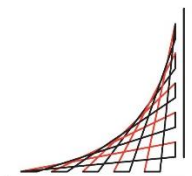


DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) DE LA CABECERA MUNICIPAL DEL MUNICIPIO DE BOJAYÁ, DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ.

CAMILA FERNANDA GÓMEZ MEJÍA
SAMUEL NARCISO RAMÍREZ DE LA HOZ



ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE
BOGOTÁ D.C.
2020

DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) DE LA CABECERA MUNICIPAL DEL MUNICIPIO DE BOJAYÁ, DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ.

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE ESPECIALISTAS EN RECURSOS HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE

JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS
DIRECTOR



ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE
BOGOTÁ D.C.
2020

Bogotá, Enero de 2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado “Diagnóstico de la planta de tratamiento de Agua Potable (PTAP) de la cabecera municipal del municipio de Bojayá, Departamento del Choco.”, presentado por Camila Fernanda Gómez Mejía y Samuel Narciso Ramírez de la Hoz, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Especialistas en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente.

JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS
FIRMA DEL DIRECTOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi hijo por ser mi inspiración, a mi madre y a ti por todo el apoyo incondicional que siempre me han dado en cada logro que obtengo mi vida (Camila Fernanda Gómez Mejía)

Dedicada a Mi Dios, a mi hijo, a mi Madre que amo con toda mi vida, pilares indispensables en la lucha de mis sueños (Samuel Ramírez de la Hoz).

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por todo lo que me da en su infinita bondad toda la gloria es suya, a mi hijo por alegrarme la vida, a mi madre por todos sus cuidados y a ti por acompañarme y ayudarme en todo lo que hago, los amo profundamente y espero se sigan sintiendo orgullosos de mi (Camila Fernanda Gómez Mejía).

Agradecimientos a mi Dios y a todas esas personas que jamás creyeron en mí, gracias a ustedes lucho incansablemente por salir adelante (Samuel Ramírez de la Hoz).

TABLA DE CONTENIDO

1. GEORREFERENCIACIÓN Y GENERALIDADES DEL MUNICIPIO DE BOJAYÁ.....	11
1.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.....	11
1.2. LÍMITES DEL MUNICIPIO DE BOJAYÁ.	12
1.3. TIPOS DE ACCESO AL MUNICIPIO DE BOJAYÁ.	13
1.4. ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS.....	13
1.4.1. <i>Temperatura</i>	13
1.4.2. <i>Humedad relativa</i>	14
1.4.3. <i>Nubosidad y brillo solar</i>	15
1.4.4. <i>Precipitación y balance hídrico</i>	15
1.5. HIDROGRAFÍA.....	16
1.6. SISTEMA BIÓTICO.	18
1.7. CABECERA MUNICIPAL BELLAVISTA (ZONA URBANA) POBLACIÓN BENEFICIADA.	21
1.8. PRESTACIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS EN LA CABECERA MUNICIPAL.....	22
1.8.1. <i>Servicio de energía eléctrica</i>	22
1.8.2. <i>Servicio de acueducto urbano</i>	22
1.8.3. <i>Sistema de alcantarillado</i>	22
1.8.4. <i>Residuos sólidos</i>	23
2. INDICADORES DEMOGRÁFICOS, PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN URBANA Y CAUDAL DE DISEÑO.	23
2.1. POBLACIÓN Y DEMOGRAFÍA MUNICIPIO DE BOJAYÁ.	23
2.2. TASAS DE CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN.	27
2.2.1. <i>Método aritmético</i>	27
2.2.2. <i>Método geométrico</i> :.....	28
2.3. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN URBANA (BELLAVISTA).....	29
2.4. PROYECCIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO (BELLAVISTA).	35
2.4.1. <i>Selección del nivel de complejidad del sistema</i>	35
2.4.2. <i>Dotación neta máxima, pérdidas y factores de consumo</i>	35
3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA CRUDA.	39
3.1. ANALISIS DE RESULTADOS.....	42
4. DIAGNOSTICO TÉCNICO DEL SISTEMA EXISTENTE.	44
5. SISTEMA DE TRATAMIENTO ALTERNATIVO PARA EL CORREGIMIENTO BELLAVISTA.	51
6. DISEÑO SANITARIO DE CADA UNO DE LOS COMPONENTES.....	53
6.1. CÁMARA DE AQUIETAMIENTO.....	53
6.2. AFORO Y MEZCLA RÁPIDA.	55
6.3. FLOCULADOR.	59
6.3.1. <i>Sección media</i>	61
6.3.2. <i>Sección de entrada</i>	62
6.3.3. <i>Sección de salida</i>	63
6.4. SEDIMENTADOR:.....	64
6.5. BATERÍA DE FILTROS AUTOLAVANTES DE TASA DECLINANTE.....	69

6.6.	SISTEMA DE DESINFECCIÓN.	78
6.7.	SISTEMA DE MANEJO DE LODOS.	78
7.	CONCLUSIONES.	84
8.	BIBLIOGRAFÍA.	86

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1-1.	Límites geográficos del municipio de Bojayá.....	12
Tabla 1-2.	División Territorial del municipio de Bojayá (Alcaldía de Bojayá, 2016)	12
Tabla 1-3.	Precipitación promedio mensual en milímetros y temperatura en (Weather Spark, 2020).	15
Tabla 1-4.	Balances hídricos municipio de Bojayá. Estación La Loma (código: 1108501) (IDEAM, 2019)	16
Tabla 2-1.	Comportamiento demográfico de la población rural y urbana de acuerdo con el DANE.	26
Tabla 2-2.	Selección de censos DANE y coeficientes de correlación.	29
Tabla 2-3.	Tasas de crecimiento.	29
Tabla 2-4.	Proyección de población de diseño (2020-2045) y coeficientes de correlación.	30
Tabla 2-5.	Selección de censos DANE y coeficientes de correlación, segundo calculo.	31
Tabla 2-6.	Cálculo de tasas de crecimiento, segundo calculo.	32
Tabla 2-7.	Proyección de población de diseño (2020-2045) y coeficientes de correlación, segundo calculo.	33
Tabla 2-8.	Determinación del nivel de complejidad.	35
Tabla 2-9.	Determinación de la dotación neta conforme la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida.	35
Tabla 2-10.	Determinación de los factores de consumo.	36
Tabla 2-11.	Caudales de diseño.	38
Tabla 6-1.	Parámetros de diseño - cámara de quietamiento (Silva, 1973).	53
Tabla 6-2.	Resumen memoria de cálculo cámara de quietamiento.	55
Tabla 6-3.	Parámetros de diseño – unidad mezcla rápida (Romero, 2015).	56
Tabla 6-4.	Resumen memoria de cálculo del vertedero rectangular.	58
Tabla 6-5.	Caudal en función de la altura de la lámina de agua H (cm) y Q (l7s).	59
Tabla 6-6.	Parámetros de diseño – floculador.	60
Tabla 6-7.	Resumen memoria de los floculadores de lecho poroso.	64
Tabla 6-8.	Parámetros de diseño – sedimentador.	65
Tabla 6-9.	Resumen memoria de sedimentador de alta tasa.	69
Tabla 6-10.	Comparación entre los disantos tipos de filtros.	70
Tabla 6-8.	Criterios de diseño de la batería de filtros autolavantes.	72
Tabla 6-12.	Características de la arena.	74
Tabla 6-13.	Características de la antracita.	74
Tabla 6-14.	Características de grava soporte.	75
Tabla 6-15.	Granulometría lechos filtrantes.	78

<i>Tabla 6-16.</i>	<i>Parámetros de diseño del tanque espesador de lodos.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 6-17.</i>	<i>Parámetros de los lechos de secado de lodos.</i>	<i>82</i>

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.	Georreferenciación Municipio de Bojayá.	11
Ilustración 2.	Temperatura máxima y mínima promedio.	14
Ilustración 3.	Sistema hidrográfico municipio de Bojayá.	17
Ilustración 4.	Distribución poblacional.	24
Ilustración 5.	Número de personas por hogar.	24
Ilustración 6.	Pirámide poblacional.	25
Ilustración 7.	Comportamiento demográfico según el método de tasa de crecimiento.	31
Ilustración 8.	Comportamiento demográfico según el método de tasa de crecimiento, segundo calculo.	34
Ilustración 9.	Resultados de laboratorio de la caracterización fisicoquímica de la fuente. ...	39
Ilustración 10.	Caracterización microbiológica agua cruda de fecha 2013-07-22.	40
Ilustración 11.	Caracterización microbiológica de fecha 2013-07-22.	41
Ilustración 12.	Estado de la bocatoma existente.	45
Ilustración 13.	Bocatoma y desarenador de corregimiento de Bellavista.	45
Ilustración 14.	Cámara de salida del desarenador.	46
Ilustración 15.	Línea de aducción.	47
Ilustración 16.	Línea de aducción sobre aguas estancadas del río Atrato.	47
Ilustración 17.	Estado actual de la red de aducción.	48
Ilustración 18.	Filtros existentes.	48
Ilustración 19.	Diagrama del sistema existente del corregimiento de Bellavista.	50
Ilustración 20.	Diagrama del sistema alternativo del corregimiento de Bellavista.	52
Ilustración 21.	Esquema del vertedero rectangular utilizado como dispositivo de aforo y mezcla rápida.	55
Ilustración 22.	Geometría floculador de lecho poroso.	61
Ilustración 23.	Diseño de unidad de sedimentación.	65
Ilustración 23.	Canaletas de recolección tipo vertedero triangular.	69
Ilustración 25.	Diseño de filtros de tasa declinante.	71
Ilustración 26.	Perfil sistema alternativo Bellavista.	82
Ilustración 27.	Vista en planta sistema alternativo Bellavista.	83

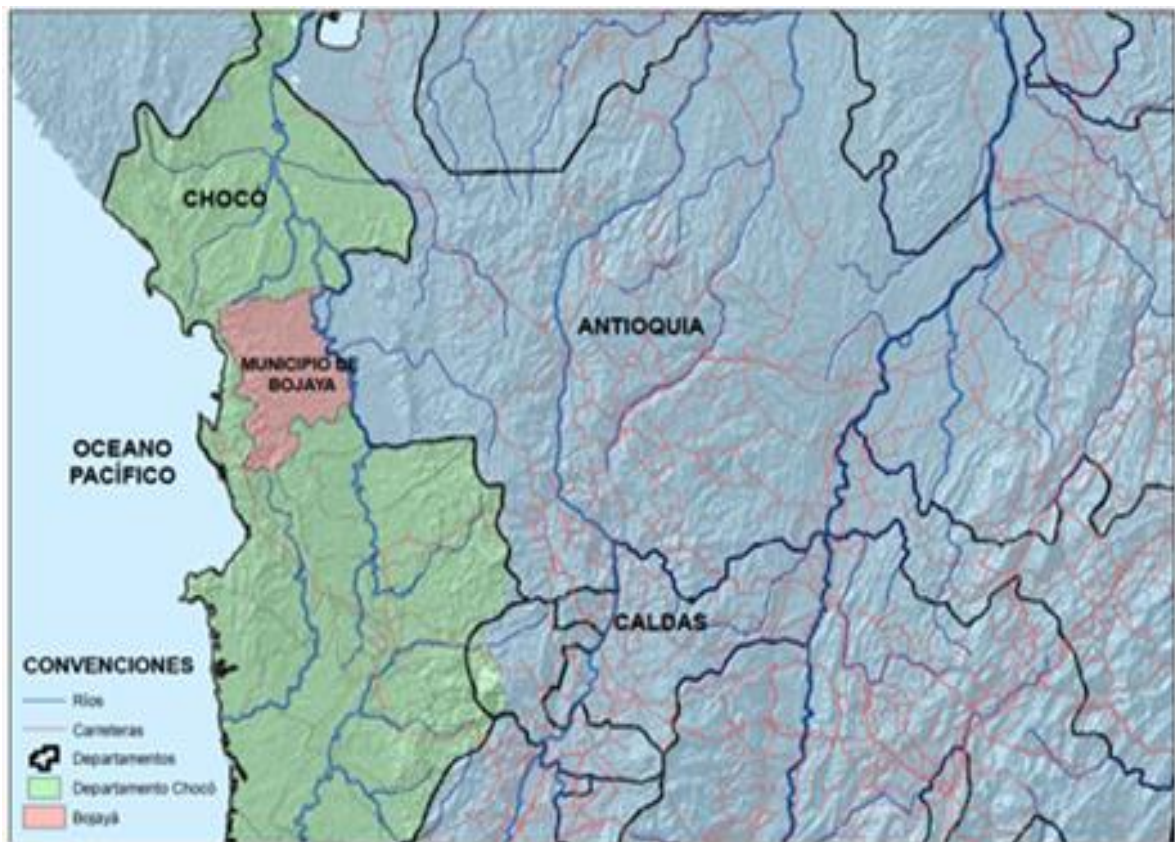
1. GEORREFERENCIACIÓN Y GENERALIDADES DEL MUNICIPIO DE BOJAYÁ.

1.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.

El municipio de Bojayá se encuentra localizado en la región Pacífica de Colombia, en el departamento del Chocó, entre el río Atrato al oriente y la serranía del Baudó al occidente; la cabecera municipal, Bellavista se encuentra a los 6°34'25" de latitud Norte y los 76°54'28" de longitud Oeste (según el meridiano de Greenwich), sobre el margen del río Bojayá y dista de Quibdó, la capital del Departamento, 228 kilómetros por el río Atrato (Alcaldía de Bojayá, 2016)

El municipio tiene una extensión de 3.624,951 km² en el corazón de lo que se ha denominada el Chocó Biográfico, territorio que cuenta con uno de los más altos niveles de diversidad biológica del planeta (ONU, 2015).

Ilustración 1. Georreferenciación Municipio de Bojayá.



1.2. LÍMITES DEL MUNICIPIO DE BOJAYÁ.

La tabla 1-1 se presentan los límites geográficos del municipio de Bojayá.

Tabla 1-1. Límites geográficos del municipio de Bojayá.

LÍMITE	MUNICIPIO
Norte	Río sucio
Sur	Quibdó
	Alto Baudó
Oriente	Vigía del Fuerte
Occidente	Bahía Solano

De acuerdo con la base de datos de catastro del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bellavista es la cabecera municipal y está formada por 217 predios, 154 mejoras y 17 manzanas, con un área de 116.127 hectáreas; cuenta con una zona residencial que comprende un área de 93.960 m² y una zona de lotes periféricos de 16.876 m². Por su parte, la zona rural del municipio cuenta con una división territorial determinada por los resguardos indígenas que abarcan un área de 2.142,87 km². Dentro de estas se encuentran las titulaciones a las comunidades negras las cuales alcanzan un área de 1.465,0 km². Además, se cuenta con el área correspondiente al Parque Nacional Natural Utria que tiene un área aproximada de 151.1 Km² (ONU, 2015). En la tabla 1-2 se presenta el listado completo de la división territorial que conforma el municipio.

Tabla 1-2. División Territorial del municipio de Bojayá (Alcaldía de Bojayá, 2016)

CORREGIMIENTOS	VEREDAS	RESGUARDOS INDÍGENAS
El tigre	Cúia	Rio Uva - Pogue
La Boba	Caimanero	Quebrada Taparal
Alfonzo López	Corazón de Jesús	Alto Rio Bojayá
San José de la Calle	Santa cruz	Alto Rio Cúia
Veracruz	Cumbazada	Napipí
Puerto Conto		Buchadó - Amparradó
Pogue		Túgina y Apartado
Piedra Candela		Pichícora
La loma de Bojayá		Chicué
Napipí		Puerto Alegre
Carrillo		Puerto Antioquia
Boca de Opogodó		Opogodó-Oguadó
Mesopotamia		Genandó
Isla de los Palacios		

1.3. TIPOS DE ACCESO AL MUNICIPIO DE BOJAYÁ.

- Vía terrestre: El acceso por vía terrestre es nulo debido a que no existen carreteras ni infraestructura vial adecuada para el tránsito de vehículos.
- Vía Aérea: Para acceder a Bellavista por vía aérea se llega al aeropuerto del municipio de Vigía del Fuerte. Desde allí se debe realizar el traslado hasta el puerto de Bellavista, vía fluvial, en panga o bote a motor.
- Vía fluvial: La cabecera municipal se encuentra a 228 km de Quibdó, capital del departamento de Chocó; para acceder a Bellavista se debe viajar a través del río Atrato en bote, el viaje dura de 3 a 4 horas dependiendo del caudal del río y de sus crecientes. El municipio cuenta con una longitud de red fluvial por ríos principales de aproximadamente 742,7 km, de los cuales son navegables aproximadamente 511,6 km. Para el transporte al interior del Municipio se utilizan embarcaciones pequeñas, presentándose en algunos casos restricción en la movilidad debido a sequías en los afluentes del río Atrato (Alcaldía de Bojayá, 2016).

1.4. ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS.

En el municipio de Bojayá, los veranos son cortos y muy calientes; los inviernos son largos y calientes, mojado y nublado durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 24 °C a 31 °C y rara vez baja a menos de 23 °C o sube a más de 33 °C (Weather Spark, 2020).

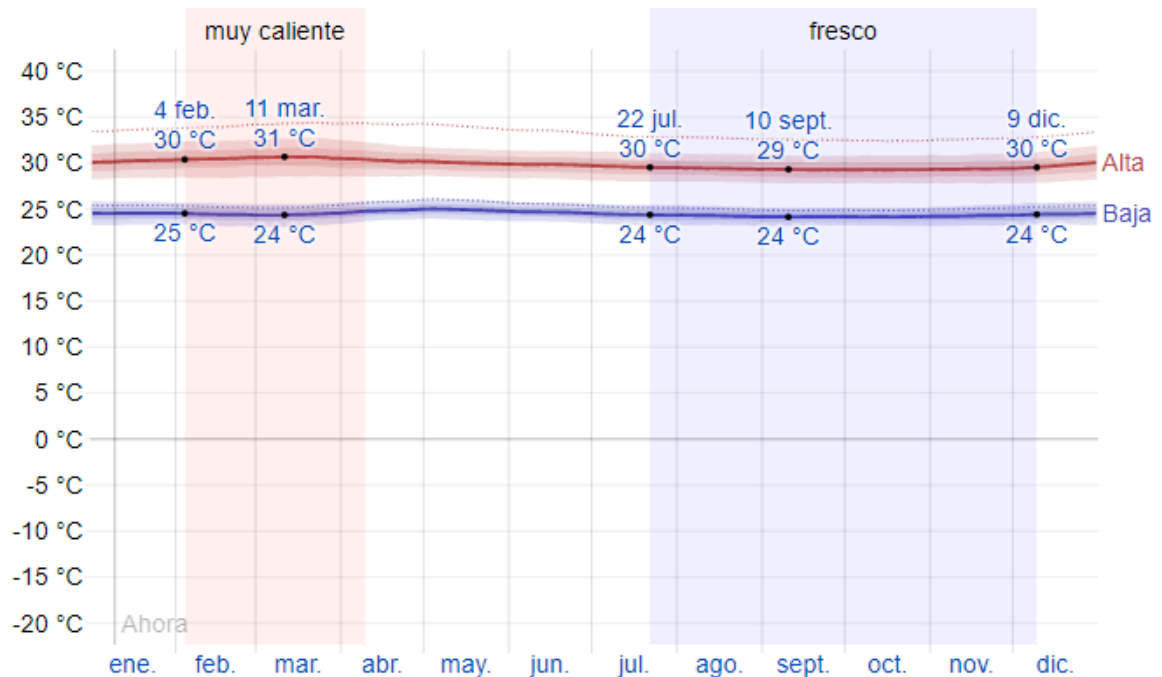
El clima según la clasificación de Koeppen para el área del municipio de Bojayá es de tipo tropical caracterizado por pequeñas oscilaciones de temperatura durante todo el año y su condición de humedad es súper húmedo de selva (Af), con lluvias durante todo el año. Esta es una de las pocas regiones en el mundo que puede alcanzar volúmenes de lluvia superiores a los 10.000 mm al año. Las condiciones de humedad presentes en la mayor parte del departamento disminuyen hacia la zona costera y hacia el este, cerca de la cordillera occidental.

