

**OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO PARA  
EL ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE PARATEBUENO (CUNDINAMARCA)**

**VANESSA DEL CARMEN GARCÍA SÁNCHEZ  
CÓDIGO: 505403**

**INGRID CAROLINA SANABRIA MORERA  
CODIGO: 506735**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
MODALIDAD TRABAJO PRÁCTICA SOCIAL  
BOGOTÁ, D.C  
2018**

**OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO PARA  
EL ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE PARATEBUENO (CUNDINAMARCA)**

**VANESSA DEL CARMEN GARCÍA SÁNCHEZ  
CÓDIGO: 505403**

**INGRID CAROLINA SANABRIA MORERA  
CODIGO: 506735**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Civil.**

**Asesor  
GUILLERMO HERNÁNDEZ TORRES  
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
MODALIDAD TRABAJO PRÁCTICA SOCIAL  
BOGOTÁ, D.C  
2018**



## Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

**Usted es libre de:**



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

**Bajo las condiciones siguientes:**



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



**Sin Obras Derivadas** — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Bogotá, noviembre, 2018

# CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN .....	12
1. GENERALIDADES .....	13
1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA .....	13
1.2 OBJETIVOS.....	13
1.2.1 Objetivo general .....	13
1.2.2 Objetivos específicos .....	13
1.3 MARCO DE REFERENCIA .....	13
1.3.1 Marco teórico .....	13
1.3.2 Marco de antecedentes.....	18
1.4 MARCO CONCEPTUAL.....	22
1.5 MARCO LEGAL.....	25
1.6 METODOLOGÍA .....	26
1.7 ALCANCE.....	28
1.8 LOCALIZACIÓN Y GEOGRAFÍA DEL MUNICIPIO .....	28
1.9 CLIMATOLOGÍA.....	29
1.10 HIDROLOGÍA .....	30
1.11 DEMOGRAFÍA.....	31
2. COMPONENTE HIDROLÓGICO .....	32
2.1 GRAFICOS PRECIPITACION Y TEMPERATURA RIO HUMEA.....	32
2.2 CURVA IDF .....	34
2.3 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN HIDROLÓGICA DE FUENTE ACTUAL Y FUENTE ALTERNATIVA: .....	35
2.3.1 Modelación en ArcGIS .....	35
2.3.2 Método del número de curva:.....	38
2.3.3 Hietogramas de precipitación.....	40
2.3.4 Modelación en HEC-HMS: .....	42

2.3.5	Evaluación de caudales y análisis de déficit-exceso: .....	45
2.4	ANALISIS DEL AGUA PTAP .....	48
3.	DIAGNOSTICO Y REDISEÑO DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO .....	52
3.1	DIAGNÓSTICO.....	52
3.1.1	Captación de agua superficial .....	52
3.1.2	Rejilla .....	53
3.1.3	Aducción .....	54
3.1.4	Sistema de pretratamiento .....	54
3.1.5	Planta de tratamiento de agua potable (PTAP).....	54
3.1.6	Tanque de almacenamiento .....	56
3.1.7	Sistema de conducción .....	56
3.1.8	Red de distribución.....	57
3.2	OPTIMIZACION DE LAS ESTRUCTURAS DEL ACUEDUCTO .....	57
3.2.1	Periodo de diseño .....	57
3.2.2	Método aritmético.....	58
3.2.3	Método geométrico.....	58
3.2.4	Método exponencial .....	59
	Fuente. Propia.....	61
3.3	CONSUMO NETO .....	62
3.3.1	Consumo comercial, industrial y público .....	62
3.3.2	Consumo por hoteles .....	62
3.3.3	Consumo por Escuelas .....	63
3.3.4	Consumo por farmacias .....	63
3.3.5	Consumo por fuentes de soda y heladerías.....	63
3.3.6	Consumo por restaurantes.....	64
3.3.7	Consumo por hospitales.....	64
3.3.8	Consumo por lavado de calles .....	64
3.4	ESTUDIO DE DEMANDA .....	65
3.4.1	Dotación neta máxima.....	65
3.4.2	Dotación bruta.....	65

3.4.3	Caudal medio diario por población .....	65
3.4.4	Caudal máximo diario.....	66
3.4.5	Caudal máximo horario .....	66
3.5	REDISEÑO BOCATOMA.....	67
3.5.1	Procedimiento de diseño.....	67
3.5.2	Diseño de la presa .....	69
3.5.3	Aducción .....	77
4.	RECOMENDACIONES .....	90
4.1	COMPONENTE HIDROLÓGICO.....	90
4.2	POBLACIÓN PROYECTADA .....	90
4.3	CAUDALES PROYECTADOS.....	90
4.4	BOCATOMA .....	91
4.5	ADUCCIÓN.....	92
4.6	DESARENADOR .....	92
5.	CONCLUSIONES.....	94
6.	BIBLIOGRAFÍA .....	96
7.	ANEXOS. ....	100
7.1	CONCESIÓN DE AGUAS.....	100
7.2	VALORES MAXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS ESTACIÓN (JAPON EL).....	103
7.3	VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (JAPON EL).....	103
7.4	VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA (JAPON EL) ..	104
7.5	PROYECCIONES DE POBLACIÓN A 25 AÑOS.....	105
7.6	CAUDALES PARA PROYECCION DE 25 AÑOS.....	106

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida.....	16
Tabla 2. Caudales de diseño .....	17
Tabla 3. Normatividad optimización sistema de acueducto, municipio de Paratebueno. ....	25
Tabla 4. Población censada casco urbano. ....	31
Tabla 5. Precipitación máxima anual histórica en 24 horas .....	34
Tabla 6. CN para diferentes usos del suelo .....	39
Tabla 7. Numero de Curva (CN) para caño Palomas y Caño Blanco .....	40
Tabla 8. Valores Coeficiente a, b, c, y d para la región.....	41
Tabla 9. Caudales Medios en los Caños Palomas y Blanco .....	44
Tabla 10. Valores de hietograma Caño Palomas.....	46
Tabla 11. Promedio valores máximos diarios de precipitación (mm) .....	46
Tabla 12. Caudal medio Mensual .....	47
Tabla 13. Características Físicas.....	50
Tabla 14. Características Químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana .....	50
Tabla 15. Características Químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana.....	50
Tabla 16. Características Microbiológicas .....	51
Tabla 17. Población censada casco urbano. ....	57
Tabla 18. Población obtenida método aritmético. ....	58
Tabla 19. Población obtenida método geométrico. ....	59
Tabla 20. Población obtenida método exponencial.....	60
Tabla 21. Recopilación de cálculos métodos de proyección.....	61
Tabla 22. Proyección de la población .....	61
Tabla 23. Consumos típicos de los sectores comercial, industrial y público.....	62
Tabla 24. Dotación neta máxima por habitante.....	65
Tabla 25. Cálculos caudales.....	66
Tabla 26. Caudales de diseño .....	67
Tabla 27. Caudales de diseño .....	68
Tabla 28. Relaciones hidráulicas para conductos circulares .....	80
Tabla 29. Numero de Hazen ( $V_s/V_o$ ) .....	83
Tabla 30. Comparación de resultados rejilla .....	91
Tabla 31. Comparación de resultados aducción .....	92
Tabla 32. Comparación de resultados desarenador .....	93
Tabla 33. Precipitación en 24 horas (mm) .....	103

Tabla 34. Precipitación mensual (mm).....	103
Tabla 35. Temperatura media mensual °C .....	104
Tabla 36. Población proyectada.....	105
Tabla 37. Caudales proyectados. ....	106

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Marco conceptual mejoramiento de un sistema de acueducto .....	22
Figura 2. Espacio geográfico, municipio de Paratebuena .....	28
Figura 3. Ubicación del municipio. ....	28
Figura 4. Climograma Paratebuena. ....	29
Figura 5. Temperatura Paratebuena. (Temperatura Vs Meses del año).....	30
Figura 6. Caños existentes. ....	30
Figura 7. Población por sexo y grupos de edad.....	31
Figura 8. Cuenca Caño Palomas .....	36
Figura 9. Cuenca Caño Blanco .....	37
Figura 10. Datos insertados Caño Palomas .....	41
Figura 11. Resultado de valores hietograma caño Palomas Tr:2.33 años.....	41
Figura 12. Pantalla de HEC-HMS .....	43
Figura 13. Gráfica comportamiento de caudales .....	44
Figura 14. Análisis de agua mes de abril .....	48
Figura 15. Análisis de agua mes de septiembre .....	49
Figura 16. Caño Palomas .....	52
Figura 17. Bocatoma.....	53
Figura 18. Rejilla .....	53
Figura 19. Desarenador .....	54
Figura 20. Floculadores .....	55
Figura 21. Sedimentadores.....	55
Figura 22. Filtros .....	56
Figura 23. Tanque de almacenamiento de 62,4m <sup>3</sup> .....	56
Figura 24. Rejilla de captación.....	73
Figura 25. Sistema de aducción.....	78
Figura 26. Aducción programa AYA.....	81
Figura 27. Desarenador vista en planta .....	89
Figura 28. Desarenador vista en corte longitudinal.....	89
Figura 29. Ejemplo de bocatoma .....	92
Figura 30. Ejemplo cerramiento en el desarenador .....	93
Figura 31. Informe de cumplimiento ambiental .....	100
Figura 32. Informe de cumplimiento ambiental .....	101
Figura 33. Informe de cumplimiento ambiental .....	102

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Precipitación máxima en 24 Horas (mms).....	32
Gráfico 2. Precipitación total mensual (mms).....	33
Gráfico 3. Temperatura °C.....	33
Gráfico 4. Curva IDF Rio Humea .....	35
Gráfico 5. Hietograma de la precipitación de diseño Tr=2.33 años .....	42
Gráfico 6. Caudales medios mensuales en 24 horas.....	47
Gráfico 7. Proyección de la población.....	61
Gráfico 8. Proyección de caudales .....	67

## INTRODUCCIÓN

Colombia es un país que presenta grandes dificultades relacionadas con los sistemas de acueductos, desde el punto de vista de abastecimiento y calidad del agua. Según informe de la Defensoría del Pueblo, solo el 56% de la población colombiana tiene acceso a líquido, y el 44% restante no cuenta con este servicio debido a falta de recursos e infraestructura.

La problemática del agua potable en Colombia se ve relacionada con tres factores principales: Las fuentes de abastecimiento, la incapacidad de las PTAP para tratar el agua o la ausencia de estas y la deficiencia en las obras de captación y aducción.

Un sistema de acueducto debe cumplir la función de captar y suministrar agua potable a los habitantes de una población, pero cuando dicho sistema es deficiente en sus estructuras y amenaza el crecimiento poblacional junto con los cambios climáticos, se hace necesaria la búsqueda de fuentes alternativas y el rediseño de las estructuras con el fin de ofrecer un abastecimiento de agua óptimo, cumpliendo con todos los requerimientos establecidos en la normatividad existente.

El presente trabajo busca rediseñar en un periodo de 25 años, las obras requeridas para optimizar y expandir el acueducto existente, con el fin de mejorar la calidad y eficiencia del servicio en el municipio de Paratebueno departamento de Cundinamarca, mejorando así la condición de vida de sus habitantes.

Para la óptima ejecución del trabajo se realizarán actividades de investigación para recolección de información primaria, así como una visita técnica con el fin de evaluar la calidad y cantidad del agua en las fuentes existentes, para posteriormente realizar una propuesta formal ante la Empresa de Servicios Públicos del municipio acerca de la optimización del sistema de captación y tratamiento del acueducto.

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA**

El municipio de Paratebueno está ubicado en el centro de Colombia, en la provincia de Medina, se encuentra a 176 km de Bogotá. El municipio limita por el Norte con los municipios de San Luis de Gaceno - Boyacá, Ubalá - Cundinamarca, Sabana Larga – Casanare. Al sur: con Cumaral - Meta. Al Oriente: Cabuyaro – Meta. Al Occidente: Medina – Cundinamarca y encierra.

El principal problema que tiene el área urbana del municipio de Paratebueno es que en épocas de sequía se evidencia disminución considerable en el caudal de la fuente de captación (Caño Palomas), generando un desabastecimiento a la población, ya que el tanque de almacenamiento alcanza aproximadamente solo para un día, por lo cual se hace necesario realizar racionamientos, además las estructuras como la bocatoma y el desarenador se encuentran deterioradas.

Con el presente estudio se quiere identificar una fuente alterna de abastecimiento, así como la posible ampliación del sistema de aducción y el rediseño del desarenador, como también la evaluación de la PTAP.

### **1.2 OBJETIVOS**

#### **1.2.1 Objetivo general**

Realizar una propuesta de mejoramiento para los sistemas de: Abastecimiento, y tratamiento de agua potable para el Municipio de Paratebueno (Cundinamarca).

#### **1.2.2 Objetivos específicos**

- ❖ Evaluar hidrológicamente las posibles fuentes hídricas para abastecimiento del sistema de acueducto del Municipio de Paratebueno.
- ❖ Diagnosticar y rediseñar las obras de captación y aducción del sistema de acueducto.
- ❖ Proponer técnicamente, un sistema óptimo para el tratamiento primario del agua.

### **1.3 MARCO DE REFERENCIA**

#### **1.3.1 Marco teórico**

A lo largo de este proyecto se desarrollarán todos los conceptos que tienen que ver con el diseño de los componentes de un sistema de acueducto. A continuación, se hará una descripción de cada uno de los componentes que tiene un sistema de acueducto, así como los parámetros que se deben tener en cuenta para el diseño del mismo según la normatividad que reguladora del país que en este caso es el

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS:

**Tratamiento primario de agua:** Los tratamientos primarios son aquellos que eliminan los sólidos en suspensión presentes en el agua cruda o agua captada de una fuente natural. Los principales procesos físico-químicos que pueden ser incluidos en el tratamiento primario son los siguientes: sedimentación, flotación, coagulación – floculación y filtración.<sup>1</sup>

**Sistema de acueducto:** se entiende como el conjunto de instalaciones que conducen el agua desde su captación en la fuente de abastecimiento hasta la acometida domiciliaria en el punto de empate con la instalación interna del predio a servir.<sup>2</sup>

**Componentes de un sistema de acueducto:** Un sistema de acueducto normalmente está compuesto por una fuente de captación, una bocatoma bien sea lateral o de fondo, un canal de aducción, un desarenador, una conducción, una planta de tratamiento de agua potable y finalmente una red de distribución que llevará el líquido a los usuarios.

❖ **Bocatoma de fondo:** Es una estructura por medio de la cual se capta el agua a través de una rejilla que está ubicada sobre una presa colocada en el sentido transversal al flujo del agua.

❖ **Rejilla:** Las rejillas que hacen parte de una estructura de captación se diseñan, normalmente, utilizando un procedimiento matemático que luego es afectado por un amplio factor de seguridad. Con dicho procedimiento se encuentra que cualquier tipo de rejilla con espesor y separación de barras aceptados por las normas del país, cumple con la captación del caudal requerido.<sup>3</sup>

❖ **Aducción:** Las líneas de aducción de acueducto son los conductos destinados a transportar por gravedad o por bombeo aguas crudas desde los sitios de captación hasta las plantas de tratamiento, prestando excepcionalmente servicio de suministro de agua cruda a lo largo de su longitud.<sup>4</sup>

❖ **Desarenador:** Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación física<sup>5</sup>.

---

<sup>1</sup> CYCLUS. (2012). cyclusid. Obtenido de <http://www.cyclusid.com/>

<sup>2</sup> RAS. (noviembre de 2000). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Obtenido de [http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710\\_ras\\_titulo\\_a\\_.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_a_.pdf)

<sup>3</sup> J.A. Pérez, C. Quiceno, M. Botero, A.F. Cano. G; (1998). ESTUDIO EXPERIMENTAL DE REJILLAS EN BOCA TOMA DE FONDO. Medellín: Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia.

<sup>4</sup> MINVIVIENDA. (14 de Julio de 2003). Ministerio de Vivienda. Obtenido de [www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULOB%20030714.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULOB%20030714.pdf)

<sup>5</sup> MINVIVIENDA. (14 de Julio de 2003). Ministerio de Vivienda. Obtenido de [www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULOB%20030714.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULOB%20030714.pdf)

❖ **Tubería de conducción:** Las líneas de conducción son aquellas destinadas al transporte de agua tratada desde la planta de tratamiento hasta los tanques de almacenamiento o hasta la red de distribución, generalmente sin entrega de agua en ruta<sup>6</sup>.

❖ **Tanque de almacenamiento:** Los tanques de almacenamiento y compensación son depósitos de agua que tienen la función de almacenar agua y compensar las variaciones que existen entre el caudal de entrada al tanque y el consumo normal de los suscriptores a lo largo del día. El objetivo primordial de los tanques de compensación es cubrir las necesidades de la demanda de agua en los momentos picos, permitiendo una recuperación del volumen en las horas de bajo consumo para poder suministrar, sin problema, el agua demandada en las horas de máximo consumo<sup>7</sup>.

❖ **Red de distribución:** Una Red de Distribución de Agua Potable es el conjunto de tuberías trabajando a presión, que se instalan en las vías de comunicación de los Urbanismos y a partir de las cuales serán abastecidas las diferentes parcelas o edificaciones de un desarrollo<sup>8</sup>.

❖ **Parámetros de diseño:** Son aquellos conceptos que se deben tener en cuenta para poder diseñar cada una de las estructuras que hacen parte de un sistema de acueducto.

❖ **Población:** Es la cantidad de personas que podrían estar siendo beneficiadas del sistema de acueducto de un municipio.

❖ **Censo poblacional:** Un censo de población y vivienda, es el conteo y la caracterización de todos los habitantes, viviendas y hogares en el territorio nacional<sup>9</sup>.

❖ **Proyección de población:** Es aquella operación que se hace con base en los censos o datos de población que se tengan de años anteriores con el fin de saber cuál será la cantidad de personas que van a existir para el año del periodo de diseño para el cual se defina un sistema de acueducto.

Existen varios métodos para proyectar la población entre los cuales están el método geométrico, el método aritmético y el método exponencial, los cuales en ocasiones

---

<sup>6</sup> MINVIVIENDA. (14 de Julio de 2003). Ministerio de Vivienda. Obtenido de [www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULOB%20030714.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULOB%20030714.pdf)

<sup>7</sup> MINVIVIENDA. (14 de Julio de 2003). Ministerio de Vivienda. Obtenido de [www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULOB%20030714.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULOB%20030714.pdf)

<sup>8</sup> ¿Qué es una red de distribución? Obtenido de EditorIngCivil. (2013). Tutoriales Ingeniería Civil.

<sup>9</sup> ¿Qué es censo poblacional? DANE, D. (2018). DANE. Obtenido de <https://censo2018.dane.gov.co/sobre-censo>

dan valores considerablemente dispersos por lo cual se tendrá que hacer un promedio o la escogencia de uno o dos métodos con el fin de no sub-estimar o sobre-estimar los datos que permitirán dimensionar las estructuras de manera adecuada.

❖ **Periodo de diseño:** Según López Cualla, en su libro de elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, el periodo de diseño en cualquier obra de la ingeniería civil se entiende como el número de años durante los cuales una obra determinada ha de prestar con eficiencia el servicio para el que se diseñó<sup>10</sup>.

❖ **Dotación neta:** La dotación neta corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un suscriptor o de un habitante, dependiendo de la forma de proyección de la demanda de agua, sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto<sup>11</sup>.

❖ **Dotación neta máxima:** La dotación neta debe determinarse haciendo uso de información histórica de los consumos de agua potable de los suscriptores, disponible por parte de la persona prestadora del servicio de acueducto o, en su defecto, recopilada en el Sistema Único de Información (SUI) de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), siempre y cuando los datos sean consistentes. En todos los casos, se deberá utilizar un valor de dotación que no supere los máximos establecidos en la Tabla (1).

Tabla 1. Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA)
> 2000 m.s.n.m	120
1000 – 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

Fuente: Minvivienda- resolución 0330 de 2017

❖ **Dotación bruta:** De acuerdo con la Resolución 0330 de 2017 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, la dotación bruta para el diseño de cada uno de los elementos que conforman un sistema de acueducto, se debe calcular teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$d_{Bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%P} \quad (1)$$

<sup>10</sup> López Cualla, R. A. (2003). Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados 2ed. Bogotá, D.C: Escuela Colombiana de Ingeniería.

<sup>11</sup> MINVIVIENDA. (14 de Julio de 2003). Ministerio de Vivienda. Obtenido de [www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULOB%20030714.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULOB%20030714.pdf)

Dónde:

$d_{Bruta}$  : Dotación bruta

$d_{neta}$  : Dotación neta

$\%P$  : Pérdidas máximas admisibles El porcentaje de pérdidas máximas admisibles no deberá superar el 25%.

❖ **Caudales de diseño:** Los caudales de diseño de cada uno de los componentes del sistema de acueducto, según las variaciones diarias y horarias que pueden presentar, se establecen en la Tabla (2)<sup>12</sup>.

Tabla 2. Caudales de diseño

COMPONENTE	CAUDAL DE DISEÑO
Captación fuente superficial	Hasta 2 veces QMD
Captación fuente subterránea	QMD
Desarenador	QMD
Aducción	QMD
Conducción	QMD
Tanque	QMD
Red de Distribución	QMH

**Fuente: Minvivienda- resolución 0330 de 2017**

Dónde:

QMD: Caudal máximo diario: Consumo máximo durante veinticuatro horas, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado. (MINVIVIENDA, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS). Se calcula de la siguiente manera:

$$Q_{maximo\ diario} = k_1 * Q_{promedio} \quad (2)$$

Dónde:

$k_1$ : Es el coeficiente de consumo máximo diario que se obtiene de la relación entre el mayor consumo diario y el consumo medio diario, utilizando los datos registrados en un período mínimo de un año.

Caudal máximo horario: QMH: Consumo máximo durante una hora, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado<sup>13</sup>.

<sup>12</sup> Minvivienda. (8 de junio de 2017). Resolución 330. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=71542>

<sup>13</sup> Minvivienda. (8 de junio de 2017). Resolución 330. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=71542>

Se calcula según la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{maximo horario}} = k_2 * Q_{\text{maximo diario}} \quad (3)$$

Dónde:

El coeficiente de consumo máximo horario  $k_2$  con relación al consumo máximo diario, puede calcularse, para el caso de ampliaciones o extensiones de sistemas de acueducto, como la relación entre el caudal máximo horario, QMH, y el caudal máximo diario, QMD, registrados durante un período mínimo de un año, sin incluir los días en que ocurran fallas relevantes en el servicio.

### 1.3.2 Marco de antecedentes

En los últimos años se han ejecutado una considerable cantidad de estudios centrados en el análisis de cada uno de los componentes de un sistema de acueducto en varios municipios de Colombia por parte de estudiantes de la Universidad Católica de Colombia con el fin de realizar propuestas de optimización al mismo y así poder darle un aporte directo pensando en mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

A continuación, se hará una recopilación de propuestas de optimización de algún componente del sistema de acueducto de diferentes municipios colombianos realizados en los últimos dos años en la universidad católica de Colombia.

#### 1. 6-Dec-2016

Vargas Palacios, E. H. (2016). Evaluación técnica de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR), de la inspección de Pueblo Nuevo del municipio de Nilo Cundinamarca. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia  
Director: Ingeniero Torres Quintero, Jesús Ernesto.

En este trabajo se pretendió determinar cuáles son los problemas de las estructuras que perjudican el óptimo funcionamiento de la planta de tratamiento del municipio de Nilo, se hizo una comparación de las estructuras actuales con las estructuras calculadas bajo los parámetros RAS-2000 Título E (tratamiento de aguas residuales), para los años tanto 2028 como para el 2041, esta comparación mostro que se hace necesario un rediseño en algunas de las estructuras y en otras existe una diferencia significativa y relevante<sup>14</sup>.

---

<sup>14</sup> Vargas Palacios, E. H. (6 de 12 de 2016). <http://repository.ucatolica.edu.co/>. Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13901/4/EVALUACION%20TECNICA%20DE%20LA%20PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUA%20RESIDUAL.pdf>

## 2. jun-2017

Florián Pulido, S. B. (2017). Propuesta de optimización del servicio de la red de distribución de agua potable -RDAP- del municipio de Madrid, Cundinamarca. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia.

Director: Ingeniero González Méndez, Alex Mauricio.

