



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia  
Vigilada Mineducación

EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA  
VEREDA LA ESMERALDA MUNICIPIO DE TOCANCIPÁ

PRESENTADO POR:

MARIBEL CHAPARRO GUIO	506241
ANGGIE STEPHANY MARÍN CHACÓN	506387

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
PRÁCTICA SOCIAL  
BOGOTÁ D.C., 28 DE OCTUBRE  
2019



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia  
Vigilada Mineducación

**EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA  
VEREDA LA ESMERALDA MUNICIPIO DE TOCANCIPÁ**

**PRESENTADO POR:**

**MARIBEL CHAPARRO GUIO 506241**  
**ANGGIE STEPHANY MARÍN CHACÓN 506387**

**Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniería Civil**

**DOCENTE ASESOR**

**ING. JESUS ERNESTO TORRES QUINTERO**  
**Ingeniero Civil Magister en Recursos Hidráulicos**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**PRÁCTICA SOCIAL**  
**BOGOTÁ D.C., 28 DE OCTUBRE**  
**2019**



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

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)**  
Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra  
hacer obras derivadas

### 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.



Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado



## TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO	13
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	16
1. ANTECEDENTES Y LIMITACIONES	18
1.1 ANTECEDENTES	18
1.2 LIMITACIONES	19
2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	21
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	22
3. OBJETIVOS	23
3.1 OBJETIVO GENERAL	23
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
4. JUSTIFICACIÓN	24
5. MARCO DE REFERENCIA	25
5.1 MARCO TEÓRICO	25
5.1.1 Información General del Municipio de Tocancipá.	25
5.1.2 Calidad del Agua Potable.	26
5.1.3 Agua Potable y Saneamiento Básico en el Municipio de Tocancipá.	28
5.1.4 Planta de Potabilización de Agua Compacta.	28
5.2 MARCO CONCEPTUAL	32
5.2.1 Agua Cruda.	32
5.2.2 Agua Potable.	32
5.2.3 Aireación.	32

5.2.4 Aireadores de bandejas múltiples.	32
5.2.5 Filtración.	32
5.2.6 Planta Potabilizadora de Agua Compacta.	32
5.2.7 Planta de Potabilización.	32
5.2.8 Precloración.	32
5.2.9 Sedimentación.	32
5.2.10 Tanque de Almacenamiento.	33
6. ESTADO DEL ARTE	34
7. METODOLOGÍA	36
8. RESULTADOS	37
8.1 FASE I: INTERACCIÓN CON LA COMUNIDAD	37
8.2 FASE II: VISITA A LA PLANTA Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	38
8.2.1 Sistema La Esmeralda.	38
8.3 FASE III: EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA LA ESMERALDA	41
8.3.1 Determinación de la Calidad del Agua	52
8.3.2 Estudio de Población.	59
8.3.3 Estudio de Demanda.	67
8.3.4 Proyección de la Demanda.	72
8.3.5 Revisión del Diseño Actual Planta Potabilizadora de Agua La Esmeralda	74
8.4 FASE IV: ALTERNATIVA DE DISEÑO PARA LA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA LA ESMERALDA	82
8.4.1 Capacidad del Pozo.	83
8.4.2 Bandejas de Aireación.	84
8.4.3 Precloración.	87
8.4.4 Aducción.	87
8.4.5 Tanque Sedimentador.	88



8.4.6 Filtros.	93
8.4.7 Tanque de Almacenamiento.	95
8.4.8 Presupuesto de la Alternativa de Diseño Propuesta	99
9. CONCLUSIONES	101
10. RECOMENDACIONES	104
BIBLIOGRAFÍA	105
ANEXOS	109



## LISTADO DE TABLAS

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO	26
TABLA 2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS QUE TIENEN MAYORES CONSECUENCIAS ECONÓMICAS E INDIRECTAS SOBRE LA SALUD HUMANA	27
TABLA 3. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO	27
TABLA 4. REFERENCIAS ESTADO DEL ARTE	34
TABLA 5. FÓRMULAS PARA OBTENCIÓN DE RESULTADOS POR CADA PROCESO TANTO DE EVALUACIÓN COMO DISEÑO	42
TABLA 6. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LA PTAP LA ESMERALDA	52
TABLA 7. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA PTAP LA ESMERALDA, RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DE LABORATORIO	59
TABLA 8. CENSOS POBLACIÓN	60
TABLA 9. TASA PROMEDIO MÉTODO ALGEBRAICO	61
TABLA 10. RESUMEN DE DATOS MÉTODO ARITMÉTICO	61
TABLA 11. TASA PROMEDIO MÉTODO GEOMÉTRICO	63
TABLA 12. RESUMEN DE DATOS MÉTODO GEOMÉTRICO	63
TABLA 13. TASA PROMEDIO MÉTODO EXPONENCIAL	65
TABLA 14. RESUMEN DE DATOS MÉTODO EXPONENCIAL	65
TABLA 15. RESUMEN DE DATOS PROYECCIÓN DE POBLACIÓN	66
TABLA 16. SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN MUNICIPIO DE TOCANCIPÁ	68
TABLA 17. POBLACIÓN FLOTANTE	69
TABLA 18. INCREMENTO DE POBLACIÓN	70
TABLA 19. DOTACIÓN NETA MÁXIMA	70
TABLA 20. DOTACIÓN BRUTA NETA	71
TABLA 21. DOTACIÓN BRUTA	72
TABLA 22. COEFICIENTE DE CONSUMO MÁXIMO DIARIO Y HORARIO	72
TABLA 23. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA.	73
TABLA 24. DIMENSIONES BANDEJAS DE AIREACIÓN	75
TABLA 25. REVISIÓN DE DISEÑO ACTUAL BANDEJAS DE AIREACIÓN	76





TABLA 26. REVISIÓN DEL DISEÑO ACTUAL SEDIMENTADOR PTAP LA ESMERALDA	79
TABLA 27. REVISIÓN DEL DISEÑO ACTUAL FILTROS PTAP LA ESMERALDA	81
TABLA 28. DIMENSIONES BANDEJA DE AIREACIÓN DISEÑO	85
TABLA 29. RESUMEN DE DISEÑO BANDEJAS DE AIREACIÓN	86
TABLA 30. FICHA TÉCNICA TUBERÍA PVC	88
TABLA 31. RESUMEN DE DATOS TUBERÍAS	93
TABLA 32. TANQUES DE ALMACENAMIENTO PTAP LA ESMERALDA	96
TABLA 33. PRESUPUESTO ALTERNATIVA DE DISEÑO	99



## LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DEL MUNICIPIO DE TOCANCIPÁ	25
FIGURA 2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE TIPO COMPACTA	28
FIGURA 3. BANDEJAS DE AIREACIÓN	29
FIGURA 4. FILTROS RÁPIDOS	31
FIGURA 5. SISTEMA LA ESMERALDA	39
FIGURA 6. BANDEJAS DE AIREACIÓN SISTEMA LA ESMERALDA	39
FIGURA 7. DOSIFICACIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO	40
FIGURA 8. SEDIMENTADOR DEL SISTEMA LA ESMERALDA	40
FIGURA 9. FILTRACIÓN DEL SISTEMA LA ESMERALDA	41
FIGURA 10. TOMA DE MUESTRA DE AGUA CRUDA	53
FIGURA 11. DETERMINACIÓN DE PH POR MEDIO DE TIRAS INDICADORAS DE PH	54
FIGURA 12. DETERMINACIÓN DE PH POR MEDIO DEL EQUIPO MULTIPARAMÉTRICO	54
FIGURA 13. DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD Y RESISTIVIDAD POR MEDIO DEL EQUIPO MULTIPARAMÉTRICO	55
FIGURA 14. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN Y SALINIDAD POR MEDIO DEL EQUIPO MULTIPARAMÉTRICO	55
FIGURA 15. DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA POR MEDIO DEL EQUIPO MULTIPARAMÉTRICO	55
FIGURA 16. DETERMINACIÓN DE LA TURBIDEZ POR MEDIO DEL EQUIPO TURBIDÍMETRO	56
FIGURA 17. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HIERRO POR MEDIO DEL EQUIPO ESPECTROFOTÓMETRO	56
FIGURA 18. DETERMINACIÓN DE LA ALCALINIDAD CON FENOLFTALEÍNA	57
FIGURA 19. DETERMINACIÓN DE LA ALCALINIDAD CON NARANJA DE METILO	58
FIGURA 20. DETERMINACIÓN DE DUREZA CON EDTA	59
FIGURA 21. SISTEMA LA ESMERALDA FUNCIONAMIENTO ACTUAL	69
FIGURA 22. ESQUEMA DE BANDEJAS DE AIREACIÓN VISTA ISOMÉTRICO	74
FIGURA 23. ESQUEMA DISEÑO ACTUAL BANDEJAS DE AIREACIÓN PTAP LA ESMERALDA	75
FIGURA 24. ESQUEMA DE TANQUE SEDIMENTADOR VISTA ISOMÉTRICO	77



FIGURA 25. ESQUEMA DISEÑO ACTUAL SEDIMENTADOR PTAP LA ESMERALDA .....	77
FIGURA 26. ESQUEMA DISEÑO ACTUAL FILTROS A PRESIÓN PTAP LA ESMERALDA .....	79
FIGURA 27. ESQUEMA DE FILTROS.....	80
FIGURA 28. TANQUE DE ALMACENAMIENTO PTAP-ESMERALDA ESQUEMA (PLANTA) .....	81
FIGURA 29. TANQUE DE ALMACENAMIENTO PTAP-ESMERALDA ESQUEMA (SECCIÓN D-D) .....	82
FIGURA 30. MAPA GEOLÓGICO-PLANCHA 228 - SANTAFÉ DE BOGOTÁ NORESTE .....	83
FIGURA 31. ESQUEMA DISEÑO BANDEJAS DE AIREACIÓN PTAP LA ESMERALDA .....	86
FIGURA 32. ESQUEMA TANQUE SEDIMENTADOR -PLANTA .....	91
FIGURA 33. ESQUEMA TANQUE SEDIMENTADOR -SECCIÓN LONGITUDINAL .....	92
FIGURA 34. ESQUEMA TANQUE SEDIMENTADOR -SECCIÓN TRANSVERSAL .....	92
FIGURA 35. ESQUEMA FILTRO -SECCIÓN TIPO .....	94
FIGURA 36. DISEÑO TANQUE DE ALMACENAMIENTO-PLANTA .....	98
FIGURA 37. DISEÑO TANQUE DE ALMACENAMIENTO-SECCIÓN TRANSVERSAL .....	98

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. CARTA DE AVAL DEL PROYECTO DEL PROYECTO POR PARTE DE INTERLOCUTORES RECONOCIDOS EN LA COMUNIDAD Y REPRESENTADOS POR ORGANIZACIONES COMUNITARIAS (DOCUMENTO DIGITAL - PDF).....	109
ANEXO 2. CARTA DE COMPROMISO POR PARTE DE LOS ESTUDIANTES EN REALIZAR LA ENTREGA DE LOS PRODUCTOS A LA COMUNIDAD (DOCUMENTO DIGITAL - PDF).....	109
ANEXO 3. FORMATO DE DIARIO DE CAMPO VISITA A LA PLANTA PARA RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN (DOCUMENTO DIGITAL - PDF). ....	109
ANEXO 4. FORMATO DE DIARIO DE CAMPO VISITA A LA PLANTA TOMA DE MUESTRA DE AGUA CRUDA PARA REALIZARLE ENSAYOS DE LABORATORIO (DOCUMENTO DIGITAL - PDF). ....	109
ANEXO 5. INFORME “DIAGNOSTICO Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE TOCANCIPÁ – 2014” (DOCUMENTO DIGITAL - PDF)..	109
ANEXO 6. ACTAS DE LA SECRETARIA DE SALUD DE TOCANCIPÁ 2019 (DOCUMENTO DIGITAL - PDF).....	109
ANEXO 7. INFORME DE MANTENIMIENTO POZO LA ESMERALDA 2018 (DOCUMENTO DIGITAL - PDF).....	109
ANEXO 8. MEMORIA DE CÁLCULO TRABAJO DE GRADO – ENTREGABLE A LA COMUNIDAD Y ESPT (DOCUMENTO DIGITAL - WORD). ....	109
ANEXO 9. MEMORIA DE CÁLCULO TRABAJO DE GRADO – ENTREGABLE A LA COMUNIDAD Y ESPT (DOCUMENTO DIGITAL - EXCEL).....	109
ANEXO 10. PLANOS DISEÑO PTAP LA ESMERALDA (DOCUMENTO DIGITAL - PDF).....	109



## GLOSARIO

**Caudal de Diseño.** Caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado (BÁSICO, 2000).

**Caudal máximo diario (QMD).** Corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas a lo largo de un período de un año.

**Caudal máximo horario (QMH).** corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año.

**Caudal medio diario (Qmd).** Corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año.

**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 (BÁSICO, 2000).

**Evaluación Técnica.** Sirve para determinar todas las fallas que se presentan en una instalación a corto o mediano plazo, después de finalizada su construcción. Con esta evaluación se puede determinar que equipos deben ser sustituidos y cuales necesitan reparación o modificación para que vuelvan a ser aceptables técnicamente (RENOVETEC, 2015).

**Fenolftaleína.** Es un indicador de pH que en disoluciones ácidas permanece incoloro, pero en presencia de disoluciones básicas toma un color rosado. Su fórmula química es  $C_{20}H_{14}O_4$  (AVALOS, 2005).

**Naranja de Metilo.** Es un colorante que sirve como indicador de pH, el color cambia en pH entre 3.1 a 4.4, en pH por debajo de 3.1 el color será rojo y por encima de 4.4 el color será amarillo anaranjado (RAMIREZ, 2015).



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia  
Vigilada Mineducación

Período de Diseño. Tiempo para el cual se diseña un sistema con los componentes para atender la demanda proyectada para este tiempo (BÁSICO, 2000).

## EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA VEREDA LA ESMERALDA MUNICIPIO DE TOCANCIPÁ

### RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar la evaluación técnica de la planta de potabilización de agua La Esmeralda municipio de Tocancipá, Cundinamarca, de acuerdo con los parámetros establecidos en el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS, Resolución 330 de 2017, recopilación de información y visitas a la planta de tratamiento, para de esta manera determinar la fallas que se estén generando en los procesos y estructuras de la planta potabilizadora agua y así establecer consideraciones de mejoramiento por medio de una alternativa de diseño para la planta de tratamiento, con el fin de lograr el abastecimiento de agua potable a toda la población para la que fue diseñada y brinde un buen recurso hídrico.

**PALABRAS CLAVES:** Evaluación técnica, capacidad, población, potabilización de agua, diseño.

### ABSTRACT

This paper aims was made the technical evaluation of the La Esmeralda drinking water treatment plant in the municipality of Tocancipá, Cundinamarca, based on the parameters established in the Technical Regulations for the Drinking Water and Basic Sanitation Sector - RAS, decree 330 of 2017, collection of information and visits to the treatment plant, to determine the faults that do are being generated in the processes and structures of the drinking water treatment plant and thus establish improvement considerations by means of a design alternative for the treatment plant, in order achieve the supply of drinking water to the entire population for which it was designed and give a good water resource at the population.

**KEYWORDS:** technical evaluation, capacity, population, water purification, design.

## INTRODUCCIÓN

El municipio de Tocancipá, Cundinamarca es considerado sector industrial por ser parte de la sabana de Bogotá, una gran parte de industrias han llegado a posicionarse en este municipio. Esto trae beneficios desde el punto de vista económico para el desarrollo de Tocancipá, sin embargo, no hay que dejar de lado la tendencia poblacional de los últimos años que ha crecido considerablemente, por tal motivo y en búsqueda de satisfacer las necesidades básicas de la comunidad Tocancipeña, surge la necesidad de hacer la evaluación del sistema de acueducto del municipio.

Este trabajo pretende evaluar la planta de potabilización de agua de la vereda La Esmeralda del municipio de Tocancipá, conocer su funcionamiento y evaluar el estado actual del sistema “that requiere the implementation of corrective actions” (que requieren la implementación de acciones correctivas.) (Barranquilla’s Water Distribution System: A First Detailed Description , 2017), identificando los procesos o estructuras que requieran de modificación y realizar un diseño acorde a la proyección para los próximos 25 años, buscando alternativas que permitan el abastecimiento de agua a la población para el que fue destinado el sistema en un inicio, puesto que, esta planta fue diseñada para abastecer a las veredas Esmeralda y Canavita y por insuficiencia en la fuente de captación, el servicio de agua potable de la vereda Canavita fue adaptado a la planta Los Patos del municipio de Tocancipá. Para realizar lo anteriormente mencionado se tendrán en cuenta todos los parámetros establecidos en el Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) – 2000 y Resolución 330 de 2017.

El proceso de purificación del agua es quizás uno de los más importantes para garantizar la calidad de vida del ser humano, la planta de potabilización de agua de la vereda la Esmeralda realiza todo el proceso de este valioso recurso iniciando por la captación que se realiza desde un pozo profundo, hasta el almacenamiento del agua apta para el consumo. Para el análisis y estudio de la misma, se tiene como fuente de información principal la base de datos del municipio, así como el acercamiento y recolección de información en sitio.

Es necesario garantizar un adecuado procedimiento en el tratamiento de agua con





**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia  
Vigilada Mineducación

el fin que esta sea apta para consumo y asegurarse de que esta tenga la capacidad suficiente para abastecer la población destinada y proyectada, por tal motivo el funcionamiento de este tipo de infraestructura es indispensable para el desarrollo de la sociedad. En búsqueda de una mejora en el servicio de suministro de agua potable a la comunidad se elabora el presente proyecto social.



## **1. ANTECEDENTES Y LIMITACIONES**

### **1.1 ANTECEDENTES**

La implementación de sistemas de tratamiento de agua inicia en el siglo XVIII (1701 – 1800) con el proceso de aireación artificial, pero fue hasta mediados del siglo XIX (1801-1900) cuando la aireación se convirtió en un proceso principal para el abastecimiento de agua a las poblaciones municipales. Evoluciono el proceso de potabilización de agua en 1804 con el suministro de agua filtrada en Escocia y en 1829 en Londres se instaló el primer filtro de arena con el fin de clarificar el agua (BERNAL, 2011).

En 1881 se recurrió por primera vez al proceso de coagulación con sulfato de alúmina para tratamiento de agua en Inglaterra y fue en 1885 cuando investigadores de la Universidad de Rutgers publicaron estudios en donde destacaron el sulfato de alúmina como el coagulante con más ventajas con respecto a los demás conocidos. Para 1952 ya era obligación filtrar el agua proveniente de ríos para suministro a la población en Londres, seguidamente aplicando este sistema de clarificación en varias ciudades europeas y norteamericanas (BERNAL, 2011).

El servicio de acueducto en el municipio de Tocancipá se ha prestado desde el año 1997, inicialmente por medio de la Oficina de Servicios Públicos de Tocancipá (OSPT), la cual era una empresa prestadora de servicios que no hacía parte de la administración municipal pero si era controlada por esta, por lo que la OSPT no tenía autonomía administrativa ni financiera y se veían afectados los procesos de planeación y ejecución de programas y proyectos, puesto que, debían aplicar las políticas y directrices definidas por la administración municipal (ESP, 2019).