1.4.1. Temperatura

La temporada calurosa dura 2,2 meses, del 4 de febrero al 9 de abril, y la temperatura máxima promedio diaria es de 30 °C. El día más caluroso del año es el 11 de marzo, con una temperatura máxima promedio de 31 °C y una temperatura mínima promedio de 24 °C.

La temporada fresca dura 4,6 meses, del 22 de julio al 9 de diciembre, y la temperatura máxima promedio diaria es de 30 °C. El día más frío del año es el 10 de septiembre, con una temperatura mínima promedio de 24 °C y máxima promedio de 29 °C.

Ilustración 2. Temperatura máxima y mínima promedio.



La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diario con las bandas de los percentiles 25º a 75º, y 10º a 90º. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes (Weather Spark, 2020)

1.4.2. Humedad relativa.

A diferencia de la temperatura, que generalmente varía considerablemente entre la noche y el día, el punto de rocío tiende a cambiar más lentamente, así es que, aunque la temperatura baje en la noche, en un día húmedo generalmente la noche es húmeda.

El nivel de humedad percibido en Bojayá, medido por el porcentaje de tiempo en el cual el nivel de comodidad de humedad es bochornoso, opresivo o insoportable, no varía considerablemente durante el año, y permanece prácticamente constante en 100 %.(Weather Spark, 2020).

1.4.3. Nubosidad y brillo solar.

En Bojayá, el promedio del porcentaje del cielo cubierto con nubes varía considerablemente en el transcurso del año.

La parte más despejada del año en Bellavista comienza aproximadamente el 8 de diciembre; dura 3,5 meses y se termina aproximadamente el 22 de marzo y la parte más nublada del año comienza aproximadamente el 22 de marzo; dura 8,5 meses y se termina aproximadamente el 8 de diciembre (Weather Spark, 2020).

El brillo solar se caracteriza por una distribución bimodal, lo cual significa que hay dos máximos relativos de insolación en los meses de julio y enero, y dos mínimos relativos que se presentan en los meses de marzo y noviembre.

1.4.4. Precipitación y balance hídrico.

En la Tabla 1-3, se presenta la precipitación promedio mensual en milímetros y la temperatura en el municipio de Bojayá.

Tabla 1-3. Precipitación promedio mensual en milímetros y temperatura en (Weather Spark, 2020).

MUNICIPIO	ALTITUD (m.s.n.m)	PARÁMETROS	MESES												TOTAL
			E	F	M	A	M	JN	JL	A	S	O	N	D	
Bojayá	50	P(mm)	312	189	239	462	453	405	464	414	396	393	422	442	4590,2
		T(°C)	27	26,2	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26

En la Tabla 1-4 se incluye el balance hídrico del municipio de Bojayá.

Tabla 1-4. Balances hídricos municipio de Bojayá. Estación La Loma (código: 1108501) (IDEAM, 2019)

PARÁMETROS MES	MES/DÍA												TOTAL
	ene-	feb-	mar-	abr-	may-	jun-	jul-	ago-	sep-	oct-	nov-	dic-	
Precipitación Media(mm)	312,2	188,5	239,4	462,2	453,1	404,9	464	413,8	395,6	393,1	422	441,5	4590
ETP(mm)	98,7	95,6	110,9	103,4	95,7	93,8	101	104	97,3	100,6	92,2	91,4	1185
DELTA (mm)	311,5	192,9	228,5	458,8	457,4	411,1	463	409,8	398,3	392,5	429,8	451,1	
ALMACENAMIENTO (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
EXCESOS (mm)	213,5	92,9	128,5	358,8	357,4	311,1	363	309,8	298,3	292,5	329,8	350,1	3403
DÉFICIT (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

La alta pluviosidad de la zona se explica por el hecho de que las masas de aire húmedo que vienen del pacífico son detenidas por la Cordillera Occidental, de ahí que la evapotranspiración sea mucho menor que la cantidad de lluvia caída y la cantidad de agua sobrante que se acumula o se pierde por escurrimiento e infiltración es muy elevada. En este ambiente súper húmedo, la materia orgánica es poca y con muy bajo contenido de nutrientes, lo que da como resultado un bosque que no alcanza grandes alturas.

1.5. HIDROGRAFÍA.

Como lo define el esquema de ordenamiento territorial, el municipio pertenece a la cuenca hidrográfica del Atrato medio, la cual está comprendida entre las subcuencas hidrográficas de los ríos Munguidó – Sucuco y Bojayá-Aibí-Uva-Quía, por la margen izquierda en el departamento de Chocó. El río Atrato se encuentra en una de las áreas más lluviosas del mundo y se considera como una de las cuencas con mayor rendimiento. La cuenca hidrográfica del Atrato medio capta en promedio 1.298 m³/s. A partir del mes de abril el río comienza a aumentar progresivamente su caudal, hasta el mes de octubre, cuando inicia su descenso.

La cuenca del río Atrato representa el 51,6% de la superficie total del departamento del Chocó, conformando una planicie aluvial que en algunos sitios es cenagosa, de selva húmeda tropical. Esta cuenca a su vez se subdivide en el Alto Atrato, el cual se caracteriza por ser una zona minera.

El Río Atrato es el más grande de la región del Pacífico colombiano, con una superficie aproximada de 36.400 km². Nace en la Cordillera Occidental a 3.800 metros sobre el nivel del mar

y desemboca en el Golfo de Urabá después de un trayecto de más de 600 km. El Estudio Nacional del Agua 2014 reporta para el Río Atrato un caudal medio anual de 4.137 m³ /s. La estación hidrológica Bellavista está localizada en el municipio de Bojayá, y hasta este punto la cuenca tiene un área de drenaje de 15.358 km² y un caudal medio anual de 2.498 m³ /s (Velásquez *et al*, 2019)

En el Medio Atrato, donde se ubica el municipio de Bojayá, se practica una agricultura de subsistencia especialmente en las áreas mejor drenadas y en los diques; allí existe un complejo de ciénagas, en las cuales la pesca es la principal forma de aprovechamiento (ONU, 2015). En la ilustración 3 se muestra el sistema hidrográfico de Bojayá.

Ilustración 3. Sistema hidrográfico municipio de Bojayá.



1.6. SISTEMA BIÓTICO.

Las zonas de importancia ambiental se determinaron considerando dos aspectos: por un lado, la presencia del bosque tropical pluvial caracterizado por una alta biodiversidad, estabilidad relativa de las comunidades vegetales con respecto a su entorno, continua productividad primaria y una compleja estructura, y por el otro el potencial de protección de ecosistemas e infraestructuras. Teniendo en cuenta estos dos aspectos se establecieron dos grandes zonas de importancia ambiental, una considerada de muy alta importancia por su potencial para la conservación y producción de bienes ambientales, y otra considerada de alta importancia ambiental por el potencial agroforestal para el desarrollo de proyectos sostenibles ambiental y económico. Esta última categoría se subdivide en tres unidades a partir de su nivel de intervención antrópico, su potencial agroforestal y su capacidad protectora (Alcaldía de Bojayá, 2016)

Estas zonas son descritas a continuación:

- **Zonas de muy alta importancia ambiental (MAIA):** son aquellas que por su ubicación y composición vegetal representan una alta diversidad de flora y fauna silvestre y además, cumplen con una función reguladora del ciclo hídrico. La riqueza de los bosques también está representada en la producción de: alimentos, insumos medicinales y materiales para la producción artesanal. En Bojayá corresponde a los bosques de montaña, serranía y colinas altas que permiten la protección y conservación de la biodiversidad y ecosistemas estratégicos productores de agua, oxígeno y biomasa (Alcaldía de Bojayá, 2016).
- **Zonas de importancia ambiental Alta Tipo 1 (A1):** de protección de cauces y cuerpos de agua de todo el municipio. Están localizadas hasta 50 metros a lado y lado de los cauces de los ríos principales y, 30 metros a ambos lados de los ríos paralelos al nivel máximo de aguas. Por su ubicación son áreas que permiten la conservación de suelos y restauración de la vegetación adecuada para la protección de los cauces. Su importancia ambiental radica en que al proteger los cauces favorecen la reproducción del recurso ictiológico, garantizan la comunicación fluvial, y por último, resguardan las captaciones de agua para los acueductos (Alcaldía de Bojayá, 2016).
- **Zonas de importancia ambiental Alta Tipo 2 (A2):** son aquellas en las que se encuentran las condiciones biofísicas para la producción agroforestal sostenible, pero que en la actualidad están manejadas inapropiadamente (tala rasa e indiscriminada, caza indiscriminada y tumba del bosque para la siembra, entre otras.) Su importancia ambiental radica en que tiene el potencial para la implementación de sistemas productivos agroforestales con excedentes para la generación de rentas en el municipio y sirven como zonas de amortiguación para los bosques de protección y conservación (Zona MAIA) (Alcaldía de Bojayá, 2016).

- **Zona de importancia ambiental Alta Tipo 3 (A3):** corresponde la planicie de inundación del río Atrato constituyéndose en un área de amortiguación de las crecidas del mismo, que propicia la presencia de ciénagas, humedales y zonas pantanosas, habitas de una gran diversidad de flora y fauna que participan de manera determinante en los ciclos biológicos de la fauna acuática del Atrato (Alcaldía de Bojayá, 2016).

Sistema ambiental

De acuerdo al esquema de Ordenamiento Territorial, forman parte del sistema ambiental del municipio en zona rural, las zonas captadoras y reguladoras del agua donde nacen los ríos Opogadó, Napipí, Cuia, Uva, Pogue y Bojayá; la zona montañosa de la serranía del Baudó donde aún existe el bosque tropical pluvial, parte del Parque Nacional Natural Utria; y las zonas de rondas de ríos y las ciénagas Teba, Yarumal, El Tigre, El Crimito, La Ronda, Ramade, del Medio, del Rincón, Calderón, Gerujamia, Garzón, Ranchería, Garzonero, Vuelta Marisa, Fuerte, Bojayá, Barranca, Muriel y Murielito. Para estas últimas zonas, se definieron 100 metros de ronda de protección tanto para ciénagas como ríos, en consonancia con lo estipulado en el Código de los Recursos Naturales.

Ecosistemas Estratégicos:

Los ecosistemas estratégicos garantizan la oferta de bienes y servicios ambientales esenciales para el desarrollo humano sostenible.

- Río Atrato

El río Atrato (Do-Dromá, en lengua Embera-Katío) como eje fundamental estructurante de la región; recibe al menos 15 ríos tributarios importantes, entre ellos el Truandó, río Sucio, Salaquí, Murri, Opogadó, Bojayá, Napipí, Andágueda y Quito. El Atrato drena una cuenca aproximada de 35.700 km² y tiene una longitud de 720 km; nace en los páramos del municipio de Carmen de Atrato en la Cordillera Occidental, fluye inicialmente hacia el sur y después de recibir el río Quito gira hacia el norte para finalmente desembocar en el Golfo de Urabá. Se caracteriza por ser el Río de mayor caudal en el mundo en relación con el área que drena, propiedad asociada en gran medida con la existencia de amplias zonas pluviales en sus dominios.

- Río Bojayá

Cuenta con un área aproximada de 849,42 km² y es la fuente hídrica principal para el municipio. El río Bojayá funciona como corredor entre los bosques de montaña, serranía y colinas altas que permiten la protección y conservación de la biodiversidad y ecosistemas estratégicos productores de agua, oxígeno y biomasa y las planicies de inundación del río Atrato, constituyéndose en un área de amortiguación de las crecidas del mismo, que propicia la presencia de ciénagas,

humedales y zonas pantanosas, hábitats de una gran diversidad de flora y fauna que participan de manera determinante en los ciclos biológicos de la biodiversidad de la región. En adición el río Bojayá está incluido dentro de Zona Histórico Cultural definida dentro de la zonificación y plan de manejo del Parque Nacional Natural Utría. Sumado a ello, el río Bojayá constituye una vía de tránsito obligatorio para el ingreso al municipio, ya que este no cuenta con vías carretables (Klinger, 2011).

- Alto del Buey

Es un cerro considerado sagrado por los Embera dóbida y a su vez es una reconocida estrella fluvial en donde nacen importantes ríos que vierten sus aguas al Pacífico y otros al Atlántico a través del Atrato, entre ellos: el Bojayá, el Uva y el Napipí, mientras que por la vertiente pacífica nacen el Baudó, el Valle, el Tribugá, Jurubidá, entre otros (Klinger, 2011).

- Humedales - Ciénagas

Los humedales al ser considerados ecosistemas estratégicos que encierran una alta biodiversidad y una gran oferta de bienes y servicios ambientales son susceptibles de ser impactados ampliamente por las actividades humanas. Entre las principales tensiones que están afectando los humedales en el municipio de Bojayá se pueden considerar: Contaminación ambiental, humedales sin la franja forestal protectora, ausencia de conciencia ambiental, inadecuada gestión de los humedales por parte del municipio. Para mitigar esta problemática en coordinación con las autoridades ambientales competentes se elaborará y ejecutará el plan de manejo ambiental para los humedales prioritarios del territorio, partiendo de una delimitación, caracterización y zonificación para la definición de medidas de manejo con la participación de los distintos actores. El plan de manejo propenderá por el uso sostenible y mantenimiento de su diversidad y productividad biológica. Las ciénagas en el Municipio de Bojayá se constituyen en una fuente importante de provisión de alimentos, teniendo en cuenta que la principal forma de aprovechamiento es la pesca. La situación de sedimentación y desecación es un caso frecuente en todas las ciénagas: Panezo (en la Boba), Chicaravia, La Redonda (en el Tigre), y Bellavista. En la ciénaga de Chicaravia además de las problemáticas mencionadas anteriormente, está la tasa de deforestación y la minería que se realiza en la ciénaga o en cerca de ella. (Alcaldía de Bojayá, 2016)

- Bosques

Es un ecosistema que se caracteriza por tener una altura de dosel mayor a los cinco metros y un estrato de copas más o menos continuo. En términos ecológicos, son necesarios para proveer numerosos bienes y servicios ambientales (ejemplo: madera, regulación hídrica) de los que dependen diferentes comunidades, porque ayudan a satisfacer necesidades de consumo y obtener materias primas para sus sistemas productivos (agropecuarios, manufactureros). Estos ecosistemas, aún presentan gran variedad de especies vegetales que se relacionan con otros

elementos biofísicos, no solo bióticos sino también abióticos, forman complejas interacciones cuyo resultado final todavía permite observar en dicha área hidrográfica (especialmente en lo correspondiente al departamento del Chocó) una abundante diversidad florística bien adaptada a su entorno espacial.

Área Protegida: Parque nacional natural de Utria: Se encuentra en jurisdicción de los municipios de Bahía Solano, Nuquí, Alto Baudó y Bojayá sobre la sub-región del Baudó; Sus calmadas y cálidas aguas la hacen lugar propicio para la llegada de especies migratorias como tortugas marinas, aves y ballenas y sitio ideal para el desove de peces como la aguja ensenadeña (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).

1.7. CABECERA MUNICIPAL BELLAVISTA (ZONA URBANA) POBLACIÓN BENEFICIADA.

Se considera como zona urbana del municipio de Bojayá a Bellavista, poblado fundado en 1946, la zona urbana se encuentra formada por 217 predios y 154 mejoras de acuerdo con la base de datos de catastro del Instituto Geográfico Agustín Codazzi; 17 manzanas, con un área de 11.6127 hectáreas. De igual manera, las zonas homogéneas físicas geoeconómicas realizadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi en el año de 1992, identifican una zona residencial que comprende un área de noventa y tres mil novecientos sesenta metros cuadrados (93.960 m²) y una zona de lotes periféricos de dieciséis mil ochocientos setenta y seis metros cuadrados (16.876 m²).

Actualmente la cabecera municipal es el Nuevo Bellavista, que fue reubicado como consecuencia de los problemas sociales ocurridos en 2002. La reubicación de la cabecera municipal fue delegada en una gerencia técnica a cargo de la Agencia Presidencial para la Acción Social y la Cooperación Internacional (Acción Social). A un kilómetro del viejo Bellavista se inició la construcción del nuevo pueblo. La inversión: 34 mil millones de pesos aproximadamente.

El pueblo cuenta ahora con 264 viviendas, polideportivo, acueducto y alcantarillado, electricidad, vías, plazoletas por cada 20 casas, parque infantil, núcleo educativo, Palacio Municipal, centro de salud, hogar múltiple, cancha de fútbol, Estación de Policía, Iglesia, Biblioteca y Pista Aérea.

La zona urbana se encuentra estructurada en tres barrios así:

- Barrio Bella Luz
- Barrio Pueblo Nuevo
- Barrio la Unión

1.8. PRESTACIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS EN LA CABECERA MUNICIPAL.

1.8.1. Servicio de energía eléctrica.

La empresa encargada de prestar el servicio de energía eléctrica está a cargo de la Empresa ASOSERPUB E.S.P (Asociación de Servicios Públicos de Bellavista). Por ser el municipio una zona no interconectada, dicha empresa obtiene los subsidios de energía para zonas no interconectadas.

Se tienen dificultades en la prestación de este servicio ya que carece de financiación. Otro factor que influye en la prestación del servicio se debe a que la planta eléctrica genera energía con combustible, y el abastecimiento de dicho recurso en la zona es bajo. Por esta misma razón en la zona urbana de Bellavista el 97% de la población a la que se le presta el servicio sólo puede disponer del mismo durante aproximadamente 4 horas diarias, normalmente el servicio se presta en las horas de la noche (INFORME DEL GRUPO DE MEMORIA HISTORIA DE LA COMISIÓN NACIONAL DE REPARACIÓN Y RECONCILIACIÓN, 2010).

En la zona rural el 60% de la población dispone de este servicio mediante la utilización de plantas, las cuales en su mayoría se encuentran en mal estado.

1.8.2. Servicio de acueducto urbano.

El servicio de acueducto se presta los 7 días de la semana durante doce horas diarias, según información suministrada por la empresa prestadora del servicio ASOSERPUB E.S.P. La continuidad del servicio depende de la disponibilidad de combustible que opera la planta de la estación de bombeo. Actualmente dicha planta se encuentra en reparación, por lo cual el bombeo del agua a la población depende de la planta de energía del pueblo como tal, y el bombeo se realiza a la hora en la que se enciende dicha planta. Actualmente se tiene una cobertura de 98% de la población con servicio de acueducto. El agua que se distribuye es agua cruda (no tratada), ya que no se cuenta con una planta de tratamiento de aguas. (Alcaldía de Bojayá, 2016)

1.8.3. Sistema de alcantarillado

El servicio de alcantarillado consiste en un sistema no convencional, el cual funciona con la recolección de excretas y aguas residuales que son llevadas a cajas de inspección y posteriormente a pozos sépticos, los cuales se encuentran distribuidos en la zona urbana de Bellavista. Estos tanques reciben las aguas residuales de 7 a 12 casas, aproximadamente. Existen deficiencias en la prestación del servicio debido a que no hay un tratamiento adecuado de las aguas residuales, ni tampoco un mantenimiento periódico de los pozos sépticos.

En el sistema de alcantarillado de aguas lluvias no se cuenta con una infraestructura adecuada para la evacuación de las aguas de escorrentía superficial. No se cuenta con canaletas ni cunetas. Esto genera un deterioro de la malla vial del corregimiento.

