realización del proyecto y por su apoyo y acompañamiento a lo largo de la Maestría.

Al Centro de Estudios Ambientales de la Escuela, por brindar un ambiente propicio y agradable para el desarrollo de las actividades pedagógicas de los estudiantes de la Maestría.

A Maryu Mónica Huertas Rojas, secretaria del Centro de Estudios Ambientales, por la valiosa colaboración recibida a lo largo de toda la Maestría y durante la realización de este proyecto.

A la Alcaldía Municipal y a la Empresa de Servicios públicos de Barbosa ESBARBOSA E.S.P. por permitir el desarrollo de este proyecto en favor de la comunidad barboseña.

A la Ingeniera Leidy Johana Rocha, por su colaboración en los ensayos de laboratorio realizados para el proyecto.

A Nidia Adalia Sánchez, quien con su apoyo y motivación durante toda la Maestría contribuyo para la consecución de este logro.

Resumen

En el presente trabajo se incluyen los resultados del análisis y la evaluación de los procedimientos ejecutados en la PTAP de Barbosa, Santander. La PTAP de Barbosa es una planta de tipo convencional constituida por un tanque de llegada, una canaleta Pashall, dos floculadores hidráulicos de flujo horizontal, dos sedimentadores de alta tasa con placas inclinadas, tres filtros rápidos y un tanque de contacto para cloración.

Para el año 2041, con una proyección de 51.750 habitantes, la PTAP tiene capacidad suficiente de abastecimiento. La operación actual satisface los requerimientos de agua potable, establecidos en la Resolución 2115 de 207.

El estudio, además, permite señalar las operaciones requeridas para mejoramiento y mantenimiento de la planta de potabilización y recomendar la actualización de estratificación de los usuarios y el reajuste de la tarifa.

Índice General

Introducción	11
Capítulo I. Objetivos	12
1.1 Objetivo General	12
1.2 Objetivos Específicos	12
Capítulo II. Información General	13
2.1 Descripción del Municipio de Barbosa	13
2.1.1 Características físicas.	13
2.1.2 Estructura poblacional.	14
2.1.3 Sectores económicos del Municipio.	14
2.2 Análisis Poblacional	16
2.2.1 Proyección lineal de población.	17
2.2.2 Proyección según método geométrico.	18
2.2.3 Población flotante y Población total.	20
2.3 Determinación de las Necesidades de Agua Potable	21
2.4 Normatividad Aplicable	24
Capítulo III. Diagnóstico de la Planta de Tratamiento	29
3.1 Descripción de la PTAP	29
3.2 Dosificador y canaleta Parshall	31
3.3 Floculador hidráulico	32
3.4 Sedimentador	34
3.5 Filtros	36
3.5.1 Eficiencia en Remoción de Turbiedad.	37
3.6 Tanque de contacto y cloración	38
Capítulo IV. Calidad del Agua	39

4.1 Caracterización de las Fuentes	39
4.2 Variabilidad de la Calidad del Agua Cruda	42
4.3 Caracterización del Agua Tratada	45
Capítulo V. Evaluación Operacional	46
5.1 Costos De Potabilización	46
Capítulo VI. Alternativas para Control Operacional	48
6.1 Dosis Óptima de Coagulante	48
6.2 Lodos y Aguas de Lavado de Filtros	54
6.3 Mejoramiento de Infraestructura	55
6.4 Pautas de Control de Operación	56
6.5 Propuesta de gestión	57
6.5.1 Indicadores de seguimiento en cada proceso y escala para valoración.	57
6.5.2 Mecanismos de acción y mejoramiento	58
Capítulo VII. Conclusiones	59
Referencias	60
Anexos	61

Índice de Tablas

Tabla 1. Distribución de la población proyectada, Barbosa 2.016	14
Tabla 2. Composición del empleo por actividad económica	15
Tabla 3. Censos población urbana	16
Tabla 4. Proyección de la población, método lineal	18
Tabla 5. Proyección de la población, método geométrico.	19
Tabla 6. Resumen proyecciones de población	19
Tabla 7. Proyección población total	21
Tabla 8. Proyecciones caudales de diseño	23
Tabla 9. Contenido título C RAS 2000	24
Tabla 10. Dotación neta máxima	25
Tabla 11. Periodo de diseño máximo	25
Tabla 12. Contenido del decreto 1575 de 2007	25
Tabla 13. Características físicas	26
Tabla 14. Características químicas que tienen efecto adverso en la salud humana	26
Tabla 15. Características químicas con implicaciones sobre la salud humana	27
Tabla 16. Características químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana	27
Tabla 17. Características microbiológicas	28
Tabla 18. Calibración dosificador	31
Tabla 19. Diagnóstico canaleta Parshall	32
Tabla 20. Diagnóstico floculador hidráulico	33
Tabla 21. Diagnóstico sedimentador	35
Tabla 22. Diagnóstico filtros	37
Tabla 23. Eficiencia en remoción de turbiedad y color	37
Tabla 24. Diagnóstico cloración	38
Tabla 25. Caracterización fisicoquímica y microbiológica Quebrada Semisa	39
Tabla 26. Caracterización fisicoquímica y microbiológica Río Suárez	40
Tabla 27. Caracterización fisicoquímica y microbiológica del pozo profundo.	41
Tabla 28. Calidad de las fuentes y grado de tratamiento	42
Tabla 29. Variabilidad de la calidad del agua cruda	43

Tabla 30. Caracterización del agua tratada	45
Tabla 31. Costos de potabilización año 2015	46
Tabla 32. Costo de tratamiento por habitante, metro cúbico tratado y facturado.	47
Tabla 33. Comparación tarifas por metro cúbico de agua	47
Tabla 34. Ensayos de jarras Quebrada Semisa – Pozo profundo	49
Tabla 35. Dosis óptima y aplicada Vs turbiedad, Quebrada Semisa – Pozo profundo.	50
Tabla 36. Dosis óptima y aplicada Vs color, Quebrada Semisa– Pozo profundo.	51
Tabla 37. Ensayos de Jarras Río Suárez – Quebrada Semisa – Pozo profundo	52
Tabla 38. Dosis óptima y aplicada Vs turbiedad, Río Suárez – Quebrada Semisa – Pozo profundo.	52
Tabla 39. Dosis óptima y aplicada Vs color, Río Suárez – Quebrada Semisa – Pozo profundo.	53
Tabla 40. Lodo producido en un día de tratamiento	54
Tabla 41. Mejoramiento de Infraestructura	55
Tabla 42. Pautas de control de operación	56
Tabla 43. Indicadores de seguimiento en cada proceso y escala para valoración	57

Índice de Figuras

Figura 1. Localización general del Municipio. Fuente: EOT Barbosa 2.005–2.015.	13
Figura 2. Distribución de las empresas por actividad y por personalFuente: EOT Barbosa 2.005– 2.015.	16
Figura 3. Crecimiento población urbana 1.964-2.005	17
Figura 4. Resumen proyección de la población	20
Figura 5. Proyección caudal de diseño	23
Figura 6. Planta de tratamiento, vista general	29
Figura 7. Diagrama de flujo planta de tratamiento de agua potable Barbosa	30
Figura 8. Torre de aireación y tanque de llegada	30
Figura 9. Dosificador y canaleta Pashall	31
Figura 10. Floculadores hidráulicos	34
Figura 11. Sedimentadores	36
Figura 12. Filtros	36
Figura 13. Tanque de contacto y cilindro de cloro	38
Figura 14. Variabilidad en la turbiedad en un año	44
Figura 15. Variabilidad del color en un año	44
Figura 16. Variabilidad del pH en un año	44
Figura 17. Procedimiento ensayo de jarras	48
Figura 18. Ensayo de jarras	49
Figura 19. Dosis óptima y aplicada Vs turbiedad, Quebrada Semisa – Pozo profundo.	50
Figura 20. Dosis óptima y aplicada Vs color, Quebrada Semisa – Pozo profundo.	51
Figura 21. Dosis óptima y aplicada Vs turbiedad, Río Suárez – Quebrada Semisa – Pozo profundo.	53
Figura 22. Dosis óptima y aplicada Vs turbiedad, combinación, Río Suárez – Quebrada Semisa – Pozo profundo.	53

Introducción

El municipio de Barbosa Santander cuenta con una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), de tipo convencional, construida en el año 1.970 por el Instituto Nacional de Fomento Municipal (INSFOPAL), para un caudal de 50 L/s; posteriormente, en el año 1.987, fue ampliada para una capacidad de 120 L/s.

Este documento presenta la evaluación operacional de la PTAP, con base en los parámetros de operación establecidos en el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000) y con las características del agua potable establecidas en la Resolución 2115 de 2007.

En el primer capítulo se presentan los objetivos del proyecto. En el segundo capítulo se incluye la información general del Municipio y el marco legal vigente aplicable para la evaluación de la PTAP.

En el capítulo 3 se describe la PTAP y se realiza el diagnóstico de cada uno de los elementos que la componen. En el capítulo 4 se presenta la evaluación de la calidad del agua cruda y del agua tratada así como los costos de potabilización del agua.

En el capítulo 5 se incluye la evaluación operacional de la PPA. En el capítulo 6 se exponen las alternativas para control operacional y propuesta de gestión.

Finalmente, en el capítulo 7 se formulan las conclusiones generales de la evaluación de la PTAP.

Capítulo I

Objetivos

1.1 Objetivo General

Analizar y evaluar las instalaciones y los procedimientos efectuados en la planta de potabilización de agua del municipio de Barbosa.

1.2 Objetivos Específicos

- Establecer los parámetros de diseño y de operación de la planta.
- Verificar el cumplimiento de la normatividad vigente respecto a calidad del agua y a los parámetros y condiciones de operación.
- Realizar la evaluación operacional de la planta.
- Formular alternativas para el control operacional de la planta.

Capítulo II

Información General

2.1 Descripción del Municipio de Barbosa

2.1.1 Características físicas.

El municipio de Barbosa está localizado en el extremo sur del departamento de Santander, en límites con el departamento de Boyacá, a una distancia de la capital del país de 185 km. Territorialmente posee una ubicación estratégica sobre la vía nacional N° 45 que comunica a Bogotá con Bucaramanga. La cabecera municipal de Barbosa está ubicada sobre la margen izquierda del río Suárez. El área total del Municipio es de 46,43 km², los cuales se distribuyen entre los 1570 msnm, desde el extremo norte, sobre el río Suárez, donde queda ubicado el casco urbano, y los 2050 msnm en límites con Vélez y Güepesa. Temperatura media: 21° Centígrados.



Figura 1. Localización general del Municipio. Fuente: EOT Barbosa 2.005–2.015.

2.1.2 Estructura poblacional.

La población proyectada de Barbosa para el año 2.016 es de 28.873 habitantes, con base en información reportada por el DANE con el censo del 2005, distribuidos en 23.070 habitantes en el área urbana de la cabecera municipal (80,1%) y 5.565 habitantes en el resto del municipio (19,9%).

Tabla 1. Distribución de la población proyectada, Barbosa 2.016

Área	Habitantes	%
Urbana	23.315	80,8
Resto	5.558	19,2
Total	28.873	100

Fuente: DANE, Proyección municipios 2005-2020

La tabla anterior muestra la gran concentración poblacional del municipio en la zona urbana.

2.1.3 Sectores económicos del Municipio.

Al examinar la información consignada en el Esquema de Ordenamiento Territorial (2.005–2.015) vigente, respecto al tamaño promedio por establecimiento de las diferentes actividades económicas desarrolladas, con el personal que ocupan, se observa que en promedio se emplean 2 personas por establecimiento, siendo el del sector primario de 1 empleado, el de la industria manufacturera de 2 y el del sector servicios o terciario de 1 a 2 personas, destacándose en este último el del comercio con 2. Estas cifras son inferiores a las registradas en promedio a nivel nacional, que en términos generales era de 4 empleados por establecimiento, el de la industria manufacturera de 9,2 y el de comercio de 2,4.

Esto determina que la base empresarial y por consiguiente económica del municipio de Barbosa gira básicamente sobre la microempresa, lo que explica la baja generación de empleo directo de este sector en el municipio.

Respecto a la forma de organización empresarial, cerca del 83% de las unidades empresariales son de propiedad individual, un 11% de sociedad limitada, un 3,3% de sociedad anónima y un 1,3% sociedad de hecho, las restantes son unidades empresariales asociativas.