En este estudio se realizó una propuesta de optimización de la red de distribución de agua potable para el municipio de Madrid, Cundinamarca, por medio de un modelo digital que ayude a facilitar la toma de decisiones en la empresa para mejorar las presiones en el sistema y así mismo mejorar la calidad de vida de los habitantes de Madrid Cundinamarca<sup>15</sup>.

## 3. Jun-2017

Jiménez Jiménez, C. Y. & Sabogal Jiménez, M. Á. (2017). Diagnóstico y optimización de la ptap del municipio de Fómeque, (Cundinamarca). Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia.

Director: Ingeniero Torres, Camilo Alberto.

Este documento tuvo como objeto analizar y describir la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Fómeque (Cundinamarca) ubicada en la vereda el Mortiñal, cuenta con las siguientes estructuras hidráulicas: una canaleta parshall, un dosificador de sulfato de aluminio, un desarenador, un pre – sedimentador, cuatro floculadores, un sedimentador, cuatro filtros rápidos, cuatro tanques de almacenamiento, un tanque de salida cuenta con laboratorio de dos pisos. Se realizaron laboratorios de caracterización del agua problema obtenidas de la bocatoma, entrada, salida y domiciliaria, con el fin de evaluar y compararla con la Resolución 2115 del 2007. Se realizó la prueba de test de jarras con el fin de obtener la dosis de coagulante (sulfato de aluminio tipo A) óptimo para brindar la formación del floc y obtener agua apta para el consumo humano posteriormente del proceso de tratamiento en la PTAP<sup>16</sup>.

## 4. Dec-2016

Pérez Cuadros, Z. C. (2016 Diagnóstico y evaluación de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Guateque en el departamento de Boyacá-Colombia. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia.

Director: Ingeniero Torres Quintero, Jesús Ernesto.

---

<sup>15</sup> FLORIÁN PULIDO, S. B. (junio de 2017). <http://repository.ucatolica.edu.co>. Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14520/1/Documento%20de%20grado.pdf>

<sup>16</sup> Jiménez, C. Y., & Sabogal Jiménez, M. A. (2017). <http://repository.ucatolica.edu.co>. Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14485/4/PROYECTO%20DE%20GRADO%20PTAP%20FO MEQUE.pdf>

El objetivo principal fue observar el funcionamiento operacional y de mantenimiento que se maneja para cada unidad y equipo de la planta. La información respectiva, se recopiló siguiendo el recorrido del agua en la planta, mediante la observación subjetiva del funcionamiento de los equipos y unidades de tratamiento junto con la colaboración de las operadoras de turno que hicieron más preciso el informe con sus comentarios respecto de las actividades que deben sortear para realizar la clarificación del agua, debido al estado de la infraestructura existente<sup>17</sup>.

#### **5. 23-Jan-2016**

Garcés José, C. D. (2016). Diagnóstico técnico del acueducto urbano del municipio de Quipile Cundinamarca. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá.  
Director: Ingeniero Torres Quintero, Jesús Ernesto.

En este estudio se identificó que acueducto urbano del municipio de Quipile Cundinamarca presenta inconvenientes, en cuanto a calidad y continuidad en el sistema, el sistema de tratamiento existente no cumple en algunas estructuras con los parámetros establecidos por la norma RAS-2000. Para encontrar cada uno de los problemas que conllevan a que el acueducto no funcione correctamente y por ende que la calidad del agua no sea óptima para el consumo humano, es necesario realizar un diagnóstico técnico de cada una de las estructuras que conforman el sistema de acueducto, desde la captación hasta el tratamiento del agua que posea. El proyecto se centraliza en la realización del diagnóstico técnico, el cual describe cada una de las estructuras que conforman el sistema de acueducto, en segundo lugar, se realiza un análisis del comportamiento hidráulico de las estructuras, y por último se realiza una propuesta de optimización y recomendaciones que garantice tanto la continuidad y calidad del agua para el consumo de la población afectada<sup>18</sup>.

#### **6. 11-Nov-2016**

Pulido Muñoz, H. S. & Carrillo Bernal, M. F. (2016). Diseño hidráulico de una planta de potabilización de agua en la Vereda de San Antonio de Anapoima. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de ingeniería Civil. Bogotá, Colombia  
Director: Ingeniero Obando Garnica, Edgar.

En el proyecto se plantea una solución enfocada a mejorar la calidad de vida de la comunidad. Se ve la necesidad de la construcción de una Planta de Potabilización con todos los parámetros que indica la norma utilizada en este caso las RAS2000.

---

<sup>17</sup> Pérez Cuadros, Z. C. (diciembre de 2016). <http://repository.ucatolica.edu.co>. Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13991/4/DIAGN%C3%93STICO%20Y%20EVALUACI%C3%93N%20PTAP%20GUATEQUE%20ZAIDA%20CAMILA%20PEREZ%20CUADROS%20503120.pdf>

<sup>18</sup> Escamilla Garcés, R. (23 de enero de 2016). <http://repository.ucatolica.edu.co>. Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14066/1/Proyecto%20De%20grado%20DIAGNOSTICO%20TECNICO%20DEL%20ACUEDUCUTO%20URBANO%20DEL%20MUNICIPIO%20DE%20QUIPILE%20CUND.pdf>

Se analizó el nivel de complejidad y un estudio en el agua con la que se va a abastecer la planta, seguido de esto se analizó cuáles son los mecanismos necesarios en el proceso de tratamiento para que arroje unos resultados positivos y dar por terminada esta necesidad sufrida por la población<sup>19</sup>.

#### **7. Jun-2017**

Cruz Alfonso, J. C. & Sánchez Carvajal, M. Y. (2017). Diagnóstico y optimización de la planta de tratamiento de agua potable en el municipio de Miraflores - Boyacá. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia  
Director: Ingeniero Córdoba Romero, Henry Alberto.

En este proyecto se realizó una evaluación eficaz del estado actual de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) existente en Miraflores Boyacá, por lo que se hizo necesario ejecutar una comparación de cada elemento estructural dispuesto en la planta con respecto a un nuevo diseño propuesto, el cual tiene como finalidad mejorar la planta existente y suplir a una población proyectada para el año 2042<sup>20</sup>.

#### **8. Jun-2017**

Díaz Bautista, W. T. (2017). Evaluación y optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Tena en el departamento de Cundinamarca. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia  
Director: Ingeniero Torres Quintero, Jesús Ernesto.

Esta investigación se enfocó en la optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Tena Cundinamarca. A partir del análisis de la información e inspecciones realizadas en la PTAP, se identificó las necesidades y prioridades de la planta potabilizadora, generando un diseño de alternativas de optimización con el cual se pretende mejorar la calidad de vida de los habitantes y el buen uso del recurso hídrico<sup>21</sup>.

---

<sup>19</sup> Carrillo Bernal, P. M. (11 de noviembre de 2016). <http://repository.ucatolica.edu.co>. Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14039/4/DISE%C3%91O%20HIDR%C3%81ULICO%20DE%20UNA%20PLANTA%20DE%20POTABILIZACI%C3%93N%20DE%20AGUA%20EN%20LA%20VEREDA%20DE%20SAN%20ANTONIO%20DE%20ANAPOIMA.pdf>

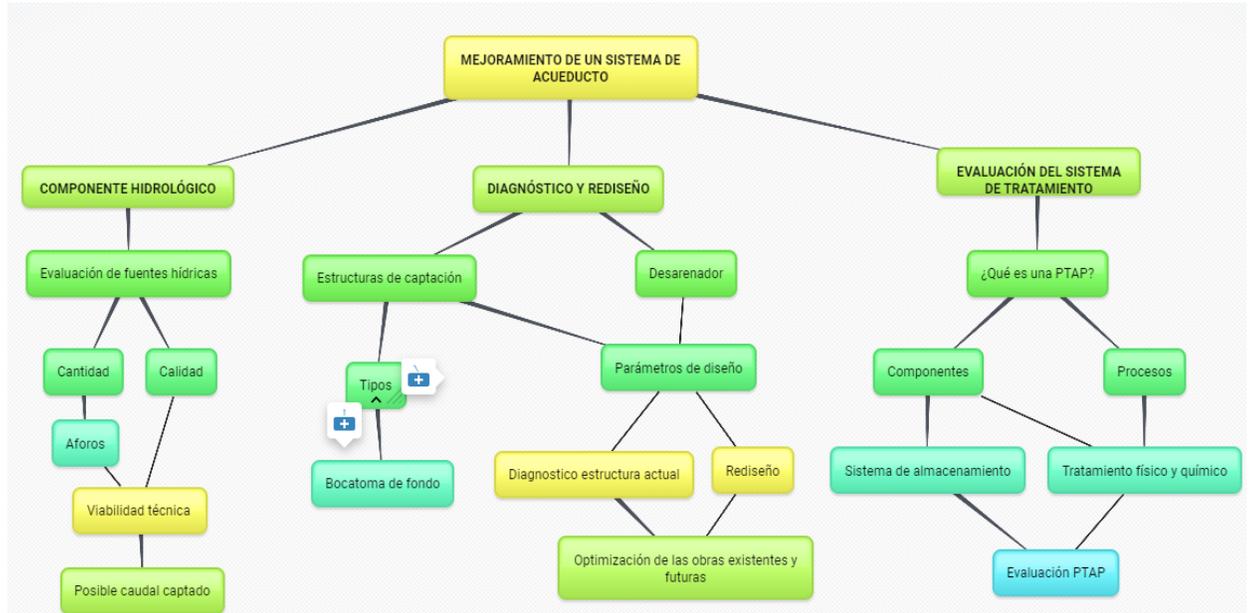
<sup>20</sup> Cruz, S. (junio de 2017). <http://repository.ucatolica.edu.co>. Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14493/3/ARTICULO.pdf>

<sup>21</sup> Díaz Bautista, W. T. (junio de 2017). <http://repository.ucatolica.edu.co/>. Obtenido de [http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14490/1/Trabajo\\_21.pdf](http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14490/1/Trabajo_21.pdf)

## 1.4 MARCO CONCEPTUAL

Se plantea el mejoramiento del sistema de acueducto de la siguiente manera:

Figura 1. Marco conceptual mejoramiento de un sistema de acueducto



Fuente: Propia

En la Figura (1), se puede observar una descripción general de cómo se realizará el proceso hidrológico, así como también el diagnóstico, rediseño y evaluación junto con todos los aspectos que esto conlleva para el mejoramiento del sistema de acueducto del Municipio de Paratebueno.

### Hidrología

Es la ciencia que se enfoca al ciclo hidrológico global y a los procesos involucrados en la parte continental de dicho ciclo<sup>22</sup>. En el contexto del trabajo se utilizarán estos conceptos para determinar las posibles cuencas.

### Calidad del agua

Es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua con el contenido del Decreto 1575 de 2007 y el Decreto 2115 de 2007, los cuales regulan este parámetro para el consumo humano.

### Aforo

Medición de la cantidad de agua que lleva una corriente y que pasa a través de una

<sup>22</sup> Puyol, A. F., & Villa, M. A. (2006). Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. Tlalpan: UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA.

sección determinada en una unidad de tiempo<sup>23</sup>.

### **Caudal**

Se denomina como el volumen de agua que circula por el cauce de un río en un lugar y tiempo determinado.

### **Cuenca o microcuenca**

Es la fuente de abastecimiento de agua en una región, es decir, de donde se obtiene el agua que se va a distribuir.

### **Fuente superficial**

Las fuentes superficiales pueden presentarse bajo la forma de corrientes con desplazamiento continuo o bien como vasos o represas de una definida extensión<sup>24</sup>.

### **Estructuras de captación**

Se conocen con el nombre de obras de captación a las estructuras que se colocan directamente sobre las fuentes superficiales o subterráneas que se han seleccionado como económicamente utilizables para surtir una red de acueducto o para generar energía y desarrollar sistemas de riego, entre otros fines<sup>25</sup>.

Los tipos de captación son esencialmente diferentes según su captación, ya sea las aguas de los ríos, manantiales, lagos, entre otros<sup>26</sup>.

### **Agua potable**

El agua potable es el agua considerada apta para el consumo humano, es decir, aquella cuyo proceso de purificación permite su ingesta sin restricción alguna, no representando un riesgo para la salud de la población<sup>27</sup>.

### **Planta De Tratamiento De Agua Potable (PTAP)**

Una planta es un conjunto de estructuras y sistemas de ingeniería en las que se trata el agua de manera que se vuelva apta para el consumo humano<sup>28</sup>.

---

<sup>23</sup> Espino, G. d., Martínez, C. C., Martínez, S. A., & Pulido, S. H. (1998). DICCIONARIO DE HIDROLOGIA Y CIENCIAS AFINES. Baja California Sur: PLAZA Y VALDES EDITORES.

<sup>24</sup> Romero, F. C., & Serna, J. I. (2005). Acueductos teoría y diseño. Medellín: Universidad de Medellín.

<sup>25</sup> Romero, F. C., & Serna, J. I. (2005). Acueductos teoría y diseño. Medellín: Universidad de Medellín.

<sup>26</sup> Romero, F. C., & Serna, J. I. (2005). Acueductos teoría y diseño. Medellín: Universidad de Medellín.

<sup>27</sup> RIAÑO, A. Y. (15 de junio de 2015). ESTRUCTURAS BASICAS DE UN ACUEDUCTO. Obtenido de SlideShare: <https://es.slideshare.net/anyegori/estructuras-basicas-de-un-acueducto>

<sup>28</sup> AGUASISTEC. (2018). TRATAMIENTO DE AGUA Y AGUAS RESIDUALES. Obtenido de PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE -PTAP: <http://www.aguasistec.com/planta-de-tratamiento-de-agua-potable.php>

## Componentes de una PTAP

### ❖ Coagulación

El agua cruda entra a la planta de tratamiento y pasa por un mezclador estático en el cual se adiciona coagulante. La adición de coagulante puede hacerse automáticamente por el uso de un controlador de coagulación o de manera proporcional del flujo a tratar<sup>29</sup>.

### ❖ Floculación

Es un proceso en el cual se lleva a cabo en un módulo dotado de un floculador que es un agitador de hélices especialmente diseñadas para promover el movimiento de los coloides sin causar cizallamiento<sup>30</sup>.

### ❖ Sedimentación

El agua coagulada y floculada pasa a una cámara de sedimentación para aumentar la eficiencia de clarificación. En este se busca la eliminación de flóculos de coloides en suspensión<sup>31</sup>.

### ❖ Filtración

Eliminación de partículas sólidas de hasta 1.0 micra<sup>32</sup>.

### ❖ Desinfección

Después de la filtración se adiciona el desinfectante de manera proporcional al caudal tratado, para así eliminar organismos patógenos<sup>33</sup>.

---

<sup>29</sup> OPT. (2017). SOLUCIONES DE TRATAMIENTO DE AGUAS. Obtenido de PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE: <http://aguas.opt-ing.com/soluciones-de-tratamiento/plantas-de-tratamiento-de-aguas-potable>

<sup>30</sup> OPT. (2017). SOLUCIONES DE TRATAMIENTO DE AGUAS. Obtenido de PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE: <http://aguas.opt-ing.com/soluciones-de-tratamiento/plantas-de-tratamiento-de-aguas-potable>

<sup>31</sup> OPT. (2017). SOLUCIONES DE TRATAMIENTO DE AGUAS. Obtenido de PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE: <http://aguas.opt-ing.com/soluciones-de-tratamiento/plantas-de-tratamiento-de-aguas-potable>

<sup>32</sup> OPT. (2017). SOLUCIONES DE TRATAMIENTO DE AGUAS. Obtenido de PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE: <http://aguas.opt-ing.com/soluciones-de-tratamiento/plantas-de-tratamiento-de-aguas-potable>

<sup>33</sup> OPT. (2017). SOLUCIONES DE TRATAMIENTO DE AGUAS. Obtenido de PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE: <http://aguas.opt-ing.com/soluciones-de-tratamiento/plantas-de-tratamiento-de-aguas-potable>

## 1.5 MARCO LEGAL

En base a la normativa que se rige en Colombia y que se contemplara para la optimización de los sistemas de captación y tratamiento para el acueducto del municipio de Paratebuena (Cundinamarca), se tendrán en cuenta la Resolución 330 de 2017 así como también los siguientes decretos:

Tabla 3. Normatividad optimización sistema de acueducto, municipio de Paratebuena.

<b>NORMA</b>	<b>TITULO</b>	<b>OBJETO</b>
Resolución 330 de 2017 <sup>34</sup>	Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico – RAS, derogando las Resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009.	Se reglamentan los requisitos que se deben cumplir, teniendo en cuenta las etapas de planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura. Así como también desarrolla estudios y diseños de un sistema de potabilización del agua, garantizando seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia y sostenibilidad.
Decreto 1575 de 2007 <sup>35</sup>	Sistema para la protección de y control de la calidad del agua para consumo humano.	Establece sistemas para la protección y calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana.
Decreto 2115 de 2007 <sup>36</sup>	Características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia	Establece las características físicas, químicas y microbiológicas, con

<sup>34</sup> Minvivienda. (8 de junio de 2017). Resolución 330. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=71542>

<sup>35</sup> MINAMBIENTE. (9 de mayo de 2007). Decreto 1575. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>

<sup>36</sup> MINAMBIENTE. (22 de junio de 2007). Resolución 2115. Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n\\_del\\_agua/Resoluci%C3%B3n\\_2115.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf)

	para la calidad del agua para consumo humano.	instrumentos básicos como índices de riesgo para la calidad del agua con respecto al consumo humano.
--	---	--

**Fuente: Propia**

## **1.6 METODOLOGÍA**

La metodología de trabajo se definió en torno al desarrollo y cumplimiento de los objetivos específicos de la siguiente manera:

### **Objetivo 1:**

1. Recolección de información primaria: Con el objetivo de evaluar posibles fuentes hídricas, se recopilará información cartográfica que facilite la búsqueda y ubicación de cuencas y los ríos relativamente cercanos al municipio. Esta cartografía se manejará en escala 1:25000 para tener una visualización más amplia de la información que se necesita, la cual se obtendrá del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

2. Aforos de las fuentes hídricas: Según los antecedentes hallados, es preciso afirmar que existen grandes problemas en el abastecimiento de agua, es por ello que se hace necesaria la búsqueda y evaluación de posibles fuentes hídricas alternas cercanas al municipio.

Como principio de esa evaluación, es necesario realizar una medición de los caudales (aforo) en las posibles fuentes hídricas, determinando su área de sección y la cantidad de agua que transcurre en una fracción de tiempo, con el fin de compararlas con la fuente de captación actual con la que cuenta el municipio.

3. Evaluación de la calidad del agua: Con el fin de determinar el estado de calidad de agua que está llegando al municipio, se realizarán una serie de pruebas de carácter físico, químico y microbiológico, por medio de muestras de agua que serán estudiadas en el laboratorio de la Universidad Católica de Colombia.

4. Recopilación de información hidroclimatológica: Por medio de entidades que vigilan el comportamiento climatológico en la zona, se realizará un análisis de los registros de precipitación, caudales máximos y mínimos hallados en las estaciones limnimétricas cercanas a las fuentes en estudio.

5. Modelación Hidrológica: Este procedimiento se realizará con ayuda de algunos software como (ArcGis) y (Hec-Hms), los cuales facilitaran observar cómo es el comportamiento de los caudales en un tiempo y una zona dada.

## **Objetivo 2:**

1. Diagnóstico de la obra actual: Para realizar una correcta evaluación del problema, es pertinente conocer el estado actual del sistema de acueducto, es por ello que se hace necesaria una visita técnica al municipio en estudio, con el fin de recopilar la siguiente información:

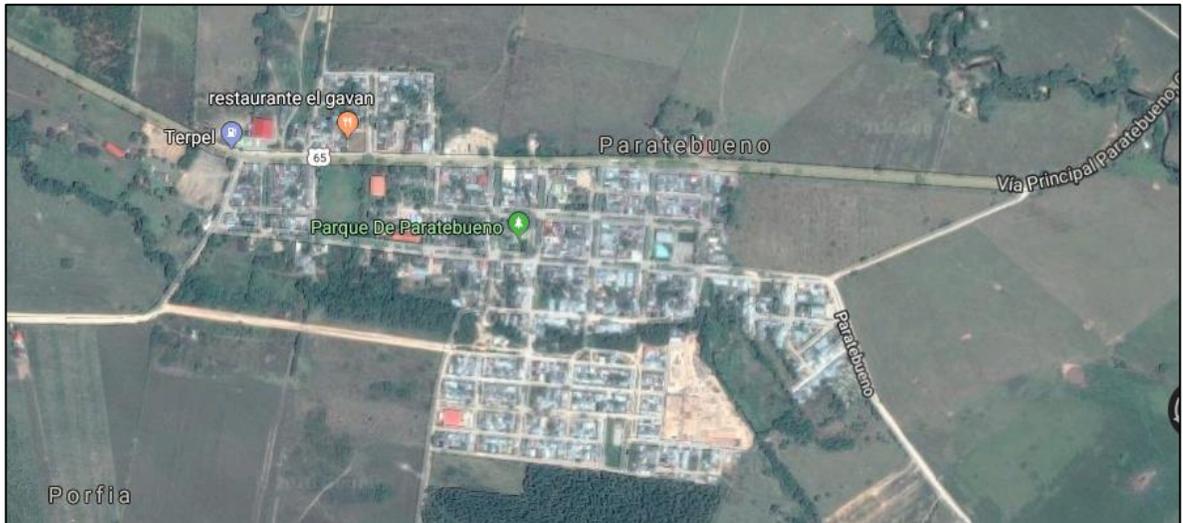
- ❖ Fuente hídrica actual
- ❖ Caudal concesionado
- ❖ Tipo de captación
- ❖ Características del sistema de aducción
- ❖ Topografía de la zona
- ❖ Información de la PTAP (Planta de Tratamiento de Agua Potable)
- ❖ Dimensiones del tanque de almacenamiento
- ❖ Características del sistema de conducción
- ❖ Cartografía de la zona
- ❖ Estado estructural de la obra

## **Objetivo 3:**

Rediseño del sistema de acueducto: Una vez realizada la evaluación y la modelación del sistema con una nueva fuente de captación y con ayuda de la Resolución 330 de 2017, se procederá a hacer un rediseño de cada una de las estructuras que componen el sistema de acueducto, determinando parámetros hidráulicos con el fin de realizar esta propuesta formalmente ante la alcaldía del municipio, se realizará una determinación aproximada de los costos que puede tener la ejecución de dicha obra.

## 1.7 ALCANCE

Figura 2. Espacio geográfico, municipio de Paratebueno

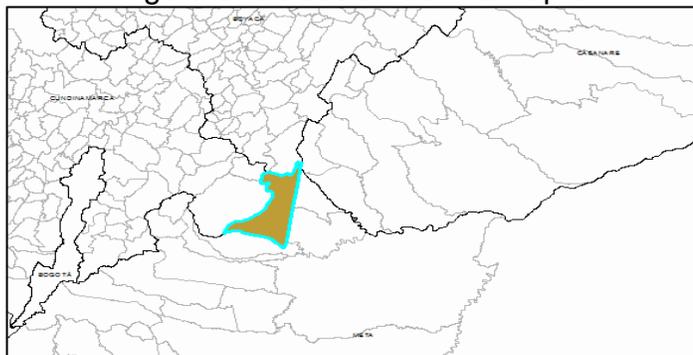


**Fuente: Google Maps**

El alcance de este proyecto es verificar el cumplimiento del acueducto y los requisitos necesarios para la población del casco urbano de Paratebueno (Figura 2), junto con los requerimientos expuestos en la Resolución 330 de 2017, como una fuente de abastecimiento, un caudal que cumpla con la demanda y que la fuente esté en condiciones de suministrar, como también el debido dimensionamiento del desarenador y el tanque de almacenamiento, todo esto con el fin de cumplir con los criterios de diseño, construcción y mantenimiento, determinando posibles recomendaciones en beneficio de la comunidad. No se definirá el sistema de distribución ni la conducción.

## 1.8 LOCALIZACIÓN Y GEOGRAFÍA DEL MUNICIPIO

Figura 3. Ubicación del municipio.

