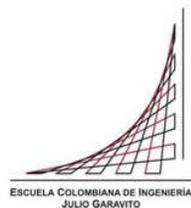


Maestría en Ingeniería Civil

**Evaluación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del
Sector La Loma del Cabí, en el Municipio De Quibdó**

Oscar Eduardo Guerrero Chapal

Bogotá D.C., 24 de mayo de 2017



**Evaluación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del
Sector La Loma del Cabí, en el Municipio De Quibdó**

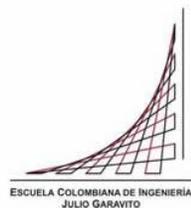
**Tesis para Optar al Título de Magíster en Ingeniería Civil, con
Énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente**

**Ing. Jairo Alberto Romero Rojas
Director**

**Ing. María Paulina Villegas de Brigard
Jurado**

**Ing. Héctor Alfonso Rodríguez Díaz
Jurado**

Bogotá D.C., 24 de mayo de 2017



La tesis de maestría titulada “Evaluación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Sector La Loma del Cabí, en el Municipio De Quibdó”, presentada por Oscar Eduardo Guerrero Chapal, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magister en Ingeniería Civil con énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente.

Director de la Tesis
Ing. Jairo Alberto Romero Rojas

Jurado
Ing. María Paulina Villegas de Brigard

Jurado
Ing. Héctor Alfonso Rodríguez Díaz

Bogotá D.C., 24 de mayo de 2017

Dedicatoria

La vida tiene diferentes metas, hoy que cumpla una de ellas, quiero dedicársela a DIOS, quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerza, tolerancia y constancia en todos los momentos difíciles que se presentaron, enseñándome a enfrentar las adversidades sin perder la dignidad ni desfallecer en el intento. A mis PADRES, que con su esfuerzo y dedicación me orientaron por el camino correcto.

Agradecimientos

A Dios por haberme permitido llegar a esta instancia mejorando mi vida personal y profesional, a mis Padres por apoyarme en todo momento, a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito por acogerme y formarme, al Ingeniero Jairo Romero Rojas por su ayuda y acompañamiento en el desarrollo de este trabajo.

Resumen

En el desarrollo del presente trabajo de grado, inicialmente se realizó la descripción completa de cada proceso existente en la planta de tratamiento de la Loma del Cabí, determinado con detalle las dimensiones y características de los mismos, desde la entrada del agua cruda hasta su potabilización.

Igualmente, se determinó los caudales de operación de la planta potabilizadora, evaluando la demanda de agua correspondiente a la zona de abastecimiento, mediante estudios propios de proyección y estimación de la población y demanda, estructurada y enmarcada de acuerdo a la Resolución 1096 de 2000 en lo que concierne a la Proyección de Población y conforme a la Resolución 2320 de noviembre de 2009 y los registros de consumos, en lo que a estimación de la dotación y demanda compete.

Posteriormente, se evaluó la caracterización tanto de agua cruda como tratada, analizando los parámetros fisicoquímicos más representativos de acuerdo con los registros de laboratorio realizados por Aguas del Atrato en el año 2015. De donde se pudo evidenciar que durante este periodo la planta de la Loma suministro agua potable cumpliendo con los criterios de la norma colombiana.

Finalmente, se realizó la evaluación hidráulica de los procesos que conforman el sistema de tratamiento de agua potable La Loma, identificando la conformidad de los parámetros de diseño de la normatividad vigente con los de operación, determinando los requerimientos necesarios presentando conclusiones y formulando las recomendaciones pertinentes.

Índice General

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	13
1. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE LA LOMA.....	14
1.1 Proceso de Coagulación.....	15
1.2 Floculación.....	17
1.3 Sedimentación.....	20
1.3.1 Zona de entrada.....	20
1.3.2 Zona de Sedimentación.....	21
1.3.3 Zona de Salida.....	21
1.3.4 Zona de recolección de lodos.....	22
1.4 Filtración.....	22
1.5 Desinfección.....	24
1.6 Laboratorio.....	24
2. PROYECCIÓN DE POBLACIÓN Y DEMANDA.....	26
2.1 Proyección de Población.....	27
2.1.1 Método Aritmético.....	28
2.1.2 Método Geométrico.....	33
2.1.3 Método Exponencial.....	37
2.1.4 Método Geométrico con Ajuste Lineal de la Tasa de Crecimiento.....	42
2.1.5 Método de los Componentes.....	43
2.1.6 Método de los Cohortes.....	49
2.1.7 Resumen de los Métodos de Proyección.....	51
2.1.8 Verificación de Proyecciones de Población al Año 2005.....	54
2.1.9 Método Adoptado.....	58
2.1.10 Ajuste de las Proyecciones de Población al Año 2009.....	60
2.1.11 Población Flotante.....	63
2.1.12 Población Proyectada con Población Flotante.....	64
2.1.13 Población Proyectada Sector Centro.....	65
2.1.14 Definición del Nivel de Complejidad.....	66
2.2 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA.....	67
2.2.1 Dotación Neta.....	67
2.2.2 Dotación Bruta.....	67
2.2.3 Proyección de Caudales.....	68

3. CALIDAD DEL AGUA CRUDA.....	69
4. CALIDAD DE AGUA TRATADA.....	75
5. EVALUACIÓN PROCESOS DE TRATAMIENTO	80
5.1 Proceso de Coagulación.	80
5.2 Proceso de Floculación.	81
5.3 Proceso de Sedimentación.....	86
5.3.1 Evaluación Zona de Sedimentación.....	88
5.3.2 Evaluación Zona de Repartición a la Zona de Sedimentación Acelerada.	90
5.3.3 Evaluación Zona de Salida.	94
5.4 Proceso de Filtración.....	94
5.5 Desinfección del Agua.....	95
5.5.1 Laboratorio.	96
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
BIBLIOGRAFÍA.....	98

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-1. Dimensiones Cámaras del Floculador, Unidad Izquierda Sentido de Flujo entrada del Agua.....	17
Tabla 1-2. Dimensiones Cámaras del Floculador, Unidad Derecha Sentido de Flujo entrada del Agua.....	18
Tabla 1-3. Orificios de Interconexión Floculador Izquierdo.....	19
Tabla 1-4. Orificios de Interconexión Floculador Derecho.....	19
Tabla 1-5. Características de los Sedimentadores.....	21
Tabla 1- 6. Dimensiones de los Filtros.....	22
Tabla 2-1. Información Censal del Municipio de Quibdó.....	26
Tabla 2-2. Proyecciones de Población Método de Crecimiento Aritmético Municipio De Quibdó.....	32
Tabla 2-3. Proyecciones de Población Método de Crecimiento Geométrico Municipio de Quibdó.....	36
Tabla 2-4. Proyecciones de población método de crecimiento exponencial Municipio de Quibdó.....	41
Tabla 2-5. Estimación de la población por el método geométrico de tasa variable en el Municipio de Quibdó.....	43
Tabla 2-6. Indicadores Demográficos para el Departamento de Chocó período 2005 – 2020.....	45
Tabla 2-7. Proyecciones de población método de los componentes para el Municipio de Quibdó.....	49
Tabla 2-8. Proyecciones de población del DANE para el Municipio de Quibdó.....	51
Tabla 2-9. Resumen proyecciones de población para el Municipio de Quibdó.....	52
Tabla 2-10. Resumen Métodos de Proyección Poblacional.....	54
Tabla 2-11. Verificación de proyecciones de población al año 2005 - Método de crecimiento aritmético Municipio de Quibdó.....	55

Tabla 2-12. Verificación de proyecciones de población al año 2005 - Método de crecimiento geométrico Municipio de Quibdó	55
Tabla 2-13. Verificación de proyecciones de población al año 2005 - Método de crecimiento exponencial Municipio de Quibdó.....	56
Tabla 2-14. Verificación de proyecciones de población al año 2005 - Método de los componentes municipio de Quibdó	57
Tabla 2-15. Resumen de verificación de proyecciones de población al año 2005 Municipio de Quibdó	57
Tabla 2-16. Proyecciones de Población métodos aceptados	59
Tabla 2-17. Estimación Ajustada de La Población Por El Método Geométrico De Tasa Variable En El Municipio De Quibdó.....	63
Tabla 2-18. Proyecciones de Población incluyendo población flotante	65
Tabla 2-19. Proyección de Población Sector Centro.....	66
Tabla 2-20. Proyección de Caudales	68
Tabla 3-1. Valores de Turbiedad del Agua Cruda Año 2015	69
Tabla 3-2. Valores de Color del Agua Cruda Año 2015.....	71
Tabla 3-3. Valores de pH del Agua Cruda Año 2015	72
Tabla 3-4. Valores de Alcalinidad del Agua Cruda Año 2015.....	73
Tabla 4-1. Resultados Monitoreo Agua Tratada Año 2015.....	75
Tabla 4-2. Informe de Análisis de Agua Cruda y Tratada.....	79
Tabla 5-1. Demanda de Agua Potable Zona Centro Acueducto.....	80
Tabla 5-2. Orificios de Interconexión Floculador Izquierda Sentido de Flujo Entrada del Agua	82
Tabla 5-3. Orificios de Interconexión Floculador Derecha Sentido de Flujo Entrada del Agua	82
Tabla 5-4. Gradientes Puntuales Orificios de Interconexión, Floculador Izquierdo.....	85
Tabla 5-5. Gradientes Puntuales en los Orificios de Interconexión, Floculador Derecho..	85
Tabla 5-6. Evaluación Ingreso a la Zona de Sedimentación Acelerada.....	93
Tabla 5-7. Dimensiones de los Filtros y la Velocidad de Lavado del Planta La Loma	94

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-1. Diagrama de Flujo de la Planta de Tratamiento de Agua Potable La Loma ...	14
Figura 1-2. Planta de Tratamiento de La Loma.....	14
Figura 1-3. Cámara de Llegada y Adición del Coagulante	15
Figura 1-4. Dosificadores en Solución del Coagulante.....	16
Figura 1-5. Orificios de Interconexión entre Cámaras del Floculador	18
Figura 1-6. Sedimentador Planta La Loma.....	20
Figura 1-7. Orificio del paso de Agua entre el Floculador y el Sedimentador	20
Figura 1-8. Zona de entrada al Sedimentador.....	21
Figura 1-9. Zona de Salida del Sedimentador.....	22
Figura 1-10. Ingreso a los Filtros Rápidos.....	23
Figura 1-11. Desinfección del Agua Planta La Loma	24
Figura 1-12. Laboratorio Físicoquímico.....	24
Figura 2-1. Tendencias de Crecimiento Aritmético para Diferentes Tasas de Cálculo Dependiendo del Año de Censo Inicial.....	33
Figura 2-2. Tendencias de crecimiento geométrico para diferentes tasas de cálculo dependiendo del año de censo inicial.....	37
Figura 2-3. Tendencias de crecimiento exponencial para diferentes tasas de cálculo dependiendo del año de censo inicial.....	42
Figura 2-4. Tendencias de crecimiento poblacional para diferentes métodos de proyección en el Municipio de Quibdó.....	53
Figura 2-5. Verificación de proyecciones de población al año 2005 en el municipio de Quibdó	58

LISTADO DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Valores de Turbiedad del Agua Cruda.....	70
Gráfica 2. Valores de Color del Agua Cruda	71
Gráfica 3. Valores de pH del Agua Cruda	72
Gráfica 4. Valores de Alcalinidad del Agua Cruda.....	74
Gráfica 5. Turbiedad del Agua Cruda y Agua Tratada Año 2015	76
Gráfica 6. Color del Agua Cruda y Agua Tratada Año 2015	76
Gráfica 7. Alcalinidad del Agua Cruda y Agua Tratada Año 2015	77
Gráfica 8. Cloro Residual Libre del Agua Tratada Año 2015	77
Gráfica 9. Potencial de Hidrogeno pH del Agua Cruda y del Agua Tratada Año 2015	78

Introducción

El agua es el elemento más importante para la vida de todos los seres que habitamos este planeta; constituye un servicio básico indispensable para garantizar una buena calidad de vida. Lamentablemente, en el Municipio de Quibdó, a pesar de contar con infraestructura de potabilización, la cobertura y la calidad del agua aún es deficiente, factor que actúa en detrimento del bienestar de la población, generando tasas de mortalidad infantil 3,5 veces mayor que la media nacional.

No podemos seguir adoptando la posición de culpar a los operadores como los únicos responsables del pobre funcionamiento de la planta de tratamiento de agua potable existente en el sector de la Loma del Cabí, es cierto que se debería capacitar este personal, pero es apropiado evaluar en forma crítica el diseño de la misma analizando el comportamiento hidráulico y de proceso.

En este trabajo se identifica cada uno de los componentes que integran la planta de tratamiento de agua potable del sector la Loma del Cabí, en el municipio de Quibdó, atendiendo los criterios estipulados en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2000, y sus decretos modificatorios y demás reglamentaciones del sector

1. Planta de Tratamiento de Agua Potable La Loma

La planta de tratamiento de agua potable La Loma o Loma del Cabí, se encuentra localizada en un predio del barrio Niño Jesús. Cuenta con una capacidad nominal de diseño de 125 en L/s abasteciendo los sectores de Centro, La 20, Margarita, Medrano Bajo y San Martín. La planta corresponde a un sistema de tipo convencional en la que se realizan los procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. A continuación, se ilustra el diagrama de flujo de la planta:

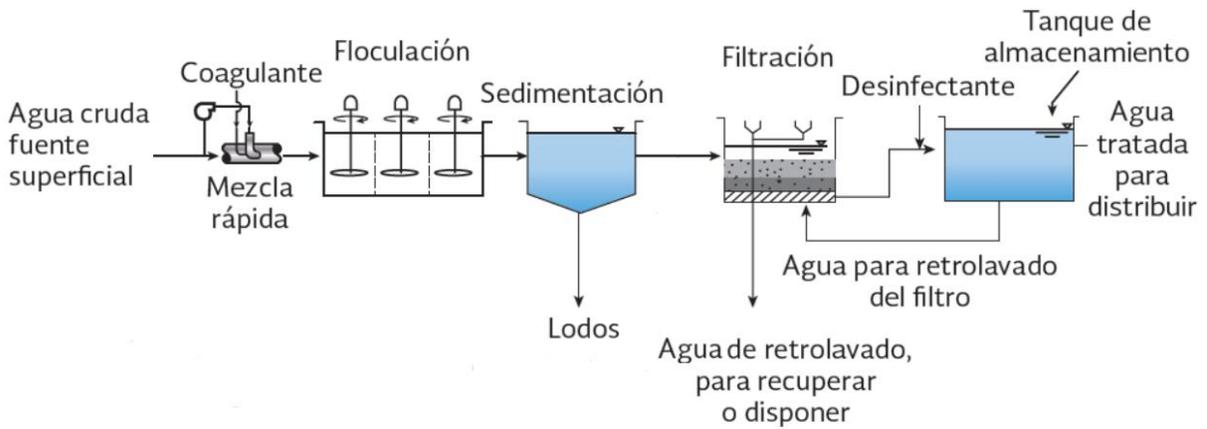


Figura 1-1. Diagrama de Flujo de la Planta de Tratamiento de Agua Potable La Loma

Fuente: Esta Investigación.



Figura 1-2. Planta de Tratamiento de La Loma

Fuente: Esta Investigación.

1.1 Proceso de Coagulación

El agua cruda proveniente del río Cabí es conducida mediante una tubería de asbesto cemento de 14" de diámetro mediante un sistema de bombeo a una cámara de llegada que sirve de cámara de aquietamiento de 1,50 m de ancho, 2,34 m de longitud y 3,60 m de profundidad, de donde el agua pasa a través de un vertedero rectangular de 0,41 m de longitud pasando el agua por la parte inferior de un baffle de 1,50 m de ancho y 0,27 m de espesor a una caja de agua coagulada desde la cual el agua pasa a un canal rectangular que conduce el agua al sistema de floculación hidráulica.

En el punto de salida del agua, antes del vertedero rectangular, se realiza la aplicación de los productos químicos utilizados para el tratamiento del agua: el hidroxiclورو de aluminio y la cal para el ajuste del pH.

El coagulante utilizado es hidroxiclورو de aluminio, el cual es agregado utilizando una bomba de trasiego. De acuerdo con la información recolectada en la planta de tratamiento, el día de la visita técnica, el mes de mayo del año 2016 fue el mes que se dosificó mayor cantidad de coagulante, se dosificó un total de 2.905 L de hidroxiclورو de aluminio con un promedio diario de 93,71 L por día.



Figura 1-3. Cámara de Llegada y Adición del Coagulante

Fuente: Esta Investigación.

Según información recolectada en campo, de los Operadores de la planta, en época de invierno el rango de dosificación promedio es de 25 - 28 mg/L para un rango de turbiedad de 60 - 80 UNT. Sin embargo, estos valores dependen de la turbiedad del agua cruda. En época de verano el rango promedio de dosificación es de 15 – 20 mg/L para un rango de turbiedad de 20 - 30 UNT. El día de la visita se realizó un aforo a la solución de alumbre que se estaba dosificando en el canal, se encontró que se estaba dosificando 1,53 ml/s. Cuando se presentan turbiedades mayores a 1.000 UNT la planta de tratamiento opera en forma normal sin presentar ninguna dificultad, sin embargo; el lavado de esta unidad debe hacerse antes de los seis meses por que se presenta mucho sedimento.

Para la mezcla rápida el coagulante con el agua, se aprovecha el resalto hidráulico que se produce en la caída del agua a través del vertedero rectangular de 0,41 m de longitud. La aplicación del coagulante al agua, se realiza antes del vertedero, antes del punto de mezcla rápida.

Una vez coagulada el agua, es conducida mediante un canal rectangular de 0,57 m de ancho y 0,75 m de altura. La longitud del canal es de 20 metros aproximadamente.



Figura 1-4. Dosificadores en Solución del Coagulante

Fuente: Esta Investigación.

1.2 Floculación

El proceso de floculación de la planta de potabilizadora del sector Loma, se realiza mediante dos unidades de floculación hidráulica de flujo vertical tipo Alabama, Cada floculador está constituido por 12 cámaras que trabajan en serie.

Del canal de aguas coaguladas, el agua ingresa por medio de un orificio de 0,30 m de ancho y 0,40 m de altura a cada floculador. Las cámaras de cada floculador tienen las siguientes características:

Tabla 1-1. Dimensiones Cámaras del Floculador, Unidad Izquierda Sentido de Flujo entrada del Agua

Cámara de Floculación	Ancho (m)	Largo (m)	Profundidad útil (m)	Volumen útil (m)
1	1,87	1,58	2,66	7,86
2	2,12	1,58	2,64	8,84
3	2,16	1,58	2,53	8,63
4	1,87	1,49	2,75	7,66
5	2,12	1,49	2,74	8,66
6	2,16	1,49	2,69	8,66
7	1,87	1,51	2,72	7,68
8	2,12	1,51	2,71	8,68
9	2,16	1,51	2,71	8,84
10	1,87	1,48	2,70	7,47
11	2,12	1,48	2,71	8,50
12	2,16	1,48	2,62	8,38

Fuente: Esta Investigación.

Tabla 1-2. Dimensiones Cámaras del Floculador, Unidad Derecha Sentido de Flujo entrada del Agua

Cámara de Floculación	Ancho (m)	Largo (m))	Profundidad útil (m)	Volumen útil (m)
1	1,87	1,58	2,39	7,06
2	1,90	1,58	2,39	7,17
3	2,33	1,58	2,73	10,05
4	1,87	1,49	2,66	7,41
5	1,90	1,49	2,66	7,53
6	2,33	1,49	2,68	9,30
7	1,87	1,51	2,66	7,51
8	1,90	1,51	2,69	7,72
9	2,33	1,51	2,63	9,25
10	1,87	1,48	2,62	7,25
11	1,90	1,48	2,50	7,03
12	2,33	1,48	2,60	8,97

Fuente: Esta Investigación.

Los orificios de interconexión entre las cámaras del floculador presentan dos dimensiones: una sección rectangular en el orificio de interconexión o pasamuro entre las dos cámaras y un tramo recto a manera de codo en sección cuadrada dentro de la cámara contigua como se muestra en la siguiente figura:



Figura 1-5. Orificios de Interconexión entre Cámaras del Floculador

Fuente: Esta Investigación.

En la Tabla 1-3 y Tabla 1-4, se presentan las dimensiones de los orificios de interconexión de los dos floculadores hidráulicos.

Tabla 1-3. Orificios de Interconexión Floculador Izquierdo

Interconexión	Sección orificio de interconexión (m)	Sección Tramo recto (m x m)	Altura tramo recto (m)
1 a 2	0,40 x 0,37	0,37x 0,37	2,53
2 a 3	0,34 x 0,34	0,41 x 0,44	2,53
3 a 4	0,37 x 0,34	0,41 x 0,46	2,53
4 a 5	0,44 x 0,41	0,48 x 0,44	2,53
5 a 6	0,44 x 0,45	0,45 x 0,49	2,53
6 a 7	0,44 x 0,49	0,45 x 0,48	2,53
7 a 8	0,46 x 0,46	0,47 x 0,49	2,53
8 a 9	0,53 x 0,52	0,54 x 0,58	2,53
9 a 10	0,54 x 0,52	0,57 x 0,60	2,53
10 a 11	0,55 x 0,51	0,55 x 0,55	2,53
11 a 12	0,50 x 0,56	0,60 x 0,54	2,53
12 a canal salida	0,40 x 0,70		

Fuente: Esta Investigación.

Tabla 1-4. Orificios de Interconexión Floculador Derecho

Interconexión	Sección orificio de interconexión (m)	Sección Tramo recto (m x m)	Altura tramo recto (m)
1 a 2	0,34 x 0,40	0,37 x 0,37	2,53
2 a 3	0,40 x 0,32	0,34 x 0,40	2,53
3 a 4	0,38 x 0,37	0,40 x 0,39	2,53
4 a 5	0,43 x 0,43	0,45 x 0,48	2,53
5 a 6	0,43 x 0,44	0,50 x 0,33	2,53
6 a 7	0,48 x 0,43	0,44 x 0,46	2,53
7 a 8	0,44 x 0,43	0,45 x 0,48	2,53
8 a 9	0,49 x 0,50	0,57 x 0,56	2,53
9 a 10	0,43 x 0,50	0,57 x 0,54	2,53
10 a 11	0,50 x 0,56	0,55 x 0,55	2,53
11 a 12	0,54 x 0,50	0,60 x 0,55	2,53
12 a canal salida	0,40 x 0,70		

Fuente: Esta Investigación.