Entre los años 2004 al 2007 la oficina de servicios públicos de acuerdo con las necesidades de la población estableció proyectos tendientes a ampliar la cobertura de acueducto, razón por la que se ejecutó la ampliación de redes en la Vereda Tibitoc y sector Buenos Aires vereda Canavita, favoreciendo 120 suscriptores llegando a una cobertura del 99% en agua potable para ese tiempo (RODRIGUEZ, 2007).

En el 2008 se liquidó la Oficina de Servicios Públicos de Tocancipá (OSPT) y se construyó la Empresa de Servicios Públicos de Tocancipá S.A (ESP) proceso aprobado mediante el Acuerdo 002 de 2008 por el concejo municipal, en donde se hace al municipio de Tocancipá propietario de las redes de acueducto, alcantarillado y aseo del municipio, planta de potabilización de agua de la vereda La Esmeralda, planta de tratamiento de aguas residuales la Chucua y Colpapel (BEJARANO, 2011).

Entre los años 2012 al 2015 se realizó la conexión de 40 suscriptores del sector rural al sistema de acueducto municipal y se buscó garantizar la cobertura al 100% de los usuarios del sector urbano, adicional a lo anterior se identificó que en el año 2012 se presentó un incremento anual de usuarios de 691 para el servicio de acueducto, en el 2013 de 214 usuarios y en el 2014 de 1187 usuarios, dando como resultado un promedio de incremento de población anual de 451 usuarios a los cuales se les debe suministrar el servicio de acueducto (MORENO, 2015).

Actualmente el municipio de Tocancipá cuenta con cuatro sistemas de abastecimiento de agua potable brindando una cobertura del 100% en zona rural y urbana, los cuales son: la planta de potabilización de agua Los Patos la cual brinda una cobertura del 82% de la comunidad, la planta de potabilización de agua la Fuente cubre el 6%, la compra de agua en bloque - Sistema Tibitoc el 2% y la planta de potabilización de agua la Esmeralda el 10%, cada una de estas cuenta con puntos de muestreo para verificar la calidad del agua que es suministrada para el consumo de los tocancipeños. Para el 2019 cerca de 44.792 habitantes son beneficiados con este servicio (TOCANCIPÁ, 2019).

## 1.2 LIMITACIONES

El principal inconveniente que se presenta en la realización del proyecto es que la planta potabilizadora de agua La Esmeralda actualmente se ve limitada por la captación de agua, debido a que la fuente actualmente no está dando la capacidad para abastecer a toda la población para la que fue diseñada en un principio; este proceso de captación se realiza por medio de un pozo profundo, el cual se ha visto afectado por factores ambientales como el cambio climático, deforestación, cambio

en los usos del suelo, entre otros, que afectan la eficiencia del sistema.

Otro factor que interfiere en la realización del proyecto es la obtención de información acerca de los antecedentes de la planta, puesto que esta se encuentra en físico bajo custodia de la empresa de servicios públicos de Tocancipá, por lo que será más complicado encontrar toda la información que se requiere.



## **2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El problema de capacidad en las plantas de potabilización de agua se ha presentado en varios lugares del país, un ejemplo de esto, es la planta de tratamiento de Santa Cruz de Mompox, fue diseñada para abastecer aproximadamente 50 L/s a la comunidad, actualmente la planta presenta un consumo promedio de agua potable 98 L/s, es decir, está trabajando al doble de su capacidad de diseño (BUITRAGO, 2018). En Guateque, Boyacá se realizó la evaluación de la planta potabilizadora de agua, en donde se determinó que el diseño de la planta no suplía la capacidad para la población proyectada (CUADROS, 2016).

La importancia del buen funcionamiento de una planta potabilizadora de agua radica en la calidad de agua que entrega a cada uno de sus usuarios “The pollution of the environment, particularly that of water and its relation to the population’s health” (La contaminación del medio ambiente, particularmente la del agua y su relación con la salud de la población) (Water Quality in the State of Aguascalientes and its Effects on the, 2012) es de gran importancia para el bienestar de una comunidad, así como la capacidad que posee esta para abastecer a la población proyectada. Actualmente la cobertura que brinda el municipio de Tocancipá se ha visto afectada con el incremento de población y factores ambientales que degradan el recurso hídrico como lo son: el cambio climático, deforestación, cambios en los usos del suelo y con ello el rendimiento de su servicio.

Con el fin de abordar esta problemática, se hace la evaluación de una de las cuatro plantas de tratamiento de agua potable del municipio, en este caso la ubicada en el sector La Esmeralda, sistema que anteriormente abastecía agua potable a las veredas la Esmeralda y Canavita, pero por motivos de incremento poblacional y con esto disminución en la capacidad del sistema, se tuvo que suspender el servicio de agua potable a Canavita desde la planta la Esmeralda y adaptarle el suministro de este servicio, a la planta potabilizadora de agua los Patos del municipio de Tocancipá, teniendo en cuenta lo anterior, el ente encargado del servicio de acueducto de Tocancipá busca poder volver abastecer agua potable a la vereda Canavita y seguir brindando el servicio a la vereda La Esmeralda desde la planta potabilizadora de agua La Esmeralda. Es por esto, que se hace necesario evaluar el estado actual del Sistema, “The availability of water for human use and

consumption should be evaluated as a function of both quantity and quality.” (La disponibilidad de agua para uso humano y consumo debe ser evaluada en función tanto de la cantidad como de la calidad) (Water Quality Management in Central America:, 2006), identificando los procesos o estructuras que deben ser modificadas y con esto plantear una alternativa de diseño que permita el abastecimiento de agua a la población para el que fue diseñado el sistema en un inicio y lograr la capacidad ideal para la población proyectada.

Según un informe emitido por la empresa Consorcio de aguas de Tocancipá en el año 2013 (DIAGNÓSTICO, FORMULACIÓN, DISEÑO ACTUALIZACIÓN Y ELABORACIÓN DEL PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE TOCANCIPÁ), suministrado por la empresa de servicios públicos de Tocancipá como soporte del estado del sistema de agua potable y saneamiento básico ambiental del municipio, allí se deja en evidencia la deficiencia que tiene el sistema de potabilización de la vereda La Esmeralda, actualmente este sistema tiene parte de la red suspendida y adaptada a otra planta potabilizadora, está información fue transmitida por los operarios e ingenieros de la empresa prestadora del servicio, pero hasta el momento no existe un documento que valide dicha información.

## 2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿La planta de potabilización de agua La Esmeralda permitirá el abastecimiento de agua a la población para el que fue diseñado el sistema en un inicio? y ¿logrará la capacidad ideal para la población proyectada, con un nuevo diseño?



### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar la evaluación del funcionamiento de la planta de potabilización de agua del municipio de Tocancipá vereda la Esmeralda.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Evaluar el estado actual de la planta de tratamiento de agua de la vereda La Esmeralda, municipio de Tocancipá, con base en la información suministrada por los entes encargados y recolección de información en sitio, contando con la participación de la comunidad.
2. Establecer una metodología participativa para vincular a la comunidad en las decisiones relacionadas a la planta potabilizadora de agua y comités con la empresa prestadora del servicio que se realicen en la ejecución de la práctica social.
3. Identificar los procesos de potabilización del sistema La Esmeralda que requieran de modificación.
4. Proponer una alternativa de diseño que permita el abastecimiento de agua a la población para el que fue diseñado el sistema y cumpla con la capacidad para suplir agua potable a la población proyectada para los próximos 25 años.



#### **4. JUSTIFICACIÓN**

Actualmente la planta potabilizadora de agua La Esmeralda no cuenta con la capacidad para poder abastecer agua potable a las veredas La Esmeralda y Canavita para las que fue diseñada, lo anterior debido al gran incremento poblacional que se ha presentado en los últimos años. Para el 2019 y de acuerdo con las actas suministradas por la empresa prestadora de servicios públicos del municipio, se está prestando el servicio a una parte de las veredas mencionadas ya que la fuente de suministro no da la capacidad necesaria para su abastecimiento. en el 2018 se suspendió parte de este y se adaptó a la planta Los Patos. Por consiguiente, tampoco tendrá la capacidad para abastecer agua potable a la población proyectada para los próximos 25 años. Con base en lo anterior es necesario evaluar el estado actual de la planta potabilizadora de agua La Esmeralda, para identificar los procesos o estructuras que requieren de modificación, y de esta manera proponer una alternativa de diseño que permita brindar el servicio de agua potable para los próximos 25 años (2044) de las veredas La Esmeralda y Canavita.



## 5. MARCO DE REFERENCIA

### 5.1 MARCO TEÓRICO

5.1.1 Información General del Municipio de Tocancipá. El Municipio de Tocancipá se encuentra ubicado en el Departamento de Cundinamarca, localizado al norte de la capital del país, tiene una gran importancia por ser un centro de producción de bienes y servicios, además de un lugar atractivo para el funcionamiento de industrias. Cuenta con un área total de  $73.51 \text{ Km}^2$ , de los cuales  $0,62 \text{ Km}^2$  es área urbana (TOCANCIPÁ, 2014).

*Figura 1. Distribución geográfica del municipio de Tocancipá*



*Fuente. Oficina de turismo de Tocancipá*

5.1.1.1 Límites. Al norte limita con los municipios de Gachancipá y Zipaquirá, al oriente Gachancipá y Guatavita, al occidente Cajicá y Zipaquirá y al sur Guasca y Sopo (TOCANCIPÁ, 2017).

5.1.1.2 Población. Tocancipá Cundinamarca es un municipio con una población total de 24.154 habitantes, de los cuales 9.622 habitantes se encuentran ubicados en la

cabecera municipal y 14.532 habitantes se encuentran en la zona rural del municipio, según el censo DANE 2005, para el 2019 según proyección DANE en Tocancipá habría 35.439 habitantes de los cuales 15.297 habitantes estarían ubicados en la cabecera municipal y 20.142 habitantes en la zona rural (DANE, 2010).

5.1.2 Calidad del Agua Potable. Para que el agua sea apta para consumo no debe sobrepasar los valores máximos aceptables de las características físicas, químicas y microbiológicas estipuladas en la Resolución 2115 de 2007. Adicional a lo anterior se podrá garantizar que la calidad del agua es apta para consumo si el valor del Índice del Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) sea igual a cero, puesto que cumple con los valores aceptables para cada característica física, química y microbiológica; cuando no cumpla ninguna de ellas el valor de IRCA será 100 que corresponde al riesgo más alto (MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL Y MINISTERIO DE AMBIENTE, 2007).

5.1.2.1 Características físicas del agua para consumo humano. El agua para consumo no podrá superar los valores máximos aceptable que se relacionan en la siguiente tabla.

*Tabla 1. Características físicas del agua para consumo humano*

<b>Características físicas</b>	<b>Expresadas como</b>	<b>Valor máximo aceptable</b>
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 2115/2007 del Ministerio de la Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial*

5.1.2.2 Conductividad. El valor máximo aceptable para la conductividad puede ser hasta 1000 microsiemens/cm (MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL Y MINISTERIO DE AMBIENTE, 2007).

5.1.2.3 Potencial de Hidrogeno “pH”. El potencial de hidrogeno para consumo humano deberá estar entre 6.5 y 9.0 (MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL Y MINISTERIO DE AMBIENTE, 2007).

5.1.2.4 Características químicas que tiene mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana. El agua para consumo no podrá superar los valores máximos aceptable que se relacionan en la siguiente tabla (MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL Y MINISTERIO DE AMBIENTE, 2007).

Tabla 2. Características Químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana

Elementos y compuestos químicos que tienen implicaciones de tipo económico	Expresadas como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Calcio	Ca	60
Alcalinidad Total	CaCO <sub>3</sub>	200
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	250
Aluminio	Al <sup>3+</sup>	0,2
Dureza Total	CaCO <sub>3</sub>	300
Hierro Total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0,1
Molibdeno	Mo	0,07
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,5

Fuente. Resolución 2115/2007 del Ministerio de la Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

5.1.2.5 Características Microbiológicas del Agua para Consumo Humano.

Tabla 3. Características microbiológicas del agua para consumo humano

Técnicas utilizadas	Coliformes Totales	Escherichia coli
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 2115/2007 del Ministerio de la Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

5.1.3 Agua Potable y Saneamiento Básico en el Municipio de Tocancipá. El sistema de acueducto del municipio cuenta con cuatro sistemas de abastecimiento de agua potable en los cuales se realiza diariamente muestreos para verificar la calidad del agua. Estos sistemas son los siguientes: Tibitoc, planta de potabilización de agua Los Patos, planta de potabilización de agua La Esmeralda y planta de potabilización de agua La Fuente (TOCANCIPÁ, 2015).

5.1.4 Planta de Potabilización de Agua Compacta. Este tipo de plantas son utilizadas en lugares en los que se necesite minimizar el costo de obra y cuenten con poco espacio, pueden ser transportadas fácilmente, permiten el mantenimiento y operación sencilla y su funcionamiento es automático. Cumplen con un sistema de tratamiento integrado, en varias etapas, de acuerdo con las características del agua se utilizan los procesos de pre-aireación y oxidación (HIDRITEC, 2016).

*Figura 2. Planta de Tratamiento de Agua Potable Tipo Compacta*



*Fuente. Tecnohidro, 2018*

5.1.4.1 Aireación. Se introduce aire al agua con el fin de eliminar principalmente hierro y manganeso, adicional a lo anterior para remover olores y sabores causados por sustancias volátiles en el agua. La aireación cumple el objetivo de purificación

de agua mediante el arrastre de las sustancias volátiles provenientes de la mezcla turbulenta entre el agua y el aire. Comúnmente los aireadores son utilizados en la purificación de aguas provenientes de pozos profundos (ROJAS, 1999).

- Aireadores de bandejas múltiples. Las bandejas deben ser construidas en acero inoxidable, aluminio, concreto o maderas resistentes, también se debe agregar cloro y sulfato de cobre, con el fin de evitar corrosión o agentes biológicos (ROJAS, 1999).

Según la Resolución 330 de 2017 esta estructura debe localizarse al principio del proceso de tratamiento y el diseño debe cumplir con los siguientes parámetros (MINISTERIO DE VIVIENDA, 2017):

Carga hidráulica: 500 – 1500 m/d

Altura total: 1.2 – 3.0 m

Numero de bandejas: 3 – 9

Distancia entre bandejas: 0.3 – 0.5 m

Altura de bandeja: 0.20 – 0.25 m

Diámetro medio entre orificios: 0.025 m

Material de lecho de contacto: carbón activado o coque, ladrillo triturado, cerámica.

Tamaño del material de contacto: 1 – 12 cm

Espesor del lecho de contacto: 0.15 – 0.20 m

*Figura 3. Bandejas de Aireación*



*Fuente. Diseños y Construcciones Industriales*

5.1.4.2 Precloración. Debe utilizarse cloro residual para lograr una mayor remoción de hierro y manganeso. Funciona como un proceso complementario para terminar de oxidar compuestos ferrosos que no sean oxidados en el proceso de aireación.

Para lograr lo anteriormente mencionado deben agregarse como mínimo 0.5 mg/L de cloro libre y mantenerse en toda el área de tratamiento. Es recomendable tiempos de detención entre 10 y 30 minutos después de la cloración (BÁSICO, 2000).

5.1.4.3 Sedimentación. Para el diseño de un sedimentador de flujo ascendente o vertical, según la resolución 330 de 2017 se deben cumplir con los siguientes parámetros (MINISTERIO DE VIVIENDA, 2017):

- La unidad debe permitir un tiempo de retención hidráulica entre 2 y 4 horas.
- Debe permitir una carga superficial entre 20 y 30  $m^3/(m^2 \cdot dia)$ , la máxima carga superficial puede ser 60  $m^3/(m^2 \cdot dia)$ .
- La velocidad de flujo debe ser  $< 1 \text{ cm/s}$ .
- La altura del nivel del agua debe estar entre 4 m y 5 m.
- El diámetro del tanque debe ser menor de 40 m.

5.1.4.4 Filtración. Los filtros rápidos son utilizados para remover las partículas que no hayan sido retenidas por el sedimentador (BÁSICO, 2000). Deben cumplir con los siguientes parámetros (MINISTERIO DE VIVIENDA, 2017):

- La tasa de filtración debe ser menor a 120  $m^3/(m^2 \cdot dia)$ .
- La profundidad del medio debe estar entre 0.6 y 0.9 m.
- Se deben tener mínimo tres filtros cuando el lavado de estos se hace con tanques de lavado, cuando el lavado es mutuo se deben tener mínimo cuatro filtros.



*Figura 4. Filtros Rápidos*



*Fuente. Manantial 2017*

Los lechos de arena (fina, estándar o gruesa) deben cumplir con las siguientes características y estar dentro de los siguientes límites (BÁSICO, 2000):

- Arena fina: tamaño efectivo entre 0.35 mm y 0.45 mm.
- Arena estándar: tamaño efectivo entre 0.45 mm y 0.65 mm.
- Arena gruesa: tamaño efectivo entre 0.65 mm y 0.85 mm.

Todas con un coeficiente de uniformidad entre 1.35 y 1.70.

La arena fina se recomienda cuando el pretratamiento sea poco satisfactorio, requiera un alto grado de remoción y opere con periodos cortos de filtración. La arena gruesa se recomienda cuando el pretratamiento sea satisfactorio y no requiera un alto grado de remoción y opere con periodos largos de filtración.

5.1.4.5 Tanque de Almacenamiento. Debe estar disponible para suministrar agua en horas de máxima demanda y mantener presiones en la red de distribución (BÁSICO, 2000).

## 5.2 MARCO CONCEPTUAL

5.2.1 Agua Cruda. Agua que no ha sido sometida a proceso de tratamiento (BÁSICO, 2000).

5.2.2 Agua Potable. Agua que reúne los requisitos físicos, químicos y microbiológicos, que la hace apta para consumo (BÁSICO, 2000).

5.2.3 Aireación. Proceso en el que se produce un contacto entre el aire y el agua con el propósito de oxigenarla o de excluir gases o sustancias volátiles contenidas en ella (BÁSICO, 2000).

5.2.4 Aireadores de bandejas múltiples. Consiste en una serie de bandejas equipadas con ranuras, fondos perforados o mallas de alambre, sobre las cuales se distribuye el agua y se deja caer a un tanque (BÁSICO, 2000).

5.2.5 Filtración. Proceso mediante el cual se remueven las partículas suspendidas (BÁSICO, 2000).

5.2.6 Planta Potabilizadora de Agua Compacta. Se denomina así a la planta en la que se llevan a cabo todos los procesos en un mismo modulo prefabricado (BÁSICO, 2000).

5.2.7 Planta de Potabilización. Conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua (BÁSICO, 2000).

5.2.8 Precloración. Adición de cloro al iniciar un proceso (BÁSICO, 2000).

5.2.9 Sedimentación. Proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad, previa adición de químicos coagulantes (BÁSICO, 2000).





