

# Planta de tratamiento de agua potable del municipio de Barbosa (Santander)

## Water treatment plant of the municipality of Barbosa (Santander)

RAFAEL YAMID QUINTERO SÁNCHEZ<sup>1</sup> - JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS<sup>2</sup>

1. Ingeniero civil de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Maestría en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería Ambiental de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

2. Ingeniero civil. MEEE. Profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

rafael.quintero@mail.escuelaing.edu.co - jairo.romero@escuelaing.edu.co

Recibido: 18/03/2016 Aceptado: 27/06/2016

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

### Resumen

La PTAP de Barbosa tiene capacidad de tratar 120 L/s. En este artículo se confrontan los parámetros de diseño y operación con la normativa vigente, y se determina su conformidad con los parámetros de funcionamiento y las características de calidad de agua tratada.

**Palabras claves:** evaluación operacional, planta de tratamiento, dosis óptima, pautas de operación.

### Abstract

Barbosa's WTP has the capacity to treat 120 l/s. In this article, the design and operational criteria are compared with current regulations and it is established that the treatment plant meets the operational parameters and the characteristics of water quality required.

**Keywords:** operational evaluation, drinking water treatment plant, optimal dose, operation standards.

## INTRODUCCIÓN

El municipio de Barbosa (Santander) cuenta con una planta de tratamiento de agua potable (PTAP), de tipo convencional, construida en el año 1970 por el Instituto Nacional de Fomento Municipal (Insfopal), para un caudal de 50 L/s; posteriormente, en 1987 se amplió para contar en la actualidad con una capacidad de 120 L/s.

En este artículo se presentan los resultados de 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 las características del agua potable establecidas en la Resolución 2115 de 2007.

## INFORMACIÓN GENERAL

El municipio de Barbosa está localizado en el extremo sur del departamento de Santander, a una distancia de la capital del país de 185 km; el casco urbano está ubicado sobre la margen izquierda del río Suárez, a una altura aproximada de 1570 msnm, y tiene una temperatura media de 23 °C. La población se distribuye 80 % en el casco urbano y el 20 % restante en la zona rural; la economía del municipio se caracteriza por el comercio minorista con un 62 %, la venta de servicios 18 % y la industria manufacturera del sector secundario 12 %; el promedio de empleados ocupados por establecimiento es de dos personas.

### Normativa aplicable

- Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000), título C, Sistemas de potabilización de agua.
- Resolución 2320 de 2009. Dotación neta máxima y periodo de diseño.
- Decreto 1575 de 2007. Calidad del agua para el consumo humano.
- Resolución 2115 de 2007. Calidad del agua para el consumo humano.

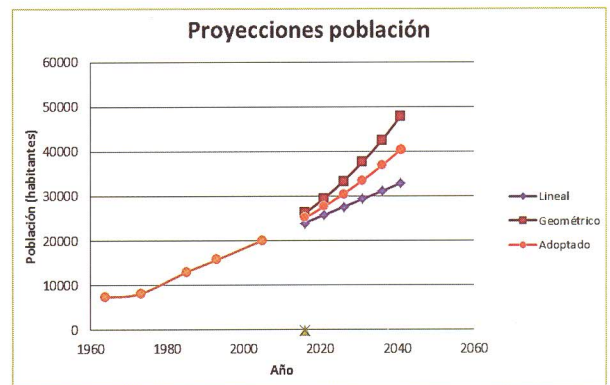
## RESULTADOS

### Proyección de la población y determinación de las necesidades de agua potable

La estimación se hace a partir de la información del número de habitantes de los censos realizados a escala nacional, específicamente de la zona urbana, que es abastecida por la planta de potabilización de agua del municipio.

Proyecciones de población

Método	2016	2021	2026	2031	2036	2041
Lineal	24.025	25.796	27.568	29.339	31.110	32.882
Geométrico	26.216	29.571	33.364	37.650	42.497	47.978
Adoptado	25.121	27.684	30.466	33.495	36.804	40.430



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, esta información se toma del Inventario Turístico del Municipio, realizado en el año 2010, donde se registra que Barbosa ocupa el puesto número 44 entre los municipios con mayor población flotante del país con 6000 habitantes por día para 2010; esto representa el 28 % de la población.