1.3 Sedimentación

Esta fase de tratamiento está constituida por tres sedimentadores de flujo laminar o de alta tasa, como se puede apreciar en la siguiente figura.



Figura 1-6. Sedimentador Planta La Loma

Fuente: Esta Investigación.

Las estructuras que lo conforman son:

1.3.1 Zona de entrada.

El paso del agua del floculador hidráulico al sedimentador se realiza a través de dos (2) orificios de 0,43 x 0,70 m cada uno.



Figura 1-7. Orificio del paso de Agua entre el Floculador y el Sedimentador

Fuente: Esta Investigación.

La entrada a la zona de decantación se realiza a través de dos ductos de 0,36 metros de diámetro, en el fondo de los ductos existen perforaciones de 6,35 cm de diámetro espaciados cada 24 cm, y en tres hileras por ducto, Figura 1-8.



Figura 1-8. Zona de entrada al Sedimentador

Fuente: Esta Investigación.

1.3.2 Zona de Sedimentación.

La zona de sedimentación está conformada por módulos tubulares fabricados en poliestireno de alto impacto, los cuales cuentan con 60 grados de inclinación y 1,05 metros de altura inclinada, las dimensiones de cada uno, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1-5. Características de los Sedimentadores

Característica	Sedimentador No. 1	Sedimentador No. 2	Sedimentador No. 3
Longitud	7,30 m	7,30 m	7,30 m
Ancho	4,46 m	3,87 m	4,40 m
Área superficial	29,88 m ²	25,93 m ²	29,48 m ²

Fuente: Esta Investigación.

1.3.3 Zona de Salida.

La recolección del agua sedimentada se realiza a través de seis canales, dos por módulo de sedimentación, que descargan sus aguas en un canal central de recolección del agua sedimentada el cual las conduce al sistema de filtración



Figura 1-9. Zona de Salida del Sedimentador

Fuente: Esta Investigación.

1.3.4 Zona de recolección de lodos.

Constituida por una tolva con capacidad de depositar los lodos sedimentados, en el fondo tiene una compuerta de fondo de 0,36 metros de diámetro para su evacuación periódica.

1.4 Filtración

Se cuenta con seis unidades de tasa declinante y lavado mutuo, las características se presentan en la Tabla 1- 6

Tabla 1- 6. Dimensiones de los Filtros

Filtro	Ancho (m)	Longitud (m)	Profundidad (m)	Área (m ²)
1	2,13	3,74	4,44	7,97
2	2,13	3,74	4,44	7,97
3	1,84	3,74	4,44	6,88
4	1,84	3,74	4,44	6,88
5	2,10	3,74	4,44	7,85
6	2,10	3,74	4,44	7,85

Fuente: Esta Investigación.

Los lechos filtrantes son mixtos, es decir, de arena y antracita. Las alturas aproximadas de cada filtro son las siguientes:

- Sistema de drenaje: 0,43 m
- Lecho de grava: 0,24 m
- Lecho de arena: 0,25 m
- Lecho de antracita: 0,50 m



Figura 1-10. Ingreso a los Filtros Rápidos

Fuente: Esta Investigación.

El agua procedente del canal central de recolección de agua sedimentada, ingresa a las unidades de filtración, a través de un orificio de 10 pulgadas de diámetro controlado por una válvula de mariposa. Debajo del canal de entrada, existe un ducto profundo frente a cada unidad, este ducto comunica por medio de dos orificios dejados en la pared frontal, con un canal de intercomunicación de todas las unidades.

La salida del filtro se realiza a través de una cámara de interconexión de los filtros de 0,69 m de largo y 13,25 metros de ancho y dos compuertas laterales localizadas a 2,77 m del fondo que funcionan como vertedero de salida y también permiten regular la admisión del agua de lavado.

1.5 Desinfección

La desinfección del agua se realiza usando cloro gaseoso, el cual se aplica utilizando un dosificador Hydro serie 500



Figura 1-11. Desinfección del Agua Planta La Loma

Fuente: Esta Investigación.

1.6 Laboratorio

La planta de tratamiento de agua potable La Loma, cuenta con laboratorio para el control de la calidad del agua en los parámetros físicos-químicos y bacteriológicos, el área asignada para el laboratorio Físicoquímico es de 11,29 m², y el área disponible para el laboratorio Bacteriológico es de 16,28 m².



Figura 1-12. Laboratorio Físicoquímico

Fuente: Esta Investigación.

Dentro de los equipos con los que cuenta el laboratorio son: Equipo volumétrico, equipo de prueba de jarras, turbidímetro, multiparámetro, colorímetro, kit cloro residual, autoclave y cabina de seguridad

Los análisis que se realizan son: Turbiedad, oxígeno disuelto, alcalinidad, cloro residual, pH, color, E - Coli y Coliformes Totales

2. Proyección de Población y Demanda

El estudio correspondiente a la proyección y estimación de la población y demanda, del cual trata el presente capítulo, está estructurado y enmarcado de acuerdo al Título B literal B.2.2., del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000, en lo que concierne a Proyección de Población y conforme a la Resolución 2320 de noviembre de 2009, en lo que a estimación de la dotación y demanda compete. Estos resultados, son los valores empleados en el estudio de evaluación y diagnóstico técnico de planta.

La información histórica de los registros censales y demográficos del Municipio de Quibdó, son obtenidas a partir de los datos suministrados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas de Colombia DANE, el cual posee en forma depurada los valores de población urbana, rural y total del municipio, el último censo del año 2005 puede ser obtenido en forma magnética con formato tipo Microsoft Excel®, los censos anteriores para los años: 1964, 1973, 1985 y 1993, fueron obtenidos en forma digital escaneados por el DANE, y descargados desde la página de Internet: www.dane.gov.co. Los valores censales obtenidos para los cinco censos relacionados, se incluyen en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1. Información Censal del Municipio de Quibdó

AÑO CENSO	POBLACIÓN			TASA CRECIMIENTO			DISTRIBUCIÓN (%)	
	URBANA	RURAL	TOTAL	URBANA	RURAL	TOTAL	URBANA	RURAL
1964	19.989	22.937	42.926				47%	53%
				3,80%	-0,53%	1,67%		
1973	27.954	21.864	49.818				56%	44%
				6,57%	3,69%	5,42%		
1985	60.018	33.788	93.806				64%	36%
				1,18%	0,83%	1,05%		
1993	65.904	36.099	102.003				65%	35%
				3,63%	-8,93%	0,85%		
2005	101.134	11.752	112.886				90%	10%

Fuente: DANE, 2005

- La distribución de la población para el municipio de Quibdó es diferente de lo observado a nivel departamental. Para año 2005, el 90% de la población habitaba en la zona urbana y un 10% en la zona rural. Esta tendencia es aún mayor con relación al país y demuestra que en la localidad de Quibdó, la mayoría de la población habita en la zona urbana, tendencia que se viene dando desde el año 1993.
- La tasa de crecimiento en el período 1993 al 2005 fue del 3,63%, valor que se considera relativamente alto y es superior al promedio nacional (2,47%) e inferior al promedio departamental (4,61%). Esta situación de crecimiento poblacional es consistente con lo observado a nivel municipal en lo que respecta con el crecimiento comercial de la ciudad.
- La tasa de crecimiento en la zona rural es decreciente con un valor del 2,08% y demuestra la alta migración de la zona rural a la parte urbana del municipio.

2.1 Proyección de Población

En la Tabla B.2.1 de las normas RAS, se presentan los métodos de cálculo recomendados para realizar las proyecciones de población, las cuales dependen del nivel de complejidad del sistema. En el caso del nivel de complejidad alto, las normas RAS aceptan los métodos aritmético, geométrico, exponencial y el método de los componentes demográficos. De acuerdo con la Guía RAS – 001, a los resultados obtenidos por los métodos aritmético y geométrico planteados anteriormente como procedimientos de cálculo para proyecciones de población, se les recomienda realizar un análisis de sensibilidad teniendo en cuenta las siguientes variaciones metodológicas:

- Usar como año inicial para la proyección cada uno de los años existentes entre el primero y el penúltimo censo.
- Calcular una tasa de crecimiento poblacional representativa de la dinámica entre los diferentes datos censales disponibles, y con esta realizar las proyecciones a partir de los datos del último censo.

En el análisis de sensibilidad para los modelos aritmético y geométrico se establece que la tasa de crecimiento se calcula a partir del último censo (uc) y del censo inicial (ci). Una primera proyección se realiza considerando como último censo el del año 2005 y como censo inicial el del año 1964. En la segunda proyección, no se tiene en cuenta el censo del año 1964 y se considera como último censo el del año 1973. En la tercera proyección no se tiene en cuenta el censo del año 1973 y se considera como último censo el del año 1985 y en la cuarta proyección, no se tiene en cuenta el censo del año 1985 y se considera como último censo el del año 1993.

En el método exponencial, al disponerse de 5 censos poblacionales, se calcula inicialmente un K_g promedio para los cuatro K obtenidos en los períodos: 1964 –1973; 1973 – 1985; 1985 – 1993 y 1993 – 2005. Dentro del análisis de sensibilidad se calcula una segunda K_g como el promedio de las K obtenidas obtenidos en los períodos: 1973 – 1985; 1985 – 1993 y 1993 – 2005 eliminando el efecto del censo del año 1964 dentro del análisis. Por último, se calcula un tercer K_g como el promedio de las K obtenidas obtenidos en los períodos: 1985 – 1993 y 1993 – 2005 eliminando el efecto de los censos del año 1964y 1973 dentro del análisis.

2.1.1 Método Aritmético.

Si el aumento de la población es constante e independiente del tamaño de la misma, el crecimiento podría tener un comportamiento lineal, si P es la población y T es el tiempo, se tiene entonces:

$$dP/dT = K_a$$

De donde:

$$dP = K_a \cdot dT$$

Integrando entre los límites del último censo (uc) y del censo inicial (ci), se tiene la siguiente expresión:

$$K_a = (P_{uc} - P_{ci}) / (T_{uc} - T_{ci})$$

Ecuación 1.

Donde:

K_a : Pendiente de la recta de crecimiento, hab./año.

P_{uc} : Población del último censo, expresada en hab.

P_{ci} : Población del censo inicial, expresada en hab.

T_{uc} : Año del último censo, expresado en años.

T_{ci} : Año del censo inicial, expresado en años.

De acuerdo con este método, la población final viene dada por la siguiente expresión:

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

Ecuación 2

$$K_a = (P_{uc} - P_{ci}) / (T_{uc} - T_{ci})$$

Donde:

P_f : Población proyectada al año horizonte de diseño, expresada en hab.

T_f : Año de la población proyectada en años.

Las proyecciones poblacionales por este método se realizan así:

Censo final año 2005, censo inicial año 1964:

$$K_{2005-1964} = (P_{2005} - P_{1964}) / (2005 - 1964)$$

El resultado encontrado fue:

$$K_{2005-1964} = (101.134 - 19.989) / (2005 - 1964)$$

$$K_{2005-1964} = 1.979,1 \text{ habitantes/año}$$

La población proyectada para el año 2042 será:

$$P_{2042} = P_{2005} + K_{2005 - 1964} (2042 - 2005)$$

De esta manera queda:

$$P_{2042} = 101.134 + (1.979,1 \times 37)$$

$$P_{2042} = 174.362 \text{ habitantes}$$

Censo final año 2005, censo inicial año 1973:

$$K_{2005 - 1973} = (P_{2005} - P_{1973}) / (2005 - 1973)$$

El resultado encontrado fue:

$$K_{2005 - 1973} = (101.134 - 27.954) / (2005 - 1973)$$

$$K_{2005 - 1973} = 2.286,9 \text{ habitantes/año}$$

La población proyectada para el año 2042 será:

$$P_{2042} = P_{2005} + K_{2005 - 1973} (2042 - 2005)$$

De esta manera queda:

$$P_{2042} = 101.134 + (2.286,9 \times 37)$$

$$P_{2042} = 185.748 \text{ habitantes}$$

Censo final año 2005, censo inicial año 1985:

$$K_{2005 - 1985} = (P_{2005} - P_{1985}) / (2005 - 1985)$$

El resultado encontrado fue:

$$K_{2005 - 1985} = (101.134 - 60.018) / (2005 - 1985)$$

$$K_{2005 - 1985} = 2.055,8 \text{ habitantes/año}$$

La población proyectada para el año 2042 será:

$$P_{2042} = P_{2005} + K_{2005 - 1985} (2042 - 2005)$$

De esta manera queda:

$$P_{2042} = 101.134 + (2.055,8 \times 37)$$

$$P_{2042} = 177.199 \text{ habitantes}$$

Censo final año 2005, censo inicial año 1993:

$$K_{2005 - 1993} = (P_{2005} - P_{1993}) / (2005 - 1993)$$

El resultado encontrado fue:

$$K_{2005 - 1993} = (101.134 - 65.904) / (2005 - 1993)$$

$$K_{2005 - 1993} = 2.935,8 \text{ habitantes/año}$$

La población proyectada para el año 2042 será:

$$P_{2042} = P_{2005} + K_{2005 - 1993} (2042 - 2005)$$

De esta manera queda:

$$P_{2042} = 101.134 + (2.935,8 \times 37)$$

$$P_{2042} = 209.760 \text{ habitantes}$$

Las proyecciones poblacionales obtenidas se muestran en la Tabla 2-2:

Tabla 2-2. Proyecciones de Población Método de Crecimiento Aritmético Municipio De Quibdó

CENSO	POBLACIÓN	K	2012	2017	2022	2027	2032	2037	2042
1964	19.989	1.979,1	114.988	124.884	134.779	144.675	154.571	164.467	174.362
1973	27.954	2.286,9	117.142	128.577	140.011	151.445	162.880	174.314	185.748
1985	60.018	2.055,8	115.525	125.804	136.083	146.362	156.641	166.920	177.199
1993	65.904	2.935,8	121.685	136.364	151.043	165.722	180.402	195.081	209.760
2005	101.134	---	---	---	---	---	---	---	---
PROMEDIO		2.314,4	117.335	128.907	140.479	152.051	163.624	175.196	186.767
DESVIACIÓN		434,4	3.041	5.213	7.385	9.557	11.730	13.902	16.074

Fuente: Esta Investigación.

Teniendo en cuenta las proyecciones presentadas en la Tabla 2-2 podemos decir que, de acuerdo con el método aritmético, la población proyectada para el año 2042 será de 186.767 habitantes. Los resultados de manera gráfica se ilustran en la Figura 2-1, en donde se indican las tendencias de crecimiento, dependiendo de la tasa calculada para cada censo inicial.

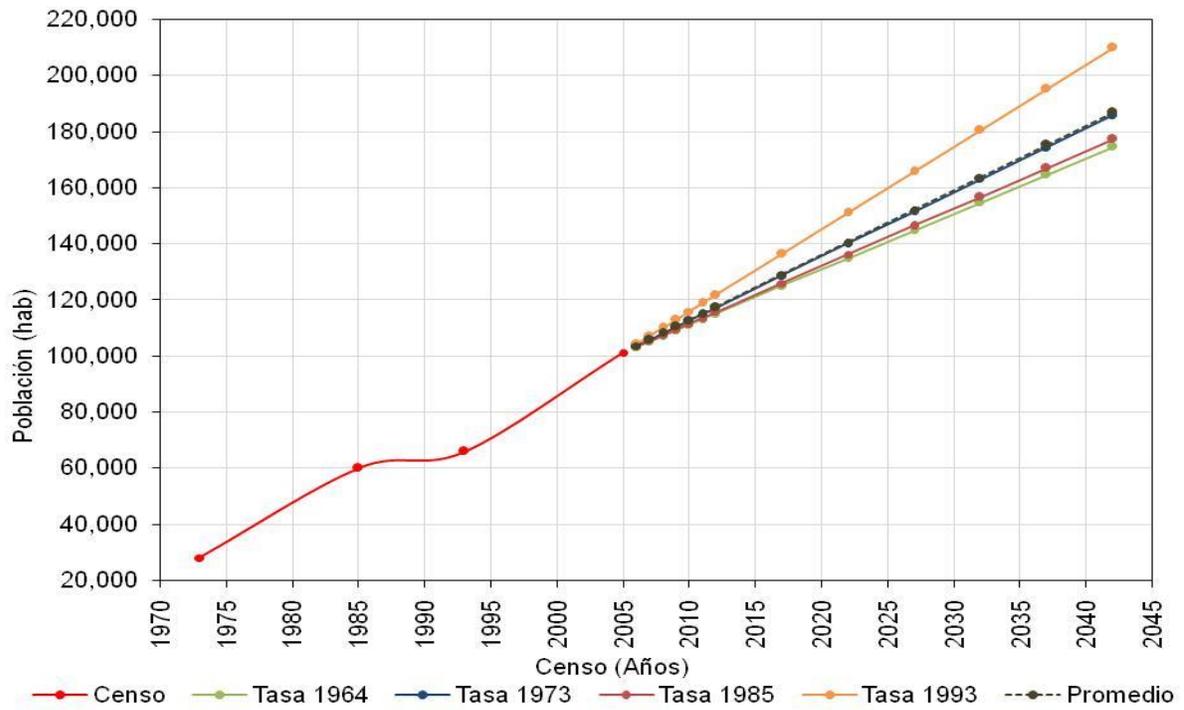


Figura 2-1. Tendencias de Crecimiento Aritmético para Diferentes Tasas de Cálculo Dependiendo del Año de Censo Inicial

Fuente: Esta Investigación.

2.1.2 Método Geométrico.

De acuerdo con este método, la población final viene dada por la siguiente expresión:

$$P_f = P_{uc} (1+r)^{T_f - T_{uc}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$$r = (P_{uc}/P_{ci})^{1/(T_{uc} - T_{ci})} - 1 \quad \text{Ecuación 4}$$

P_{uc} : Población del último censo, expresada en hab.

P_{ci} : Población del censo inicial, expresada en hab.

T_{uc} : Año del último censo, expresado en años.

T_{ci} : Año del censo inicial, expresado en años.

r: Tasa de crecimiento anual, hab/año

Las proyecciones poblacionales por este método se realizan así:

Censo final año 2005, censo inicial año 1964:

$$R_{2005-1964} = (P_{2005}/P_{1964})^{(1/2005-1964)} - 1$$

El resultado encontrado fue:

$$R_{2005-1964} = (101.134/19.989)^{(1/41)} - 1$$

$$R_{2005-1964} = 4,03 \%$$

La población proyectada para el año 2042 será:

$$P_{2042} = P_{2005} (1 + r_{2005-1964})^{2042-2005}$$

$$P_{2042} = 101.134 (1 + 0,0403)^{2042-2005}$$

$$P_{2042} = 436.828 \text{ habitantes}$$

Censo final año 2005, censo inicial año 1973:

$$R_{2005-1973} = (P_{2005}/P_{1973})^{(1/2005-1973)} - 1$$

El resultado encontrado fue:

$$R_{2005-1973} = (101.134/27.954)^{(1/32)} - 1$$

$$R_{2005-1973} = 4,10 \%$$

La población proyectada para el año 2042 será:

$$P_{2042} = P_{2005} (1 + r_{2005 - 1973})^{2042 - 2005}$$

$$P_{2042} = 101.134 (1 + 0,0410)^{2042 - 2005}$$

$$P_{2042} = 447.310 \text{ habitantes}$$

Censo final año 2005, censo inicial año 1985:

$$R_{2005 - 1985} = (P_{2005}/P_{1985})^{(1/2005 - 1985)} - 1$$

El resultado encontrado fue:

$$R_{2005 - 1985} = (101.134/60.018)^{(1/20)} - 1$$

$$R_{2005 - 1985} = 2,64 \%$$

La población proyectada para el año 2042 será:

$$P_{2042} = P_{2005} (1 + r_{2005 - 1985})^{2042 - 2005}$$

$$P_{2042} = 101.134 (1 + 0,0264)^{2042 - 2005}$$

$$P_{2042} = 265.544 \text{ habitantes}$$

Censo final año 2005, censo inicial año 1993:

$$R_{2005 - 1993} = (P_{2005}/P_{1993})^{(1/2005 - 1993)} - 1$$

El resultado encontrado fue:

$$R_{2005 - 1993} = (101.134/65.904)^{(1/12)} - 1$$

$$R_{2005 - 1993} = 3,63 \%$$

La población proyectada para el año 2042 será:

$$P_{2042} = P_{2005} (1 + r_{2005 - 1993})^{2042 - 2005}$$

$$P_{2042} = 101.134 (1 + 0,0363)^{2042 - 2005}$$

$$P_{2042} = 378.750 \text{ habitantes}$$

Las proyecciones poblacionales obtenidas se muestran de manera resumida en la Tabla 2-3

Tabla 2-3. Proyecciones de Población Método de Crecimiento Geométrico Municipio de Quibdó

CENSO	POBLACIÓN	r	2012	2017	2022	2027	2032	2037	2042
1964	19.989	0,0403	133.386	162.546	198.081	241.385	294.155	358.462	436.828
1973	27.954	0,0410	133.986	163.801	200.251	244.813	299.290	365.890	447.310
1985	60.018	0,0264	121.398	138.314	157.587	179.545	204.564	233.068	265.544
1993	65.904	0,0363	129.834	155.197	185.514	221.753	265.072	316.853	378.750
2005	101.134	---	---	---	---	---	---	---	---
PROMEDIO		0,0360	129.651	154.965	185.358	221.874	265.770	318.568	382.108
DESVIACIÓN		0,0067	5.799	11.731	19.621	29.992	43.497	60.948	83.355

Fuente: Esta Investigación.

De acuerdo con el método geométrico, la población proyectada para el año 2042 es de 382.108 habitantes, superior en un 48,9% a la obtenida por el método aritmético. En la Figura 2-2, se presenta la proyección por el método geométrico.