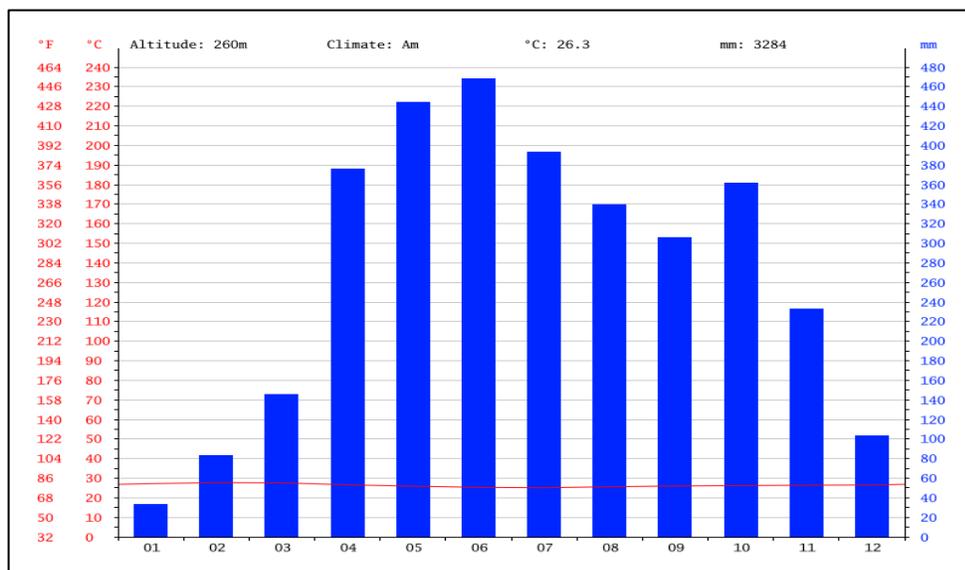


**Fuente: (IGAC, 2018)**

Paratebueno es uno de los dos municipios del departamento de Cundinamarca ubicados en el Piedemonte Llanero, junto con Medina (Cundinamarca), que además le da el nombre a la provincia. Paratebueno hace parte de la Ruta Turística Piedemonte Llanero y se encuentra ubicado sobre La Marginal de la Selva, una importante vía nacional que recorre la Orinoquia colombiana<sup>37</sup>.

## 1.9 CLIMATOLOGÍA

Figura 4. Climograma Paratebueno.



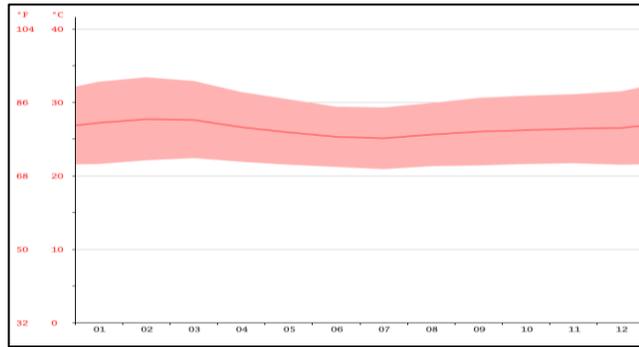
Fuente: (CLIMATE-DATA.ORG, 2018)

Según la (Figura 4), La altura sobre el nivel del mar es de 256 m. La precipitación anual promedio es de 3284 mm, siendo la más baja en enero, con un promedio de 33 mm, y con un promedio mensual de 468 mm, la mayor precipitación cae en junio, caracterizada por un comportamiento bimodal, es decir que presenta dos períodos, uno húmedo que abarca los meses de abril a noviembre y otro seco que corresponde a los meses de diciembre a marzo, con un porcentaje promedio de humedad relativa del 45%<sup>38</sup>.

<sup>37</sup> Alcaldía de Paratebueno -Cundinamarca. (17 de diciembre de 2017). Paratebueno -Cundinamarca. Obtenido de Nuestro Municipio: [http://www.paratebueno-cundinamarca.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.paratebueno-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml)

<sup>38</sup> CLIMATE-DATA.ORG. (2018). CLIMA: COLOMBIA. Obtenido de CLIMA: PARATEBUENO: <https://es.climate-data.org/location/49876/>

Figura 5. Temperatura Paratebueno. (Temperatura Vs Meses del año)



**Fuente:** (CLIMATE-DATA.ORG, 2018)

En la (Figura 5), se observa que la Temperatura media para el municipio es de 27.7 ° C, febrero es el mes más caluroso del año, julio tiene la temperatura promedio más baja del año 25.1 ° C<sup>39</sup>.

### 1.10 HIDROLOGÍA

Posee considerables fuentes hídricas como los ríos Humea, Guacavía y río Amarillo, los cuales son de mayor importancia para llevar a cabo cada una de las actividades propias de la producción agropecuaria y medio ambiental. También se cuenta con otras fuentes hídricas como el río Cabuyarito, el caño la Naguaya, el caño Palomas, caño el Rayo, entre otros<sup>40</sup>.

Figura 6. Caños existentes.



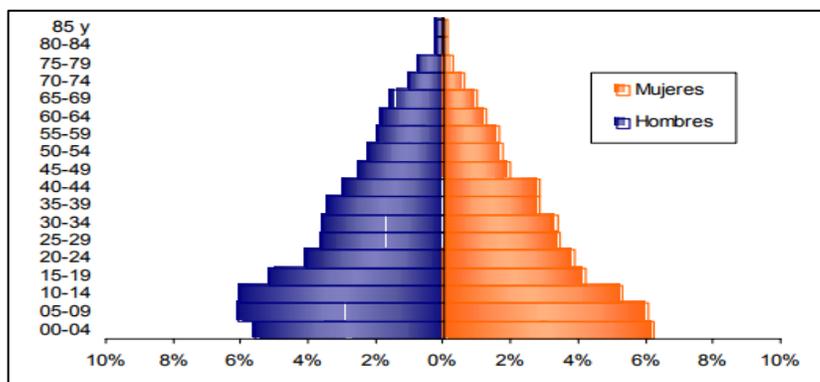
**Fuente:** (Google Maps, 2018)

<sup>39</sup> CLIMATE-DATA.ORG. (2018). CLIMA: COLOMBIA. Obtenido de CLIMA: PARATEBUENO: <https://es.climate-data.org/location/49876/>

<sup>40</sup> Alcaldía de Paratebueno -Cundinamarca. (17 de diciembre de 2017). Paratebueno -Cundinamarca. Obtenido de Nuestro Municipio: [http://www.paratebueno-cundinamarca.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.paratebueno-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml)

## 1.11 DEMOGRAFÍA

Figura 7. Población por sexo y grupos de edad.



Fuente: DANE

Para el año 2005, se observa que la población es de 7256 habitantes, siendo 3410 población femenina, el cual representa el 47% y 3846 población masculina que es el 53% (Figura 7).

Los habitantes del casco urbano para los años 1985, 1993 y 2005 son:

Tabla 4. Población censada casco urbano.

AÑO	CABECERA	RURAL	TOTAL
1985	986	4717	5703
1993	1337	5067	6404
2005	2056	5200	7256

Fuente: DANE

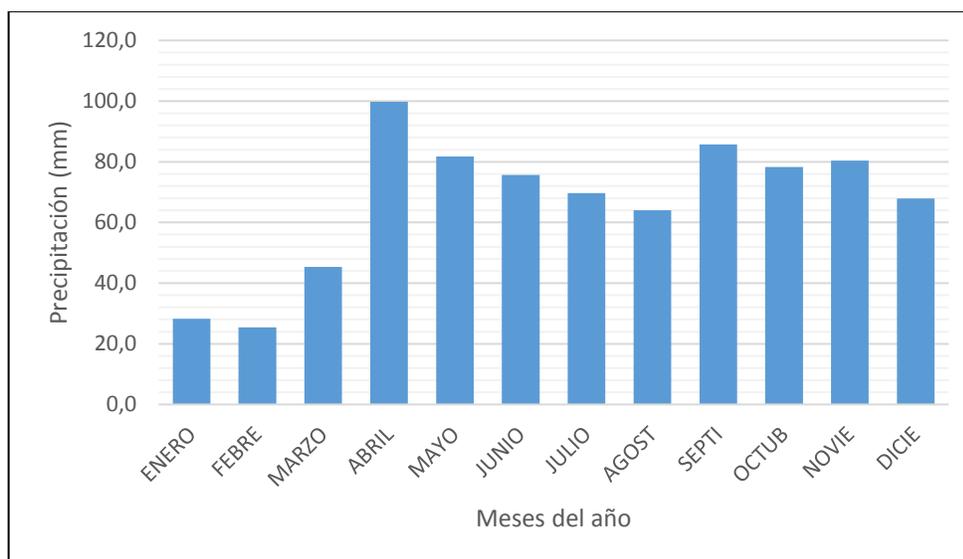
## 2. COMPONENTE HIDROLÓGICO

Actualmente el Caño Palomas no cuenta que registros del IDEAM sin embargo la fuente más cercana al municipio es el Río Humea el cual está ubicado aproximadamente a 9,8 km de Paratebueno, en el cual se encontraron las estaciones (CABLE EL) de tipo limnigráfica y (JAPON EL) meteorológica. Este río nace en la cordillera oriental en los farallones cerca del páramo de Chingaza, corre en sentido occidente -oriente. Irriga un área de 42.955,70 hectáreas y en invierno es natural que presente desbordamientos<sup>41</sup>.

### 2.1 GRAFICOS PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA RÍO HUMEA

En base a los registros del IDEAM en las estaciones la precipitación y la temperatura promedio mensual del año 2001 a 2016 son:

Gráfico 1. Precipitación máxima en 24 Horas (mms)

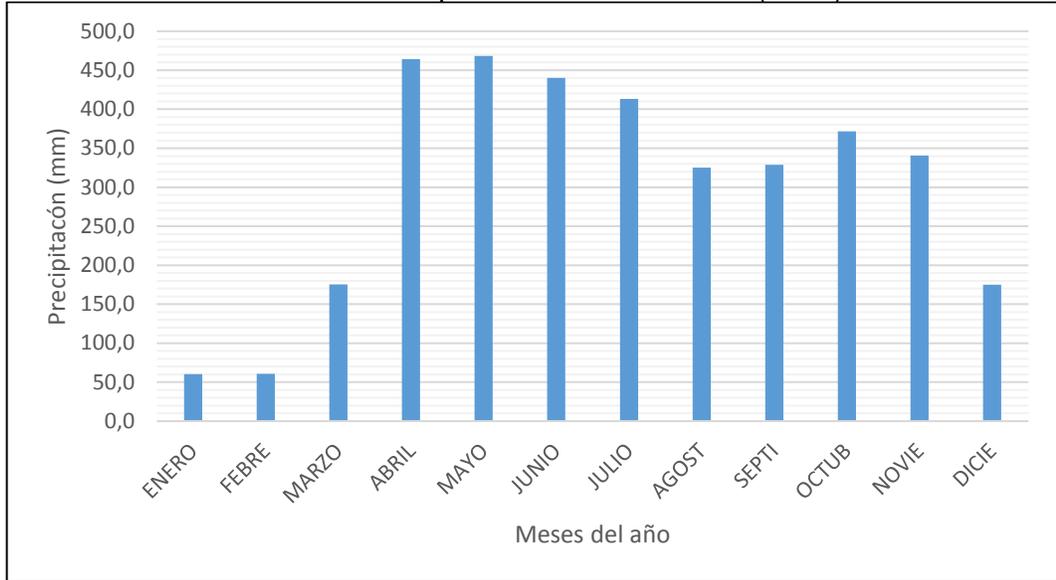


Fuente. IDEAM

La precipitación máxima en 24 horas más baja se evidencia en el mes de febrero con un promedio de 25mm. La mayor precipitación cae en abril con un promedio de 99,8mm.

<sup>41</sup> IDEAM. (s.f.). Datos abiertos. Obtenido de <https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Catalogo-Estaciones-IDEAM/n6vw-vkfe/data>

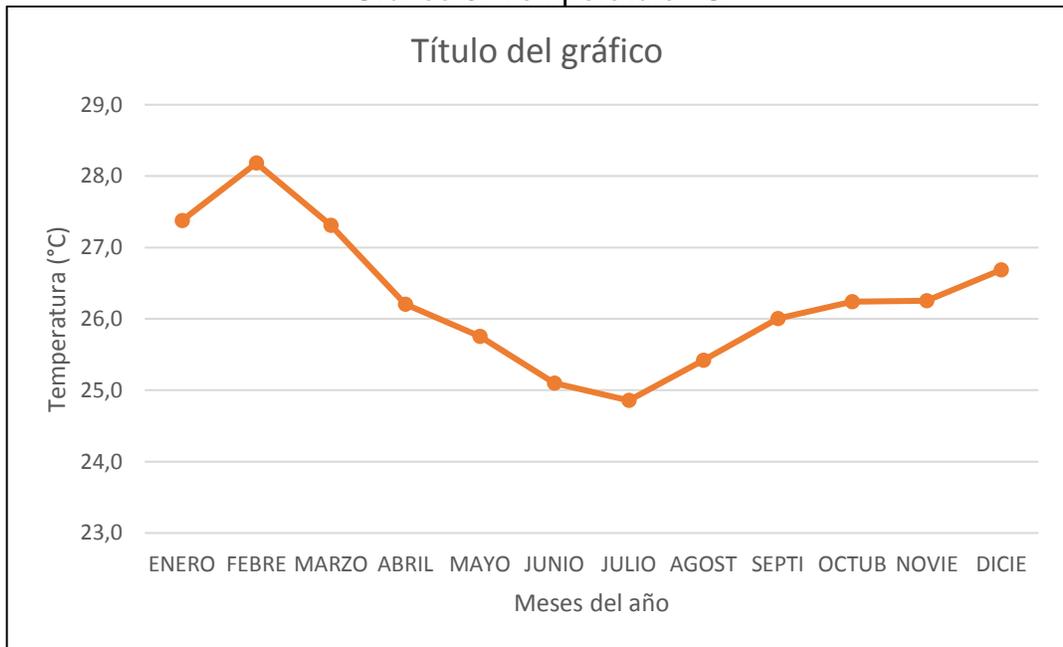
Gráfico 2. Precipitación total mensual (mms)



Fuente. IDEAM

La precipitación total mensual más baja se evidencia en los meses de enero y febrero con un promedio de 60mm. La mayor precipitación cae entre abril y mayo con un promedio de 468mm, sin embargo, las lluvias tienen un alto índice desde el mes de abril hasta octubre.

Gráfico 3. Temperatura °C



Fuente. IDEAM

La temperatura más baja se evidencia en el mes de julio con un promedio de 25°C. La mayor temperatura cae en febrero con un promedio de 28°C.

## 2.2 CURVA IDF

Para el desarrollo de la curva se utilizaron los datos obtenidos por el IDEAM en la estación JAPON EL, de la precipitación máxima en 24 horas como se muestra en la siguiente tabla:

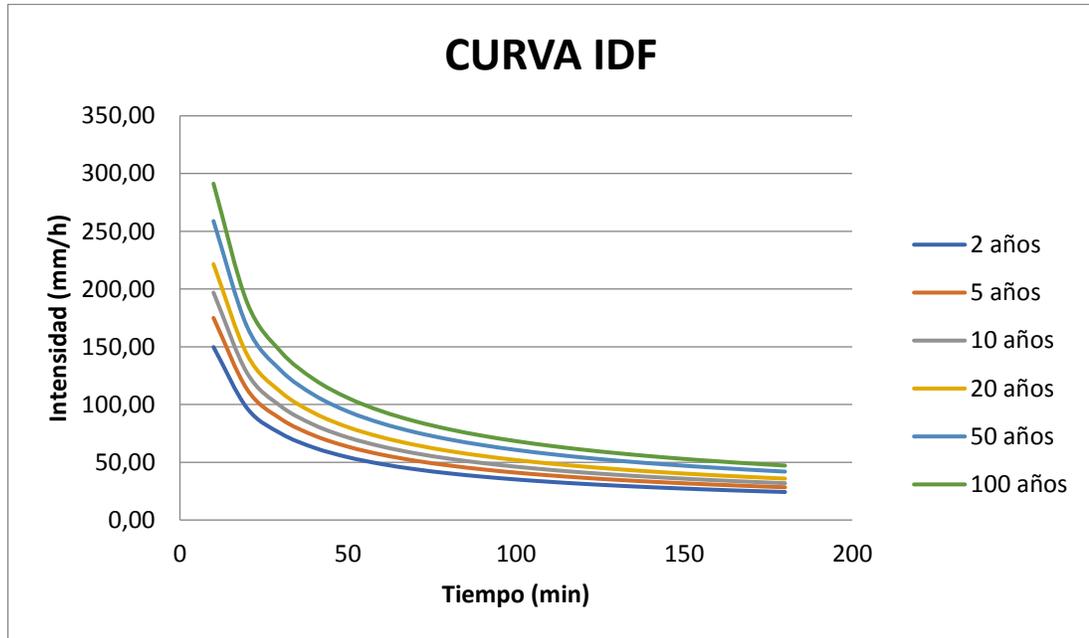
Tabla 5. Precipitación máxima anual histórica en 24 horas

<b>AÑO</b>	<b>PRECIPITACION (mm)</b>
<b>2001</b>	84,0
<b>2002</b>	129,5
<b>2003</b>	175,0
<b>2004</b>	119,0
<b>2005</b>	142,7
<b>2006</b>	157,0
<b>2007</b>	133,0
<b>2008</b>	97,0
<b>2009</b>	169,1
<b>2010</b>	138,0
<b>2011</b>	184,2
<b>2012</b>	137,0
<b>2013</b>	116,0
<b>2014</b>	105,0
<b>2015</b>	130,0
<b>2016</b>	104,0
<b>NUMERO DE DATOS</b>	16,0
<b>MEDIA</b>	132,5

Fuente. DANE

Con los valores de intensidades calculados, se generó la curva Intensidad – Duración y Frecuencia:

Gráfico 4. Curva IDF Rio Humea



Fuente. Propia

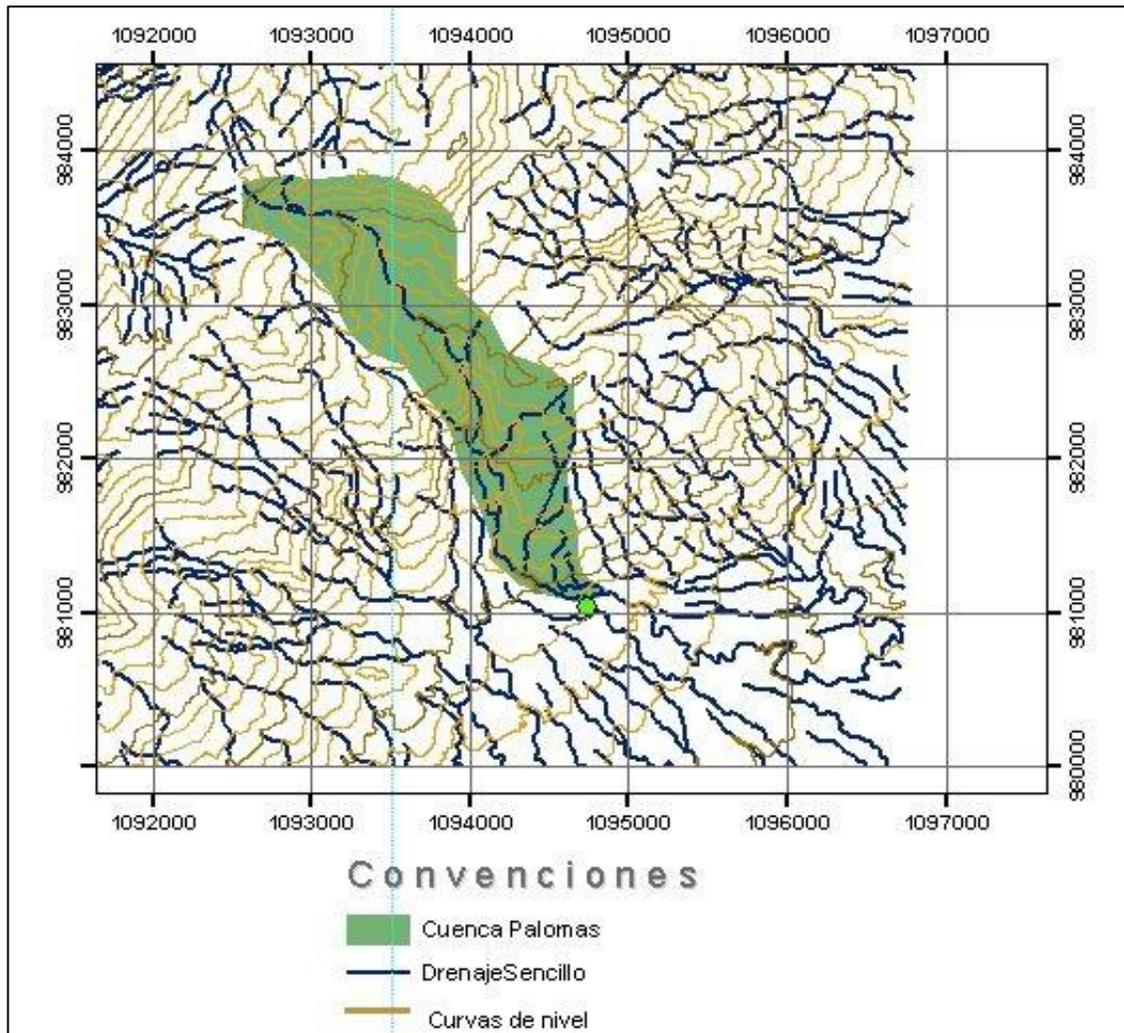
### 2.3 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN HIDROLÓGICA DE FUENTE ACTUAL Y FUENTE ALTERNATIVA:

Con el objetivo de realizar un análisis comparativo entre las condiciones existentes de la fuente hídrica actual y la posible fuente alternativa, se planteó el cálculo de los caudales medios de cada una de las fuentes para realizar la verificación de la deficiencia de la fuente actual y poder evaluar la capacidad de la fuente del caño Blanco como alternativa en época de déficit. Este análisis se realizó por el método de la curva número para un posterior procesamiento en el programa HEC-HMS y con los resultados obtenidos, realizar los análisis correspondientes como se explica a continuación.