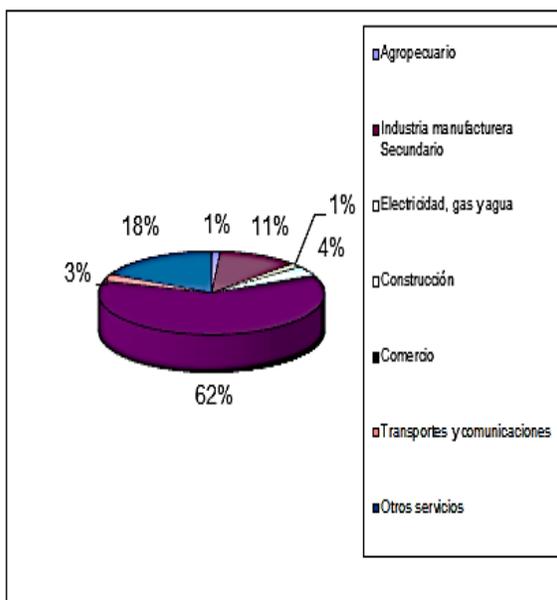
Tabla 2. Composición del empleo por actividad económica

Actividad económica	No. Empresas	%	No. de empresa según personal ocupado			Total personal ocupado por actividad	
			Entre 1 y 10	Entre 11 y 49	No reporta	No Empleados	%
Agropecuario	5	1,2	4	0	1	6	0,7
Industria manufacturera Secundario	52	11,5	43	1	8	128	14,1
Electricidad, gas y agua	7	1,5	5	2	0	75	8,2
Construcción	17	3,9	11	0	6	18	2,0
Comercio	277	61,5	234	2	41	423	46,5
Transportes y comunicaciones	12	2,7	10	0	2	18	2,0
Otros servicios	80	17,7	66	4	10	241	26,5
Total	450	100	373	9	68	909	100

Fuente: EOT Barbosa 2.005–2.015.

La dinámica económica del Municipio está basada fundamentalmente en el papel que cumple como dinamizador de los recursos de la producción regional, generados especialmente en los municipios vecinos por la producción panelera y las actividades agropecuarias; pues debido a su estratégica ubicación, concentra el comercio de la zona y gran parte de las actividades bancarias. El tipo de comercio que predomina es el minorista, en especial el relacionado con la compraventa de bienes y servicios.

Número de empresas por actividad



Número de empresas por personal ocupado

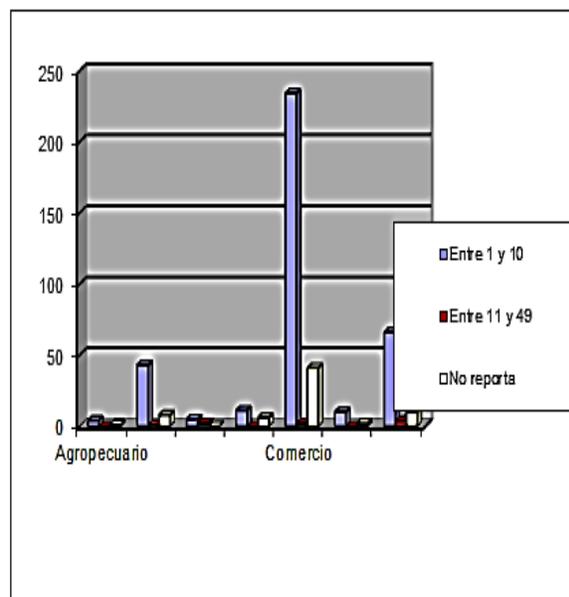


Figura 2. Distribución de las empresas por actividad y por personal Fuente: EOT Barbosa 2.005– 2.015.

2.2 Análisis Poblacional

La estimación se realizó a partir de la información del número de habitantes de los censos realizados a nivel nacional, específicamente de la Zona Urbana, que es abastecida por la planta de potabilización de agua del Municipio.

Tabla 3. Censos población urbana

Año	Población (hab)
1964	7.320
1973	8.123
1985	12.928
1993	15.696
2005	20.129

Fuente: DANE, Censos 1.964-2.005

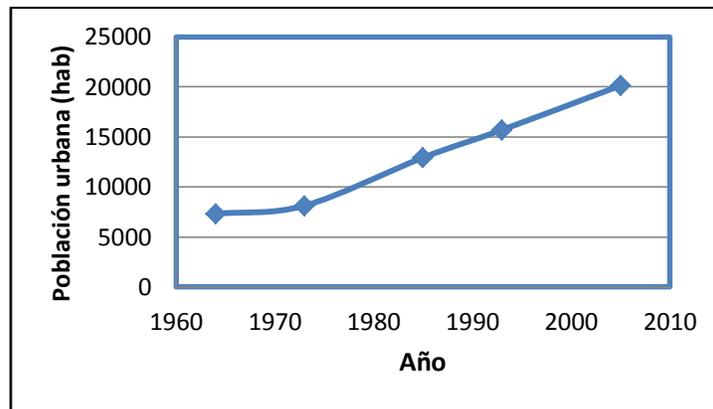


Figura 3. Crecimiento población urbana 1.964-2.005

De acuerdo con el Artículo 2 de la Resolución 2320 de 2009 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2009), que modifica algunos aspectos de la Resolución 1096 de 17 de Noviembre de 2000, por la cual se adoptó el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2000), se establece que para los niveles de complejidad bajo, medio y medio alto, el período de diseño es de 25 años. Por lo anterior, las proyecciones de población se presentan para cada 5 años, desde el año 2.016 hasta el año 2.041, por los métodos establecidos en el Título B del RAS 2000 de acuerdo con el nivel de complejidad y las características del municipio.

2.2.1 Proyección lineal de población.

El método lineal o aritmético supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente:

$$P_f = P_{uc} + K(T_f - T_{uc})$$

Para calcular el valor de la pendiente (K), se toma el valor del último censo y el del censo inicial, como se muestra a continuación:

$$K = \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}}$$

Donde: P_f : Población Final; P_{uc} : Población último censo; P_{ci} : Población censo inicial

T_{uc} : Año último censo; T_{ci} : Año censo inicial; T_f : Año al que se quiere proyectar

K : Tasa de Crecimiento, habitantes/año.

En la tabla 4 se resumen los datos obtenidos para el análisis poblacional en el municipio de Barbosa aplicando el método lineal.

Tabla 4. Proyección de la población, método lineal

Crecimiento lineal								
Año	Cabecera - Población (hab)	K	2016	2021	2026	2031	2036	2041
1964	7320	312	23565	25127	26689	28251	29813	31375
1973	8123	375	24256	26132	28007	29883	31759	33635
1985	12928	360	24089	25889	27690	29490	31290	33090
1993	15696	369	24192	26039	27886	29733	31580	33428
2005	20129	354	24025	25796	27568	29339	31110	32882

2.2.2 Proyección según método geométrico.

El método geométrico es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades.

Para esta proyección se utiliza la siguiente expresión:

$$P_f = P_{uc}(1 + r)^{T_f - T_{uc}}$$

Donde r es la tasa de crecimiento anual en forma decimal y las demás variables se definen igual que para el método anterior. La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{T_{uc}-T_{ci}}} - 1$$

En la tabla 5 se presentan los valores de la población proyectada por el método geométrico.

Tabla 5. Proyección de la población, método geométrico.

Crecimiento geométrico								
Año	Cabecera - Poblacion (hab)	r	2016	2021	2026	2031	2036	2041
1964	7320	0,024979	26404	29871	33793	38230	43249	48928
1973	8123	0,028764	27497	31686	36513	42075	48485	55871
1985	12928	0,022385	25679	28685	32042	35793	39982	44662
1993	15696	0,020946	25284	28045	31108	34505	38274	42454
2005	20129	Promedio	26216	29571	33364	37650	42497	47978

En la tabla 6 se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 6. Resumen proyecciones de población

Método	2016	2021	2026	2031	2036	2041
Lineal	24025	25796	27568	29339	31110	32882
Geométrico	26216	29571	33364	37650	42497	47978
Adoptado	25121	27684	30466	33495	36804	40430

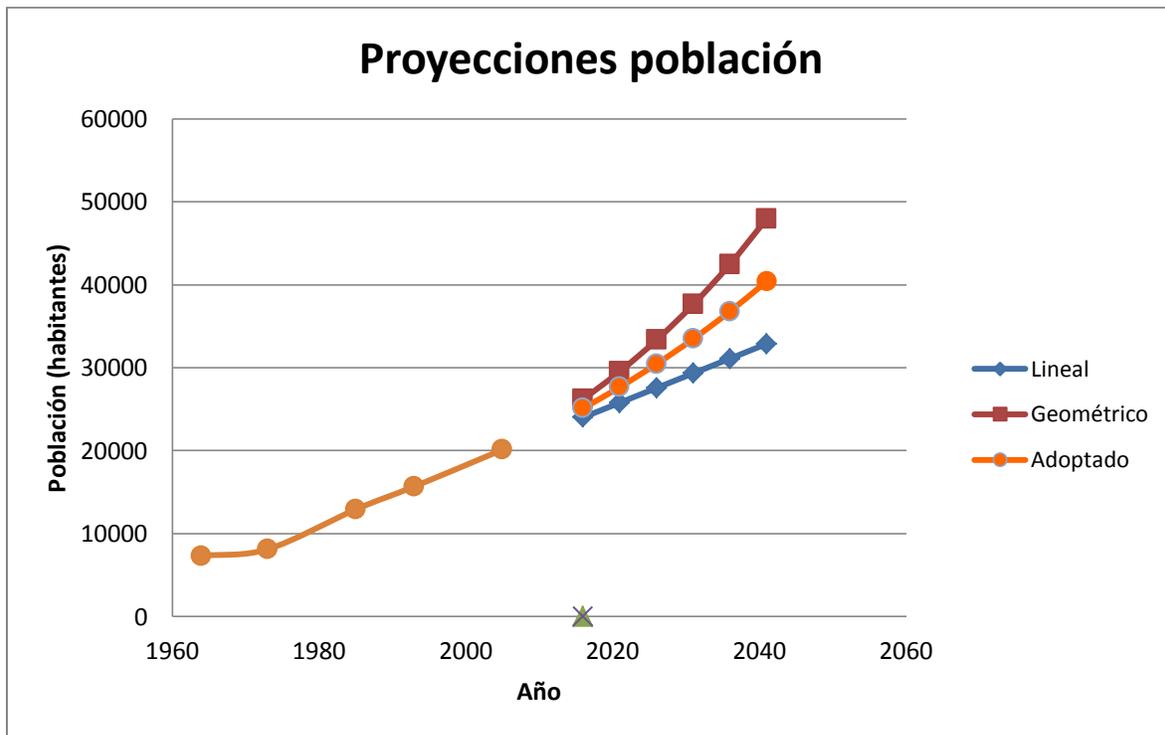


Figura 4. Resumen proyección de la población

La proyección de población adoptada se define con base a las características del municipio de Barbosa y corresponde al promedio entre los métodos lineal y geométrico.

2.2.3 Población flotante y Población total.

De acuerdo con los requerimientos del numeral B.2.2.5. RAS 2000, se hace necesario el ajuste de la población efectiva con la población flotante y migratoria del proyecto. El cálculo de esta población debe considerar actividades turísticas, laborales, industriales y/o comerciales que representen población flotante.

Para el cálculo se tomaron los datos registrados por el Centro de Gestión Agroempresarial del Oriente (SENA Regional Santander) (2010), en el Inventario Turístico del Municipio, realizado en el año 2010, que considera las actividades comerciales e institucionales que se desarrollan por su estratégica ubicación geográfica. El Inventario menciona que Barbosa ocupa el puesto número 44 entre los municipios con mayor población flotante del país con 6.000 habitantes por día para 2.010, lo que representa el 28 % de la población.

La siguiente tabla muestra la proyección total resultante de la suma de la proyección de población y la población flotante:

Tabla 7. Proyección población total

Año	Población (hab)	Población flotante (hab)	Población total (hab)
2016	25.121	7.033	32.154
2021	27.684	7.751	35.435
2026	30.466	8.530	38996
2031	33.495	9.378	42.873
2036	36.804	10.304	47.108
2041	40.430	11.320	51.750

2.3 Determinación de las Necesidades de Agua Potable

La Empresa de Servicios Públicos de Barbosa no cuenta con datos confiables sobre el consumo real de agua que se genera en la población, por lo anterior el cálculo de la dotación neta se hace con base en los valores registrados en la resolución 2320 de 2009.