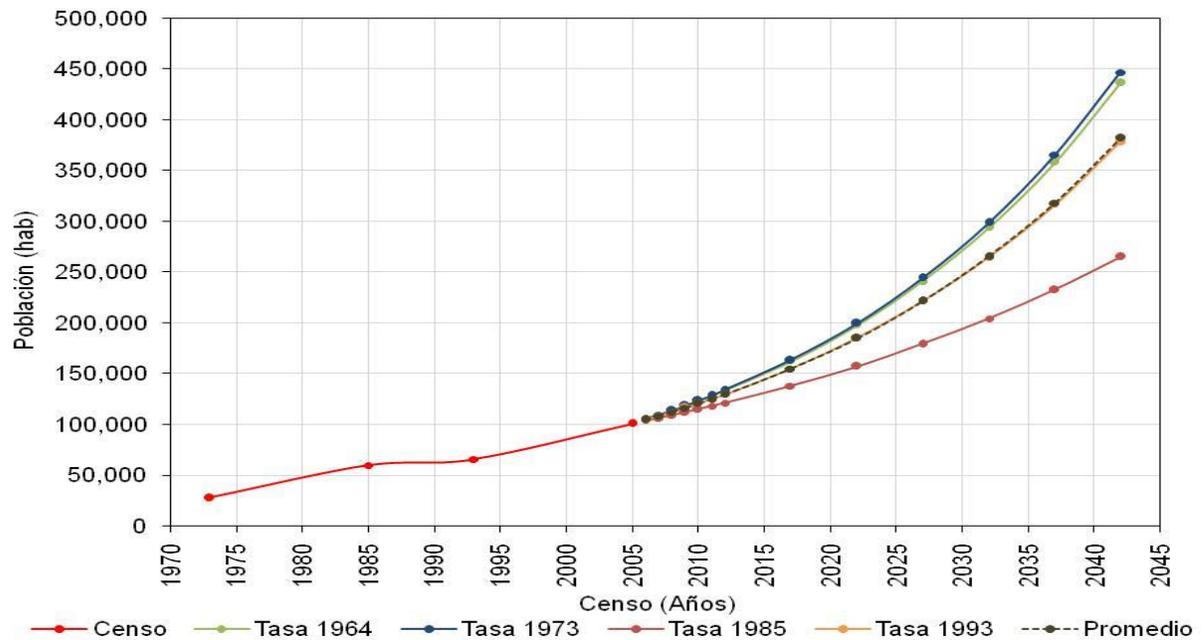


Figura 2-2. Tendencias de crecimiento geométrico para diferentes tasas de cálculo dependiendo del año de censo inicial

Fuente: Esta Investigación.

2.1.3 Método Exponencial.

Si el crecimiento de la población es de tipo exponencial, la población se proyecta a partir de la siguiente ecuación:

$$dP/dT = K_g \cdot P$$

De donde se tiene que:

$$dP/P = K_g \cdot dT$$

Integrando la anterior ecuación entre dos periodos de tiempo cualesquiera, se tiene que:

$$\ln (P_f) - \ln (P_{ci}) = K_g (T_f - T_{ci}) \quad \text{Ecuación 5}$$

$$K_g = (\ln (P_{cp}) - \ln (P_{ca}) / (T_{cp} - T_{ca}))$$

Ecuación 6

Donde:

- P_f: Población proyectada al año horizonte de diseño, expresada en hab.
- P_{ci}: Población del censo inicial, expresada en hab.
- T_f: Año de la población proyectada en años.
- T_{ci}: Año del censo inicial, expresado en años.
- K_g: Tasa de crecimiento de la población, hab/año.
- P_{cp}: Población del censo posterior, expresada en hab.
- P_{ca}: Población del censo anterior, expresada en hab.
- T_{cp}: Año del censo posterior, expresado en años.
- T_{ca}: Año del censo anterior, expresado en años

La aplicación de este método requiere de por lo menos tres (3) censos, ya que al evaluar un K_g promedio se necesita un mínimo de dos (2) valores de K_g. Haciendo una integración abierta de la ecuación anterior, se obtiene:

$$\ln P + C = K_g \cdot T$$

Donde:

- P: Población, expresada en hab.
- T: Tiempo, expresado en años
- C: Constante

$$\text{Para: } T = 0 \text{ y } P = P_{ci} \quad C = - \ln P_{ci}$$

Reemplazando el valor promedio de K_g (obtenido en la ecuación respectiva) en la anterior ecuación, la ecuación de proyección de población será:

$$\ln (P_f) = \ln (P_{ci}) + K_g \cdot (T_f - T_{ci})$$

Es decir:

$$P_f = P_{ci} e^{K_g (T_f - T_{ci})}$$

Ecuación 7

Donde:

P_f : Población proyectada al año horizonte de diseño, expresada en hab.

P_{ci} : Población del censo inicial, expresada en hab.

T_f : Año de la población proyectada en años.

T_{ci} : Año del censo inicial, expresado en años.

Considerando los cinco datos censales, la constante K_g promedio se calcula de la siguiente manera:

Censo final año 1973, censo inicial año 1964:

$$K_{g\ 1973-1964} = (\ln(P_{1973}) - \ln(P_{1964})) / (1973 - 1964)$$

$$K_{g\ 1973-1964} = (\ln(27.954) - \ln(19.989)) / (1973 - 1964)$$

$$K_{g\ 1973-1964} = 0,0373$$

Censo final año 1985, censo inicial año 1973:

$$K_{g\ 1985-1973} = (\ln(P_{1985}) - \ln(P_{1973})) / (1985 - 1973)$$

$$K_{g\ 1985-1973} = (\ln(60.018) - \ln(27.954)) / (1985 - 1973)$$

$$K_{g\ 1985-1973} = 0,0637$$

Censo final año 1993, censo inicial año 1985:

$$K_{g\ 1993-1985} = (\ln(P_{1993}) - \ln(P_{1985})) / (1993 - 1985)$$

$$K_{g\ 1993-1985} = (\ln(65.904) - \ln(60.018)) / (1993 - 1985)$$

$$K_g 1993 - 1985 = 0,0117$$

Censo final año 2005, censo inicial año 1993:

$$K_g 2005 - 1993 = (\ln (P_{2005}) - \ln (P_{1993})) / (2005 - 1993)$$

$$K_g 2005 - 1993 = (\ln (101.134) - \ln (65.904)) / (2005 - 1993)$$

$$K_g 2005 - 1993 = 0,0357$$

La constante K_g promedio será:

$$K_g = \frac{0,0373 + 0,0697 + 0,0117 + 0,0357}{4} = 0,0371$$

La población proyectada al año 2042 sería:

$$P_{2042} = P_{1964} e^{K_g (Tf - Tci)}$$

$$P_{2042} = 19.989 e^{0,0371 \times (78)}$$

$$P_{2042} = 360.471 \text{ habitantes}$$

Considerando los últimos cuatro censos, la constante será:

$$K_g = \frac{0,0697 + 0,0117 + 0,0357}{3} = 0,0370$$

La población proyectada al año 2042 sería:

$$P_{2042} = P_{1973} e^{K_g (Tf - Tci)}$$

$$P_{2042} = 27.954 e^{0,0370 \times (69)}$$

$$P_{2042} = 359.542 \text{ habitantes}$$

Considerando los últimos tres censos, la constante sería:

$$K_g = \frac{0,0117 + 0,0357}{2} = 0,0237$$

La población proyectada al año 2042 sería:

$$P_{2042} = P_{1985} e^{K_g (Tf - Tci)}$$

$$P_{2042} = 60.018 e^{0,0237 \times (57)}$$

$$P_{2042} = 231.602 \text{ habitantes}$$

Con los resultados obtenidos se puede decir que la población proyectada por el método exponencial es de 317.205 habitantes para el año 2042. En la Figura 2-3 se presentan las proyecciones obtenidas con cada una de las constantes de crecimiento y con la obtenida como valor promedio. Los valores obtenidos por este método son inferiores a los obtenidos por el método geométrico dado el valor bajo de K_g obtenido en el período 1985 a 1993. Las proyecciones poblacionales obtenidas se muestran de manera resumida en la Tabla 2-4.

Tabla 2-4. Proyecciones de población método de crecimiento exponencial Municipio de Quibdó

Constante	K_g	2012	2017	2022	2027	2032	2037	2042
PROM. 5 CENSOS	0,0371	118.512	142.653	171.711	206.689	248.791	299.470	360.471
PROM. 4 CENSOS	0,0370	118.425	142.504	171.479	206.346	248.302	298.790	359.542
PROM. 3 CENSOS	0,0237	113.783	128.092	144.200	162.334	182.749	205.730	231.602
PROMEDIO	---	116.907	137.750	162.463	191.790	226.614	267.997	317.205
DESVIACIÓN	---	2.706	8.364	15.817	25.510	37.989	53.926	74.136

Fuente: Esta Investigación.

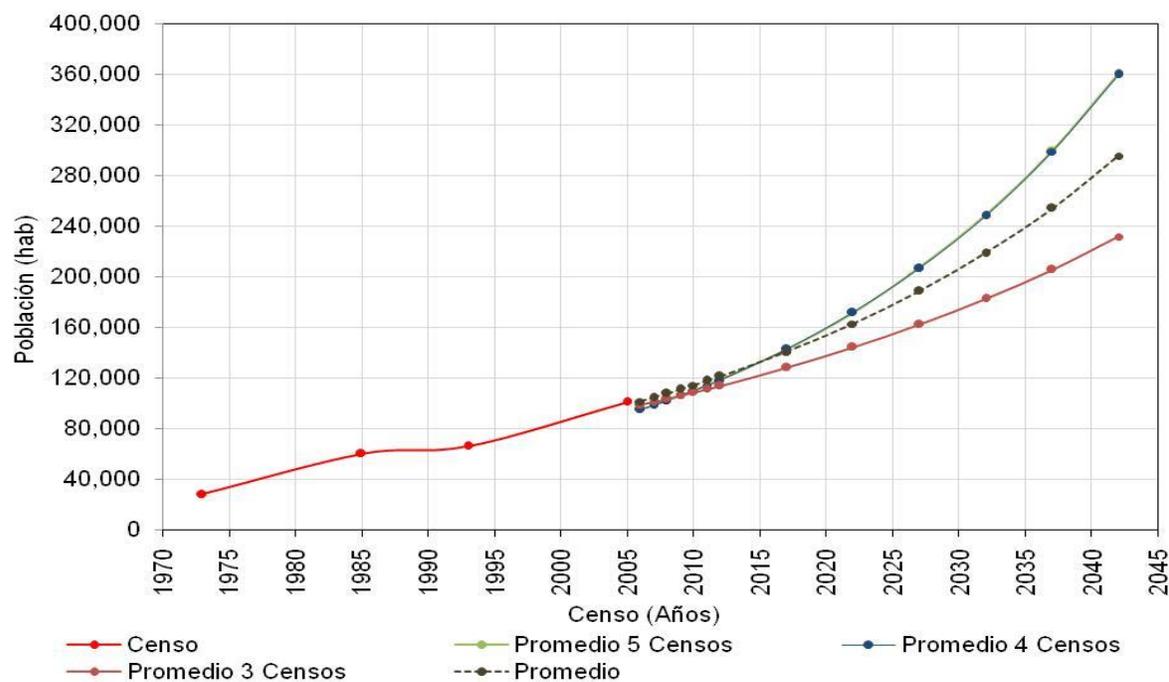


Figura 2-3. Tendencias de crecimiento exponencial para diferentes tasas de cálculo dependiendo del año de censo inicial

Fuente: Esta Investigación.

2.1.4 Método Geométrico con Ajuste Lineal de la Tasa de Crecimiento.

Una vez obtenido los resultados de las proyecciones de población por los métodos aritmético, geométrico y exponencial, se procede a realizar la proyección poblacional por el método geométrico con tasa variable y con ajuste lineal de la tasa de crecimiento a un valor cercano al promedio nacional urbano. En este método se supone que, en el largo plazo, las poblaciones urbanas tratan de alcanzar los promedios nacionales. Este método se ha utilizado en otros programas del país como por ejemplo en el Plan Departamental de Aguas del Huila con la aceptación de los profesionales de Ventanilla Única del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial.

El método consiste básicamente, en ajustar la última tasa intercensal calculada, es decir, la obtenida entre el censo de los años de 1993 y 2005, y llevarla hasta el valor de la tasa promedio de crecimiento geométrico nacional urbano, en este caso a 2,47% o un valor

cercano. De acuerdo a estas condiciones, el ajuste del crecimiento demográfico por este método, para el Municipio de Quibdó, se efectuará considerando la tasa última intercensal (1993-2005) del 3,63%, tal como se indica en la Tabla 3, la cual se irán disminuyendo en su valor hasta alcanzar el 2,00%, valor por debajo y cercano al promedio nacional, al año 2042. El ejercicio de transición se ilustra en la Tabla 7 dando como resultado un valor proyectado de la población para el año 2042 de 280.460 habitantes.

Tabla 2-5. Estimación de la población por el método geométrico de tasa variable en el Municipio de Quibdó

Año	Población Urbana	Tasa de Crecimiento	Año	Población Urbana	Tasa de Crecimiento
1985	60.018		2022	173.804	2,88%
		1,18%	2023	178.740	2,84%
1993	65.904		2024	183.738	2,80%
		3,63%	2025	188.795	2,75%
2005	101.134		2026	193.908	2,71%
2006	104.764	3,59%	2027	199.073	2,66%
2007	108.478	3,55%	2028	204.289	2,62%
2008	112.276	3,50%	2029	209.551	2,58%
2009	116.157	3,46%	2030	214.856	2,53%
2010	120.121	3,41%	2031	220.202	2,49%
2011	124.168	3,37%	2032	225.583	2,44%
2012	128.296	3,32%	2033	230.996	2,40%
2013	132.505	3,28%	2034	236.437	2,36%
2014	136.794	3,24%	2035	241.903	2,31%
2015	141.161	3,19%	2036	247.388	2,27%
2016	145.606	3,15%	2037	252.888	2,22%
2017	150.126	3,10%	2038	258.400	2,18%
2018	154.721	3,06%	2039	263.917	2,14%
2019	159.388	3,02%	2040	269.437	2,09%
2020	164.126	2,97%	2041	274.952	2,05%
2021	168.932	2,93%	2042	280.460	2,00%

Fuente: Esta Investigación.

2.1.5 Método de los Componentes.

Teniendo en cuenta la población base para la estimación de la demanda de agua en el municipio de Quibdó se proyecta utilizando el método de los componentes que es uno de los métodos aceptados en las normas RAS para los niveles de complejidad medio alto y

alto. Este método está basado en el principio básico de la ecuación compensadora, consistente en la desagregación del crecimiento de la población en sus respectivos componentes demográficos fundamentales (fecundidad, mortalidad y migración) según la expresión matemática mostrada a continuación:

$$N_{t+a} = N_t + B_{t-t+a} - D_{t-t+a} + M_{t-t+a} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

- N_t : Población en el instante t (censo inicial) expresada en habitantes.
- a: Tiempo transcurrido entre el instante t y el horizonte de proyección expresado en años
- N_{t+a} : Población proyectada hasta el horizonte de proyección expresada en habitantes.
- B_{t-t+a} : Nacimientos ocurridos entre el instante t y el horizonte de proyección
- D_{t-t+a} : Defunciones ocurridas entre el instante t y el horizonte de proyección
- M_{t-t+a} : Migración neta (inmigrantes menos emigrantes) llegados al área de estudio entre el instante t y el horizonte de proyección

Es importante resaltar que tradicionalmente el DANE realiza las proyecciones de población a nivel nacional y departamental en Colombia utilizando este método, no obstante la aplicación del mismo se encuentra sujeta a la disponibilidad de información de series históricas de información de nacimientos, defunciones, patrones de migración e indicadores demográficos, procedentes ya sea de fuentes censales, estadísticas vitales, encuestas especializadas y otros estudios relacionados en la región de estudio, razón por la cual en el país está restringida a la escala nacional, departamental y algunas áreas metropolitanas grandes. Adicionalmente cabe mencionar que el método utilizado por el DANE hace uso de la información de estas variables demográficas teniendo en cuenta su desagregación por sexo y edades en grupos quinquenales, ya que tiene en cuenta la estructura de la pirámide poblacional en el área de estudio.

Debido a la limitada disponibilidad de la información mencionada anteriormente para áreas pequeñas, el DANE resalta que no es recomendable usar este método para proyectar poblaciones municipales en el país, no obstante en cumplimiento del numeral 6.1.4.1 del

pliego de licitación se realiza una aproximación a este método de proyección de la población del municipio de Quibdó, sin tener en cuenta la distribución por sexo y edad de la población y utilizando información de las variables demográficas (fecundidad, mortalidad y migración) del Departamento de Chocó haciendo el supuesto de que estas son asimilables para regiones más pequeñas del departamento. La proyección de la población en el área de estudio tuvo en cuenta los indicadores demográficos descritos a continuación y mostrados en la tabla 8 obtenidos de la página web de DANE:

- Tasa Bruta de Natalidad: Número de nacimientos vivos ocurridos durante un año, por cada 1000 habitantes de la población calculada a mitad de período.
- Tasa Bruta de Mortalidad: Cociente obtenido de dividir el número de defunciones ocurridas en un determinado período y la población medida en ese mismo momento.
- Tasa de Migración Neta: Cociente obtenido de dividir la diferencia de los volúmenes de llegadas (inmigrantes) y salidas (emigrantes) de un área en un período dado por 1000 habitantes de la población media del lugar tomado como referencia.

Tabla 2-6. Indicadores Demográficos para el Departamento de Chocó período 2005 – 2020

Periodo	Tasa Bruta de Natalidad	Tasa Bruta de Mortalidad	Tasa de Migración Neta
1985-1990	44,04	11,14	-17,45
1990-1995	39,78	10,66	-16,56
1995-2000	35,66	9,45	-17,38
2000-2005	33,10	8,17	-16,02
2005-2010	31,28	7,22	-14,54
2010-2015	29,27	6,56	-12,89
2015-2020	27,12	6,06	-11,12

Fuente: DANE, 2005

Haciendo uso de la ecuación compensadora se utiliza esta información y se proyecta la población del municipio de Quibdó hasta el año 2020, según los requerimientos del pliego de licitación, como se muestra a continuación. Para calcular la población de cada año en el horizonte de proyección (2005 - 2020) se requiere de la población del año inicial y el número

de nacimientos, defunciones y saldo migratorio neto del periodo transcurrido entre el año inicial y año en consideración:

Cálculo de la Población para el Año 2006:

$$N_{2006} = N_{2005-2006} + B_{2005-2006} - D_{2005-2006} + M_{2005-2006}$$

Se calculan las variables demográficas para el año inicial como se muestra a continuación:

$$N_{2005} = 101.134 \text{ habitantes}$$

$$B_{2005-2006} = \text{Tasa Bruta de Natalidad}_{2005} (N_{2005} / 1.000)$$

$$B_{2005-2006} = 31,28 (101.134 / 1.000)$$

$$B_{2005-2006} = 3.163 \text{ Nacimientos}$$

$$D_{2005-2006} = \text{Tasa Bruta de Mortalidad}_{2005} (N_{2005} / 1.000)$$

$$D_{2005-2006} = 7,22 (101.134 / 1.000)$$

$$D_{2005-2006} = 730 \text{ Defunciones}$$

$$M_{2005-2006} = \text{Tasa de Migración Neta}_{2005} (N_{2005} / 1.000)$$

$$M_{2005-2006} = -14,54 (101.134 / 1.000)$$

$$M_{2005-2006} = -1.470 \text{ habitantes (Inmigrantes}_{2005-2006} - \text{Emigrantes}_{2005-2006})$$

El crecimiento vegetativo de la población en el año 2005 está dado por:

$$\text{Crecimiento Vegetativo} = B_{2005-2006} - D_{2005-2006}$$

Crecimiento Vegetativo = 3.163 - 730

Crecimiento Vegetativo = + 2.433 habitantes

El crecimiento real de la población en el año 2005 está dado por:

Crecimiento Real = $B_{2005-2006} - D_{2005-2006} + M_{2005-2006}$

Crecimiento Real = 3.163 - 730 + (-1.470)

Crecimiento Real = + 963 habitantes

La población en el año 2006 será entonces:

$N_{2006} = N_{2005-2006} + B_{2005-2006} - D_{2005-2006} + M_{2005-2006}$

$N_{2006} = 101.134 + 3.163 - 730 + (-1.470)$

$N_{2006} = 101.134 + 963$

$N_{2006} = 102.097$ habitantes

Cálculo de la Población para el Año 2020: La sumatoria de cada variable demográfica calculada para cada año en el horizonte de proyección da como resultado los totales para todo el periodo 2005 - 2020 como se muestra a continuación

$B_{2005-2020} = 47.351$ Nacimientos

$D_{2005-2020} = 10.710$ Defunciones

$M_{2005-2020} = -20.779$ habitantes (Inmigrantes₂₀₀₅₋₂₀₂₀ - Emigrantes₂₀₀₅₋₂₀₂₀)

El crecimiento vegetativo de la población en el periodo 2005 - 2020 está dado por:

$$\text{Crecimiento Vegetativo} = B_{2005-2020} - D_{2005-2020}$$

$$\text{Crecimiento Vegetativo} = 47.351 - 10.710$$

$$\text{Crecimiento Vegetativo} = + 36.641 \text{ habitantes}$$

El crecimiento real de la población en el periodo 2005 – 2020 está dado por:

$$\text{Crecimiento Real} = B_{2005-2020} - D_{2005-2020} + M_{2005-2020}$$

$$\text{Crecimiento Real} = 47.351 - 10.710 + (-20.779)$$

$$\text{Crecimiento Real} = + 15.862 \text{ habitantes}$$

La población en el año 2020 será entonces:

$$N_{2020} = N_{2005-2020} + B_{2005-2020} - D_{2005-2020} + M_{2005-2020}$$

$$N_{2020} = 101.134 + 47.351 - 10.710 + (-20.779)$$

$$N_{2020} = 101.134 + 15.862$$

$$N_{2020} = 116.996 \text{ habitantes}$$

La población proyectada para el año 2042 por el método de componentes es entonces de 116.996 habitantes. Los resultados de la proyección poblacional utilizando el método de los componentes para cada año en el periodo 2005 – 2020 pueden verse en la Tabla 2-7

Tabla 2-7. Proyecciones de población método de los componentes para el Municipio de Quibdó

Año	Población (hab)	Nacimientos (hab)	Defunciones (hab)	Saldo Migratorio (hab)	Crecimiento Vegetativo (hab)	Crecimiento Real (hab)
2005	101.134	3.163	730	-1.470	2,433	963
2006	102.097	3.194	737	-1.484	2,456	972
2007	103.069	3.224	744	-1.499	2,480	981
2008	104.050	3.255	751	-1.513	2,503	991
2009	105.041	3.286	758	-1.527	2,527	1.000
2010	106.041	3.104	696	-1.367	2,408	1.041
2011	107.082	3.134	702	-1.380	2,432	1.052
2012	108.133	3.165	709	-1.394	2,456	1.062
2013	109.195	3.196	716	-1.408	2,480	1.072
2014	110.268	3.228	723	-1.421	2,504	1.083
2015	111.350	3.020	675	-1.238	2,345	1.107
2016	112.457	3.050	681	-1.251	2,368	1.118
2017	113.575	3.080	688	-1.263	2,392	1.129
2018	114.704	3.111	695	-1.276	2,416	1.140
2019	115.844	3.142	702	-1.288	2,440	1.151
2020	116.996	---	---	---	---	---
Total (2005 – 2020)		47.351	10.710	-20.779	36.641	15.862

Fuente: DANE, 2005

En relación con estos resultados es importante señalar que el crecimiento vegetativo de la población (diferencia entre los nacimientos y las defunciones en el periodo de estudio) es positivo y se mantiene prácticamente constante a través de todo el periodo 2005 - 2020, sin embargo al incluir el patrón de migración del municipio como variable demográfica a la proyección de población se observa que el crecimiento real de la población se reduce a menos de la mitad del crecimiento vegetativo, evidenciándose una fuerte influencia de los movimientos migratorios en el crecimiento poblacional del municipio.