#### 2.3.1 Modelación en ArcGIS

Para empezar el análisis fue necesario contar con información básica de cada una de las fuentes en estudio, para ello, a partir de la información cartográfica obtenida del IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) a escala 1:25000, se procedió a delimitar la cuenca del caño Palomas hasta el punto de toma con el que cuenta actualmente el municipio de Paratebueno ubicado a aproximadamente 5.5 km de este. Este procedimiento se realizó con ayuda del programa ArcGIS, y se efectuó el mismo procedimiento para el caño Blanco(alternativa) obteniendo los siguientes resultados:

Figura 8. Cuenca Caño Palomas



**Fuente: Propia**

Al realizar la delimitación se obtuvo la siguiente información:

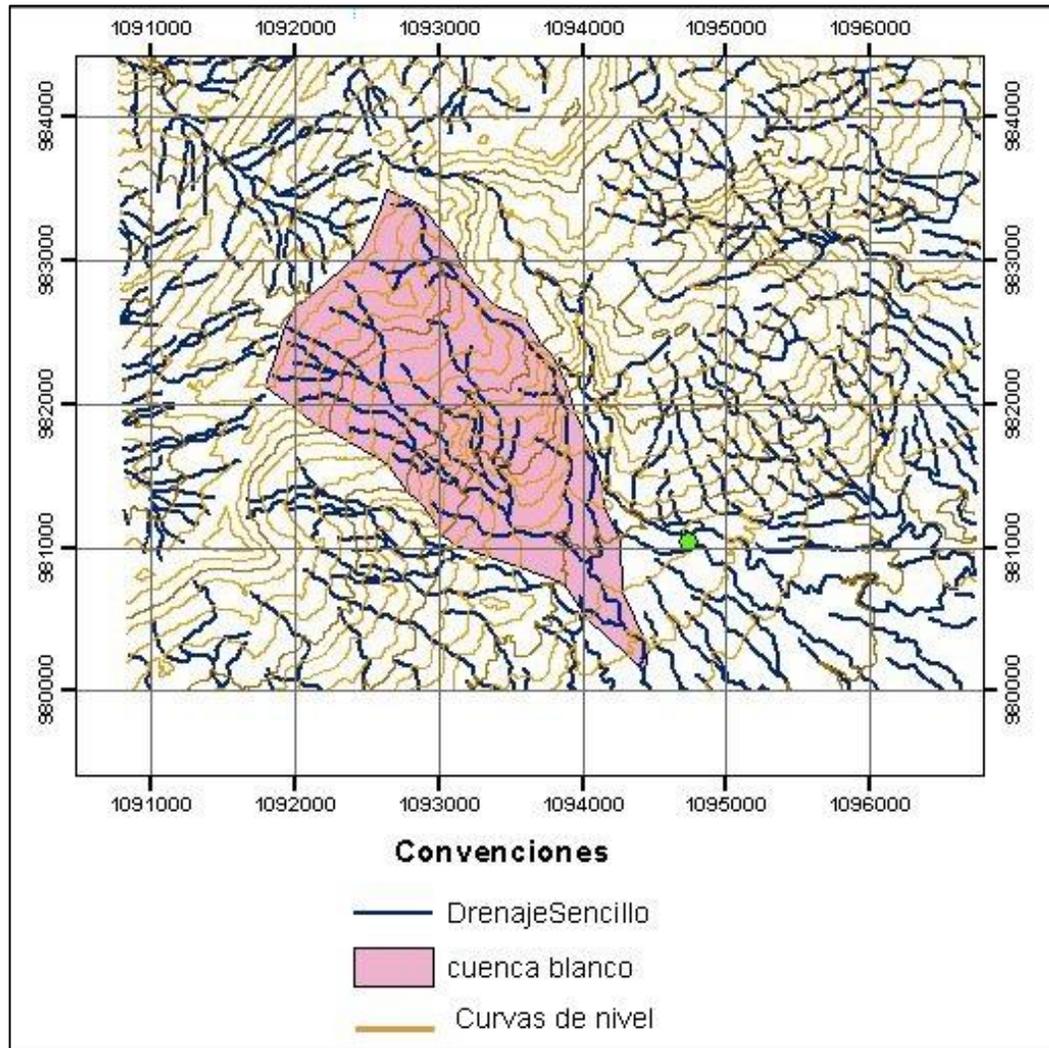
Área de la cuenca: 2.287405 km<sup>2</sup>

Longitud del cauce: 4352 m = 4.352 km

Pendiente de la cuenca: 15.4%

La delimitación de la cuenca del caño Blanco se realizó con ayuda de cartografía del IGAC, en escala 1:25000 asumiendo un posible punto de captación, el cual se encuentra aproximadamente a 4.63 km del municipio:

Figura 9. Cuenca Caño Blanco



**Fuente: Propia**

Al realizar la delimitación se obtuvo la siguiente información:

Área de la cuenca: 3.635878 km<sup>2</sup>

Longitud del cauce: 4250 m = 4.250 km

Pendiente de la cuenca: 14.35%

### **2.3.2 Método del número de curva:**

El método del número de curva es un método desarrollado por Soil Conservation Service (SCS) de los EE. UU en 1972 para estimar la escorrentía generada por un episodio de lluvia.

El método del número de curva utiliza como primer dato de entrada la lluvia escorrentía precipitada en la zona, asumiendo por tanto que en una misma cuenca diferentes lluvias provocarán diferentes escorrentías. Lo más conveniente será considerar para la estima aquella lluvia que genere mayor escorrentía, de ahí que se deba utilizar el tiempo de concentración ( $T_c$ ) como punto de entrada en las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) de La zona. (Schwab, 1990)

El valor del número de curva ( $N$ ) se obtiene mediante tablas; las condiciones del terreno contempladas son: uso de la tierra, (figura nº 1), medidas de conservación empleadas en el cultivo estado de compactación del terreno en relación con su uso, capacidad de infiltración del suelo en atención a su textura y, finalmente, condición previa de humedad del suelo varía entre 1 y 100, siendo mayor cuanto peor sea su situación.

Tabla 6. CN para diferentes usos del suelo

Cubierta del suelo			Números de curva correspondientes a los grupos hidrológicos del suelo			
Clase	Laboreo	Condiciones hidrológicas para la infiltración	A	B	C	D
Barbecho	-	-	77	86	91	94
Cultivos alineados	R	Pobres	72	81	88	91
	R	Buenas	67	78	85	89
	C	Pobres	70	79	84	88
	C	Buenas	65	75	82	86
	C-T	Pobres	66	74	80	82
	C-T	Buenas	62	71	78	81
Cultivos no alineados o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobres	65	76	84	88
	R	Buenas	63	75	83	87
	C	Pobres	63	74	82	85
	C	Buenas	61	73	81	84
	C-T	Pobres	61	72	79	82
	C-T	Buenas	59	70	78	81
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternativa	R	Pobres	66	77	84	88
	R	Buenas	58	72	81	85
	C	Pobres	64	75	83	85
	C	Buenas	55	69	78	83
	C-T	Pobres	63	73	80	83
	C-T	Buenas	51	67	76	80
Pastizales (pastos naturales)	-	Pobres	68	79	86	89
	-	Regulares	49	69	79	84
	-	Buenas	39	61	74	80
	C	Pobres	47	67	81	88
	C	Regulares	25	59	75	83
	C	Buenas	6	35	70	79
Prados permanentes Montes con pastos (ganadero-forestal)	-	-	30	58	71	78
	-	Pobres	45	66	77	83
	-	Regulares	36	60	73	79
	-	Buenas	25	55	70	77
Bosques (forestales)	-	Muy pobres	56	75	86	91
	-	Pobres	46	68	78	84
	-	Regulares	36	60	70	76
	-	Buenas	26	52	63	69
Caseríos Camino de tierra Camino en firme	-	-	15	44	54	61
	-	-	59	74	82	86
	-	-	72	82	87	89
-	-	74	84	90	92	

Fuente: Schwab, G.O. Frevert, R.K. "Ingeniería de conservación de suelos y aguas"

Para la evaluación del valor del número de curva de las dos cuencas en estudio (Caño Palomas y Caño Blanco) se realizó una programación en Excel que permite conocer el valor de CN teniendo en cuenta cada uno de los parámetros mencionados anteriormente. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 7. Numero de Curva (CN) para caño Palomas y Caño Blanco

CUENCA N°	NOMBRE CUENCA	Numero de curva ponderado y corregido (CN)
1	Caño Palomas	75.290
2	Caño Blanco	72.310

Fuente: Propia

### 2.3.3 Hietogramas de precipitación

Un hietograma es un gráfico de la precipitación caída en intervalos de tiempo durante cierto período, que se establece según el tamaño de la cuenca; para las pequeñas en minutos, para las grandes en horas, puede abarcar un día completo, o incluso un año, pero generalmente se limita a la duración de una tormenta, donde el área comprendida entre el hietograma y los dos ejes de coordenadas representa la precipitación total recibida en el período. (Luiggi, 2013)

Una vez hallado el valor de Curva Numero para cada una de las cuencas, se realizó la estimación de valores de precipitación para los diferentes periodos de retorno por medio de una programación en Excel para lo cual se necesitó la información de precipitación registrada anteriormente, además de los valores de coeficientes a, b, c y d que están en función de la región en la que se quiera realizar análisis y también la información característica de las cuencas. Como resultado de este procedimiento se obtuvo los hietogramas de precipitación para los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años para las dos cuencas en estudio.

Procedimiento:

Tabla 8. Valores Coeficiente a, b, c, y d para la región

REGION	a	b	c	D
ORINOQUIA	5.53	0.17	0.63	0.42

Fuente: Ven te Chow. Hidrología Básica

Figura 10. Datos insertados Caño Palomas

Datos curva idf: $i=aT^b/cM^d$				Datos precipitación:				Datos cuenca:		
a	b	c	d	Tr (años)	$P_{24}$ (mm)	aplicada (mm)		Área	2.29	Km2
5.53	0.17	0.63	0.42	0		0		Long. Cauce	4352	m
Tr (años)	M					dur. lluvia (min)=	60	Desnivel	490	m
	132.5					intervalo, $\Delta t$ (min)=	5.00	CN	75.3	
										0.1126
Cálculo del tiempo de concentración, Tc (horas)										
Ventura-Heras	0.57	Témez:	1.39	Hathaway:	0.44	Kirpich (194	0.49			
Passini:	0.69	U.S. Corps	1.30	Bransby-William	1.51	California	0.48			
SCS:	1.52	Valor seleccionado de Tc		72	min					
				1.2	horas	Velocidad creciente	1.0	m/s		

Fuente: Propia

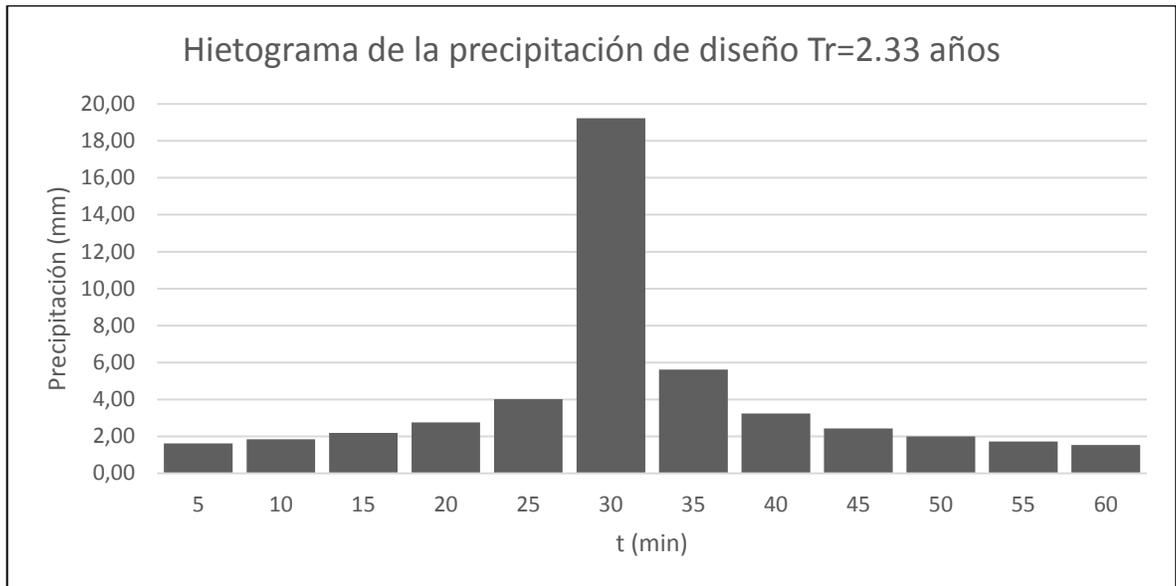
Para la simulación realizada se adoptó una duración de evento de aguacero de una hora (valor más cercano al tiempo de concentración elegido).

Figura 11. Resultado de valores hietograma caño Palomas Tr:2.33 años

Hietograma de la precipitación de diseño Tr=2.33 años							
Duración aguacero = 60 min							
Duración (minutos)	Intensidad (mm/hora)	Profundidad acum. (mm)	Incremento	intervalo de tiempo (min)		Precipitación total	
			profundidad (mm)			Incremento (mm)	Acumulada (mm)
0						0	0
5	237.898	19.825	19.825	0	5	1.62	1.62
10	153.724	25.621	5.796	5	10	1.85	3.47
15	119.070	29.768	4.147	10	15	2.19	5.66
20	99.333	33.111	3.343	15	20	2.76	8.42
25	86.306	35.961	2.850	20	25	4.02	12.44
30	76.941	38.470	2.510	25	30	19.23	31.67
35	69.820	40.728	2.258	30	35	5.62	37.29
40	64.187	42.791	2.063	35	40	3.24	40.53
45	59.596	44.697	1.906	40	45	2.43	42.96
50	55.769	46.474	1.777	45	50	2	44.96
55	52.519	48.142	1.668	50	55	1.72	46.68
60	49.717	49.717	1.575	55	60	1.53	48.21

Fuente: Propia

Gráfico 5. Hietograma de la precipitación de diseño Tr=2.33 años



**Fuente: Propia**

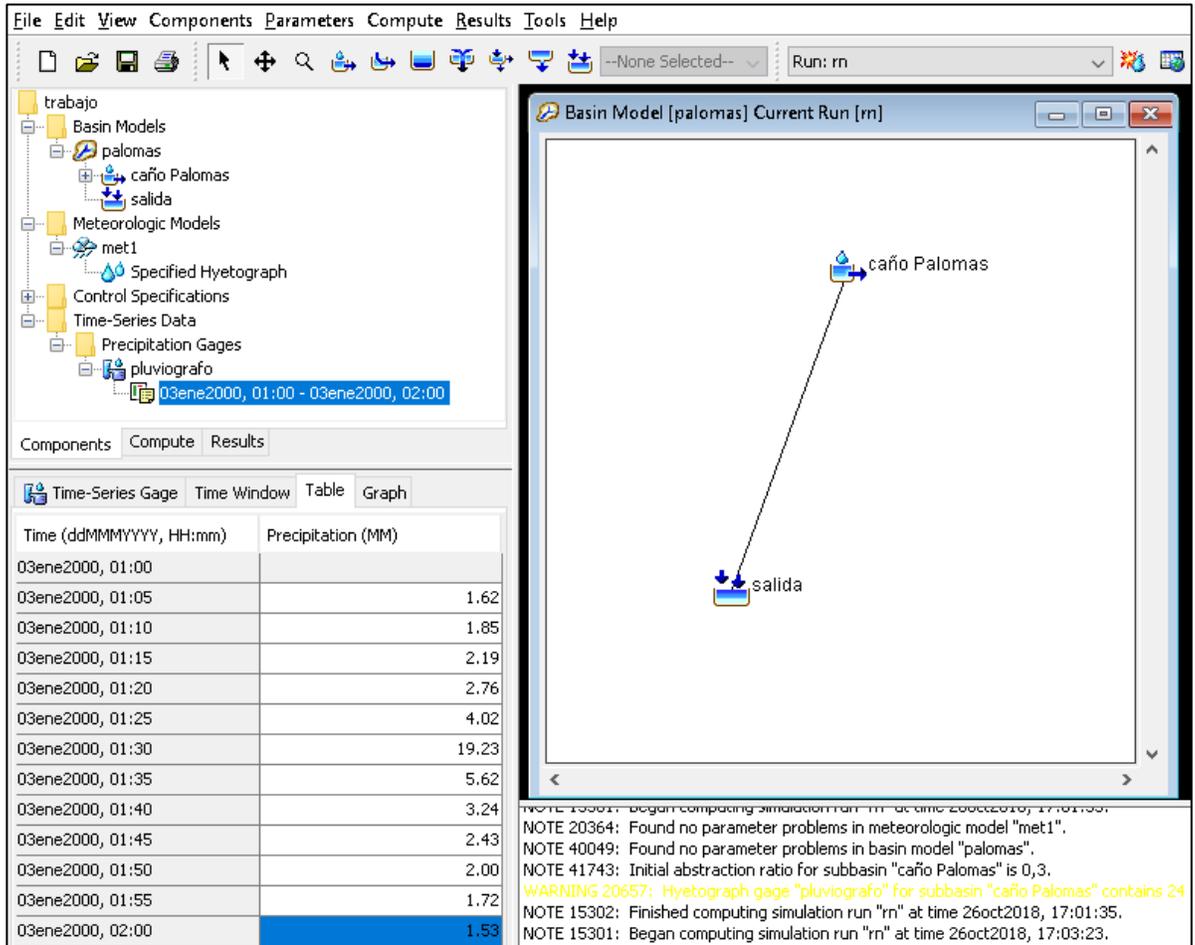
*Nota: Las tablas de los cálculos y resultados de cada evaluación se encuentran anexas.*

#### **2.3.4 Modelación en HEC-HMS:**

Con ayuda del manual de utilización realizado por “Departament d’Enginyeria Hidràulica i Ambiental” se realiza la modelación en el programa HEC-HMS para hallar finalmente los valores de caudales y realizar el respectivo análisis comparativo con el caudal demandado por el municipio. (d’Enginyeria, 2004)

Para poder ejecutar el programa, es necesario insertar los valores que se muestran en la siguiente imagen, entre los cuales está el valor del número de curva (CN), las características de la cuenca y la información de precipitación obtenida anteriormente para los diferentes periodos de retorno:

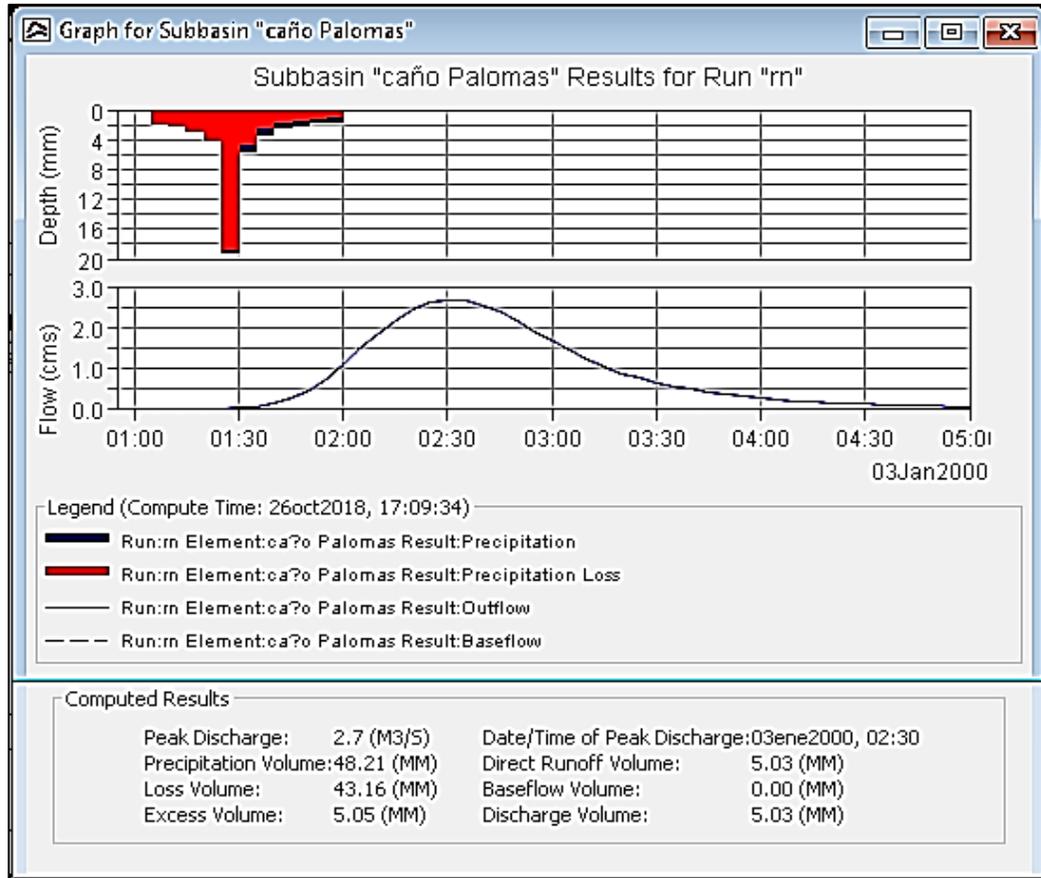
Figura 12. Pantalla de HEC-HMS



Fuente: Propia

Al correr el programa, se obtiene información como la siguiente:

Figura 13. Gráfica comportamiento de caudales



**Fuente: Propia**

Una vez obtenidos los caudales para cada periodo de retorno, se determina el promedio de ellos obteniendo la siguiente información:

Tabla 9. Caudales Medios en los Caños Palomas y Blanco

Periodo de Retorno (años)	CAUDAL MEDIO(m3/s)	
	Caño Palomas (Fuente actual)	Caño Blanco (Fuente alternativa)
2.33	1.01	1.24
10	2.04	2.65
50	3.60	4.99
100	4.58	6.31

**Fuente: Propia**

Para este tipo de análisis, se recomienda trabajar con periodo de retorno de 2.33 años, pues este representa condiciones medias de análisis, información con la que se estima que se comportará el caudal en la mayor parte del tiempo.

### 2.3.5 Evaluación de caudales y análisis de déficit-exceso:

Finalmente, para analizar el déficit o exceso que tiene la fuente actual, se realizó el siguiente análisis:

Teniendo en cuenta que un evento de aguacero de una hora de duración provocó una precipitación acumulada de 48.21 mm (Tabla 10) y el caudal medio que este evento provoco fue de 1.01 m<sup>3</sup>/s (Tr=2.33 años), y se tienen los valores de precipitación diarios de cada mes (tabla 11), por ejemplo, para el mes de enero fue de 1.945 mm, por lo tanto, la operación a realizar es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 48.21mm &\rightarrow Q = 1.01 \frac{m^3}{s} \\
 1.945 mm &\rightarrow X = ? \\
 X &= \frac{1.945mm * 1.01 \frac{m^3}{s}}{48.21mm} = 0.0408 \frac{m^3}{s} = 40.836 \frac{L}{s}
 \end{aligned}$$

Lo que indica lo anterior es que si una precipitación de 48.21mm causó un caudal de 1.01m<sup>3</sup>/s, la precipitación media diaria obtenida en el mes de enero (1.945mm) causara un caudal de 40.836 L/s. Se repite el mismo procedimiento para cada uno de los meses del año obteniendo los resultados de la tabla 12.

Tabla 10. Valores de hietograma Caño Palomas

Hietograma de la precipitación de diseño $T_r=2.33$ años							
Duración (minutos)	Intensidad (mm/hora)	Profundidad acum. (mm)	Duración aguacero = 60 min			Precipitación total	
			Incremento	intervalo de		Incremento	Acumulada
			profundidad (mm)	tiempo (min)	(mm)	(mm)	
0						0	0
5	237.898	19.825	19.825	0	5	1.62	1.62
10	153.724	25.621	5.796	5	10	1.85	3.47
15	119.070	29.768	4.147	10	15	2.19	5.66
20	99.333	33.111	3.343	15	20	2.76	8.42
25	86.306	35.961	2.850	20	25	4.02	12.44
30	76.941	38.470	2.510	25	30	19.23	31.67
35	69.820	40.728	2.258	30	35	5.62	37.29
40	64.187	42.791	2.063	35	40	3.24	40.53
45	59.596	44.697	1.906	40	45	2.43	42.96
50	55.769	46.474	1.777	45	50	2	44.96
55	52.519	48.142	1.668	50	55	1.72	46.68
60	49.717	49.717	1.575	55	60	1.53	48.21

Fuente: Propia

Tabla 11. Promedio valores máximos diarios de precipitación (mm)

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
PROMEDIO 2001-2016	1.949	1.961	5.656	14.971	15.104	14.197	13.333	10.490	10.612	11.982	10.986	5.641

Fuente: Propia

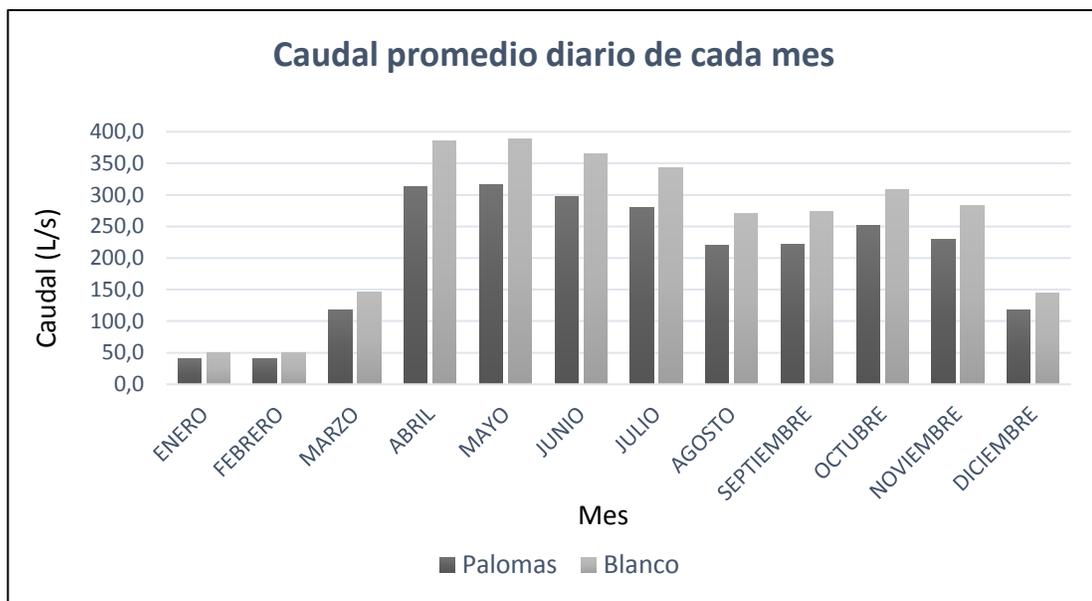
Tabla 12. Caudal medio Mensual

Mes	CAUDAL MEDIO (L/s)		ESTADO DE ABASTECIMIENTO	
	Palomas	Blanco	Palomas	Blanco
ENERO	40.836	50.135	Deficit	Exceso
FEBRERO	41.089	50.446	deficit	Exceso
MARZO	118.490	145.473	Exceso	Exceso
ABRIL	313.633	385.054	Exceso	Exceso
MAYO	316.421	388.477	Exceso	Exceso
JUNIO	297.418	365.147	Exceso	Exceso
JULIO	279.320	342.927	Exceso	Exceso
AGOSTO	219.759	269.803	Exceso	Exceso
SEPTIEMBRE	222.319	272.946	Exceso	Exceso
OCTUBRE	251.024	308.188	Exceso	Exceso
NOVIEMBRE	230.148	282.558	Exceso	Exceso
DICIEMBRE	118.170	145.080	Exceso	Exceso

Fuente: Propia

Además de mostrar los valores de caudales medios diarios generados, la tabla 12 muestra una evaluación de déficit o exceso con respecto al valor del caudal de diseño de las estructuras de captación valor que corresponde a 45.3 L/s.