**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia  
Vigilada Mineducación

5.2.10 Tanque de Almacenamiento. Depósito destinado a mantener agua para su uso posterior (BÁSICO, 2000).

## 6. ESTADO DEL ARTE

Con el fin de desarrollar la propuesta de trabajo, y como herramienta fundamental se parte de información secundaria; ideas desarrolladas por otros autores que ayudan a interpretar y entender la importancia del buen funcionamiento y manejo del recurso hídrico, en beneficio de una población. Con el presente proyecto se quiere abordar la línea de saneamiento de comunidades del municipio de Tocancipá acorde a una de las disciplinas del programa académico, en este caso el agua potable para la comunidad Tocancipeña de las veredas Canavita y La Esmeralda.

Es indispensable la consulta de varias fuentes. Para el desarrollo de este se recurre a diferente información entre ella algunos trabajos de grado con el mismo enfoque. Así se hace una recolección de la información más relevante y que aporta para la elaboración de este trabajo.

A continuación, se relacionan las fuentes consultadas.

Tabla 4. Referencias Estado del arte

TITULO	AUTOR (S)	CONTENIDO RELEVANTE	AÑO-ENTIDAD-CIUDAD
DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE GUATEQUE EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACA- COLOMBIA	ZAIDA CAMILA PÉREZ CUADROS	En este trabajo de grado se hace el diagnóstico y evaluación a la planta potabilizadora de Guateque, donde se identifican el estado y funcionamiento de las estructuras existentes.	2016- Universidad Católica de Colombia- Bogotá Colombia
EVALUACIÓN TÉCNICA Y OPERATIVA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE CHOCONTÁ, CUNDINAMARCA	ANDREA CATALINA BENITO VELÁSQUEZ, YUBER YESID VALBUENA PASCUAS	En este trabajo de grado se hace la evaluación de la condiciones técnicas y operativas de la planta potabilizadora de Chocontá, confrontando el diseño y parámetros de operación de la planta con los parámetros establecidos en el RAS	2015- Universidad Distrital Francisco José de Caldas- Bogotá Colombia



Continuación tabla 4. Referencias Estado del arte

EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE TOGÚI – BOYACÁ.	MARIA FERNANDA HIGUERA CABREJO, JULIAN ANDRES PARRA BUITRAGO	En este trabajo de grado se hace la evaluación de la planta de potabilización de San Juan, puesto que esta posee un sistema de tratamiento de agua deficiente	2018 - Universidad Piloto de Colombia
EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO VALLE SAN JUAN (TOLIMA)	NIDIA VICTORIA CASTILLO GONZALEZ	En este trabajo de grado se hace la evaluación de la planta de potabilización de San Juan, puesto que esta posee un sistema de tratamiento de agua deficiente	2004 - Universidad Nacional de Colombia

Fuente propia



## 7. METODOLOGÍA

Para el desarrollo y alcance de cada uno de los objetivos propuestos, se tiene planteada una metodología centrada en la investigación acción participativa, la cual “es una forma de intervenir en los problemas sociales que busca que los conocimientos producidos por una investigación sirvan para la transformación social” (Martínez, 2018), con el fin de interactuar con la comunidad, este proyecto pretende llegar a los líderes de la comunidad y con ello a la población implicada, partiendo de las necesidades que en este momento presenta el municipio de Tocancipá. Se busca que la comunidad esté enterada y sea participe durante todo el proceso, para ello se plantean las siguientes actividades:

- Solicitud de la información técnica a la empresa prestadora de servicio de servicios públicos de Tocancipá, Planta potabilizadora de agua La Esmeralda.
- Socialización con los representantes de la comunidad implicada (Junta de acción comunal), y empresa de servicios públicos del municipio.
- Visita a la planta potabilizadora de agua La Esmeralda contando con algún representante de la comunidad. Donde se identifique, el estado actual de cada una de las estructuras y su funcionamiento.
- Análisis y caracterización de los datos obtenidos en el sitio, e información suministrada.
- Evaluación de la planta potabilizadora, identificando la red de distribución, la demanda actual que cubre y las condiciones en las que se encuentra la fuente de captación (pozo profundo).
- Estimación de la población y caudal de diseño para los próximos 25 años.
- Análisis de la capacidad de la fuente, para la nueva demanda.
- Proponer alternativa de diseño. (Elaboración de cálculos y demás entregables)
- Digitalización de planos en CAD.
- Revisión inicial del documento.
- Realización de las correcciones.
- Entrega final del documento.
- Sustentación de los entregables.
- Socialización con la comunidad y empresa de servicios públicos de Tocancipá.

## 8. RESULTADOS

Con ánimo de dar cumplimiento a los objetivos planteados anteriormente, se desarrolla el proyecto en cuatro fases.

### 8.1 FASE I: INTERACCIÓN CON LA COMUNIDAD

Para el desarrollo del presente trabajo de grado, inicialmente en marzo de 2019 se realizó un acercamiento a la Empresa de Servicios Públicos de Tocancipá, en donde, se expuso el propósito de la presente practica social, buscando su aprobación y autorización para tener acceso a la planta y a la información relacionada con la misma. Para la Empresa de Servicios Públicos el enfoque del presente trabajo llamo su atención, puesto que, uno de sus tantos objetivos como entidad pública, es saber cuál es la capacidad de suministro de la planta, para de esta manera determinar la población que podrá beneficiarse del servicio de agua potable desde esta planta potabilizadora de agua, además, de obtener información acerca de la posibilidad de un restablecimiento de servicio a la comunidad a la cual tuvo que suspenderse el agua potable desde la PTAP La Esmeralda y adaptárselo a la PTAP Los Patos.

Una vez obtenida la aprobación de la Empresa de Servicios Públicos de Tocancipá, se tuvo contacto directo con los líderes de la comunidad de la vereda La Esmeralda y Canavita, en donde, se explicó la finalidad del proyecto, buscando su aprobación para el desarrollo del presente trabajo de grado. La autorización se obtuvo con una serie compromisos, los cuales consisten en unos documentos entregables (planos y memorias de cálculo) que serán presentados y expuestos luego de obtener la aprobación por parte de la Universidad Católica.

Luego de obtenido el permiso tanto de la ESP de Tocancipá y la comunidad de las veredas. En el mes de agosto del 2019, se realizó la primera visita técnica a la PTAP La Esmeralda, con el fin de identificar los procesos que se llevan a cabo en esta, toma de datos de interés y registro fotográfico. En esta visita se tuvo el acompañamiento de personal encargado de la empresa de acueducto de Tocancipá

y una persona de la comunidad, lo anterior quedando registrado en el formato de diario de campo (ver anexo 3).

En septiembre de 2019, nuevamente se realizó una visita a la planta, con la finalidad de tomar una muestra del agua cruda que llega a la planta potabilizadora de agua La Esmeralda, para llevarla al laboratorio de la Universidad Católica de Colombia y allí realizarse una serie de ensayos para determinar la calidad del agua, en esta visita también se tuvo el acompañamiento de personal de la empresa de acueducto de Tocancipá y de la comunidad, registrando la visita mencionada anteriormente en el formato de diario de campo (ver anexo 4).

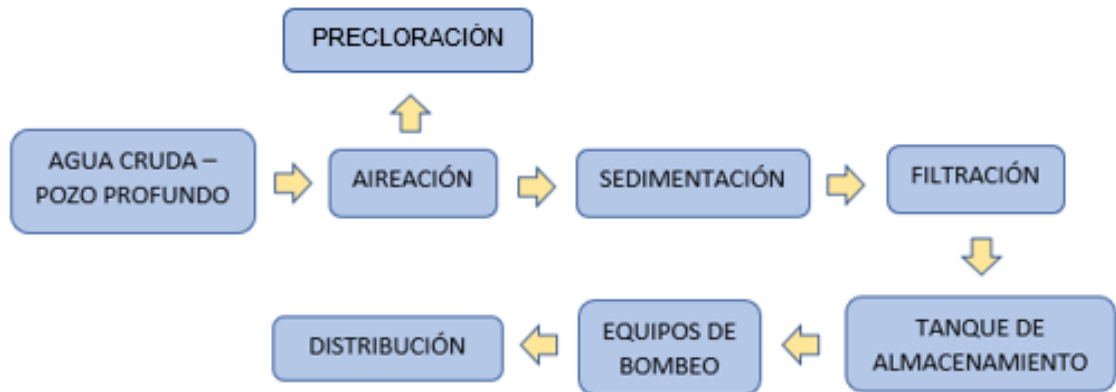
## 8.2 FASE II: VISITA A LA PLANTA Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

La presente fase consiste en la descripción del funcionamiento y estado actual de la planta potabilizadora de agua La Esmeralda, basado en la visita al sitio y recopilación de información acerca de la misma.

8.2.1 Sistema La Esmeralda. La planta potabilizadora de agua La Esmeralda está conformada por un pozo profundo de 285 m de profundidad, ubicado a una altura de 2650 m.s.n.m, el cual cumple la función de captar agua proporcionando un caudal promedio diario de 13,70 L/s, de allí es conducida a una planta de tratamiento de agua compacta con capacidad nominal de 25 L/s, en la cual se llevan a cabo los procesos de aireación, precloración con Hipoclorito de Sodio, sedimentación y filtración, para finalmente conducir el agua a un tanque de almacenamiento y de allí distribuir por bombeo agua potable a una serie de tanques ubicados en diferentes sectores de la vereda La Esmeralda.

La planta potabilizadora de agua La Esmeralda está conformada de la siguiente manera:

Figura 5. Sistema La Esmeralda



Fuente Propia

8.2.1.1 Aireación. La planta de potabilización de agua La Esmeralda cuenta con 5 bandejas de aireación de 1.96 m x 1.96 m, con espaciamento entre ellas de 40 cm, 16 agujeros en cada sentido de 1 cm de diámetro y separación entre ellos 10 cm.

Figura 6. Bandejas de Aireación Sistema La Esmeralda



Fuente Propia

8.2.1.2 Precloración. En el proceso de aireación de la planta potabilizadora de agua La Esmeralda, se agrega Hipoclorito de Sodio líquido en la última bandeja, para terminar de oxidar compuestos ferrosos.



*Figura 7. Dosificación de Hipoclorito de Sodio*



*Fuente Propia*

8.2.1.3 Sedimentación. La planta potabilizadora de agua La Esmeralda en sus componentes cuenta con un sedimentador de flujo ascendente o vertical, que consiste en un tanque circular con fondo cónico, dentro del tanque se encuentra un tubo de 6", el cual está adaptado a la última bandeja de aireación, este permite la entrada de agua al tanque.

*Figura 8. Sedimentador del Sistema La Esmeralda*



*Fuente Propia*

8.2.1.4 Filtración. En el sistema la Esmeralda se tienen 4 filtros rápidos, compuestos por lechos filtrantes con medio de arena estratificada de fino a grueso, cada filtro es auto lavable y tienen desagües.





*Figura 9. Filtración del Sistema la Esmeralda*



*Fuente Propia*

8.2.1.5 Tanques de Almacenamiento. Después de terminado el proceso de filtración el agua es llevada a un tanque de almacenamiento del cual por medio de bombeo es distribuido a los diferentes tanques de almacenamiento de la Vereda La Esmeralda y con anterioridad a Canavita.

### 8.3 FASE III: EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA LA ESMERALDA

La presente fase consiste en la revisión del diseño original de la planta con el fin de evaluar técnicamente el estado actual de la planta potabilizadora de agua La Esmeralda, basado en la norma RAS 2000 - resolución 330 de 2017.



Tabla 5. Fórmulas para obtención de resultados por cada proceso tanto de evaluación como diseño

PROYECCIÓN DE POBLACIÓN		
FORMULA	VARIABLES	FUENTE
<p>Método Aritmético</p> $k_a = \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}}$	<p><math>K_a</math>=Pendiente de la recta.</p> <p><math>P_{uc}</math> = Población del último censo. (Habitantes)</p> <p><math>T_{uc}</math> =Año del último censo. (Años)</p> <p><math>P_{ci}</math> =Población del censo inicial. (Habitantes)</p> <p><math>T_{ci}</math>=Año del censo inicial. (Años)</p>	<p>López, R.F (1995), Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, Bogotá- (Autopista Norte kilómetro 13, costado occidental), Centro Editorial, Escuela Colombiana de Ingeniería.</p>
<p>Método Geométrico</p> $P_f = P_{uc}(1 + r)^{T_f - T_{uc}}$ $r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}}\right)^{\frac{1}{T_{uc} - T_{ci}}} - 1$	<p><math>P_f</math>=Población final. (Habitantes)</p> <p><math>P_{uc}</math> = Población del último censo. (Habitantes)</p> <p><math>P_{ci}</math> = Población censo inicial. (Habitantes)</p> <p><math>T_{uc}</math> =Año del último censo. (Años)</p> <p><math>T_{ci}</math> =Año censo inicial. (Años)</p> <p><math>T_f</math>=Año final. (Años)</p>	<p>López, R.F (1995), Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, Bogotá- (Autopista Norte kilómetro 13, costado occidental), Centro Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.</p>



Continuación tabla 5 Fórmulas para obtención de resultados por cada proceso tanto de evaluación como diseño

<p>Método Exponencial</p> $P_f = P_{ci} * e^{\overline{k_g}(T_f - T_{ci})}$ $K_g = \frac{\ln * P_{cp} - \ln * P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$	<p><math>P_f</math>=Población final. (Habitantes)</p> <p><math>P_{ci}</math> = Población censo inicial. (Habitantes)</p> <p><math>P_{cp}</math>=Población del censo posterior. (Habitantes)</p> <p><math>P_{ca}</math> = Población del censo anterior. (Habitantes)</p> <p><math>T_{cp}</math> =Año correspondiente al censo posterior. (Años)</p> <p><math>T_{ca}</math>=Año correspondiente al censo anterior. (Años)</p> <p><math>T_{ci}</math> =Año correspondiente al censo inicial. (Años)</p> <p><math>T_f</math>=Año final. (Años)</p> <p><math>\ln</math>=Logaritmo natural.</p> <p><math>K_g</math> = Tasa de crecimiento</p>	<p>López, R.F (1995), Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, Bogotá- (Autopista Norte kilómetro 13, costado occidental), Centro Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.</p>
<p>PROYECCIÓN DE DEMANDA</p>		
<p>Perdidas en el sistema</p> $DB = \frac{DN}{(1 - \%Perdidas)}$	<p><math>DB</math>=Dotación bruta. (Litro/Habitante*Día)</p> <p><math>DN</math> =Dotación neta. (Litro/Habitante*Día)</p>	<p>EL MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS 2000, TITULO B, 2da Edición,</p>



Continuación tabla 5 Fórmulas para obtención de resultados por cada proceso tanto de evaluación como diseño

<p>Caudal medio diario</p> $Q_{md} = \frac{P * DB}{86400}$	<p><math>Q_{md}</math>=Caudal Medio diario. (L/S)  <math>DB</math>=Dotación bruta.          (Litro/Habitante*Día)  <math>P</math> =Población. (Habitantes)</p>	<p>EL MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS 2000, TITULO B, 2da Edición, Bogotá D.C, agosto 2019, pág. 39</p>
<p>Caudal máximo diario</p> $Q_{MD} = Q_{md} * K_1$	<p><math>Q_{MD}</math>=Caudal máximo diario. (L/S)  <math>Q_{md}</math>=Caudal Medio diario. (L/S)  <math>K_1</math>=Coeficiente de consumo máximo diario.</p>	<p>EL MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (2003), Definición de nivel de complejidad y evaluación de la población, dotación y demanda del agua, Bogotá D.C, Panamericana formas e impresos. S.A.</p>
<p>Caudal máximo horario</p> $Q_{MH} = Q_{MD} * K_2$	<p><math>Q_{MH}</math>=Caudal máximo horario. (L/S)  <math>Q_{MD}</math>=Caudal máximo diario. (L/S)  <math>K_2</math>=Coeficiente de consumo máximo horario.</p>	<p>EL MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (2003).</p>



Continuación tabla 5 Fórmulas para obtención de resultados por cada proceso tanto de evaluación como diseño

BANDEJAS DE AIREACIÓN		
<p>Carga Hidráulica</p> $CHS = \frac{Q}{A}$	<p><b>CHS</b> = Carga Hidráulica superficial</p> <p><b>A</b> = Área (m<sup>2</sup>)</p> <p><b>Q</b> = Caudal en (m<sup>3</sup>/día)</p>	<p>Rojas, J.A (1999), Potabilización de agua 3ra edición, México D.F, Alfaomega grupo editor S.A</p>
<p>Área de orificios</p> $A = \frac{\pi * \varnothing^2}{4}$	<p><b>A</b> = Área (m<sup>2</sup>)</p> <p><math>\varnothing</math>=Diámetro de las perforaciones (m)</p>	
<p>Velocidad</p> $V = \frac{Q}{A}$	<p><b>A</b> = Área (m<sup>2</sup>)</p> <p><b>Q</b> = Caudal en (<math>\frac{m^3}{s}</math>)</p> <p><b>V</b> = Velocidad en (<math>\frac{m}{s}</math>)</p>	<p>Rojas, J.A (1999), Potabilización de agua 3ra edición, México D.F, Alfaomega grupo editor S.A</p>
<p>Altura de bandeja</p> $Q = Cd * A * \sqrt{2 * g * H}$	<p><b>Cd</b> = Coeficiente descarga (0.82)</p> <p><b>A</b> = Área (m<sup>2</sup>)</p> <p><b>g</b> = Gravedad 9.81 m/s<sup>2</sup></p> <p><b>H</b> = Altura (m)</p>	<p>López, R.F (1995), Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, Bogotá- (Autopista Norte kilómetro 13, costado occidental), Centro Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.</p>



Continuación tabla 5 Fórmulas para obtención de resultados por cada proceso tanto de evaluación como diseño

TANQUE SEDIMENTADOR		
Volumen de un cono truncado  $V = \frac{\pi * h}{3} * (R_I^2 + R_s^2 + (R_I * R_s))$	$R_i = \text{Radio inferior (m)}$  $R_s = \text{Radio superior (m)}$  $V = \text{Volumen } m^3$  $h = \text{Altura (m)}$	
Tiempo de retención  $t = \frac{V}{Q}$	$T = \text{Tiempo (días)}$  $V = \text{Volumen total } (m^3)$  $Q = \text{Caudal}(m^3/\text{Día})$	Rojas, J.A (1999), Potabilización de agua 3ra edición, México D.F, Alfaomega grupo editor S. A
Velocidad de flujo  $V = \frac{D}{T}$	$D = \text{Distancia (m)}$  $V = \text{Velocidad flujo}(m/s)$  $T = \text{Tiempo (minutos)}$	Rojas, J.A (1999), Potabilización de agua 3ra edición, México D.F, Alfaomega grupo editor S.A
Carga hidráulica  $Cs = \frac{Q}{A}$	$Cs = \text{Carga hidraulica } \left(\frac{m}{\text{día}}\right)$  $Q = \text{Caudal}(m^3/\text{Día})$  $A = \text{Área } (m^2)$	Rojas, J.A (1999), Potabilización de agua 3ra edición, México D.F, Alfaomega grupo editor S.A



Continuación tabla 5 Fórmulas para obtención de resultados por cada proceso tanto de evaluación como diseño