2.1.6 Método de los Cohortes.

El DANE en su página web [www@dane.gov.co](http://www.dane.gov.co) presenta las proyecciones de población para todos los municipios de Colombia para el periodo 2005 – 2020. En relación con estas

proyecciones el DANE resalta que debido a la dificultad que representa tener series estadísticas oficiales de las cuales puedan calcularse las distintas variables que intervienen en el método de los componentes, el DANE aplica y recomienda utilizar el método de relación de cohortes para proyectar poblaciones en los municipios del país siguiendo los parámetros mostrados en el documento Proyecciones Municipales 2006-2020 que se encuentra en la página web del DANE. Este método tiene los siguientes supuestos para su aplicación:

- “Los municipios conservan las mismas estructuras político – administrativas de los dos levantamientos censales. Para el caso de Colombia, se realiza una homologación de los municipios creados en el periodo 1993 – 2005, teniendo en cuenta la estructura al momento de la creación con el fin de garantizar el cumplimiento de este supuesto.
- Las tendencias de las variables demográficas de los municipios son similares a las del departamento al que pertenecen.
- Los municipios conservan durante todo el periodo que cubre la proyección el mismo diferencial de fecundidad observado en cada uno de ellos respecto al departamento al momento del último censo.
- Los factores de crecimiento diferencial K se mantienen constantes, es decir, la mortalidad y migración mantienen el mismo comportamiento diferencial entre las áreas menores y la división administrativa mayor”.

El método de los componentes se recomienda entonces por el DANE para proyectar poblaciones grandes con información disponible relacionada con las variables del crecimiento vegetativo de la población (fecundidad, mortalidad y migración) y con su estructura por sexo y edades, por lo que su uso se limita a áreas de estudio grandes tales como áreas metropolitanas, departamentos o el territorio nacional como se mencionó en el numeral anterior. Teniendo en cuenta estas consideraciones el presente documento considera también las proyecciones de población realizadas por el DANE para el municipio de Quibdó usando el método de la relación de cohortes a la hora de determinar el método

de proyección de población a adoptar. Para el municipio de Quibdó se presentan las siguientes proyecciones poblacionales para el período 2005 a 2020:

Tabla 2-8. Proyecciones de población del DANE para el Municipio de Quibdó

Año	Urbana	Rural	Total
2005	101.145	11.764	112.909
2006	101.897	11.340	113.237
2007	102.633	10.926	113.559
2008	103.377	10.529	113.906
2009	104.073	10.144	114.217
2010	104.756	9.768	114.524
2011	105.390	9.402	114.792
2012	106.002	9.050	115.052
2013	106.580	8.710	115.290
2014	107.136	8.381	115.517
2015	107.643	8.068	115.711
2016	108.142	7.765	115.907
2017	108.584	7.474	116.058
2018	108.978	7.200	116.178
2019	109.326	6.930	116.256
2020	109.620	6.679	116.299

Fuente: DANE, 2005

2.1.7 Resumen de los Métodos de Proyección.

En la Tabla 2-9, se muestra el resumen de los resultados para la proyección de población del área urbana del municipio de Quibdó utilizando los métodos de proyección aritmético, geométrico, exponencial, geométrico con ajuste lineal de la tasa de crecimiento, por componentes y por relación de cohortes en cumplimiento de los términos de referencia establecidos por las normas RAS 2000.

Tabla 2-9. Resumen proyecciones de población para el Municipio de Quibdó

Año	Aritmético	Geométrico	Exponencial	Geométrico Ajustado	Promedio(Sin Proyecciones al 2020)	Componentes	Relación de Cohortes (DANE)	Promedio (Todos los Métodos)
2011	115.021	125.119	113.146	124.168	119.363	107.082	105.390	114.988
2012	117.335	129.651	116.907	128.296	123.047	108.133	106.002	117.721
2013	119.649	134.351	120.797	132.505	126.826	109.195	106.580	120.513
2014	121.964	139.226	124.821	136.794	130.701	110.268	107.136	123.368
2015	124.278	144.282	128.985	141.161	134.677	111.350	107.643	126.283
2016	126.593	149.526	133.293	145.606	138.754	112.457	108.142	129.269
2017	128.907	154.965	137.750	150.126	142.937	113.575	108.584	132.318
2018	131.221	160.606	142.361	154.721	147.227	114.704	108.978	135.432
2019	133.536	166.459	147.132	159.388	151.629	115.844	109.326	138.614
2020	135.850	172.529	152.069	164.126	156.143	116.996	109.620	141.865
2021	138.165	178.826	157.178	168.932	160.775	---	---	---
2022	140.479	185.358	162.463	173.804	165.526	---	---	---
2023	142.794	192.135	167.934	178.740	170.401	---	---	---
2024	145.108	199.165	173.595	183.738	175.401	---	---	---
2025	147.423	206.458	179.453	188.795	180.532	---	---	---
2026	149.737	214.024	185.515	193.908	185.796	---	---	---
2027	152.051	221.874	191.790	199.073	191.197	---	---	---
2028	154.365	230.018	198.284	204.289	196.739	---	---	---
2029	156.680	238.468	205.005	209.551	202.426	---	---	---
2030	158.995	247.235	211.961	214.856	208.262	---	---	---
2031	161.309	256.332	219.161	220.202	214.251	---	---	---
2032	163.624	265.770	226.614	225.583	220.398	---	---	---
2033	165.938	275.564	234.329	230.996	226.706	---	---	---
2034	168.252	285.726	242.314	236.437	233.182	---	---	---
2035	170.566	296.271	250.581	241.903	239.830	---	---	---
2036	172.881	307.213	259.138	247.388	246.655	---	---	---
2037	175.196	318.568	267.997	252.888	253.662	---	---	---
2038	177.510	330.352	277.168	258.400	260.857	---	---	---
2039	179.824	342.580	286.662	263.917	268.246	---	---	---
2040	182.139	355.270	296.491	269.437	275.834	---	---	---
2041	184.453	368.440	306.669	274.952	283.628	---	---	---
2042	186.767	382.108	317.205	280.460	291.635	---	---	---
Tasa de Crecimiento Geométrica Promedio	1,58%	3,67%	3,38%	2,66%	2,92%	0,99%	0,44%	2,36%

Fuente: Esta Investigación.

Como puede observarse, las proyecciones de población realizadas por el DANE en el método de relación de cohortes y las que se hicieron por el método de los componentes, presentan unas proyecciones poblacionales al año 2020 bajas y de ellas se derivan unas tasas de crecimiento bajas calculadas por el método geométrico con valores de 0,44% y 0,99% respectivamente. Debido a lo anterior, se considera que las proyecciones de población realizadas por estos métodos no se tendrán en cuenta para el estudio.

La Figura 2-4, ilustra las proyecciones de población por cada uno de los métodos.

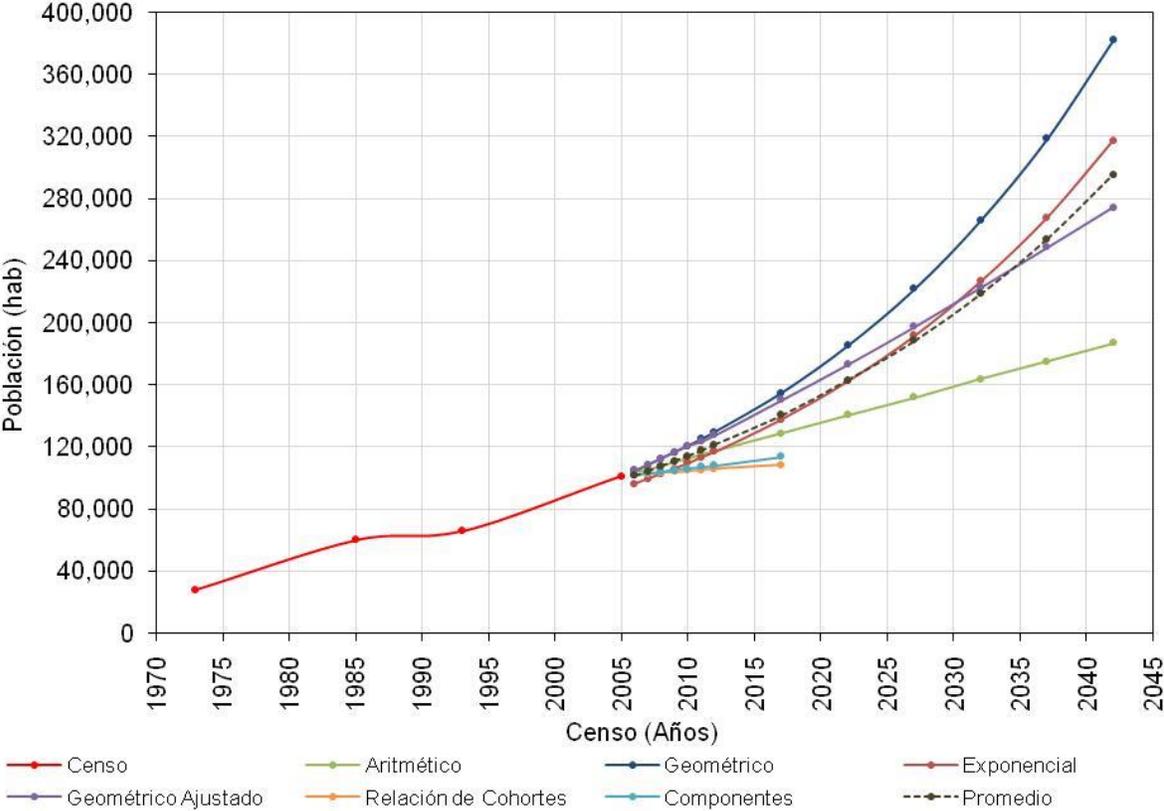


Figura 2-4. Tendencias de crecimiento poblacional para diferentes métodos de proyección en el Municipio de Quibdó

Fuente: Esta Investigación.

En la Tabla 2-10, se presenta el resumen de las proyecciones de población obtenidas, por los métodos aritmético, geométrico, exponencial y geométrico con ajuste lineal:

Tabla 2-10. Resumen Métodos de Proyección Poblacional

Método / Año	2012	2017	2022	2027	2032	2037	2042	Diferencia
Aritmético	117.335	128.907	140.479	152.051	163.624	175.196	186.767	-36,0%
Geométrico	129.651	154.965	185.358	221.874	265.770	318.568	382.108	31,0%
Exponencial	116.907	137.750	162.463	191.790	226.614	267.997	317.205	8,8%
Geométrico Ajustado	128.296	150.126	173.804	199.073	225.583	252.888	280.460	-3,8%
Componentes	108.133	113.575						
Promedio	120.064	137.065	165.526	191.197	220.398	253.662	291.635	
DESVIACION	8.936	16.657	19.136	29.074	42.220	59.374	81.571	

Fuente: Esta Investigación.

De acuerdo con los resultados obtenidos podemos decir que el valor promedio de la población proyectada para el año 2042 es de 291.635 habitantes, por el método geométrico se obtuvo la mayor población proyectada con un valor de 382.1087 habitantes que difiere en un 31,0% del valor promedio, por el método aritmético se obtuvo la menor proyección de población con un valor de 186.767 habitantes, 36,0% por debajo del valor medio. Las proyecciones realizadas por el método exponencial y geométrico con ajuste lineal de la tasa de crecimiento tienen una menor diferencia (8,8% y -3,8% respectivamente).

2.1.8 Verificación de Proyecciones de Población al Año 2005.

Con el fin de determinar cuál es el método que más se ajusta a la dinámica de crecimiento de la población urbana del municipio de Quibdó se realiza la verificación de la proyección de población al año 2005, año del último censo, haciendo el supuesto que no se cuenta con la información censal de este año, y realizando el ejercicio de proyección con la información censal de los años 1964, 1973, 1985 y 1993.

a. **Método Aritmético.** Los resultados de la verificación con el método aritmético se muestran en la Tabla 2-11:

Tabla 2-11. Verificación de proyecciones de población al año 2005 - Método de crecimiento aritmético Municipio de Quibdó

Censo	Población	Tasa de Crecimiento	2005	Diferencia con el Promedio
1964	19.989	1.583,28	84.903	2,6%
1973	27.954	1.897,50	88.674	7,1%
1985	60.018	735,75	74.733	-9,7%
1993	65.904	---	---	---
Promedio		1.405,51	82.770	
Desviación		600,93	7.211	

Fuente: Esta Investigación.

La verificación de población utilizando el método aritmético da como resultado una población de 82.770 habitantes al año 2005. Puede observarse que la tasa de crecimiento calculada para el periodo 1985 – 1993 presenta la mayor desviación respecto al valor promedio de población hallado (9,7%), mientras que al utilizar la tasa de crecimiento del periodo 1964 – 1993 se obtiene una desviación menor (2,6%).

b. **Método Geométrico.** Los resultados de la verificación con el método geométrico se muestran en la Tabla 2-12:

Tabla 2-12. Verificación de proyecciones de población al año 2005 - Método de crecimiento geométrico Municipio de Quibdó

Censo	Población	Tasa de Crecimiento	2005	Diferencia con el Promedio
1964	19.989	0,0420	107.971	10,2%
1973	27.954	0,0438	110.254	12,5%
1985	60.018	0,0118	75.833	-22,6%
1993	65.904	---	---	---
Promedio		0,0325	98.019	
Desviación		0,0180	19.248	

Fuente: Esta Investigación.

La verificación de población utilizando el método geométrico da como resultado una población de 98.019 habitantes al año 2005. Puede observarse que al utilizar la tasa de crecimiento calculada para el periodo 1985 – 1993 se presenta la mayor desviación respecto al valor promedio de población hallado (22,6%), mientras que al utilizar la tasa de crecimiento del periodo 1964 – 1993 se obtiene una desviación menor (10,2%).

c. **Método Exponencial.** Los resultados de la verificación con el método exponencial se muestran en la Tabla 2-13:

Tabla 2-13. Verificación de proyecciones de población al año 2005 - Método de crecimiento exponencial Municipio de Quibdó

Censo	Población	Tasa Kg	2005	Diferencia
1964	19.989	0,0373	93.176	-0,1%
1973	27.954	0,0637	93.359	0,1%
1985	60.018	0,0117	---	---
1993	65.904	---	---	---
Promedio 4 Censos		0,0375	---	
Promedio 3 Censos		0,0377	93.268	
Desviación		0,0368	129	

Fuente: Esta Investigación.

La verificación de población utilizando el método exponencial da como resultado una población de 93.268 habitantes al año 2005. Puede observarse que se obtienen resultados muy similares si se utiliza el promedio de K_g considerando los cuatro censos o considerando únicamente los últimos tres.

d. **Método de los Componentes.** Los resultados de la verificación con el método de los componentes se muestran en la Tabla 2-14.

La verificación de población utilizando el método de los componentes da como resultado una población de 79.024 habitantes al año 2005. Puede observarse que al igual que en las proyecciones realizadas al año 2020, el valor de población hallado por este método es menor que el logrado por otros métodos.

Tabla 2-14. Verificación de proyecciones de población al año 2005 - Método de los componentes municipio de Quibdó

Año	Población	Nacimientos	Defunciones	Saldo Migratorio	Crecimiento Vegetativo	Crecimiento Real
1993	65.904	2.622	476	-958	2.146	1.188
1994	67.092	2.669	484	-976	2.185	1.209
1995	68.301	2.436	493	-993	1.942	949
1996	69.250	2.469	500	-1.007	1.969	963
1997	70.213	2.504	507	-1.021	1.997	976
1998	71.188	2.539	467	-918	2.072	1.154
1999	72.342	2.580	475	-932	2.105	1.173
2000	73.515	2.433	482	-948	1.951	1.003
2001	74.519	2.467	489	-961	1.978	1.017
2002	75.536	2.500	496	-974	2.005	1.031
2003	76.567	2.534	464	-851	2.070	1.219
2004	77.786	2.575	471	-865	2.103	1.238
2005	79.024	---	---	---	---	---
		30.327	5.804	-11.403	24.523	13.120

Fuente: Esta Investigación.

e. **Resumen Métodos.** En la Tabla 2-15 se muestran las diferencias porcentuales de los resultados logrados con cada método respecto al valor real de población, para el año 2005 de 101.134 habitantes según el DANE.

Tabla 2-15. Resumen de verificación de proyecciones de población al año 2005 Municipio de Quibdó

Metodo	Población 2005	Diferencia
Aritmético	82.770	-18,16%
Geométrico	98.019	-3,08%
Exponencial	93.268	-7,78%
Componentes	79.024	-21,86%
Promedio	88.270	-12,72%
Desviación	7.803	

Fuente: Esta Investigación.

Los resultados de la Tabla 2-15 muestran que las proyecciones de población realizadas con el método aritmético y de los componentes son las que registran la mayor diferencia respecto al valor de población real, mientras que con el método geométrico se lograron los

resultados más cercanos (98.019 habitantes), permitiendo decir que en el periodo 1993-2005 el crecimiento de la población del área urbana del municipio de Quibdó es descrito de mejor forma por el método geométrico que por los otros métodos considerados.

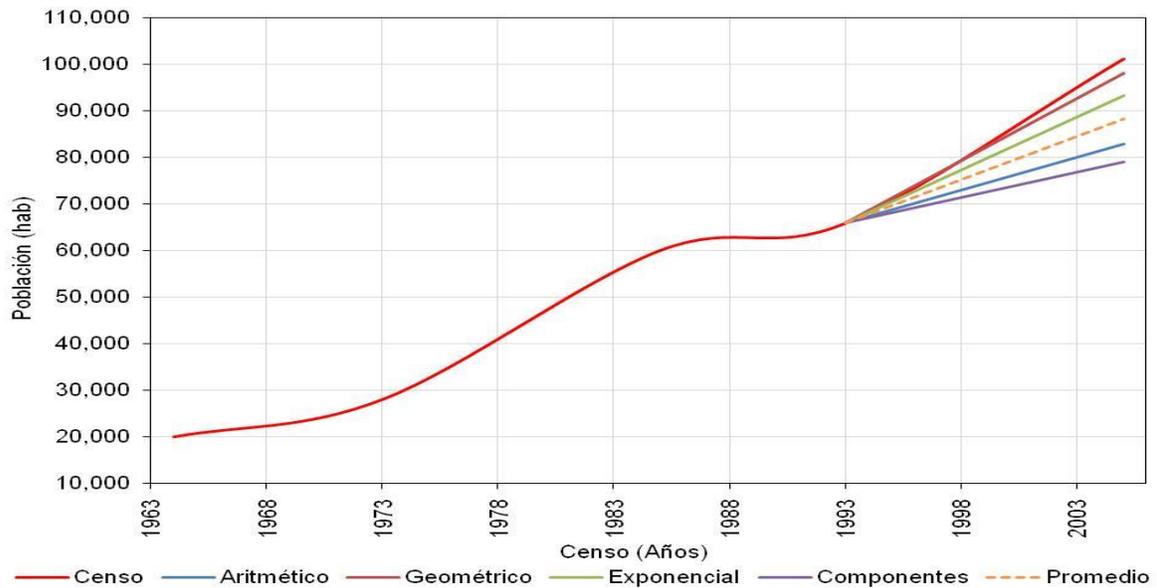


Figura 2-5. Verificación de proyecciones de población al año 2005 en el municipio de Quibdó

Fuente: Esta Investigación.

2.1.9 Método Adoptado.

Considerando que las proyecciones realizadas por el método aritmético y el de los componentes presentan desviaciones altas con respecto a la población proyectada para el año 2005, no se considerarán los métodos aritméticos y el de los componentes para estimar las proyecciones de población a lo largo del horizonte de diseño.

En la Tabla 2-16 se presentan las proyecciones de población por los métodos exponencial y geométrico con ajuste lineal de la tasa de crecimiento.

De acuerdo con las proyecciones de población realizadas, Tabla 2-16, la población proyectada para el año 2042 sería de 326.591 habitantes con desviación estándar de 51.470 habitantes.

Tabla 2-16. Proyecciones de Población métodos aceptados

Resumen Corregido								
Método / Año	2012	2017	2022	2027	2032	2037	2042	Diferencia
Geométrico	129.651	154.965	185.358	221.874	265.770	318.568	382.108	17,0%
Exponencial	116.907	137.750	162.463	191.790	226.614	267.997	317.205	-2,9%
Geométrico ajustado	128.296	150.126	173.804	199.073	225.583	252.888	280.460	-14,1%
Promedio	124.951	147.614	173.875	204.246	239.322	279.818	326.591	
DESVIACION	7.000	8.878	11.448	15.695	22.910	34.399	51.470	

Fuente: Esta Investigación.