1.8.4. Residuos sólidos

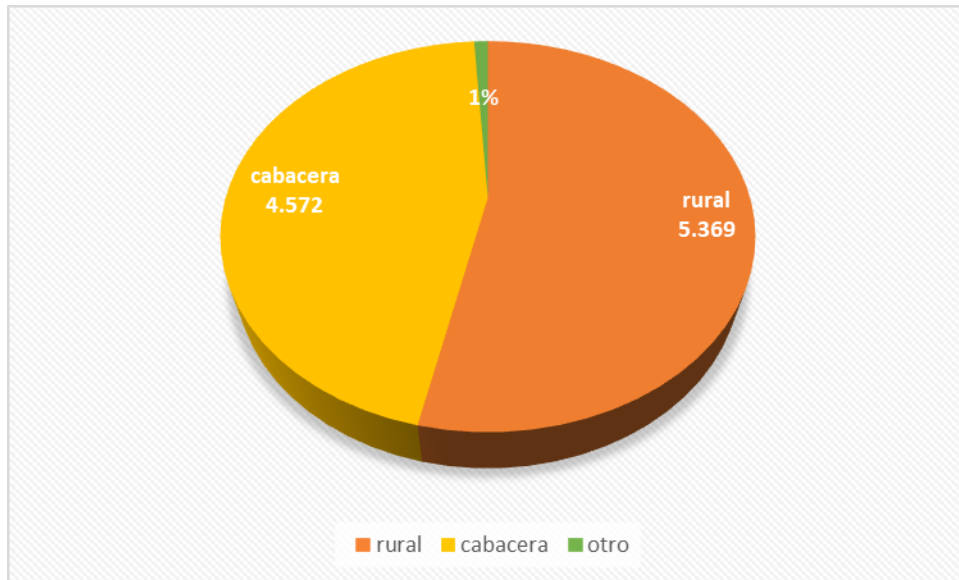
Existen en la cabecera municipal 400 viviendas y el número de usuarios a los que se les presta el servicio de recolección es de 390 usuarios y en el municipio no hay estratificación socioeconómica. Cerca del 98% de la población vierte las basuras a las quebradas, ríos o en la parte posterior de los predios propiciando la contaminación de aguas superficiales y subsuperficiales. Actualmente los residuos son llevados a un botadero a cielo abierto, este se encuentra localizado a 1 km del casco urbano del municipio de Bojayá, muy cerca del barrio Pueblo Nuevo, situación que afecta a los habitantes de dicho barrio ya que se ven asediados por insectos y roedores colocando en riesgo la salud de sus habitantes. Las comunidades del área rural no cuentan con servicio de recolección de residuos, en el manejo de basuras se encuentra que éstas se arrojan al río directamente detrás de las casas. No existen sitios de procesamiento de plásticos, latas y demás, haciendo imposible la práctica de recolección para reciclaje generando montañas de residuos sólidos desembocando en la proliferación de animales que se convierten en plagas (Alcaldía de Bojayá, 2017).

2. INDICADORES DEMOGRÁFICOS, PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN URBANA Y CAUDAL DE DISEÑO.

2.1. POBLACIÓN Y DEMOGRAFÍA MUNICIPIO DE BOJAYÁ.

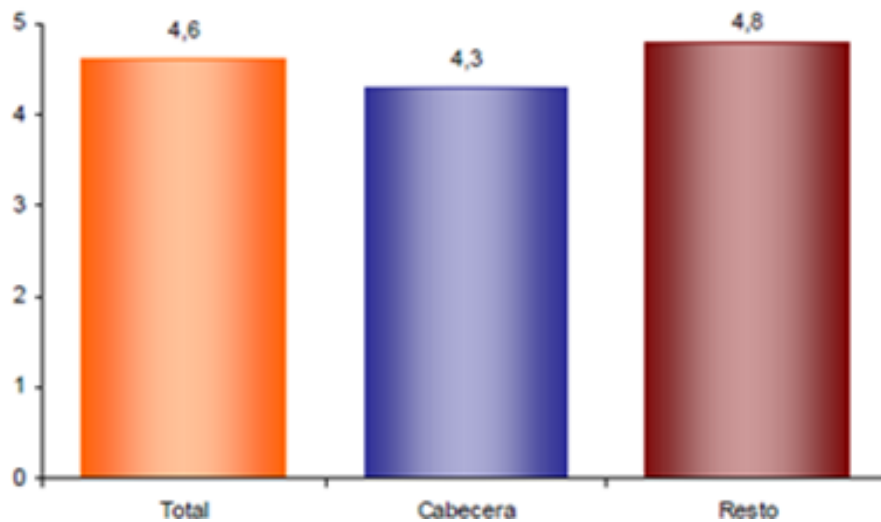
De acuerdo con la información otorgada por el DANE para el año 2005, la población del municipio de Bojayá es de 9941 habitantes, de los cuales 4572 se encuentran en la cabecera municipal y 5369 en zona rural del municipio. La distribución de la población se registra en la ilustración 4.

Ilustración 4. Distribución poblacional.



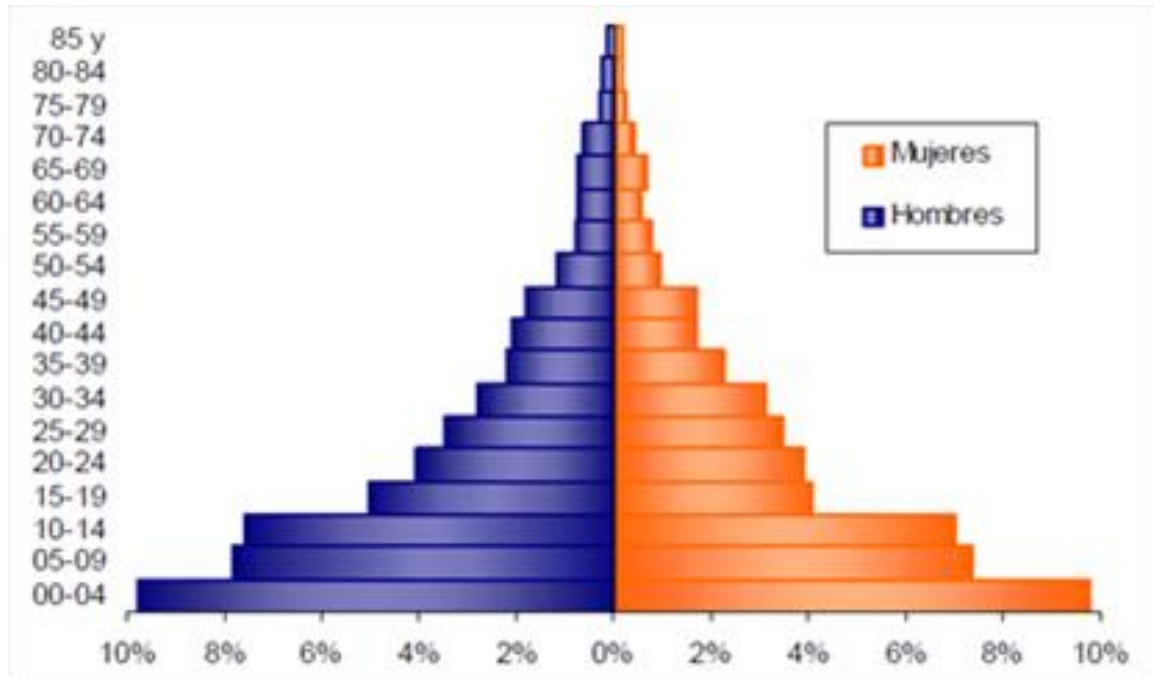
El número de personas por hogar es de 4,3 en la cabecera municipal, que es Bellavista, en el resto del municipio es de 4,8 (ilustración 5).

Ilustración 5. Número de personas por hogar.



En la ilustración 6 se presenta la pirámide poblacional conforme al sexo (DANE, 2019).

Ilustración 6. Pirámide poblacional.



Durante el año 2018 se presentó un incremento generalizado en la población del municipio Bojayá (11933 individuos), sin embargo, para precisar en las metodologías de cálculo de las tasas de crecimiento de la población se adoptará el censo oficial del 2005 hasta el año 2013 los cuales proveen más información sobre la dinámica de desplazamiento forzado y violencia que ha agobiado el municipio.

Para ser más exactos los cálculos desarrollados en el siguiente apartado se relaciona únicamente con la dinámica poblacional del corregimiento de Bellavista o cabecera municipal los, cuales son beneficiados con el sistema de tratamiento de agua potable. En la Tabla 2-1 se registra tal base de datos.

Tabla 2-1. Comportamiento demográfico de la población rural y urbana de acuerdo con el DANE.

AÑO DEL CENSO	POBLACIÓN TOTAL	POBLACIÓN URBANA (CABECERA)	POBLACIÓN RURAL
	(Habitantes)	(Habitantes)	(Habitantes)
1985	9604	1986	7618
1986	9767	1938	7829
1987	9928	1897	8031
1988	10079	1867	8212
1989	10216	1853	8363
1990	10334	1862	8472
1991	10434	1900	8534
1992	10507	1973	8534
1993	10545	2084	8461
1994	10548	2238	8310
1995	10521	2429	8092
1996	10460	2642	7818
1997	10386	2878	7508
1998	10308	3127	7181
1999	10229	3381	6848
2000	10157	3633	6524
2001	10094	3876	6218
2002	10033	4098	5935
2003	9986	4295	5691
2004	9954	4455	5499
2005	9941	4572	5369
2006	9946	4640	5306
2007	9968	4719	5249
2008	9987	4790	5197
2009	10003	4853	5150
2010	10025	4916	5109
2011	10045	4972	5073
2012	10047	5004	5043
2013	10066	5048	5018
2020	11933	4998	6935

Conforme con el registro anterior, se puede notar una disminución en la población urbana en el período comprendido entre 1985 y 1991, con una tasa de 0,72%. En el período comprendido entre 1991 y 2002, se observa un incremento del número de habitantes en la cabecera que varía desde 3,8% hasta 8,9%. En el período, de 2009 a 2012, se evidencia un aumento, adjudicado a la ampliación del perímetro urbano y a la construcción de la cabecera municipal Bellavista, posterior a los conflictos.

2.2. TASAS DE CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN.

Con el fin de seleccionar la mejor alternativa para el tratamiento del agua cruda proveniente de la quebrada denominada “Todos no van”, bifurcación del río Atrato y ajustar el diseño de esta según las condiciones de la normatividad vigente, la proyección de la población localizada en la cabecera del municipio de Bojayá se realizó mediante dos metodologías, entre el periodo de 2020 y 2045. Para el cálculo se utilizó la información proveniente de los censos registrados en la Tabla 2 1.

El periodo de mayor crecimiento es el más recomendable para proyectar la población de diseño y este se observó entre 1995 y 2002.

2.2.1. Método aritmético

La proyección aritmética, dado que se ha empleado durante períodos de aumento de la población, generalmente se ha utilizado para mostrar el crecimiento de la población en cantidades fijas. Por ejemplo, se puede encontrar que la Ciudad X aumentó en 20,000 personas cada 10 años desde 1910 (cuando su población era de 100,000). Usando el método aritmético de proyección de población, 1910–1940 podría asumirse como un período base. Por lo tanto, se agregarían 20,000 personas por cada década futura. Se esperaría que la población de la ciudad X fuera de 220,000 en el año 1970. Este método no es utilizado con frecuencia en los informes de planificación en los Estados Unidos, quizás porque en el pasado se ha descubierto que subestima el crecimiento de la población (APA, 2019). La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente:

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

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

Donde:

P_f = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

P_{uc} = Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

P_{ci} = Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

T_{uc} = Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

T_{ci} = Año correspondiente al censo inicial con información.

T_f = Año al cual se quiere proyectar la información.

2.2.2. Método geométrico:

Analiza los cambios de la población en términos de cambios porcentuales en lugar de cambios numéricos. Para un ejemplo comparativo simple, en la Ciudad X la población de 1940 (160,000) es 60 por ciento mayor que en 1910. Por lo tanto, por una simple proyección de tendencia, se esperaría que fuera 60 por ciento mayor en 1970 que en 1940, o 256,000. Sin embargo, la mayoría de las proyecciones geométricas se trazan en intervalos de décadas donde las tendencias se derivan del análisis de los cambios entre décadas (APA, 2019).

Por lo tanto, el período base para analizar tendencias es tan importante como el método de proyectar poblaciones futuras, ya sea en términos aritméticos o proporcionales (The International City Managers Association, 1948).

Para calcular población en el año de interés se utiliza la siguiente ecuación:

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

La tasa de crecimiento r se calcula así:

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

donde:

P_f = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

P_{uc} = Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

P_{ci} = Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

T_{uc} = Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

T_{ci} = Año correspondiente al censo inicial con información.

T_f = Año al cual se quiere proyectar la información.

2.3. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN URBANA (BELLAVISTA).

Para la proyección de la población de diseño de la cabecera municipal corregimiento de Bellavista en el municipio de Bojayá se adoptan los valores de la Tabla 2-2.

Tabla 2-2. Selección de censos DANE y coeficientes de correlación.

AÑO DEL CENSO	POBLACIÓN TOTAL	POBLACIÓN URBANA (CABECERA)
	(Habitantes)	(Habitantes)
1995	10521	2429
2002	10033	4098
2020	11933	4998
Coficiente R2	0.833802545	0.833802545

En la tabla 2-3 se presenta el valor calculada de las tasas de crecimiento para el método aritmético y geométrico.

Tabla 2-3. Tasas de crecimiento.

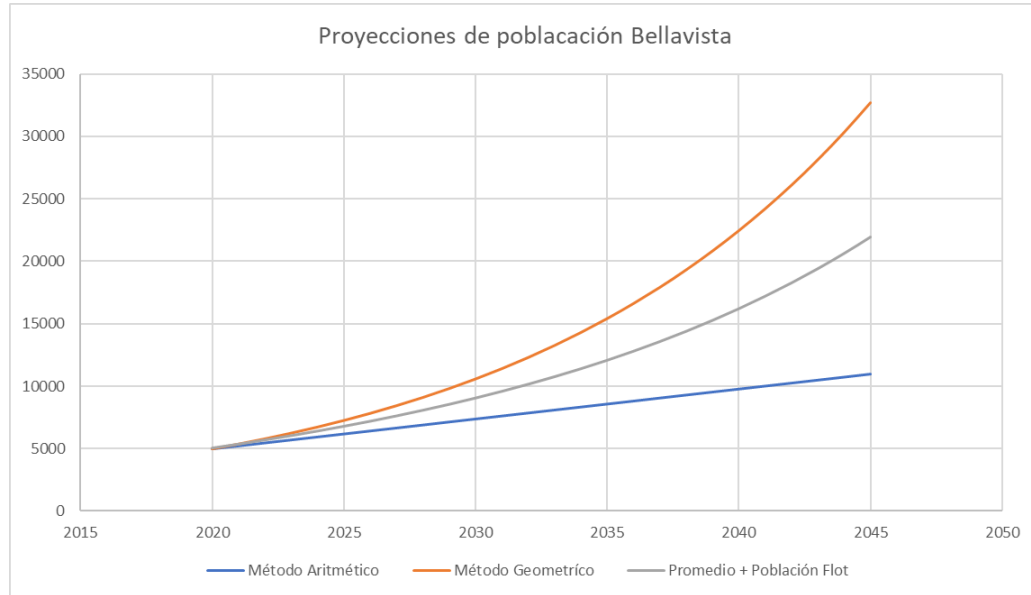
TASA DE CRECIMIENTO	VALOR	PERIODO
Aritmético	238	1995-2002
Geométrico	0,078	1995-2002

En la Tabla 2-4 se presenta el resultado de la proyección de las metodologías explicadas previamente para los años de vigencia del diseño (2020-2045), además se encuentra el promedio y un valor teórico de la población del 0,63%, equivalente a los habitante localizados en el área rural que se observan obligados a pernotar y permanecer en el área urbana, por otra parte este valor también se determinó a partir de la línea base, donde se mencionó las dificultades para a la cabecera municipal del municipio de Bojayá.

Tabla 2-4. Proyección de población de diseño (2020-2045) y coeficientes de correlación.

AÑO	ARITMÉTICO K=238	GEOMÉTRICO r= 0,078	VALOR PROMEDIO DE LAS PROYECCIONES	POBLACIÓN FLOTANTE	POBLACIÓN TOTAL
2020	4998	4998	4998	31	5029
2021	5236	5388	5312	33	5345
2022	5474	5808	5641	36	5677
2023	5712	6261	5987	38	6025
2024	5950	6749	6350	40	6390
2025	6188	7276	6732	42	6774
2026	6426	7843	7135	45	7180
2027	6664	8455	7560	48	7608
2028	6902	9115	8009	50	8059
2029	7140	9826	8483	53	8536
2030	7378	10592	8985	57	9042
2031	7616	11418	9517	60	9577
2032	7854	12309	10082	64	10146
2033	8092	13269	10681	67	10748
2034	8330	14304	11317	71	11388
2035	8568	15420	11994	76	12070
2036	8806	16623	12715	80	12795
2037	9044	17919	13482	85	13567
2038	9282	19317	14300	90	14390
2039	9520	20823	15172	96	15268
2040	9758	22448	16103	101	16204
2041	9996	24199	17098	108	17206
2042	10234	26086	18160	114	18274
2043	10472	28121	19297	122	19419
2044	10710	30314	20512	129	20641
2045	10948	32679	21814	137	21951
R2	0.99940	0.93585	0.95541	0.9556	0.95541

Ilustración 7. Comportamiento demográfico según el método de tasa de crecimiento.



Según las proyecciones realizadas a partir de los datos suministrados por el DANE para los años de mayor crecimiento (1995-2002), es posible concluir que la proyección de la población tiene un crecimiento significativamente acelerado que no represente las características del municipio (conflicto armado y desplazamiento forzado), donde la dinámica poblacional es estable. Se debe a esta razón por la cual se realiza un segundo cálculo con la selección de otros datos del DANE registrados en la tabla 2-5.

Tabla 2-5. Selección de censos DANE y coeficientes de correlación, segundo cálculo.

AÑO DEL CENSO	POBLACIÓN TOTAL	POBLACIÓN URBANA (CABECERA)
	(Habitantes)	(Habitantes)
2002	10033	4098
2013	10066	5048
2020	11933	4998
Coefficiente R2	0.81643	0.99811

Tabla 2-6. Cálculo de tasas de crecimiento, segundo cálculo.

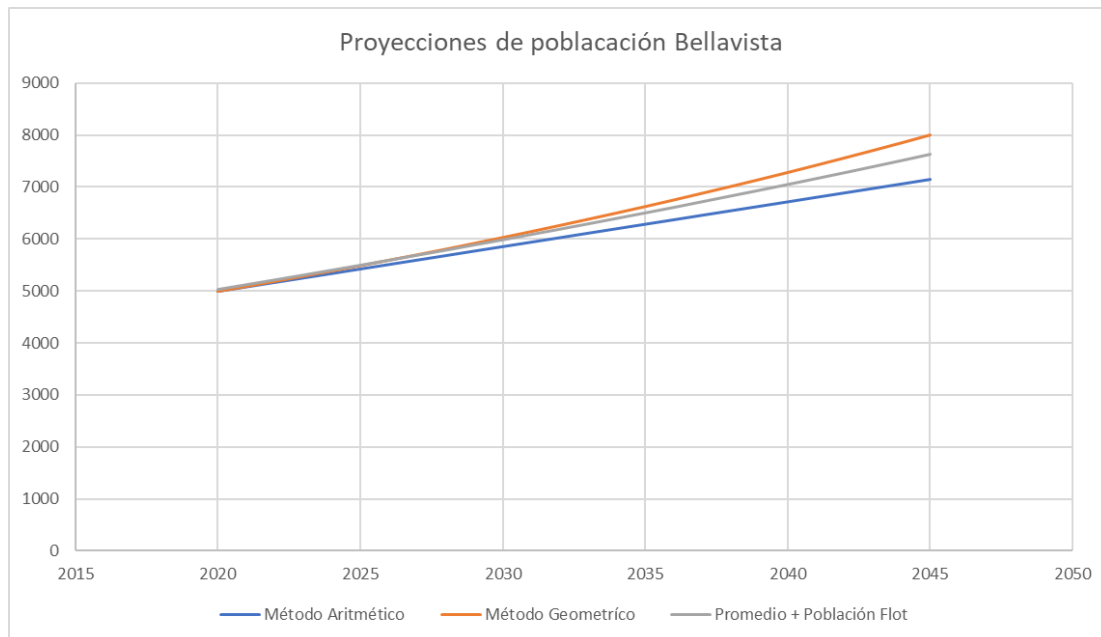
TASA DE CRECIMIENTO	VALOR	PERIODO
Aritmético	86	2002-2013
Geométrico	0,019	2002-2013

En la Tabla 2-7 se presenta el resultado de la proyección para el segundo periodo de mayor crecimiento de la población urbana en Bellavista y que representa mucho mejor el crecimiento demográfico del corregimiento, que se ha visto afectado por el conflicto armado de la zona.