De acuerdo con las proyecciones de población realizadas, para el año 2016 la población es de 32.154 habitantes y para el 2041, la población será de 51.750. Las poblaciones actual y proyectada están incluidas dentro del nivel Medio Alto de complejidad (de acuerdo con el RAS 2000), por lo que se utilizará una dotación neta máxima de 125 *L/hab.dia*, pues se considera clima templado, debido a que el casco urbano está a una altura aproximada de 1600 msnm.

La dotación bruta de acuerdo con la resolución 2320 de 2009, considerando el máximo de pérdidas técnicas del 25%.

$$Dotación\ bruta = \frac{Dotación\ Neta}{1 - \% Perdid\ as\ técnicas}$$

La dotación bruta será:

$$Dotación\ bruta = \frac{125\ L/hab.dia}{1 - 0,25} = 167L/hab.dia$$

De acuerdo con el RAS-2000, los caudales actuales (2016) y proyectados (2041) serán:

Caudal medio diario:

$$Q_{medio} = \frac{\text{Dotación bruta} \left(\frac{L}{hab} \cdot d \right) * \text{Población (Hab)}}{86400}$$

$$Q_{medio2016} = \frac{(167L/hab \cdot d) * (32.154 Hab)}{86400s/d} = 62 L/s$$

$$Q_{medio2041} = \frac{(167L/hab \cdot d) * (51.750(Hab))}{86400s/d} = 100 L/s$$

Caudal máximo diario:

$$Q_{MD} = (Q_{medio diario}) * (k_1)$$

$$Q_{MD 2.016} = (1,2) * (62 L/s) = 75 L/s$$

$$Q_{MD 2.041} = (1,2) * \left(\frac{100 L}{s} \right) = 120 L/s$$

El caudal máximo diario se utiliza como caudal de diseño cuando el sistema cuenta con almacenamiento.

Caudal máximo horario:

$$Q_{MH} = (Q_{MD}) * (k_2)$$

$$Q_{MH 2016} = (75 L/s) * (1,5) = 112 L/s$$

$$Q_{MH 2041} = (120 L/s) * (1,5) = 180 L/s$$

El caudal máximo horario se utiliza como caudal de diseño cuando el sistema no dispone de almacenamiento.

De acuerdo con lo anterior, la planta estará en capacidad de tratar el agua requerida por el municipio, de acuerdo con la proyección de la población hasta el año 2.041, pues requiere un almacenamiento para regulación de 1773,5 m³ y de 360 m³ de en caso de

incendio, para un total de 2133,5 m³ y en la actualidad la capacidad de almacenamiento instalada es de 2160 m³.

La tabla 8 y el gráfico 5 muestran los caudales proyectados cada 5 años para un periodo de diseño de 25 años.

Tabla 8. Proyecciones caudales de diseño

Caudales de diseño							
Año	Poblacion (Hab)	Dotación neta (L/hab.día)	Q promedio (L/s)	k1	QMD (L/s)	k2	QMH (L/s)
2016	32154	167	62,15	1,2	75	1,5	112
2021	35435	167	68,49	1,2	82	1,5	123
2026	38996	167	75,37	1,2	90	1,5	136
2031	42873	167	82,87	1,2	99	1,5	149
2036	47108	167	91,05	1,2	109	1,5	164
2041	51750	167	100,03	1,2	120	1,5	180

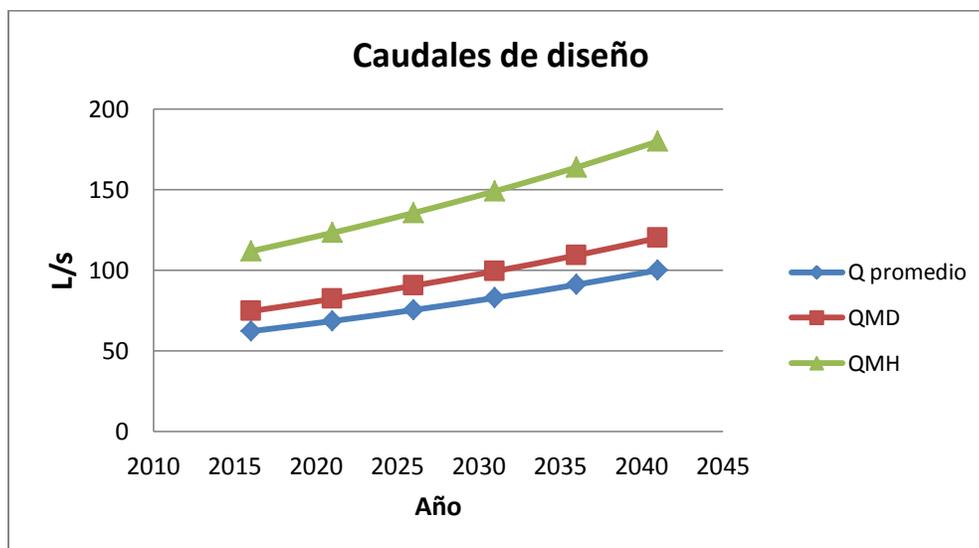


Figura 5. Proyección caudal de diseño

2.4 Normatividad Aplicable

Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000):

Incluye en el título C (Tabla II) las condiciones para el desarrollo de estudios y diseño de todos los componentes de un sistema de potabilización de agua, en sus etapas de conceptualización, diseño, puesta en marcha, operación y mantenimiento, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado.

Tabla 9. Contenido título C RAS 2000

Contenido	Capítulo
Aspectos generales de los sistemas de potabilización.	C.1
Aspectos de calidad del agua y su tratabilidad.	C.2
Pretratamiento	C.3
Coagulación – mezcla rápida	C.4
Floculación	C.5
Sedimentación	C.6
Filtración	C.7
Desinfección	C.8
Estabilización – ablandamiento	C.9
Control de sabor y olor	C.10
Desferrización y desmagnetización	C.11
Tecnologías alternativas	C.12
Manejo de lodos	C.13
Edificio de operación	C.14
Sistemas de instrumentación y control	C.15
Actividades de puesta en marcha y operación	C.16
Actividades de mantenimiento	C.17

Fuente: RAS 2000.

Resolución 2320 de 2009:

Modifica parcialmente el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS– 2000. Las modificaciones específicas hacen referencia a la dotación neta máxima, el porcentaje máximo de pérdidas técnicas y los periodos de diseño para cada nivel de complejidad. (Tablas 10 y 11).

Tabla 10. Dotación neta máxima

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta máxima para poblaciones con Clima Frio o Templado (L/hab.día)	Dotación neta máxima para poblaciones con Clima Cálido (L/hab.día)
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

Fuente: Resolución 2320.

El porcentaje de pérdidas técnicas máximas admisibles no deberá superar el 25%.

Tabla 11. Periodo de diseño máximo

Nivel de Complejidad del sistema	Período de diseño máximo
Bajo, Medio y Medio alto	25 años
Alto	30 años

Fuente: Resolución 2320.

Decreto 1575 de 2007 (Ministerio de la Protección Social, 2007a):

Establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Expedida el 9 de mayo de 2007 y en el cual se disponen lo siguiente:

Tabla 12. Contenido del decreto 1575 de 2007

Contenido	Capítulo
Disposiciones generales	I
Características y criterios de la calidad del agua para consumo humano	II
Responsables del control y vigilancia para garantizar la calidad del agua para consumo humano	III
Instrumentos básicos para garantizar la calidad del agua para consumo humano	IV
Procesos básicos del control y la vigilancia para garantizar la calidad del agua para consumo humano	V
Disposiciones comunes	VI
Disposiciones finales	VII

Fuente: Decreto 1575.

Resolución 2115 de 2007 (Ministerio de la Protección Social, 2007a):

Señala características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. También presenta de manera explícita y detallada los límites permisibles en cuanto al contenido de cada una de las propiedades tanto físicas como químicas y microbiológicas que ha de contener el agua al momento de ser distribuida para el consumo humano, de igual forma se hacen algunas estipulaciones en cuanto al mantenimiento y la operación de la planta de tratamiento de agua potable. (Tablas 13 a 17)

Tabla 13. Características físicas

Características	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

Fuente: Resolución 2115.

Conductividad: El máximo valor aceptable puede ser hasta de 1000 micro siemens/cm.

Potencial de hidrogeno (pH): El valor de pH del agua para consumo humano deberá estar comprendido entre 6,5 y 9.

Tabla 14. Características químicas que tienen efecto adverso en la salud humana

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Expresadas como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Antimonio	Sb	0,02
Arsénico	As	0,01
Bario	Ba	0,7
Cadmio	Cd	0,003
Cianuro libre y disociable	CN-	0,05
Cobre	Cu	1,0
Cromo total	Cr	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,02
Plomo	Pb	0,01
Selenio	Se	0,01
Trihalometanos Totales	THMs	0,2
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	0,01

Fuente: Resolución 2115.

Tabla 15. Características químicas con implicaciones sobre la salud humana

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana	Expresadas como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Carbono orgánico total	COT	5,0
Nitritos	NO ₂	0,1
Nitratos	NO ₃	10
Fluoruros	F	1,0

Fuente: Resolución 2115.

Tabla 16. Características químicas que tienen mayores 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 ₃	200
Cloruros	cl ⁻	250
Aluminio	Al ₃ ⁺	0,2
Dureza total	Ca CO ₃	300
Hierro total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0,1
Molibdeno	Mo	0,07
Sulfatos	SO ₂₋₄	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	Po ₃₋₄	0,5

Fuente: Resolución 2115.

Características microbiológicas:

Las características microbiológicas del agua para consumo humano deben enmarcarse dentro de los siguientes valores máximos aceptables.

Tabla 17. Características microbiológicas

Técnicas utilizadas	Coliformes totales	Escherichia coli
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm ³	0 UFC/100 cm ³
Enzima sustrato	<de 1 microorganismo en 100 cm ³	<de 1 microorganismo en 100 cm ³
Sustrato definido	0 microorganismo en 100 cm ³	0 microorganismo en 100 cm ³
Presencia - Ausencia	Ausencia en 100 cm ³	Ausencia en 100 cm ³

Fuente: Resolución 2115.

Capítulo III

Diagnóstico de la Planta de Tratamiento



Figura 6. Planta de tratamiento, vista general

La información que se presenta fue recopilada de los archivos de la Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios de Barbosa (ESBARBOSA E.S.P.) y por mediciones realizadas como parte de éste proyecto.

3.1 Descripción de la PTAP

La planta de tratamiento de agua potable del Municipio de Barbosa fue diseñada y construida en el año 1.970 por Instituto Nacional de Fomento Municipal (INSFOPAL) para un caudal de 50 L/s, posteriormente en el año 1.987, el Ingeniero Luis Eduardo Rodríguez Molina diseñó su ampliación, actualmente tiene una capacidad de 120 L/s. La planta es de tipo convencional con procesos de mezcla rápida (coagulante), floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

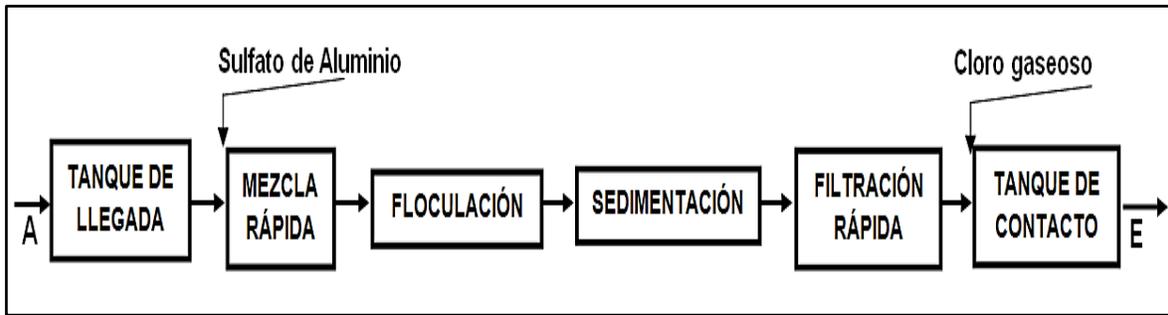


Figura 7. Diagrama de flujo planta de tratamiento de agua potable Barbosa

Dentro de las instalaciones de la planta se encuentra una torre de aireación, la cual es utilizada únicamente cuando se bombea agua de un pozo profundo que está ubicado a 150 m de la planta de tratamiento, que suministra caudales entre 8 y 12 L/s y es encendido esporádicamente, cuando el caudal captado de la fuente principal disminuye; también cuenta con un tanque de llegada cuya función es reunir las aguas de las tres aducciones. Sus dimensiones son: Ancho: 4,00 m, Largo: 4,55 m, Profundidad: 2,50 m.