Gráfico 6. Caudales medios mensuales en 24 horas



Fuente: Propia

## 2.4 ANALISIS DEL AGUA PTAP

A continuación, se muestran los análisis de agua realizados por la empresa Análisis de Aguas y Alimentos de los meses de abril y septiembre del presente año, con el fin de evaluar el correcto tratamiento del agua del Caño Palomas el cual es realizado por la empresa de Servicios Públicos de Paratebueno.

Figura 14. Análisis de agua mes de abril

ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS		ALFAMPAR S.A.S.	
Dra. AMPARO RESTREPO DE ÁVILA		NIT: 900.129.681-6 CRA 38 #35-15 BARZAL	
Informe de Resultados		Nº de Análisis: A / 14114	
<b>Identificación del Cliente</b>			
Cliente	EMPRESA DE SERV. PUB. DE PARATEBUENO	Dirección	PARATEBUENO
NIT	822.005.431-6	Departamento	CUNDINAMARCA
Teléfonos	3108519294	Municipio	PARATEBUENO
<b>Identificación de la Muestra</b>			
Tipo de muestra	AGUA POTABLE (IRCA)	Fecha Toma Muestra	11/04/2018 06:00:00
Lugar de Toma	EMPRESA DE SERV. PUB. DE PARATEBUENO	Fecha Recepción Muestra	11/04/2018 08:50:00
Punto de Toma	PUNTO 1003	Fecha Inicio Análisis	11/04/2018 09:13:25
Responsable Toma y Transporte	EMPRESA	Fecha Dictamen	14/04/2018 10:13:54
ANÁLISIS AGUAS POTABLES			
PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO ANALÍTICO	VALOR ADMISIBLE
GRUPO FÍSICO-QUÍMICO			
Color	5 mg/l Pt/Co	SM 2120-B-C	Hasta 15 UPC
pH	8,0 udes. pH	SM 4500-B	6.50 - 9.00 Unidades de pH
Conductividad	84 µS/cm	SM 2510-B	Hasta 300 µ S/cm
Turbiedad	0,31 UNT	SM 2130-B	Hasta 2 UNT
Cloro Residual Libre	0,51 mg/l	SM 4500-G	0.3 - 2.0 mg/l
Cloruros	3 mg/l	SM 4500-G	Hasta 250 mg/l
Dureza Total	26,7 mg/l	SM 2340-C	Hasta 300 mg/l
Calcio	7,1 mg/l	SM 3500-B	Hasta 60 mg/l
Magnesio	2,16 mg/l	SM 3500-B	Hasta 36 mg/l
Alcalinidad	17,8 mg/l	SM 2320-B	Hasta 200 mg/l
Nitratos	<4 mg/l	SM 4500-H	Hasta 10 mg/l
Nitritos	<0,02 mg/l	SM 4500-B	Hasta 0.1 mg/l
Sulfatos	<20 mg/l	SM 4500-E	Hasta 250 mg/l
Hierro	<0,10 mg/l	SM 3500-B	Hasta 0.3 mg/l
Sólidos Disueltos Totales	52 mg/l	SM 2540	Hasta 200 mg/l
GRUPO MICROBIOLÓGICO			
E. Coli	0 ufc/100ml	SM 9222-B	0 ufc/100ml
Coliformes totales	0 ufc/100ml	SM 9222-B	0 ufc/100ml
<b>IRCA por Muestra</b>		<b>Nivel de Riesgo</b>	
00 %		Sin riesgo - Agua apta para consumo humano.	
<b>Legislación de la Muestra</b>			
Res. 2115/2007			

Fuente. Empresa de servicios públicos de Paratebueno

Figura 15. Análisis de agua mes de septiembre

**ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS**

ALFAMPAR S.A.S.  
RUT: 900.129.861-6  
CBA.36.835-13.BARZOL

Informe de Resultados  
N° de Análisis: A / 15426

**Dra. AMPARO RESTREPO DE ÁVILA**

**Identificación del Cliente**

Cliente	EMPRESA DE SERV. PUB. DE PARATEBUENO	Dirección	PARATEBUENO
NIT	832.005.431-6	Departamento	CUNDINAMARCA
Teléfono	3108510294	Municipio	PARATEBUENO

**Identificación de la Muestra**

Tipo de muestra	AGUA POTABLE (IRCA)	Fecha Toma Muestra	12/09/2018 5:00:00
Lugar de Toma	EMPRESA DE SERV. PUB. DE PARATEBUENO	Fecha Recepción Muestra	12/09/2018 7:20:00
Punto de Toma	PUNTO 1064	Fecha Inicio Análisis	12/09/2018 7:30:14
Responsable Toma y Transporte	CLIENTE	Fecha Dictamen	14/09/2018 9:01:45

**ANÁLISIS AGUAS POTABLES**

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO ANALÍTICO	VALOR ADMISIBLE
<b>GRUPO FÍSICO-QUÍMICO</b>			
Color	0 UPC	SM 2120-B-C	Hasta 15 UPC
pH	7,4 vdes pH	SM 4500-B	6,50 - 9,00 Unidades de pH
Conductividad	64 µS/cm	SM 2810-B	Hasta 1000 µS/cm
Turbiedad	0,64 UNT	SM 2130-B	Hasta 2 UNT
Cloro Residual Libre	0,74 mg/l	SM 4500-G	0,3 - 2,0 mg/l
Cloruros	8 mg/l	SM 4500-G	Hasta 250 mg/l
Dureza Total	17,8 mg/l	SM 2340-C	Hasta 300 mg/l
Calcio	7,1 mg/l	SM 3500-B	Hasta 60 mg/l
Magnesio	0,00 mg/l	SM 3500-B	Hasta 36 mg/l
Alcalinidad	17,8 mg/l	SM 2320-B	Hasta 200 mg/l
Nitratos	<4 mg/l	SM 4500-H	Hasta 10 mg/l
Nitritos	<0,02 mg/l	SM 4500-B	Hasta 0,1 mg/l
Sulfatos	<20 mg/l	SM 4500-E	Hasta 250 mg/l
Hierro	<0,10 mg/l	SM 3500-B	Hasta 0,3 mg/l
Sólidos Disueltos Totales	38 mg/l	SM 2540	mg/l
<b>GRUPO MICROBIOLÓGICO</b>			
E. Coli	0 ufc/100ml	SM 9222-B	0 ufc/100ml
Coliformes totales	0 ufc/100ml	SM 9222-B	0 ufc/100ml
<b>Nivel de Riesgo</b>			
Sin riesgo - Agua apta para consumo humano.			
<b>IRCA por Muestra</b>			
00 %			
<b>Legislación de la Muestra</b>			
Res. 2115/2007			

Fuente. Alcaldía de Paratebueno

Los valores admisibles de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano según resolución 2115 de 2007:

Tabla 13. Características Físicas

Características físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y Sabor	Aceptable ó no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

Fuente. Resolución 2115 de 2007

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

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

Fuente. Resolución 2115 de 2007

Tabla 15. Características Químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana

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

Fuente. Resolución 2115 de 2007

Tabla 16. Características Microbiológicas

<b>Técnicas utilizadas</b>	<b>Coliformes Totales</b>	<b>Escherichia coli</b>
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>
Enzima Sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>	< de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>
Sustrato Definido	0 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>	0 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>
Presencia – Ausencia	Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>	Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>

**Fuente. Resolución 2115 de 2007**

Comparando con las tablas anteriores, para el mes de abril y septiembre del presente año en los análisis se observa que los resultados cumplen con los valores admisibles, por lo tanto, el agua no representa riesgo alguno y es apta para el consumo humano.

### 3. DIAGNÓSTICO Y REDISEÑO DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO

El Municipio de Paratebueno (Cundinamarca) actualmente cuenta con un sistema de acueducto el cual se abastece del Caño Palomas (Figura 16), este no cuenta con registros en el IDEAM, sin embargo, se reportan caudales máximo diario de 56L/Seg, con un caudal concesionado de aguas superficiales de 13,5 L/Seg, sin embargo, este disminuye considerablemente su caudal en las épocas de verano<sup>42</sup>.

Figura 16. Caño Palomas



Fuente: Propia

#### 3.1 DIAGNÓSTICO

El sistema de acueducto está conformado por los siguientes componentes:

##### 3.1.1 Captación de agua superficial

La captación se realiza a través de una bocatoma de fondo (Figura 17) con muro transversal, seguida de una caja de recolección ubicada en la margen derecha de la bocatoma<sup>43</sup>.

---

<sup>42</sup> ROCHER INGENIEROS Y CIA. LTDA. (2014). Sistema de acueducto Paratebueno.

<sup>43</sup> ROCHER INGENIEROS Y CIA. LTDA. (2014). Sistema de acueducto Paratebueno.

Figura 17. Bocatoma



Fuente: Propia

### 3.1.2 Rejilla

El agua es captada a través de una rejilla colocada en la parte superior de la presa, la longitud de la rejilla es de 2m y su ancho de 0,7m, conformada por varillas de  $\frac{1}{2}$ ", separadas 2cm entre sí<sup>44</sup>.

Figura 18. Rejilla



Fuente: Propia

---

<sup>44</sup> ROCHER INGENIEROS Y CIA. LTDA. (2014). Sistema de acueducto Paratebueno.

### 3.1.3 Aducción

El transporte de agua cruda de la bocatoma hacia el desarenador se realiza en tubería PVC de 6" y longitud de 97,2m<sup>45</sup>.

### 3.1.4 Sistema de pretratamiento

Esta unidad la integra las siguientes estructuras:

- ❖ Cámara de aquietamiento de 0,66 m de ancho, 0,9 de largo y 1,0m de profundidad.
- ❖ Entrada al desarenador (Ilustración 17), con dimensiones de 2,5m de ancho, 1,04m de largo y 1,82m de profundidad.
- ❖ Zona de sedimentación con 7,22m de largo, 2,5m de ancho y 1,82m de profundidad.
- ❖ Salida del desarenador, construida por una pantalla sumergida, el vertedero de salida y el canal de recolección.

Las líneas de conducción transportan 26,4 L/Seg desde el desarenador hasta la PTAP, por medio de tuberías de 3" un tramo y 4" el otro tramo<sup>46</sup>.

Figura 19. Desarenador



Fuente: Propia

### 3.1.5 Planta de tratamiento de agua potable (PTAP)

Se cuenta con un sistema convencional diseñado para tratar un máximo de 15L/Seg, construida hace 24 años aproximadamente, a la cual se le han optimizado las unidades de floculación, sedimentación, filtración y almacenamiento.

<sup>45</sup> ROCHER INGENIEROS Y CIA. LTDA. (2014). Sistema de acueducto Paratebueno.

<sup>46</sup> ROCHER INGENIEROS Y CIA. LTDA. (2014). Sistema de acueducto Paratebueno.

Consta de una válvula de 4" de diámetro para el control de la entrada al sistema; un sitio de mezcla rápida o coagulación con un caudal entrante de 10 L/Seg; dos floculadores de flujo horizontal (Figura 20); dos sedimentadores (Figura 21); cuatro filtros (Figura 22), que operan en paralelo por parejas y un tanque elevado de 7,20m<sup>3</sup> para hacer el lavado de los filtros<sup>47</sup>.

Figura 20. Floculadores



Fuente: Propia

Figura 21. Sedimentadores



Fuente: Propia

---

<sup>47</sup> CORPORINOQUIA. (2011). Agenda ambiental Paratebueno. Obtenido de <http://www.corporinoquia.gov.co/index.php/portfolio-2/agendas-ambientales.html>

Figura 22. Filtros



Fuente: Propia

### 3.1.6 Tanque de almacenamiento

Existen dos tanques de almacenamiento (Figura 23), construidos en concreto reforzado de 62,4 m<sup>3</sup> y 32m<sup>3</sup> respectivamente<sup>48</sup>.

Figura 23. Tanque de almacenamiento de 62,4m<sup>3</sup>



Fuente: Propia

### 3.1.7 Sistema de conducción

---

<sup>48</sup> ROCHER INGENIEROS Y CIA. LTDA. (2014). Sistema de acueducto Paratebueno.

La línea de conducción desde la planta de tratamiento hasta la red de distribución se encuentra en tubería de 4" en PVC, esta línea con cuatro ventosas<sup>49</sup>.

### 3.1.8 Red de distribución

La red de distribución tiene longitud de redes de 7568m aproximadamente en diámetros de 3", 2 ½", 2" y 1 ½" en material PVC.

La red abastece a 541 usuarios correspondientes al 100% de cobertura para el Municipio de Paratebueno<sup>50</sup>.

De acuerdo a la descripción hecha de las obras se identificó que el sistema de captación y el desarenador requieren un mejoramiento, y también se hace necesario la optimización en los procesos de la PTAP.

## 3.2 OPTIMIZACION DE LAS ESTRUCTURAS DEL ACUEDUCTO

En el municipio de Paratebueno (Cundinamarca) según el análisis que se realizó se encontró que las estructuras que requieren optimización son la bocatoma y desarenador con el fin de mejorar la calidad del servicio que proviene del Caño Palomas.

### 3.2.1 Periodo de diseño

Se adopta un periodo de 25 años debido a que la Resolución 330 de 2017 establece que este será el tiempo para todos los componentes de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo.

Posteriormente se realizó la proyección de la población por el método aritmético, exponencial y geométrico con los últimos censos, con el fin de encontrar la cantidad de habitantes futuros para el año 2043.

Para realizar las proyecciones se utilizaron los censos de los años 1985, 1993 y 2005 del DANE.

Tabla 17. Población censada casco urbano.

AÑO	CABECERA	RURAL	TOTAL
1985	986	4717	5703
1993	1337	5067	6404
2005	2056	5200	7256

Fuente: DANE

<sup>49</sup> ROCHER INGENIEROS Y CIA. LTDA. (2014). Sistema de acueducto Paratebueno.

<sup>50</sup> ROCHER INGENIEROS Y CIA. LTDA. (2014). Sistema de acueducto Paratebueno.

Los métodos fueron calculados de la siguiente manera:

### 3.2.2 Método aritmético

Para determinar la población se tomó el rango de censos del último censo y el censo inicial.

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} (T_f - T_{uc}) \quad (5)$$

Donde:

$P_f$  : Población al año que se quiere proyectar.

$P_{uc}, P_{ci}$  : Poblaciones del último censo y censo inicial del análisis respectivamente.

$T_{uc}, T_{ci}, T_f$  : Años ultimo censo, censo inicial y proyección respectivamente.

Los resultados obtenidos según la ecuación (5) fueron:

$$P_{2018} = P_{2005} + \frac{P_{2005} - P_{1985}}{2005 - 1985} (2018 - 2005)$$

$$P_{2018} = 2056 + \frac{2056 - 986}{2005 - 1985} (2018 - 2005)$$

$$P_{2018} = 2752 \text{ hab}$$

Tabla 18. Población obtenida método aritmético.

AÑO	ARITMETICO
2018	2793
2019	2850
2042	4154
2043	4211

Fuente. Propia

### 3.2.3 Método geométrico

Este método se realizó mediante una tasa de crecimiento anual de la siguiente manera:

$$P_f = P_{uc} (1 + r)^{(T_f - T_{uc})} \quad (6)$$

Donde:

$$r = \frac{P_{uc}^{\frac{1}{(T_{uc}-T_{ci})}}}{P_{ci}} - 1 \quad (7)$$

Los resultados obtenidos en base a la ecuación (7) fueron:

$$r = \frac{P_{2005}^{\frac{1}{2005-1985}}}{P_{1985}} - 1$$

$$r = \frac{2056^{\frac{1}{2005-1985}}}{986} - 1$$

$$r = 0,037$$

Reemplazando en la ecuación (6), se tiene:

$$P_{2018} = P_{2005}(1 + r)^{2018-2005}$$

$$P_{2018} = 2056(1 + 0,037)^{2018-2005}$$

$$P_{2018} = 3315 \text{ hab}$$

Tabla 19. Población obtenida método geométrico.

AÑO	GEOMETRICO
2018	3296
2019	3418
2042	7878
2043	8169

Fuente. Propia

### 3.2.4 Método exponencial

Este método utiliza tasa de crecimiento en base al censo anterior y el censo posterior.

$$P_f = P_{ci} * e^{k(T_f-T_{ci})} \quad (8)$$

$$k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}} \quad (9)$$

Los resultados obtenidos en la ecuación (9) fueron:

$$k_{85-93} = \frac{\ln P_{1993} - \ln P_{1985}}{1993 - 1985}$$

$$k_{85-93} = \frac{\ln 1337 - \ln 986}{1993 - 1985}$$

$$k_{85-93} = 0,038$$

$$k_{93-05} = 0,036$$

Por lo tanto, tenemos un k promedio de:

$$k_{prom} = 0,037$$

Reemplazando en la ecuación (8):

$$P_{2018} = P_{1985} * e^{k(2018-1985)}$$

$$P_{2018} = 986 * e^{0,037(2018-1985)}$$

$$P_{2018} = 3339 \text{ hab}$$

Tabla 20. Población obtenida método exponencial.

AÑO	EXPONENCIAL
2018	3344
2019	3470
2042	8120
2043	8426

Fuente. Propia

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la proyección de la población y el promedio:

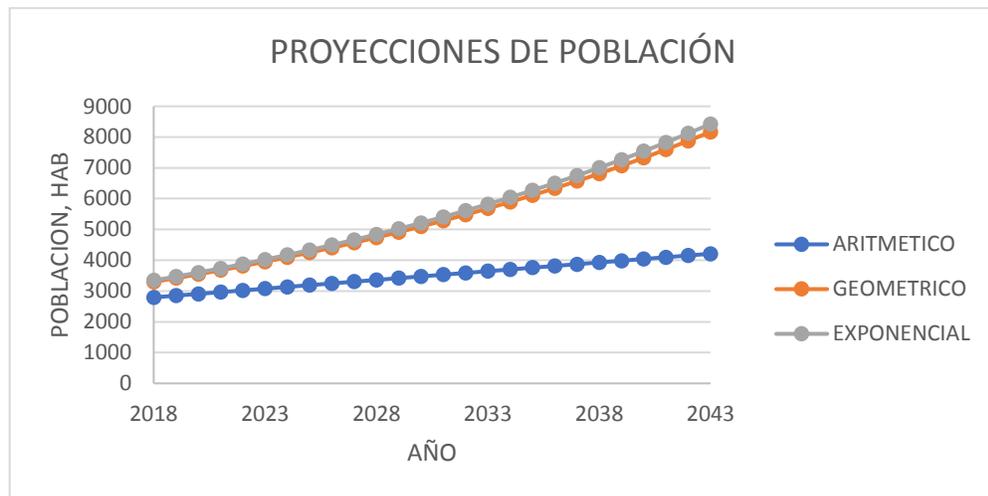
Tabla 21. Recopilación de cálculos métodos de proyección.

AÑO	ARITMETICO	GEOMETRICO	EXPONENCIAL	PROMEDIO
2018	2793	3296	3344	3144
2019	2850	3418	3470	3246
2042	4154	7878	8120	6717
2043	4211	8169	8426	6935

Fuente. Propia

Con los datos de los tres métodos desde el año 2018 hasta el 2043, se obtiene la siguiente gráfica:

Gráfico 7. Proyección de la población



Fuente. Propia

De acuerdo a los resultados obtenidos, el método aritmético presenta similitudes respecto a la proyección de población de la DIAN, por lo que de esta manera se reducen las probabilidades de que se tomen caudales inapropiados, que no cumplan con la demanda de la población.

Tabla 22. Proyección de la población

PROYECCION DE POBACIÓN	
2018	2470
2019	2496
2020	2522

Fuente. DANE

### 3.3 CONSUMO NETO

El consumo neto es la cantidad de agua usada efectivamente en cada una de las actividades que se realizan en la comunidad. El consumo se clasifica como: 1) doméstico; 2) industrial y comercial; 3) público e institucional.

#### 3.3.1 Consumo comercial, industrial y público

Para el consumo comercial se adopta la tabla 4.3 del libro Acueductos y alcantarillados de Ricardo López Cualla, la cual representa los consumos típicos de los sectores comercial e industrial.

Tabla 23. Consumos típicos de los sectores comercial, industrial y público.

**Tabla 4.3**  
Consumos típicos de los sectores comercial e industrial

Usos	Consumo (L/d)
Hoteles (por habitación) ✕	200 - 300
Escuelas:	
< 20 alumnos	50
> 20 alumnos	80
Industrias (por persona empleada)	80
Lecherías (por habitante)	0,8
Fábricas de bebidas (por habitante)	0,2
Fábricas de hielo (por habitante)	1,0
Curtiembre (por habitante)	0,5
Depósitos de materiales	100
Farmacias o graneros hasta 50 m <sup>2</sup>	500
hasta 100 m <sup>2</sup>	1.000
hasta 200 m <sup>2</sup>	1.600
≥ 200 m <sup>2</sup> (por m <sup>2</sup> )	8
Fuentes de soda y heladerías hasta 20 m <sup>2</sup>	1.000
hasta 50 m <sup>2</sup>	2.000
> 50 m <sup>2</sup>	3.000
Restaurantes hasta 50 m <sup>2</sup>	40
>50 m <sup>2</sup>	90
Oficina (por empleado y por 10 m <sup>2</sup> )	80
Hospitales (por cama)	400
Mataderos (por cabeza sacrificada)	300 - 500
Riego de parques (por habitante)	9
Lavado de calles (por m <sup>2</sup> )	1,5
Lavado del alcantarillado (por habitante)	3

**Fuente. Acueductos y alcantarillados Ricardo López Cualla**

#### 3.3.2 Consumo por hoteles

Actualmente en Paratebuena hay cuatro hoteles los cuales son:

- ❖ Casa Hotel Paratebuena
- ❖ Hotel La Paz
- ❖ Hotel María Rosa
- ❖ Residencia Santa Lucia

- ❖ Hotel donde Nancho

Con un promedio de 150 habitaciones y el consumo según la tabla 13, se tiene lo siguiente:

$$Cons_{hoteles} = \frac{150 \text{ habitac} * 200L/d}{86400}$$

$$Cons_{hoteles} = 0,35L/Seg$$

### 3.3.3 Consumo por Escuelas

En Paratebueno se encuentran dos instituciones las cuales son:

- ❖ Institución Educativa Departamental Agrícola de Paratebueno
- ❖ Concentración Urbana de Paratebueno

$$Cons_{escuelas} = \frac{500 \text{ est} * 80L/d}{86400}$$

$$Cons_{escuelas} = 0,46L/Seg$$

### 3.3.4 Consumo por farmacias

Con cuatro farmacias que hay en el casco urbano y 500 L/d de consumo según la tabla 13, se tiene:

$$Cons_{farmacias} = \frac{4 \text{ farm} * 500L/d}{86400}$$

$$Cons_{farmacias} = 0,035L/Seg$$

### 3.3.5 Consumo por fuentes de soda y heladerías

En promedio en Paratebueno se encuentran 10 fuentes de soda y heladerías.

$$Cons_{fuentes} = \frac{10 \text{ fuentes} * 1000L/d}{86400}$$

$$Cons_{fuentes} = 0,12L/Seg$$

### 3.3.6 Consumo por restaurantes

Para este consumo el casco urbano cuenta con un promedio de 20 restaurantes y con un consumo de 90 L/d para cada uno, se obtiene:

$$Cons_{rest} = \frac{20 \text{ rest} * 90L/d}{86400}$$

$$Cons_{rest} = 0,02L/Seg$$

### 3.3.7 Consumo por hospitales

Paratebueno cuenta con un solo lugar para emergencias el cual es el Centro Medico de Paratebueno.

$$Cons_{Hospit} = \frac{10 \text{ cam} * 400L/d}{86400}$$

$$Cons_{Hospit} = 0,05L/Seg$$

### 3.3.8 Consumo por lavado de calles

Para el lavado de calles se midió el área del casco urbano y con el consumo de la tabla 13, se calculó lo siguiente:

$$Cons_{lav \text{ call}} = \frac{459842,95m^2 * 1,5L/d}{86400}$$

$$Cons_{lav \text{ call}} = 7,98L/Seg$$

Según lo anterior el consumo total será de:

$$Cons_{total} = \frac{9,015L}{Seg}$$

### 3.4 ESTUDIO DE DEMANDA

El estudio de la demanda se realiza de acuerdo a los valores obtenidos en el método aritmético, con el fin de que los resultados sean más confiables. Se colocó un porcentaje de perdidas el cual va disminuyendo con el pasar de los años ya que se realiza mantenimiento constante a la red, teniendo el debido control de las conexiones.