Tabla 2-7. Proyección de población de diseño (2020-2045) y coeficientes de correlación, segundo cálculo.

AÑO	ARITMÉTICO K=86	GEOMÉTRICO R=0,019	VALOR PROMEDIO DE LAS PROYECCIONES	POBLACIÓN FLOTANTE	POBLACIÓN TOTAL
2020	4998	4998	4998	31	5029
2021	5084	5093	5089	32	5121
2022	5170	5190	5180	33	5213
2023	5256	5288	5272	33	5305
2024	5342	5389	5366	34	5400
2025	5428	5491	5460	34	5494
2026	5514	5596	5555	35	5590
2027	5600	5702	5651	36	5687
2028	5686	5810	5748	36	5784
2029	5772	5921	5847	37	5884
2030	5858	6033	5946	37	5983
2031	5944	6148	6046	38	6084
2032	6030	6265	6148	39	6187
2033	6116	6384	6250	39	6289
2034	6202	6505	6354	40	6394
2035	6288	6628	6458	41	6499
2036	6374	6754	6564	41	6605
2037	6460	6883	6672	42	6714
2038	6546	7013	6780	43	6823
2039	6632	7147	6890	43	6933
2040	6718	7282	7000	44	7044
2041	6804	7421	7113	45	7158
2042	6890	7562	7226	46	7272
2043	6976	7706	7341	46	7387
2044	7062	7852	7457	47	7504
2045	7148	8001	7575	48	7623
R2	0.999	0.994	0.997	0.993	0.997

Ilustración 8. Comportamiento demográfico según el método de tasa de crecimiento, segundo cálculo.



El segundo cálculo representa mejor la dinámica poblacional del corregimiento de Bellavista, los coeficientes de correlación obtenidos son mucho mejor y las tasas de crecimiento bajas demuestran las adversidades por las que ha tenido que pasar esta zona del país.

Para todos los componentes de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, se adopta como periodo de diseño 25 años (MinVivienda, 2017), según este criterio la población para el año 2045 es de 7623 habitantes, la cual corresponde al valor promedio más el porcentaje designado de la población flotante, ya que presenta el mejor coeficiente correlación y no presentaría un sobredimensionamiento ni sobrecosto para el sistema.

2.4. PROYECCIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO (BELLAVISTA).

2.4.1. Selección del nivel de complejidad del sistema.

Según la Tabla número 2-8 de las modificaciones parciales realizadas al RAS en el año 2009, y consignadas en La Resolución Número 0330 de junio de 2017, el nivel de complejidad es medio (población proyectada 7623).

Tabla 2-8. Determinación del nivel de complejidad.

Nivel de Complejidad	N° de Habitantes
Bajo	< 2500
Medio	2501-12500
O Medio Alto	12501-60000
Alto	> 60000

2.4.2. Dotación neta máxima, pérdidas y factores de consumo.

La dotación neta debe determinarse haciendo uso de la información histórica de los consumos de agua potables de los suscriptores, disponible por parte de la persona prestadora del servicio de acueducto, o en su defecto, recopilada en el sistema Único de Información (MinVivienda, 2017). En todos los casos, se deberá utilizar un valor de dotación que no supere los máximos establecidos en la Tabla 2-9.

Tabla 2-9. Determinación de la dotación neta conforme la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida.

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*D)
>2000	120
1000 - 2000	130
< 1000	140

El municipio de Bojayá se encuentra a una altura promedio de 20 m.s.n.m por lo cual se adopta una dotación neta de 140 (l/hab*d)

Las dotaciones brutas se calculan a partir de las dotaciones netas determinadas, utilizando un porcentaje de pérdidas menor al 25%, tal como lo establece La Resolución 2320 la cual se mantiene en la resolución 0330 de junio de 2017.

Los factores de consumo de Máximo Diario y Consumo Máximo Horario se pueden determinar a partir del nivel de complejidad del sistema como los muestra la siguiente tabla 2-10, basada en la información proporcionada por el RAS.

Tabla 2-10. Determinación de los factores de consumo.

Nivel de Complejidad	Factor de Consumo Máximo Diario [K1]	Factor de Consumo Máximo Horario [K2]
Bajo	1.3	1.6
Medio	1.3	1.6
Medio Alto	1.2	1.5
Alto	1.2	1.5

Con los factores de consumo establecidos, pérdidas, dotación neta, así como el horizonte o vigencia de diseño y población para el año 2045, se procede al cálculo del caudal medio diario, caudal máximo diario y caudal máximo horario, los resultados de las ecuaciones presentadas a continuación se registran en la Tabla 2-11.

- **Caudal medio diario.**

El caudal medio diario, Q_{md} , corresponde al promedio de los consumos diarios de caudal en un período de un año, proyectado al horizonte de diseño, el cual debe calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_{md} = \frac{\text{No. suscriptores} * D_{bruta}}{86400}$$

Donde:

Q_{md} : caudal medio diario

D_{bruta} : dotación bruta en litros por cada habitante día

- **Caudal máximo diario.**

El caudal máximo diario, QMD, corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas a lo largo de un período de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario, k1, como se indica en la siguiente ecuación:

$$QMD = Q_{md} * K1$$

Donde:

QMD: caudal máximo diario

Q_{md}: caudal medio diario

D_{bruta}: dotación bruta en litros por cada habitante día

- **Caudal máximo horario.**

El caudal máximo horario, QMH, corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario, k2, según la siguiente ecuación:

$$QMH = Q_{md} * K2$$

Donde: QMH: caudal máximo horario

Q_{md}: caudal medio diario

D_{bruta}: dotación bruta en litros por cada habitante día

Tabla 2-11. Caudales de diseño.

AÑO	POBLACIÓN DISEÑO (Hab)	DOTACIÓN NETA (l/hab*d)	PERDIDAS TOTALES (25%)	DOTACIÓN BRUTA (l/hab*d)	CAUDAL MEDIO DIARIO (L/S)	CAUDAL MÁXIMO DIARIO (L/S)	CAUDAL MÁXIMO HORARIO (L/S)
2020	5029	140	25%	187	11	14	18
2021	5121	140	25%	187	11	14	18
2022	5213	140	25%	187	11	14	18
2023	5305	140	25%	187	11	14	18
2024	5400	140	25%	187	12	16	19
2025	5494	140	25%	187	12	16	19
2026	5590	140	25%	187	12	16	19
2027	5687	140	25%	187	12	16	19
2028	5784	140	25%	187	13	17	21
2029	5884	140	25%	187	13	17	21
2030	5983	140	25%	187	13	17	21
2031	6084	140	25%	187	13	17	21
2032	6187	140	25%	187	13	17	21
2033	6289	140	25%	187	14	18	22
2034	6394	140	25%	187	14	18	22
2035	6499	140	25%	187	14	18	22
2036	6605	140	25%	187	14	18	22
2037	6714	140	25%	187	15	20	24
2038	6823	140	25%	187	15	20	24
2039	6933	140	25%	187	15	20	24
2040	7044	140	25%	187	15	20	24
2041	7158	140	25%	187	15	20	24
2042	7272	140	25%	187	16	21	26
2043	7387	140	25%	187	16	21	26
2044	7504	140	25%	187	16	21	26
2045	7623	140	25%	187	16	21	26

Para fines teóricos y futuros proyectos el caudal de diseño para redes de distribución es el caudal máximo horario en el año final de vigencia y para los distintos sistemas de tratamiento de agua potable se calcularán mediante el caudal máximo diario que en este caso corresponde a 21 l/s.

3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA CRUDA.

En la ilustración 9 se presentan los resultados de laboratorio de la caracterización físico-química de la fuente la quebrada “Todos no van” de agua potable para la cabecera municipal de Bellavista en el municipio de Bojayá.

Ilustración 9. Resultados de laboratorio de la caracterización físico-química de la fuente.

Pagina 1 de 1



**Laboratorio acreditado por el IDEAM
bajo la norma NTC ISO 17025 de 2005**
Según resolución N° 2409 del 21 de Septiembre de 2011 para la
realización de DBO, DQO, Grasas y Aceites, Sólidos
Suspendidos Totales, Sólidos Disueltos Totales y Sólidos Totales.



LABORATORIO DE SERVICIOS - ANALISIS DE AGUAS
REPORTE DE ENSAYO FISICOQUIMICO AGUAS RESIDUALES Y CRUDAS

Código: 2013072312 FRT10-02F VER 05

INFORMACION SUMINISTRADA POR EL CLIENTE

Estado del tiempo:	Verano	Procedencia:	BOJAYÁ
Tipo de Muestra:	Cruda	Fecha y hora de toma:	2019-12-20 09:00
pH (U. pH):		Muestreado por:	David Leandro Salazar
Cloro residual (mg/L):		Sitio de Muestreo:	Bocatoma
Solicitado por:	WW Ingeniería		

Dirección: r12

RESULTADOS

Parámetro	Método	Referencia	Resultados
Color Aparente (CoPt)	Espectrofotométrico	2120 C	140
Turbiedad (N.T.U)	Nefelométrico	2130 B	11.00
pH (Unidades de pH)	Electrométrico	4500-H ⁺ B	5,70
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	Titulométrico EDTA	2340 C	1,5
Hierro Total (mg Fe/L)	Fenantrolina	3500-Fe B	0,611
Alcalinidad Total (mg CaCO ₃ /L)	Titulación	2320B	2,0
Aluminio (mg Al/L)	Eriocromo Cianina R	3500-Al B	0,122
Cloruros (mg Cl/L)	Cromatografía Iónica	4110 B	1,440
Nitritos (mg NO ₂ /L)	Cromatografía Iónica	4110 B	< 0,050
Sulfatos (mg SO ₄ ²⁻ /L)	Cromatografía Iónica	4110 B	1,349

Observaciones:

Fecha y hora de recepción:	2019-12-23 15:30	Los Métodos analizados son referencia de los Métodos Estándar Edición 22
Fecha y hora de Análisis:	2019-12-24 07:30	Los resultados del presente informe son válidos solo para la muestra analizada
		Por ningún motivo debe hacerse reproducción del presente informe sin la autorización de Acuazul Ltda.


Cinthia Jaramillo Paniagua
Coordinadora de Laboratorio
Química - Registro PQ-4198

FÍN DEL INFORME



Jonatan Zárate Alvarez
Director Técnico
Químico - Registro PQ-3182

El Conocimiento a su Servicio

Carrera 77 N° 45C - 30
Telefax: 444 45 18
E-mail: acuazul@une.net.co
Medellin - Colombia


En la ilustración 10 se presentan los resultados de laboratorio de la caracterización fisicoquímica del agua cruda de la cabecera municipal de Bellavista en el municipio de Bojayá.

Ilustración 10. Caracterización microbiológica agua cruda de fecha 2013-07-22.



**Laboratorio acreditado por el IDEAM
bajo la norma NTC ISO 17025 de 2005**
Según resolución N° 2409 del 21 de Septiembre de 2011 para la realización de DBO, DQO, Grasas y Aceites, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Disueltos Totales y Sólidos Totales.

Página 1 de 1



LABORATORIO DE SERVICIOS - ANALISIS DE AGUAS
REPORTE DE ENSAYO MICROBIOLÓGICO AGUA CRUDA

Código: 2013072312 FRT10-02M VER 05

INFORMACION SUMINISTRADA POR EL CLIENTE

Estado del tiempo: Verano	Procedencia: BOJAYÁ	
Tipo de Muestra: Cruda	Fecha y hora de toma: 2019-12-22 09:00	
pH (U. pH):	Muestreado por: David Leandro Salazar	
Cloro residual (mg/L):	Sitio de Muestreo: Bocatoma	
Solicitado por: WW Ingeniería		

Dirección:


RESULTADOS

Parámetro	Método	Referencia	Resultados
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100ml)	Sustrato Definido Multicelda	9223 B	133 x 10
Coliformes Totales (NMP/100ml)	Sustrato Definido Multicelda	9223 B	770 x 10


OBSERVACIONES

Fecha y hora de recepción: 2019-12-23 15:30
 Fecha y hora de Análisis: 2019-12-23 16:30

Los Métodos analizados son referencia de los Métodos Estándar Edición 22
 Los resultados del presente informe son válidos solo para la muestra analizada
 Por ningún motivo debe hacerse reproducción del presente informe sin la autorización de Acuazul Ltda.



Sandra P. Acóvedo L.
Bacterióloga
Registro 5-0828-03



Jonatan Zárate Alvarez
Director Técnico
Químico - Registro PQ-3182

FÍN DEL INFORME

En la ilustración 11 se presentan los resultados de laboratorio de la caracterización fisicoquímica del agua tratada de la cabecera municipal de Bellavista en el municipio de Bojayá.

Ilustración 11. Caracterización microbiológica de fecha 2013-07-22.



**Laboratorio acreditado por el IDEAM
bajo la norma NTC ISO 17025 de 2005**
Según resolución N° 2409 del 21 de Septiembre de 2011 para la realización de DBO, DQO, Grasas y Aceites, Sólidos Suspendedos Totales, Sólidos Disueltos Totales y Sólidos Totales.



Página 1 de 1

LABORATORIO DE SERVICIOS - ANALISIS DE AGUAS
REPORTE DE ENSAYO MICROBIOLÓGICO AGUA TRATADA

Código: **2013072314**

FRT10-01M VER 05

Fecha y hora de recepción: 2019-12-23 15:30

Fecha y hora de Análisis: 2019-12-23 16:30



Sandra P. Acevedo L.
Bacterióloga
Registro 5-0828-03



Jonatan Zavaleta Alvarez
Director Técnico
Químico - Registro PQ-3182

Conocimiento a su Servicio

Carrera 77 N° 45C - 30
Telefax: 444 45 18
E-mail: acuazul@une.net.co
Medellín - Colombia

3.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- **pH**

El potencial de hidrogeno (pH) es una medida que indica la acidez o la alcalinidad del agua. Se define como la concentración de iones de hidrógeno en el agua. EL pH óptimo de las aguas debe estar entre 6,5 y 9,0, es decir, entre neutra y ligeramente alcalina. Las aguas de pH menor de 6,5 son corrosivas debido al anhídrido carbónico, ácidos o sales acidas que tienen en disolución. (ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD, 2012)

En el punto tomado, la determinación “in situ” del pH, el resultado que se obtuvo (PH=5,7) no se encuentra dentro de los límites permisibles considerados aptos para consumo de acuerdo con lo establecido por la resolución 2115 del 22 de junio de 2007 “Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”; nos indica que el agua es acida y corrosiva. Por lo tanto, el agua podría disolver iones metálicos, tales como hierro, manganeso, cobre, plomo y zinc, accesorios de plomería y tuberías.

- **Turbiedad**

La turbidez tiene una gran importancia sanitaria, ya que refleja una aproximación del contenido de materias coloidales, minerales u orgánicas, por lo que puede ser indicio de contaminación. (Marco *et al*, 2004)

El valor máximo aceptable según la resolución 2115 de 2007, para el agua potable es de 2 UNT (unidades nefelométricas de turbidez). La muestra tomada de la Qda. “Todos no van” está excediendo este parámetro (11 UNT).

- **Cloruros**

Todas las aguas contienen cloruros. Una gran cantidad puede ser índice de contaminación ya que las materias residuales de origen animal siempre tienen considerables cantidades de estas sales. El gran inconveniente de los cloruros es el sabor desagradable que comunican al agua. Son también susceptibles de ocasionar una corrosión en las canalizaciones y en los depósitos, en particular para los elementos de acero inoxidable.

De acuerdo con el resultado observado 1,44 mg/l, la muestra tomada no sobrepasa el valor límite (250mg/L) establecido en la normatividad legal vigente.

- **Sulfatos**

Los sulfatos son compuestos que se encuentran presentes en el agua de forma natural, debido al lavado y la disolución parcial de materiales del terreno por el que discurre (formaciones rocosas compuestas de yeso principalmente y suelos sulfatados).

El valor máximo aceptable según resolución 2115 para sulfatos es de 250 mg/L, el valor de la muestra tomada en la Qda. "Todos no van" es bajo, 1,35 mg/L, por lo tanto, este parámetro cumple con el valor permisible.

- **Dureza total**

La dureza del agua se debe al contenido de calcio y, en menor medida, de magnesio disueltos. No obstante, el grado de dureza del agua puede afectar a su aceptabilidad por parte del consumidor en lo que se refiere al sabor y a la formación de incrustaciones.

La resolución 2115 de 2007 calidad de agua, establece un el valor máximo de 400 mg/L, en la bocatoma de la Qda. "Todos no van" se presentó un valor de 1,50 mg/L, muy por debajo del valor de la normatividad legal vigente.

- **Hierro total**

De acuerdo con el valor encontrado 0,61 mg/L Fe (hierro) sobrepasa el valor máximo permisible (0,3) establecido por la Resolución 2115 de la Calidad de Agua para consumo Humano, siendo necesario su tratamiento.

En conclusión, el agua cruda proveniente de la quebrada "Todos no van" requiere remoción de turbiedad, hierro, color y desinfección para hacerla potable.

4. DIAGNÓSTICO TÉCNICO DEL SISTEMA EXISTENTE.

El diagnóstico técnico se realiza a partir de una revisión detallada del proyecto existente, de las visitas técnicas efectuadas, de la confrontación de la información de planos. La evaluación se realiza de acuerdo con las necesidades del proyecto y los términos de referencia del mismo, teniendo en cuenta, además, las especificaciones técnicas suministradas por las entidades competentes para este tipo de proyectos y bajo los parámetros del Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS – 2000, en sus Títulos A, B, C, D, E y G, y la resolución 0330 de 2017 que derogó las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, la 0668 de 2003, la 1459 de 2005, la 1447 de 2005 y la 2330 de 2009.

Un aspecto relevante para un sistema de distribución de agua potable es la captación del agua cruda y su conducción hasta la PTAP, en el presente diagnóstico técnico se incluyen algunas consideraciones de la captación, desarenador, línea de aducción y PTAP.

En términos generales, se encontró en buen estado la estructura de captación, no se evidenciaron fisuras ni deformaciones, tampoco se encontraron vestigios de procesos erosivos que pongan en peligro la estabilidad y el funcionamiento de ésta.

En cuanto al funcionamiento hidráulico, se encontró que cumple satisfactoriamente la demanda de caudal actual y la demanda proyectada, con una capacidad de captación de 69 L/s lo que cubre los caudales de diseño que para este sistema el caudal máximo de captación sería QMD = 21 l/s y QMH = 33.54 l/s.

Ilustración 12. Estado de la bocatoma existente.



En el desarenador la cámara central tiene una base inclinada en la cual se encuentra una tubería PVC de 8" de diámetro para realizar descargas de fondo y su posterior lavado y mantenimiento; la tubería de PVC conduce al cauce de la quebrada, donde también caen las aguas de rebose de la presa en épocas de lluvia.