Figura 8. Torre de aireación y tanque de llegada

3.2 Dosificador y canaleta Parshall

Descripción: El dosificador es de tipo volumétrico, consta de una tolva donde se agrega el sulfato de aluminio granular tipo B, pasa a un tornillo sin fin donde descarga el sulfato en seco a un tanque donde se realiza una mezcla uniforme y la dilución del coagulante al hacer contacto con el agua que llega a presión.



Figura 9. Dosificador y canaleta Parshall

Cuenta con un tablero electrónico con un rango entre 1 y 66 Unidades, del cual no se tiene manual ni referencias, por lo que se hizo necesario elaborar una tabla de calibración y homologación de unidades, para determinar la dosificación aplicada. La calibración presentó una tendencia lineal cuyo factor de conversión es 220,14 mg/s por unidad, que permite calcular la dosis en función del caudal que trata la planta en determinado instante.

Tabla 18. Calibración dosificador

Unidades medidor	mg/s	Factor de conversión
1	221	221
10,07	2222	220,66
20,21	4467	221,03
30,19	6663	220,70
45	9896	219,91
66	14357	217,53
	Promedio	220,14

La mezcla rápida y el aforo se realiza en una Canaleta Parshall de 9" (Ancho de garganta) construida en concreto, no tiene medidor incluido y cuenta con un caudímetro que está comunicado y a nivel con la canaleta, por medio de este sistema se mide el caudal en una reglilla numerada y calculada con la fórmula:

$$Q = K * ha^n$$

Diagnóstico: Para un ancho de garganta de 9" y caudal de diseño de 120 L/s:

ha=0,388 m Altura de la lámina de agua , K= 0,535, n=1,530

Tabla 19. Diagnóstico canaleta Parshall

Parámetro	Referencia	Calculados	Diagnóstico
• Rango como aforador 9"	2,58 a 252,0 L/s	120 L/s	Cumple
• Gradiente de velocidad	> 1000 s ⁻¹	1908 s ⁻¹	Cumple
• Altura del agua(Ha) / Ancho de canaleta (W)	0,4 a 0,8	1,66	No cumple
• Velocidad mínima en la garganta	2 m/s	1,88 m/s	No cumple
• Velocidad mínima del efluente	0,75 m/s	1,28 m/s	Cumple
• Número de Froude	1,7 a 2,5 o 4,5 a 9,0	1,25	No cumple

La canaleta Parshall satisface los requerimientos de aforo. Sin embargo no cumple con los criterios del RAS 2000 para velocidad mínima en la garganta y para número de Froude, pero satisface el criterio básico de gradiente para mezcla rápida ($G > 1000 \text{ s}^{-1}$).

3.3 Floculador hidráulico

Descripción: La planta tiene dos floculadores hidráulicos de flujo horizontal, construidos en concreto, cada uno con tres cámaras de floculación, con tabiques de 5 cm de espesor y pendiente de fondo 2,5%.

Floculador 1: Ancho: 3 m, Largo: 31 m, Profundidad: 0,7 m y un volumen de 65,1 m³. La primera cámara tiene 42 canales de 20 cm de ancho, velocidad del flujo: 0,36 m/s, la segunda tiene 34 canales de 25 cm de ancho, velocidad del flujo 0,29 m/s, la tercera tiene 25 canales de 30 cm de ancho, velocidad del flujo: 0,24 m/s; en las tres cámaras la distancia libre entre el extremo de cada tabique y la pared del floculador es de 0,4 m; el tiempo de retención es de 22 minutos.

Floculador 2: Ancho: 4 m, Largo: 31 m, Profundidad: 1,4 m y un volumen de 173,6 m³. La primera cámara tiene 39 canales de 25 cm de ancho, velocidad del flujo 0,20 m/s, la segunda tiene 30 canales de 30 cm de ancho, velocidad del flujo 0,17 m/s, la tercera tiene 19 canales de 40 cm de ancho, velocidad del flujo 0,13 m/s; en las tres cámaras la distancia libre entre el extremo de cada tabique y la pared del floculador es de 80 cm; el tiempo de retención es de 41 minutos.

Diagnóstico: Los dos floculadores presentan características de funcionamiento diferentes, debido a la variación en sus dimensiones; su diagnóstico se presenta de forma independiente en la tabla 20.

Tabla 20. Diagnóstico floculador hidráulico

Parámetro	Referencia	Calculados		Diagnóstico
		Floculador 1	Floculador 2	
• Velocidad del agua	0.2 a 0,6 m/s	0,24 a 0,36 m/s	0,13 a 0, 2 m/s	Cumple 1
• Tiempo de retención	20 a 30 min	22 min	41 min	Cumple 2
• Gradiente de velocidad	20 a 70 s ⁻¹	70,82 – 141,33 s ⁻¹	24,15 – 54,65 s ⁻¹	Cumple 2
• Gradiente de velocidad unidades de paso floculadores	≤ 20 s ⁻¹	Sección 1 96,32 s ⁻¹	Sección 2 3,18 s ⁻¹	Cumple 2

El floculador 1, construido por el INSFOPAL en 1970, tiene anchos de canal inferiores al recomendado por este instituto de 0,45 m y distancia entre tabiques y pared del floculador cercana a 1,5 el ancho del canal, valor recomendado por varios autores. La velocidad de flujo en las tres cámaras cumple los rangos de referencia, pero sólo el gradiente de velocidad de la cámara 3 está dentro del rango de referencia. Sin embargo, el funcionamiento del floculador y la formación de floc son aceptables.

El floculador 2 tiene ancho de canal inferior al 0,45 m recomendado por el INFOSPAL, los gradientes de velocidad en las tres cámaras están dentro de los rangos de referencia, presenta acumulación de lodo en las curvas debido a las velocidades de flujo y posee separación entre los tabiques y la pared del floculador mayor a 1,5 el ancho del canal. Al igual que en el floculador 1 la formación de floc es aceptable.

Las aguas floculadas de las dos estructuras confluyen en un canal de $0,21 \text{ m}^2$ de área transversal y 3 metros de longitud en el cual la velocidad de flujo aumenta a $0,571 \text{ m/s}$ duplicando la de la última cámara del floculador 1 y triplicando la de la última cámara del floculador 2; con un gradiente de velocidad superior al valor de referencia. El incremento abrupto en la velocidad provoca rompimiento del floc.

Figura 10. Floculadores hidráulicos



El agua pasa de inmediato a una sección que amplía su área transversal a $2,1 \text{ m}^2$ donde la velocidad de flujo disminuye a $0,057 \text{ m/s}$ con un gradiente de velocidad dentro del rango de referencia; la disminución tan marcada de velocidad y la ampliación tan abrupta de la sección, genera flujo rotacional y acumulación de lodos. El problema en ésta sección se origina por la demolición de los tabiques que formaban 11 canales de 80 cm de ancho dentro de ella, que mantenían la velocidad con que el agua salía de las cámaras de floculación y la conducía a la pantalla de paso al sedimentador.

3.4 Sedimentador

Descripción: La planta cuenta con dos sedimentadores de alta tasa, con placas inclinadas (60°) de asbesto cemento, cada unidad tiene capacidad de 60 L/s y sus dimensiones son: Longitud= $19,5 \text{ m}$ (8 m libres y $11,5 \text{ m}$ con placas inclinadas), Ancho= $3,65 \text{ m}$, Profundidad= 3 m , Espesor de plaqueta= 1 cm , Separación entre plaquetas= 8 cm .

Cuenta con una pantalla difusora de entrada con orificios de 12,5 cm ubicada a 0,6 m del muro de entrada.

Tiene un canal recolector central longitudinal de 30 cm de ancho por 60 cm de alto, con orificios de 1,5" ubicados cada 25 cm, que también recibe el agua sedimentada de 4 tubos colectores transversales de PVC de 6" con 12 orificios de 1,5" por tubo, la separación entre tubos es 1,2 m; la profundidad bajo placas es de 1,30 m y cuenta con una tolva de lodos de 0,4 m de profundidad con una pendiente longitudinal de 4% y pendientes laterales del 25%. La remoción de lodos es manual.

Diagnóstico: Para dos unidades de sedimentación con las mismas dimensiones y características (tabla 21).

Tabla 21. Diagnóstico sedimentador

Parámetro	Referencia	Calculados	Diagnóstico
• Placa angosta	1,2 X 2,4 m	1,2 X 1,7 m	Cumple
• Tiempo de retención	10 a 15 min	10,91 min	Cumple
• Profundidad	4 a 5,5 m	3 m	No cumple
• Inclinación de placas	55° a 60°	60°	Cumple
• Distancia entre placas	5 cm	8 cm	No cumple
• Espesor de placas de asbesto cemento	8 a 10 mm	10 mm	Cumple
• Número de unidades	>2	2	No cumple
• Carga superficial	120 a 185 m/d	132 m/d	Cumple
• Sistema de salida	Tirante de agua ≥ 8 cm	8cm	Cumple
• Numero de Reynolds	< 500 preferible < 250	141,19	Cumple
• Extracción de lodos	Continua	Continua	Cumple
• Distancia entre tolva de lodos y placas	≥ 2 m	1,3 m	No cumple
• Tasa de rebose	1,7 a 3,3 L/s•m	1,31 L/s•m	Cumple
• Borde libre canaletas de rebose	≥ 0,1 m	0,3 m	Cumple
• Tirante de agua canaletas de rebose	≥ 8 cm	12 cm	Cumple
• Pendiente hacia la tolva	≥ 5%	4%	No cumple
• Altura de lodos	Para 60 días almacena	10 días	No cumple
• Tiempo de vaciado	< 6 h	4 h	Cumple
• Periodo de evacuación	15 d a 2 meses	15 d	Cumple



Figura 11. Sedimentadores

Las unidades de sedimentación cumplen con los criterios básicos de diseño y el funcionamiento de las unidades es aceptable. Es recomendable la tercera unidad, pues cuando es necesario realizar el lavado de una de las unidades de sedimentación se debe regular el caudal de entrada a la mitad de la capacidad de la planta.

3.5 Filtros

Descripción: La planta cuenta con una batería de tres filtros rápidos de flujo descendente por gravedad con un medio dual de antracita (40 cm de espesor), arena (30 cm de espesor) y soportado sobre un lecho de grava de 35 cm. Sus dimensiones son: Longitud = 4,05 m, Ancho = 4 m, Profundo = 4,2 m.

El tanque de almacenamiento elevado que se utiliza para el retrolavado de filtros y actividades de aseo y mantenimiento de la planta es de 131 m³.



Figura 12. Filtros

Diagnóstico: El retro lavado de cada filtro, por lo general, se realiza para 36 horas de carrera y el lavado general se efectúa cada 15 días. El cálculo de la tasa filtrante se hace para dos unidades de filtración en funcionamiento (Tabla 22).

Tabla 22. Diagnóstico filtros

Parámetro	Referencia		Calculados		Diagnóstico
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	
• Turbiedad	< 8 UNT	< 2 UNT	3,47 UNT	0,03 UNT	Cumple
• Color	< 20 UC	< 15 UC	16,7 UC	0,61 UC	Cumple
• Tasa de filtración	300 m/d		320 m/d		Cumple
• Pérdida de carga disponible	> 2 m		2,35		Cumple
• Altura del agua sobre el lecho	> 0,5 m		0,7 m		Cumple
• Número de filtros	> 3		3		No cumple
• Espesor de lecho filtrante	> 0,6 m		0,7 m		Cumple

El funcionamiento de los filtros es bueno, operan con tasas de filtración adecuadas y remueven lo exigido en turbiedad y color.

3.5.1 Eficiencia en Remoción de Turbiedad.

Para el cálculo de eficiencias, se tomaron los promedios de los dos parámetros para el año de análisis de la planta. Se presenta la eficiencia en la remoción de Turbiedad y color en cada proceso y la eficiencia total (Tabla 23).

Tabla 23. Eficiencia en remoción de turbiedad y color

Eficiencias en remoción de turbiedad y color por procesos								
PARÁMETRO	Cruda	Floculada	Eficiencia	Sedimentada	Eficiencia	Filtrada	Eficiencia	Eficiencia Total
Turbiedad	75,35	50,15	33,45%	3,47	93,07%	0,03	99,10%	99,96%
Color	500,82	417,28	16,68%	19,71	95,28%	0,61	99,88%	99,88%

3.6 Tanque de contacto y cloración

Descripción: Se utiliza un clorador de tipo solución al vacío, un inyector independiente y un cilindro de 68 kg de cloro gaseoso Cl₂, la mezcla es aplicada a la salida del tanque de aguas filtradas, donde se asegura una mezcla óptima y un máximo tiempo de contacto.