#### 3.4.1 Dotación neta máxima

La dotación neta que se utilizó en base a la ubicación del municipio es de 140 L/HAB\*DIA, en base a los valores por habitante según la altura sobre el nivel del mar del artículo 43 de la Resolución 330 de 2017 de la siguiente manera:

Tabla 24. Dotación neta máxima por habitante

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

Fuente. Resolución 330 de 2017

#### 3.4.2 Dotación bruta

Aplicando la ecuación (1) se tiene:

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%P}$$

Donde el porcentaje de perdidas es del 25%

$$d_{bruta} = \frac{140 \frac{L}{Hab * dia}}{1 - 0,25} = 186,7 \frac{L}{hab * dia}$$

#### 3.4.3 Caudal medio diario por población

El caudal medio diario se calcula mediante la población y la dotación bruta con la siguiente ecuación:

$$Q_{md2018} = \frac{P * D_{BRUTA}}{86400} \quad (2)$$

$$Q_{md2018} = \frac{2793hab * \frac{186,7L}{hab * dia}}{86400}$$

$$Q_{md2018} = 6 L/Seg$$

Sumando el caudal por consumos total, se tiene:

$$Q_{md2018} = \frac{6L}{Seg} + \frac{9,015L}{Seg}$$

$$Q_{md2018} = 15,015 L/Seg$$

### 3.4.4 Caudal máximo diario

Teniendo en cuenta que el caudal es el consumo máximo durante veinticuatro horas, observado en un periodo de un año, se calcula de la siguiente manera:

Con la ecuación (2):

$$Q_{maximo\ diario} = k_1 * Q_{promedio}$$

$$Q_{maximo\ diario} = 1,3 * \frac{15,015L}{Seg}$$

$$QMD_{2018} = 19,52 \frac{L}{Seg}$$

### 3.4.5 Caudal máximo horario

Consumo máximo durante una hora, observado en un periodo de un año:

Con la ecuación (3):

$$Q_{maximo\ horario} = k_2 * Q_{maximo\ diario}$$

$$Q_{maximo\ horario} = 1,6 * 19,52 \frac{L}{Seg}$$

$$QMH_{2018} = 31,23 \frac{L}{Seg}$$

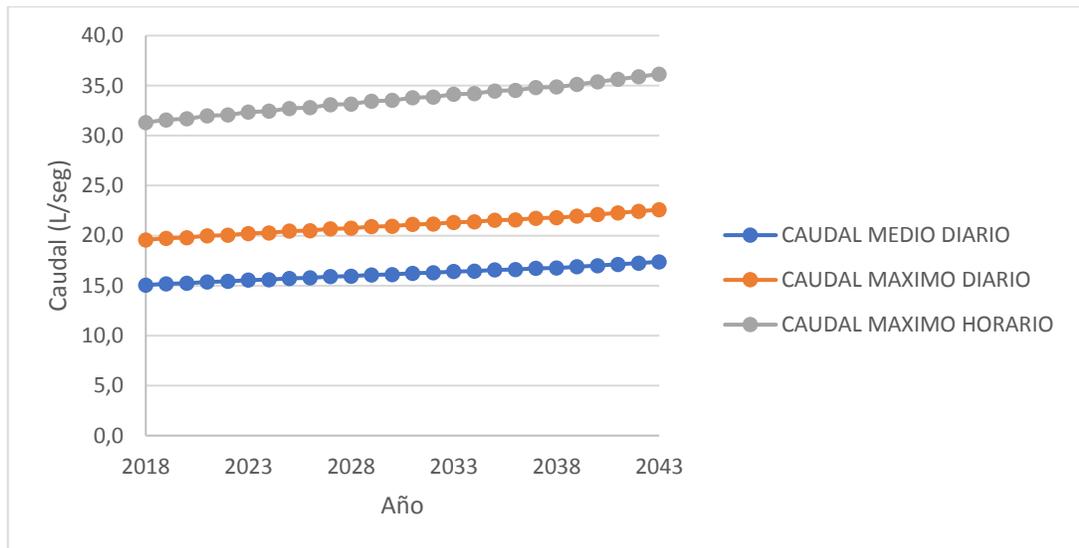
Tabla 25. Cálculos caudales.

AÑO	POBLACION	% INC. POBLACION	%INC. DEMANDA	NETO	%P	BRUTO	Qmd (L/Seg)	QMD (L/Seg)	QMH (L/Seg)
2018	2793			140	25	186,7	15,0	19,6	31,3
2019	2850	2,03	0,203	140,3	25	187,0	15,2	19,7	31,6
2042	4154	1,38	0,138	145,7	15	171,4	17,3	22,4	35,9
2043	4211	1,37	0,137	145,9	15	171,7	17,4	22,6	36,2

Fuente. Propia

Como se evidencia en las respectivas proyecciones de la población, se diseñará el sistema con el fin de abastecer aproximadamente 4211 habitantes para el año 2043, en el cual se tendrá un periodo de diseño de 25 años, por lo tanto, la gráfica de proyección de caudales queda así:

Gráfico 8. Proyección de caudales



Fuente. Propia

Según lo que se calculó anteriormente los caudales de diseño para las obras de captación son:

Tabla 26. Caudales de diseño

CAUDALES (L/Seg)		
Qmd	QMD	QMH
17,4	22,6	36,2

Fuente. Propia

### 3.5 REDISEÑO BOCATOMA

Actualmente en el caño Palomas se encuentra una bocatoma de fondo con muro transversal, por lo que el agua es capada a través de una rejilla colocada en la parte superior de una presa.

#### 3.5.1 Procedimiento de diseño

❖ **Periodo de diseño:** Municipio de Paratebueno con proyección de 25 años.

❖ **Población de diseño:** Proyección poblacional para el año 2043 con 4211 habitantes.

❖ **Caudal de diseño:** Según el Artículo 47 de la Resolución 330 de 2017 los caudales de diseño de cada uno de los componentes del sistema de acueducto, según las variaciones diarias y horarias se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 27. Caudales de diseño

COMPONENTE	CAUDAL DE DISEÑO
Captación fuente superficial	Hasta 2 veces QMD
Captación fuente subterránea	QMD
Desarenador	QMD
Aducción	QMD
Conducción	QMD
Tanque	QMD
Red de Distribución	QMH

**Fuente. Minvivienda- resolución 0330 de 2017**

Por lo tanto, el caudal de diseño será hasta 2 veces el QMD (Calculado anteriormente) para la captación de fuente superficial.

$$Q_d = 2 * 22,6 L/s$$

$$Q_d = 45,2 L/s$$

❖ **Aforo del caño**

- ✓ El plan maestro reporta caudales promedio máximo diario de 56 L/Seg como resultado de estudios realizados. En el momento del aforo, toda el agua del caño Palomas estaba siendo captada por la bocatoma y el clima presentaba lluvias de mediana intensidad<sup>51</sup>.
- ✓ Para el día 24 de Julio de 2017 a las 4:00pm, el caudal aproximado fue de 79,18L/Seg, este comportamiento hídrico corresponde a las condiciones propias de la época de lluvias<sup>52</sup>.
- ✓ Para el día 12 de enero de 2018 a las 11:30 am, el caño Palomas poseía un caudal aproximado de 107,49 L/Seg, este comportamiento hídrico corresponde a las condiciones propias de la época seca, con presencia ocasional de algunas precipitaciones<sup>53</sup>.

<sup>51</sup> ROCHER INGENIEROS Y CIA. LTDA. (2014). Sistema de acueducto Paratebueno.

<sup>52</sup> Vargas Diaz, A. E. (3 de septiembre de 2018). AFOROS CAÑO PALOMAS. Paratebueno.

<sup>53</sup> Vargas Diaz, A. E. (3 de septiembre de 2018). AFOROS CAÑO PALOMAS. Paratebueno.

Estos caudales reflejan que en tiempo seco el caño conservo un caudal considerable debido que en el 2017 hubo lluvias hasta el mes de diciembre.

#### ❖ Ancho del caño

El ancho del caño en el lugar de captación es de 6m.

### 3.5.2 Diseño de la presa

La lámina de agua para las condiciones de diseño y para las condiciones máximas y mínimas de la quebrada se utilizó la siguiente ecuación:

El ancho de la presa se tomó de 3m.

$$H = \left( \frac{Q}{1,84L} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (10)$$

Donde:

$H$ : Carga sobre la cresta del vertedero (m)

$Q$ : Caudal de diseño ( $m^3/Seg$ )

$L$ : Longitud de la presa (m)

$$H = \left( \frac{0,0452m^3/Seg}{1,84(3m)} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\mathbf{H = 0,041m}$$

La corrección por contracciones laterales es de:

$$L' = L - 0,2H \quad (11)$$

Donde:

$L'$ : Corrección de la longitud del vertedero (m)

$L$ : Longitud del vertedero (m)

$H$ : Carga sobre la cresta del vertedero (m)

$$L' = 2m - 0,2(0,041m)$$

$$\mathbf{L' = 1,99m}$$

La velocidad del caño al pasar sobre la presa se calculó de la siguiente manera:

$$V = \frac{Q}{L'H} \quad (12)$$

Donde:

$V$ : Velocidad del caño ( $m/Seg$ )

$Q$ : Caudal de diseño ( $m^3/Seg$ )

$L'$ : Corrección de la longitud del vertedero (m)

$H$ : Carga sobre la cresta del vertedero (m)

$$V = \frac{0,0452m^3/Seg}{1,99m * 0,041m}$$

$$V = 0,55 m/s$$

La velocidad del caño debe estar comprendida entre 0,3 y 3 m/Seg, por lo tanto, se obtiene:

$$0,3 m/s < 0,55 m/s < 3 m/s \rightarrow OK$$

#### ❖ Ancho del canal de aducción:

El ancho del canal de aducción se calculó por medio de las siguientes ecuaciones:

$$X_S = 0,36V_r^{\frac{2}{3}} + 0,60H^{\frac{4}{7}} \quad (13)$$

Donde:

$X_S$ : Alcance filo superior (m)

$V_r$ : Velocidad del caño ( $m/Seg$ )

$H$ : Profundidad de la lámina de agua sobre la presa (m)

$$X_S = 0,36(0,55m/Seg)^{\frac{2}{3}} + 0,60(0,041m)^{\frac{4}{7}}$$

$$X_S = 0,34m$$

Según lo calculado el ancho de la canaleta será de 0,32m.

$$X_i = 0,18V_r^{\frac{4}{7}} + 0,74H^{\frac{3}{4}} \quad (14)$$

Donde:

$X_i$ : Alcance filo inferior (m)

$V_r$ : Velocidad del caño (m/Seg)

$H$ : Profundidad de la lámina de agua sobre la presa (m)

$$X_i = 0,18(0,55\text{m/Seg})^{\frac{4}{7}} + 0,74(0,041\text{m})^{\frac{3}{4}}$$

$$\mathbf{X_i = 0,20m}$$

$$B = X_s + 0,10 \quad (15)$$

Donde:

$B$ : Ancho del canal de aducción (m)

$X_s$ : Alcance filo superior (m) (Ecuación 13)

$$B = 0,34\text{m} + 0,10$$

$$\mathbf{B = 0,44m}$$

#### ❖ **Diseño de la rejilla:**

Se adoptan barrotes de ½" (0,0127m), con una separación entre ellos de 5cm.

La velocidad entre barrotes de acuerdo a la recomendación establecida en el libro de Ricardo Alfredo López Cualla es de 0,1m/s:

El área neta de la rejilla es:

$$A_n = \frac{Q}{0,9V_b} \quad (16)$$

Donde:

$A_n$ : Área neta de la rejilla ( $m^2$ )

$Q$ : Caudal de diseño ( $m^3/Seg$ )

$V_b$ : Velocidad entre barrotes ( $m/Seg$ )

$$A_n = \frac{0,0452m^3/Seg}{0,9 * 0,1m/Seg}$$

$$A_n = 0,50m^2$$

$$L_r = \frac{A_n(a + b)}{(a * B)} \quad (17)$$

$$L_r = \frac{0,50m^2(0,05m + 0,0127m)}{0,05m * 0,44m}$$

$$L_r = 1,43m$$

El número de orificios es de:

$$N = \frac{A_n}{a * B} \quad (18)$$

Donde:

$N$ : Numero de orificios

$A_n$ : Área neta de la rejilla ( $m^2$ )

$a$ : Separación entre barrotes (m)

$B$ : Ancho del canal (m)

$$N = \frac{0,50m^2}{0,05m * 0,44m}$$

$$N = 23 \text{ Orificios}$$

En base a lo calculado anteriormente se obtiene una rejilla de 23 orificios, separados entre sí 5cm, con lo cual se tienen las siguientes condiciones finales:

$$A_n = 0,05m * 0,44m * 23$$

$$A_n = 0,51m^2$$

Despejando  $V_b$  de la ecuación (16), se tiene:

$$V_b = \frac{0,0452m^3/Seg}{0,9 * 0,51m^2}$$

$$V_b = 0,098m/Seg$$

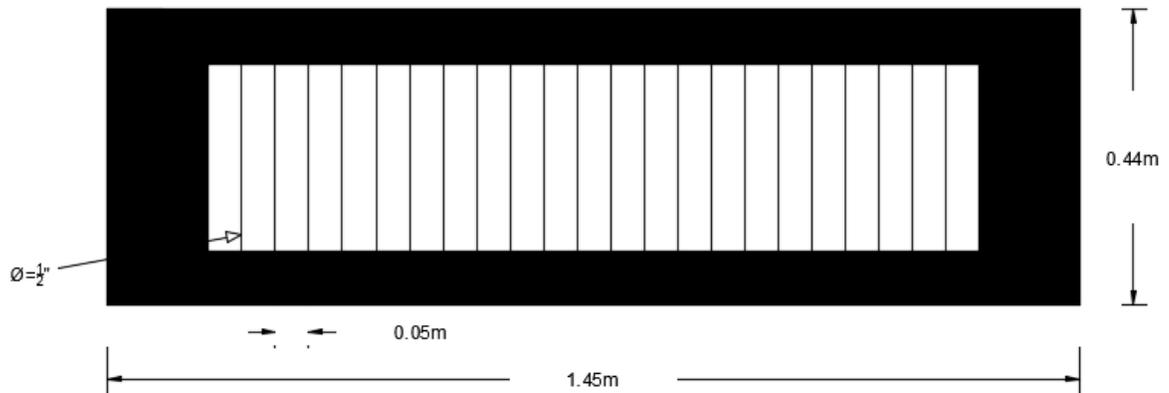
Reemplazando en la ecuación (17):

$$L_r = \frac{0,51m^2(0,05m + 0,0127m)}{0,05m * 0,44m}$$

$$L_r = 1,45m$$

El largo de la rejilla será de 1,45m.

Figura 24. Rejilla de captación.



**Fuente. Propia**

❖ **Niveles en el canal de aducción:**

Los niveles de agua para el canal de aducción son:

**Aguas abajo:**

$$h_e = h_c = \left( \frac{Q^2}{g * B^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (19)$$

Donde:

$h_e$ : Profundidad aguas abajo (m)

$h_c$ : Profundidad crítica (m)

$g$ : Aceleración de la gravedad ( $m/Seg^2$ )

$B$ : Ancho del canal (m)

$$h_e = h_c = \left( \frac{\left( 0,0452 \frac{m^3}{Seg} \right)^2}{\frac{9,81m}{Seg^2} * (0,44m)^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

**$h_e = h_c = 0,10m$**

**Aguas arriba:**

$$L_{canal} = L_{rejilla} + \text{espesor del muro} \quad (20)$$

$$L_{canal} = 1,45m + 0,3m$$

**$L_{canal} = 1,75m$**

Se adoptó una pendiente,  $i = 3\%$

$$h_o = \left( 2h_e^2 + \left( h_c + \frac{iL_c}{3} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{2}{3}iL_c \quad (21)$$

Donde:

$h_o$ : Profundidad aguas arriba (m)

$h_e$ : Profundidad aguas abajo (m)

$h_c$ : Profundidad crítica (m)

$i$ : Pendiente del fondo del canal

$L_c$ : Longitud del canal (m)

$$h_o = \left( 2(0,10m)^2 + \left( 0,10m + \frac{0,03 * 1,75}{3} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{2}{3}(0,03 * 1,75)$$

**$h_o = 0,15m$**

La altura total de los muros del canal de aducción es:

$$H_o = h_o + \text{borde libre} \quad (22)$$

$$H_o = 0,15m + 0,15m$$

$$\mathbf{H_o = 0,30m}$$

$$H_e = H_o + iL_c$$

$$H_o = 0,30m + 0,03 * 1,75m$$

$$\mathbf{H_o = 0,35m}$$

La velocidad del agua al final del canal es:

$$V_e = \frac{Q}{Bh_e} = \frac{0,0452m^3/Seg}{0,44m * 0,10m}$$

$$\mathbf{V_e = 1,03m/s}$$

$$\mathbf{0,3m/seg < 1,03m/s < 3m/s \rightarrow OK}$$

#### ❖ Diseño de la cámara de recolección

$$X_s = 0,36V_e^{\frac{2}{3}} + 0,60h_e^{\frac{4}{7}} \quad (23)$$

$$X_s = 0,36(1,03m/Seg)^{\frac{2}{3}} + 0,60(0,10m)^{\frac{4}{7}}$$

$$\mathbf{X_s = 0,53m}$$

$$X_i = 0,18V_e^{\frac{4}{7}} + 0,74h_e^{\frac{3}{4}} \quad (24)$$

$$X_i = 0,18(1,03m/Seg)^{\frac{4}{7}} + 0,74(0,10)^{\frac{3}{4}}$$

$$\mathbf{X_i = 0,31m}$$

$$B_{camara} = X_s + 0,30 \quad (25)$$

$$B_{camara} = 0,53m + 0,30$$

$$B_{camara} = 0,83m$$

Por facilidad de accesos y mantenimiento, se adopta una cámara de 1,20m.

❖ **Diseño del caudal de excesos:**

Tomando el caudal medio del caño de  $0,056m^3/Seg$ , la altura de la lámina de agua según la ecuación (10), será de:

$$H = \left( \frac{Q}{1,84L} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$H = \left( \frac{0,056m^3/Seg}{1,84(3m)} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$H = 0,047m$$

$$Q_{captado} = C_d A_{neta} \sqrt{2gH} \quad (26)$$

Donde:

$C_d$ : Coeficiente de descarga

$A_{neta}$ : Área neta de la rejilla ( $m^2$ )

$$Q_{captado} = 0,3 * 0,51m^2 \sqrt{2(9,81m/Seg^2)(0,047m)}$$

$$Q_{captado} = 0,15 m^3/s$$

$$Q_{excesos} = Q_{captado} - Q_{diseñado}$$

$$Q_{excesos} = 0,15m^3/Seg - 0,0452m^3/Seg$$

$$Q_{excesos} = 0,10m^3/s$$

Reemplazando en la ecuación (10), las condiciones en el vertedero de excesos serán:

$$H_{exc} = \left( \frac{Q}{1,84 * B_{camara}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$H_{exc} = \left( \frac{0,10m^3/Seg}{1,84(1,2m)} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\mathbf{H_{exc} = 0,13m}$$

$$V_{exc} = \frac{Q_{exc}}{H_{exc}B_{camara}}$$

$$V_{exc} = \frac{0,10m^3/Seg}{0,13m * 1,2m}$$

$$\mathbf{V_{exc} = 0,64 m/s}$$

Reemplazando en la ecuación (23):

$$X_S = 0,36V_{exc}^{\frac{2}{3}} + 0,60h_{exc}^{\frac{4}{7}}$$

$$X_S = 0,36(0,64m/Seg)^{\frac{2}{3}} + 0,60(0,13m)^{\frac{4}{7}}$$

$$\mathbf{X_S = 0,45m}$$

El alcance del chorro en el vertedero de excesos será de:

$$0,45m + BL = 0,45m + 0,3m = 0,75m$$

Según lo anterior el vertedero de excesos se encontrará a 0,75 metros de la pared aguas abajo de la cámara de recolección.

### 3.5.3 Aducción

Método caudal a tubo lleno, Diseño de la Aducción Bocatoma-Desarenador.