La cámara central tiene un ancho útil de 1,50 m, un largo de 4,40 m y una profundidad máxima de 1,80 m. El mantenimiento de esta se realiza una vez al mes, para ello se debe suspender el suministro de agua a la comunidad.

Ilustración 13. Bocatoma y desarenador de corregimiento de Bellavista.



La cámara de salida a tiene una profundidad de 1,50 m, 0,70 m de ancho y 1,50 de largo. Esta cámara se encuentra en buen estado y no presenta problemas estructurales.

Ilustración 14. Cámara de salida del desarenador.



El RAS 2000 en su capítulo B.6., define las líneas de aducción como aquellas destinadas al transporte de agua tratada desde la planta de tratamiento hasta los tanques de almacenamiento o hasta la red de distribución, generalmente sin entrega de agua en ruta. En este caso la línea de aducción transporta el agua desde el desarenador hasta los tanques de almacenamiento. La aducción está compuesta por una tubería de PVC con un diámetro de 6", tiene una longitud de 3,2 km aproximadamente, desde el desarenador en la bocatoma hasta los tanques de almacenamiento y distribución localizados en la zona baja a las afueras del casco urbano de Bellavista

La línea de aducción se encuentra perforada en toda su longitud, En su recorrido posee tramos enterrados y superficiales, se pueden observar 19 válvulas ventosas de 2", 12 válvulas de purga de 2" y 6 válvulas de cierre o derivación de 2". Las válvulas ventosas se utilizan para la expulsión del aire de la tubería, estas válvulas se encuentran en buenas condiciones, la demás válvula se encuentra protegidas por cajas de concreto; aunque las válvulas están en buen estado, algunas de ellas están en riesgo por inestabilidad del terreno (ilustración 14).

Ilustración 15. Línea de aducción.



Existen tramos en la aducción que se encuentran en situaciones de desgaste y posible falla, pues presentan indicios de agrietamientos debidos a cambios en la dirección de su alineamiento, tal y como se observa en la ilustración 15.

Ilustración 16. Línea de aducción sobre aguas estancadas del río Atrato.



En la ilustración 16 se puede observar que la red presenta fugas, tanto por daños en la tubería como por derivaciones artesanales sin autorización de la empresa de servicios públicos del municipio.

Ilustración 17. Estado actual de la red de aducción



El sistema actual para el tratamiento de agua para el consumo humano se presenta en la ilustración 18.

Ilustración 18. Filtros existentes.



En la actualidad existen tres tanques en fibra de vidrio de diámetro 9.3 m y altura de 3.9 m, en su interior un lecho filtrante de aproximadamente 0.60 metros, lo cual sería consistente con una filtración lenta en arena (FLA) sin embargo este tipo de filtración no garantiza la potabilidad con respecto a las características físico-químicas de la fuente (quebrada “Todos no van”), según los resultados de laboratorio del capítulo anterior, los dos primeros trabajan en condiciones aceptables, el tercer tanque se le observan fugas en la parte inferior, evidencia de esto son los resultados de laboratorio tomado en el agua tratada, donde se encontró presencia de

microorganismos de tipo fecal (>80 Coliformes totales UFC/100 ml y >80 *Escherichia coli* UFC/100 ml), en el sistema existente el sistema de cloración no se encuentra en funcionamiento.

La tubería PVC-presión de 4" y 6" se encuentra totalmente cristalizada por efectos climáticos, presentado se algunas fugas, también es posible visualizar el deterioro de las unidades de PRFV puesto que el operador no ha realizado las respectivas actividades de mantenimiento y cubrimiento con pintura epoxica.

Además, cada uno de los tanques existentes presentan colmatación de lodos, lo cuales debería ser extraídos frecuentemente, esta evacuación debe realizarse en las horas de la mañana y cuando se observe un exceso de partículas flotantes en la parte superior de las unidades de PRFV.

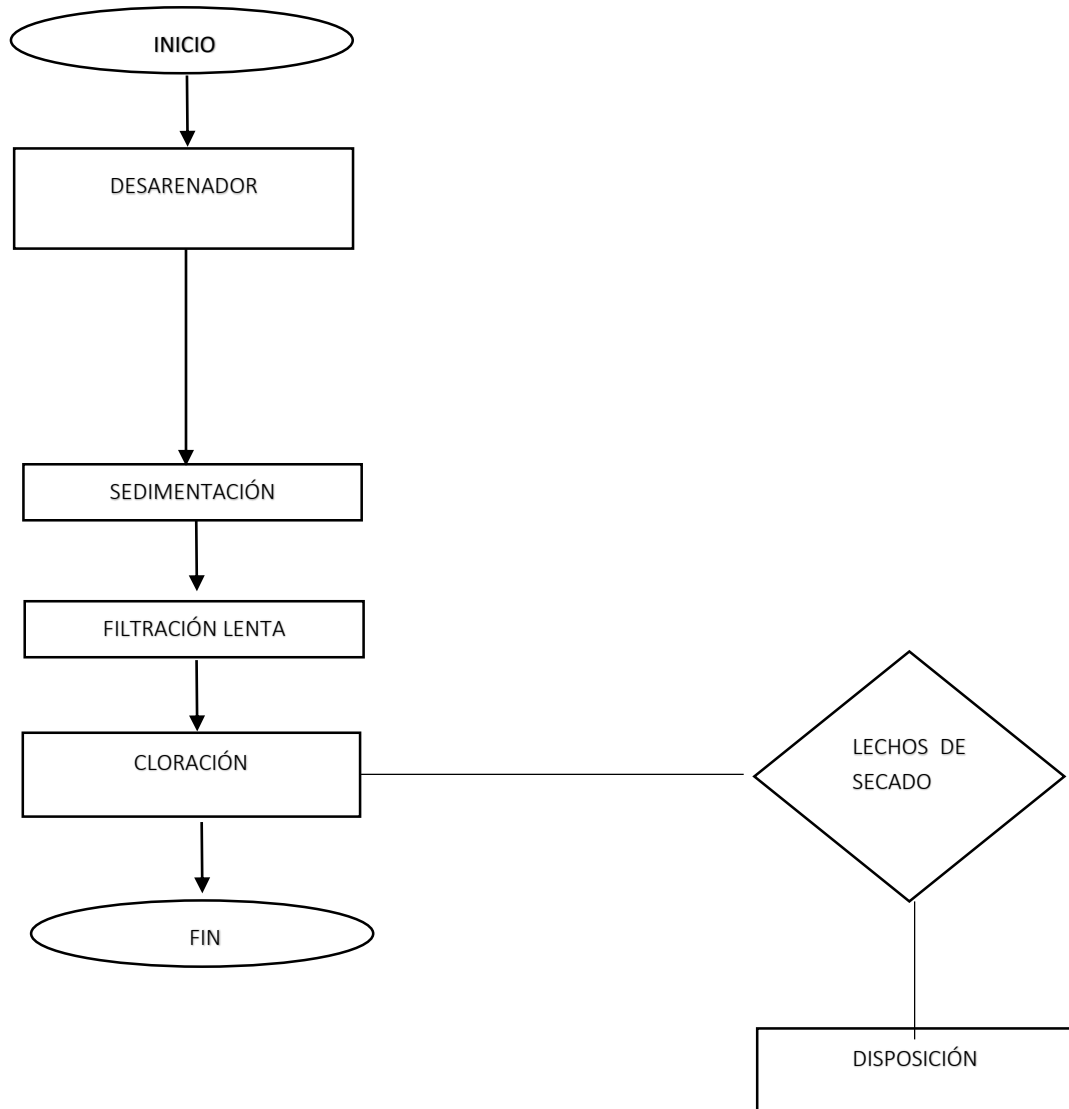
Generalmente se piensa que los filtros son una especie de tamiz o micro-criba que atrapa el material suspendido entre los granos del medio filtrante. Sin embargo, la acción de colar, cribar o tamizar el agua es la menos importante en el proceso de filtración. El proceso de adsorción es verdaderamente el que en realidad concierne, debido a que a medida que el agua pasa a través del lecho del filtro las partículas suspendidas hacen contacto y son adsorbidas sobre la superficie de los granos del medio o sobre el material previamente depositado, las fuerzas que atraen y retienen las partículas sobre los granos son las mismas que aparecen en la coagulación y floculación, Por lo que es muy importante obtener una buena coagulación de filtración (Romero, 2015).

Actualmente no se realiza dosificación alguna de coagulante y floculante por lo cual es proceso de adsorción es ineficaz, de acuerdo con los resultados presentados en el capítulo anterior se observa que el agua tratada no es apta para el consumo humano.

El lavado de filtros consiste, convencionalmente, en hacer pasar agua de modo ascensional por el lecho filtrante, a una velocidad tal que los granos del medio filtrante se muevan a través del flujo ascensional, se froten unos contra otros y se limpien de los depósitos de mugre formados sobre ellos. La velocidad ascensional de agua, 10-14 mm/s, hace que el lecho filtrante se expanda en un espesor mayor que el de lecho en reposo, en un valor generalmente menor al 40% (Romero, 2015).

En la ilustración 19 se presenta el diagrama de flujo de PTAP existente.

Ilustración 19. Diagrama del sistema existente del corregimiento de Bellavista.



5. SISTEMA DE TRATAMIENTO ALTERNATIVO PARA EL CORREGIMIENTO BELLAVISTA.

La ubicación geográfica del municipio de Bojayá es el aspecto más relevante para el análisis de las alternativas de construcción de la planta de potabilización de agua, ya que el transporte de los materiales al del sitio de interés del proyecto, tales como acero de refuerzo, arena, triturado y cemento, debe realizarse por vía fluvial desde el municipio de Quibdó, incrementando los costos de manera significativa para las propuestas cuyo material de fabricación es el concreto.

El área disponible para la construcción de la planta es otro aspecto importante para considerar, pues el sitio es una hondonada estrecha que tiene una luz máxima de 25 metros, lo cual genera grandes limitantes para los sistemas tipo FIME (Filtración en múltiples etapas).

Las alternativas que consideran sistemas de tipo FIME tienen además una desventaja derivada de la poca cabeza estática disponible para el desarrollo del perfil hidráulico de la planta de potabilización; la cabeza disponible es de 7 metros, mientras que el sistema FIME requeriría más de 10 metros para un correcto desarrollo del perfil hidráulico.

Evaluando la parte de costos de ambos sistemas y sumado a análisis técnico realizado, permite deducir que la alternativa más factible para efectuar la construcción del sistema de potabilización de agua del municipio de Bojayá es la planta de potabilización convencional en fibra de vidrio.

La primera alternativa es un sistema FIME, y la segunda un sistema convencional compacto en fibra de vidrio, pero al tener las características fisicoquímicas de la fuente se requiere un sistema que este compuesto de coagulación/floculación, sedimentación, filtración y desinfección y el FIME no es un sistema apto para este tipo de calidad de agua, por lo que este sistema no se evalúa como alternativa.

De acuerdo con el RAS título B 2010 ficha técnica C.Fi.3 “La FIME debe emplearse como multibarrera para controlar los cambios bruscos de la calidad de agua de las fuentes. Se debe emplear para aguas que presenten un color menor a 30 UPC y una turbiedad inferior a 80 UNT”, tal y como se puede evidenciar el color aparente del análisis de laboratorio supera en un 78% el valor máximo permitido para la elección de esta alternativa. Adicional a esto la presencia de microorganismos es evidente tanto en la bocatoma como en las aguas que están suministrando al usuario del sistema de agua.

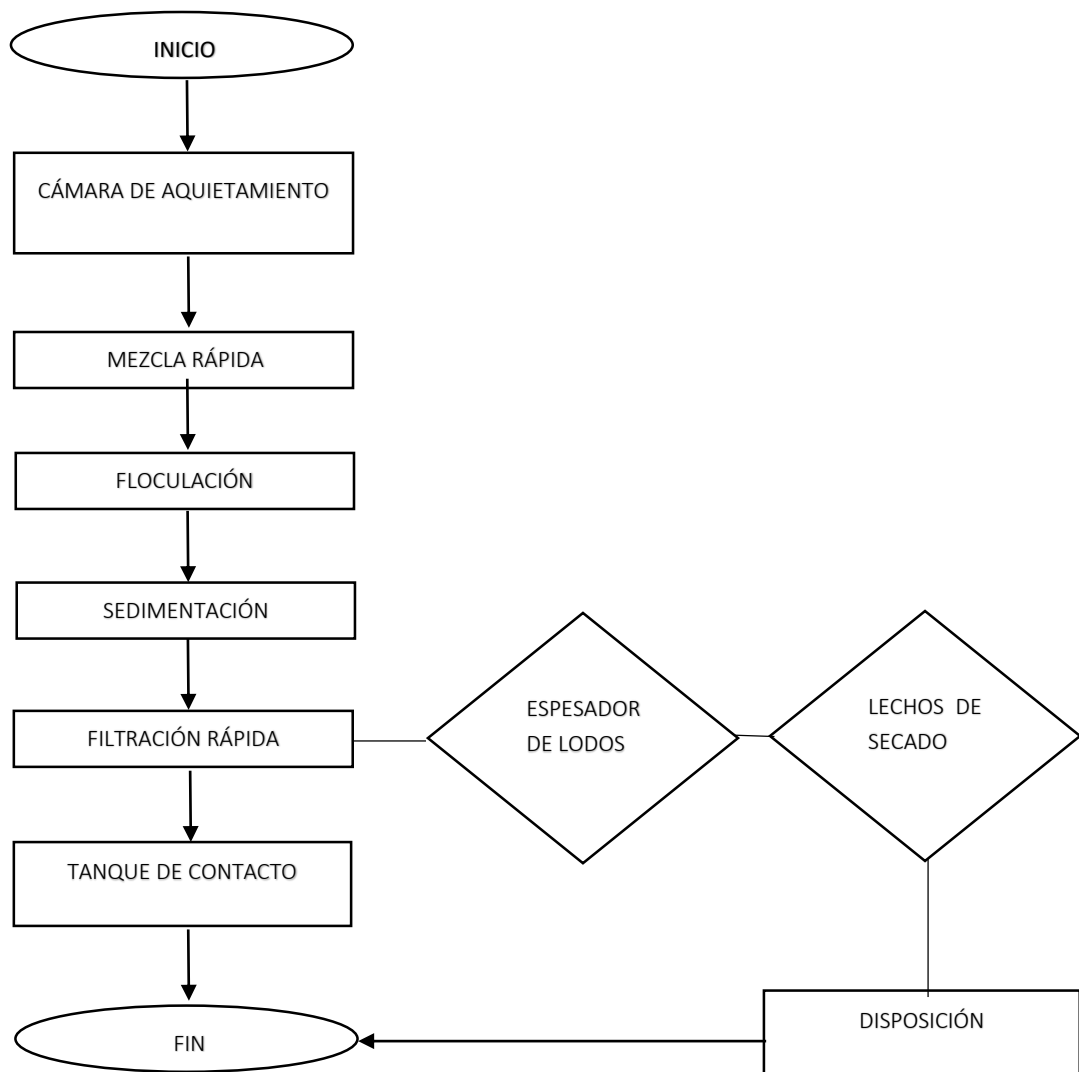
Teniendo en cuenta todo lo anterior, se deduce que el sistema constructivo más viable para la planta de potabilización es el sistema convencional construido con unidades en fibra de vidrio, dado que las estructuras pueden ser fabricadas en Medellín, Bogotá o Quibdó, ser transportadas

hasta el sitio y posteriormente ser ensambladas; el sistema podría emplazarse en la hondonada estrecha disponible, gracias a que estas estructuras pueden desarrollarse verticalmente y a que requieren un área menor en contraste con los otros sistemas; además, este sistema constructivo permite desarrollar el perfil hidráulico con la cabeza o con la diferencia de nivel disponible.

El sistema seleccionado es un sistema compacto que contempla los componentes requeridos para el tipo de agua a tratar.

En la ilustración 20 se presenta el diagrama de flujo de PTAP seleccionada.

Ilustración 20. Diagrama del sistema alternativo del corregimiento de Bellavista.



6. DISEÑO SANITARIO DE CADA UNO DE LOS COMPONENTES.

De acuerdo con las diferentes problemáticas existentes en el sistema de acueducto del municipio, el diseño óptimo de la planta de tratamiento de agua potable debe ser en fibra de vidrio el cual cumple con los procesos unitarios de floculación sedimentación, filtración y desinfección. En general, las plantas compactas de potabilización presentan un buen comportamiento para sistemas de acueducto de complejidad media, y son viables para caudales relativamente bajos.

La planta de potabilización proyectada está compuesta por estructuras construidas en fibra de vidrio, razón por la cual, presenta una baja carga transmitida al suelo, favoreciendo así al terreno pese a las condiciones actuales de localización del proyecto.

El sistema de potabilización se diseña para el caudal máximo diario (MinVivienda, 2017), 21 L/s.

6.1. CÁMARA DE AQUIETAMIENTO

Debido a las características topográficas del sitio y considerando que la estructura de la planta estará construida en fibra de vidrio en losas sobre el nivel del piso, es necesario el diseño de una estructura de entrada también en fibra de vidrio de geometría vertical, que permita el desarrollo del perfil hidráulico a gravedad.

La unidad de quietamiento permite reducir la velocidad de entrada, en la Tabla 6-1 se registran los parámetros de diseño para efectuar los cálculos correspondientes.

Tabla 6-1. Parámetros de diseño - cámara de quietamiento (Silva, 1973).

PARÁMETRO	NOTACIÓN	RANGO	UNIDAD
Velocidad ascensional	Vasc	4-10	cm/s
Altura de la cámara	H	1-2	m
Tiempo de retención	Tr	30-60	s

De acuerdo con la información de la tabla 6-1 se asume un valor de velocidad ascensional de 4,3 cm/s y un tiempo de retención de 35 s.

- Área de la cámara de quietamiento (A)

$$A = \frac{Q}{V_{asc}}$$

Donde:

A = área seccional de la estructura (m²)

Q = caudal de diseño (m³/s)

Vasc= velocidad ascensional (m/s)

$$A = \frac{0,021 \text{ m}^3/\text{s}}{0,043 \text{ m/s}}$$

$$A = 0,49 \text{ m}^2$$

- Profundidad cámara de quietamiento (H)

$$H = V_{asc} * Tr$$

$$H = 0,043 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 35 \text{ s}$$

$$H = 1,50\text{m}$$

Donde:

H = profundidad (m)

Tr= tiempo de detención (s)

- Si se considera una estructura cuadrada:

$$A = L^2$$

$$\sqrt{0,49 \text{ m}^2} = L^2 = 0,7\text{m}$$

En la tabla 6-2 se registra el resumen de la memoria de cálculo para la unidad de quietamiento.

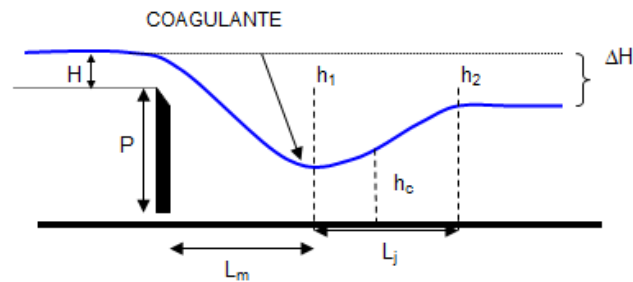
Tabla 6-2. Resumen memoria de cálculo cámara de quietamiento.

PARÁMETRO	NOTACIÓN	VALOR	UNIDAD
Caudal de diseño	Q	0,021	m ³ /s
Velocidad ascensional	Vasc	0,043	m/s
Altura de la cámara	H	1,50	m
Tiempo de retención	Tr	35	s
Longitud	L	0,7	m
Área	A	0,49	m ²

6.2. AFORO Y MEZCLA RÁPIDA.

Este dispositivo garantiza un gradiente de mezcla superior a 1000 s⁻¹ (Silva, 1973). Con la selección de este sistema se buscan dos objetivos; el primero de ellos, tener una mezcla rápida hidráulica con el mínimo de pérdidas de carga y, el segundo, tener un dispositivo de aforo con relativa buena precisión y con la misma pérdida de carga de la mezcla rápida. De esta manera se tiene un dispositivo hidráulico para mezcla rápida y aforo sin generar pérdidas de carga adicionales.