Cuenta con un tanque de contacto con las siguientes dimensiones: Ancho: 3,2 m, Longitud: 10,8 m, Profundo: 2,2 m. Volumen: 76 m³.



Figura 13. Tanque de contacto y cilindro de cloro

Tabla 24. Diagnóstico cloración

Parámetro	Referencia	Calculados	Diagnóstico
• Dosis	Ct = 50 mg*min/L	50 mg*min/L	Cumple
• Número de cloradores	> 2	1	No cumple
• Residual de cloro libre	0,2 a 1,0 mg/l (extremo de la red)	1,7 (salida de planta)	Cumple
• Tasa máxima de extracción de cloro (cilindro de 68 kg)	16 kg/d	15,5 kg/d	Cumple

Diagnóstico: El sistema de cloración funciona, pero no se cuenta con un segundo clorador para los casos de emergencia o de mantenimiento, además, el sistema de cloración carece de báscula para determinar las tasas de extracción y la correcta dosificación del desinfectante.

Capítulo IV

Calidad del Agua

4.1 Caracterización de las Fuentes

La planta de tratamiento se abastece de tres fuentes: la Quebrada Semisa, el Río Suárez y un pozo profundo.

Quebrada Semisa: Es la principal fuente de abastecimiento de la planta; la captación se realiza por una bocatoma de fondo y tiene una aducción por gravedad de 4,5 kilómetros. En las dos temporadas de lluvia aporta un caudal aproximado de 90 L/s, pero en las dos temporadas secas del año llega a disminuir su aporte hasta los 10 L/s.

Tabla 25. Caracterización fisicoquímica y microbiológica Quebrada Semisa

Parámetro	Fechas					Promedio
	2014/10/16	2015/05/29	2015/07/02	2015/08/19	2015/10/15	
Color Verdadero (UPC)	2112	1939	39	168	18,21	855
Turbiedad (UNT)	329	249	8,06	14,89	182	156,6
pH	8,97	7,58	8,15	8,07	8,13	8,18
Temperatura (°C)	19,8	20,6	19,9	20,4	20,6	20,26
Calcio (mg/L)	64,16	36	52,13	56,14	44,11	50,51
Alcalinidad Total (mg/L)	55	106	49	42	78	66
Cloruros (mg/L)	90	75	40	45	50	60
Dureza Total (mg/L)	142	733	151	169	115	262
Hierro total (mg/L)	3,87	4,1	0,23	0,57	0,35	1,8
Sulfatos (mg/L)	99	35	73	71	29	61,4
Fosfatos (mg/L)	14,62	21,58	0,8	3,08	24,71	12,96
Nitratos (mg/L)	37,6	77,3	2,2	41	7,2	33,06
Aluminio (mg/L)	0	0,1	0	0	0	0,02
Coliformes Totales (UFC/100 cm ³)	>100	>100	>100	>100	>100	>100
Escherichia Coli (UFC/100 cm ³)	>100	>100	>100	29	>100	>100

Río Suárez: Esta fuente se utiliza en las dos épocas de estío de la Quebrada Semisa; la captación se realiza mediante una bocatoma lateral y una estación de bombeo con capacidad para un caudal de 50 L/s transportado por una aducción de 1 kilómetro de longitud.

Tabla 26. Caracterización fisicoquímica y microbiológica Río Suárez

Parámetro	Fechas			Promedio
	06/01/2015	05/03/2015	09/03/2015	
Color Verdadero (UPC)	2867	4069	3618	3518
Turbiedad (UNT)	541	613	316,7	490,2
pH	8,76	8,46	8,39	8,53
Temperatura (°C)	19,1	21,4	21,6	20,7
Calcio (mg/L)	64,16	44,11	48,12	52,13
Alcalinidad Total (mg/L)	78	115	124	105,7
Cloruros (mg/L)	95	65	70	76,67
Dureza Total (mg/L)	115	151	142	136
Hierro total (mg/L)	2,86	3,5	0,29	2,217
Sulfatos (mg/L)	88	89	28	68,33
Fosfatos (mg/L)	14,72	2,31	1,72	6,25
Nitratos (mg/L)	8,4	200	25,11	77,84
Aluminio (mg/L)	0	0	0	0
Coliformes Totales (UFC/100 cm³)	>100	>100	>100	>100
Escherichia Coli (UFC/100 cm³)	>100	>100	>100	>100

Pozo profundo: Fue perforado dentro del predio correspondiente a la planta de tratamiento, con una profundidad de 200 metros y a una distancia de 50 metros de la torre de aireación que está ubicada junto al tanque de llegada, donde confluyen las aguas de las tres fuentes de abastecimiento.

Tabla 27. Caracterización fisicoquímica y microbiológica del pozo profundo.

Parámetro	Fechas			Promedio
	04/03/2015	09/03/2015	09/03/2015	
Color Verdadero (UPC)	0	0	0	0
Turbiedad (UNT)	0	0	0	0
pH	8,21	8,3	8,15	8,22
Temperatura (°C)	20,1	21,1	19,8	20,33
Calcio (mg/L)	40,1	40,1	38,6	39,6
Alcalinidad Total (mg/L)	115	98	112	108,3
Cloruros (mg/L)	60	55	60	58,33
Dureza Total (mg/L)	142	124	142	136
Hierro total (mg/L)	0,17	0,12	0,17	0,153
Sulfatos (mg/L)	7	9	9	8,333
Fosfatos (mg/L)	1,22	1,62	1,48	1,44
Nitratos (mg/L)	8,1	6,4	7,7	7,4
Aluminio (mg/L)	0	0	0	0
Coliformes Totales (UFC/100 cm ³)	>100	>100	>100	>100
Escherichia Coli (UFC/100 cm ³)	>100	>100	>100	>100

De acuerdo con la tabla C.2.1 del RAS 2000 y con los parámetros presentados anteriormente se determina la calidad de las fuentes y el grado de tratamiento requerido (Tabla 28).

Tabla 28. Calidad de las fuentes y grado de tratamiento

Parámetro	Fuente		
	Quebrada Semisa	Río Suárez	Pozo profundo
pH	6,0 – 8,5 Buena	6,0 – 8,5 Buena	6,0 – 8,5 Buena
Turbiedad (UNT)	≥ 150 Muy deficiente	≥ 150 Muy deficiente	< 2 Buena
Color Verdadero (UPC)	≥ 40 Muy deficiente	≥ 40 Muy deficiente	< 10 Buena
Cloruros (mg/L)	50 – 150 Regular	50 – 150 Regular	50 – 150 Regular
Coliformes Totales (UFC/100 cm ³)	> 100 Muy deficiente	> 100 Muy deficiente	> 100 Muy deficiente
Grado de tratamiento	Pre tratamiento + [Coagulación + Sedimentación+ Filtración Rápida] o [Filtración Lenta Diversas Etapas] + Desinfección + Estabilización	Pre tratamiento + [Coagulación + Sedimentación+ Filtración Rápida] o [Filtración Lenta Diversas Etapas] + Desinfección + Estabilización	Filtración Lenta o Filtración Directa + Desinfección + Estabilización

Debido a que la fuente principal es la Quebrada Semisa, la PTAP incluye un tratamiento convencional de coagulación, floculación, sedimentación, filtración rápida y desinfección.

4.2 Variabilidad de la Calidad del Agua Cruda

Se recopilaron los resultados de laboratorio de un año de funcionamiento de la planta (257 muestras), que incluyen las dos temporadas de lluvia (Marzo a Mayo y Septiembre a Noviembre) y las dos temporadas secas (Junio a Agosto y Diciembre a Febrero) predominantes en la climatología del municipio.

El agua presenta turbiedades que oscilan entre 0 UNT y 1000 UNT; las turbiedades más altas se presentan en la temporada de lluvias de septiembre a noviembre generadas por el material de arrastre de la Quebrada Semisa y en la temporada seca de junio a agosto, cuando se bombea agua del Río Suárez.

Tabla 29. Variabilidad de la calidad del agua cruda

Parámetro	Máximos		Mínimos	
	Fecha	Medición	Fecha	Medición
Turbiedad (UNT)	2015/07/15	930	2015/01/29	0,89
	2014/10/21	749	2015/10/19	2,05
	2014/10/22	728	2015/09/23	2,21
	2015/03/05	613	2015/01/29	2,48
	2015/07/16	597	2015/01/29	2,53
	2015/07/30	498	2015/01/30	2,58
	2014/11/07	467	2015/01/08	3,14
	2015/03/05	466	2015/01/15	3,6
	2015/10/02	465	2015/04/17	3,96
	2015/07/24	461	2015/01/14	4,14
Color Verdadero (UPC)	2015/07/15	5761	2015/02/09	1,7
	2015/07/16	4912	2015/02/16	6,23
	2015/07/30	4389	2015/07/23	9,26
	2015/10/02	4123	2015/01/13	10
	2015/03/05	4069	2014/11/26	11
	2015/07/24	3627	2014/12/05	11
	2015/10/29	3615	2015/01/29	12
	2014/10/22	3569	2015/01/29	13
	2015/03/17	3347	2015/05/11	14
	2015/04/17	3285	2015/02/06	14
pH	2014/10/22	8,96	2015/01/08	6,94
	2015/01/07	8,94	2015/05/27	7,28
	2014/10/20	8,94	2015/08/07	7,39
	2015/05/05	8,93	2015/05/21	7,4
	2015/05/14	8,84	2015/05/29	7,58
	2015/04/07	8,84	2015/08/08	7,61
	2015/05/13	8,83	2014/11/21	7,67
	2015/04/13	8,81	2014/10/14	7,67
	2015/04/23	8,81	2015/05/28	7,69
	2015/05/19	8,8	2015/07/08	7,71
Temperatura (°C)	2015/02/24	29,7	2014/11/12	14,4
	2015/04/24	26,5	2015/01/07	17,2
	2014/12/09	26,3	2015/01/05	17,5
	2014/12/12	25	2015/09/28	17,5
	2015/01/27	25	2015/01/08	17,9
	2015/05/14	24,8	2015/09/03	18,3
	2015/03/26	24,1	2015/01/09	18,4
	2015/09/23	24	2015/01/28	18,7
	2015/02/23	23,8	2015/09/04	18,8
	2015/03/26	23,6	2015/01/06	18,8

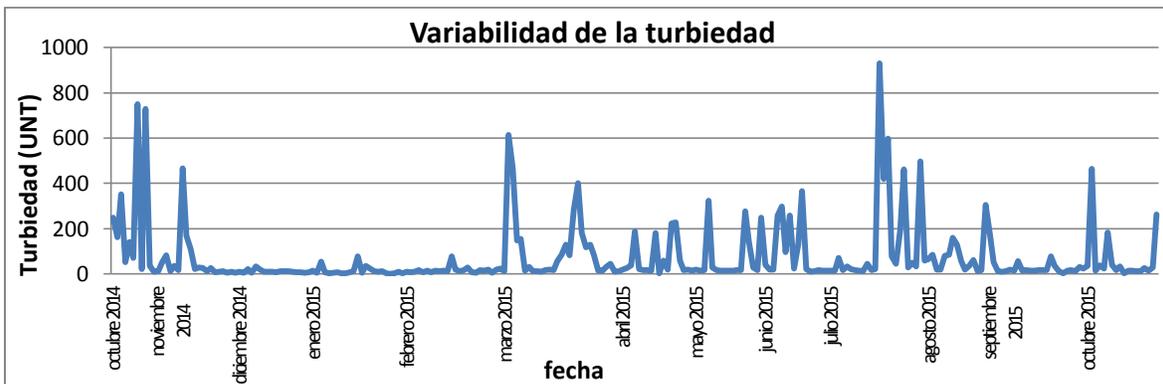


Figura 14. Variabilidad en la turbiedad en un año

El color varía entre 1 y 5800 UPC, presentándose los valores máximos en ocasiones que la planta se abastece del Río Suárez y en la época de lluvias por la Quebrada Semisa.