Con relación a la información presentada en la Tabla 2-16, se realizan los siguientes comentarios:

- Por el método de proyección geométrico se obtiene la mayor población proyectada al año 2042 con una diferencia del 17% con respecto al valor medio.
- Por el método geométrico con ajuste lineal de la tasa de crecimiento se obtiene la menor proyección poblacional con una diferencia del 14.1%.
- La población proyectada por el método exponencial sería la más cercana al promedio obtenido con diferencia del 2.9%.

No obstante, las proyecciones realizadas, se considera que el método geométrico con ajuste lineal de la tasa de crecimiento es el mejor método para proyectar la población del municipio de Quibdó debido a las siguientes consideraciones:

- De los métodos de proyección, se demostró que con el método geométrico se obtuvo la mejor proyección poblacional al año 2005.

- El método geométrico, con ajuste lineal de la tasa de crecimiento, permite el dimensionamiento de obras más racionales al tener tasas de crecimiento poblacional a largo plazo con tendencias similares a las presentadas en el país.
- Está demostrado que las poblaciones en el largo plazo no crecen con tasas geométricas crecientes, sino que en el largo plazo las poblaciones tienden a lograr ciertos equilibrios como lo demuestra la curva de crecimiento o función de Gompertz.

De acuerdo con lo anterior, se adopta el método geométrico con ajuste lineal de la tasa de crecimiento para realizar las proyecciones de población para la zona urbana de Quibdó; Valores incluidos en la Tabla 2-5

2.1.10 Ajuste de las Proyecciones de Población al Año 2009.

Las proyecciones de población por el método geométrico con ajuste lineal de la tasa de crecimiento presentadas en la Tabla 2-5 nos muestran una población de 124.168 habitantes para el año 2011. A continuación, se realiza una estimación de la población al año 2011 considerando la información de usuarios del servicio y en especial el censo de usuarios realizado por Aguas del Atrato en el año 2009.

De acuerdo con la información obtenida en la Distribuidora del Pacífico DISPAC S.A. E.S.P, entidad encargada de la distribución y comercialización de energía eléctrica en el municipio de Quibdó se tiene:

Usuarios de Energía Eléctrica Urbanos Municipio de Quibdó 2011: 33.927
 Usuarios de Energía Eléctrica Rurales Municipio de Quibdó 2011:1.292

De acuerdo con la información del censo de usuarios realizado por la empresa INARCAD S.A. según contrato de consultoría realizado para Aguas del Atrato reportado en el informe final, se tiene:

Usuarios residenciales año 2009	= 25.659
Usuarios no residenciales año 2009	= 1.292
Total, usuarios acueducto año 2009	= 28.518

Como puede observarse, existe una amplia diferencia entre el número de usuarios urbanos en el servicio de energía y el número de usuarios registrado en el catastro de acueducto. Estudiada esta situación en reunión con la Interventoría del Estudio, se considera que muy seguramente, en el registro de usuarios de DISPAC existen zonas sub-urbanas las cuales no fueron consideradas en el censo de usuarios del servicio de acueducto. En razón de lo anterior, en decisión conjunta con la Interventoría, se adoptó considerar únicamente el censo de usuarios del servicio del acueducto para la estimación de la población del año 2009.

Para estimar la población al año 2009 se tendrá en cuenta la relación habitante por vivienda obtenida para Quibdó según censo del DANE en el año 2005:

Población área urbana Municipio Quibdó 2005	= 101.134
Número de Viviendas área urbana Quibdó 2005	= 22.061
Habitantes por Vivienda área urbana = 101.134/22.061	= 4,5843

Considerando que el total de usuarios reales y potenciales de acueducto del área urbana del municipio de Quibdó en el año 2009 es de 25.659 usuarios, que corresponden al mismo número de viviendas, la población estimada al año 2009 será:

$$P_{2009} = \text{Número Viviendas 2009} \times \text{Promedio Habitantes por Vivienda}$$

$$P_{2009} = 25.659 \times 4,5843$$

$$P_{2009} = 117.628 \text{ habitantes}$$

La tasa de crecimiento geométrico para el periodo 2005 – 2009 está dada por:

$$R_{2009 - 2005} = (P_{2009}/P_{2005})^{(1/2009 - 2005)} - 1$$

$$R_{2009 - 2005} = (117.628/101.134)^{(1/6)} - 1$$

$$R_{2009 - 2005} = 3,85 \%$$

Como puede observarse, la tasa de crecimiento obtenida para el período 2005 al 2009 de 3,85% es un poco mayor que la obtenida en el período intercensal 1993 al año 2005, para el cual la tasa intercensal fue de 3,63%.

Teniendo en cuenta la tasa de crecimiento en el periodo 2005–2009 y la población obtenida para el año 2009, se realiza un ajuste en las proyecciones de población que se realizan por el método geométrico con ajuste lineal de la tasa de crecimiento con los siguientes valores:

Población año 2009	=117.628 habitantes
Tasa de crecimiento inicial (período 2005 al 2009)	= 3,85%
Tasa de crecimiento final en el año 2042	= 2,0%
Período de tiempo para la proyección = 2042 – 2009	= 33 años
Variación anual tasa de crecimiento = $(3,85 - 2,0) / 33$	= 0,056%

Los resultados del ajuste al método geométrico con tasa variables se muestran en la Tabla 2-17.

Tabla 2-17. Estimación Ajustada de La Población Por El Método Geométrico De Tasa
Variable En El Municipio De Quibdó

Año	Población Urbana	Tasa de Crecimiento	Año	Población Urbana	Tasa de Crecimiento
1.985	60.018		2.023	188.578	3,06%
		1,18%	2.024	194.252	3,01%
1.993	65.904		2.025	199.987	2,95%
		3,63%	2.026	205.780	2,90%
2.005	101.134		2.027	211.626	2,84%
		3,85%	2.028	217.518	2,78%
2.009	117.628		2.029	223.453	2,73%
2.010	122.090	3,79%	2.030	229.425	2,67%
2.011	126.653	3,74%	2.031	235.428	2,62%
2.012	131.315	3,68%	2.032	241.456	2,56%
2.013	136.076	3,63%	2.033	247.503	2,50%
2.014	140.932	3,57%	2.034	253.562	2,45%
2.015	145.884	3,51%	2.035	259.628	2,39%
2.016	150.927	3,46%	2.036	265.694	2,34%
2.017	156.060	3,40%	2.037	271.752	2,28%
2.018	161.280	3,34%	2.038	277.796	2,22%
2.019	166.584	3,29%	2.039	283.819	2,17%
2.020	171.970	3,23%	2.040	289.814	2,11%
2.021	177.433	3,18%	2.041	295.773	2,06%
2.022	182.970	3,12%	2.042	301.688	2,00%

Fuente: Esta Investigación.

2.1.11 Población Flotante.

De acuerdo con los requerimientos del Numeral B.2.2.5. RAS 2000, se hace necesario el ajuste de la población efectiva calculada con relación a la población flotante y migratoria del proyecto, el cálculo de esta población debe considerar actividades turísticas, laborales, industriales y/o comerciales que representen población flotante, debe ajustarse la proyección de la población para tener en cuenta la población flotante, de acuerdo con los estudios socioeconómicos disponibles para la población, en caso de que existan posibilidades de migración hacia el municipio, ésta debe tenerse presente en los estudios de proyección de la población, en caso de que no existan datos, el diseñador debe proyectar la población utilizando alguna metodología especial establecida de común acuerdo con el contratante, para efectos de este estudio, se estimará en un valor porcentual del 5% con relación a la población calculada.

Con respecto a la población actual de 131.315 habitantes se considera una población flotante de 6.566 habitantes, para una población total para el año 2012, de 137.881 habitantes.

2.1.12 Población Proyectada con Población Flotante.

Las proyecciones de población, incluyendo la población flotante definida en el numeral anterior, se presentan en la Tabla 2-18. En la misma se observa que para el último año proyectado 2042, se presenta una población de 301.688 y se considera una población flotante de 15.084 habitantes para un total de 316.772 habitantes.

Tabla 2-18. Proyecciones de Población incluyendo población flotante

Año	Población (Hab)	Población Flotante (Hab)	Población Total (Hab)
2.012	131.315	6.566	137.881
2.013	136.076	6.804	142.880
2.014	140.932	7.047	147.979
2.015	145.884	7.294	153.178
2.016	150.927	7.546	158.473
2.017	156.060	7.803	163.863
2.018	161.280	8.064	169.344
2.019	166.584	8.329	174.913
2.020	171.970	8.598	180.568
2.021	177.433	8.872	186.305
2.022	182.970	9.149	192.119
2.023	188.578	9.429	198.007
2.024	194.252	9.713	203.964
2.025	199.987	9.999	209.987
2.026	205.780	10.289	216.069
2.027	211.626	10.581	222.207
2.028	217.518	10.876	228.394
2.029	223.453	11.173	234.626
2.030	229.425	11.471	240.896
2.031	235.428	11.771	247.199
2.032	241.456	12.073	253.529
2.033	247.503	12.375	259.878
2.034	253.562	12.678	266.240
2.035	259.628	12.981	272.610
2.036	265.694	13.285	278.979
2.037	271.752	13.588	285.340
2.038	277.796	13.890	291.686
2.039	283.819	14.191	298.010
2.040	289.814	14.491	304.305
2.041	295.773	14.789	310.561
2.042	301.688	15.084	316.772

Fuente: Esta Investigación.

2.1.13 Población proyectada Sector Centro.

De acuerdo con la información suministrada por Aguas del Atrato, empresa operadora del servicio de acueducto y alcantarillado en el municipio, la planta de tratamiento de La Loma abastecerá de agua potable a la zona centro del acueducto de Quibdó, con una población total de 81.853 habitantes.

En la Tabla 2-19, se presenta la distribución de usuarios del acueducto por barrio para la Zona Centro, de acuerdo con información tomada del Catastro de Usuarios de los Servicios Públicos de Acueducto y Alcantarillado en el municipio de Quibdó realizado por la Empresa Manov Ingeniería Ltda. en el año 2011.

Tabla 2-19. Proyección de Población Sector Centro

Sector	Barrio	Población (Habitantes)						
		2012	2017	2022	2027	2032	2037	2042
3	Kennedy	5.311	5.673	6.060	6.474	6.915	7.387	7.891
3	Miraflores	1.302	1.532	1.803	2.122	2.497	2.938	3.458
5	César Conto	2.315	2.501	2.702	2.918	3.153	3.406	3.679
5	Chambacú	677	738	805	877	957	1.043	1.137
5	Cristo Rey	2.209	2.577	3.005	3.505	4.088	4.768	5.561
5	El Silencio	1.485	1.753	2.068	2.441	2.881	3.400	4.012
5	La Alameda	2.311	2.447	2.591	2.743	2.905	3.075	3.256
5	La Yesquita	1.796	1.985	2.194	2.425	2.680	2.962	3.274
5	Pandeyuca	1.982	2.337	2.755	3.248	3.830	4.515	5.324
5	Roma	950	1.160	1.415	1.727	2.107	2.571	3.138
5	San Vicente	3.594	3.908	4.249	4.620	5.023	5.462	5.939
5	Yesca Grande	791	897	1.017	1.153	1.308	1.483	1.681
8	Palenque	1.602	2.099	2.750	3.602	4.719	6.182	8.098
8	Áreas Nuevas	1.223	1.411	1.627	1.877	2.165	2.497	2.880
9	La Playita	2.157	2.520	2.944	3.439	4.018	4.694	5.484
9	Niño Jesús	2.682	2.994	3.341	3.729	4.161	4.644	5.183
9	Pablo VI	524	629	755	906	1.088	1.306	1.568
9	Sector Cabí	1.093	1.293	1.528	1.806	2.135	2.524	2.983
9	Sector la T	308	355	410	472	545	628	725
Subtotal		34.313	38.806	44.018	50.085	57.174	65.486	75.272

Fuente: Esta Investigación.

Teniendo en cuenta una población flotante del 5% con relación a la población calculada, la población total para el sector centro es 79.036 habitantes para el año 2042.

2.1.14 Definición del Nivel de Complejidad.

De acuerdo con los resultados obtenidos de población proyectada al año 2042, cuyo valor fue de 316.772 habitantes, podemos clasificar el Nivel de Complejidad del Sistema del Municipio de Quibdó (Chocó), como ALTO, dado que su población es mayor de 60.000 habitantes.

2.2 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA

La demanda de agua requerida por la población, es el producto de la dotación per cápita multiplicada por la población. Para este cálculo se tiene en cuenta la dotación neta y la dotación bruta, tal como se define la norma RAS 2000.

2.2.1 Dotación Neta.

La Resolución 2320 de 2009, establece que siempre que existan datos de consumo histórico confiables para el municipio o distrito, la dotación neta máxima a utilizar en el diseño de un nuevo sistema de acueducto o la ampliación del sistema existente debe basarse en dichos datos, adicionalmente puntualiza la resolución que la dotación neta máxima calculada no deberá superar los valores establecidos en la Tabla 9 de esta Resolución, cuyos valores dependen del nivel de complejidad del sistema y del clima del municipio, entendiendo que el clima es una variables sujeta a la altura del proyecto con relación al nivel de mar. Para efectos de la aplicación de los valores de la resolución, se debe entender por poblaciones con "Clima Frío o Templado" aquellas ubicadas a una altura superior a 1.000 metros sobre el nivel del mar y por poblaciones con "Clima Cálido" aquellas ubicadas a una altura inferior o igual a 1.000 metros sobre el nivel del mar.

Para el Municipio de Quibdó (Chocó), el cual se encuentra a una altura promedio de 40 m.s.n.m., le corresponde una dotación neta per cápita de 150 L/(hab-día),

Sin embargo, Manov ingeniería Ltda, en el año 2011 realizó un análisis de la información de lecturas del servicio durante los meses de enero a septiembre del mismo año, determinando que la dotación neta real para la zona centro es de 136 L/hab – día, valor adoptado para el presente estudio.

2.2.2 Dotación Bruta

La Resolución 2320 de 2009, en su Artículo 1 modifica el artículo 67 de la Norma RAS 2000 en su Capítulo B.2.6 y define que la Dotación Bruta, es la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante considerando para su

cálculo el porcentaje de pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto. Para su cálculo la Norma RAS 2000 y la resolución, establece la siguiente ecuación:

$$DB = DN / 1 - \%P$$

Ecuación 9

Donde:

- DN : Dotación Neta del Sistema de Acueducto, expresada en L/hab día
 DB : Dotación Bruta del Sistema de Acueducto, expresada en L/hab día
 %P : Porcentaje de Perdidas del Sistema de Acueducto, expresado en tanto por uno

El porcentaje de pérdidas máximas admisibles en la ecuación anterior no deberá superar el 25%. Por lo tanto, suponiendo este valor como pérdidas máximas, la dotación bruta es de 181 L/hab – día,

2.2.3 Proyección de Caudales.

En la Tabla 2-20, se presentan los resultados de la proyección de caudales para la planta de tratamiento de agua potable La Loma.

Tabla 2-20. Proyección de Caudales

Año	Población	Pérdidas (%)	Dotación Neta (L/hab-día)	Dotación Bruta (L/hab-día)	Caudal medio diario (L/s)	K1	Caudal máximo diario (L/s)
2.012	36.029	25%	136	181	76	1,2	91
2.017	40.746	25%	136	181	86	1,2	103
2.022	46.219	25%	136	181	97	1,2	116
2.027	52.589	25%	136	181	110	1,2	132
2.032	60.037	25%	136	181	126	1,2	151
2.037	68.760	25%	136	181	144	1,2	173
2.042	79.036	25%	136	181	166	1,2	199

Fuente: Esta Investigación.

3. Calidad del Agua Cruda

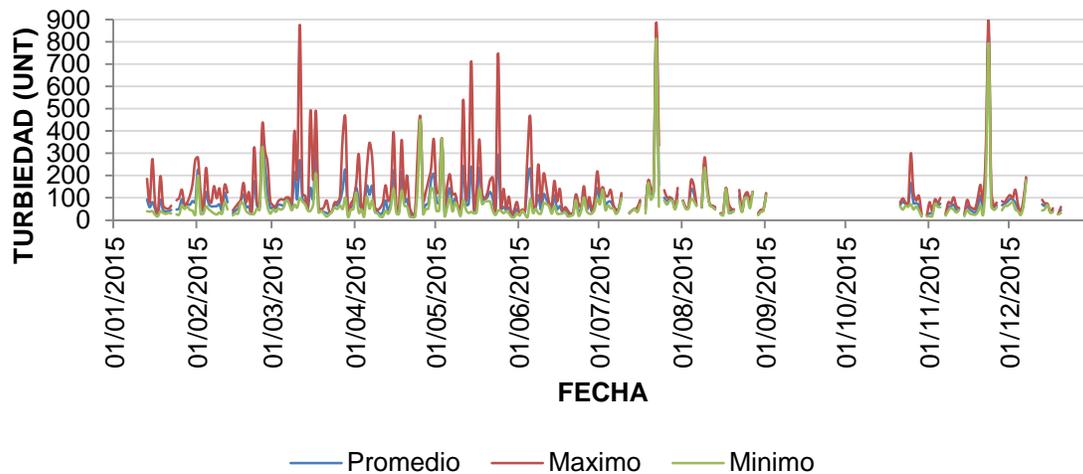
A continuación, se analizan los parámetros más representativos para el agua cruda de acuerdo con los registros de laboratorio realizados por Aguas del Atrato en el año 2015.

En la Tabla 3-1 se presentan los valores de la turbiedad del agua cruda.

Tabla 3-1. Valores de Turbiedad del Agua Cruda Año 2015

Mes	Turbiedad del agua cruda (UNT)			
	Máximo	Mínimo	Promedio	Desviación
Enero	274	17	61	42
Febrero	431	21	92	84
Marzo	876	14	93	95
Abril	462	13	97	86
Mayo	748	13	86	95
Junio	462	14	70	63
Julio	886	28	99	116
Agosto	280	22	78	51
Septiembre	121	112	115	5
Octubre	300	16	71	50
Noviembre	900	17	74	94
Diciembre	193	23	61	31
Año	900	13	83	83

Fuente: Aguas del Atrato, 2015



Gráfica 1. Valores de Turbiedad del Agua Cruda

Fuente: Aguas del Atrato, 2015.

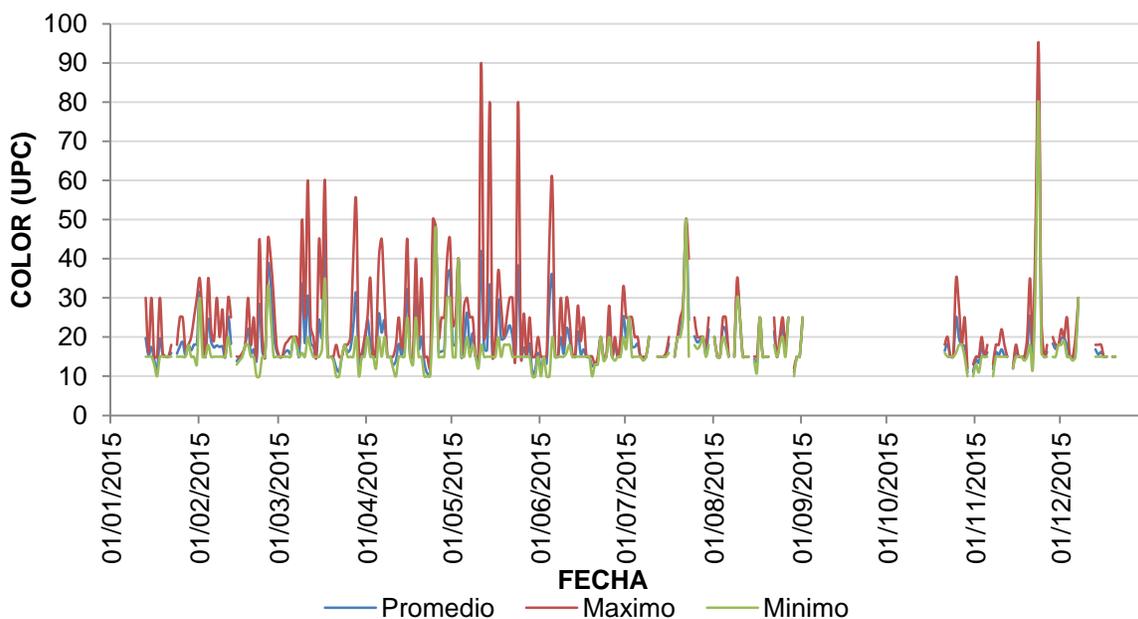
Con respecto a los valores de turbiedad del agua cruda, se puede observar un valor máximo de 900 UNT en el mes de noviembre y un valor mínimo fue 13 UNT en el mes de abril del año 2015. Septiembre fue el mes de mayor turbiedad promedio del agua con un valor de 115 UNT y Julio fue el mes con mayor variabilidad reportando una desviación estándar de 116 UNT. La menor turbiedad promedio mensual fue de 61 UNT en el mes de enero con desviación estándar de 42 UNT. El valor promedio de la turbiedad en el año fue de 32 UNT con desviación estándar de 83 UNT. En general, se observan valores de turbiedad variables en todo el año de estudio

En la Tabla 3-2 se presentan los valores del color del agua cruda. El valor máximo de color en el agua cruda fue de 95 UPC en el mes de noviembre y el valor mínimo fue de 10 UPC. En el mes de septiembre se registró un color promedio de 20 UPC siendo el mes de mayor color del agua cruda. El menor valor del color promedio mensual fue de 16 UPC en el mes de diciembre con desviación estándar de 3 UPC. El valor promedio en el año del color fue de 18 UPC con desviación estándar de 8 UPC. En general, se observan valores de color variables en todo el año de estudio, aspecto que puede ser visualizado en la Grafica 2.