Ilustración 21. Esquema del vertedero rectangular utilizado como dispositivo de aforo y mezcla rápida.



Para asegurar una dispersión homogénea y continua del coagulante en toda la masa de agua cruda, el coagulante debe aplicarse a una distancia L_m del vertedero. La aplicación del coagulante a una distancia menor de L_m no es recomendable, por qué haría que parte del agua cruda recibiese una dosis mayor de coagulante y la restante una dosis menor. Sin embargo, debe reconocerse que si aplica el coagulante a una distancia menor que L_m se aprovecha toda la energía del resalto disponible para la mezcla (Romero, 2015).

En la tabla 6-3 se presentan los parámetros de diseño para la unidad de mezcla rápida.

Tabla 6-3. Parámetros de diseño – unidad mezcla rápida (Romero, 2015).

PARÁMETRO	SÍMBOLO	RANGO/VALOR	UNIDAD
Vertedero rectangular	-----	Sin contracciones	-----
Ancho (asumido)	B	0,5	m
Altura vertedero (asumido)	(P)	1,0	m
Número Froudoe sección 1	F1	4,5 -9,0	-----
Velocidad en la sección 1	V1	>0,75	m/s
Gradiente de velocidad (MinVivienda, 2017)	G	1000 -2000	s ⁻¹

A continuación, se presenta la memoria de cálculo de la unidad de mezcla rápida

- Profundidad crítica flujo (h_c):

$$h_c = \left(\frac{Q^2}{B^2 g} \right)^{1/3}$$

$$h_c = \left(\frac{0,021^2}{0,5^2 * 9,81} \right)^{1/3} = 0,056 \text{ m}$$

- Altura en la sección de mezcla (h_1) ecuación de White:

$$h_1 = \left(\left(\frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{P}{h_c} + 1,5}} \right)^1 \right) * h_c$$

$$h_1 = \left(\left(\frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{1,0}{0,056} + 1,5}} \right)^1 \right) * 0,056 = 0,015$$

- Velocidad en la sección 1 (V_1):

$$V_1 = \left(\frac{Q}{B * h_1} \right)^1 = \left(\frac{0,021}{0,5 * 0,015} \right)^1 = 2,86 \text{ m/s}$$

La velocidad es mayor a 0,75 cumpliendo el parámetro de diseño.

- Froude en la sección 1 (F1):

$$F1 = \frac{v1}{\sqrt{gh1}} = \frac{2,86}{\sqrt{9,81 * 0,015}} = 7,55$$

El número de Froude se encuentra en el rango establecido, por lo cual el resalto es estable.

- Altura en la sección de 2 (h2):

$$h2 = \frac{h1}{2} * (\sqrt{1 + 8 * F1^2} - 1)$$

$$h2 = \frac{0,015}{2} * (\sqrt{1 + 8 * (7,55)^2} - 1) = 0,149m$$

- Velocidad en la sección 1 (V2):

$$V2 = \left(\frac{Q}{B * h2}\right)^1 = \left(\frac{0,021}{0,5 * 0,149}\right)^1 = 20,281 m/s$$

- La pérdida de energía (h):

$$h = \left(\frac{h2 - h1}{4h1 * h2}\right)^3 = \left(\frac{0,149 - 0,015}{4 * 0,15 * 0,149}\right)^3 = 0,279m$$

- Longitud del resalto (Li):

$$Li = 6 * (h2 - h1) = 6 * (0,149 - 0,015) = 0,802m$$

- Velocidad media del resalto (Vm):

$$Vm = \left(\frac{V1 + V2}{2}\right)^1 = 1,558 m/s$$

- Tiempo de mezcla (t):

$$t = \frac{Li}{Vm} = \frac{0,802}{1,558} = 0,514 s$$

- Gradiente de velocidad (t):

$$G = \sqrt{\frac{\gamma * h}{\mu * t}} = 1818,36 \text{ s}^{-1}$$

- Longitud de mezcla (Lm):

Para un vertedero rectangular sin contracciones laterales el coeficiente de descarga, μ , es aproximadamente 0,60 y la ecuación para la altura de la lámina de agua sobre la cresta es la siguiente (López, 2015):

$$\left(\frac{Q}{1,83 L}\right)^{2/3} = H$$

$$Lm = 1,45 * p^{0,54} * H^{0,46} = 1,45m$$

En la tabla 6-4 se presenta el resumen de la memoria de cálculo para la unidad de mezcla rápida.

Tabla 6-4. Resumen memoria de cálculo del vertedero rectangular.

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Caudal de diseño	Q	0,021	m ³ /s
Peso específico del agua	γ	998,197	kg/m ³
Viscosidad absoluta del agua	μ	1,64E-04	Kg-s/m ²
Aceleración de la gravedad	g	9,81	m/s ²
Altura del vertedero	P	1,0	m
Ancho del vertedero	B	0,5	m
Altura de la lámina de agua	H	0,080	m
Longitud de mezcla	Lm	1,45	m
Altura crítica de flujo	hc	0,056	m
Profundidad del agua en la sección 1	h1	0,015	m
Profundidad del agua en la sección 2	h2	0,149	m/s
Número de Froude en la sección 1	F1	7,552	-
Velocidad en la sección	v1	2,864	m/s
Velocidad en la sección 2	v2	0,281	m/s
Velocidad media	vm	1,573	m/s
Pérdida de energía	h	0,279	m
Longitud del resalto	Li	0,802	m
Tiempo de mezcla	t	0,514	s
Gradiente de velocidad	G	1818,36	s ⁻¹

La relación de caudales en función de la altura de la lámina de agua responde a la siguiente ecuación:

$$Q = 1,45 * p^{0,54} * H^{0,46}$$

En la tabla 6-5 se presentan los caudales del vertedero en función de la altura de la lámina de agua.

Tabla 6-5. Caudal en función de la altura de la lámina de agua H (cm) y Q (l7s).

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0,10	0,03	1,80	2,22	3,50	6,02	5,20	10,91	6,90	16,67	8,60	23,20
0,20	0,08	1,90	2,41	3,60	6,28	5,30	11,23	7,00	17,04	8,70	23,61
0,30	0,15	2,00	2,60	3,70	6,55	5,40	11,54	7,10	17,41	8,80	24,02
0,40	0,23	2,10	2,80	3,80	6,81	5,50	11,87	7,20	17,77	8,90	24,43
0,50	0,33	2,20	3,00	3,90	7,09	5,60	12,19	7,30	18,15	9,00	24,84
0,60	0,43	2,30	3,21	4,00	7,36	5,70	12,52	7,40	18,52	9,10	25,26
0,70	0,54	2,40	3,42	4,10	7,64	5,80	12,85	7,50	18,90	9,20	25,67
0,80	0,66	2,50	3,64	4,20	7,92	5,90	13,18	7,60	19,28	9,30	26,09
0,90	0,79	2,60	3,86	4,30	8,20	6,00	13,52	7,70	19,66	9,40	26,51
1,00	0,92	2,70	4,08	4,40	8,49	6,10	13,86	7,80	20,04	9,50	26,94
1,10	1,06	2,80	4,31	4,50	8,78	6,20	14,20	7,90	20,43	9,60	27,36
1,20	1,21	2,90	4,54	4,60	9,08	6,30	14,55	8,00	20,82	9,70	27,79
1,30	1,36	3,00	4,78	4,70	9,37	6,40	14,90	8,10	21,21	9,80	28,22
1,40	1,52	3,10	5,02	4,80	9,67	6,50	15,25	8,20	21,60	9,90	28,66
1,50	1,69	3,20	5,27	4,90	9,98	6,60	15,60	8,30	22,00	10,00	29,09
1,60	1,86	3,30	5,52	5,00	10,29	6,70	15,96	8,40	22,40	10,10	29,53
1,70	2,04	3,40	5,77	5,10	10,60	6,80	16,31	8,50	22,80	10,20	29,97

6.3. FLOCULADOR.

El termino de floculación se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculantes. Es el proceso por el cual, una vez desestabilizados los coloides, se provee una mezcla suave de las partículas para incrementar la tasa de encuentros o colisiones entre ellas, sin romper o disturbar los agregados preformados. Los dos criterios principales que controlan el proceso de floculación son la intensidad de la mezcla y el periodo de agitación. Según Camp y Stein (Romero, 2015).

Se designa por sedimentación la operación por lo cual se remueven las partículas sólidas de una suspensión mediante la fuerza de gravedad, en algunos casos se denomina clarificación o espesamiento. Dos son las formas de sedimentación usadas en la parificación del agua:

sedimentación simple y sedimentación después de coagulación y floculación o ablandamiento (Romero, 2015).

Los parámetros de diseño para un floculador de lecho de grava se encuentran en la tabla 6-6.

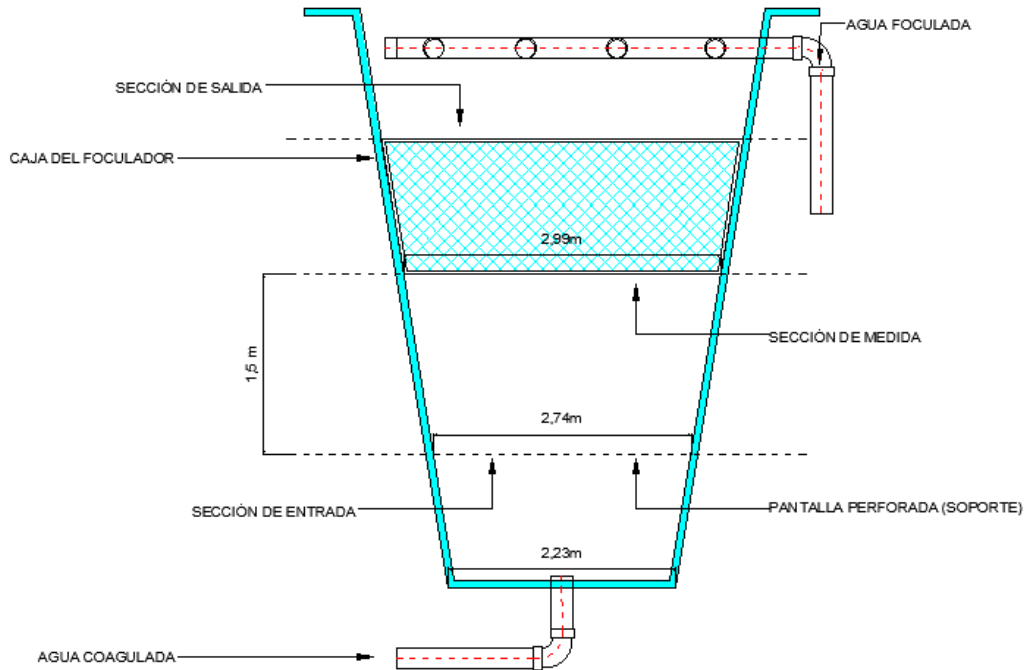
Tabla 6-6. Parámetros de diseño – floculador.

PARÁMETRO	SÍMBOLO	RANGO/VALOR	UNIDAD
Caudal (Romero, 2015)	Q	<60	L/s
Caudal calculado	Q	21	L/s
Número de unidades	-----	2	-----
Caudal de diseño de cada unidad	Q	10,5	L/s
Zonas de floculación (MinVivienda, 2017)	-----	Mínimo 3	-----
Tiempo de retención total (MinVivienda, 2017)	t	20-40	min
Valor óptimo de tiempo total (Silva, 1973)	θ	33	min
Variación del gradiente (MinVivienda, 2017)	ΔG	70-10	s^{-1}
Gradiente promedio (MinVivienda, 2017)	Gp	40	s^{-1}
Gradiente de salida (Romero, 2015)	Ge	35	s^{-1}
Factor de forma (Romero, 2015)	α	0,8	-----
Porosidad	P	0,4	-----
Profundidad de grava (Romero, 2015)	L	1,5-3	m
Diámetro nominal (Romero, 2015)	d	7,5	mm
Densidad del agua	ρ	1000	Kg/ m ³
Peso específico del agua	γ	9800	N/m ³
Viscosidad dinámica	μ	0,00101	Kg/m*s
Viscosidad cinemática	ν	0,000001	m ² /s

Para el diseño se asumen tres zonas conforme a la resolución 0330 del 2017, sección de entrada, media y de salida.

En la ilustración 22 se presenta la geometría del floculador de lecho poroso.

Ilustración 22. Geometría floculador de lecho poroso.



6.3.1. Sección media.

El gradiente de velocidad en función del tiempo óptimo según Silva de floculación está dado por:

$$G = \left(\frac{2.1 * 10^5}{33 * 60} \right)^{1/1,3}$$

$$G = \left(\frac{2.1 * 10^5}{1980} \right)^{1/1,3} = 36.2 \text{ s}^{-1}$$

Asumiendo el valor de 36.2 s^{-1} para la sección media se puede realizar el siguiente planteamiento:

$$G_2 = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu} * \frac{V_2}{P} * H_2}$$

Entonces

$$H_2 = \frac{G_2^2 * \mu * P}{V_2 * \gamma}$$

Si

$$H_2 = a * V_2 + b * V_2^2$$

Donde:

$$a = \frac{0,162(1 - P)^2 * v}{\alpha^2 * d^2 * p^3}$$

$$a = \frac{0,162(1 - 0,4)^2 * 0,000014}{0,8^2 * 0,0075^2 * 0,4^3} = 0,014175$$

$$b = \frac{0,0108(1 - P)^1}{\alpha^1 * d^1 * p^3}$$

$$b = \frac{0,0108(1 - 0,4)^1}{0,8^1 * 0,00075^1 * 0,4^3} = 16,875$$

Iterando en la siguiente ecuación, conocidos los valores de G_2 (36.2 s^{-1}) y las constantes de porosidad, viscosidad dinámica, a y b.

$$0 = \frac{G_2^2 * \mu * P}{V_2 * \gamma} - a * V_2 + b * V_2^2$$

Se obtiene que V_2 es igual $0,002186 \text{ m/s}$

- Área sección 2 (A_2):

$$A_2 = \frac{Q}{V_2} = \frac{0,0105}{0,001791} = 5.88 \text{ m}^2$$

- Diámetro 2 (ϕ_2):

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = 2,74 \text{ m}$$

6.3.2. Sección de entrada.

Se asume un gradiente para el diseño la sección 1 de 54 s^{-1} , ya que la diferencia entre los gradientes del sistema no puede ser mayor a 70 s^{-1} e inferior a 10 s^{-1} (MinVivienda, 2017). Se itera nuevamente en función de la velocidad siguiente ecuación:

$$0 = \frac{G_1^2 * \mu * P}{V_1 * \gamma} - a * V_1 + b * V_1^2$$

Siendo la porosidad, a , b , μ , γ constantes se halla la velocidad (V_1) de 0,0027 m/s.

- Área sección 1 (A_1):

$$A = \frac{Q}{V_1} = \frac{0,0021}{0,00171} = 3,94 \text{ m}^2$$

- Diámetro 1 (\emptyset_1):

$$\emptyset = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = 2,23 \text{ m}$$

6.3.3. Sección de salida.

Para esta sección se asume un valor de gradiente igual 30 s^{-1} , valor próximo al indicado por Romero, además se diseña con el mismo tamaño del medio poroso, según la tabla 6-6. se realiza el procedimiento de las secciones 6.1 y 6.2 hasta obtener el diámetro (\emptyset_3).

$$0 = \frac{G_3^2 * \mu * P}{V_3 * \gamma} - a * V_3 + b * V_3^2$$

Siendo la porosidad a , b , μ , γ constantes se obtiene una velocidad (V_3) de 0,0015 m/s.

- Área sección 3 (A_3):

$$A = \frac{Q}{V_3} = \frac{0,0021}{0,00171} = 7,04 \text{ m}^2$$

- Diámetro 3 (\emptyset_2):

$$\emptyset = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = 2,99 \text{ m}$$

Según Romero la profundidad de la grava varía generalmente entre 1,5 y 3 m, en el caso cada una de las secciones tiene una profundidad igual a 1,5 lo que permitirá validar el diseño

- Volumen de cada floculador:

$$V = (A_1 + A_2 + A_3) * L$$

$$V = (3,94 + 5,88 + 7,04) * 1,5 = 25,29 \text{ m}^3$$

- Tiempo de floculación por unidad:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{25,29 \text{ m}^3}{0,0105 \text{ m}^3/\text{s}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 40,14 \text{ min}$$

El valor de tiempo de floculación está acorde con el RAS 2017.

- Gradiente promedio:

$$Gp = \frac{54 + 36,2 + 30}{3} = 40,05s^{-1} \approx 40s^{-1}$$

El diseño es válido según los criterios establecidos inicialmente en la tabla 6-6.

En la tabla 6-7 se presenta un resumen de la memoria de cálculo.

Tabla 6-7. Resumen memoria de los floculadores de lecho poroso.

PARÁMETRO DE DISEÑO	Sección de Entrada	Sección Media	Sección de salida
Diámetro Ø m	2,23	2,74	2,99
Gradiente $g s^{-1}$	51	36,2	30
Altura (m)	1,5	1,5	1,5
Velocidad (m/s)	0,0027	0,0022	0,0015
Perdida de energía (m)	0.045	0.037	0.025
Tiempo de retención (min)	9.38	14	16.762
Gradiente promedio de floculación s^{-1}	40,05		

6.4. SEDIMENTADOR:

A continuación, se presenta el diseño de un sistema de sedimentación de tasa alta con paneles de decantación en poliestireno tipo colmena (tubos cuadrados) para mejorar la remoción de sólidos.

Cada unidad de sedimentación está diseñada para tratar un caudal de 10,5 L/s, separada por un canal recolector de aguas clarificadas, que a su vez sirve de pasarela.

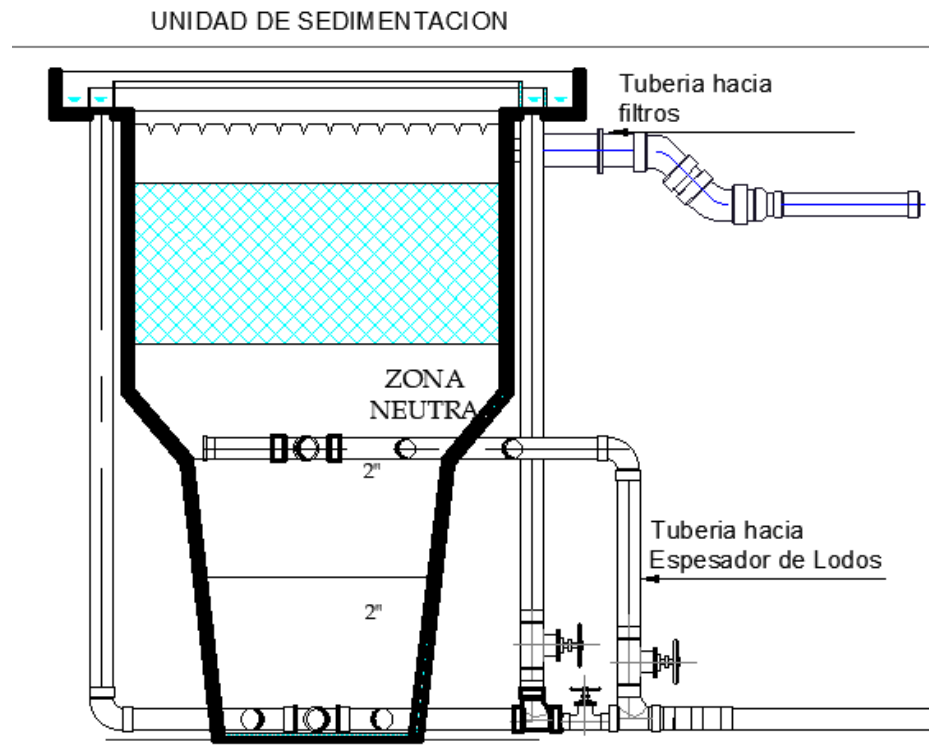
En la tabla 6-8 se presentan los parámetros de diseño de sedimentadores de tasa alta.