<p>Velocidad inicial</p> $V_0 = \frac{Q}{A * \text{sen } 60}$	<p><math>V_0 = \text{Velocidad inicial } \left(\frac{m}{s}\right)</math></p> <p><math>Q = \text{Caudal}(m^3/\text{Día})</math></p> <p><math>A = \text{Área } (m^2)</math></p>	<p>Rojas, J.A (1999), Potabilización de agua 3ra edición, México D.F, Alfaomega grupo editor S.A</p>
<p>Longitud de sedimentación</p> $L = \frac{L.p}{d}$	<p><math>L = \text{Longitud de sedimentación } (m)</math></p> <p><math>L.p = \text{Longitud de las placas } (m)</math></p>	<p>Rojas, J.A (1999), Potabilización de agua 3ra edición, México D.F, Alfaomega grupo editor S.A</p>
<p>Longitud corregida</p> $L' = \frac{0.013 * d * v_0}{v}$	<p><math>d = \text{Espesor de placa } (m)</math></p> <p><math>V_0 = \text{Velocidad inicial } \left(\frac{m}{s}\right)</math></p> <p><math>V = \text{Viscosidad } (m^2/s)</math></p>	<p>Rojas, J.A (1999), Potabilización de agua 3ra edición, México D.F, Alfaomega grupo editor S.A</p>
<p>Velocidad crítica de asentamiento</p> $V_{sc} = \frac{S_c * v_0}{\text{Sen } \theta + L_c * \text{Cos } \theta}$	<p><math>L_c = \text{Longitud corregida } (m)</math></p> <p><math>S_c = \text{Velocidad inicial } \left(\frac{m}{s}\right)</math></p> <p><math>V_0 = \text{Velocidad inicial } \left(\frac{m}{s}\right)</math></p>	<p>Rojas, J.A (1999), Potabilización de agua 3ra edición, México D.F, Alfaomega grupo editor S.A</p>



Continuación tabla 5 Fórmulas para obtención de resultados por cada proceso tanto de evaluación como diseño

<p>Número de Reynolds</p> $N_{RE} = \frac{V_0 * d}{\nu}$	<p><b><i>NRE</i></b> = Numero de reynolds</p> <p><b><i>d</i></b> = Espesor de placa (m)</p> <p><b><i>Vo</i></b> = Velocidad inicial <math>\left(\frac{m}{s}\right)</math></p> <p><b><i>\nu</i></b> = Viscosidad (m<sup>2</sup>/s)</p>	<p>Rojas, J.A (1999), Potabilización de agua 3ra edición, México D.F, Alfaomega grupo editor S.A</p>
<p>Tiempo de retención</p> $t = \frac{L.P}{v_0}$	<p><b><i>T</i></b> = Tiempo de retención (s)</p> <p><b><i>L.p</i></b> = Longitud de placas (m)</p> <p><b><i>Vo</i></b> = Velocidad inicial <math>\left(\frac{m}{s}\right)</math></p>	<p>Rojas, J.A (1999), Potabilización de agua 3ra edición, México D.F, Alfaomega grupo editor S.A</p>
<p>Tiempo de retención Altura canal flujo critico</p> $y_c = \sqrt[3]{\frac{Q}{b * g}}$	<p><b><i>Yc</i></b> = Daltura critica en canal (m)</p> <p><b><i>Q</i></b> = Caudal (m<sup>3</sup>/s)</p> <p><b><i>b</i></b> = base en canal(m)</p> <p><b><i>g</i></b> = gravedad = 9.81 (m/s<sup>2</sup>)</p>	<p>VEN TE SHOW ph.D (2004), Hidráulica de canales abiertos ,santa fe de Bogotá , Editorial Nomos S.A</p>
<p>Radio hidráulico</p> $h = \frac{Area}{Perimetro mojado}$	<p><b><i>A</i></b> = Área (m<sup>2</sup>)</p> <p><b><i>g</i></b> = Perimetro mojado (m)</p>	<p>VEN TE SHOW ph.D (2004), Hidráulica de canales abiertos ,santa fe de Bogotá , Editorial Nomos S.A</p>





Continuación tabla 5 Fórmulas para obtención de resultados por cada proceso tanto de evaluación como diseño

<p>Ecuación de Manning</p> $Q = \frac{A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n}$	<p><math>A = \text{Área (m}^2\text{)}</math>  <math>R = \text{Radio hidraulico (m)}</math>  <math>Q = \text{Caudal m}^3\text{/s}</math>  <math>n = \text{Coeficiente de rugosidad}</math>  <math>S = \text{Pendiente}</math></p>	<p>López, R.F (1995), Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, Bogotá- (Autopista Norte kilómetro 13, costado occidental), Centro Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.</p>
<p><b>FILTROS</b></p>		
<p>Volumen de un cilindro</p> $V = \pi * r^2 * h$	<p><math>r = \text{radio (m)}</math>  <math>V = \text{Volumen total (m}^3\text{)}</math>  <math>h = \text{Altura (m)}</math></p>	
<p>Tasa de filtración</p> $Tf = \frac{Q}{A}$	<p><math>Q = \text{Caudal (m}^3\text{/Día)}</math>  <math>A = \text{Área (m}^2\text{)}</math></p>	<p>Rojas, J.A (1999), Potabilización de agua 3ra edición, México D.F, Alfaomega grupo editor S.A</p>



Continuación tabla 5 Fórmulas para obtención de resultados por cada proceso tanto de evaluación como diseño

TANQUE DE ALMACENAMIENTO		
Tiempo de retención  $t = \frac{V}{Q}$	$T = \text{Tiempo (días)}$ $V = \text{Volumen util (m}^3\text{)}$ $Q = \text{Caudal(m}^3\text{/Día)}$	Rojas, J.A (1999), Potabilización de agua 3ra edición, México D.F, Alfaomega grupo editor S.A
Volumen del tanque  $V = 1.2 * Q * V\%$	$V\% = \text{Porcentaje volumen}$ $Q = \text{Caudal(m}^3\text{/Día)}$ $V = \text{Volumen del tanque (m}^3\text{)}$	Rojas, J.A (1999), Potabilización de agua 3ra edición, México D.F, Alfaomega grupo editor S.A
Capacidad de almacenamiento  $CA = \frac{1}{3} * Q_{MD} + P_{Incendios}$	$CA = \text{Capacidad almacenamiento(m}^3\text{)}$ $Q_{MD} = \text{Caudal(m}^3\text{/Día)}$ $P_{Incendios} = \text{Incremento para incendios}$	Rojas, J.A (1999), Potabilización de agua 3ra edición, México D.F, Alfaomega grupo editor S.A
POZO PROFUNDO		
Capacidad del pozo  $CE = \frac{Q}{Ab}$	$CE = \text{Caudal Esperado } \left(\frac{L}{s} / m\right)$ $Q = \text{Caudal (L/s)}$ $Ab = \text{Abatimiento (m)}$	Quintero, S.J (1994), Hidráulica de pozos, Santafé de Bogotá.



Continuación tabla 5 Fórmulas para obtención de resultados por cada proceso tanto de evaluación como diseño

ADUCCIÓN		
Diámetro requerido línea de aducción $Q = 0.2785 * C * D^{2.63} * \left(\frac{hf}{L}\right)^{0.54}$	$D =$ <i>Diámetro de la tubería (m)</i> $Q =$ <i>Caudal m<sup>3</sup>/s</i> $C =$ <i>Coeficiente rugosidad Hazen williams</i> $hf =$ <i>Perdida de carga tramo (m)</i> $L =$ <i>Longitud tramo (m)</i>	López, R.F (1995), Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, Bogotá- (Autopista Norte kilómetro 13, costado occidental), Centro Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Fuente Propia

### 8.3.1 Determinación de la Calidad del Agua

Tabla 6. Características Físicas, Químicas y Microbiológicas de la PTAP la Esmeralda

PARÁMETROS RESOLUCIÓN 2115 DE 2007		PTAP ESMERALDA			
TIPO DE CARACTERÍSTICAS	VALOR MAX. ACEPTABLE	VALOR OBTENIDO AGUA CRUDA	VALOR OBTENIDO AGUA TRATADA	OBSERVACIÓN	
<b>FÍSICAS</b>	Color Aparente (UPC)	15	0.5	0.2	CUMPLE
	Turbiedad (UNT)	2	0.07	0.07	CUMPLE
	Conductividad (microsiemens/cm)	1000	96	101	CUMPLE
	Potencial de Hidrogeno - pH	6.5 - 9.0	6.95	7.36	CUMPLE
<b>QUÍMICAS que tienen implicaciones sobre la salud humana</b>	Nitritos - NO <sub>2</sub> (mg/L)	0.1	0.003	0	CUMPLE
	Nitratos - NO <sub>3</sub> (mg/L)	10	0.6	0	CUMPLE
<b>QUÍMICAS que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud</b>	Alcalinidad Total - CaCO <sub>3</sub> (mg/L)	200	49	0	CUMPLE
	Cloruros - Cl (mg/L)	250	10	0	CUMPLE
	Dureza Total - CaCO <sub>3</sub> (mg/L)	300	36	0	CUMPLE
	Hierro Total - Fe (mg/L)	0.3	0.06	0	CUMPLE
	Sulfatos - SO <sub>4</sub> (mg/L)	250	1	0	CUMPLE
	Fosfatos PO <sub>4</sub> (mg/L)	0.5	0.12	0	CUMPLE
<b>QUÍMICAS de otras sustancias utilizadas en la potabilización</b>	Cloro Residual - Cl <sub>2</sub> (mg/L)	0.3 - 2.0	N/A	1.17	CUMPLE
<b>MICROBIOLÓGICAS</b>	Coliformes Totales	UFC/100 cm <sup>3</sup>	Ausencia	Ausencia	CUMPLE
	Escherichia Coli	UFC/100 cm <sup>3</sup>	Ausencia	Ausencia	CUMPLE

Fuente. Informe de 2014 Empresa de Servicios Públicos de Tocancipá

8.3.1.1 Pruebas de laboratorio para determinar la calidad del agua. En la visita a la planta de tratamiento, del agua que llega a las bandejas de aireación se tomó una muestra, con la finalidad de realizar pruebas de laboratorio para determinar la calidad del agua.

Para determinar la calidad del agua cruda que se obtuvo del pozo profundo el Milagro, en el laboratorio de la Universidad Católica de Colombia se desarrollaron las siguientes pruebas:

Figura 10. Toma de muestra de agua cruda



Fuente Propia

- Color aparente. Corresponde a la muestra tal y como se obtiene de la fuente.

Para determinar el color aparente se llevó a cabo el siguiente procedimiento: se llenó una celda cuadrada de medición de color hasta la marca de 10 mL, esta fue ingresada en el equipo espectrómetro, seleccionando el programa para la determinación del color.

- Potencial de hidrogeno “pH”. Teniendo en cuenta que el pH es una escala que permite determinar el grado de acidez o alcalinidad de un líquido, y que esto depende de la cantidad de iones de hidrogeno que están contenidos en esta, en el momento que se tomó la muestra de agua en la planta de tratamiento se determinó el potencial de hidrogeno por medio de tiras indicadoras de pH.

Figura 11. Determinación de pH por medio de tiras indicadoras de pH



Fuente Propia

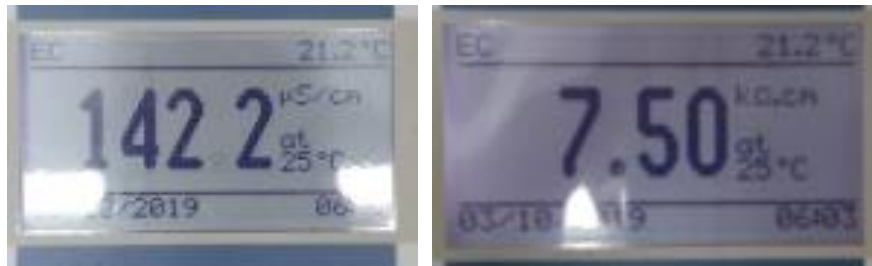
Adicional a lo anterior en el laboratorio de la universidad se tomaron 50 mL de la muestra de agua cruda y por medio del equipo multiparamétrico, se determinó nuevamente el pH, obteniendo también el resultado de conductividad, resistividad, sólidos en suspensión, salinidad y temperatura.

Figura 12. Determinación de pH por medio del equipo multiparamétrico



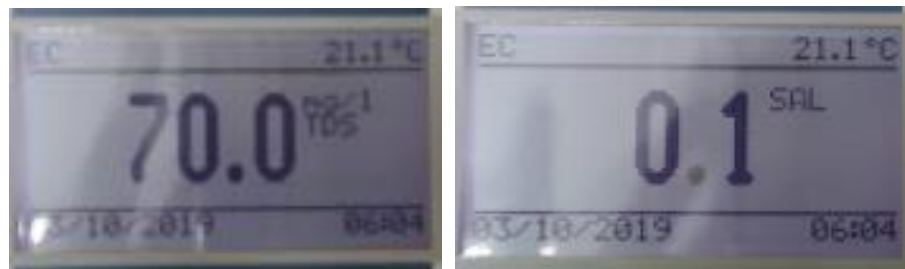
Fuente Propia

Figura 13. Determinación de Conductividad y Resistividad por medio del equipo multiparamétrico



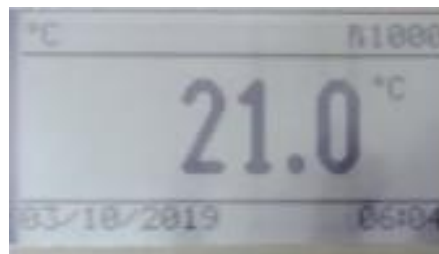
Fuente Propia

Figura 14. Determinación de Sólidos en Suspensión y Salinidad por medio del equipo multiparamétrico



Fuente Propia

Figura 15. Determinación de la temperatura por medio del equipo multiparamétrico



Fuente Propia

- Turbiedad. Puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos.

Para determinar la turbidez se llevó a cabo el siguiente procedimiento: se llenó una celda de medición, libre de impurezas, suciedad o cualquier otro elemento que aporte turbidez a la muestra, luego de secada la celda externamente se ingresó al turbidímetro en donde aparecieron diferentes resultados, tomando como definitivo el valor que apareció seguido y estable.

Resultados: 0.123, 0.149, 0.433, 0.45, 0.47, 0.483, 0.483, 0.485, 0.485, 0.485, de los cuales se tomó el valor que apareció más seguido, es decir 0.485.

Figura 16. Determinación de la turbidez por medio del equipo turbidímetro



Fuente Propia

- Hierro. El agua que se extrae de pozos profundos puede parecer incolora recién extraída, pero cuando tiene contacto con el aire comienza a tornarse de color rojo, a lo cual se le llama oxidación, donde el hierro disuelto altamente soluble se convierte en hierro precipitado. Estas concentraciones se miden en mg/L.

Para determinar el contenido de hierro se llevó a cabo el siguiente procedimiento: se tomó 50 mL de la muestra de agua a la cual se le agregó reactivo ferro, para luego llenar una celda cuadrada de medición con 10 mL de la muestra de agua + reactivo ferro, agitando durante 3 minutos, para luego introducir la celda en el equipo espectrofotómetro seleccionando el programa para análisis de hierro.

Figura 17. Determinación del contenido de Hierro por medio del equipo espectrofotómetro



Fuente Propia



- Alcalinidad: este parámetro permite determinar la capacidad del agua para neutralizar ácidos.

Para determinar la alcalinidad total de la muestra de agua se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

1. Alcalinidad - fenolftaleína: se tomó 100 mL de la muestra de agua cruda, para luego traspasarla a un Erlenmeyer. En una bureta se agregó fenolftaleína (base), con el fin de ir adicionando gota a gota la fenolftaleína en el Erlenmeyer hasta que la muestra de agua se tornará de color rosado, el cual fue adquirido después de agregarle a la muestra de agua 1.5 mL de fenolftaleína.

*Figura 18. Determinación de la alcalinidad con fenolftaleína*



*Fuente Propia*

2. Alcalinidad - naranja de metilo: se tomó 100 mL de la muestra de agua cruda, para luego traspasarla a un Erlenmeyer. En una bureta se agregó naranja de metilo (ácido), con el fin de ir adicionando gota a gota el naranja de metilo en el Erlenmeyer hasta que la muestra de agua se tornará de salmón, el cual fue adquirido después de agregarle a la muestra de agua 5 mL de naranja de metilo.

Figura 19. Determinación de la alcalinidad con naranja de metilo



Fuente Propia

La alcalinidad total se determina sumando la cantidad de mL de fenolftaleína y naranja de metilo que se tuvieron que agregar a las muestras de agua cruda para que se tornarán de los respectivos colores y multiplicándolo por 10.

$$\text{Alcalinidad total} = (\text{NaOH (mL)} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ (mL)}) * 10$$

$$\text{Alcalinidad total} = (1.5 \text{ NaOH mL} + 5.0 \text{ H}_2\text{SO}_4 \text{ mL}) * 10$$

$$\text{Alcalinidad total} = 65 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ de carbonato de Calcio}$$

- Dureza: este parámetro permite determinar la presencia de iones de Calcio y Magnesio.

Para determinar la dureza de la muestra de agua se llevó a cabo el siguiente procedimiento: se tomó 50 mL de la muestra de agua cruda, a la cual se agregó 1 mL de amoníaco y 1 mg de indicador de color negro de Eriocromo T. En una bureta se agregó EDTA, con el fin de ir adicionando gota a gota EDTA en el Erlenmeyer hasta que la muestra de agua se tornará de azul, el cual fue adquirido después de agregarle a la muestra de agua 2 mL de EDTA. La dureza total se obtiene multiplicando la cantidad de mL de EDTA por 20.

$$\text{Dureza total} = \text{mL de EDTA} * 20$$

$$\text{Dureza total} = 2 \text{ mL de EDTA} * 20$$

$$\text{Dureza total} = 40 \text{ mg de carbonato de calcio}$$



Figura 20. Determinación de dureza con EDTA



Fuente Propia

Tabla 7. Características Físicas y Químicas de la PTAP la Esmeralda, Resultados Obtenidos de la Prueba de Laboratorio

PARÁMETROS RESOLUCIÓN 2115 DE 2007			PTAP ESMERALDA	
TIPO DE CARACTERÍSTICAS	VALOR MAX. ACEPTABLE	VALOR OBTENIDO AGUA CRUDA	OBSERVACIÓN	
<b>FÍSICAS</b>	Color Aparente (UPC)	15	0.5	<b>CUMPLE</b>
	Turbiedad (UNT)	2	0.485	<b>CUMPLE</b>
	Conductividad (microsiemens/cm)	1000	142.2	<b>CUMPLE</b>
	Potencial de Hidrogeno - pH	6.5 - 9.0	5.794	<b>NO CUMPLE</b>
	Temperatura (°C)		21°C	
	Resistividad (K.Ω.cm)		7.50	
	Solidos en suspensión (mg/L)		70	
	Salinidad		0.1	
<b>QUÍMICAS que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud</b>	Alcalinidad Total - CaCO <sub>3</sub> (mg/L)	200	65	<b>CUMPLE</b>
	Dureza Total - CaCO <sub>3</sub> (mg/L)	300	40	<b>CUMPLE</b>
	Hierro Total - Fe (mg/L)	0.3	0.04	<b>CUMPLE</b>

Fuente Propia

8.3.2 Estudio de Población. El presente capítulo presenta un análisis de la población de acuerdo con los parámetros establecidos en el reglamento técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 0330 resolución del 2017- capítulo I.