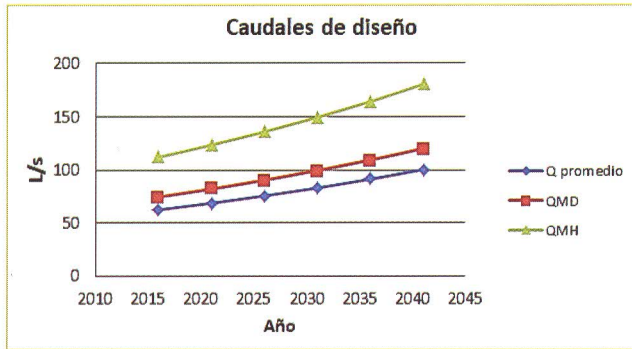
Proyección de población total

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	38.996
2031	33.495	9.378	42.873
2036	36.804	10.304	47.108
2041	40.430	11.320	51.752



Proyecciones de caudales de diseño

Caudales de diseño							
Año	Población (hab.)	Dotación neta (L/hab.día)	Q pro-medio	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



Proyección de caudal de diseño.

Según 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 2041, pues requiere un almacenamiento para regulación de 1773,5 m<sup>3</sup> y de 360 m<sup>3</sup> en caso de incendio, para un total de 2133,5 m<sup>3</sup>; en la actualidad, la capacidad de almacenamiento instalada es de 2160 m<sup>3</sup>.

Diagnóstico y evaluación de la planta de tratamiento



Vista general de la planta de tratamiento.

La información que se presenta se recopiló de los archivos de la Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios de Barbosa (Esbarbosa ESP) y por mediciones realizadas como parte de la evaluación.

La planta de tratamiento de agua potable del municipio de Barbosa la diseñó y construyó el Instituto Nacional de Fomento Municipal (Insfopal) en 1970 para un caudal de 50 L/s; posteriormente, en el año 1987, se amplió. En la actualidad tiene una capacidad de 120 L/s. La planta es de tipo convencional, con procesos de mezcla rápida (coagulante), floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

El diagnóstico se hace con base en la adaptación del título C del RAS 2000 del libro *Purificación del agua*<sup>7</sup>.

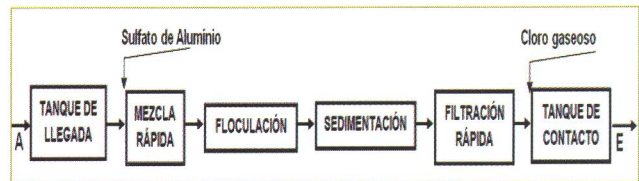


Diagrama de flujo PTAP Barbosa.

Canaleta Parshall

Diagnóstico de canaleta Parshall

Parámetro	Referencia	Calculados	Diagnóstico
Rango como aforador 9"	2,58 a 252, 0 L/s	120 L/s	Cumple
Gradiente de velocidad	>1000s <sup>-1</sup>	1908 s <sup>-1</sup>	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

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, 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 ( $G > 1000 \text{ s}^{-1}$ ).



Diagnóstico de 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 <sup>-1</sup>	70,82 - 141,33 s <sup>-1</sup>	24,15 - 54,65 s <sup>-1</sup>	Cumple 2
Gradiente de velocidad unidades de paso floculadores	<20 s <sup>-1</sup>	<b>Sección 1</b> 96,32 s <sup>-1</sup>	<b>Sección 2</b> 3,18 s <sup>-1</sup>	Cumple 2

Floculador hidráulico

La planta tiene dos floculadores hidráulicos de flujo horizontal, construidos en concreto; cada uno tiene tres cámaras de floculación, con tabiques de 5 cm de espesor y pendiente de fondo 2,5 %. Los dos floculadores presentan características de funcionamiento diferentes, debido a la variación en sus dimensiones.

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 también tiene ancho de canal inferior al 0,45 m, 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 de 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 m<sup>2</sup> de área transversal y 3 metros de longitud, en el cual la velocidad de flujo aumenta a 0,57 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 brusco incremento en la velocidad provoca rompimiento del floc.

Sedimentador

La planta cuenta con dos sedimentadores de alta tasa, con placas inclinadas (60°) de asbesto-cemento, cada unidad con capacidad de 60 L/s.

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

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.



### Filtros

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) y arena (30 cm de espesor), y soportado sobre un lecho de grava de 35 cm.