### ❖ Caudal de diseño

Según el Artículo 47 de la Resolución 330 de 2017 el caudal de diseño para la aducción será el QMD (Calculado anteriormente) para la captación de fuente superficial.

$$Q_d = 22,6 \text{ L/s}$$

### ❖ Características de la aducción

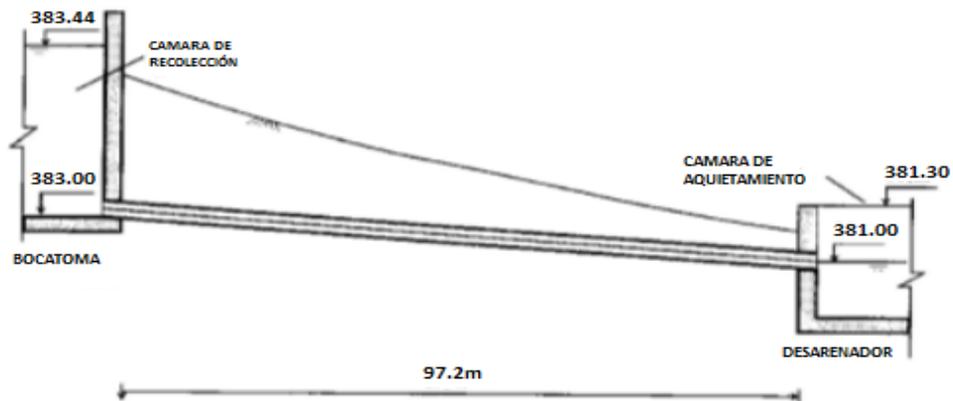
Coeficiente de rugosidad n de Manning (PVC)= 0,009

Longitud L= 97,2m

Cota de salida de la bocatoma = 383m

Cota de llegada al desarenador = 381m

Figura 25. Sistema de aducción



Fuente. Ricardo López Cualla

### ❖ Pendiente de la tubería

$$S = \frac{\text{Cota salida bocatoma} - \text{Cota llegada desarenador}}{\text{Longitud}} * 100$$

$$S = \frac{383 - 381}{97,2m} * 100 = 2,06\%$$

❖ **Cálculo del diámetro**

$$D = 1,548 * \left( \frac{nQ}{S^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{8}} \quad (27)$$

$$D = 1,548 * \left( \frac{0,009 * 0,0226m^3/Seg}{(0,0206)^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{8}}$$

**$D = 0.13m \approx 5,12 \approx 6''$  Diametro comercial**

❖ **Condiciones a tubo lleno con D= 6'', es decir D= 0,152m**

$$Q_0 = 0,312 * \left( \frac{D^{\frac{8}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n} \right) \quad (28)$$

Donde:

$Q_0$ : Caudal a tubo lleno ( $m^3/Seg$ )

$D$ : Diámetro comercial (m)

$S$ : Pendiente de la tubería

$n$ : Coeficiente de rugosidad

$$Q_0 = 0,312 * \left( \frac{0,152m^{\frac{8}{3}} * 0,0206^{\frac{1}{2}}}{0,009} \right)$$

**$Q_0 = 0,033 m^3/s$**

$$V_0 = \frac{Q_0}{A_0} \quad (29)$$

Donde:

$V_0$ : Velocidad a tubo lleno (m/Seg)

$$V_0 = \frac{0,033 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi}{4} * (0,152m)^2}$$

**$V_0 = 1,82 m/s$**

$$R_0 = \frac{A_0}{P_0} = \frac{\frac{\pi}{4} D^2}{\pi * D} = \frac{D}{4}$$

Donde:

$R_0$ : Radio hidráulico a tubo lleno (m)

$A_0$ : Área de la sección del flujo a tubo lleno ( $m^2$ )

$P_0$ : Perímetro mojado (m)

$$R_0 = \frac{0,152m}{4}$$

$$R_0 = 0,038m$$

❖ **Relación de caudales**

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{0,0226m^3/Seg}{0,033m^3/Seg} = 0,68$$

Con el valor obtenido en la relación de caudales se ingresó a la siguiente tabla y se obtuvieron estos resultados:

Tabla 28. Relaciones hidráulicas para conductos circulares

$Q/Q_0$	Rel.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,6	$V/V_0$	0,900	0,903	0,908	0,913	0,918	0,922	0,927	0,931	0,936	0,941
	$d/D$	0,826	0,832	0,839	0,845	0,851	0,858	0,866	0,872	0,878	0,886
	$R/R_0$	0,136	1,139	1,143	1,147	1,151	1,155	1,160	1,163	1,167	1,172
	$H/D$	0,534	0,542	0,550	0,559	0,568	0,576	0,585	0,595	0,604	0,614

Fuente. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados

$$\frac{V}{V_0} = 0,936$$

$$\frac{d}{D} = 0,678$$

$$\frac{R}{R_0} = 1,167$$

$$\frac{H}{D} = 0,604$$

❖ **Parámetros para caudal de diseño**

$$V = 0,936 * V_o = 0,936 * 1,82 \text{ m/Seg} = 1,70 \text{ m/s}$$

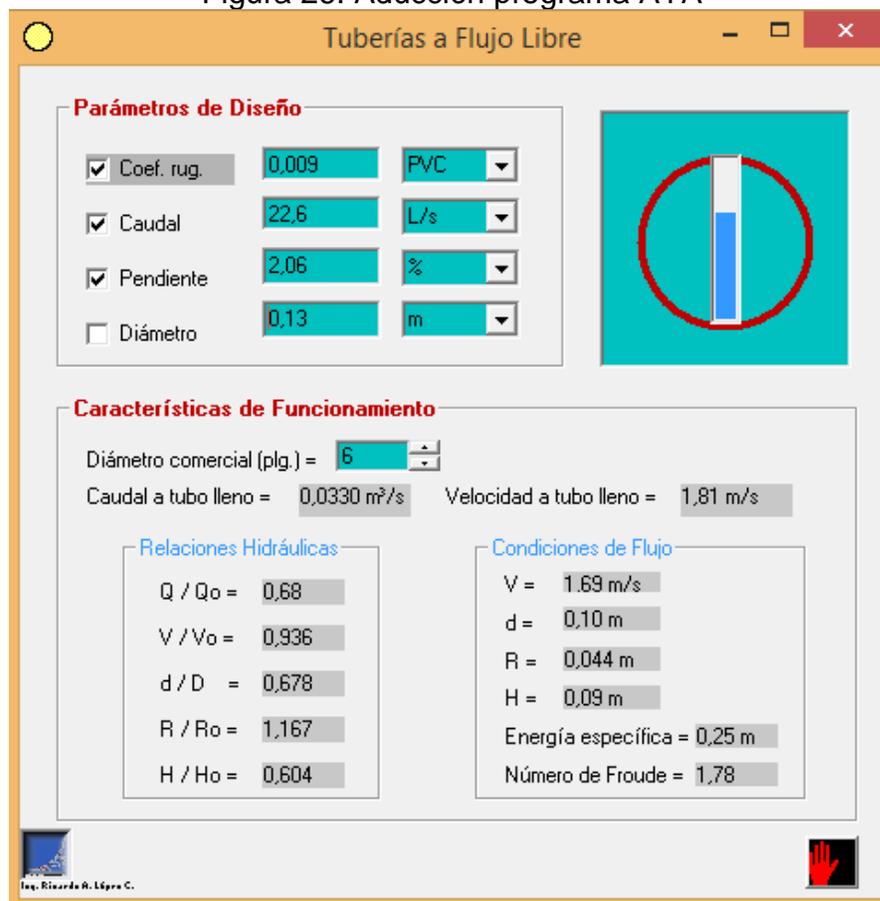
$$d = 0,678 * D = 0,678 * 0,152 \text{ m} = 0,10 \text{ m}$$

$$R = 1,167 * R_o = 1,167 * 0,038 \text{ m} = 0,044 \text{ m}$$

$$H = 0,604 * D = 0,604 * 0,152 \text{ m} = 0,09 \text{ m}$$

En la siguiente ilustración se observa el diseño de aducción en el programa AYA:

Figura 26. Aducción programa AYA



**Fuente. Programa Aya. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados de Ricardo Alfredo López Cualla.**

### 3.5.4 Desarenador

#### CRITERIOS DE DISEÑO

#### RESOLUCION 330 DE 2017

Según el Artículo 55 de la Resolución los requisitos mínimos de diseño para desarenadores son:

- ❖ El componente destinado para la remoción de arena se ubicará lo más cerca posible al sitio de captación.
- ❖ Tendrá un dispositivo de rebose mediante un vertedero lateral, ubicado cerca a la entrada del desarenador.
- ❖ No tendrá placa de cubierta sino cerramiento que evite el ingreso de personas no autorizadas o animales.
- ❖ Se requiere prever la eliminación de partículas con diámetro mínimo de 0,1mm y se deberá mantener una velocidad horizontal inferior a 0,25m/Seg.
- ❖ El peso específico de las partículas de arena por remover será de  $2,65\text{gr}/\text{cm}^3$ .
- ❖ La relación entre la velocidad horizontal y la velocidad de asentamiento vertical será inferior a veinte.
- ❖ El tiempo de retención de las partículas muy finas no debe ser menor de 20 minutos.
- ❖ Se deberá contar con suficiente almacenamiento de arenas y contar con sistemas hidráulicos con pendientes superiores al 10%.
- ❖ El número de unidades mínimas en paralelo es 2 para efectos de mantenimiento.

#### Condiciones de diseño:

##### ❖ Caudal de diseño

Según el Artículo 47 de la Resolución 330 de 2017 el caudal de diseño para el desarenador será el QMD (Calculado anteriormente) para la captación de fuente superficial.

$$Q_{MD(2043)} = 22,6 \text{ L/s}$$

Período de diseño: 25 años

Número de módulos: 2

Qmd (2043)= 17,4L/Seg

Remoción de partículas de diámetro:  $d = 0,05 \text{ mm}$

Porcentaje de remoción: 75%

Viscosidad cinemática:  $0,0114 \text{ cm}^2/\text{Seg}$

Grado del desarenador:  $n = 1$

Relación longitud: ancho: 4:1

### ❖ **Calculo de los parámetros de sedimentación**

✓ Velocidad de sedimentación

$$V_s = \frac{1}{18} * g * \frac{(\rho_s - \rho)}{\mu} * d^2 \quad (30)$$

Donde:

$V_s$ : Velocidad de sedimentación (cm/Seg)

$g$ : Aceleración de la gravedad ( $\frac{981 \text{ cm}}{\text{seg}^2}$ )

$\rho_s$ : Peso específico de la partícula, arena= 2,65

$\rho$ : Peso específico del agua =1

$\mu$ : Viscosidad cinemática ( $\text{cm}^2/\text{Seg}$ )

$d$ : Diámetro de la partícula (cm)

$$V_s = \frac{1}{18} * 981 \text{ cm}/\text{Seg}^2 * \frac{(2,65 - 1)}{0,0114 \text{ cm}^2/\text{Seg}} * (0,005 \text{ cm})^2$$

$$V_s = 0,20 \text{ cm}/\text{Seg}$$

✓ Para  $n=1$  y remoción del 75%

Tabla 29. Numero de Hazen ( $V_s/V_o$ )

Condiciones	Remoción (%)							
	87.5	80	75	70	65	60	55	50
$n = 1$	7.00	4.00	3.00	2.30	1.80	1.50	1.30	1.00
$n = 3$	2.75		1.66					0.76
$n = 4$	2.37		1.52					0.73
Máximo teórico	0.88		0.75					0.50

**Fuente. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados**

$$\theta/t = 3$$

✓ Tiempo que tardaría la partícula de diámetro 0,05 mm en llegar al fondo sería de:

$$t = \frac{H}{V_s} \quad (31)$$

Donde:

$t$ : Tiempo que tarda en llegar una partícula al fondo del desarenador (Seg)

$H$ : Profundidad útil de sedimentación (cm)

$V_s$ : Velocidad de sedimentación (cm/Seg)

Suponiendo la profundidad útil de sedimentación de 2m se tiene:

$$t = \frac{200cm}{\frac{0,20cm}{Seg}}$$

$$t = 1000 Seg$$

✓ Periodo de retención hidráulico será:

$$\theta = 3 * t$$

$$\theta = 3 * 1000Seg$$

$$\theta = 3000 Seg = 0,83 h$$

$$0,5h \leq \theta \leq 4h \text{ Si cumple.}$$

✓ Volumen del tanque

$$V = QmD * \theta \quad (32)$$

Donde:

$V$ : Volumen del tanque ( $m^3$ )

$QmD$ : Caudal medio diario ( $\frac{m^3}{Seg}$ )

$\theta$ : Periodo de retención hidráulico (Seg)

$$V = \frac{0,0174m^3}{Seg} * 3000Seg$$

$$V = 52,2m^3$$

✓ El área superficial del tanque es:

$$A_s = \frac{V}{H} \quad (33)$$

Donde:

$A_s$ : Área superficial del tanque ( $m^2$ )

$V$ : Volumen del tanque ( $m^3$ )

$H$ : Profundidad útil de sedimentación (m)

$$A_s = \frac{52,2 m^3}{2 m}$$

$$A_s = 26,1 m^2$$

✓ Las dimensiones del tanque serán para L: B=4:1

$$B = \sqrt{\frac{A_s}{4}} \quad (34)$$

Donde:

$B$ : Ancho del tanque (m)

$A_s$ : Área superficial del tanque ( $m^2$ )

$$B = \sqrt{\frac{26,1 m^2}{4}}$$

$$B = 2,55 m$$

En base a lo anterior:

$$L = 4 * B \quad (35)$$

Donde:

$L$ : Longitud del tanque (m)

$B$ : Ancho del tanque (m)

$$L = 4 * 2,55 \text{ m}$$

$$L = 10,2 \text{ m}$$

✓ Carga hidráulica superficial para el taque:

$$q = \frac{Qmd}{A_s} \quad (36)$$

Donde:

$q$ : Carga hidráulica del tanque ( $m^3/m^2 * día$ )

$Qmd$ : Caudal medio diario ( $m^3/día$ )

$A_s$ : Área superficial del tanque ( $m^2$ )

$$q = \frac{1503,36m^3/día}{26,1 \text{ m}^2}$$

$$q = 57,6 \text{ m}^3 / \text{m}^2 * \text{día}$$

$$15m^3/m^2 * día \leq 57,6m^3/m^2 * día \leq 80 m^3 / m^2 * día \rightarrow OK$$

✓ Velocidad horizontal:

$$V_h = \frac{Qmd}{B * H} \quad (37)$$

Donde:

$V_h$ : Velocidad horizontal (m/Seg)

$Qmd$ : Caudal medio diario ( $m^3/Seg$ )

$B$ : Ancho del tanque (m)

$H$ : Profundidad útil de sedimentación (m)

$$V_h = \frac{0,0174m^3}{2,55m * 2m}$$

$$V_h = 0,0034m / s = 0,34cm/Seg$$

✓ La velocidad de resuspensión máxima es:

$$Vr = \sqrt{\frac{8k}{f} * g(\rho_s - \rho)d} \quad (38)$$

Donde:

$Vr$ : Velocidad de resuspensión máxima (cm/Seg)

$k$ : 0,04

$f$ : 0,03

$g$ : Aceleración de la gravedad (981 cm/Seg<sup>2</sup>)

$\rho_s$ : Peso específico de la arena = 2,65

$\rho$ : Peso específico del agua = 1

$d$ : Diámetro de la partícula (cm)

$$Vr = \sqrt{\frac{8 * 0,04}{0,03} * 981 \text{cm/Seg}^2 * (2,65 - 1) * 0,005 \text{cm}}$$

$$\mathbf{Vr = 9,29 \text{cm/Seg}}$$

✓ Rebose de la cámara de aquietamiento:

$$Q_{excesos} = Q_o - Q \quad (39)$$

Donde:

$Q_o$ : Caudal a tubo lleno en aducción (m<sup>3</sup>/Seg)

$Q$ : Caudal de diseño en (m<sup>3</sup>/Seg)

$$Q_{excesos} = 0,033 \text{m}^3/\text{Seg} - 0,0226 \text{m}^3/\text{Seg}$$

$$\mathbf{Q_{excesos} = 0,0104 \text{m}^3/\text{Seg}}$$

$$H_e = \left( \frac{Q_{excesos}}{1,84 * L_e} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (40)$$

Donde:

$H_e$ : Rebose de la cámara de aquietamiento (m)

$L_e$ : Largo de la cámara (m)

Se adopta largo de cámara de 1m, según el libro de Ricardo Alfredo López Cualla.

$$H_e = \left( \frac{0,0104 m^3/Seg}{1,84 * 1m} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\mathbf{H_e = 0,03m}$$

✓ Vertedero de salida

$$H_v = \left( \frac{Qmd}{1,84 * B} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (41)$$

Donde:

$H_v$ : Vertedero de salida (m)

$Qmd$ : Caudal medio diario ( $m^3/Seg$ )

$B$ : Ancho del tanque (m)

$$H_v = \left( \frac{0,0174 \frac{m^3}{s}}{1,84 * 2,55m} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\mathbf{H_v = 0,02 m}$$

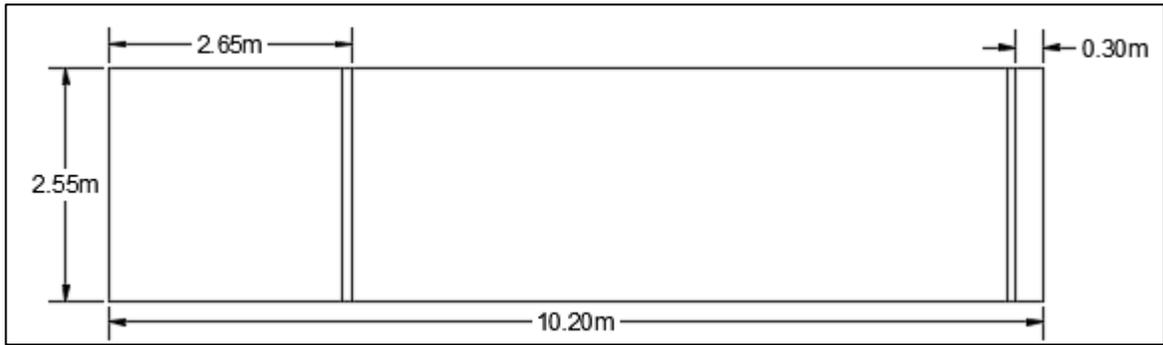
✓ Profundidad de almacenamiento de lodos

$$h_{lodos} = \frac{L}{10}$$

$$h_{lodos} = \frac{10,2m}{10}$$

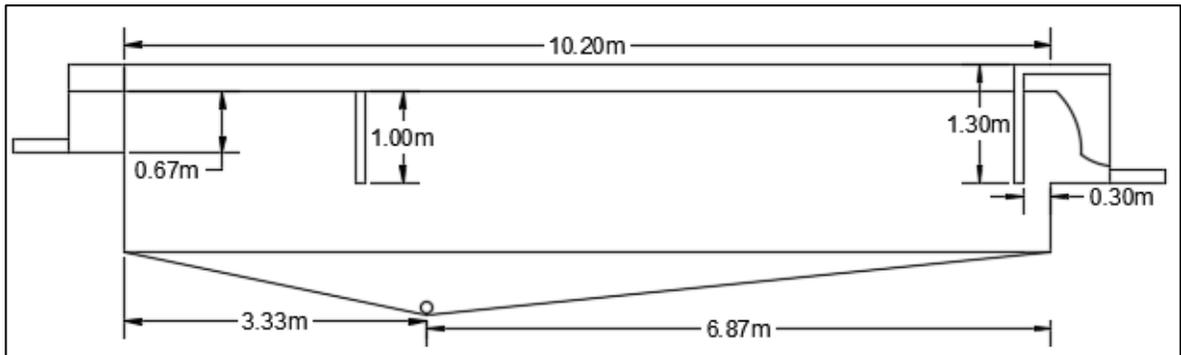
$$\mathbf{h_{lodos} = 5,1m}$$

Figura 27. Desarenador vista en planta



Fuente. Propia

Figura 28. Desarenador vista en corte longitudinal



Fuente. Propia

## 4. RECOMENDACIONES

### 4.1 COMPONENTE HIDROLÓGICO

- ❖ Se pueden considerar un gran margen de incertidumbre en algunos de los procedimientos aplicados en el análisis hidrológico dado que la información cartográfica y meteorológica de la zona resulta ser escasa si se quiere realizar un proyecto de gran precisión.
- ❖ Al afirmar que la fuente actual en algunas épocas del año resulta ser insuficiente para abastecer la demanda hídrica del municipio, se recomienda realizar los estudios pertinentes de calidad de agua en la fuente alternativa, para definir en su totalidad la viabilidad de esta corriente como apoyo a la estructura de captación actual.
- ❖ Aunque inicialmente se tenía como hipótesis el diseño deficiente de las estructuras de captación y tratamiento, se confirmó que las estructuras actuales se encuentran en buen estado, pero dado que las rejillas de la bocatoma tienen poco espaciamiento, se recomienda realizar una estructura que funcione como trampa de material orgánico grueso para evitar el taponamiento de estas rejillas por donde ingresa el agua de la fuente al sistema de aducción.

### 4.2 POBLACIÓN PROYECTADA

Los métodos de proyección de población nos permitieron establecer la población aproximada que habrá en 25 años, es decir en el año 2043 según el método aritmético habrá 4211 habitantes en el casco urbano que necesitarán del servicio de acueducto.

### 4.3 CAUDALES PROYECTADOS

Al realizar las proyecciones de la población se obtuvieron los siguientes caudales para el año 2043: Qmd =17,4 L/Seg, QMD =22,6 L/Seg y QMH =36,2 L/Seg.

Lo que indica que el crecimiento de la población demanda un caudal cada vez mayor, por lo que se sugiere solicitar a Corporinoquia una concesión de caudal mayor ya que el actual es de 13,5 L/Seg y para el año 2018 se necesita de: Qmd =15 L/Seg, QMD =19,6 L/Seg y QMH =31,3 L/Seg, en donde las estructuras necesitarían del siguiente caudal:

$$\text{Bocatoma: } Qd = 2 * QMD = 2 * \frac{19,6L}{Seg} = \frac{39,2L}{Seg}$$

$$\text{Aducción: } Qd = QMD = 19,6L/Seg$$

$$\text{Desarenador: } Qd = QMD = 19,6L/Seg$$

#### 4.4 BOCATOMA

En base a los cálculos de la bocatoma, se evidenció que la rejilla se encuentra sobredimensionada y a una separación entre barrotes menor a la recomendada por el libro Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados de Ricardo Alfredo López Cualla, por lo que esto generaría disminución del caudal de entrada, así como también taponamientos.

Se recomienda mejorar la bocatoma ya que el concreto de dicha estructura se ve desgastado, así como también tiene un hueco en el centro de la estructura el cual se evidencia en las fotografías, por lo que se recomienda implementar el diseño de la bocatoma que se propuso ya que puede garantizar un mejor funcionamiento.

En la (Tabla 20), se muestran los resultados obtenidos en comparación con los actuales:

Tabla 30. Comparación de resultados rejilla

REJILLA PUNTO DE CAPTACIÓN	
DATOS ACTUALES	RESULTADOS OBTENIDOS
No se conoce	Qd = 45,2 L/Seg
L = 2m	L = 1,45m
B = 0,7m	B = 0,44m
Varillas de 1/2"	Varillas de 1/2"
Separación entre barrotes = 2cm	Separación entre barrotes = 5cm

**Fuente. Propia**

A continuación, en la (Figura 29), se muestra un ejemplo de cómo se debe encontrar la estructura de captación, respecto a las condiciones del concreto.

Figura 29. Ejemplo de bocatoma



**Fuente. Infraestructura de riego**

#### 4.5 ADUCCIÓN

En base a los resultados obtenidos la tubería de aducción se encuentra bien diseñada para la longitud que tiene actualmente, por lo que se determina que dicha tubería se encuentra en condiciones de transportar agua.

En la (Tabla 21), se muestran los resultados obtenidos en comparación con los actuales:

Tabla 31. Comparación de resultados aducción

ADUCCIÓN	
DATOS ACTUALES	RESULTADOS OBTENIDOS
No se conoce	$Q_d = 22,6 \text{ L/Seg}$
Tubería PVC	Tubería PVC
D = 6"	D = 6"

**Fuente. Propia**

#### 4.6 DESARENADOR

Al realizar los respectivos cálculos para el tanque desarenador se evidenció que el largo de la estructura existente es más pequeño.

Se recomienda realizar la construcción de otro tanque ya que la Resolución 330 de 2017 afirma que todo sistema de acueducto debe tener dos desarenadores para efectos de mantenimiento con el fin que no se tengan que realizar cierres programados.

También se recomienda la construcción de un cerramiento que evite el ingreso de animales o de personas no autorizadas ya que es un requisito esencial mencionado en el artículo 55 de la Resolución 330 de 2017.

En la (Tabla 22), se muestran los resultados obtenidos en comparación con los actuales:

Tabla 32. Comparación de resultados desarenador

DESARENADOR	
DATOS ACTUALES	RESULTADOS OBTENIDOS
Q = 26,4L/Seg	Qd= 22,6 L/Seg
1 modulo	2 módulos
L= 7,22m	L= 10,2m
a= 2,5m	a= 2,55m
h = 1,82m	h = 2m

**Fuente. Propia**

En la (Figura 30), se puede observar un posible ejemplo para el cerramiento en el desarenador.

Figura 30. Ejemplo cerramiento en el desarenador



**Fuente. Acueducto urbano Ocamonte**

## 5. CONCLUSIONES

- ❖ Del análisis hidrológico se puede concluir que la fuente en la mayor parte del año resulta suficiente para abastecer al municipio, teniendo en cuenta que produce caudales mayores al demandado por las estructuras de captación, sin embargo, se tiene que considerar que, aunque la fuente tenga esta capacidad, no toda su disponibilidad hídrica podrá ser captada para el abastecimiento del municipio, por lo cual no solamente los meses marcados con déficit resultan quedarse cortos en abastecimiento, sino también los meses en los que el valor de caudal sea cercano a 45.3 L/s.
- ❖ Con el estudio hidrológico realizado se puede afirmar que la fuente alternativa (caño Blanco), podría ser apta como fuente hídrica de apoyo a la fuente actual (caño Palomas) en las épocas donde se confirma que es escasa la capacidad de tal fuente para abastecer la demanda de agua del municipio.
- ❖ Algunos de los resultados encontrados en base a la hidrología se hallaron en cierta medida sobreestimados, podría decirse que esto se debe a que los datos de precipitación tomados corresponden a una estación que a pesar de ser la más cercana de la bocatoma, se encuentra a una distancia considerable de este punto, sobre el Rio Humea siendo este cuantiosamente más grande en su cuerpo de agua.
- ❖ Por medio de los análisis realizados, se confirma en repetidas ocasiones que en los 3 primeros meses del año y en diciembre, se presenta un fenómeno de sequía que afecta directamente en el abastecimiento del recurso hídrico al municipio, por lo cual se hace necesaria la atención a la situación problemática existente.
- ❖ El uso de herramientas tecnológicas como ArcGis, HEC-HMS, Excel, etc., facilitan en gran manera los análisis realizados, simplificando procesos y reduciendo el margen de error que se puede presentar al realizar análisis de manera análoga.
- ❖ Según la curva IDF se considera que la zona en estudio es considerablemente lluviosa, sin embargo, se presentan problemas de abastecimiento de agua en algunas épocas del año.
- ❖ La optimización de este sistema de acueducto se realizó con el fin de brindar mejores condiciones a los usuarios generalmente para evitar racionamientos en épocas de verano.