Donde se establece un periodo de diseño de 25 años, esta proyección se hará hasta el 2044, para lo cual es necesario realizar una proyección futura de población para estimación de dotación y demanda requerida.

Con el objeto de evaluar si es posible reestablecer el sistema al diseño original donde se supe la demanda de agua potable para las veredas: Canavita y la Esmeralda.

Se establece un nivel de complejidad medio de acuerdo con la población con la que cuenta el municipio y según los establecido en el reglamento técnico RAS, se emplean modelos matemáticos para la proyección de la población como: Método lineal, geométrico y exponencial.

8.3.2.1 Información censal. Para el análisis poblacional de Tocancipá se toma como recurso la base de datos suministrada por el Departamento Administrativo Nacional de estadísticas de Colombia DANE, descargada de la página oficial de esta institución ([www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co)), partiendo de registros históricos de los años 1964, 1973, 1985, 1993 y 2005. Los datos suministrados se presentan en la tabla 8.

*Tabla 8. Censos población*

<b>Año</b>	<b>Población Tocancipá DANE</b>
1964	3,312
1973	4,465
1985	7,085
1993	11,155
2005	24,154

*Fuente. DANE*

- Método Aritmético. El aumento de la población es constante e independiente del tamaño de crecimiento, su comportamiento es lineal.

Realizando el calculo de la pendiente de la recta para cada uno de los datos censados se obtiene un valor de  $\overline{Ka}$  promedio con el que se hace la proyeccion para los proximos 25 años.



$$k_{a1} = \frac{24.154 - 3.312}{2005 - 1964} = 508.34 \text{ hab/año}$$

$$k_{a2} = \frac{24.154 - 4.465}{2005 - 1973} = 615.28 \text{ hab/año}$$

$$k_{a3} = \frac{24.154 - 7.085}{2005 - 1985} = 853.45 \text{ hab/año}$$

$$k_{a4} = \frac{24.154 - 11.155}{2005 - 1993} = 1.083 \text{ hab/año}$$

$$\overline{K_a} = 765.08 \text{ hab/año}$$

Tabla 9. Tasa promedio método algebraico

DANE		
Año	Población	Ka
1964	3,312	508.34
1973	4,465	615.28
1985	7,085	853.45
1993	11,155	1,083.25
2005	24,154	
	<b>Promedio</b>	<b>765.08</b>

Fuente propia

Se hace el análisis cada quinquenio para los años a proyectar.

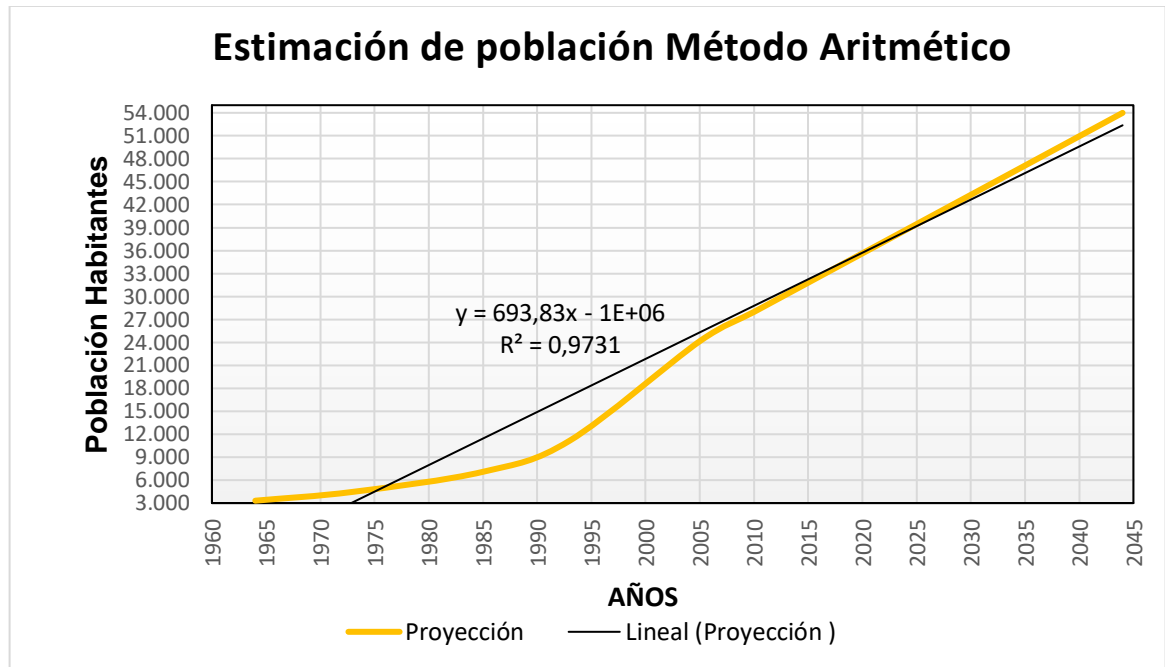
$$P_{f(2010)} = 24154 + 765 (2010 - 2005) = 27,979 \text{ habitantes.}$$

Tabla 10. Resumen de datos método Aritmético

MÉTODO ARITMÉTICO	
Año	Población (Habitantes)
<b>2005</b>	24,154
<b>2010</b>	27,979
<b>2015</b>	31,805
<b>2020</b>	35,630
<b>2025</b>	39,456
<b>2030</b>	43,281
<b>2035</b>	47,106
<b>2040</b>	50,932
<b>2044</b>	53,992

Fuente Propia

Gráfica 1. Método Aritmético



*Fuente Propia*

- Método Geométrico. El crecimiento será geométrico si el aumento de población es proporcional al tamaño de ésta.

Realizando el calculo de la tasa de crecimiento para cada uno de los datos censados se obtiene un valor de  $\bar{r}$  promedio con el que se hace la proyeccion para los proximos 25 años.

$$r_1 = \left( \frac{24,154}{11,155} \right) * \frac{1}{(2005-1993)} - 1 = 6.65\%$$

$$r_2 = \left( \frac{24,154}{7,085} \right) * \frac{1}{(2005-1985)} - 1 = 6.32\%$$

$$r_3 = \left( \frac{24,154}{4,465} \right) * \frac{1}{(2005-1973)} - 1 = 5.42\%$$

$$r_4 = \left( \frac{24,154}{3,312} \right) * \frac{1}{(2005-1964)} - 1 = 4.97\%$$

$$\bar{r} = 5.84\%$$



Tabla 11. Tasa promedio método geométrico

<b>DANE</b>		
<b>Año</b>	<b>Población</b>	<b>r (%)</b>
1964	3,312	4.97%
1973	4,465	5.42%
1985	7,085	6.32%
1993	11,155	6.65%
2005	24,154	
		<b>5.84%</b>

Fuente Propia

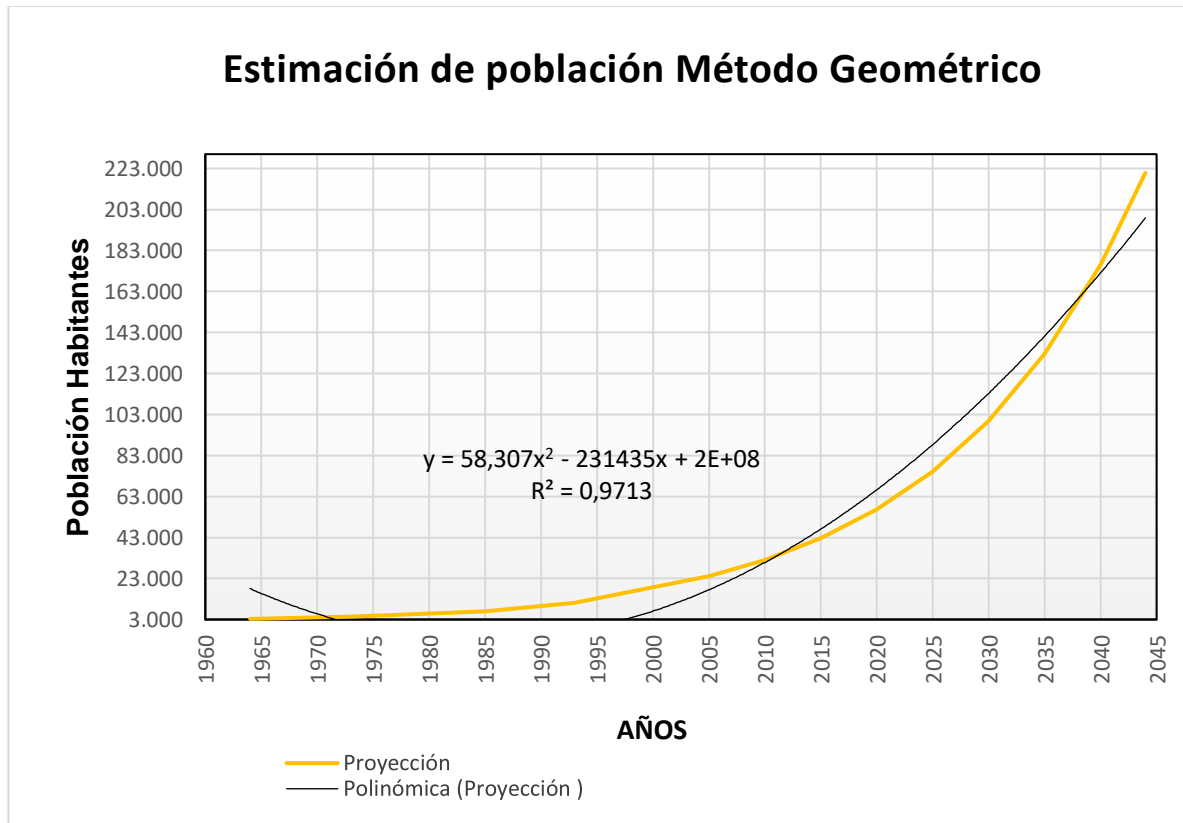
A continuación, se presenta la población calculada.

Tabla 12. Resumen de datos método Geométrico

<b>MÉTODO GEOMÉTRICO</b>		
<b>Año</b>	<b>r (%)</b>	<b>Población (Habitantes)</b>
2005	5.84%	24,154
2010	5.84%	32,079
2015	5.84%	42,604
2020	5.84%	56,583
2025	5.84%	75,148
2030	5.84%	99,805
2035	5.84%	132,551
2040	5.84%	176,041
2044	5.84%	220,902

Fuente Propia

Gráfica 2. Método Geométrico



Fuente Propia

- Método Exponencial. Requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población, en donde el último censo corresponde a la proyección del DANE.

Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y posean abundantes áreas de expansión.

Realizando el calculo de la tasa de crecimiento para cada uno de los datos censados se obtiene un valor de  $\overline{kg}$  promedio con el que se hace la proyeccion para los proximos 25 años.

$$k_{g1} = \frac{\ln*(4,465) - \ln*(3,312)}{1973 - 1964} = 3.3\%$$

$$k_{g2} = \frac{\ln*(7,085) - \ln*(4,465)}{1985 - 1973} = 3.8\%$$



$$k_{g3} = \frac{\ln*(11,155) - \ln*(7,085)}{1993 - 1985} = 5.7\%$$

$$k_{g4} = \frac{\ln*(24,154) - \ln*(11,155)}{2005 - 1993} = 5.7\%$$

$$\overline{Kg} = 4.82\%$$

Tabla 13. Tasa promedio método exponencial

DANE		
Año	Población	Kg (%)
1964	3,312	0.033
1973	4,465	0.038
1985	7,085	0.057
1993	11,155	0.064
2005	24,154	
<b>Kg Promedio</b>		<b>4.82%</b>

Fuente Propia

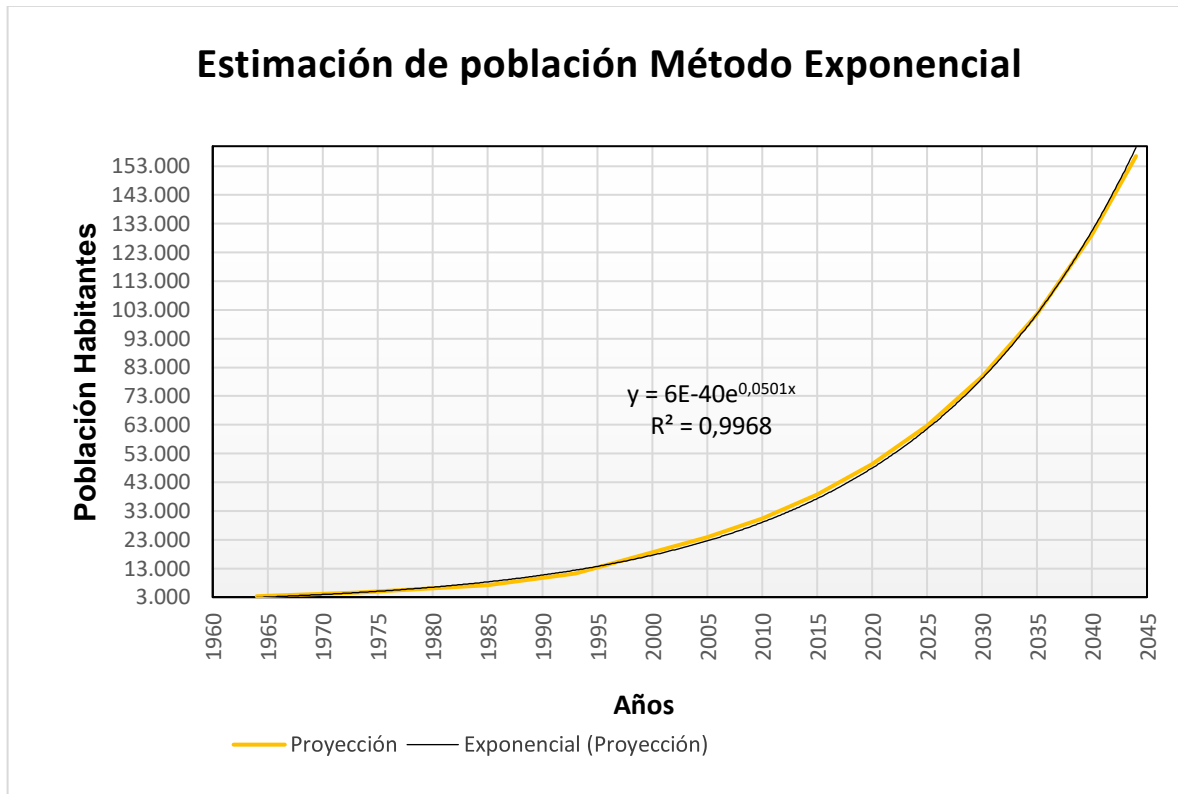
A continuación, se presenta la población calculada.

Tabla 14. Resumen de datos método Exponencial

MÉTODO EXPONENCIAL		
Año	Kg (%)	Población (Habitantes)
2005	4.82%	23,893
2010	4.82%	30,404
2015	4.82%	38,689
2020	4.82%	49,232
2025	4.82%	62,648
2030	4.82%	79,719
2035	4.82%	101,442
2040	4.82%	129,085
2044	4.82%	156,532

Fuente Propia

Gráfica 3. Método Exponencial



Fuente Propia

Para la proyección final de la población al periodo de 2044, se obtiene un promedio de los tres modelos matemáticos usados.

Tabla 15. Resumen de datos proyección de población

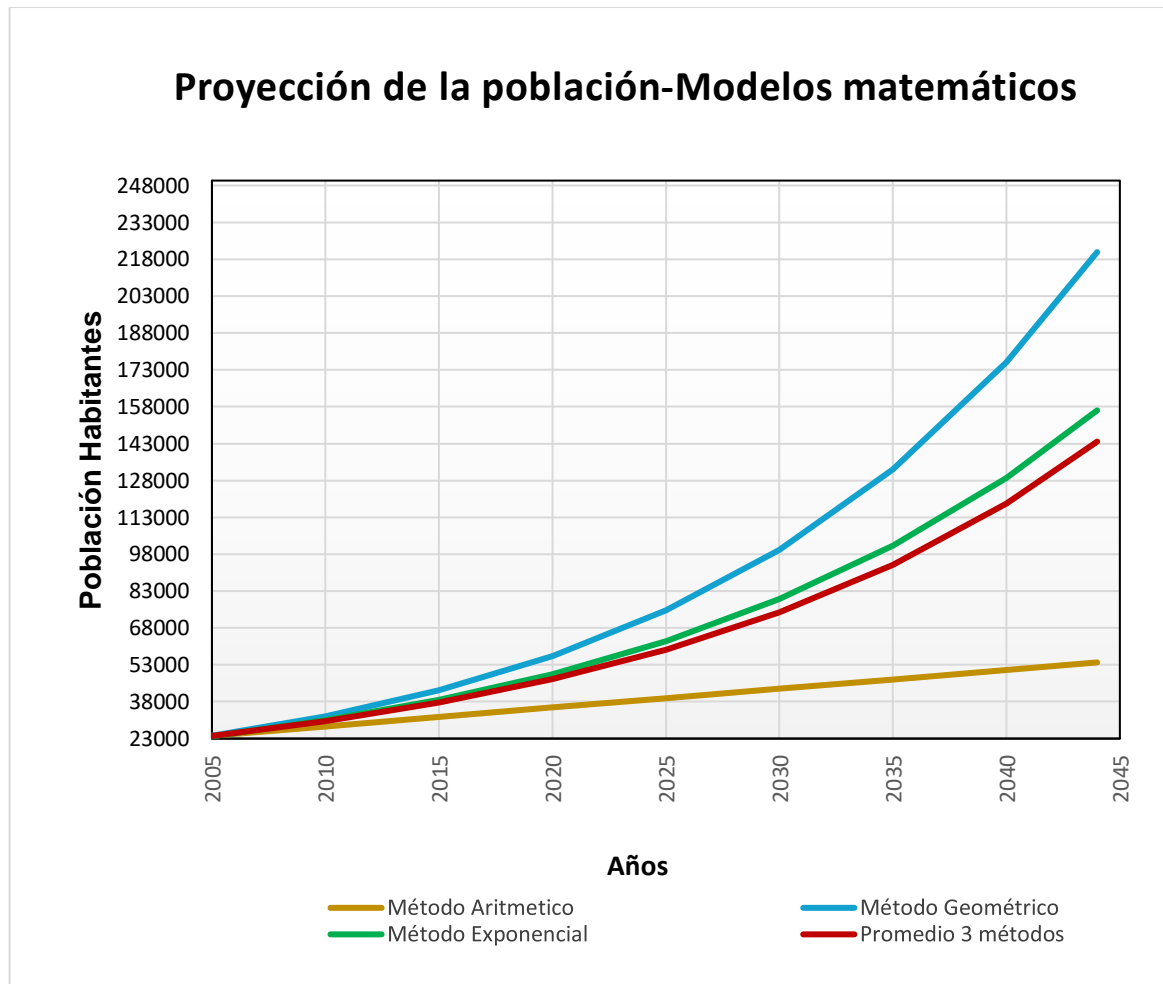
RESUMEN DE DATOS OBTENIDOS CON LOS MÉTODOS ESTADÍSTICOS				
AÑO	MÉTODO ARITMÉTICO	MÉTODO GEOMÉTRICO	MÉTODO EXPONENCIAL	PROMEDIO
2005	24154	24154	23893	24067
2010	27979	32079	30404	30154
2015	31805	42604	38689	37700
2020	35630	56583	49232	47148
2025	39456	75148	62648	59084
2030	43281	99805	79719	74268

Continuación tabla 15 Resumen de datos proyección de población

2035	47106	132551	101442	93700
2040	50932	176041	129085	118686
2044	53992	220902	156532	<b>143809</b>

Fuente Propia

Gráfica 4. Proyección de la población-Modelos matemáticos



Fuente Propia

### 8.3.3 Estudio de Demanda.

8.3.3.1 Demanda PTAP La Esmeralda. Según las actas secretaria salud 2019, (Ver

Anexo 6), información suministrada por la empresa de servicios públicos. Se conoce que el municipio cuenta con 4 fuentes de abastecimiento para cubrir la demanda total del municipio correspondiéndole a la planta potabilizadora del Esmeralda el 10% de la población total municipal.