Diagnóstico de filtros

Parámetros	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 retrolavado de cada filtro, por lo regular, 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. El funcionamiento de los filtros es bueno, operan con tasas de filtración adecuadas y remueven lo exigido en turbiedad y color.

### Eficiencia en la remoción de turbiedad y color

Para el cálculo de eficiencias, se toman los promedios de los dos parámetros para el año de análisis de la planta.

Eficiencia en remoción de turbiedad y color

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

### Eficiencia en la remoción de turbiedad y color

Se utiliza un clorador de tipo solución al vacío, un inyector independiente y un cilindro de 68 kg de cloro gaseoso (Cl<sub>2</sub>); la mezcla es aplicada a la salida del tanque de aguas filtradas, donde se asegura una mezcla óptima y un máximo tiempo de contacto.

Diagnóstico de 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

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.

### Calidad del agua

#### Caracterización de las fuentes

La planta de tratamiento se abastece de tres fuentes: la quebrada Semisa, que suministra un caudal aproximado de 80 L/s durante la mayoría del año; el río Suárez y un pozo profundo, que suministran caudales de 50 L/s y 10 L/s, respectivamente, pero sólo en las épocas de verano.

Caracterización de las fuentes

Parámetro	Quebrada Semisa	Río Suárez	Pozo profundo
Color verdadero (UPC)	855	3518	0
Turbiedad (UNT)	156,6	490,2	0
pH	8,18	8,53	8,22
Temperatura (°C)	20,26	20,7	20,33
Calcio (mg/L)	50,51	52,13	39,6
Alcalinidad total (mg/L)	66	105,7	108,3
Cloruro (mg/L)	60	76,67	58,33
Dureza total (mg/L)	262	136	136
Hierro total (mg/L)	1,8	2,217	0,153
Sulfatos (mg/L)	61,4	68,33	8,333
Fosfatos (mg/L)	12,96	6,25	1,44
Nitratos (mg/L)	33,06	77,84	7,4
Aluminio (mg/L)	0,02	0	0
Coliformes totales (UFC/100 cm <sup>3</sup> )	>100	>100	>100
<i>Escherichi coli</i> (UFC/100 cm <sup>3</sup> )	>100	>100	>100

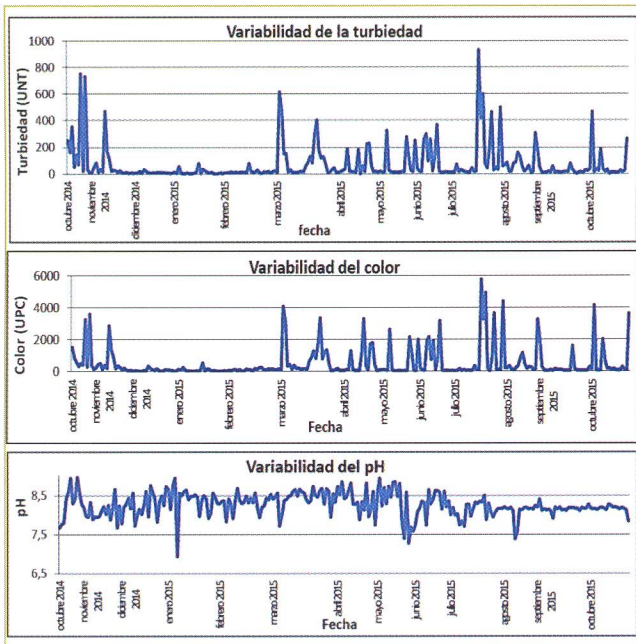


De acuerdo con la tabla C.2.1 del RAS 2000 y con la caracterización de las fuentes se determina la calidad de las fuentes y el grado de tratamiento requerido. Debido a que la fuente principal es la quebrada Semisa, la PTAP incluye un tratamiento convencional de coagulación, floculación, sedimentación, filtración rápida y desinfección.

**Variabilidad en la calidad del agua cruda**

Se recopilan 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 y 1000 UNT, el color varía entre 1 y 5800 UPC y el pH fluctúa entre 7 y 9, a temperaturas que van de 14 a 30 °C.