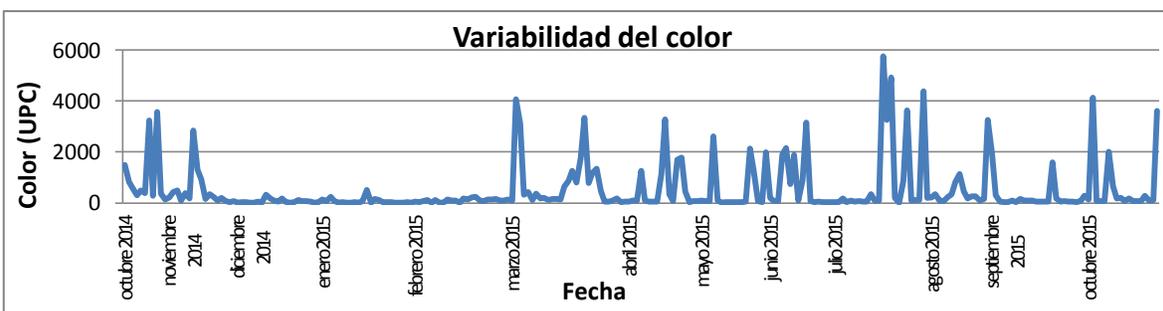


Figura 15. Variabilidad del color en un año

El pH fluctúa entre 7 y 9 a temperaturas que van de 14°C a 30°C; estos valores de pH son muy favorables para el proceso de tratamiento, además, se encuentran dentro del rango de 6,5 a 9 que establece la Resolución 2115 de 2007 para agua potable.

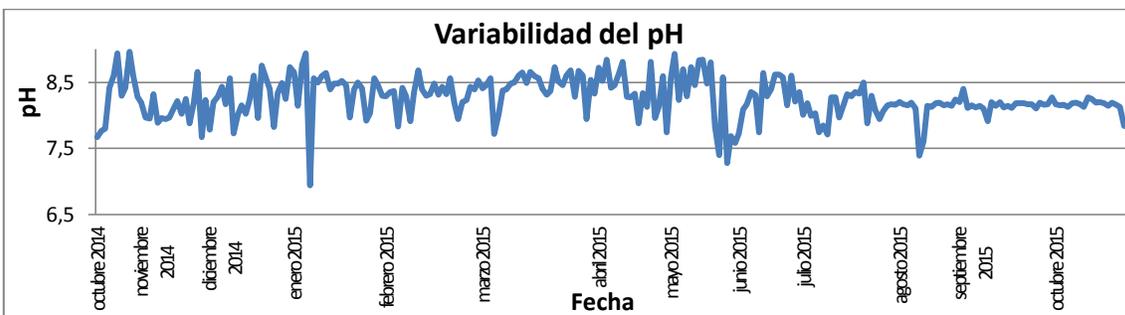


Figura 16. Variabilidad del pH en un año

4.3 Caracterización del Agua Tratada

Los valores máximos, mínimos y promedio de los parámetros (46 muestras) que registro la empresa durante un año, se presentan en la tabla 30.

Tabla 30. Caracterización del agua tratada

Parámetro	Mínimo	Máximo	Promedio	Norma
Color Verdadero (UPC)	0	12	0,89	15
Turbiedad (UNT)	0	0,66	0,04	2
pH	7,08	8,5	7,58	6,5 – 9
Temperatura (°C)	18,6	28,8	20,65	-
Cloro Residual (mg/L)	1,02	2	1,69	0,3 – 2,0
Calcio (mg/L)	36	58,14	48,05	60
Alcalinidad Total (mg/L)	35	142	85,76	200
Cloruros (mg/L)	40	155	65,87	250
Dureza Total (mg/L)	98	196	144,83	300
Hierro total (mg/L)	0,03	0,12	0,08	0,3
Sulfatos (mg/L)	16	82	45,89	250
Fosfatos (mg/L)	0,33	53,97	7,17	0,5
Nitratos (mg/L)	0,6	9,01	4,91	10
Aluminio (mg/L)	0	0,05	0,03	0,2
Coliformes Totales (UFC/100 cm ³)	0	0	0,00	0
Escherichia Coli (UFC/100 cm ³)	0	0	0,00	0

El agua producida cumple con la norma colombiana (Resolución 2115 de 2007) para características de agua potable.

Capítulo V

Evaluación Operacional

5.1 Costos De Potabilización

Los costos de potabilización se presentan en la tabla 31 y corresponden a los valores tomados del balance de comprobación correspondiente al año 2015.

Tabla 31. Costos de potabilización año 2015

Código	Detalle	Valor para un año (pesos)
750201	MATERIALES	\$ 227.409.372,00
75020101	Insumos químicos (Sulfato de Aluminio Tipo B)	\$ 223.747.000,00
75020102	Insumos químicos (Laboratorio)	\$ 3.662.372,00
750202	GENERALES	\$ 95.239.468,00
75020201	Reparaciones Locativas	\$ 14.575.000,00
75020202	Mejoramiento y mantenimiento PTAP	\$ 11.249.063,00
75020204	Servicios Públicos	\$ 57.471.724,00
75020206	Otros gastos generales PTAP	\$ 11.943.681,00
750203	SUELDOS Y SALARIOS	\$ 102.595.926,00
75020301	Sueldo de Personal	\$ 42.163.464,00
75020302	Primas	\$ 9.557.080,00
75020305	Cesantías	\$ 5.438.008,00
75020306	Vacaciones	\$ 6.253.790,00
75020311	Dotación personal	\$ 1.676.384,00
75020315	Auxilio de transporte	\$ 3.907.200,00
75020317	Asesor Financiero, Jurídico (Laboratorio)	\$ 33.600.000,00
750205	CONTRIBUCIONES EFECTIVAS	\$ 10.132.620,00
75020501	Aportes a salud	\$ 3.533.461,00
75020502	Aportes a Riesgos Profesionales	\$ 1.012.649,00
75020503	Aportes a Pensiones	\$ 3.988.416,00
75020504	Aportes caja de compensación	\$ 1.598.094,00
750206	APORTES SOBRE LA NÓMINA	\$ 2.146.112,00
75020601	Aportes ICBF	\$ 1.184.161,00
75020602	Aportes SENA	\$ 961.951,00
750208	IMPUESTOS	\$ 6.046.200,00
TOTAL COSTOS (1 año de Producción)		\$ 443.569.698,00

Fuente: Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios de Barbosa ESBARBOSA E.S.P.

Con base en el total de costos calculado, se puede determinar el costo de potabilización por habitante, por metro cúbico tratado y por metro cúbico facturado, que se muestran en la tabla 32.

Tabla 32. Costo de tratamiento por habitante, metro cúbico tratado y facturado.

Unidad de Análisis	Cantidad en un año (2015)	Costos para 1 año de tratamiento	Valor por unidad
Habitante * año	32.154	\$ 443.569.698	\$ 13.795,16
Metro cúbico tratado	1.959.962	\$ 443.569.698	\$ 226,32
Metro cúbico facturado	1.228.800	\$ 443.569.698	\$ 360,98

El costo de \$ 226 por metro cúbico tratado en la PTAP de Barbosa es bajo, si se compara con los \$ 456 de la PTAP de Moniquirá (Municipio aledaño con características similares de dinámica poblacional y proceso de tratamiento).

El costo por metro cúbico facturado aumenta a \$ 360 debido a que el sistema tiene un 38 % de pérdidas; al comparar este costo con la tarifa por metro cúbico consumido (\$ 310) se presenta un déficit aproximado de \$ 50 por metro cúbico, el cual debe ser suplido con el valor del cargo fijo, al igual que los gastos administrativos, de aducción y distribución con sus respectivos mantenimientos y para inversión en infraestructura.

La tarifa establecida por metro cúbico consumido, establecida en el municipio de Barbosa es baja si se compara con municipios cercanos de características similares que es más del doble, pero observa una diferencia mayor al comparar con ciudades capitales cercanas que llega hasta nueve veces el valor de la tarifa, registradas en la tabla 33.

Tabla 33. Comparación tarifas por metro cúbico de agua

No.	Ciudad o municipio	Valor metro cúbico (pesos)	Razón con respecto a Barbosa
1	Barbosa	\$ 310	1
2	San Gil	\$ 698	2,25
3	Socorro	\$ 716	2,31
4	Puente Nacional	\$ 741	2,39
5	Moniquirá	\$ 831	2,68
5	Chiquinquirá	\$ 1.472	4,75
6	Bucaramanga (Capital)	\$ 1.553	5
7	Tunja (Capital)	\$ 1.658	5,35
8	Bogotá (Capital)	\$ 2.784	8,98

Fuente: Sitios web de las empresas prestadoras del servicio de acueducto.

Capítulo VI

Alternativas Para Control Operacional

Se plantean alternativas para control de operación en la dosificación del coagulante, en los registros de parámetros del agua y de funcionamiento de la planta, además, se mencionan los requerimientos para mantenimiento y mejoramiento de la planta junto con la propuesta de gestión para los operadores de la PTAP.

6.1 Dosis Óptima de Coagulante

Para determinar la dosis óptima del coagulante utilizado en la planta, Sulfato de Aluminio tipo B, se consideraron las tres fuentes que abastecen la planta y las dos combinaciones que se realizan.

Se realizaron 9 ensayos de jarras hasta el proceso de sedimentación, con el procedimiento y condiciones que se muestran en la figura 17.

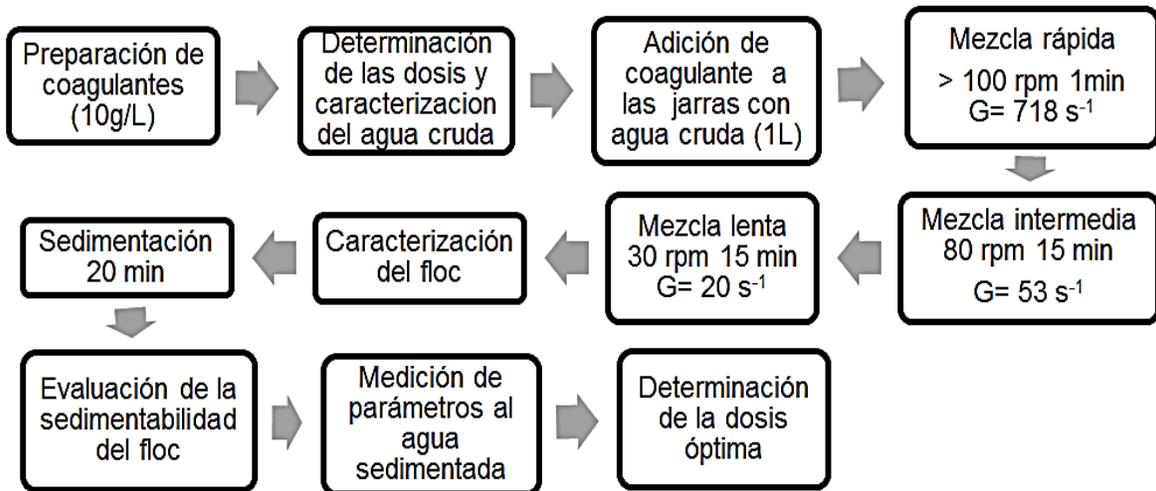


Figura 17. Procedimiento ensayo de jarras



Figura 18. Ensayo de jarras

La combinación tratada durante casi todo el año es Quebrada Semisa – Pozo profundo, la primera fuente con un caudal promedio de 80 L/s y la segunda de 10 L/s. Para esta combinación se realizaron 7 ensayos de jarras con resultados que se muestran de manera consolidada en la tabla 34.

Tabla 34. Ensayos de jarras Quebrada Semisa – Pozo profundo

No de Ensayo	Fecha	Turbiedad (UNT)		Color (UPC)		pH		Dosis óptima (mg/L)
		Inicial (Cruda)	Final (Sedimentada)	Inicial (Cruda)	Final (Sedimentada)	Inicial (Cruda)	Final (Sedimentada)	
1	2015/09/18	749	0	3232	18	8,30	7,52	150
2	2015/09/23	2,21	0	70	15	8,17	7,12	10
3	2015/10/23	292	0	2682	13	8,32	7,77	90
4	2015/10/30	437	0	4173	7	8,48	8,07	100
5	2015/11/05	171	0	1939	0	8,32	8,01	60
6	2015/11/06	103	0,47	1401	0	8,54	8,06	50
7	2015/11/09	193	0	2182	16	8,28	8,01	70

Como se observa en la tabla 34 la dosis óptima de coagulante varía entre 10 y 150 mg/L de alumbre, dependiendo básicamente de la turbiedad y del color del afluente (figuras 19 y 20).