Tabla 3-2. Valores de Color del Agua Cruda Año 2015

Mes	Color del agua cruda (UPC)			
	Máximo	Mínimo	Promedio	Desviación
Enero	30	10	16	4
Febrero	45	10	20	7
Marzo	60	10	19	8
Abril	50	10	20	9
Mayo	90	10	19	10
Junio	60	10	18	7
Julio	50	14	19	6
Agosto	35	10	18	5
Septiembre	25	25	25	0
Octubre	35	10	17	5
Noviembre	95	10	18	10
Diciembre	30	14	16	3
Año	95	10	18	8

Fuente: Aguas del Atrato



Gráfica 2. Valores de Color del Agua Cruda

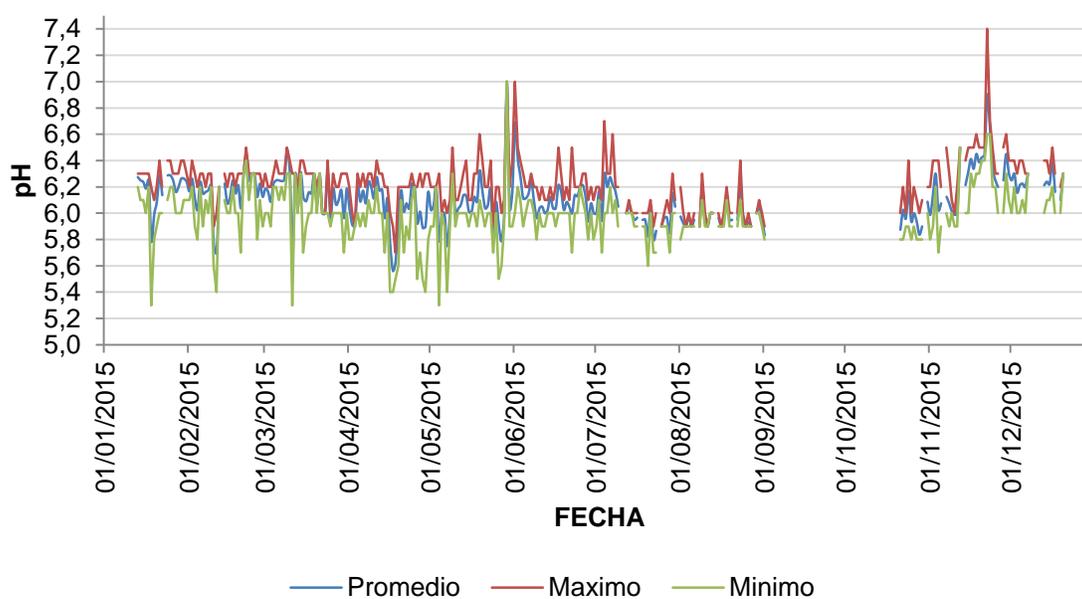
Fuente: Aguas del Atrato.

En la Tabla 3-3 se presentan los valores del pH del agua cruda:

Tabla 3-3. Valores de pH del Agua Cruda Año 2015

Mes	pH del agua cruda (Unidades)			
	Máximo	Mínimo	Promedio	Desviación
Enero	6,4	5,3	6,2	0,2
Febrero	6,5	5,4	6,2	0,2
Marzo	6,5	5,3	6,2	0,2
Abril	6,4	5,4	6,0	0,2
Mayo	7,0	5,3	6,1	0,2
Junio	7,0	5,7	6,1	0,2
Julio	6,7	5,6	6,1	0,2
Agosto	6,4	5,8	6,0	0,1
Septiembre	5,9	5,8	5,8	0,1
Octubre	6,4	5,8	6,0	0,1
Noviembre	7,4	5,7	6,3	0,3
Diciembre	6,5	6,0	6,2	0,1
AÑO	7,4	5,3	6,1	0,2

Fuente: Aguas del Atrato.



Gráfica 3. Valores de pH del Agua Cruda

Fuente: Aguas del Atrato.

El valor máximo del pH del agua fue de 7,4 unidades en el mes de noviembre y el valor mínimo fue de 5,3 unidades presentado en los meses de enero, marzo y mayo del año 2015. En el mes de noviembre se registró un valor promedio del pH de 6,3 unidades con desviación estándar de 0,3 unidades siendo el mes de mayor valor del pH del agua cruda y de mayor variabilidad. El menor valor del pH promedio mensual fue de 5,8 unidades en el mes de septiembre con desviaciones estándar de 0,1 unidades. El valor promedio anual del pH fue de 6,1 unidades con desviación estándar de 0,2 unidades.

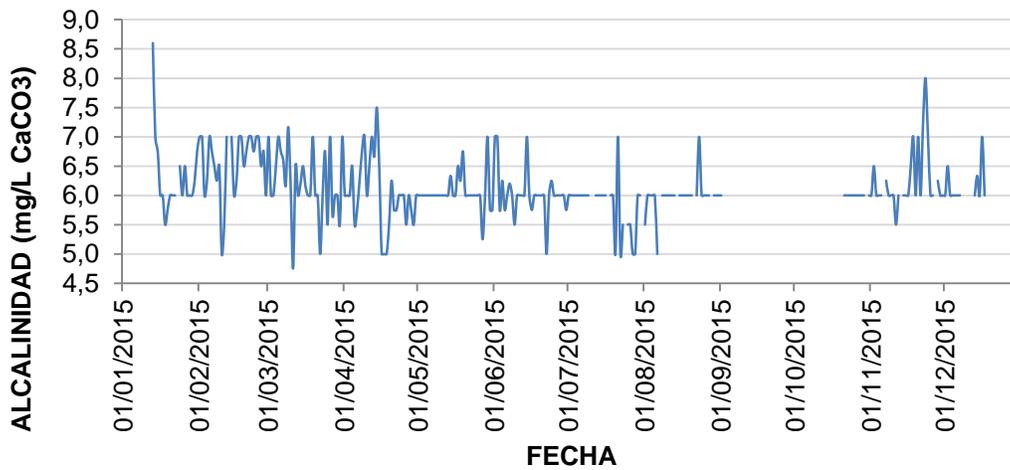
En la Tabla 3-4, se presentan los valores de la alcalinidad del agua cruda

Tabla 3-4. Valores de Alcalinidad del Agua Cruda Año 2015

Mes	Alcalinidad del agua cruda (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Enero	7	5	6
Febrero	7	5	7
Marzo	9	4	6
Abril	8	5	6
Mayo	7	5	6
Junio	7	5	6
Julio	7	5	6
Agosto	7	5	6
Septiembre	6	6	6
Octubre	6	6	6
Noviembre	8	5	6
Diciembre	7	6	6
Año	9	4	6

Fuente: Aguas del Atrato.

Los valores reportados del agua cruda, son valores bajos comparados con los valores típicos de fuentes superficiales. El valor máximo fue de 9,0 mg/L CaCO₃ en el mes de marzo y el valor mínimo fue de 4 mg/L CaCO₃, para el mismo mes. En el mes de febrero se registró el mayor valor de la alcalinidad promedio mensual con un valor de 7 mg/L CaCO₃, el menor valor de la alcalinidad promedio mensual fue de 6 mg/L CaCO₃ en el mes de julio, el valor promedio de la alcalinidad en el año fue de 6 mg/L. En general, se observan valores de alcalinidad más o menos uniformes en todo el año de estudio, aspecto que puede ser visualizado en la Gráfica 4.



Gráfica 4. Valores de Alcalinidad del Agua Cruda

Fuente: Aguas del Atrato.

Los parámetros analizados indican la necesidad de remoción de turbiedad y color. El agua cruda es agua de alta turbiedad y color con alcalinidad muy baja que hace necesario control permanente apropiado de coagulación mediante análisis frecuente de jarras.

4. Calidad de Agua Tratada

En el laboratorio de Aguas del Atrato localizado en la planta de tratamiento de La Loma, se realiza el control de la calidad del agua a la salida de la planta de tratamiento, con el fin de controlar la calidad física y química del agua, verificando la eficiencia en el tratamiento además del cumplimiento con los parámetros estipulados en la Resolución 2115 del 22 de junio del 2007.

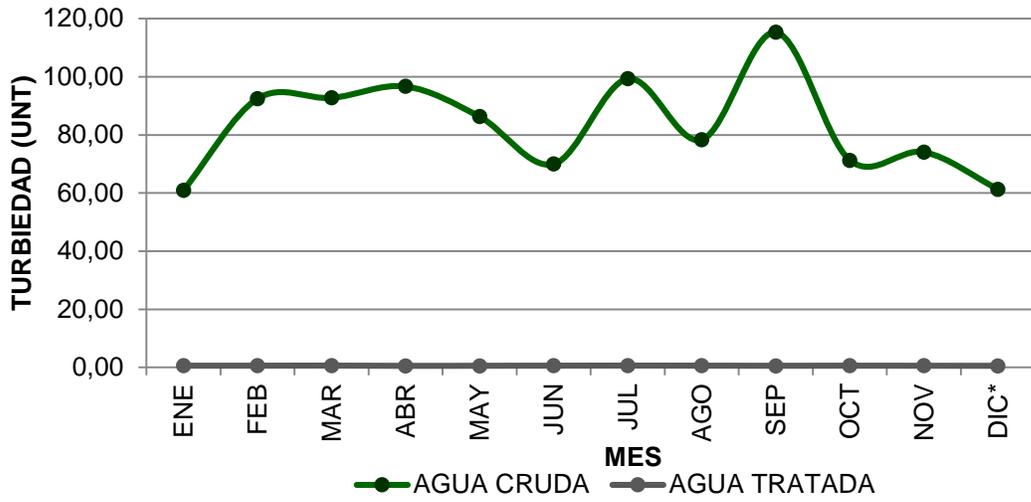
En las Tabla 4-1 y Tabla 4-2, y en las Gráficas 5 a 9 se muestran los valores promedios mensuales de los parámetros monitoreados a la salida de la planta de tratamiento y en el agua cruda.

Tabla 4-1. Resultados Monitoreo Agua Tratada Año 2015

Mes	AGUA TRATADA				
	pH	Turbiedad	Color	Alcalinidad	Cl ₂ LIBRE
	(Unidades)	(UNT)	(UPC)	(mg/L CaCO ₃)	(mg/L)
Enero	7,34	0,53	3,00	13,13	0,75
Febrero	7,28	0,54	3,00	12,70	0,85
Marzo	7,24	0,57	3,08	12,42	0,80
Abril	7,24	0,48	3,00	12,29	0,86
Mayo	7,26	0,51	3,00	12,33	0,92
Junio	7,27	0,54	3,00	12,29	0,93
Julio	7,34	0,57	3,00	12,96	1,00
Agosto	7,28	0,55	3,00	12,51	0,88
Septiembre	7,13	0,51	3,00	11,00	0,80
Octubre	7,14	0,54	3,00	11,32	0,63
Noviembre	7,24	0,52	3,01	12,08	0,74
Diciembre	7,11	0,50	3,00	11,61	0,82
TOTAL	7,26	0,53	3,01	12,37	0,84

Fuente: Aguas del Atrato.

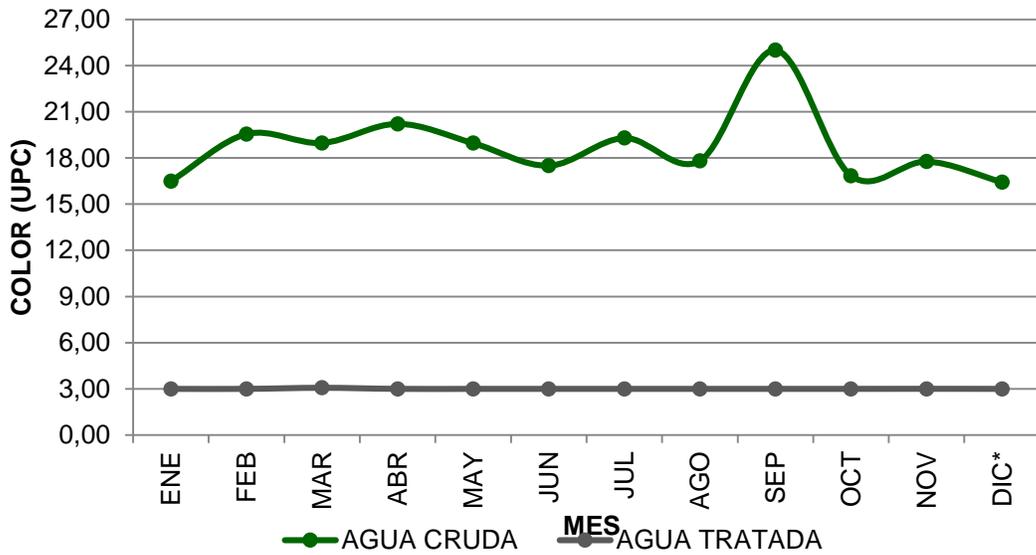
Los valores de turbiedad para el agua tratada cumplen a lo largo de todo el periodo comprendido entre los meses de enero y diciembre del 2015, la Norma establecida en la Resolución 2115 de 2009, que limita la turbiedad a un valor máximo de 2 unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT).



Grafica 5. Turbiedad del Agua Cruda y Agua Tratada Año 2015

Fuente: Aguas del Atrato.

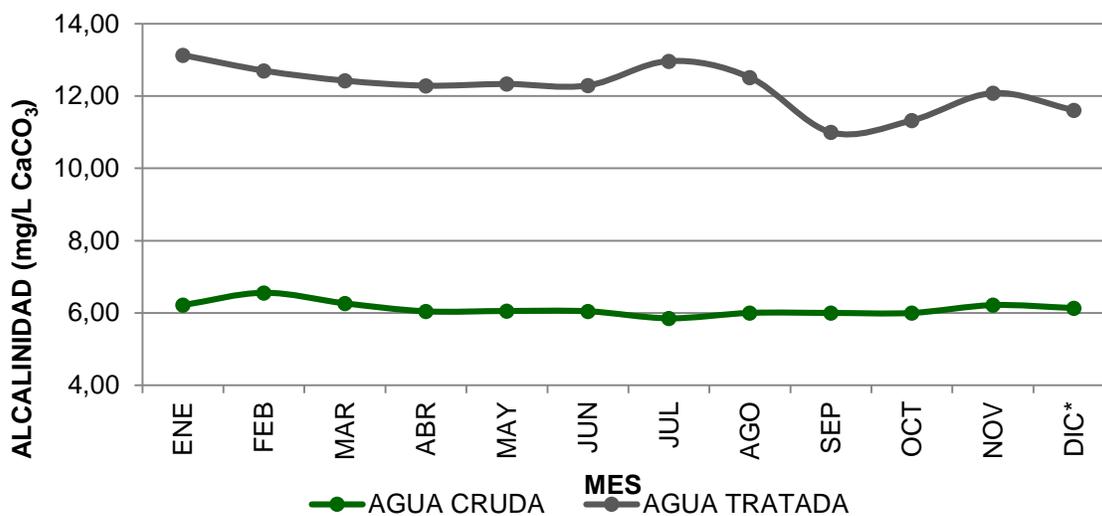
Los valores de color para el agua tratada igualmente cumplen en el año 2015, con el valor límite establecido en la Resolución, que lo condiciona a un valor máximo de 15 unidades en la escala de Platino Cobalto (UPC).



Gráfica 6. Color del Agua Cruda y Agua Tratada Año 2015

Fuente: Aguas del Atrato.

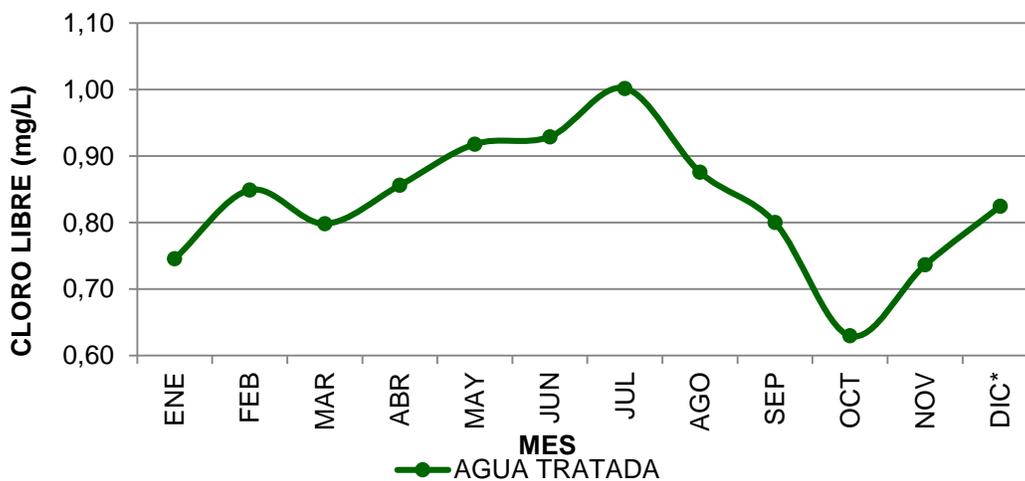
La alcalinidad del agua tratada presenta valores superiores a los registrados en el agua cruda, pero es inferior al valor límite establecido de 200 mg CaCO₃/L cumpliendo con la Resolución 2115 de 2007.



Gráfica 7. Alcalinidad del Agua Cruda y Agua Tratada Año 2015

Fuente: Aguas del Atrato.

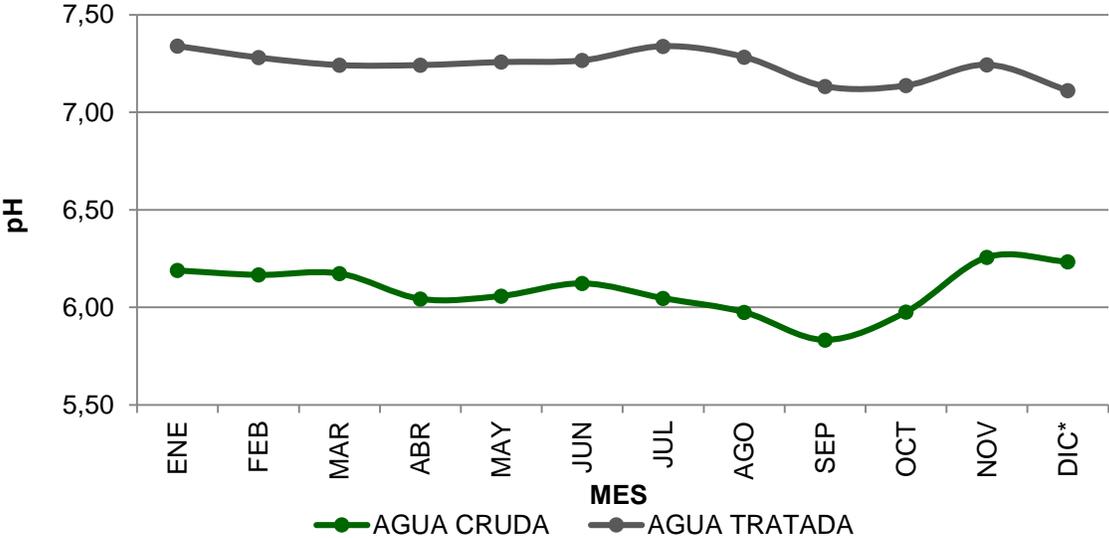
El residual de cloro oscila entre 0,63 y 1,0 mg/L; Valores dentro del límite establecido por la Resolución para agua potable.



Gráfica 8. Cloro Residual Libre del Agua Tratada Año 2015

Fuente: Aguas del Atrato.

El pH del agua tratada, presenta valores promedio de 7,28 unidades, cumpliendo con el límite inferior de 6,5 unidades y el superior de 9,0 unidades.



Gráfica 9. Potencial de Hidrogeno pH del Agua Cruda y del Agua Tratada Año 2015
 Fuente: Aguas del Atrato

Finalmente, con el propósito de evaluar el comportamiento de la planta de tratamiento de agua potable de la Loma, se realizó un seguimiento a las variables fisicoquímicas y microbiológicas del agua a la entrada y salida de la misma, verificando las características del agua conforme al histórico reportado por Aguas del Atrato, Empresa Operadora del servicio. Los resultados se presentan en la Tabla 4-2

Tabla 4-2. Informe de Análisis de Agua Cruda y Tratada

Análisis		Mayo 05 de 2016		Agostos 07 de 2016		Valores Aceptables
		Agua Cruda	Agua Tratada	Agua Cruda	Agua Tratada	
Químicos	Alcalinidad	7 mg/L	12,3 mg/L	6,5 mg/L	13,2 mg/L	200 mg/L
	Aluminio	0,05 mg/L	0,19 mg/L	0,03 mg/L	0,09 mg/L	0,2 mg/L
	Dureza Total	58 mg/L	50 mg/L	40 mg/L	54 mg/L	300 mg/L
	Calcio	55 mg/L	32 mg/L	45 mg/L	40 mg/L	60 mg/L
	Cloro Residual Libre	-	1,02 mg/L	-	0,98 mg/L	0,3 – 2,0 mg/L
	Cloruros	21,2 mg/L	20,9 mg/L	19,5 mg/L	19 mg/L	250 mg/L
	Nitritos	0,4 mg/L	0,01 mg/L	0,3 mg/L	0,01 mg/L	0,1 mg/L
	Nitratos	1,51 mg/L	0,5 mg/L	0,84 mg/L	0,8 mg/L	10 mg/L
	Hierro	1,86 mg/L	0,25 mg/L	0,89 mg/L	0,05 mg/L	0,3 mg/L
	pH	6,3 U	7,58 U	6,5 U	7,30 U	6,5 – 9,0 U
	Fosfatos	0,25 mg/L	0,11 mg/L	0,30 mg/L	0,11 mg/L	0,5 mg/L
Sulfatos	84 mg/L	36 mg/L	76 mg/L	46 mg/L	250 mg/L	
Físicos y Organolépticos	Color	20,4 UPC	1,1 UPC	24,6 UPC	3,1 UPC	< 15 UPC
	Turbiedad	84 NTU	0,21 NTU	96 NTU	0,50 NTU	2 NTU
	Conductividad	62 μ S/cm	52 μ S/cm	80 μ S/cm	62 μ S/cm	1000 μ S/cm
	Temperatura	23,3 °C	18,9 °C	24,3 °C	21,9 °C	-
Microbiológicos	Coliformes Totales	1680 UFC/100 ml	0 UFC/100 ml	1250 UFC/100 ml	0 UFC/100 ml	Ausencia /100 ml
	Coliformes Fecales	960 UFC/100 ml	0 UFC/100 ml	550 UFC/100 ml	0 UFC/100 ml	Ausencia/10 0 ml

Fuente: Esta Investigación.