Tabla 16. Sistemas de potabilización Municipio de Tocancipá

SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN TOCANCIPÁ	RURAL	URBANO	TOTAL	% ABASTECIMIENTO
<b>LOS PATOS</b>	24860	11912	36772	82 %
<b>TIBITOC</b>	908	0	908	2 %
<b>ESMERALDA</b>	904	3476	4380	10 %
<b>LA FUENTE</b>	2732	0	2732	6 %
<b>POBLACIÓN TOTAL (2019)</b>			44,792	100 %

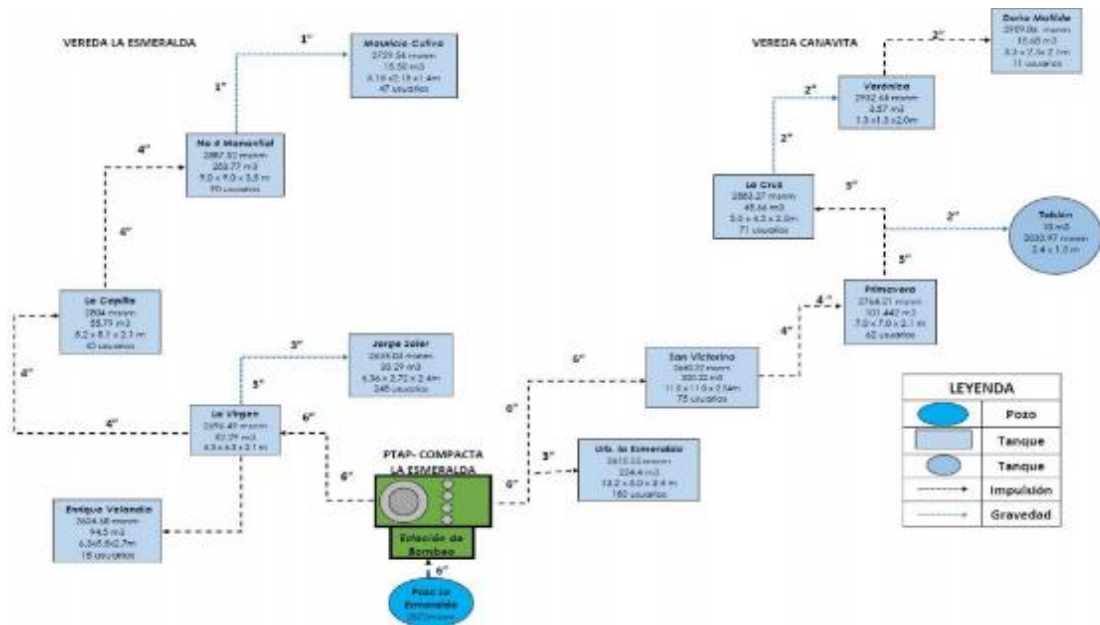
*Fuente Propia*

El diseño original de la planta potabilizadora contempla el abastecimiento de las veredas Canavita y la Esmeralda, que corresponde cerca al 22% de la población Tocancipeña, según lo especificado en el informe de gestión expedido por la alcaldía 2018, de acuerdo con los habitantes por sistema para el 2014, PTAP la Esmeralda le corresponde una población de 7480 usuarios. (Ver Anexo 5 - pág. 127). Sin embargo, según información suministrada en las visitas realizadas y corroboradas por medio de dichas actas, se conoce que parte del sistema tuvo que ser suspendido ya que la capacidad del pozo no es suficiente para abastecer dicha población.

Actualmente el sistema La Esmeralda suministra agua potable para los siguientes taques:

- Tanque la virgen.
- Tanque la capilla.
- Tanque Número cuatro.
- Tanque san Victorino.
- Tanque la primavera
- Tanque la cruz.

Figura 21. Sistema la Esmeralda funcionamiento actual



Fuente. ESPT-Adaptado

8.3.3.2 Proyección caudal de diseño. Teniendo en cuenta el 10 % de la población se hace la siguiente proyección.

Según lo especificado en la normativa, es necesario realizar el ajuste de la población proyectada teniendo en cuenta las actividades turísticas, laborales, industriales y comerciales, definidas como población flotante. Según el informe suministrado por ESPT (Ver Anexo 5 - pág. 157) se hace el ajuste con un 3% de la población proyectada que se muestra a continuación.

Tabla 17. Población flotante

AÑO	POBLACIÓN	POBLACIÓN FLOTANTE	POBLACIÓN TOTAL
2020	4,715	141	4,856
2025	5,908	177	6,086
2030	7,427	223	7,650
2035	9,370	281	9,651
2040	11,869	356	12,225
2044	14,381	431	14,812

Fuente Propia



### 8.3.3.3 Incremento de la Población.

Tabla 18. Incremento de población

<b>AÑO</b>	<b>POBLACIÓN TOTAL</b>	<b>INCREMENTO DE POBLACIÓN %</b>
<b>2020</b>	4,856	20.81
<b>2025</b>	6,086	21.06
<b>2030</b>	7,650	21.36
<b>2035</b>	9,651	21.68
<b>2040</b>	12,225	17.99
<b>2044</b>	14,812	

Fuente Propia

8.3.3.4 Consumo neto. Este comprende consumo doméstico, consumo industrial y comercial, publico e institucional.

De acuerdo con los rangos establecidos por la resolución 0330 del 2017, se tiene los siguientes datos.

Tabla 19 Dotación neta máxima

<b>ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR</b>	<b>NOTACIÓN NETA MÁXIMA</b>
<b>m.s.n.m</b>	<b>L/(hab*día)</b>
>2000	120
1000-2000	130
<1000	140

Fuente. Resolución 330 del 2017

El Municipio de Tocancipá, el cual se encuentra a una altura promedio de 2,605 m.s.n.m. a lo que le corresponde una dotación neta máxima per cápita de 120 l/hab-día, conforme lo mencionado anteriormente.

Debido a que la planta potabilizadora de agua de la Esmeralda está destinada a cubrir demanda para sector rural, consumo doméstico básicamente, se considera un incremento de consumo del 10%. obteniendo los siguientes datos.

Con base al incremento de consumo y partiendo de la dotación neta máxima por usuario, se calcula la dotación bruta.

$$\text{Dotación bruta neta (DN)} = \text{DN anterior} \frac{\text{Incremento de consumo}}{100} + 1$$

Tabla 20. Dotación bruta neta

AÑO	POBLACIÓN TOTAL	INCREMENTO DE POBLACIÓN %	INCREMENTO DE CONSUMO	DOTACIÓN NETA (L/hab*día)
2020	4,856	20.81	2.08	120
2025	6,086	21.06	2.11	122
2030	7,650	21.36	2.14	125
2035	9,651	21.68	2.17	128
2040	12,225	17.99	1.80	131
2044	14,812			133

Fuente Propia

- **Perdidas en el Sistema.** Las pérdidas de agua en el sistema de acueducto corresponden a la diferencia entre el volumen de agua tratada y medida a la salida de las plantas potabilizadoras y el volumen de agua entregado a la población y que ha sido medido en las acometidas domiciliarias del municipio (BÁSICO, 2000).

Según lo establecido en la resolución 0330-2017 el porcentaje de pérdida máximo esperado en todos los componentes que componen el sistema (Aducciones, Conducciones y redes) no debe de superar el 25%.

Teniendo en cuenta el porcentaje de pérdida se procede a calcular la dotación bruta, por medio de la siguiente expresión.

$$D_{Bruta} = \frac{D_{Neta}}{(1 - \%Perdidas)}$$



Tabla 21. Dotación Bruta

AÑO	DOTACIÓN NETA	DOTACIÓN BRUTA
	(L/hab*día)	(L/hab*día)
2020	120	160
2025	122	163
2030	125	167
2035	128	170
2040	131	174
2044	133	177

Fuente Propia

Para la actual proyección no se contempla demanda industrial ni comercial.

#### 8.3.4 Proyección de la Demanda.

8.3.4.1 Caudal medio diario (Qmd). Es el caudal calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada.

8.3.4.2 Caudal máximo diario (QMD). Para el cálculo del caudal máximo diario y caudal máximo horario se tienen en cuenta los valores del coeficiente de consumo  $k_1$  y  $K_2$ .

Tabla 22. Coeficiente de consumo máximo diario y horario

K	Población (hab)	K(máx.)
K1	< 12.500	1.3
	> 12.500	1.2
K2	< 12.500	1.6
	> 12.500	1.5

Fuente Propia

8.3.4.3 Caudal máximo horario (QMH). Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario,  $K_2$ .



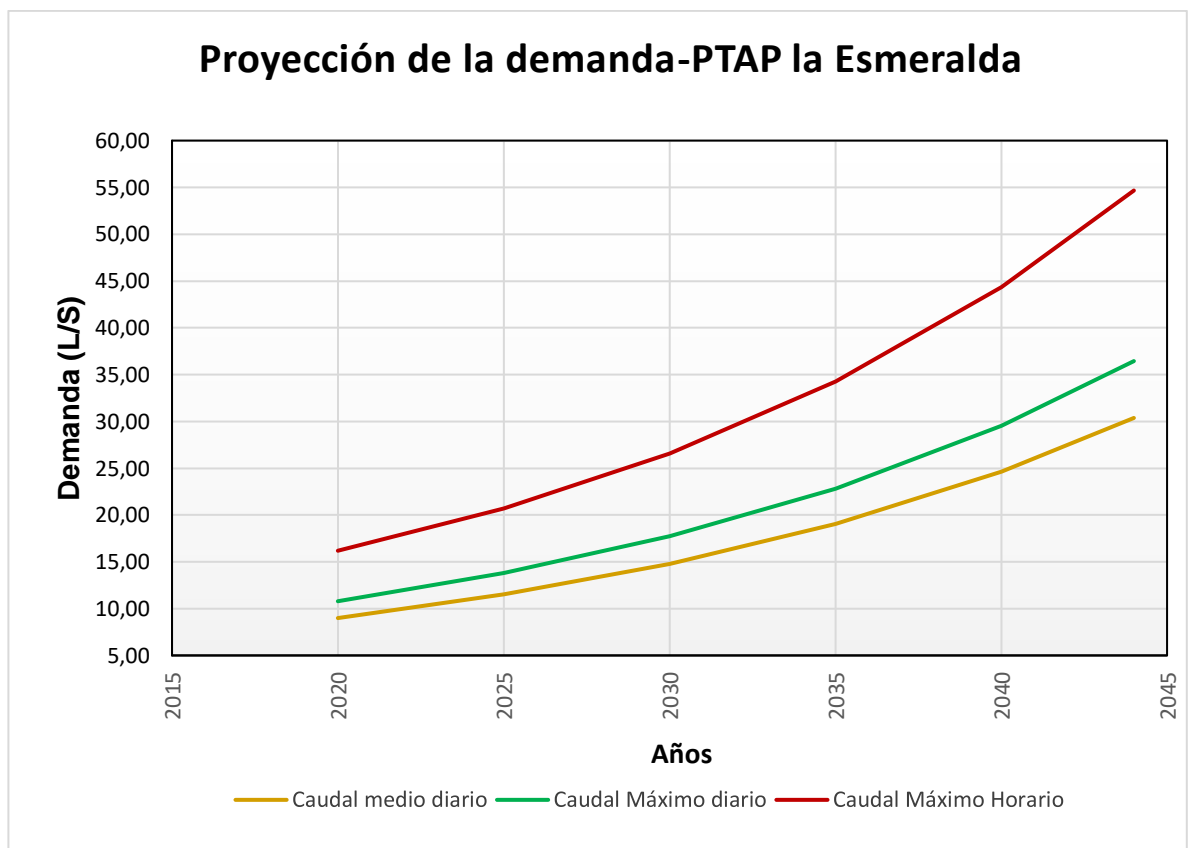


Tabla 23. Proyección de la demanda.

AÑO	DOTACIÓN NETA	DOTACIÓN BRUTA	Qmd (L/S)	QMD (l/s)	QMH (l/s)
	(L/hab*día)	(L/hab*día)			
2020	120	160	8.99	10.8	16.2
2025	122	163	11.50	13.8	20.7
2030	125	167	14.77	17.7	26.6
2035	128	170	19.03	22.8	34.2
2040	131	174	24.62	29.5	44.3
2044	133	177	30.4	<b>36.4</b>	54.7

Fuente Propia

Gráfica 5. Proyección de demanda PTAP la Esmeralda.



Fuente Propia

De acuerdo con la proyección realizada para el 2044, se estima una población para

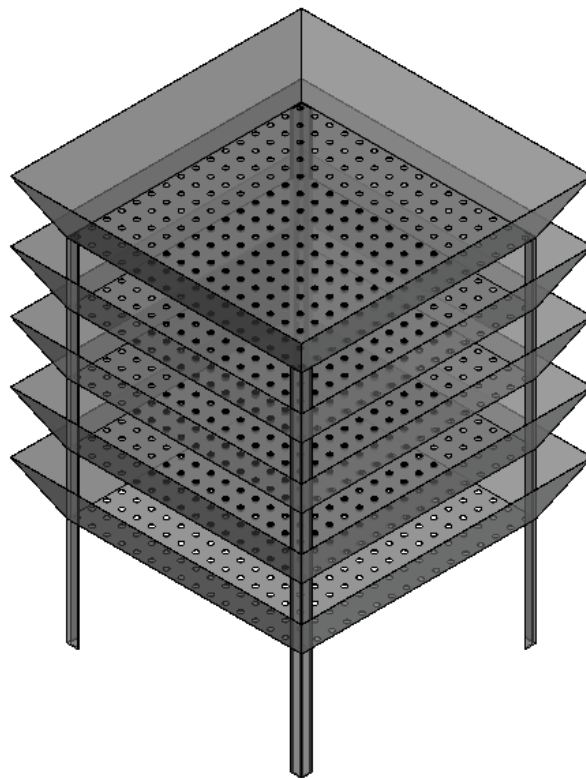
suministro de agua de la PTAP La Esmeralda de 14,381 habitantes, correspondiendo así un caudal de diseño de 36,4 L/s.

Como se mencionó anteriormente la red de distribución que se tenía inicialmente cubre el 22% de la población realizando el cálculo con dicho porcentaje se necesitaría una demanda de 80.2 L/S.

### 8.3.5 Revisión del Diseño Actual Planta Potabilizadora de Agua La Esmeralda

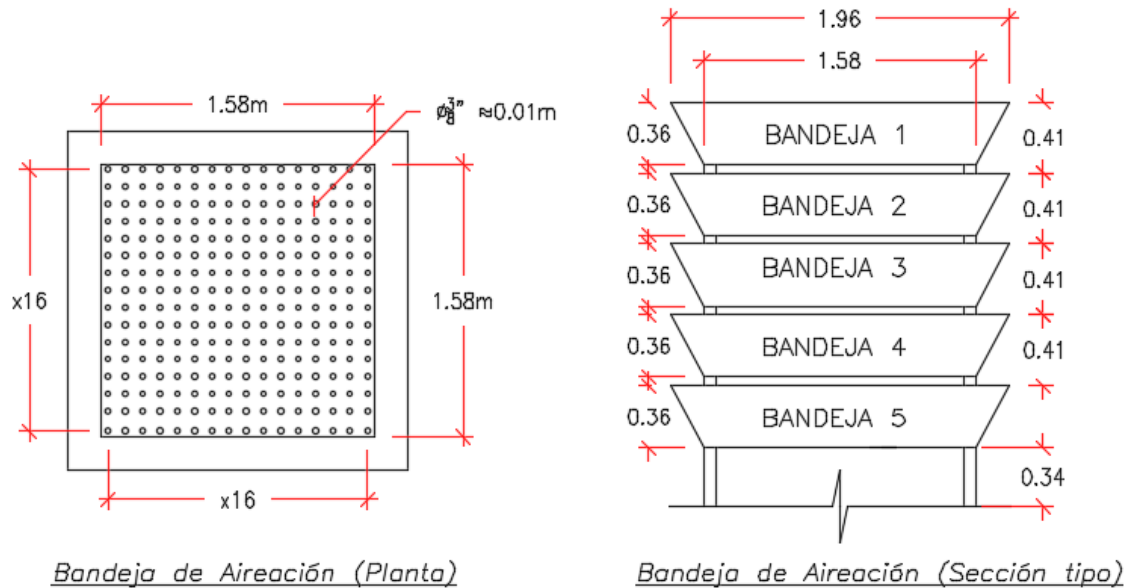
#### 8.3.5.1 Bandejas de Aireación

*Figura 22. Esquema de Bandejas de Aireación Vista isométrico*



*Fuente Propia*

Figura 23. Esquema diseño actual bandejas de Aireación PTAP La Esmeralda



Fuente Propia

Tabla 24. Dimensiones bandejas de Aireación

BANDEJAS DE AIREACIÓN	
L1	1.58 m
L2	1.58 m
Nº BANDEJAS	5
ÁREA POR BANDEJA	2.50 m <sup>2</sup>
ÁREA TOTAL	12.48 m <sup>2</sup>

Fuente Propia

Cálculo de carga hidráulica superficial (CHS)

$$CHS = \frac{2160 \text{ m}^3/\text{día}}{12.48 \text{ m}^2} = 173.05 \text{ m}/\text{día}.$$

Se revisa el diseño con la resolución vigente 330 - 2017 (Artículo 110 - Aireación), con 25 L/s (2160 m<sup>3</sup>/día).



Tabla 25. Revisión de Diseño Actual bandejas de Aireación

PARÁMETRO RESOLUCIÓN 0330		PTAP Esmeralda	Observación
CARGA HIDRÁULICA (m/día)	500-1500	173.05	<b>NO CUMPLE</b>
ALTURA TOTAL (m)	1.2-3.0	2	<b>CUMPLE</b>
DISTANCIA ENTRE BANDEJAS (m)	0.3-0.5	0.41	<b>CUMPLE</b>
ALTURA DE LA BANDEJA (m)	0.20-0.25	0.36	<b>NO CUMPLE</b>
SEPARACIÓN MEDIA ENTRE ORIFICIOS (m)	0.025	0.1	<b>NO CUMPLE</b>
DIÁMETRO DE ORIFICIO (m)	0.005-0.006	0.009525	<b>NO CUMPLE</b>

Fuente Propia

8.3.5.2 Precloración. En la PTAP La Esmeralda se lleva a cabo este proceso en la quinta bandeja de aireación, con el fin de obtener el cloro residual necesario en la red de distribución, mas no porque haya rastros de microorganismos que puedan afectar la salud.