Las tablas 35 y 36 y las figuras 19 y 20 muestran los valores de las dosis óptimas determinadas en los ensayos de jarras y las dosis aplicadas en la planta, con respecto a la turbiedad y el color, respectivamente, para la combinación, Quebrada Semisa – Pozo profundo.

Tabla 35. Dosis óptima y aplicada Vs turbiedad, Quebrada Semisa – Pozo profundo.

Turbiedad (UNT)	Dosis óptima (mg/L)	Dosis aplicada (mg/L)
2,21	10	31
103	50	62
171	60	79
193	70	89
292	90	122
437	100	147
749	150	170

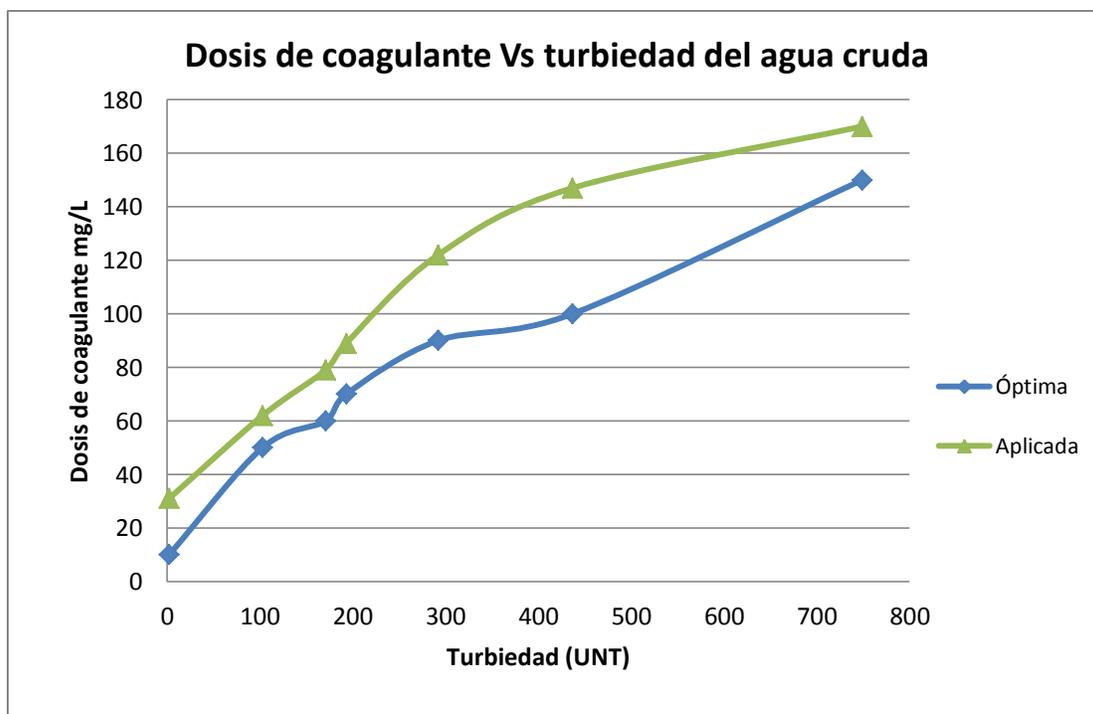


Figura 19. Dosis óptima y aplicada Vs turbiedad, Quebrada Semisa – Pozo profundo.

Tabla 36. Dosis óptima y aplicada Vs color, Quebrada Semisa– Pozo profundo.

Color (UPC)	Dosis óptima (mg/L)	Dosis aplicada (mg/L)
70	10	31
1401	50	62
1939	60	79
2182	70	89
2682	90	122
3232	150	170
4137	100	147

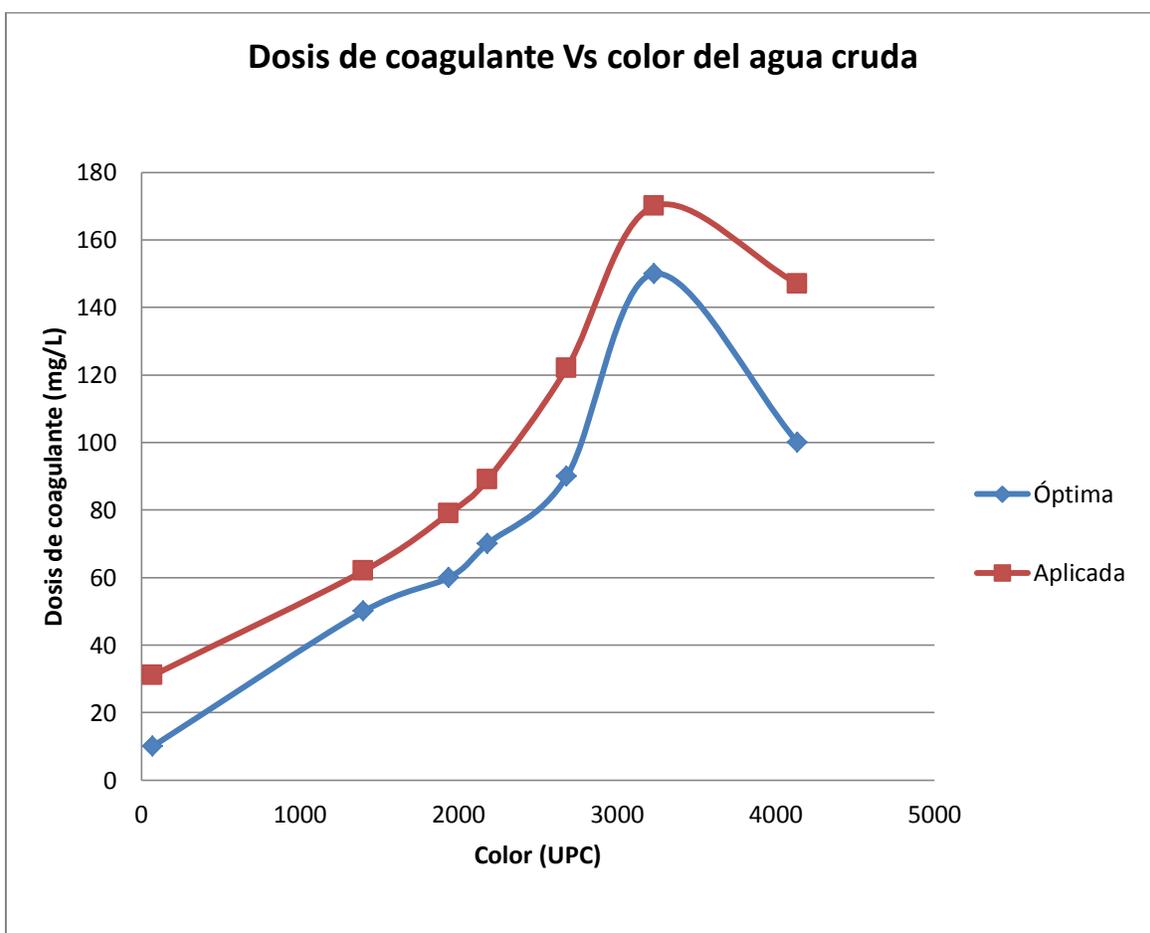


Figura 20. Dosis óptima y aplicada Vs color, Quebrada Semisa – Pozo profundo.

Se puede apreciar que en todos los casos la dosis aplicada es mayor que la dosis óptima calculada, lo que genera sobrecostos en el proceso de tratamiento. Sin embargo, la PPA con las dosis aplicadas cumple la norma para agua potable.

La segunda combinación de fuentes solo se trata cuando el caudal de la Quebrada Semisa disminuye, por lo cual se bombea agua del Río Suárez con un caudal promedio de 50L/s generando la combinación Río Suárez – Quebrada Semisa – Pozo profundo.

La combinación mencionada en el párrafo anterior se efectúa esporádicamente en algunos días de las temporadas de verano, se realizaron solo ensayos de jarras, los cuales se muestran de manera consolidada en la tabla 37.

Tabla 37. Ensayos de Jarras Río Suárez – Quebrada Semisa – Pozo profundo

No. de Ensayo	Fecha	Turbiedad (UNT)		Color (UPC)		pH		Dosis óptima (mg/L)
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	
1	2015/02/27	249	0,86	1952	10	8,71	7,96	80
3	2015/09/30	272	0	2520	14	8,30	7,17	90

Las tablas 38 y 39 y las figuras 21 y 22 muestran los valores de las dosis óptimas determinadas en los ensayos de jarras y las dosis aplicadas en la planta, con respecto a la turbiedad y el color, respectivamente, para la combinación, Río Suárez – Quebrada Semisa – Pozo profundo.

Tabla 38. Dosis óptima y aplicada Vs turbiedad, Río Suárez – Quebrada Semisa – Pozo profundo.

Turbiedad (UNT)	Dosis óptima (mg/L)	Dosis aplicada (mg/L)
249	80	117
272	90	121

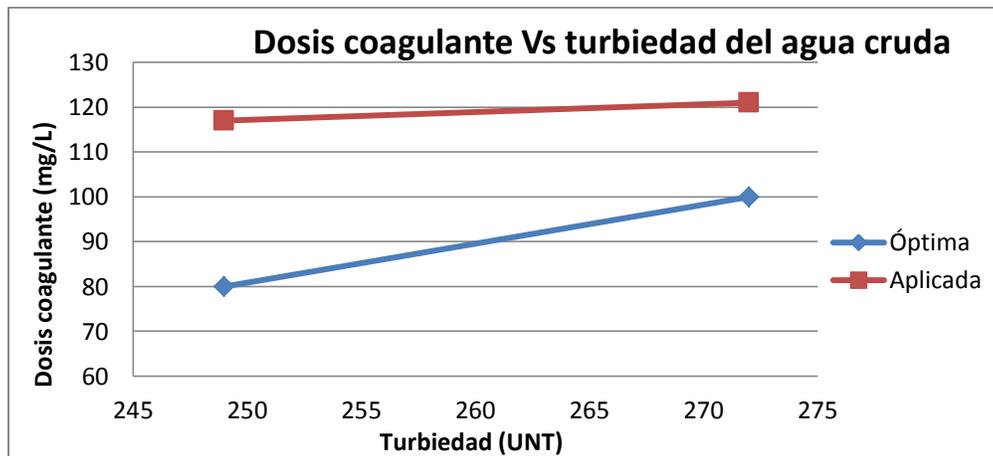


Figura 21. Dosis óptima y aplicada Vs turbiedad, Río Suárez – Quebrada Semisa – Pozo profundo.

Tabla 39. Dosis óptima y aplicada Vs color, Río Suárez – Quebrada Semisa – Pozo profundo.

Color (UPC)	Dosis óptima (mg/L)	Dosis aplicada (mg/L)
1952	80	117
2520	90	121

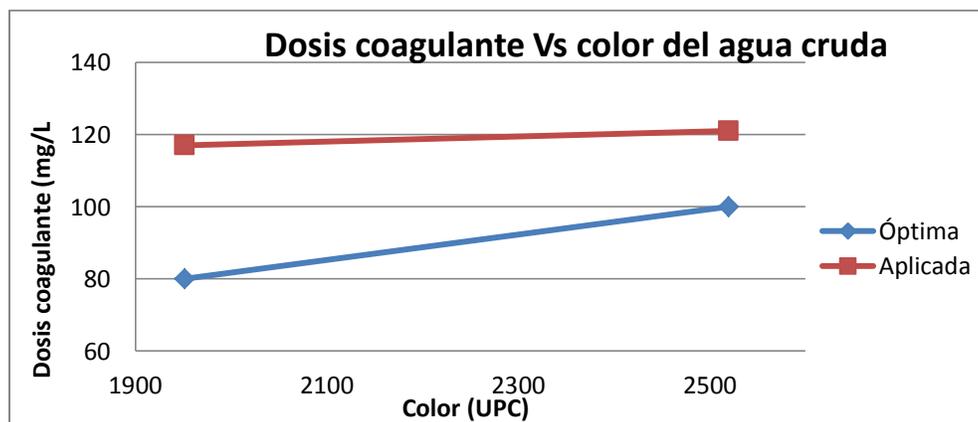


Figura 22. Dosis óptima y aplicada Vs turbiedad, combinación, Río Suárez – Quebrada Semisa – Pozo profundo.

Se puede apreciar que el comportamiento de la dosificación para el caso de la combinación, Río Suárez – Quebrada Semisa – Pozo profundo es similar a la de la combinación Quebrada Semisa – Pozo profundo, considerando que cuando se bombea el agua del Río Suárez, las turbiedades son más altas.