Variabilidad en la calidad del agua cruda

**Caracterización de las fuentes**

Los valores máximos, mínimos y promedio de los parámetros (46 muestras) que registró la empresa durante un año son los siguientes:

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
Cloruro (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 cm³)	0	0	0,00	0
Escherichi coli (UFC/100 cm³)	0	0	0,00	0

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

**Evaluación operacional**

**Costos de producción**

Los costos de potabilización corresponden al año 2015 (\$443.569.698) y se toman del balance de comprobación. Con base en el total de costos calculado, se puede determinar el costo de potabilización por metro cúbico tratado y por metro cúbico facturado.

Costo por metro cúbico tratado y facturado

Unidad de análisis	Cantidad en un año (2015)	Costos para un año de tratamiento	Valor por unidad
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 se incrementa 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 se debe suplir 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.

las tres fuentes que abastecen la planta y las dos combinaciones que se realizan. Se hicieron siete ensayos de jarras hasta el proceso de sedimentación.

Se comparan 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.

Comparación de tarifas por metro cúbico de agua

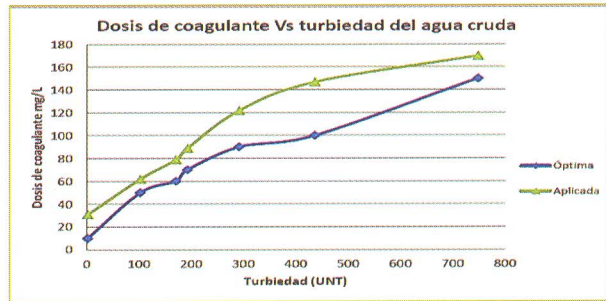
Ciudad o municipio	Valor metro cúbico (pesos)	Razón con respecto a Barbosa
Barbosa	\$310	1
San Gil	\$698	2,25
Socorro	\$716	2,31
Puente Nacional	\$741	2,39
Moniquirá	\$831	2,68
Chiquinquirá	\$1472	4,75
Bucaramanga (capital)	\$1553	5
Tunja (capital)	\$1658	5,35
Bogotá (capital)	\$2784	8,98

La tarifa establecida por metro cúbico consumido, fijada 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.

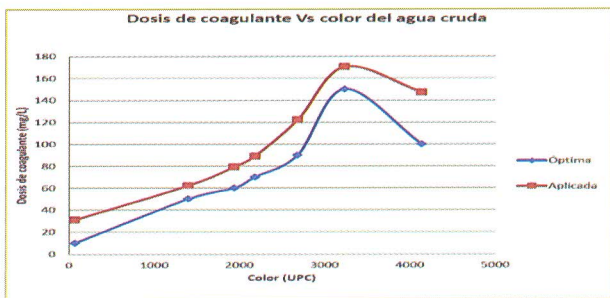
**Alternativas para control operacional**

**Dosis óptima de coagulante**

Para determinar la dosis óptima del coagulante utilizado en la planta, sulfato de aluminio tipo B, se consideran



Dosis óptima y aplicada vs. turbiedad, quebrada Semisa - pozo profundo.



Dosis óptima y aplicada vs. color, quebrada Semisa - pozo profundo.

La dosis aplicada es mayor que la dosis óptima calculada, lo que genera sobrecostos. Sin embargo, la PPA con las dosis aplicadas cumple la norma para agua potable.

Ensayos de jarras en quebrada Semisa - pozo profundo

N.º 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



La segunda combinación de fuentes sólo se trata cuando el caudal de la quebrada Semisa disminuye, por lo cual se bombea agua del río Suárez con un caudal promedio de 50 L/s, generando la combinación río Suárez - quebrada Semisa - pozo profundo. La dosificación para la combinación anterior 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.

Tomando como referencia el valor promedio de turbiedad para el año 2015 (72,63 UNT) y las dosis aplicada (53 mg/L o g/m<sup>3</sup>) y óptima (37 mg/L o g/m<sup>3</sup>), se determina la cantidad de coagulante consumido durante el año y el posible ahorro que se podría hacer:

- Consumo con dosis aplicada: 103.878 kg/año
- Consumo con dosis óptima: 72.518 kg/año
- Ahorro en un año: 31.359,39 kg (30,2 %)

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.

### Mejoramiento de infraestructura

A continuación se presentan las operaciones requeridas para mejoramiento y mantenimiento de la planta de potabilización.