5. Evaluación Procesos de Tratamiento

La planta de tratamiento de La Loma tiene una capacidad nominal de diseño de 125 L/s y corresponde a una planta del tipo convencional. A continuación, se realiza una descripción y evaluación de cada uno de los procesos de tratamiento del agua.

5.1 Proceso de Coagulación

La planta de tratamiento de La Loma abastecerá de agua potable a la zona centro del acueducto de Quibdó, con las siguientes demandas de agua:

Tabla 5-1. Demanda de Agua Potable Zona Centro Acueducto

Año	Caudal máximo diario (L/s)	Caudal medio diario (L/s)	Caudal demandado PTAP (L/s)
2012	39,0	32,5	40,7
2017	97,5	81,3	101,6
2019	102,9	85,8	107,2
2026	124,9	104,1	130,1
2034	157,0	130,9	163,6
2042	199,1	165,9	207,4

Fuente: Esta Investigación.

De acuerdo con la capacidad nominal de la Planta de Tratamiento de La Loma de 125 L/s, permite atender la demanda de agua de la zona centro del acueducto hasta el año 2024. Para atender la demanda de agua al año 2042, se requerirá aumentar la capacidad de la planta actual en 82,4 L/s

A continuación, se presenta la evaluación del funcionamiento hidráulico de la planta de tratamiento considerando una demanda de 125 L/s.

La carga hidráulica sobre el vertedero frontal rectangular con contracciones viene dada por la siguiente expresión:

$$Q = C. (L - 0,1 n H) H^{3/2}$$

Ecuación 10

En donde:

Q: Caudal en m^3/s

C: coeficiente del vertedero igual a 1,838

L: longitud del vertedero, en $\text{m} = 0,41 \text{ m}$

n: número de contracciones de la vena líquida = 2

De la anterior expresión y para el caudal considerado de 125 L/s, tras un proceso de iteración, se determinó que la carga hidráulica sobre el vertedero es $H = 0,341 \text{ m}$

Por la forma como está construida la estructura, el resalto hidráulico que podría formarse, se encuentra ahogado. La profundidad del agua después del vertedero es de 3,16 m y existe un baffle a una distancia de 0,60 m del vertedero. Se considera que esta estructura para realizar la coagulación del agua no es adecuada dado que no se puede producir un resalto hidráulico estable para realizar la debida mezcla rápida del coagulante con el agua.

5.2 Proceso de Floculación

El proceso de floculación se realiza en un floculador hidráulico de flujo vertical tipo Alabama consistente en dos unidades de 12 cámaras cada una. Del canal de aguas coaguladas, el agua ingresa por medio de un orificio de 0,30 m de ancho y 0,40 m de altura a cada floculador.

El floculador tiene las siguientes características:

Número de unidades de floculación	= 2
Número de cámaras por unidad	= 12
Volumen útil total	= 196,11 m^3

Tabla 5-2. Orificios de Interconexión Floculador Izquierda Sentido de Flujo Entrada del Agua

Interconexión	Sección orificio de interconexión (m)	Sección Tramo recto (m x m)	Altura tramo recto (m)
1 a 2	0,40 x 0,37	0,37x 0,37	2,53
2 a 3	0,34 x 0,34	0,41 x 0,44	2,53
3 a 4	0,37 x 0,34	0,41 x 0,46	2,53
4 a 5	0,44 x 0,41	0,48 x 0,44	2,53
5 a 6	0,44 x 0,45	0,45 x 0,49	2,53
6 a 7	0,44 x 0,49	0,45 x 0,48	2,53
7 a 8	0,46 x 0,46	0,47 x 0,49	2,53
8 a 9	0,53 x 0,52	0,54 x 0,58	2,53
9 a 10	0,54 x 0,52	0,57 x 0,60	2,53
10 a 11	0,55 x 0,51	0,55 x 0,55	2,53
11 a 12	0,50 x 0,56	0,60 x 0,54	2,53
12 a canal salida	0,40 x 0,70		

Fuente: Esta Investigación.

Tabla 5-3. Orificios de Interconexión Floculador Derecha Sentido de Flujo Entrada del Agua

Interconexión	Sección orificio de interconexión (m)	Sección Tramo recto (m x m)	Altura tramo recto (m)
1 a 2	0,34 x 0,40	0,37 x 0,37	2,53
2 a 3	0,40 x 0,32	0,34 x 0,40	2,53
3 a 4	0,38 x 0,37	0,40 x 0,39	2,53
4 a 5	0,43 x 0,43	0,45 x 0,48	2,53
5 a 6	0,43 x 0,44	0,50 x 0,33	2,53
6 a 7	0,48 x 0,43	0,44 x 0,46	2,53
7 a 8	0,44 x 0,43	0,45 x 0,48	2,53
8 a 9	0,49 x 0,50	0,57 x 0,56	2,53
9 a 10	0,43 x 0,50	0,57 x 0,54	2,53
10 a 11	0,50 x 0,56	0,55 x 0,55	2,53
11 a 12	0,54 x 0,50	0,60 x 0,55	2,53
12 a canal salida	0,40 x 0,70		

Fuente: Esta Investigación.

Considerando un tiempo de retención mínimo de 20 minutos valor que establece la norma RAS-2000, numeral C.5.5.1.2, se puede establecer el caudal máximo que puede tratar la estructura:

$$\text{Caudal máximo} = 196,11 \times 1.000 / 1.200 = 163,43 \text{ L/s}$$

De acuerdo con el tiempo de retención mínimo, el sistema de floculación hidráulica de la Planta de Tratamiento de La Loma, tiene una capacidad máxima de 163,43 L/s, el cual permite atender la demanda de agua de la zona centro del acueducto hasta el año 2034. Para atender la demanda de agua al año 2042, se requerirá aumentar la capacidad del sistema de floculación en 43,97 L/s.

Para el paso del agua entre cada una de las cámaras de floculación, existe un orificio que presenta dos dimensiones: Una sección rectangular en el orificio de interconexión o pasamuro entre cámaras y un tramo recto a manera de codo en sección cuadrada dentro de la cámara contigua.

La pérdida de carga en los orificios de interconexión se calcula mediante las siguientes formulas:

Para el orificio de interconexión y de salida:

$$h_f = Q^2 / (2g \cdot C_d^2 \cdot A^2) \qquad \text{Ecuación 11}$$

En donde:

h_f : Pérdida de carga, en m

Q : Caudal, en m^3/s

g : Aceleración de la gravedad, en m/s^2

C_d : Coeficiente de gasto, adimensional, 0,8 para el orificio de interconexión y 0,65 para el de salida

A : Área del orificio, en m

La pérdida de carga en el codo es:

$$h_f = K \cdot V^2 / 2g$$

Ecuación 12

En donde:

h_f : Pérdida de carga, en m

K: Coeficiente de pérdida, adimensional, 0,4 para el codo

V: Velocidad del agua, en m/s

El gradiente puntual en la interconexión entre cámaras de floculación, viene dado por la siguiente expresión:

$$G = ((g \cdot h_f) / (v \cdot T_o))^{1/2}$$

Ecuación 13

En donde:

G: gradiente puntual, en s^{-1}

g: Aceleración de la gravedad, en m/s^2

h_f : Pérdida de carga, en m

v: Viscosidad cinemática, en m^2/s

T_o : Tiempo de retención, en s

Para una temperatura del agua de 22°C, la viscosidad cinemática del agua es de $9,63 \times 10^{-7} m^2/s$.

Las velocidades del agua en los orificios de interconexión y los gradientes puntuales para un caudal de 125 L/s se presentan en las Tabla 5-4 y Tabla 5-5.

Tabla 5-4. Gradientes Puntuales Orificios de Interconexión, Floculador Izquierdo

Interconexión	Sección orificio (m ²)	Vel. Orificio (m/s)	Sección orificio de salida (m ²)	Tiempo de retención (Segundos)	Perdida de carga (m)				Gradiente s-1
					Interconexión	Codo	Salida	Total	
1 a 2	0,15	0,42	0,14	125,76	0,0142	0,0036	0,0252	0,0430	59,01
2 a 3	0,12	0,54	0,18	141,44	0,0231	0,0060	0,0145	0,0436	56,03
3 a 4	0,13	0,50	0,19	138,08	0,0196	0,0051	0,0133	0,0380	52,93
4 a 5	0,18	0,35	0,21	122,56	0,0096	0,0025	0,0106	0,0227	43,42
5 a 6	0,20	0,32	0,22	138,56	0,0079	0,0021	0,0097	0,0197	38,09
6 a 7	0,22	0,29	0,22	138,56	0,0067	0,0017	0,0101	0,0185	36,88
7 a 8	0,21	0,29	0,23	122,88	0,0069	0,0017	0,0089	0,0175	38,13
8 a 9	0,28	0,23	0,31	138,88	0,0041	0,0011	0,0048	0,0100	27,05
9 a 10	0,28	0,22	0,34	141,44	0,0039	0,0010	0,0040	0,0090	25,41
10 a 11	0,28	0,22	0,30	119,52	0,0039	0,0010	0,0052	0,0101	29,32
11 a 12	0,28	0,22	0,32	136,00	0,0040	0,0010	0,0045	0,0095	26,61

Fuente: Esta Investigación.

Tabla 5-5. Gradientes Puntuales en los Orificios de Interconexión, Floculador Derecho

Interconexión	Sección orificio (m ²)	Vel. Orificio (m/s)	Sección orificio de salida (m ²)	Tiempo de retención (Segundos)	Perdida de carga (m)				Gradiente s-1
					Interconexión	Codo	Salida	Total	
1 a 2	0,14	0,46	0,14	112,96	0,0168	0,0043	0,0252	0,0463	64,63
2 a 3	0,13	0,49	0,14	114,72	0,0190	0,0049	0,0255	0,0494	66,24
3 a 4	0,14	0,44	0,16	160,80	0,0158	0,0040	0,0194	0,0391	49,76
4 a 5	0,18	0,34	0,22	118,56	0,0091	0,0024	0,0101	0,0216	43,06
5 a 6	0,19	0,33	0,17	120,48	0,0087	0,0022	0,0173	0,0282	48,87
6 a 7	0,21	0,30	0,20	148,80	0,0073	0,0018	0,0115	0,0207	37,61
7 a 8	0,19	0,33	0,22	120,16	0,0087	0,0022	0,0101	0,0210	42,23
8 a 9	0,25	0,26	0,32	123,52	0,0052	0,0014	0,0046	0,0112	30,39
9 a 10	0,22	0,29	0,31	148,00	0,0067	0,0017	0,0050	0,0134	30,41
10 a 11	0,28	0,22	0,30	116,00	0,0040	0,0010	0,0052	0,0101	29,80
11 a 12	0,27	0,23	0,33	112,48	0,0043	0,0011	0,0043	0,0097	29,61

Fuente: Esta Investigación.

Se puede observar, que la velocidad del agua en tres orificios de interconexión en especial en las cámaras iniciales, se encuentra por encima del rango recomendado por las normas RAS 2000, la cual el numeral C.5.5.1.2. establece que las velocidades en los orificios de

interconexión deben estar comprendidas entre 0,40 y 0,20 m/s. Sin embargo, los gradientes puntuales se encuentran dentro del rango recomendado por el mismo.

De acuerdo con las normas RAS-2000, en un floculador Alabama deben formarse gradientes entre 70 y 20 s⁻¹ los cuales deben ser decrecientes para permitir el crecimiento de los flocs sin que se produzca su disgregación o rompimiento. Es recomendable para las estructuras existentes formar tres o cuatro zonas de gradiente diferenciales.

5.3 Proceso de Sedimentación

El paso del agua del floculador hidráulico al sedimentador se realiza a través de dos (2) orificios de 0,43 x 0,70 m cada uno. Considerando un caudal de 125 L/s y suponiendo una repartición igual en los dos orificios de interconexión, el caudal promedio por cada orificio de interconexión será:

Caudal de diseño	= 125 L/s
Número de orificios	= 2
Caudal por orificio	= 125 / 2 = 62,5 L/s

La pérdida de carga genera en el orificio de paso del floculador al sedimentador se determina mediante la siguiente ecuación:

$$h_f = Q^2 / (2g \cdot C_d^2 \cdot A^2)$$

En donde:

h _f :	Perdida de carga, en m
Q:	Caudal por orificio, en m ³ /s
g:	Aceleración de la gravedad, en m/s ²
C _d :	Coeficiente de gasto, adimensional
A:	Área del orificio, en m

Conforme a lo anterior, la pérdida de carga es:

$$h_f = (0,0625 \text{ m}^3/\text{s})^2 / (2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,8^2 \times (0,30 \text{ m}^2)^2)$$

$$h_f = 0,00346 \text{ m}$$

El gradiente puntual en el orificio de interconexión entre el floculador y el sedimentador, viene dado por la siguiente expresión:

$$G = ((g \cdot h_f) / (v \cdot T_o))^{1/2}$$

En donde:

- G: gradiente puntual, en s^{-1}
- g: Aceleración de la gravedad, en m/s^2
- h_f : Perdida de carga, en m
- v.: Viscosidad cinemática, en m^2/s
- T_o : Tiempo de retención, en s

Acorde con lo anterior, y teniendo en cuenta que el tiempo de retención hidráulico en la última cámara de floculación es de 140 segundos y que, para la temperatura del agua de 22°C, la viscosidad cinemática del agua es de $9,63 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. el gradiente puntual es:

$$G = ((9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,00346 \text{ m} / 9,63 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} \times 140 \text{ s}))^{1/2}$$

$$G = 15,87 \text{ s}^{-1}$$

Se puede observar que el gradiente puntual en el orificio de entrada al sedimentador es menor al de la última cámara del floculador e igualmente menor de 20 s^{-1} , como lo recomienda la norma RAS-2000 en el numeral C.5.5.3.

De igual manera, a continuación, se determina la velocidad en el orificio de entrada al sedimentador, mediante la siguiente ecuación:

$$V = Q/A$$

Ecuación 14

En donde:

- V: Velocidad del agua, en m/s
Q: Caudal en el orificio, en m³/s
A: Área del orificio, en m

Reemplazando en la ecuación anterior, la velocidad en el orificio es:

$$V = 0,0625 \text{ m}^3/\text{s} / 0,30 \text{ m}^2$$

$$V = 0,21 \text{ m/s}$$

La velocidad en el orificio de interconexión se encuentra dentro del rango recomendado por el RAS 2000, de 0,20 y 0,40 m/s. por lo tanto, en el orificio de entrada al sedimentador no se generaría rompimiento del floc.

5.3.1 Evaluación Zona de Sedimentación.

La sedimentación del agua se realiza en tres sedimentadores de flujo laminar de las siguientes características:

Número de sedimentadores	= 3
Número de zonas por sedimentador	= 1
Longitud de cada zona	= 7,30 m
Proyección horizontal módulo tubular	= 0,60 m
Longitud útil en cada zona = 7,30 – 0,60	= 6,70 m

Sedimentador 1:

Ancho de cada zona	= 4,46 m
Área superficial útil por zona	= 4,46 x 6,70 = 29,88 m ²
Fracción de área neta en módulos tubulares	= 0,90
Área horizontal neta	= 0,90 x 29,88 m ² = 26,89 m ²
Área transversal neta	= 23,29 m ²
Caudal por sedimentador	= 41,667 L/s \equiv 3.600,03 m ³ /día

Velocidad del agua entre tubos del módulo = $3.600,03/23,29=154,57 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-día}$

Carga superficial = $154,57 \times 0,866 = 133,86 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{- día}$

Sedimentador 2:

Ancho de cada zona = 3,87 m

Área superficial útil por zona = $3,87 \times 6,70 = 25,93 \text{ m}^2$

Fracción de área neta en módulos tubulares = 0,90

Área horizontal neta = $0,90 \times 25,93 \text{ m}^2 = 23,34 \text{ m}^2$

Área transversal neta = $20,21 \text{ m}^2$

Caudal por sedimentador = $41,667 \text{ L/s} \equiv 3.600,03 \text{ m}^3/\text{día}$

Velocidad del agua entre tubos del módulo = $3.600,03 / 20,21=178,13 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-día}$

Carga superficial = $178,13 \times 0,866 = 154,27 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{- día}$

Sedimentador 3:

Ancho de cada zona = 4,40 m

Área superficial útil por zona = $4,40 \times 6,70 = 29,48 \text{ m}^2$

Fracción de área neta en módulos tubulares = 0,90

Área horizontal neta = $0,90 \times 29,48 \text{ m}^2 = 26,53 \text{ m}^2$

Área transversal neta = $22,98 \text{ m}^2$

Caudal por sedimentador = $41,667 \text{ L/s} \equiv 3.600,03 \text{ m}^3/\text{día}$

Velocidad del agua entre tubos del módulo = $3.600,03 / 22,98=156,66 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-día}$

Carga superficial = $156,66 \times 0,866 = 135,67 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{- día}$

La carga superficial obtenida en los sedimentadores, se encuentran dentro de los valores recomendados por las normas RAS-2000, numeral C.6.5.1.3.

5.3.2 Evaluación Zona de Repartición a la Zona de Sedimentación Acelerada.

La entrada a la zona de decantación se realiza a través de dos ductos de 0,36 m de diámetro, en el fondo de los ductos existen perforaciones de 6,35 cm de diámetro espaciados cada 24 cm, y en tres hileras por ducto.

a. Evaluación del gradiente de velocidad en el ducto de entrada:

Diámetro del ducto	= 0,36 m
Área del ducto	= 0,10 m ²
Caudal por sedimentador	= 41,67 L/s
Caudal por tubería perforada	= 20,83 L/s
Velocidad del agua	= 0,02083 m ³ /s / 0,10 m ² = 0,21 m/s
Radio hidráulico	= 0,36 m / 4 = 0,09 m

El gradiente de velocidad en el ducto de entrada, se calcula de la siguiente manera:

$$G = ((f \cdot V^3) / (8R_H \cdot \nu))^{1/2} \quad \text{Ecuación 15}$$

En donde:

G:	Gradiente puntual, en s ⁻¹
f:	Coeficiente de rozamiento de la fórmula de Darcy-Weisbach, adimensional
V:	Velocidad del agua, en m/s
R _H :	Radio hidráulico, en m
ν.:	Viscosidad cinemática, en m ² /s

Considerando la temperatura del agua de 22°C, la viscosidad cinemática del agua es de 9,63 x 10⁻⁷ m²/s. Igualmente, para el diámetro del ducto de 0,36 m y velocidad de 0,21 m/s, el factor de fricción es de 0,02; por lo tanto, el gradiente de velocidad es:

$$G = ((0,02 \times (0,21 \text{ m/s})^3) / (8 \times 0,09 \text{ m} \times 9,63 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}))^{1/2}$$
$$G = 16,15 \text{ s}^{-1}$$

El gradiente de velocidad obtenido se encuentra dentro de los valores recomendados por la norma RAS-2000, numeral C.5.5.3.

b. Evaluación del gradiente de velocidad en los orificios de distribución:

Diámetro de los orificios	= 0,0635 m
Área de un orificio	= 0,0032 m ²
Numero de orificios	= 78 unidades
Área total de orificios	= 0,0032 m ² x 78 = 0,25 m ²
Caudal por tubería perforada	= 20,83 L/s
Velocidad del agua	= 0,02083 m ³ /s / 0,25 m ² = 0,08 m/s
Radio hidráulico	= 0,0635 m / 4 = 0,0159 m

El gradiente de velocidad en los orificios de distribución, se calcula de la siguiente manera:

$$G = ((f \cdot V^3) / (8 \cdot R_H \cdot \nu))^{1/2}$$

En donde:

- G: gradiente puntual, en s⁻¹
- f: Coeficiente de rozamiento de la fórmula de Darcy-Weisbach, adimensional
- V: Velocidad del agua, en m/s
- R_H: Radio hidráulico, en m
- ν.: Viscosidad cinemática, en m²/s

Considerando la temperatura del agua de 22°C, la viscosidad cinemática del agua es de 9,63 x 10⁻⁷ m²/s. Igualmente, para el diámetro de los orificios de 0,0635 m y velocidad de 0,08 m/s, el factor de fricción es de 0,03; el gradiente de velocidad es:

$$G = ((0,03 \times (0,08 \text{ m/s})^3) / (8 \times 0,0159 \text{ m} \times 9,63 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}))^{1/2}$$
$$G = 11,21 \text{ s}^{-1}$$

El gradiente de velocidad obtenido se encuentra dentro de los valores recomendados por la norma RAS-2000, numeral C.5.5.3.

Finalmente, se evalúa el ingreso a la zona de la sedimentación acelerada verificando la velocidad de sedimentación crítica (V_{sc}), las condiciones de flujo laminar comprobando el número de Reynolds y el tiempo de retención.

La velocidad crítica de asentamientos se determina mediante la siguiente ecuación:

$$V_{sc} = S_c \cdot V_o / (\text{sen } \theta + L \cdot \text{cos } \theta) \quad \text{Ecuación 16}$$

En donde:

- V_{sc} : Velocidad crítica de asentamiento, en m/día
- S_c : 4/3 para tubos circulares
- V_o : Carga superficial en el área de sedimentación de alta tasa, en m/día
- θ : Angulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa.
- L : Longitud relativa del sedimentador de alta tasa

La longitud relativa del sedimentador es el producto de la longitud inclinada del sedimentador y el ancho del conducto de sedimentación, preferiblemente debe ser mayor que 20 y menor que 40, lo anterior se ilustra en la siguiente ecuación:

$$L = l / d \quad \text{Ecuación 17}$$

Igualmente, la carga superficial en el área de sedimentación de alta tasa V_o , se establece mediante la siguiente expresión:

$$V_o = Q / (A \cdot \text{sen } \theta) \quad \text{Ecuación 18}$$

En donde:

- V_o : Carga superficial en el área de sedimentación de alta tasa, en m/día
- A : Área superficial del sedimentador, en m^2

Para verificar el flujo laminar en el sedimentador, se debe comprobar que el número de Reynolds es menor a 500, el mismo se determina mediante la siguiente ecuación:

$$N_{RE} = V_o \cdot d / \nu \quad \text{Ecuación 19}$$

En donde:

- N_{RE} : Numero de Reynolds, adimensional
- V_o : Carga superficial en el área de sedimentación de alta tasa, en m/día
- d : Ancho del conducto de sedimentación, en m.
- ν : Viscosidad cinemática, en m^2/s

Finalmente, se verifica que el tiempo de retención por la expresión:

$$t = l / V_o \quad \text{Ecuación 20}$$

En donde:

- t : Tiempo de retención, en min
- l : longitud inclinada del sedimentador, en m
- V_o : Carga superficial en el área de sedimentación de alta tasa, en m/día

En la Tabla 5-6, se presentan los resultados de la evaluación hidráulica a la zona de sedimentación acelerada, empleando la metodología presentada anteriormente:

Tabla 5-6. Evaluación Ingreso a la Zona de Sedimentación Acelerada

Sedimentador	Área (m ²)	Carga Superficial V_o (m/día)	Velocidad crítica V_{sc} (m/día)	Numero de Reynolds	Tiempo de Retención (Minutos)
Numero 1	23,29	178,49	23,80	129	9,68
Numero 2	20,21	205,69	27,42	148	8,40
Numero 3	22,98	180,89	24,12	130	9,55

Fuente: Esta Investigación.