En el caso de la combinación que incluye el Río Suárez, también se observa en las gráficas, que se está haciendo una sobredosificación del coagulante, en especial para valores de turbiedades cercanos a las 200 UNT.

Tomando como referencia el valor promedio de turbiedad para el año 2015 (72,63 UNT) y la dosis aplicada (53 mg/L o g/m³) y óptima (37 mg/L o g/m³), registradas en la figura 19, se determinó la cantidad de coagulante consumido durante el año y el posible ahorro que se podría realizar:

Consumo con dosis aplicada: $1.959.962,40 \text{ m}^3 * 0,053 \text{ Kg/m}^3 = 103.878 \text{ kg/año}$

Consumo con dosis óptima: $1.959.962,40 \text{ m}^3 * 0,037 \text{ Kg/m}^3 = 72.518 \text{ kg/año}$

Ahorro en un año: $103.878 \text{ kg} - 72.518 \text{ kg} = 31.359,39 \text{ kg}$ (30,2 %)

6.2 Lodos y Aguas de Lavado de Filtros

La cantidad diaria de lodo producido (asumiendo un porcentaje de sólidos de 2 % con densidad relativa de 2) también podría disminuir como se presenta en la tabla 39 y se calculó utilizando la expresión:

$$W = (S + 0,3D)Q * 10^{-3}$$

Dónde: W= kg de lodo seco de alumbre, S= turbiedad del agua en UNT, D= dosis de alumbre en mg/L, Q=metros cúbicos de agua tratada

Tabla 40. Lodo producido en un día de tratamiento

Dosis	Lodo seco de alumbre (kg/d)	Masa de lodo extraída para 2% de sólidos (kg/d)	Volumen de lodo (m ³ /d)	Porcentaje diario de lodo
Aplicada	551,8	27590	27,31	0,44%
Optima	521,9	26094,5	25,83	0,41%
Diferencia	29,9	1495,5	1,48	0,03%

Pese a que la diferencia en la producción de lodo no es tan marcada como en el consumo de coagulante, esta disminución genera un beneficio ambiental, pues los lodos producidos por la PTAP son vertidos sin ningún tipo de tratamiento a la Quebrada el Tablón.

Aunque la acumulación de lodo es pequeña se debe diseñar y proveer un sistema de tratamiento y disposición de lodos para la PTAP. De la misma manera se requiere evaluar el método de tratamiento o disposición de las aguas de lavado de filtros.

6.3 Mejoramiento de Infraestructura

En la tabla 41 se incluyen las operaciones requeridas para mejoramiento y mantenimiento de la planta de potabilización.

Tabla 41. Mejoramiento de Infraestructura

Instalación o elemento	Intervención Necesaria
Instalaciones locativas	Realizar un mantenimiento general a las instalaciones locativas de la planta, estabilizar y confinar los muros divisorios que presentan dilataciones, enchapar los pisos y paredes. Adquirir la planta eléctrica para el funcionamiento de los equipos. Equipar el laboratorio de los operarios, con los equipos necesarios para realizar mediciones de turbiedad, color, pH y cloro.
Caudímetro y Canaleta Parshall	Calibrar el caudímetro y reemplazar su reglilla de medición, instalar la reglilla de medición en la Canaleta Parshall como medio de verificación del funcionamiento del caudímetro.
Dosificador	Ubicar la tabla de homologación de unidades junto al tablero de dosificación. Instalar un sistema de dosificación diluida y por gravedad, para los casos de fallas en el fluido eléctrico o la planta eléctrica.
Floculadores	Prolongar los tabiques del floculador 2 0,2 m, de tal forma que queden a 0,6 m de las paredes del tanque, para evitar la acumulación de lodo. Ampliar a 0,6 m ² , la sección donde se encuentran las aguas de los dos floculadores para evitar el rompimiento del floc. Reconstruir los tabiques en la unidad de paso entre el floculador y el sedimentador con una separación de 0,8 m.
Sedimentadores	Reponer las placas de asbestocemento dañadas y reacomodar todo el sistema de placas de forma que queden paralelas, pues en la actualidad, en algunos sectores se encuentran amontonadas. Construir el floculador 3.
Filtros	Realizar la reposición del medio filtrante para el filtro 3. Construir el filtro 4.
Área de cloración	Cambiar el sistema de cloración a uno que cuente con más de 2 cloradores y que utilice cilindro de una tonelada, para que cumpla con la tasa máxima de extracción diaria, cuando la planta trabaje con el caudal de diseño (120 L/s). Instalar la báscula para en el sistema de cloración. Adquirir el equipo de seguridad industrial para el cambio de cilindro.
Válvulas, bombas y macromedidores	Realizar mantenimiento a las válvulas de la planta y pintarlas nuevamente de acuerdo con el Manual de Procesos y Procedimientos de la Empresa. Reponer el sistema de macromedición en las conducciones que salen del tanque de contacto, para poder registrar la cantidad de agua tratada en la Planta.
Laboratorio	Dotar el laboratorio con equipos e insumos necesarios para realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos completos, de acuerdo con la resolución 2115, al igual que para el Ensayo de Jarras y recalibrar los equipos existentes.
Lodos	Dotar a la PTAP de un sistema apropiado de tratamiento y disposición de lodos y aguas de lavado de filtros.

6.4 Pautas de Control de Operación

El profesional encargado del laboratorio y los operarios de la planta, además de cumplir con lo establecido en los manuales de, funciones y de procesos y procedimientos, deben considerar las pautas de control de operación presentadas en la tabla 42.

Tabla 42. Pautas de control de operación

Etapa	Actividad	Responsable	Frecuencia
Aforo y mezcla rápida	Registro del caudal de entrada y las fuentes que abastecen la planta.	Operario	1 hora
	Registro de la dosis de coagulante aplicada en mg/L	Operario	3 horas
	Registro existencias de sulfato y sulfato consumido en kg	Operario	3 horas
Floculación	Ensayo de Jarras	Profesional Laboratorio	Diaria
Sedimentación	Lavado de sedimentadores y registro	Operario	Ocasional
Filtración	Lavado de filtros y registro	Operario	Diaria
Cloración	Registro de Dosis aplicada y de cloro consumido	Operario	1 hora
Suministro	Registrar las lecturas de macromedición para el agua suministrada a la red.	Operario	1 hora
	Determinar y registrar el volumen de agua suministrada a la red.	Operario	6 horas
Laboratorio	Realizar y registrar mediciones de Turbiedad, Color y pH para agua cruda, floculada, sedimentada y tratada.	Operario	3 horas
	Realizar y registrar la medición de cloro residual del agua tratada	Operario	1 hora
	Realizar y registrar análisis fisicoquímico completo del agua cruda y agua tratada.	Profesional Laboratorio	1 día
	Realizar análisis microbiológico para el agua tratada.	Profesional Laboratorio	1 semana (8 muestras)
Aseo de Planta	Lavado y mantenimiento general de la planta.	Profesional Laboratorio y operarios	Ocasional
Lodos	Registro de caudal	Operario	Diaria

6.5 Propuesta de gestión

6.5.1 Indicadores de seguimiento en cada proceso y escala para valoración.

Para control de operación, se recomienda satisfacer los indicadores de seguimiento de cada proceso indicados en la tabla 43.

Tabla 43. Indicadores de seguimiento en cada proceso y escala para valoración

Proceso	Indicador de seguimiento	Escala de valoración
Aforo y mezcla rápida	% de registros reales en un mes	Óptimo : > 90%
		Aceptable: entre 70% y 90%
		Deficiente: < 70%
Floculación	# de ensayos de jarras en un mes	Óptimo : > 13
		Aceptable: entre 10 y 13
		Deficiente: < 10
Sedimentación	# de lavadas de sedimentadores en un mes	Óptimo : > 3
		Aceptable: entre 2 y 3
		Deficiente: < 2
Filtración	# de lavadas de filtros en un mes	Óptimo : > 50
		Aceptable: entre 40 y 50
		Deficiente: < 40
Cloración	% de registros reales en un mes	Óptimo : > 90%
		Aceptable: entre 70% y 90%
		Deficiente: < 70%
Suministro	% de registros reales en un mes	Óptimo : > 90%
		Aceptable: entre 70% y 90%
		Deficiente: < 70%
Laboratorio	# de mediciones de Turbiedad, Color y pH para agua cruda, floculada, sedimentada y tratada en un mes	Óptimo : > 200
		Aceptable: entre 160 y 200
		Deficiente: < 160
	# de mediciones de cloro residual en el agua tratada en un mes	Óptimo : > 600
		Aceptable: entre 400 y 600
		Deficiente: < 400
	# de análisis fisicoquímico del agua cruda y tratada en un mes	Óptimo : > 25
		Aceptable: entre 20 y 25
		Deficiente: < 20
	# de análisis microbiológicos para agua tratada en un mes.	Óptimo : > 4 (8 muestras)
		Aceptable: entre 3 y 4 (8 muestras)
		Deficiente: < 3 (8 muestras)
Aseo de Planta	# de lavadas de planta en un año	Óptimo : > 5
		Aceptable: entre 4 y 5
		Deficiente: < 4

6.5.2 Mecanismos de acción y mejoramiento

La Administración Municipal de Barbosa y la Gerencia de La empresa de Servicios Públicos domiciliarios de Barbosa, ESBARBOSA E.S.P. deben trabajar mancomunadamente para gestionar ante los entes departamentales y nacionales los recursos necesarios para realizar las intervenciones propuestas para el mejoramiento y mantenimiento de la planta.

Se requiere que ESBARBOSA E.S.P. realice un detallado análisis de costos en el proceso de tratamiento del agua y de todo el sistema de acueducto, así como una proyección de inversión, para que pueda presentar una propuesta de reajuste de la tarifa ante la CRA (Comisión de regulación de agua potable) para el año 2017.

Se debe, también, garantizar la disponibilidad presupuestal para realizar periódicamente los mantenimientos preventivos en las instalaciones y equipos de la planta de tratamiento al igual que los mantenimientos correctivos que se requieran y que estén enmarcados dentro de las políticas de calidad de la empresa.

Es necesario que ESBARBOSA E.S.P. realice la actualización de la estratificación de los usuarios, ya que este proceso no se ha realizado desde el año 1.998 lo que genera que varios usuarios, de acuerdo con el E.O.T. vigente, se están beneficiando con subsidios en su tarifa a los cuales ya no tienen derecho.

Capítulo VII

Conclusiones

- La población de Barbosa, presenta un crecimiento continuo, que proyecta un aumento poblacional aproximado del 61% para el periodo de análisis de 25 años.
- La PTAP es de tipo convencional. Está conformada, por un tanque de llegada, una canaleta Pashall, dos floculadores hidráulicos de flujo horizontal, dos sedimentadores de alta tasa con placas inclinadas, tres filtros rápidos y un tanque de contacto para cloración.
- La PTAP fue diseñada para un caudal de 120 L/s, suficiente para abastecer la población proyectada para el año 2041.
- El sistema de acueducto cuenta con una capacidad de almacenamiento de 2.160 m³, suficiente para operar con el $Q_{MD\ 2041}$, de 120 L/s.
- Los elementos del sistema de potabilización, funcionan apropiadamente.
- El agua cruda se caracteriza así: turbiedad entre 0 UNT y 1000 UNT, color entre 1 UPC y 5800 UPC, pH entre 7 y 9; temperatura de 14°C a 30°C.
- Para el año de análisis, la planta presenta eficiencias totales de 99,96 % en remoción de turbiedad y de 99,88 % en remoción de color.
- Para la dosificación de coagulante es necesario que los operadores del sistema realicen con la frecuencia requerida los ensayos de jarras.

Referencias

- Alcaldía Municipal de Barbosa (2005), Esquema de ordenamiento territorial Barbosa 2005-2015
- Centro Agroempresarial del Oriente SENA Vélez (2010). Inventario Turístico del Municipio de Barbosa 2010
- Ministerio de Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial (2009). Resolución 2320. Por la cual se modifica parcialmente la Resolución número 1096 de 2000
- Ministerio de Desarrollo Económico (2000). Resolución 1096. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000
- Ministerio de la Protección Social (2007a). Decreto 1575. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano
- Ministerio de la Protección Social Y Ministerio de Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial (2007b) . Resolución 2115. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano
- ROMERO, J (2005). Purificación del agua. Segunda edición, tercera reimpresión
- SUAREZ, P (2001). Metodología de la investigación, diseño y técnicas

Anexos

Los datos y cálculos correspondientes a cada elemento y parámetro incluidos en este documento se muestran en la versión para computador adjunta.