La dosificación consiste en una solución de 40 L de Hipoclorito de Sodio diluida en 250 L de agua obteniendo como resultado una dosificación promedio de 1.14 ml/s, para tratar con 13 ml un metro cúbico de agua. Resultando esta dosificación óptima para las características de la fuente, hablando específicamente del cloro residual, el cual según la resolución 2115 de 2007 debe estar comprendido entre los 0.3 y 2 mg/L, para la PTAP La Esmeralda según el informe suministrado por ESPT (ver anexo 5 – pág. 171) de los ensayos realizados el valor del cloro residual del agua tratada es de 1.17 mg/L, encontrándose esta, dentro de los parámetros establecidos por la norma.

8.3.5.3 Tanque Sedimentador. Esta planta cuenta con un tanque sedimentador de lecho de grava vertical.





- Datos de entrada

Caudal de Diseño = 25 L/S  $\approx$  2160 m<sup>3</sup>/día

Altura Nivel del agua = 4.5m

Altura (A) = 2.50m

Altura (B) = 2.45m

Diámetro superior tanque ( $\varnothing$ sup.) = 3.0 m

Diámetro inferior tanque ( $\varnothing$ inf.) = 0.70 m

- Cálculo del volumen (V)

Volumen A

$$V = \frac{\pi * 2.50m}{3} * (0.35m^2 + 1.50m^2 + (0.35m * 1.50m)) \rightarrow V = 7.58 m^3$$

Volumen B

$$V = (\pi * (1.5m)^2) * 2.00m \rightarrow V = 14.14 m^3$$

Volumen total

$$V_{Total} = 7.58 m^3 + 14.14 m^3 \approx 21.72 m^3$$

- Cálculo tiempo de retención (t)

$$t = \frac{21.72 m^3}{2160 \frac{m^3}{día}}$$

$$t = 0.010 días \approx 14.5 \text{ min} \approx 0.24 h$$

- Cálculo de velocidad de flujo (V)

$$V_{Flujo} = \frac{4.5m}{14.5 \text{ min}} = 0.311m/min$$



Tabla 26. Revisión del diseño actual sedimentador PTAP La Esmeralda

DISEÑO ACTUAL RAS 0330		PTAP Esmeralda	Observación
CARGA HIDRÁULICA (m/día) Flujo vertical	20-30 (máx. 60)	306 m/día	<b>NO CUMPLE</b>
TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (h)	2-4	0.24 h	<b>NO CUMPLE</b>
Velocidad de flujo (cm/s)	<1	0.52 cm/s	<b>CUMPLE</b>

Fuente Propia

Se debe de realizar un ajuste del diseño.

8.3.5.4 Filtros. La planta la Esmeralda cuenta con una batería de 4 filtros a presión, con un medio estratificado de arena de fino a grueso, el sistema es de filtración rápida con lecho simple.

Figura 26. Esquema diseño actual Filtros a presión PTAP la Esmeralda

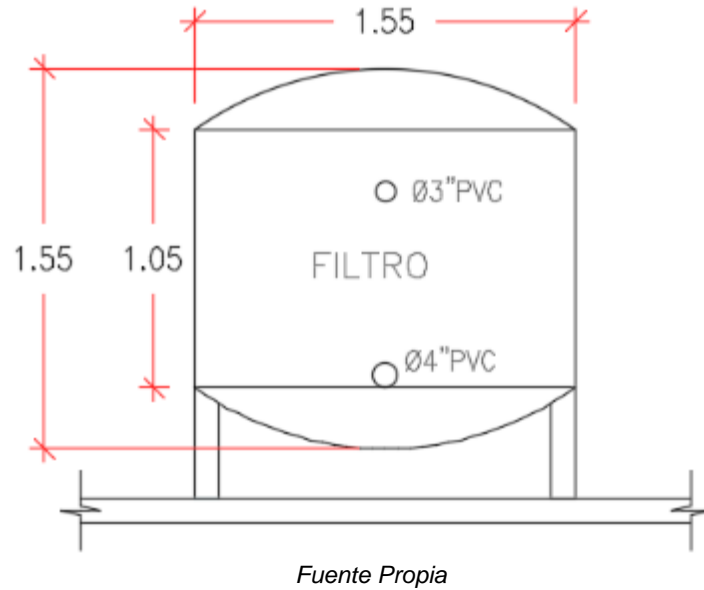


Fuente Propia

Se tienen las siguientes dimensiones:



Figura 27. Esquema de filtros



- Datos de entrada

Caudal de Diseño = 25 L/s  $\approx$  2160 m<sup>3</sup>/día

Altura= 1.05 m

Diámetro Ø m= 1.55 m

- Cálculo del volumen

$$v_{\text{filtro}} = \pi * (0.775 \text{ m})^2 * 1.05 \text{ m} = 1.98 \text{ m}^3$$

- Caudal por filtro

$$\text{Caudal } x \text{ filtro} = \frac{Q_{\text{total}}}{4} = \frac{2160 \text{ m}^3/\text{día}}{4} = 540 \text{ m}^3/\text{día}$$

- Tasa de filtración

$$T = \frac{Q_{\text{filtro}}}{\text{Área}} = \frac{540 \text{ m}^3/\text{día}}{\pi * 0.775 \text{ m}^2} = 286 \text{ m}/\text{día}$$



Tabla 27. Revisión del diseño actual filtros PTAP La Esmeralda

DISEÑO ACTUAL RAS 0330		PTAP Esmeralda	Observación
TASA DE FILTRACIÓN (m/día) Flujo vertical	<120	286 m/día	<b>NO CUMPLE</b>
PROFUNDIDAD DEL MEDIO (m)	0.6 – 0.9	0.60 m	<b>CUMPLE</b>

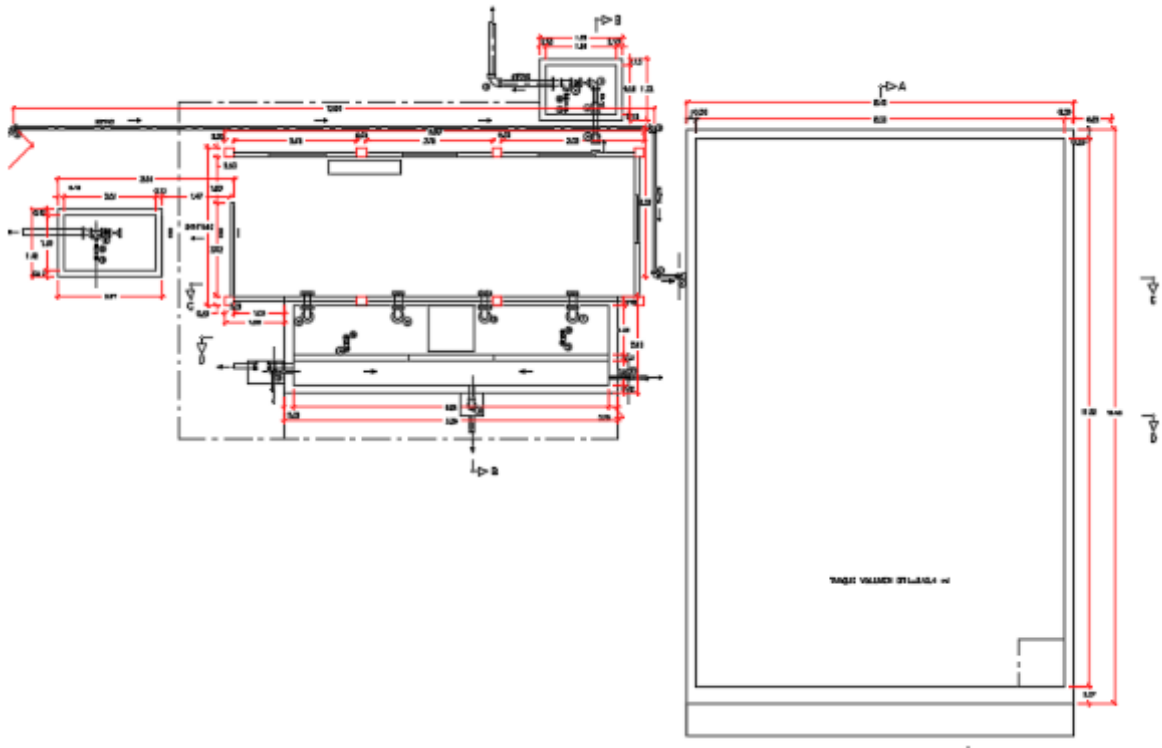
Fuente Propia

Según lo establecido por la norma se tiene que ajustar el diseño.

8.3.5.4 Tanque de almacenamiento. La planta potabilizadora cuenta con dos tanques de almacenamiento una vez terminado el proceso de purificación, un tanque de 212.40 m<sup>3</sup> de capacidad que a su vez permite la salida hacia un tanque de succión de 35 m<sup>3</sup>.

Se tiene el siguiente esquema:

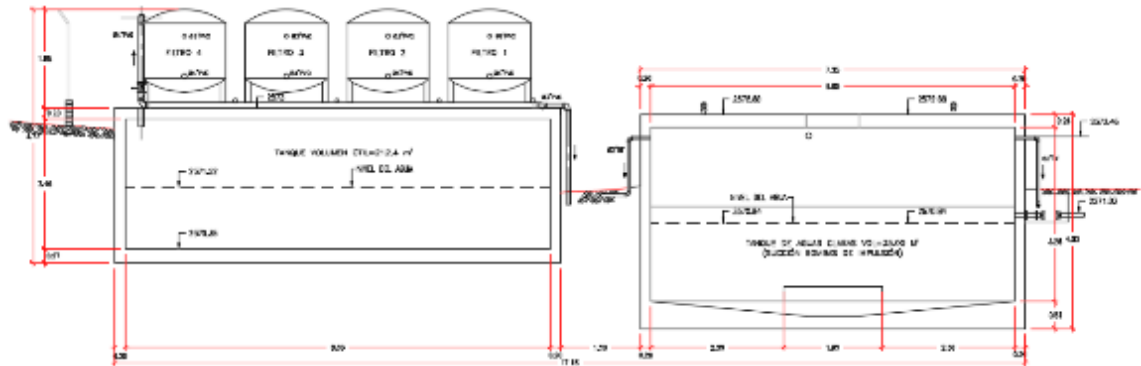
Figura 28. Tanque de almacenamiento PTAP-Esmeralda esquema (Planta)



Fuente Propia



Figura 29. Tanque de almacenamiento PTAP-Esmeralda esquema (Sección D-D)



Fuente Propia

- Datos de entrada

Caudal de Diseño = 25 L/s  $\approx$  2160 m<sup>3</sup>/día

Ancho total= 8.00 m

Largo total= 11.88 m

Altura total= 2.45 m

- Cálculo tiempo de retención

$$T_{Retención} = \frac{\text{Área} * (h_{total} - \text{Borde libre})}{Q_{caudal}} = \frac{(8m * 11.88m) * (2.45m - 0.3m)}{2160 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$T_{Retención} = 0.098\text{día} \approx 2.37 \text{ h}$$

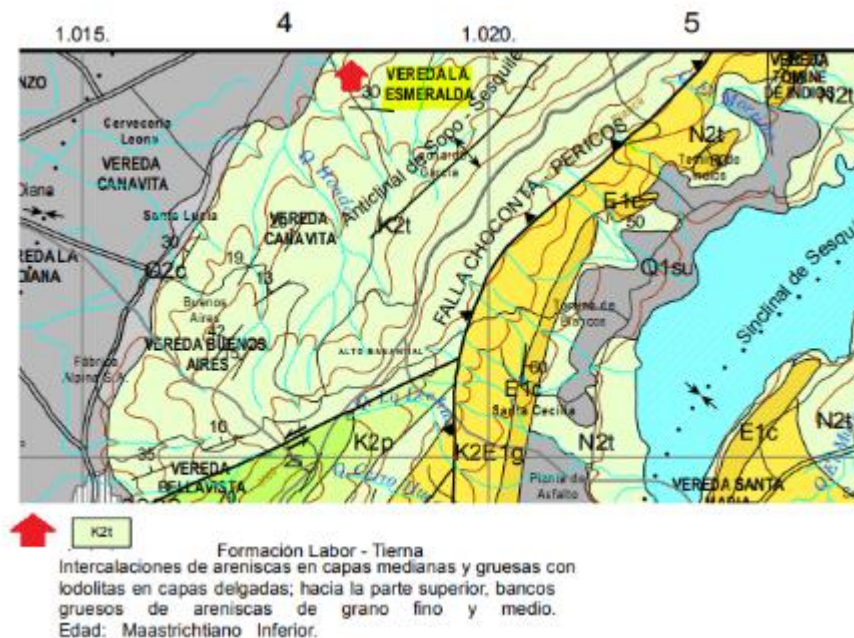
#### 8.4 FASE IV: ALTERNATIVA DE DISEÑO PARA LA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA LA ESMERALDA

La presente fase consiste en proponer una alternativa de diseño para la planta potabilizadora de agua La Esmeralda, basado en la norma RAS 2000 – resolución 330 de 2017. Lo anterior con el fin de poder seguir abasteciendo agua potable a la comunidad actual para los próximos 25 años.



8.4.1 Capacidad del Pozo. La formación sobre la cual se encuentra la planta potabilizadora de la Esmeralda corresponde a labor tierna, la cual se encuentra dentro de la formación Guadalupe, caracterizada por su gran aporte hídrico a la sabana de Bogotá.

Figura 30. Mapa Geológico-Plancha 228 - Santafé de Bogotá Noreste



Fuente. Servicio Geológico de Colombia – Adaptado

El diseño de la planta potabilizadora se ve limitada por la capacidad del pozo, con las condiciones actuales del sistema, se puede establecer los niveles máximos en caudal que puede llegar a suministrar el pozo.

El caudal suministrado por un pozo no es constante pues a medida que el nivel dinámico de la lámina de agua desciende su caudal aumenta, sin embargo, este tiende a estabilizarse y por tanto el caudal específico también.

8.4.1.1 Datos de entrada. De acuerdo con información suministrada por la empresa de servicios públicos de Tocancipá, y según los datos registrados en el último



mantenimiento realizado en 2018 (Ver anexo 7) se estima una capacidad específica teórica.

Caudal = 20 L/S

Nivel Estático espejo de agua= 8.08m

Nivel Dinámico espejo de agua= 32.29m

Profundidad bomba= 76m.

Diámetro de la tubería= 10"

$$CE = \frac{20}{32.29 - 8.08} = 0.826 \text{ L/s/m}$$

Teniendo en cuenta la profundidad a la que se encuentra la bomba y para garantizar un buen funcionamiento de esta, se considera una sumergencia mínima de 8 m. se procede a calcular el abatimiento esperado con un caudal de 40 L/S.

$$0.826 = \frac{40}{x} \rightarrow x = \frac{40}{0.826} \approx 48.42m$$

Se considera un abatimiento razonable. Adoptando 40 L/s, como caudal de diseño. Lo cual corresponde a un 13% de la población tocancipeña proyectada al 2044 correspondiendo así a aproximadamente 19.256 habitantes.

8.4.2 Bandejas de Aireación. Se opta por dejar la misma cantidad de bandejas (5), disminuyendo su tamaño para garantizar una carga hidráulica en los rangos establecidos por la normativa, así como los distanciamientos estipulados en la misma, se recomienda colocar como medio grueso de coque, piedra, ladrillo triturado o cerámica de 4 a 12 cm de diámetro, para mejorar la eficiencia del intercambio de gases y distribución del agua.

Se dimensionan 5 bandejas cuadradas de 0.85 m x 0.85 m.



Tabla 28. Dimensiones bandeja de Aireación Diseño

BANDEJAS DE AIREACIÓN	
L1	0.85 m
L2	0.85 m
Nº BANDEJAS	5
ÁREA POR BANDEJA	0.72 m <sup>2</sup>
ÁREA TOTAL	3.61 m <sup>2</sup>

Fuente Propia

Considerando una separación de orificios de 0.025m se tiene 34 orificios por cada lado de 5mm  $\approx 3/16$ "

$$\text{Área de orificios} = \frac{\pi * \phi^2}{4} * 34 * 34 = 0.02m^2$$

$$\text{Velocidad} = \frac{Q}{A} = \frac{0.04m^3/s}{0.0227m^2} = 1.76m/s$$

Por medio de la ecuación de Coeficiente de descarga se calcula la altura efectiva de la bandeja, teniendo en cuenta un coeficiente de descarga  $C_d = 0.82$ .

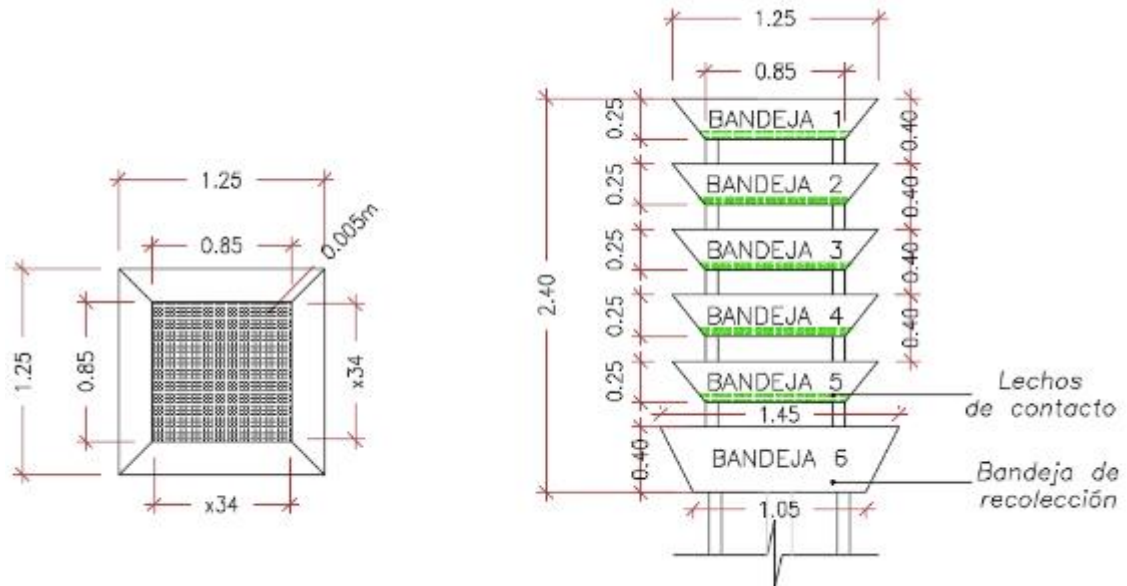
$$Q = C_d * A * \sqrt{2 * g * H}$$

$$H = \frac{V^2}{2 * g * C_d^2}$$

$$H = \frac{(1.76m/s)^2}{2 * 9.81m/s * 0.82^2} = 0.24m$$

A continuación, un esquema de diseño:

Figura 31. Esquema diseño bandejas de Aireación PTAP la Esmeralda



Fuente Propia

Tabla 29. Resumen de Diseño bandejas de Aireación

AJUSTE DISEÑO RAS 0330			Observación
CARGA HIDRÁULICA (m/día)	957	500-1500	CUMPLE
ALTURA TOTAL (m)	2.4	1.2-3.0	CUMPLE
DISTANCIA ENTRE BANDEJAS (m)	0.4	0.3-0.5	CUMPLE
ALTURA DE LA BANDEJA (m)	0.25	0.20-0.25	CUMPLE
SEPARACIÓN MEDIA ENTRE ORIFICIOS (m)	0.025	0.025	CUMPLE
DIÁMETRO DE ORIFICIO (m)	0.005	0.005-0.006	CUMPLE

Fuente Propia

De acuerdo con los análisis realizados a las muestras tomadas al inicio del proceso de purificación de la planta, la calidad del agua es muy buena, y no necesita una estructura para tratar los sedimentos de mayor tamaño (Adición de coagulantes, y tanque floculador).