Según los resultados obtenidos de la evaluación al ingreso a la zona de sedimentación acelerada, se puede observar que la unidad cumple con los parámetros de diseño establecidos en el RAS 2000, en el numeral C.6.5.

5.3.3 Evaluación Zona de Salida.

La recolección del agua sedimentada se realiza a través de seis canales, dos por módulo de sedimentación y que descargan sus aguas en un canal central de recolección del agua sedimentada el cual las conduce al sistema de filtración

Caudal por sedimentador	= 41,667 L/s
Longitud vertederos de recolección	= 2 x 7,30 m = 14,60 m
Tasa de desborde	= 41,667 / 14,60 = 2,85 L/s-m

La tasa de desborde se encuentra dentro de los valores recomendados en la norma RAS-2000, numeral C.6.4.1. No obstante que se presenta una tasa de desborde dentro de los valores recomendados, el tipo de vertedero no es recomendable porque no garantiza una recolección uniforme del caudal de salida de la estructura, es preferible un vertedero tipo sierra.

5.4 Proceso de Filtración

Se realiza en 6 filtros con las siguientes dimensiones:

Tabla 5-7. Dimensiones de los Filtros y la Velocidad de Lavado del Planta La Loma

Filtro	Ancho (m)	Longitud (m)	Profundidad (m)	Área (m ²)	Velocidad de Lavado (m/min.)
1	2,13	3,74	4,44	7,97	0,94
2	2,13	3,74	4,44	7,97	0,94
3	1,84	3,74	4,44	6,88	1,09
4	1,84	3,74	4,44	6,88	1,09
5	2,10	3,74	4,44	7,85	0,96
6	2,10	3,74	4,44	7,85	0,96

Fuente: Esta Investigación.

Los lechos filtrantes son mixtos, es decir, de arena y antracita.

Área total de filtros = 45,6 m²

$$\text{Caudal filtración} = 0,125 \text{ m}^3/\text{s} \times 86.400 \text{ s}/\text{día} = 10.800 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Velocidad promedio de filtración} = 10.800 \text{ m}^3/\text{día} / 45,43 = 237,89 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{- día}$$

La velocidad de filtración promedio obtenida, se encuentra dentro de los valores aceptados por las normas RAS-2000, donde se establece que la velocidad de filtración debe ser menor de $300 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-día}$ (numeral C.7.5.1.3).

Considerando el área total de filtración de $45,6 \text{ m}^2$ y la velocidad máxima de filtración aceptada por las normas RAS-2000, el caudal máximo de filtración que podría tratar la estructura es:

$$Q = V_f \times A_s$$

Ecuación 21

$$Q = 300 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{- día} \times 45,6 \text{ m}^2 = 13.680 \text{ m}^3/\text{ día}$$

$$Q = 13.680 \text{ m}^3/\text{ día} \times 1000/86400 = 158,33 \text{ L/s}$$

La planta de la Loma fue diseñada para realizar la operación del lavado de los filtros por el sistema de lavado mutuo. En la Tabla 5-7, se presenta la velocidad máxima de lavado suponiendo lavado mutuo.

La velocidad de lavado se encuentra dentro del rango recomendado por las normas RAS-2000, que establecen un valor entre $0,6$ y $0,9 \text{ m}/\text{minuto}$ para el lavado del filtro. Los valores superiores a $1,0 \text{ m}/\text{minuto}$ significan, que en la operación del lavado puede disminuirse el caudal de lavado con el fin de ajustar la velocidad ascensional dentro del rango recomendado.

5.5 Desinfección del Agua.

Para realizar una correcta desinfección del agua, es importante que exista una cámara de contacto del cloro con el agua en la cual se garantice un determinado tiempo de contacto

del cloro con el agua. En la planta de La Loma no hay cámara de contacto por lo que debe implementarse su construcción.

5.5.1 Laboratorio.

Las normas RAS-2000, también establecen en el numeral C.14.4.7.3 los equipos mínimos de laboratorio que debe tener toda planta de tratamiento de agua de acuerdo con el nivel de complejidad de la población. Los equipos faltantes de laboratorio son los siguientes:

- Balanza analítica
- Nevera
- Ducha de seguridad
- Incubadora para el análisis microbiológico
- Microscopio

6. Conclusiones y Recomendaciones

Con relación a los procesos de tratamiento del agua se puede decir:

- El sistema utilizado para producir la mezcla rápida del coagulante con el agua, considerando la demanda del año 2017, debe modificarse ya que no garantiza un resalto hidráulico estable.
- El floculador tiene capacidad para abastecer la demanda hasta el año 2034 garantizando el funcionamiento hidráulico adecuado con velocidades y gradientes de mezcla del agua con valores recomendados en las normas RAS 2000.
- La zona de repartición a la zona de sedimentación ofrece condiciones de funcionamiento ideales, puesto que en la misma se genera gradientes de velocidad bajos que no generan rompimiento del floc.
- El vertedero de salida del agua sedimentada debe modificarse dado que no garantiza una recolección uniforme del caudal de salida de la estructura, es preferible utilizar un vertedero tipo sierra.
- El sistema de filtración ofrece velocidades de filtración que no afectan la calidad del agua tratada, puesto que estos se encuentran dentro de los parámetros de diseño recomendados por el RAS 2000, tanto para operación como para lavado.
- Durante el año 2015 la planta de la Loma suministro agua potable cumpliendo con los criterios de la norma colombiana.

BIBLIOGRAFÍA

Arboleda Valencia, J. (2005). *Teoría y Práctica de la Purificación del Agua*. Bogotá, D.C.: Editorial McGraw-Hill Interamericana.

Chow, V. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Bogotá D.C.: Editorial McGraw-Hill Interamericana.

Di Bernardo, L. (2005). *Métodos e Técnicas de Tratamiento de Aguas*. Rio de Janeiro: Editorial Rima 2005.

Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. RAS 2000, Título C Sistemas de Potabilización*.

Pérez Parra, J. (2009). *Manual de Potabilización del Agua*. Medellín: Editorial Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas.

Rodríguez Díaz, A. (2009). *Hidráulica Experimental*. Bogotá, D.C.: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Romero Rojas, J. (2009). *Calidad del Agua*. Bogotá, D.C.: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Romero Rojas, J. (2012). *Purificación del Agua*. Bogotá, D.C.: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Sotelo Ávila, G. (2006). *Hidráulica General*. México D.F: Editorial Limusa.

ANEXO A.
INFORME DE ANALISIS DE AGUAS

Lugar y Fecha de emisión: Villeta, Mayo 19 de 2016

INFORME DE ANALISIS DE AGUAS

150LAPF10-23 Version 1

No.301-16

DATOS GENERALES Y MUESTREO					
Solicitante: OSCAR EDUARDO GUERRERO			E- mail: oscarguerrero18@gmail.com		
Direccion solicitante: Calle 23c N° 72-50 int 6 apto 401. Bogotá			Telefono: 3138179193		
Direccion punto de toma: Quibdó, Chocó.			Hora toma de muestra: 09:10 a.m.		
Descripcion punto: Río Cabi. Entrada a Planta La Loma			Municipio: Quibdó, Chocó		
Tomado por: Oscar Eduardo Guerrero			Tipo de agua: Superficial		
Fecha toma: 2016/05/08			Fecha entrega laboratorio: 2016/05/09		
Desinfectante: No disponible			Coagulante: No disponible		
Fecha analisis: 2016/05/09			Contramuestra: Si:		No: x
RESULTADOS					
PARAMETRO	METODO	RESULTADO	RIESGO	VALORES ACEPTABLES	CONCEPTO
QUIMICOS					
Alcalinidad	Volumetrico. SM 2320-B	7 mg/L	1	200 mg/L	No aplica
Aluminio	Fotometrico SM 3500-AI D	0,05 mg/L	3	0,2 mg/L	No aplica
Dureza Total	Volumetrico EDTA. SM 2340 C	58 mg/L	1	300 mg/L	No aplica
Calcio	Volumetrico EDTA. 3500 Ca D	55 mg/L	1	60 mg/L	No aplica
Cloruros	Colorimétrico. SM 4500 Cl- E	21,2 mg/L	1	250 mg/L	No aplica
Nitritos	Colorimetrico SM 4500 NO2 B	0,4 mg/L	3	0,1 mg/L	No aplica
Nitratos	Colorimetrico. ISO 7890/1	1,51 mg/L	1	10 mg/L	No aplica
Hierro	Colorimetrico	1,86 mg/L	1.5	0,3 mg/L	No aplica
pH	Electrometrico. SM 4500 H B	6,3 U	1.5	6,5-9,0 U	No aplica
Fosfatos	Colorimetrico. SM 4500-P E	0,25 mg/L	1	0,5 mg/L	No aplica
Sulfatos	Turbidimétrico. SM 4500 SO4 E	84 mg/L	1	250 mg/L	No aplica
FISICOS Y ORGANOLEPTICOS					
Color	Espectrofotometrico SM 2120 B	20,4 UPC	6	<15 Hanzen (UPC)	No aplica
Turbiedad	Nefelometrico. SM 2130 B	84 NTU	15	2 NTU	No aplica
Conductividad	Electrometrico SM 2510 B	62 µs/cm	N. A.	1000 µs/cm	No aplica
Temperatura	Digital	23.3 °C	N. A.	-	-
MICROBIOLÓGICOS					
Coliformes Totales	Filtracion por membrana	1680 UFC/ 100 mL	15	Ausencia/100 mL	No aplica
Coliformes Fecales	Filtracion por membrana	960 UFC/ 100 mL	25	Ausencia/100 mL	No aplica

Resultados validos unicamente para la muestra analizada

Análisis de acuerdo al Decreto 1575 de 2007 y Resolucion 2115 de 2007 del Min. de la Protección Social.

Laboratorio Autorizado por el Ministerio de la Protección Social Res. 1615/2015 y participante del PICCAP del INS

FIRMAS AUTORIZADAS:



Bacter. Clara Teresa Varela Alonso

Director Técnico Laboratorio de Aguas E. S. P. Villeta



Lugar y Fecha de emisión: Villeta, Mayo 19 de 2016

INFORME DE ANALISIS DE AGUAS

150LAPF10-23 Version 1

No.302-16

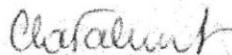
DATOS GENERALES Y MUESTREO					
Solicitante: OSCAR EDUARDO GUERRERO			E- mail: oscarguerrero18@gmail.com		
Direccion solicitante: Calle 23c N° 72-50 int 6 apto 401. Bogotá			Telefono: 3138179193		
Direccion punto de toma: Quibdó, Chocó.			Hora toma de muestra: 09:25 a.m.		
Descripcion punto: Planta La Loma			Municipio: Quibdó, Chocó		
Tomado por: Oscar Eduardo Guerrero			Tipo de agua: Tratada		
Fecha toma: 2016/05/08			Fecha entrega laboratorio: 2016/05/09		
Desinfectante: Cloro			Coagulante: Policloruro de Aluminio		
Fecha analisis: 2016/05/09			Contramuestra: Si:		No: x
RESULTADOS					
PARAMETRO	METODO	RESULTADO	RIESGO	VALORES ACEPTABLES	CONCEPTO
QUIMICOS					
Alcalinidad	Volumetrico. SM 2320-B	12,3 mg/L	1	200 mg/L	Aceptable
Aluminio	Fotometrico SM 3500-AI D	0,19 mg/L	3	0,2 mg/L	Aceptable
Calcio	Volumetrico EDTA. 3500 Ca D	32 mg/L	1	60 mg/L	Aceptable
Cloro residual libre	Colorimetrico DPD.SM 4500 Cl2	1,02 mg/L	15	0,3-2,0 mg/L	Aceptable
Dureza Total	Volumetrico EDTA.SM 2340 C	50 mg/L	1	300 mg/L	Aceptable
Cloruros	Colorimétrico. SM 4500 Cl- E	20,9 mg/L	1	250 mg/L	Aceptable
Nitritos	Colorimetrico SM 4500 NO2 B	0.01 mg/L	3	0,1 mg/L	Aceptable
Nitratos	Colorimetrico. ISO 7890/1	0,5 mg/L	1	10 mg/L	Aceptable
Hierro	Colorimetrico	0,25 mg/L	1.5	0,3 mg/L	Aceptable
pH	Electrometrico. SM 4500 H B	7,58 U	1.5	6,5-9,0 U	Aceptable
Sulfatos	Turbidimétrico SM 4500 SO4E	36 mg/L	1	250 mg/L	Aceptable
Fosfatos	Colorimetrico. SM 4500-P E	0,11 mg/L	1	0,5 mg/L	Aceptable
FISICOS Y ORGANOLEPTICOS					
Color	Espectrofotometrico SM 2120 B	1,1 UPC	6	<15 Hanzen (UPC)	Aceptable
Turbiedad	Nefelometrico. SM 2130 B	0,21 NTU	15	2 NTU	Aceptable
Conductividad	Electrometrico SM 2510 B	52 µs/cm	N. A.	1000 µs/cm	Aceptable
Temperatura	Digital	18,9 °C	N. A.	-	-
MICROBIOLOGICOS					
Coliformes Totales	Filtracion por membrana	0 UFC/100 mL	15	0 UFC/100 cm ³	Aceptable
Coliformes Fecales	Filtracion por membrana	0 UFC/100 mL	25	0 UFC/100 cm ³	Aceptable

Resultados validos unicamente para la muestra analizada

Análisis de acuerdo al Decreto 1575 de 2007 y Resolucion 2115 de 2007 del Min. de la Protección Social.

Laboratorio Autorizado por el Ministerio de la Protección Social Res. 1615/2015 y participante del PICCAP del INS

FIRMAS AUTORIZADAS:



Bac. Clara Teresa Varela Alonso

Director Técnico Laboratorio de Aguas E. S. P. Villeta

Lugar y Fecha de emisión: Villeta, Agosto 18 de 2016

INFORME DE ANALISIS DE AGUAS

150LAPF10-23 Version 1

No. 523-16

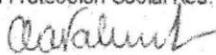
DATOS GENERALES Y MUESTREO					
Solicitante: OSCAR EDUARDO GUERRERO			E- mail: oscarguerrero18@gmail.com		
Direccion solicitante: Calle 12c N° 71c-60 int 10 apto 501, Bogotá			Telefono: 3138179193		
Direccion punto de toma: Quibdó, Chocó.			Hora toma de muestra: 08:00 a.m.		
Descripcion punto: Río Cabi. Entrada a Planta La Loma			Municipio: Quibdó, Chocó		
Tomado por: Oscar Eduardo Guerrero			Tipo de agua: Superficial		
Fecha toma: 2016/08/07			Fecha entrega laboratorio: 2016/08/08		
Desinfectante: No disponible			Coagulante: No disponible		
Fecha analisis: 2016/08/08			Contramuestra: Si:		No: x
RESULTADOS					
PARAMETRO	METODO	RESULTADO	RIESGO	VALORES ACEPTABLES	CONCEPTO
QUIMICOS					
Alcalinidad	Volumetrico. SM 2320-B	6,5 mg/L	1	200 mg/L	No aplica
Aluminio	Fotometrico SM 3500-AI D	0,03 mg/L	3	0,2 mg/L	No aplica
Dureza Total	Volumetrico EDTA. SM 2340 C	40 mg/L	1	300 mg/L	No aplica
Calcio	Volumetrico EDTA. 3500 Ca D	45 mg/L	1	60 mg/L	No aplica
Cloruros	Colorimétrico. SM 4500 Cl- E	19,5 mg/L	1	250 mg/L	No aplica
Nitritos	Colorimetrico SM 4500 NO2 B	0,3 mg/L	3	0,1 mg/L	No aplica
Nitratos	Colorimetrico. ISO 7890/1	0,84 mg/L	1	10 mg/L	No aplica
Hierro	Colorimetrico	0,89 mg/L	1.5	0,3 mg/L	No aplica
pH	Electrometrico. SM 4500 H B	6,5 U	1.5	6,5-9,0 U	No aplica
Fosfatos	Colorimetrico. SM 4500-P E	0,30 mg/L	1	0,5 mg/L	No aplica
Sulfatos	Turbidimétrico. SM 4500 SO4 E	76 mg/L	1	250 mg/L	No aplica
FISICOS Y ORGANOLEPTICOS					
Color	Espectrofotometrico SM 2120 B	24,6 UPC	6	<15 Hanzen (UPC)	No aplica
Turbiedad	Nefelometrico. SM 2130 B	96 NTU	15	2 NTU	No aplica
Conductividad	Electrometrico SM 2510 B	80 µs/cm	N. A.	1000 µs/cm	No aplica
Temperatura	Digital	24.3 °C	N. A.	-	-
MICROBIOLÓGICOS					
Coliformes Totales	Filtracion por membrana	1250 UFC/ 100 mL	15	Ausencia/100 mL	No aplica
Coliformes Fecales	Filtracion por membrana	550 UFC/ 100 mL	25	Ausencia/100 mL	No aplica

Resultados validos unicamente para la muestra analizada

Análisis de acuerdo al Decreto 1575 de 2007 y Resolucion 2115 de 2007 del Min. de la Protección Social.

Laboratorio Autorizado por el Ministerio de la Protección Social Res. 1615/2015 y participante del PICCAP del INS

FIRMAS AUTORIZADAS:



Bacter. Clara Teresa Varela Alonso

Director Técnico Laboratorio de Aguas E. S. P. Villeta



Lugar y Fecha de emisión: Villeta, Agosto 18 de 2016

INFORME DE ANALISIS DE AGUAS

150LAPF10-23 Version 1

No.524-16

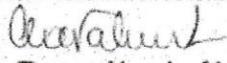
DATOS GENERALES Y MUESTREO					
Solicitante: OSCAR EDUARDO GUERRERO			E- mail: oscarguerrero18@gmail.com		
Direccion solicitante: Calle 12c N° 71c-60 int 10 apto 501 Bogotá			Telefono: 3138179193		
Direccion punto de toma: Quibdó, Chocó.			Hora toma de muestra: 08:15 a.m.		
Descripcion punto: Planta La Loma			Municipio: Quibdó, Chocó		
Tomado por: Oscar Eduardo Guerrero			Tipo de agua: Tratada		
Fecha toma: 2016/08/07			Fecha entrega laboratorio: 2016/08/08		
Desinfectante: Cloro			Coagulante: Policloruro de Aluminio		
Fecha analisis: 2016/08/08			Contramuestra: Si:		No: x
RESULTADOS					
PARAMETRO	METODO	RESULTADO	RIESGO	VALORES ACEPTABLES	CONCEPTO
QUIMICOS					
Alcalinidad	Volumetrico. SM 2320-B	13,2 mg/L	1	200 mg/L	Aceptable
Aluminio	Fotometrico SM 3500-AI D	0,09 mg/L	3	0,2 mg/L	Aceptable
Calcio	Volumetrico EDTA. 3500 Ca D	40 mg/L	1	60 mg/L	Aceptable
Cloro residual libre	Colorimetrico DPD.SM 4500 Cl2	0,98 mg/L	15	0,3-2,0 mg/L	Aceptable
Dureza Total	Volumetrico EDTA.SM 2340 C	54 mg/L	1	300 mg/L	Aceptable
Cloruros	Colorimétrico. SM 4500 Cl- E	19 mg/L	1	250 mg/L	Aceptable
Nitritos	Colorimetrico SM 4500 NO2 B	0,01 mg/L	3	0,1 mg/L	Aceptable
Nitratos	Colorimetrico. ISO 7890/1	0,8 mg/L	1	10 mg/L	Aceptable
Hierro	Colorimetrico	0,05 mg/L	1,5	0,3 mg/L	Aceptable
pH	Electrometrico. SM 4500 H B	7,30 U	1,5	6,5-9,0 U	Aceptable
Sulfatos	Turbidimétrico SM 4500 SO4E	46 mg/L	1	250 mg/L	Aceptable
Fosfatos	Colorimetrico. SM 4500-P E	0,11 mg/L	1	0,5 mg/L	Aceptable
FISICOS Y ORGANOLEPTICOS					
Color	Espectofotometrico SM 2120 B	3,1 UPC	6	<15 Hanzen (UPC)	Aceptable
Turbiedad	Nefelometrico. SM 2130 B	0,50 NTU	15	2 NTU	Aceptable
Conductividad	Electrometrico SM 2510 B	62 µs/cm	N. A.	1000 µs/cm	Aceptable
Temperatura	Digital	21,9 °C	N. A.	-	-
MICROBIOLOGICOS					
Coliformes Totales	Filtracion por membrana	0 UFC/100 mL	15	0 UFC/100 cm ³	Aceptable
Coliformes Fecales	Filtracion por membrana	0 UFC/100 mL	25	0 UFC/100 cm ³	Aceptable

Resultados validos unicamente para la muestra analizada

Análisis de acuerdo al Decreto 1575 de 2007 y Resolucion 2115 de 2007 del Min. de la Protección Social.

Laboratorio Autorizado por el Ministerio de la Protección Social Res. 1615/2015 y participante del PICCAP del INS

FIRMAS AUTORIZADAS:



Bac. Clara Teresa Varela Alonso

Director Técnico Laboratorio de Aguas E. S. P. Villeta



ANEXO B.
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE LA LOMA
PLANOS