#### Mejoramiento de infraestructura

Instalación o elemento	Intervención necesaria
Instalaciones locativas	Hacer un mantenimiento general a las instalaciones locativas de la planta, así como 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 hacer mediciones de turbiedad, color, pH y cloro.
Caudímetro y canaleta Parshall	Calibrar el caudímetro y remplazar 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 0,2 m los tabiques del floculador 2, de tal modo que queden a 0,4 m de las paredes del tanque, para evitar la acumulación de lodo. Ampliar a 0,6 m <sup>2</sup> , 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 asbesto-cemento dañadas y reacomodar todo el sistema de placas de forma que queden paralelas, pues en la actualidad, en algunos sectores se encuentran amontonadas. Construcción del sedimentador 3.
Filtros	Realizar la reposición del medio filtrante para el filtro 3. Construcción del filtro 4.
Área de cloración	Cambiar el sistema de cloración a uno que cuente con más de dos cloradores y que utilice cilindro de una tonelada, que cumpla con la tasa máxima de extracción diaria cuando la planta opere con 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	Hacer 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 hacer 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.



### 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 de 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

### Pautas de control de operación

El profesional encargado del laboratorio y los operarios de la planta deben considerar las pautas de control de operación presentadas.

### Propuesta de gestión

#### *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 a continuación.

#### *Mecanismos de acción y mejoramiento*

La Administración Municipal de Barbosa y la Gerencia de la Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios de Barbosa (Esbarbosa ESP) deben trabajar mancomunadamente para gestionar ante los entes departamentales y nacionales los recursos necesarios para hacer las intervenciones propuestas para el mejoramiento y mantenimiento de la planta.

Se requiere que Esbarbosa ESP 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.

Así mismo, se debe garantizar la disponibilidad presupuestal para hacer 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 en las políticas de calidad de la empresa.

Es necesario que Esbarbosa ESP actualice la estratificación de los usuarios, ya que este proceso no se ha realizado desde el año 1998, lo que genera que varios usuarios, de acuerdo con el EOT vigente, se beneficien con subsidios en su tarifa a los cuales ya no tienen derecho.

### CONCLUSIONES

- La población de Barbosa presenta un crecimiento continuo, que proyecta un incremento poblacional aproximado del 61 % para el periodo de análisis de 25 años.
- La PTAP se diseñó para un caudal de 120 L/s, suficiente para abastecer la población proyectada para el año 2041 (51.750 hab.).
- El sistema de acueducto cuenta con una capacidad de almacenamiento de 2160 m<sup>3</sup>, suficiente para operar con el QMD 2041, de 120 L/s.



## Indicadores de seguimiento en cada proceso y escala para valoración

Proceso	Indicador de seguimiento	Escala de valoración
Aforo y mezcla rápida	Porcentaje de registros reales en un mes	Óptimo: > 90% Aceptable: entre 70 y 90 % Deficiente: < 70 %
Floculación	Número de ensayos de jarras en un mes	Óptimo: > 13 Aceptable: entre 10 y 13 Deficiente: < 10
Sedimentación	Número de lavadas de sedimentadores en un mes	Óptimo: > 3 Aceptable: entre 2 y 3 Deficiente: < 2
Filtración	Número de lavadas de filtros en un mes	Óptimo: > 50 Aceptable: entre 40 y 50 Deficiente: < 40
Cloración	Porcentaje de registros reales en un mes	Óptimo: > 90 % Aceptable: entre 70 y 90 % Deficiente: < 70 %
Suministro	Porcentaje de registros reales en un mes	Óptimo: > 90 % Aceptable: entre 70 y 90 % Deficiente: < 70 %
Laboratorio	Número 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
	Número de mediciones de cloro residual en el agua tratada en un mes	Óptimo: > 600 Aceptable: entre 400 y 600 Deficiente: < 400
	Número de análisis fisicoquímico del agua cruda y tratada en un mes	Óptimo: > 25 Aceptable: entre 20 y 25 Deficiente: < 20
	Número 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	Número de lavadas de planta en un año	Óptimo: > 5 Aceptable: entre 4 y 5 Deficiente: < 4

- 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.
- 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

1. Quintero, R. (2016). Evaluación de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Barbosa (Santander). Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
2. Alcaldía Municipal de Barbosa (2005). Esquema de ordenamiento territorial de Barbosa, 2005-2015.
3. 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.
4. Ministerio de Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial (2009). Resolución 2320. Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 1096 de 2000.
5. 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.
6. 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
7. Romero, J (2005). *Purificación del agua* (2.ª ed., 3.ª reimp.).