- ❖ Según la altura sobre el nivel del mar del municipio de Paratebuena el periodo de diseño para el sistema es de 25 años.
- ❖ En base al diagnóstico realizado se deben realizar adecuaciones a la bocatoma y desarenador ya que se observó el deterioro en sus componentes.
- ❖ Debido a que no hay estaciones en el caño Palomas por el IDEAM, para conocer los valores de precipitación se necesitó de la más cercana que es la del río Humea.
- ❖ No se pudo realizar comparación de resultados con las dimensiones actuales de la bocatoma debido a que no hay planos existentes.
- ❖ Según los datos obtenidos la rejilla de la bocatoma se encuentra sobredimensionada y no cumple con la separación recomendada, lo que puede generar taponamientos en la estructura, además las varillas se encuentran oxidadas por lo que el agua puede presentar residuos poco agradables.
- ❖ La tubería de aducción referente al diámetro se encuentra en condiciones de abastecer la población del municipio de Paratebuena.
- ❖ Se debe construir cerramiento al desarenador con el fin de evitar el ingreso a los animales o a personas no autorizadas.
- ❖ Se debe realizar la construcción de otro tanque desarenador para condiciones de mantenimiento con el fin de garantizar una buena calidad en el servicio evitando cierres programados.
- ❖ Los análisis de agua realizados reflejan la buena labor que ejerce la Empresa de Servicios Públicos de Paratebuena ya que el agua no representa riesgo y es apta para el consumo humano.
- ❖ Se deben realizar seguimientos a las presiones de las tuberías para corregir posibles fugas ya que se debe garantizar la presión en todo momento.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

1. AGUASISTEC. (2018). TRATAMIENTO DE AGUA Y AGUAS RESIDUALES. Obtenido de PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE -PTAP: <http://www.aguasistec.com/planta-de-tratamiento-de-agua-potable.php>
2. Alcaldía de Paratebueno -Cundinamarca. (17 de diciembre de 2017). Paratebueno -Cundinamarca. Obtenido de Nuestro Municipio: [http://www.paratebueno-cundinamarca.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.paratebueno-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml)
3. Carrillo Bernal, P. M. (11 de noviembre de 2016). <http://repository.ucatolica.edu.co>. Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14039/4/DISE%C3%91O%20HIDR%C3%81ULICO%20DE%20UNA%20PLANTA%20DE%20POTABILIZACI%C3%93N%20DE%20AGUA%20EN%20LA%20VEREDA%20DE%20SAN%20ANTONIO%20DE%20ANAPOIMA.pdf>
4. CINDY YANETH JIMÉNEZ MIGUEL ANGEL SABOGAL JIMÉNEZ. (2017). <http://repository.ucatolica.edu.co>. Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14485/4/PROYECTO%20DE%20GRADO%20PTAP%20FOMEQUE.pdf>
5. CLIMATE-DATA.ORG. (2018). CLIMA: COLOMBIA. Obtenido de CLIMA: PARATEBUENO: <https://es.climate-data.org/location/49876/>
6. CORPORINOQUIA. (2011). Agenda ambiental Paratebueno. Obtenido de <http://www.corporinoquia.gov.co/index.php/portfolio-2/agendas-ambientales.html>
7. Cruz, S. (junio de 2017). <http://repository.ucatolica.edu.co>. Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14493/3/ARTICULO.pdf>
8. CYCLUS. (2012). cyclusid. Obtenido de <http://www.cyclusid.com/>
9. DANE, D. (2018). DANE. Obtenido de <https://censo2018.dane.gov.co/sobre-censo>
10. Díaz Bautista, W. T. (junio de 2017). <http://repository.ucatolica.edu.co/>. Obtenido de [http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14490/1/Trabajo\\_21.pdf](http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14490/1/Trabajo_21.pdf)

11. DOUGLAS M.G 2002 Isco open channel flow measurement handbook fifth edition. Lincoln U.S.A
12. EditorIngCivil. (2013). Tutoriales Ingeniería Civil.
13. Escamilla Garcés, R. (23 de enero de 2016). <http://repository.ucatolica.edu.co>. Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14066/1/Proyecto%20De%20grado%20DIAGNOSTICO%20TECNICO%20DEL%20ACUEDUCUTO%20URBANO%20DEL%20MUNICIPIO%20DE%20QUIPILE%20CUND.pdf>
14. Espino, G. d., Martínez, C. C., Martínez, S. A., & Pulido, S. H. (1998). DICCIONARIO DE HIDROLOGIA Y CIENCIAS AFINES. Baja California Sur: PLAZA Y VALDES EDITORES.
15. Florián Pulido, S. B. (junio de 2017). <http://repository.ucatolica.edu.co>. Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14520/1/Documento%20de%20grado.pdf>
16. Google Maps. (2018). Mapas. Obtenido de Paratebueno (Cundinamarca).
17. Heredia, J. (19 de Julio de 2015). INFRESTRUCTURA DE RIEGO. Obtenido de BOCATOMA TIROLESA CON COLCHONES DE AMORTIGUAMIENTO: [http://infraestructuraderiego.blogspot.com/2015/07/bocatoma-tirolesa-con-colchones-de\\_19.html](http://infraestructuraderiego.blogspot.com/2015/07/bocatoma-tirolesa-con-colchones-de_19.html)
18. IDEAM. (s.f.). Datos abiertos. Obtenido de <https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Catalogo-Estaciones-IDEAM/n6vw-vkfe/data>
19. IGAC. (2018). MUNICIPIO DE PARATEBUENO. Obtenido de <http://sigot.igac.gov.co>
20. J.A. Pérez, C. Q. (1998). ESTUDIO EXPERIMENTAL DE REJILLAS EN BOCA TOMA DE FONDO. Medellín: Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia.
21. Jiménez, C. Y., & Sabogal Jiménez, M. A. (2017). <http://repository.ucatolica.edu.co>. Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14485/4/PROYECTO%20DE%20GRADO%20PTAP%20FOMEQUE.pdf>

22. López Cualla, R. A. (2003). Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados 2ed. Bogotá, D.C: Escuela Colombiana de Ingeniería.
23. MINAMBIENTE. (22 de junio de 2007). Resolución 2115. Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislacion\\_del\\_agua/Resoluci%C3%B3n\\_2115.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislacion_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf)
24. MINAMBIENTE. (9 de mayo de 2007). Decreto 1575. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>
25. MINVIVIENDA. (14 de Julio de 2003). *Ministerio de Vivienda*. Obtenido de [www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO%2030714.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO%2030714.pdf)
26. Minvivienda. (8 de junio de 2017). Resolución 330. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=71542>
27. OCAMONTE, P. (17 de noviembre de 2016). ESPOCAM. Obtenido de Acueducto urbano Ocamonte: <https://twitter.com/hashtag/Espocam?src=hash>
28. OPT. (2017). SOLUCIONES DE TRATAMIENTO DE AGUAS. Obtenido de PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE: <http://aguas.opt-ing.com/soluciones-de-tratamiento/plantas-de-tratamiento-de-aguas-potable>
29. Pérez Cuadros, Z. C. (diciembre de 2016). <http://repository.ucatolica.edu.co>. Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13991/4/DIAGN%C3%93STICO%20Y%20EVALUACI%C3%93N%20PTAP%20GUATEQUE%20ZAIDA%20CAMILA%20PEREZ%20CUADROS%20503120.pdf>
30. PULIDO, S. B. (junio de 2017). <http://repository.ucatolica.edu.co>. Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14520/1/Documento%20de%20grado.pdf>
31. Puyol, A. F., & Villa, M. A. (2006). Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. Tlalpan: UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA.
32. RAS. (noviembre de 2000). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Obtenido de [http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710\\_ras\\_titulo\\_a\\_.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_a_.pdf)

33. RIAÑO, A. Y. (15 de junio de 2015). ESTRUCTURAS BASICAS DE UN ACUEDUCTO. Obtenido de SlideShare: <https://es.slideshare.net/anyegori/estructuras-basicas-de-un-acueducto>
34. ROCHER INGENIEROS Y CIA. LTDA. (2014). Sistema de acueducto Paratebueno.
35. Romero, F. C., & Serna, J. I. (2005). Acueductos teoría y diseño. Medellín: Universidad de Medellín.
36. Vargas Diaz, A. E. (3 de septiembre de 2018). AFOROS CAÑO PALOMAS. Paratebueno.
37. Vargas Palacios, E. H. (6 de 12 de 2016). <http://repository.ucatolica.edu.co/>. Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13901/4/EVALUACION%20TECNICA%20DE%20LA%20PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUA%20RESIDUAL.pdf>

## 7. ANEXOS.

### 7.1 CONCESIÓN DE AGUAS

Figura 31. Informe de cumplimiento ambiental



*¡Para salvar la vida!*  
INFORME DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL - MUNICIPIO DE PARATEBUENO 2010



---

**INFORME SANEAMIENTO BÁSICO MUNICIPIO DE PARATEBUENO**

**1. COMPONENTE AGUA POTABLE**

**Expediente:** 200.07.07-214

**Cobertura del acueducto:** 100 %  
**Usuarios del servicio de acueducto:** 541

**Fuentes de Captación:**

El municipio de Paratebueno cuenta en la actualidad con dos fuentes de abastecimiento las cuales una es de aguas subterráneas y la otra de aguas superficiales.

- **Pozos Profundos:** Los sitios determinados para la construcción de los dos pozos profundos se ubican en la vereda Brasilia del municipio de Paratebueno, exactamente dentro de las actuales instalaciones de la planta de tratamiento y el segundo en un área aledaña a una distancia aproximada de 100 metros. Las coordenadas donde estarán ubicados los pozos son:

COORDENADAS	POZO 1	POZO 2
N	980.480	980.549
E	1.094.897	1.094.860

Los pozos profundos tendrán las siguientes características generales:

Profundidad= 220 metros  
Diámetro de perforación= 12 ¼"  
Revestimiento= 196 metros en tubería de acero al carbón de 8" de diámetro y 24 metros de filtro de ranura continua en acero inoxidable.

El permiso ambiental fue otorgado a través de la siguiente providencia:

**Resolución No. 200.15.07-0942 del 11 de octubre del 2007**, por medio de la cual se otorgó una concesión de aguas subterráneas al municipio de Paratebueno, departamento de Cundinamarca. Esta, autoriza el aprovechamiento de un caudal de 20 l/s de los dos pozos

- **Cafío Palomas:** En la actualidad el municipio de Paratebueno se abastece de la fuente superficial denominada *Quebrada Palomas* ubicada en el predio denominado Canaguaro, la captación en este punto se realiza a través de una bocatoma de fondo provista de una rejilla central, con muros de contención seguida de una caja de recolección ubicada en la margen derecha de la bocatoma, la cual permite derivar el agua hacia el desarenador en tubería de 6".

El punto de captación se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas:



Fuente. CORPORINOQUIA

Figura 32. Informe de cumplimiento ambiental

 *¡Para salvar la vida!*  
INFORME DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL - MUNICIPIO DE PARATEBUENO 2010



COORDENADAS	FUENTE
N	1.094.741
E	9.981.040

La autorización para el aprovechamiento de estas aguas superficiales se estableció mediante la **Resolución N° 200.41.10-1343 del 22 de septiembre de 2010** por medio de la cual se otorga una concesión de aguas superficiales y un permiso de ocupación de cauce a la empresa de servicios públicos de Paratebueno E.S.P, para el acueducto del casco urbano de este ente territorial.

**Caudal a Captar:** 13.5 L/SEG

**1.1. Sistema de Acueducto**

El sistema de acueducto está conformado por los siguientes componentes:

- Fuente de abastecimiento
- Línea de Conducción
- Sistema de Tratamiento
- Tanques de Almacenamiento
- Red de distribución
- Conexiones Domiciliarias



Foto N° 1: Obra de captación sobre el caño Palomas

**Línea de conducción**

Para esta línea se utiliza tubería de polietileno de alta densidad de 4", la cual se encuentra en buen estado.



Fuente. CORPORINOQUIA

Figura 33. Informe de cumplimiento ambiental

 *¡Para salvar la vida!*  
INFORME DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL - MUNICIPIO DE PARATEBUENO 2010

 *la mejor onnoquia*



**Foto N° 2 Condiciones actuales del desarenar- acueducto Casco Urbano Paratebueno**

**Planta de Tratamiento de Agua Potable**

La planta de tratamiento de agua potable cuenta con sistema convencional que consta de: válvula de 4" de diámetro para el control de la entrada al sistema canaleta parshall; dos (2) floculadores de flujo horizontal; dos (2) sedimentadores; dos (2) filtros de flujo ascendente y un tanque elevado para el lavado de los filtros. Esta planta tiene un funcionamiento muy deficiente por lo que el agua suministrada es de mala calidad.

**Almacenamiento**

El sistema de acueducto del municipio de Paratebueno cuenta con un (2) tanques de almacenamiento de 62 m<sup>3</sup> y 32 m<sup>3</sup>.

**Redes de Distribución.**

La red de distribución está construida en tubería de PVC presión en diámetros de 2" y 1" el caudal en épocas de verano que se toma del caño palomas es de 4 L/seg. de acuerdo al número de habitantes el nivel de complejidad del sistema es medio.

El suministro en épocas de invierno y verano es racionado y los tiempos de servicio pueden variar entre 12 horas (invierno) y dos horas diarias en verano.

**1.1 REQUERIMIENTOS TÉCNICO AMBIENTALES PENDIENTES**

► **Resolución No. 200.15.07-0942 del 11 de octubre del 2007**

Por medio del cual se otorga un permiso de concesión de aguas subterráneas para el proyecto al municipio de Paratebueno Cundinamarca.



Fuente. CORPORINOQUIA

## 7.2 VALORES MAXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS ESTACIÓN (JAPON EL)

Tabla 33. Precipitación en 24 horas (mm)

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
2001	2,6	15,6	30	83	68			40	67	73	58	84
2002	4	2	51	112	98	129,5	69	52	71	127	25	120
2003	0	7	22	62	74	64	50	70	175	50,5	95	27
2004	50	47,6	48	92	110	113	57	55	119	67	32	60
2005	17	109	40		142,7	91	72	58		80	135	24
2006	157	13	45	91	80	61	75,4	44	19,4	67,4	127	16
2007	1	16	99	133	62	35	51	56	55	80	84	22,8
2008	3,6	15,5	9,1	97	64	74	92	61	80	38		
2009	92	7,4	79,3	52	102	94	55	56	56	169,1	55	60
2010	0	36	60	138	49	46	94	119	90	96	110	130
2011	20	35,8	32	184,2	62	79	41,7	35,6	110	73	72	79
2012	12	16	56	120	82	52	128		41		59,2	137
2013	0	18	36	104	105	82	87		96	49	116	52
2014	7,2	12,3	49	86	67,2	59	46	70	105	43	88	74
2015	85	41	26	43	50	112		76	130	93	63	65
2016	0	15	43		92	44	58	104	72	69	87	
PROMEDIO	28,2	25,5	45,3	99,8	81,7	75,7	69,7	64,0	85,8	78,3	80,4	67,9
MEDIO	23,6	33		84,7	91,8	84,9	74,2	72,9	75	85,1	76,6	47,9
MAXIMO	157	109		184,2	195,7	296,8	147,4	135	175	176,2	140	137
MINIMO	0	0		31,8	39	35	40,8	35,6	19,4	36	21,2	0

Fuente. IDEAM

## 7.3 VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (JAPON EL)

Tabla 34. Precipitación mensual (mm)

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
2001	2,6	23,9	76,6	241,2	400,9			278,6	355,6	258,3	203,6	376,3
2002	5	2	264	600	746,3	467,5	486,7	326,1	376,1	614	98,3	202,1
2003	0	8,8	103,4	365,2	439,6	472,3	270,6	470,1	606,1	387	339	60,3
2004	58,1	187,9	158,2	368,8	767,1	622,5	457,2	339,2	542,6	437,8	202,5	272,6
2005	25	201,3	169	573,3	482,1	446	363,5	228	173,7	428,7	626	38,2
2006	459,7	15	302,5	367,2	699,4	510,3	309,5	312,4	119,5	392,7	609,7	37,4
2007	2	19,3	223,6	594,5	481,6	406,9	259,2	326,6	255,4	404,4	267,2	114,4
2008	5,3	33,2	23,7	362,7	548,7	556,1	538,2	237,6	413,9	257		
2009	146	24,2	311,5	312,7	288,5	526,9	434,1	282,4	218,2	415,3	209,8	84,1
2010	0	122	265	795	332,9	304,3	562,1	532,6	246,9	335,8	575,4	371,1
2011	58	88,4	81,7	406,8	458,5	382,2	198,2	250,9	317,8	349,7	336,1	181,7
2012	20,4	64,3	365	804,3	305,7	327,1	736,7	285,5	130,2	491,4	294,8	254,8
2013	0	63,7	165,3	459,7	480,4	308,7	552,6		298,2	331,3	331,5	190,5
2014	8,3	17,8	149,1	481,9	320,9	502,2	414,1	255,5	477,8	191,5	379,3	159,6
2015	176,4	68	64,1	228	223	469	282	273,3	362	339,6	335,6	104,9
2016	0	33	82,6		515,8	299,4	335	478,9	369,5	308,6	299,5	
prom	60,4	60,8	175,3	464,1	468,2	440,1	413,3	325,2	329,0	371,4	340,6	174,9
MEDIOS	45,3	84,9	169,4	436	514,9	479,2	431,9	352	329,1	397,6	313,1	129,9
MAXIMOS	459,7	243,9	365	804,3	853	905,7	736,7	538,2	606,1	742,4	626	376,3
MINIMOS	0	0	23,7	130	223	182	198,2	177,5	119,5	191,5	63	0

Fuente. IDEAM

## 7.4 VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA (JAPON EL)

Tabla 35. Temperatura media mensual °C

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
2001	27	27,8	27,2	26	25,3			24,8	25,4	26,5	26,8	26,4
2002	27,2	29,1	27,6	25,7	25,5	24,5	24,9	25,6	26	25,8	26,1	26,7
2003	28,5	29,2	27,8	26	25,2	25	24,3	25,1	25,5	26,1	26,2	26,6
2004	27,5	28,5	26,7	26,2	25,3	24,6	24,6	25,1	25,6	26	26,1	*
2005	27,1	27,3	27,8	25,8	26,2	25,4	25,1	25,4	25,9	26,2	25,8	26,9
2006	26,7	27,3	25,9	25,9	25,8	25	24,1	25,3	26,3	26,1	26,3	27,1
2007	28,4	30	27,6	26,7	25,6	24,7	25,3	25,1	25,4	26,2	26,4	26,4
2008	27	28,1	28	26,7	25,5	24,8	24,6	25,2	25,7	25,7	25,9	26,4
2009	26,5	27,3	27,1	*	26,1	25	24,7	25,9	26,5	26,5	26,8	27,6
2010	28,3	29,3	27,4	26,7	26,1	25,4	25,1	25,2	26,2	26,5	25,9	26,4
2011	26,9	27,3	26,7	26,1	25,2	25,6	25,5	26,1	26	26,1	25,9	26,2
2012	27	27,1	26,2	25,7	25,8	25,3	24,8	25,7	26,4	26,3	26,6	26,8
2013	27,2	27,5	26,9	26,5	25,7	25,8	25,1		26,4	26,8	26,1	26,3
2014	27,7	29,1	28	26,4	26,6	25,2	25,1	25,3	26,5	25,9	26,6	26,9
2015	27,3	27,3	27,6									26,9
2016	28,4	29,2	29,1		26,4	25,1	24,8	26,1	26,3	26,9	26,3	
2017	26,7	27,7	26,7	26,5								
PROMEDIO	27,4	28,2	27,3	26,2	25,8	25,1	24,9	25,4	26,0	26,2	26,3	26,7
MEDIO	27,4	27,9	27,3	26,2	25,5	24,9	24,5	25,1	25,7	26	26,1	26,5
MAXIMO	29,4	30,3	29,3	27,2	26,6	25,8	25,5	26,1	26,5	27,1	26,9	27,9
MINIMO	26	25,6	25,8	25,1	24,5	23,6	23,5	23,7	24,7	25	25,4	25,6

Fuente. IDEAM

## 7.5 PROYECCIONES DE POBLACIÓN A 25 AÑOS

Tabla 36. Población proyectada

AÑO	ARITMÉTICO	GEOMÉTRICO	EXPONENCIAL	PROMEDIO
2018	2793	3296	3344	3144
2019	2850	3418	3470	3246
2020	2907	3544	3601	3350
2021	2963	3675	3736	3458
2022	3020	3811	3877	3569
2023	3077	3952	4023	3684
2024	3133	4098	4174	3802
2025	3190	4250	4332	3924
2026	3247	4407	4495	4049
2027	3304	4570	4664	4179
2028	3360	4739	4840	4313
2029	3417	4914	5022	4451
2030	3474	5096	5211	4593
2031	3530	5284	5407	4740
2032	3587	5479	5611	4892
2033	3644	5682	5822	5049
2034	3701	5892	6041	5211
2035	3757	6110	6269	5379
2036	3814	6336	6505	5552
2037	3871	6570	6750	5730
2038	3927	6813	7004	5915
2039	3984	7065	7268	6106
2040	4041	7326	7541	6303
2041	4098	7597	7825	6507
2042	4154	7878	8120	6717
2043	4211	8169	8426	6935

Fuente. Propia

## 7.6 CAUDALES PARA PROYECCION DE 25 AÑOS

Tabla 37. Caudales proyectados.

AÑO	POBLACIÓN	% INC. POBLACIÓN	%INC. DEMANDA	NETO	%P	BRUTO	CAUDALES (L/Seg)		
							Qmd (L/Seg)	QMD(L/Seg)	QMH(L/Seg)
2018	2793			140	25	186,7	15,0	19,6	31,3
2019	2850	2,03	0,203	140,3	25	187,0	15,2	19,7	31,6
2020	2907	1,99	0,199	140,6	24	185,0	15,2	19,8	31,7
2021	2963	1,95	0,195	140,8	24	185,3	15,4	20,0	32,0
2022	3020	1,91	0,191	141,1	23	183,3	15,4	20,0	32,1
2023	3077	1,88	0,188	141,4	23	183,6	15,6	20,2	32,4
2024	3133	1,84	0,184	141,6	22	181,6	15,6	20,3	32,4
2025	3190	1,81	0,181	141,9	22	181,9	15,7	20,5	32,7
2026	3247	1,78	0,178	142,1	21	179,9	15,8	20,5	32,8
2027	3304	1,75	0,175	142,4	21	180,2	15,9	20,7	33,1
2028	3360	1,72	0,172	142,6	20	178,3	15,9	20,7	33,2
2029	3417	1,69	0,169	142,9	20	178,6	16,1	20,9	33,4
2030	3474	1,66	0,166	143,1	19	176,7	16,1	21,0	33,5
2031	3530	1,63	0,163	143,3	19	177,0	16,2	21,1	33,8
2032	3587	1,61	0,161	143,6	18	175,1	16,3	21,2	33,9
2033	3644	1,58	0,158	143,8	18	175,4	16,4	21,3	34,1
2034	3701	1,56	0,156	144,0	17	173,5	16,4	21,4	34,2
2035	3757	1,53	0,153	144,2	17	173,8	16,6	21,5	34,5
2036	3814	1,51	0,151	144,5	16	172,0	16,6	21,6	34,5
2037	3871	1,49	0,149	144,7	16	172,2	16,7	21,8	34,8
2038	3927	1,47	0,147	144,9	15	170,5	16,8	21,8	34,9
2039	3984	1,44	0,144	145,1	15	170,7	16,9	22,0	35,1
2040	4041	1,42	0,142	145,3	15	170,9	17,0	22,1	35,4
2041	4098	1,40	0,140	145,5	15	171,2	17,1	22,3	35,6
2042	4154	1,38	0,138	145,7	15	171,4	17,3	22,4	35,9
2043	4211	1,37	0,137	145,9	15	171,7	17,4	22,6	36,2

Fuente. Propia