Tabla 6-8. Parámetros de diseño – sedimentador.

PARÁMETRO	SÍMBOLO	RANGO/VALOR	UNIDAD
Módulos angostos L=0,6 m	CS	100-110	m/d
Módulos angostos L=1,2 m	CS	120-185	m/d
Módulos profundos L >1,2	(P)	200-300	m/d
Tiempo de retención	td	10-20	min
Velocidad crítica de sedimentación	Vo	15-30	cm/s
Inclinación de módulos	θ	60	$^{\circ}$
Peso específico del agua	γ	9800	N/m ³
Viscosidad dinámica	μ	0,00101	Kg/m*s
Coefficiente Manning	n	0,13	

En la ilustración 23 se presenta el diseño de los sedimentadores.

Ilustración 23. Diseño de unidad de sedimentación.



- Gradiente a la entrada de cada Sedimentador (Silva, 1973):

$$G = n * \sqrt{\frac{\gamma}{\mu} * R^{-0,67} V^{1,5}}$$

Donde,

R (m)= Radio hidráulico de la sección

V (m/s) = Velocidad en la sección

n = Coeficiente de Manning

γ = Peso específico del agua

μ = Viscosidad dinámica

El Radio hidráulico es:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{\pi * D^2}{4\pi D} = 0,748m$$

Donde D corresponde al diámetro superior del floculador de lecho poroso (2,99 m).

$$V = \frac{Q}{A} = 0,00150m/s$$

Reemplazando,

$$G = n * \sqrt{\frac{\gamma}{\mu} * R^{-0,67} V^{1,5}} = 0,009 S^{-1}$$

Este gradiente es mucho menor al obtenido a la salida de cada floculador ($30,0 s^{-1}$), por tanto, no existe riesgo de romper el floc.

- Longitud relativa

$$L = \frac{l}{e}$$

Donde:

l = longitud del conducto del panel (m)

e = espaciamento entre las paredes del panel (m)

La longitud del conducto del panel es de 1,2 m, el espaciamento entre las paredes del panel es 6 cm (Romero, 2015). Entonces:

$$L = \frac{I}{e} = \frac{1,2}{0,06} = 20$$

De acuerdo con el libro Teoría y Práctica de la purificación del agua, L se debe encontrar en un rango de 20 a 24.

- **Velocidad del flujo a través del sedimentador (V_o)**

La ecuación de V_o , cuando se usan paneles de sedimentación está afectada por el factor 11/8 para tubos cuadrados (MinVivienda, 2017).

La velocidad crítica de sedimentación se estimó en 0,013 cm/s (11m/d).

$$V_o = \frac{\left(\frac{11}{8}\right) * V_s (Sen\theta + L Cos\theta)}{1 + \frac{0,013 V_s * e * Cos\theta}{\nu}}$$

Donde,

V_s = velocidad crítica de sedimentación

θ = ángulo de inclinación de los módulos.

e = espaciamiento entre las paredes del panel (m)

ν = Viscosidad cinemática

$$V_o = \frac{\left(\frac{11}{8}\right) * V_s (Sen\theta + L Cos\theta)}{1 + \frac{0,013 V_s * e * Cos\theta}{\nu}} = 0,18 \text{ cm/s}$$

- **Tiempo de retención td .**

$$td = \frac{I}{V_o} = 6,49 \text{ s} = 10,82 \text{ min}$$

El tiempo de retención no debe ser superior a 20 minutos (MinVivienda, 2017) ya que corresponde a un sedimentador de tasa alta tipo colmena con módulos cuadrados, además el número de Reynolds debe ser < 250, para establecer flujo laminar a la entrada de los paneles.

- **Número de Reynolds (Re):**

$$Re = \frac{V_o * e}{\nu} = 110,60$$

- Área seccional de flujo (A_s):

$$A_s = \frac{Q}{V_o} = 5,67 \text{ m}^2$$

- Carga superficial equivalente (V_o)

$$V_o = \frac{Qd}{A_s} = 159,74 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} * \text{día}$$

Este valor es adecuado de acuerdo con las recomendaciones del Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio en la Resolución 0330 2017.

- Área de los sedimentadores (A_t):

$$A_t = \frac{A_s}{\text{Seno}(\theta)} = 6,55 \text{ m}^2$$

- Diámetro (A_t):

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = 3,0\text{m}$$

- Numero de módulos cuadrados

$$\text{Numero modulos cuadrados} = \frac{3,0\text{m}}{0,06\text{m}} = 50$$

Dimensionamiento de las canaletas, zona de salida de los sedimentadores.

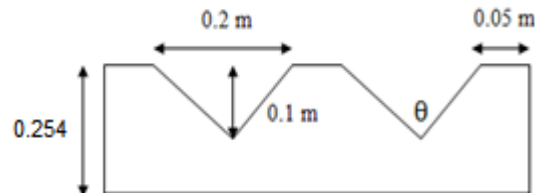
$$Q_{\text{canaleta}} = 0,0105 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 10 \text{ l/s}$$

Altura de la canaleta, h, asumiendo $w = 0,20 \text{ m}$.

$$h = \left(\frac{73 * Q_{\text{canaleta}}}{w} \right)^{2/3} = 11,4\text{cm}$$

Las canaletas de recolección de agua sedimentada son del tipo diente de sierra, es decir, vierten el agua a través de vertederos triangulares. La altura del vertedero es de 10,0 cm y considerando 4,0 cm de borde libre, la altura total de la canaleta es de 25,4 cm.

Ilustración 24. Canaletas de recolección tipo vertedero triangular.



En la tabla 6-9 se presente un resumen del dimensionamiento de los sedimentadores de alta tasa.

Tabla 6-9. Resumen memoria de sedimentador de alta tasa.

PARÁMETRO	NOTACIÓN	UNIDAD	VALOR
Caudal de diseño	Q	m ³ /s	0,021
Número de unidades	N	-	2
Caudal por unidad	Qd	m ³ /s	0,0105
Longitud del conducto del panel	l	m	1,2
Espaciamiento entre las paredes del panel	e	cm	6,0
Ángulo del panel	θ	°	60,0
Gradiente a la entrada	G	s ⁻¹	0,009
Diámetro	∅	m	3,0
Área sedimentador	A	m ²	6,55
Carga superficial	Vo	m/d	159,74
Numero de Reynolds	Re		126,68
Tiempo de retención	td	min	10,82
Número de modulo cuadrados			47
Velocidad critica de sedimentación	Vsc	0,013	cm/s
Velocidad promedio	Vo	0,19	cm/s

6.5. BATERÍA DE FILTROS AUTOLAVANTES DE TASA DECLINANTE.

El sistema de filtración consiste en una batería (sistema en paralelo y de funcionamiento simultáneo) de cuatro unidades de filtración autolavantes, con un sistema de tasa declinante a

gravedad y de flujo descendente con un lecho mixto de arena y antracita. La estructura se proyecta para un caudal de 21 L/s en fibra de vidrio.

Las baterías de filtros de tasa declinante y lavado mutuo se consideran una tecnología apropiada debido a que reúnen las siguientes ventajas sobre otros sistemas de filtración en uso:

- No requieren una carga hidráulica muy grande para operar debido a la altura de diseño de las capas de los medios filtrantes (tamaño y porosidad), ya que el flujo no tiene una pérdida de carga considerable por fricción, únicamente se observa un déficit de carga durante la filtración por la viscosidad y velocidad del agua (Silva, 1973).
- No se requiere tanque elevado ni equipo de bombeo para efectuar el retrolavado de un filtro. A través del canal de interconexión y debido a un especial diseño hidráulico del sistema, el agua producida por lo menos por tres filtros retrolava a una unidad (Silva, 1973).
- La batería de filtros opera bajo el principio de vasos comunicantes. Las unidades están intercomunicadas por la entrada a través del canal de entrada y también del canal de interconexión en la salida. Por esta característica, las unidades presentan todos los mismos niveles y es posible controlar el nivel máximo de toda la batería con un solo vertedero aliviadero en el canal de entrada (Silva, 1973).

En la tabla 6-10 se presenta un comparativo entre las distintas clases de filtros.

Tabla 6-10. Comparación entre los disintos tipos de filtros.

SEGÚN LA VELOCIDAD DE FILTRACIÓN	SEGÚN MEDIO FILTRANTE	SEGÚN EL SENTIDO DEL FLUJO	SEGÚN LA CARGA SOBRE EL LECHO
LENTOS 2-10 m/d	ARENA	Ascendentes Descendentes	Por gravedad
RÁPIDOS 120-360 m/d	LECHO SIMPLE: Antracita Arena	Ascendentes Descendentes	Por gravedad Por presión
RÁPIDOS 240-480 m/d	LECHO MIXTO: Antracita Arena LECHO TRIPLE Arena Antracita Grante	Ascendentes Descendentes	Por gravedad Por presión

Además, la filtración lenta en arena es apropiada para aguas de turbiedad baja; estos filtros no son muy adecuados para aguas con turbiedad alta ni para filtrar aguas coaguladas con cantidades excesivas de floc suspendido, porque se taponarían muy rápido y se perdería mucho más tiempo en limpieza que operación (Romero, 2015).

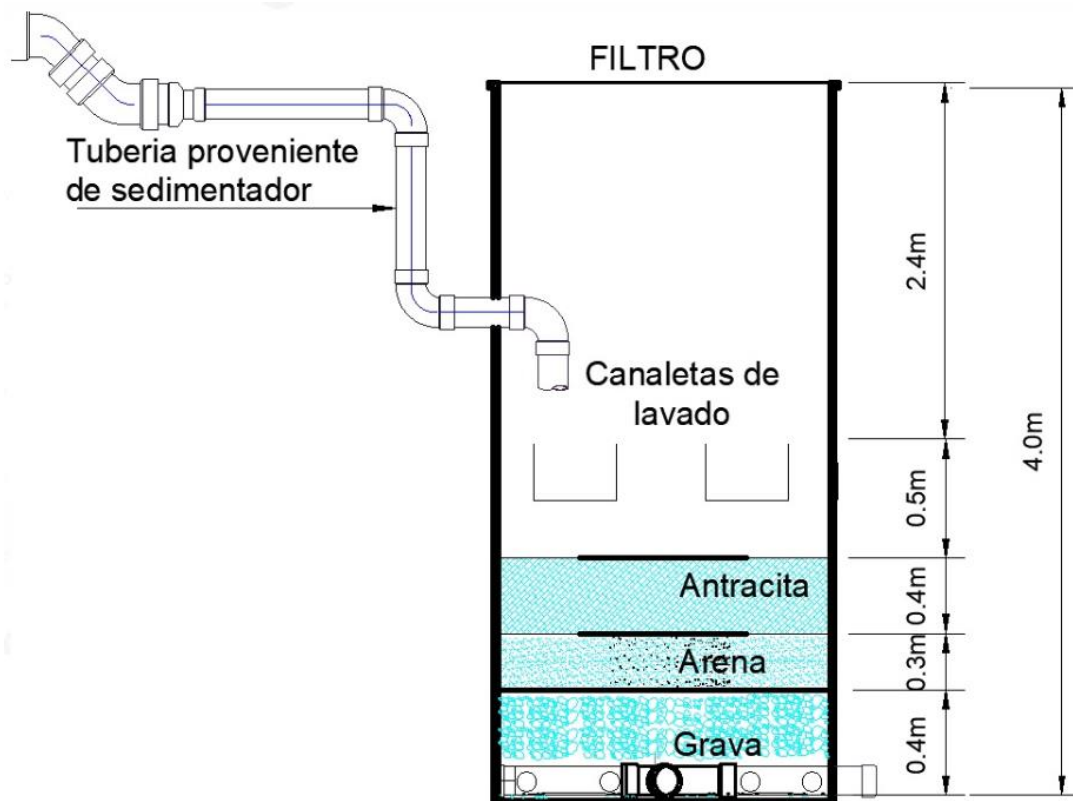
Por otra parte, estos filtros requieren grandes áreas, lo cual es una desventaja teniendo en cuenta las condiciones de la zona (Bellavista) (Romero, 2015).

En los sistemas de filtros de tasa declinante y autolavantes, la elección del número mínimo de unidades de filtración está determinada por la necesidad de que el caudal de lavado requerido por un filtro pueda ser suministrado por los demás. Conforme con lo anterior, para garantizar la adecuada operación del sistema de filtración,

El lecho filtrante está compuesto por una capa de arena de 0.3 m de altura y una de antracita de 0.4 m de altura. El lecho filtrante irá soportado por una capa de grava de 0.40 m de espesor.

En la ilustración 25 se presenta el diseño de los filtros de tasa declinante.

Ilustración 25. Diseño de filtros de tasa declinante.



Para la operación de lavado cada filtro cuenta con un múltiple difusor que distribuye el agua en toda la sección transversal de la estructura. Para la recolección de las aguas de lavado se diseñaron canaletas en la parte superior de cada filtro.

Cada filtro está dotado con una compuerta de doble posición de 6"- 6" para regular el afluente y el drenaje. El sólo accionamiento de esta compuerta para cerrar el afluente y abrir el drenaje, pondrá al filtro en condición de lavado. El lavado se hará automáticamente y durará todo el tiempo que permanezca el drenaje abierto. Para regresar al modo de filtración, basta con bajar la compuerta, lo que cerrará el drenaje y permitirá la entrada de agua sedimentada al filtro (Silva, 1973).

Para una velocidad ascensional de 0,6 cm/s – 1,0 cm/min porque es necesario que los granos del medio filtrante se muevan a través del flujo ascensional, se froten unos contra otros y se limpien de los depósitos de mugres formados sobre ellos (Romero, 2015). El caudal de lavado de 0,0181 m³/s valor de referencia (Silva, 1973).

Tabla 6-11. Criterios de diseño de la batería de filtros autolavantes.

PARÁMETRO	NOTACIÓN	VALOR	UNIDAD
Caudal de diseño	Q _d	0,021	m ³ /s
Número de filtros	N	4	-
Tasa media de filtración (MinVivienda, 2017)	q _{med}	180-350	m/día
Velocidad ascensional para lavado	V _a	0,60	m/min

- Caudal máximo por unidad (Q_d):

$$Q_d = \frac{Q_t}{N} = \frac{0,021}{4} = 0,00525 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Área total de filtración (A_t):

Según la resolución 0330 se adopta un valor de tasa media de filtración igual a 250 m/d.

$$A_t = \frac{Q_d}{q_{med}} = 7,26 \text{ m}^2$$

- Área de cada filtro (A_f):

$$A_f = \frac{A_t}{N} = 1,81 \text{ m}^2$$

- Diámetro de cada filtro (\emptyset):

$$\emptyset = \sqrt{\frac{4 * Af}{\pi}} = 1,52m$$

La geometría debe cumplir con las siguientes condiciones de acuerdo con Silva.

$$\frac{B}{L} = \frac{(N + 1)}{2N}$$

$$\frac{B}{L} = 1 \leq \frac{L}{B} \leq 3$$

Se propone profundidad igual a 1.6 m.

$$\frac{1,52}{1,6} = \frac{(4 + 1)}{24}$$

$$\mathbf{0,95 = 0,95 \text{ CUMPLE}}$$

$$\frac{1,52}{1,6} = 1 \leq \frac{L}{B} \leq 3$$

$$\frac{\mathbf{1,52}}{\mathbf{1,6}} = \mathbf{1,05 \text{ CUMPLE}}$$

Las características físicas y químicas de los medios filtrantes, muestreo, ensayos, embarque y colocación del material filtrante, deben cumplir la Norma Técnica Colombiana NTC 2572. Las características de los medios filtrantes se asumen de acuerdo con la facilidad de obtención de estos materiales en la industria.

Para tener una entremezcla parcial, se adopta una relación entre el diámetro de la arena y el diámetro de la antracita de 4; esto es:

$$\frac{dare}{dant} = C = 4$$

La arena debe estar compuesta por materia silíceo, con una dureza de 7 en la escala de Mohs, limpia, sin barro ni materia orgánica; máximo el 1% puede ser laminar o micáceo, la solubilidad en HCl al 40% durante 24 horas tiene que ser menor del 5% (Romero, 2015).

Tabla 6-12. Características de la arena.

PARÁMETRO	NOTACIÓN	VALOR	UNIDAD
Tamaño efectivo	TE_{are}	$d_{10} = 0,55$	mm
Coefficiente de uniformidad	CU_{are}	1,6	-
Porosidad	P_{oare}	0,4	-
Densidad	ρ_{are}	2,65	g/cm^3
Factor de forma	Ψ_{are}	0,8	-

La antracita debe tener un contenido bajo de cenizas y material volátil, baja friabilidad, alto contenido de carbono fijo y atraxilón (fósiles coloidales); además, debe estar libre de mica, polvo, arcilla, sulfuro de hierro, limo y materiales extraños.

Tabla 6-13. Características de la antracita.

PARÁMETRO	NOTACIÓN	VALOR	UNIDAD
Tamaño efectivo	TE_{ant}	$d_{10} = 0,80$	mm
Coefficiente de uniformidad	CU_{ant}	1,6	-
Porosidad	P_{oant}	0,51	-
Densidad	P_{ant}	1,40	g/cm^3
Factor de forma	Ψ_{ant}	0,7	-

El espesor de la arena equivale al 40% de la altura total del filtro, y el espesor de la antracita es el restante de la altura del filtro (ICONTEC, 2010).

- Espesor del lecho filtrante:

$$H = 0,70m$$

- Espesor Arena (H_a):

$$H_a = 0,70m * 30\% = 0,30 m$$

- Espesor Antracita (H_t):

$$H_t = H - H_a = 0,40m$$

- Espesor Grava:

La grava de soporte se adecúa sobre el sistema de drenaje y tiene un espesor de 0,40 m con las siguientes características:

Tabla 6-14. Características de grava soporte.

LECHO	PROFUNDIDAD (m)	TAMAÑO (Pulg)	PESO ESPECÍFICO
Fondo	0,15	1" - 2"	≥ 2,65 g/cm ³
Segunda Capa	0,15	1/4" - 1"	
Gravilla	0,1	1/12" - 1/4"	

- **Chequeo del funcionamiento del sistema autolavante**

Se debe cumplir para el número de filtros adoptado, que el caudal necesario para lavar una unidad (Q_L) sea menor o igual al caudal total que produce la planta; esto con el propósito de garantizar la expansión del lecho (Silva, 1973). Luego:

$$Q_L \leq Q_t$$

El caudal de lavado se calcula de acuerdo con la velocidad ascensional para lavado y el área total de filtración:

$$Q_L = V_s * A_f$$

$$Q_L = \left(\frac{0,612m}{min} * 1,81m^2 \right) / 60s$$

$$Q_L = 0,0185 m^3/s$$

El valor del caudal de lavado es menor al caudal de PTAP lo que garantiza entonces que el sistema es autolavante.

Si se considera un tiempo de lavado de 10 minutos el volumen será igual a:

$$V_l = 0,0185 \frac{m^3}{s} * 10min * \frac{60s}{1 im} = 11,1 m^3$$

- **Frecuencia de lavado de los filtros:**

Se adopta una carrera de filtración igual a 24 horas para la condición más desfavorable de calidad de agua en época de invierno. Como se cuenta con una batería de filtración, compuesta por cuatro filtros autolavantes de tasa declinante; el programa de lavado con diferencias de cada 6 horas para los 4 filtros.

Para evaluar las pérdidas del sistema de lavado de cada unidad de filtración (tasa de lavado = 10,2 mm/s), se utilizan las siguientes expresiones:

- **Perdida de carga por fricción a través del lecho fluidizado:**

$$h_1 = L(1 - e) * (s - 1)$$

Donde:

L= Profundidad de lecho fijo, m.

e = porosidad del lecho fijo, m.

S = sección transversal del lecho m².

Para el cálculo de la pérdida de carga en lecho de arena se adopta una porosidad de 0,4 y una densidad relativa de 2,65 g/cm³ (Romero, 2015).

$$h_{arena} = 0,3(1 - 0,40) * (2,65 - 1) = 0,3 m$$

Para el cálculo de la pérdida de carga en lecho de antracita se adopta una porosidad de 0,51 y una densidad relativa de 1,40 g/cm³ (Silva, 1973).

$$h_{antracita} = 0,4(1 - 0,51) * (1,40 - 1) = 0,01 m$$

- **Perdida de carga a través del lecho de grava:**

Se asume un valor de pérdida de carga equivalente a 0,45m (Romero, 2015)

$$h_2 = \frac{V_b L}{3} = \frac{0,612 * 0,4}{3} = 0,082m$$

Donde V_b es la velocidad de lavado en m/s.

En la tabla 6-15 se presenta el resumen de la memoria de cálculo de las unidades de filtración.

- **Perdida del sistema de drenaje:**

$$h_3 = \frac{1}{2g} * \left(\frac{V_b}{\beta * \alpha} \right)^2$$

Donde:

β = Relación entre el área total de orificios y el área de lecho, generalmente 0,6% (Romero, 2015)

α = coeficiente del orificio, generalmente 0,6 (Romero, 2015).

$$h_3 = \frac{1}{2 * 9.81} * \left(\frac{0,102}{0,6 * 0,006} \right)^2 = 0.41m$$

- **Perdida en la tubería, válvulas y controlador:**

$$h_4 = f * \frac{L}{D} * \frac{1}{2 * g} * \left(\frac{4 * A * V_b}{\pi * D^2} \right)^2$$

Donde:

f = factor de fricción.

g = aceleración de la gravedad m/s².

L = Longitud de la tubería equivalente, m.

A= área del lecho filtrante, m².

D = diámetro, m.

$$h_4 = 0.02 * \frac{28}{0.1016} * \frac{1}{2 * 9.81} * \left(\frac{4 * 1.814 * 0.102}{\pi * 0.1016^2} \right)^2 = 1.458m$$

$$Ht = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 = 2.26 m$$

La altura de cada filtro es de 4,00 m valor mínimo superior a la sumatoria total de las pérdidas de energía halladas anteriormente.

En la tabla anterior se 6-15 se presenta el resumen de la memoria de cálculo de cada unidad filtrante.

Tabla 6-15. Granulometría lechos filtrantes.

PARÁMETRO	NOTACIÓN	VALOR	UNIDAD
Caudal de diseño	Qt	0,021	m ³ /s
Número de filtros	N	4	-
Tasa media de filtración (MinVivienda, 2017)	q _{med}	180-350	m ³ /m ² /día
Velocidad ascensional para lavado	V _a	0,60	m/min
Caudal máximo por unidad	Qd	0,00525	m ³ /s
Área total de filtración	At	7,26	m ²
Área cada unidad de filtración	Af	1,81	m ²
Diámetro	∅	1,52	m
Profundidad	P	2.50	m
Espesor lecho filtrante	H	0,70	m
Espesor arena	Ha	0,3	m
Espesor Antracita	Ht	0,4	m
Espesor soporte de grava	Hg	0,4	m
Caudal de lavado	QL	0,0185	m ²
Carrera de filtración	F	24	h

6.6. SISTEMA DE DESINFECCIÓN.

Se debe implementar un sistema eficiente de desinfección de cloro líquido diluido en una concentración del 5%. Este producto será dosificado con una bomba peristáltica para garantizar la dosis óptima del mismo.

6.7. SISTEMA DE MANEJO DE LODOS.

Para el tratamiento de los lodos producidos en las unidades de floculación-sedimentación y las aguas de lavado provenientes de los filtros autolavantes, se precede a diseñar un espesador de lodos, el cual funcionará por lotes cada 6 horas. El lodo producido pasará a lechos de secado para su posterior deshidratación.

A continuación, se presenta la memoria de diseño de las unidades en consideración:

En la tabla 6-13 se presentan los parámetros de diseño para el tanque espesador de lodos,

Tabla 6-16. Parámetros de diseño del tanque espesador de lodos.

PARÁMETRO	NOTACIÓN	VALOR/RANGO	UNIDAD
Caudal de lavado de los filtros	Q_L	18,5	L/s
Tiempo máximo de lavado de los filtros	t	10	min
Concentración media de salida (0,1%) (lotes de 6 horas)	L	1,2	kg/m ³
Profundidad (MinVivienda, 2017)	HL	0,3-0,9	m
Concentración de lodos (3%) (lotes de 6 horas)	L	30	kg/m ³
Tasa superficial	K	3,0	m

- Volumen de lodo producido en los sedimentadores, V_s :

$$V_s = \frac{\pi * \varnothing^2}{4} * Hl * N = 7,16 \text{ m}^3$$

Donde,

\varnothing = diámetro zona de lodos = 3,0 m

Hl= altura zona de lodos = 0,5 m

N= número de sedimentadores = 2

- Caudal evacuado por el orificio de purga del sedimentador, Q_s :

Para hallar el caudal que se evacúa por el orificio de extracción de lodos de cada unidad de floculación-sedimentación, se utilizará la expresión del orificio sumergido con una lámina de agua constante instantánea (al momento de purgar).

$$Q_s = C_d * a * \sqrt{2 * g * h_o} = 39,7 \text{ l/s}$$

Donde,

C_d = Coeficiente de descarga =0.6

\varnothing = diámetro del orificio =6 pul

a = área del orificio =0,018 m²

g = gravedad =9,81 m/s²

h_o = carga hidráulica sobre el orificio =0,67 m

Tiempo de purga en el sedimentador, t_p :

Se calcula el tiempo necesario para purgar el lodo producido en cada unidad de floculación-sedimentación, considerando el caudal instantáneo a evacuar y el volumen de lodo generado:

$$T_p = \frac{V_s}{Q_s} = 90,3s$$

- Volumen producido por el lavado de un filtro:

$$V_f = Q_l * T_{lf} = 11,1m^3$$

- Dimensionamiento del espesador de lodos:

$$V_{esp} = V_s + V_f = 7,16 + 11,1 = 18,26 m^3$$

- El área requerida se calcula como:

$$A = \frac{V_{esp}}{K} = 6,06 m^2$$

Esta estructura será circular, por lo cual se tiene que el diámetro del espesador, Φ_{esp} es:

$$\Phi_{esp} = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = 2,8m$$

- Volumen del lodo espeso

$$V1C1 = V2C2$$

$$V2 = \frac{18,26 * 0,1\%}{3,0\%} = 0,73 m^3$$

- Altura del espesador

El espesador de lodos en consideración tiene una zona troco-cónica en la parte inferior para el almacenamiento del lodo concentrado. La altura de esta sección se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$V2 = \frac{\pi * ht * (R^2 + r^2 + r * R)}{3} = 0,73 m^3$$

R= radio de la zona superior = 2,80 m

r= radio inferior de la zona

ht= altura de la zona

Se itera el valor de ht y de r hasta obtener el volumen calculado. Así:

$$ht = 0,1 \text{ m}$$

$$r = 0,59 \text{ m}$$

- **Diseño de los lechos de secado**

Para el diseño de los lechos de secado se estimó la cantidad de lodos que se generan anualmente; para esto, se consideraron los cuatro lotes de operación del espesador de lodos. La producción anual de lodos que se pretende deshidratar en los lechos es:

$$Vl = 073 \text{ m}^3 * 4 * 365$$

$$Vl = 1065,8 \text{ m}^3$$

Considerando que la densidad de lodo es de 1020 kg/m^3 , se tiene una masa anual de lodos M_L y una masa anual de sólidos M_s , respectivamente de:

$$Ml = 1087116 \text{ kg/año}$$

$$Ms = 32613,48 \text{ kg/año}$$

Para estimar el área requerida para la deshidratación de los lodos hasta la concentración deseada, se debe tener en cuenta la evaporación promedio en la zona, la cual es de 1500 mm , aproximadamente. El espesor de lodo aplicado no debe exceder los $0,3 \text{ m}$ y la concentración final del lodo es del $15 - 30\%$. Para el diseño actual se requiere una concentración del 30% .

$$At = \frac{Vl}{n * Df} = 355,3 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{At}{4} = 88,82 \text{ m}^2$$

$$\emptyset_{esp} = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = 10,63 \text{ m}$$

Se diseñan cuatro lechos de secado cada uno con un diámetro de $10,63 \text{ m}$.

- **Carga superficial**

$$CS = \frac{Ms}{A} = \frac{32613,48 \text{ kg}}{355,3 \text{ m}^2 * \text{año}} = 91,79 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2 * \text{año}}$$

En la tabla 6 -17 se presente el diseño de los lechos de secado.

Tabla 6-17. Parámetros de los lechos de secado de lodos.

PARÁMETRO	NOTACIÓN	UNIDAD	VALOR
Volumen de lodos (4 espesadores)	VL	m ³ /día	12,18
Densidad del lodo	ρ	kg/m ³	1020
Masa de lodos	ML	kg/año	1087116
Concentración de lodos	CLi	%	3
Masa de sólidos	Ms	kg/año	32613,48
Concentración final en los lechos	CLf	%	30
Tasa de evaporación anual	E	mm/año	1500
Área requerida para el lodo producido	A	m ²	355,3
Carga superficial	Cs	kg/m ² *año	91,79
Número de lechos	N	-	4
Área por lecho	AL	m ²	88,82
Diámetro del lecho	Φ L	m	10,63

En la ilustración 26 se observa el perfil de sistema seleccionado, por otra parte, en la ilustración 27 se presenta una vista en planta de la PTAP del corregimiento de Bellavista (cabecera municipal).

ilustración 26. Perfil sistema alternativo Bellavista.

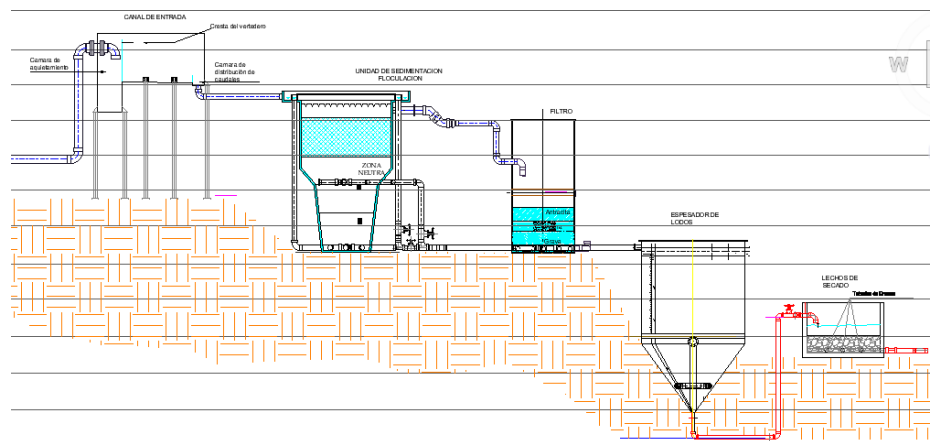
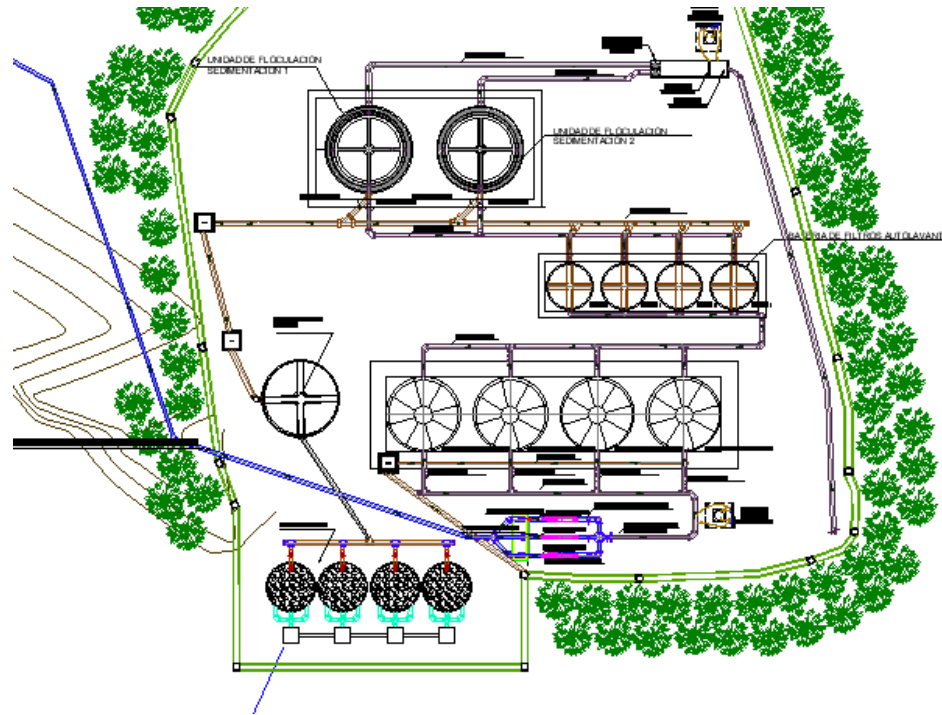


Ilustración 27. Vista en planta sistema alternativo Bellavista.



7. CONCLUSIONES.

Dentro del análisis realizado, la población de diseño para el sistema alternativo de tratamiento de agua potable del corregimiento de Bellavista en el municipio de Bojayá para el año de frontera (2045) es 7623 personas, este valor representa el crecimiento demográfico de la cabecera municipal.

Según los parámetros establecidos en la resolución 0330 del año 2017, el caudal de diseño (máximo diario) para la población proyectada es de 21 L/s.

La calidad del agua cruda proveniente de la quebrada “Todos no van” tiene un pH= 5,7, la turbiedad de la muestra tomada es de 11 UNT, el hierro total fue de 0,61 mg/L Fe. Se concluye que los valores obtenidos son superiores a los límites permisibles considerados para consumo humano de acuerdo con lo establecido en la resolución 2115 del 22 de junio de 2007

Los valores de cloruros, sulfatos y dureza total se encuentran por debajo de los límites de la normatividad legal vigente.

En conclusión, el sistema de tratamiento de agua potable para el corregimiento de Bellavista más viable es un sistema convencional construido en fibra de vidrio, dada las condiciones de la zona y su difícil acceso.

En conclusión, el sistema seleccionado de tratamiento está compuesto por una cámara de quietamiento, un dispositivo de mezcla rápida y aforo de caudal, 2 floculadores de lecho poroso, 2 sedimentadores con paneles de decantación en poliestireno tipo colmena (tubos cuadrados), 4 filtros autolavantes de tasa declinante, un sistema de cloración, una unidad de espesamiento de lodos y 4 unidades de lechos de sacado.

La cámara de quietamiento posee un área total de 0,49 m², una altura de 0,7 m y un tiempo de retención de 35 s.

La unidad de mezcla rápida, vertedero rectangular sin contracciones tiene un ancho de 0,5 m y una altura de 1,0 m y la longitud de mezcla (Lm) igual a 1,45 m.

En las unidades de floculación el valor promedio de gradiente de velocidad es aproximadamente 40 s⁻¹, cada unidad está conformada por tres secciones, la sección de entrada posee un diámetro de 2,23 m, la sección media uno de 2,74 m y la de salida de 2,99 m, la altura de cada una de las secciones es de 1,5 m.

Cada sedimentador posee un tiempo de retención igual a 10,82 minutos, 50 módulos cuadrados de poliestireno de 1,2m de longitud, una carga superficial equivalente a 159, 74 m³/d y un diámetro de 3,0 m.

Las unidades de filtración tienen una profundidad de 2,50 m y un diámetro de 1,52 m. El espesor del lecho filtrante es de 0,70 m, conformado por 0,30 m de arena, 0,4 m de antracita y 0,4 m de grava. El caudal de lavado corresponde a 0,0185 m³/s y la carrera de filtración es de 24 horas.

Se requieren 4 unidades de lechos de secado cada uno con un área disponible de 88, 82 m² y un diámetro de 10,63 m para una carga superficial de 91,79 kg/m²*año.

8. BIBLIOGRAFÍA.

- Alcaldía de Bojayá. (2016). *Plan de Desarrollo del Municipio de Bojayá*. Bojayá. Obtenido de https://bojayachoco.micolombiadigital.gov.co/sites/bojayachoco/content/files/000022/1053_plan-de-desarrollo-municipio-de-bojaya-20162019.pdf
- Alcaldía de Bojayá. (2017). *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2020*. BOJAYÁ
- APA. (2 de 12 de 2019). *American Planning Association*. Obtenido de *American Planning Association*: <https://www.planning.org/pas/reports/report17.htm>
- Ayhan, H. O. (2018). *Population Projection and Adjustment Methodologies for Household Sample Surveys: an Overview of Methodology*. *Annals of Biostatistics & Biometric Applications* , 1-4.
- Chow, V. T. (1994). *Hidraulica de canales abiertos*. Illinois: McGraw-Hill.
- DANE. (22 de 11 de 2019). *Boletín Censo General del DANE 2005*. Obtenido de *Departamento Administrativo Nacional de Estadística*: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018/cuantos-somos>
- ICONTEC. (2010). *Material Filtrante Granular*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- (2010). *INFORME DEL GRUPO DE MEMORIA HISTORIA DE LA COMISIÓN NACIONAL DE REPARACIÓN Y RECONCILIACIÓN*. Bogotá: Ediciones Semana.
- Klinger, W. (2011). *ESTRUCTURA ECOLÓGICA PRINCIPAL DE LA REGIÓN DEL CHOCÓ BIOGEOGRÁFICO*. QUIBDÓ.
- Luis, S. (1973). *Diseño de plantas de purificación de aguas*. Universidad Javeriana. Bogotá.
- Marco, L., Azario, R., & Metzler Celia, G. M. (2004). *La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadoras a partir de fuentes superficiales*. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 4: 72-82 (2004), 72
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2006). *PLAN DE MANEJO PARQUE NACIONAL NATURAL UTRIA 2005 - 2009*. Bahía Solano.
- MINSALUD. (2016). *INSTITUTO NACIONAL DE SALUD*. Obtenido de <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2016%20Enfermedades%20%20vehiculizadas%20por%20agua%202015.pdf>

- MinVivienda. (2000). Reglamento Técnico del sector de Agua Potable Saneamiento Basico-RAS. Colombia: Ministerior de Vivienda Ciudad y Territorio.*
- MinVivienda. (2017). Resolución 0330. Colombia: Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio.*
- ONU. (23 de marzo de 2015). Perfil Productivo Municipio Pojayá - Chocó. Choco. Obtenido de https://issuu.com/pnudcol/docs/perfil_productivo_bojay__*
- ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD. (2012). Estudio de calidad de fuentes utilizadas para consumo humano por contaminacion por uso domestivo y agroquímicos. Lima: Ecofluidos Ingenieros S.A.*
- Ricardo, López. (2015). Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Bogotá: Escuela Colombiana de ingeniería.*
- Romero, J. (2015). Prurificación del Agua. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.*
- The International City Managers Association. (1948). LOCAL PLANNING ADMINISTRATION. Illinois.*
- Velásquez, M., & Poveda, G. (27 de 11 de 2019). Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v86n208/0012-7353-dyna-86-208-297.pdf>*
- Weather Spark. (2020). Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/21546/Clima-promedio-en-Bellavista-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>*