Para lo cual se propone una bandeja Numero 6, con las mismas dimensiones de las bandejas de aireación. Para la recolección y posterior aducción del agua hasta el tanque sedimentador.

8.4.3 Precloración. Considerando que la dosis de Hipoclorito de Sodio utilizada actualmente en la quinta bandeja de aireación de la PTAP La Esmeralda, permite obtener un resultado de cloro residual en la red de distribución igual a 1.17 mg/L, estando este comprendido entre los valores permitidos por la resolución 2115 de 2007 (0.3 – 2 mg/L Cl<sub>2</sub>). Se plantea utilizar la misma dosificación, la cual consiste en una solución de 40 L de Hipoclorito de Sodio diluida en 250 L de agua, obteniendo como resultado una dosificación promedio de 1.14 ml/s, para tratar con 13 ml un metro cúbico de agua.

8.4.4 Aducción. Con el fin de transportar el agua tratada en las bandejas de aireación hasta el tanque sedimentador se hace el siguiente calculo.

8.4.4.1 Datos de Entrada.

Caudal = 0.04 m<sup>3</sup>/s

Coefficiente de rugosidad de Hazen Williams (Tubería en PVC): 150

Longitud tubería: 5.83m

Altura (hf): 0.30m

8.4.4.2 Cálculo de tubería

$$D = \left( \frac{0.040}{0.2785 * 150 * \left( \frac{0.30}{5.83} \right)^{0.54}} \right)^{\frac{1}{2.63}}$$

$$D = 0.130m \approx 6''$$

Según lo establecido por a norma, la velocidad minima debe de ser de 0.5 m/s Y velocidad maxima permisible por el material de tuberia empleado.

$$Q = V * A \rightarrow V = \frac{Q}{A}$$



$$V = \frac{0.040}{\left(\pi * \frac{(6 * 0.0254)^2}{4}\right)} = 2.20 \text{ m/s} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

$$\frac{d}{D} \rightarrow 0.763 \rightarrow d = 0.763 * D \rightarrow 0.763 * 0.2032 = 0.1550 < 0.2032 \rightarrow \text{CUMPLE}$$

Tabla 30. Ficha técnica tubería PVC

NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO	
160mm		150mm		200mm		200mm		250mm		250mm		315mm		300mm	
145		150		182		200		227		250		284		300	
V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)
0,38	6,4	0,27	4,8	0,45	11,7	0,33	10,4	0,52	21,0	0,38	18,8	0,60	38,2	0,43	30,6
0,54	9,0	0,39	6,8	0,63	16,5	0,47	14,7	0,73	29,7	0,54	26,6	0,85	54,0	0,61	43,2
0,67	11,0	0,47	8,3	0,78	20,2	0,57	18,0	0,90	36,4	0,66	32,6	1,04	66,1	0,75	53,0
0,77	12,7	0,55	9,6	0,90	23,3	0,66	20,7	1,04	42,0	0,77	37,6	1,20	76,3	0,87	61,2
0,86	14,2	0,61	10,8	1,00	26,1	0,74	23,2	1,16	47,0	0,86	42,0	1,35	85,3	0,97	68,4
0,94	15,6	0,67	11,8	1,10	28,5	0,81	25,4	1,27	51,4	0,94	46,1	1,48	93,5	1,06	74,9
1,02	16,8	0,72	12,7	1,18	30,8	0,87	27,4	1,37	55,6	1,01	49,8	1,59	101,0	1,14	80,9
1,09	18,0	0,77	13,6	1,27	33,0	0,93	29,3	1,47	59,4	1,08	53,2	1,70	107,9	1,22	86,5
1,15	19,1	0,82	14,4	1,34	35,0	0,99	31,1	1,56	63,0	1,15	56,4	1,81	114,5	1,30	91,7
1,22	20,1	0,86	15,2	1,42	36,8	1,04	32,8	1,64	66,4	1,21	59,5	1,91	120,7	1,37	96,7
1,49	24,6	1,06	18,7	1,73	45,1	1,28	40,2	2,01	81,3	1,48	72,8	2,33	147,8	1,68	118,4
1,72	28,4	1,22	21,5	2,00	52,1	1,48	46,4	2,32	93,9	1,71	84,1	2,69	170,7	1,93	136,8
1,92	31,8	1,36	24,1	2,24	58,3	1,65	51,9	2,59	105,0	1,92	94,0	3,01	190,8	2,16	152,9
2,11	34,8	1,49	26,4	2,45	63,8	1,81	56,8	2,84	115,0	2,10	103,0	3,30	209,0	2,37	167,5
2,28	37,6	1,61	28,5	2,65	68,9	1,95	61,4	3,07	124,2	2,27	111,3	3,56	225,8	2,56	180,9
2,43	40,2	1,72	30,5	2,83	73,7	2,09	65,6	3,28	132,8	2,42	118,9	3,81	241,4	2,74	193,4
2,58	42,6	1,83	32,3	3,00	78,2	2,21	69,6	3,48	140,9	2,57	126,1	4,04	256,0	2,90	205,1
2,72	44,9	1,93	34,1	3,17	82,4	2,33	73,3	3,67	148,5	2,71	133,0	4,26	269,9	3,06	216,2
2,85	47,1	2,02	35,7	3,32	86,4	2,45	76,9	3,85	155,7	2,84	139,5	4,47	283,0	3,21	226,8
2,96	49,2	2,11	37,3	3,47	90,2	2,56	80,3	4,02	162,7	2,97	145,7	4,67	295,6	3,35	236,9

Fuente. Novafort (Adaptado)

8.4.5 Tanque Sedimentador. Se propone el diseño de un sedimentador de alta tasa, con un medio de placas planas.

#### 8.4.5.1 Datos de entrada

Caudal de Diseño = 40 L/S  $\approx$  0.04 m<sup>3</sup>/s

Viscosidad 15°C = 1.14X10<sup>-6</sup>

Altura del tanque (h) = 5.0 m

Base tanque (B) = 3.2 m

Lado tanque (L) = 7.5 m

Grados de inclinación medio (Placas planas) 60°

Separación entre placas planas = 0.06 m

Longitud de placa = 1.20 m





Modulo placas planas = 1

- Carga hidráulica (Cs). Según lo establecido en la resolución 330 -- 2017, para módulos angostos de longitud = 1,20 m los valores de la carga superficial deben estar en 120 - 185 m/día.

$$Cs = \frac{3456}{(7.5 * 3.2)} = 144 \text{ m/día}$$

$$V_0 = \frac{\text{Caudal}}{\text{Área} * \text{sen } 60}$$

$$V_0 = \frac{0.04 * 86.400}{(7.5 * 3.2) * \text{sen } 60} = \frac{166.28\text{m}}{\text{día}} \approx 0.19 \text{ m/ min } \mathbf{ok}$$

- Longitud relativa de sedimentación

$$L = \frac{\text{longitud Placas}}{\text{distanciamiento entre placas}}$$

$$L = \frac{1.20}{0.06} = 20$$

- Longitud corregida Lc

$$L' = \frac{0.013 * d * v_0}{v}$$

$$L' = \frac{0.013 * 0.12 * 0.06}{60 * 1.14 \times 10^{-6}} = 1.3\text{m}$$

$$Lc = L - L' = 20 - 1.3 = 18.7\text{m}$$



- Velocidad crítica de asentamiento, bajo lo planteado según la ecuación yao

$$V_{sc} = \frac{S_c * v_0}{\text{Sen } \theta + Lc * \text{Cos } \theta}$$

$$V_{sc} = \frac{1 * 166.28}{\text{Sen } 60 + 18.7 * \text{Cos } 60} = 16.3 \frac{m}{\text{día}} \text{ ok}$$

De acuerdo con lo establecido en la normativa la velocidad crítica de asentamiento debe estar en 15 a 30 m/día.

Se procede a calcular el número de Reynolds, teniendo en cuenta que dicho valor debe de ser menor a 2000, para considerar un tipo de flujo laminar.

$$N_{RE} = \frac{166.28 * 0.06}{86.400 * 1.14 \times 10^{-6}} = 101.3 \text{ (FLUJO LAMINAR OK)}$$

- Tiempo de retención en las celdas

$$t = \frac{\text{long. placas}}{v_0}$$
$$t = \frac{1,2}{0.12} \approx 10 \text{ min}$$

Tiempo de retención en el tanque, según la normativa el tiempo de retención debe de estar en 10 - 20 min.

- Canaleta. Se hace el dimensionamiento de una canaleta para transportar el agua tratada y conducirla, hasta los filtros teniendo en cuenta la altura crítica para un canal de sección rectangular.

Asumiendo una base del canal de 0.50m se realiza el siguiente dimensionamiento:

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{0.04}{0.5 * 9.81}} = 0.20m$$

**a) Radio hidráulico**

Considerando una altura de 0.30m

$$Rh = \frac{0.50 * 0.3}{0.5 + (2 * 0.20)} = 0.17$$

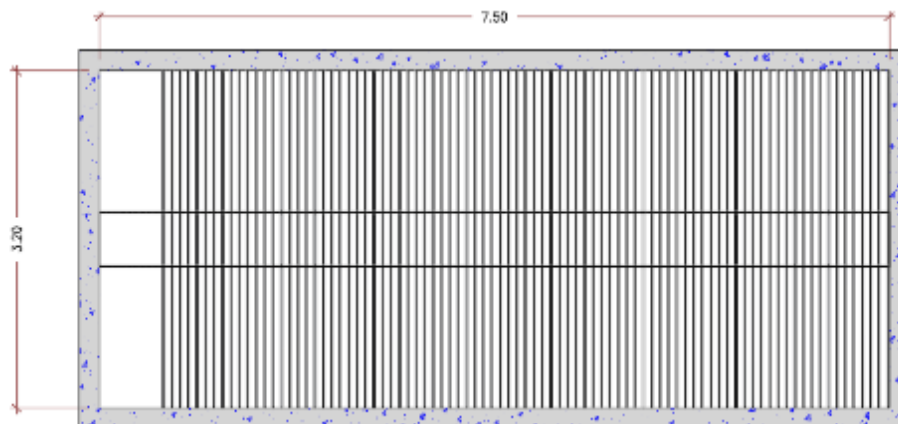
**b) Por medio de la ecuación para canales de Manning se puede calcular la pendiente mínima:**

$$Q = \frac{A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

$$S = 0.00007$$

se opta por una pendiente del 1%. Se hace la distribución de las placas a lo largo de la estructura, para facilitar el depósito del sedimento se maneja una pendiente de 10%, obteniendo así el siguiente esquema:

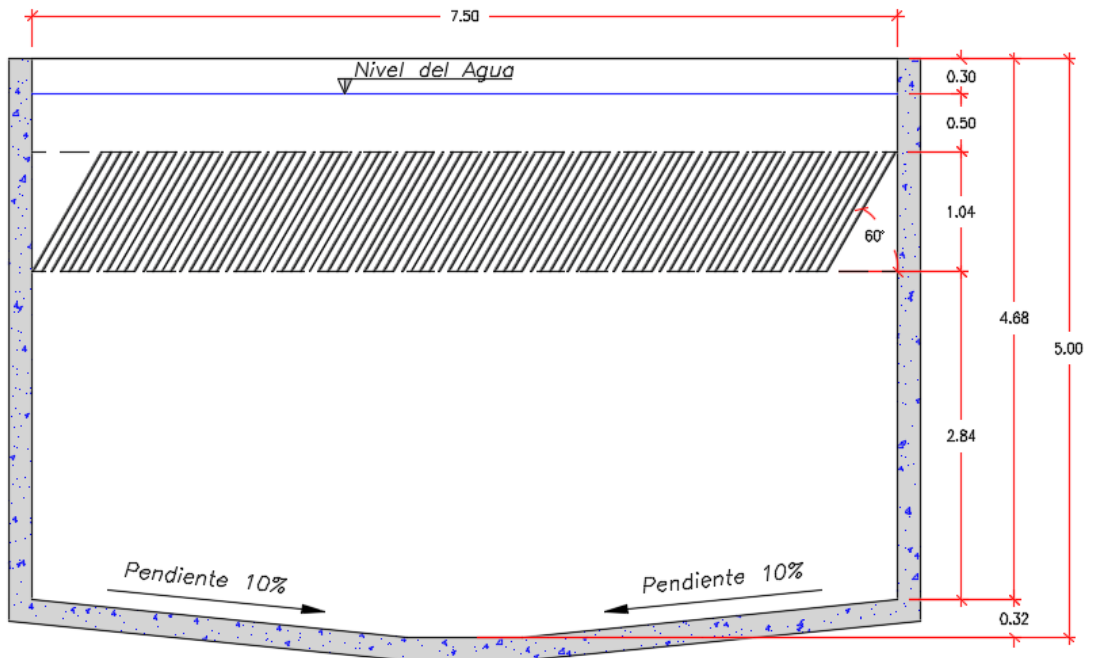
*Figura 32. Esquema Tanque sedimentador -Planta*



*Fuente Propia*

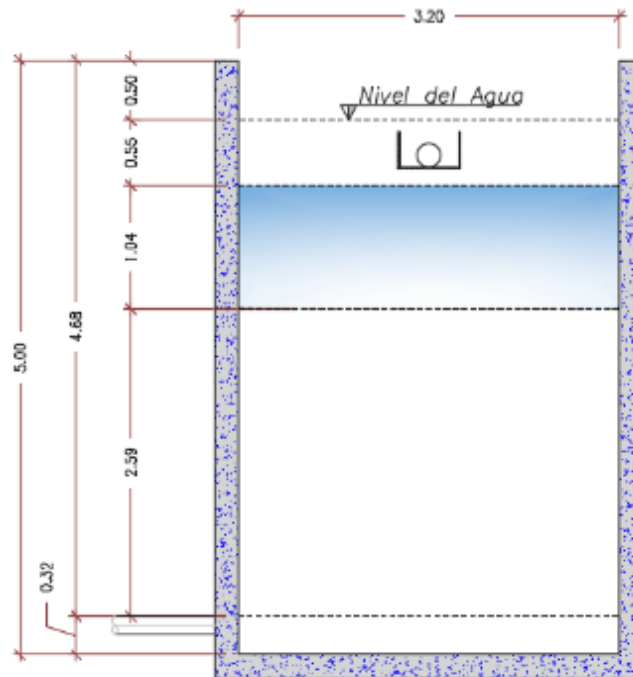


Figura 33. Esquema Tanque sedimentador -Sección longitudinal



Fuente Propia

Figura 34. Esquema Tanque sedimentador -Sección transversal



Fuente Propia

Se propone tubería de desagüe o salida de elementos sólidos sedimentados con tubería PVC de 6”.

- Revisión de tuberías conducción hasta filtros rápidos

Se emplea el uso de tubería en PVC, para la conducción de tanque sedimentador a los filtros. Considerando un rango de velocidades de 0.5 a la admisible para PVC (243 m/s), suponiendo unos diámetros se tiene el siguiente cuadro de resumen. Encontrando que las velocidades requeridas para el caudal de diseño son óptimas para el diseño.

Tabla 31. Resumen de datos Tuberías

TRAMO	LONGITUD	Q	D		A	V
	m	m <sup>3</sup> /s	m	in	m <sup>2</sup>	m/s
1	11.9	0.04	0.143	6	0.0182	2.193
2	1.93	0.007	0.058	4	0.0081	0.822
3	1.93	0.007	0.058	4	0.0081	0.822
4	1.93	0.007	0.058	4	0.0081	0.822
5	1.93	0.007	0.058	4	0.0081	0.822
6	1.93	0.007	0.058	4	0.0081	0.822

Fuente propia

8.4.6 Filtros. Se propone un sistema de filtración igual al que funciona actualmente la planta (Filtros a presión). con el objeto de mejorar la eficiencia de estos se consideran los parámetros establecidos en la normativa, para filtros con lechos mixtos (medios como arena y antracita).

#### 8.4.6.1 Datos de Entrada

Caudal de Diseño = 40 L/S  $\approx$  3456 m<sup>3</sup>/día

Altura = 1.05 m

Diámetro Ø m = 1.55 m



Número de filtros: 6 und

Espesor de los medios:

- ✓ Antracita: 0.4m
- ✓ Arena: 0.15m

- Cálculo volumen

$$v_{\text{filtro}} = \pi * (0.775 \text{ m})^2 * 1.05 \text{ m} = 1.98 \text{ m}^3$$

- Caudal por filtro

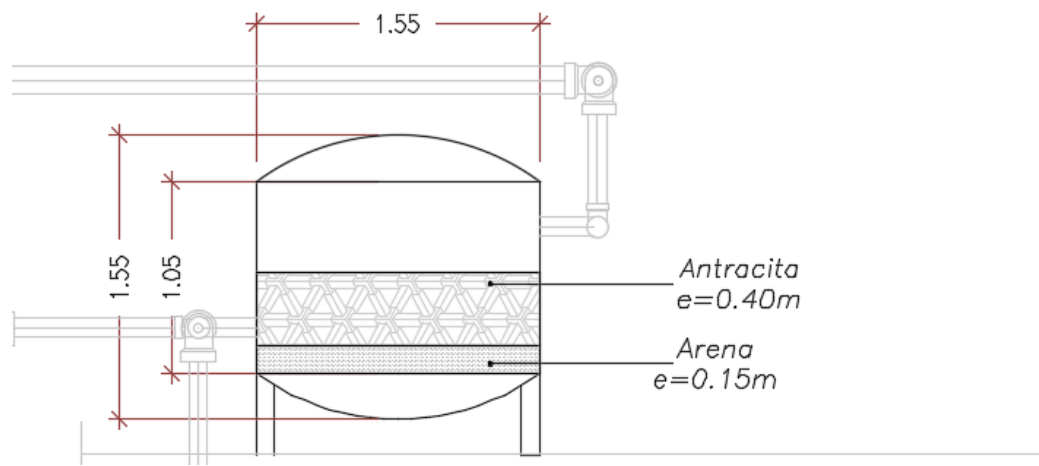
$$\text{Caudal } x \text{ filtro} = \frac{Q_{\text{total}}}{6} = \frac{3456 \text{ m}^3/\text{día}}{6} = 576 \text{ m}^3/\text{día}$$

- Tasa de filtración

$$T = \frac{Q_{\text{filtro}}}{\text{Área}} = \frac{576 \text{ m}^3/\text{día}}{\pi * 0.775 \text{ m}^2} = 305 \frac{\text{m}}{\text{día}} \rightarrow \text{ok}$$

Para este tipo de filtros la tasa de filtración estimada esta entre los rangos: 180 - 350 m/día.

Figura 35. Esquema filtro -Sección tipo



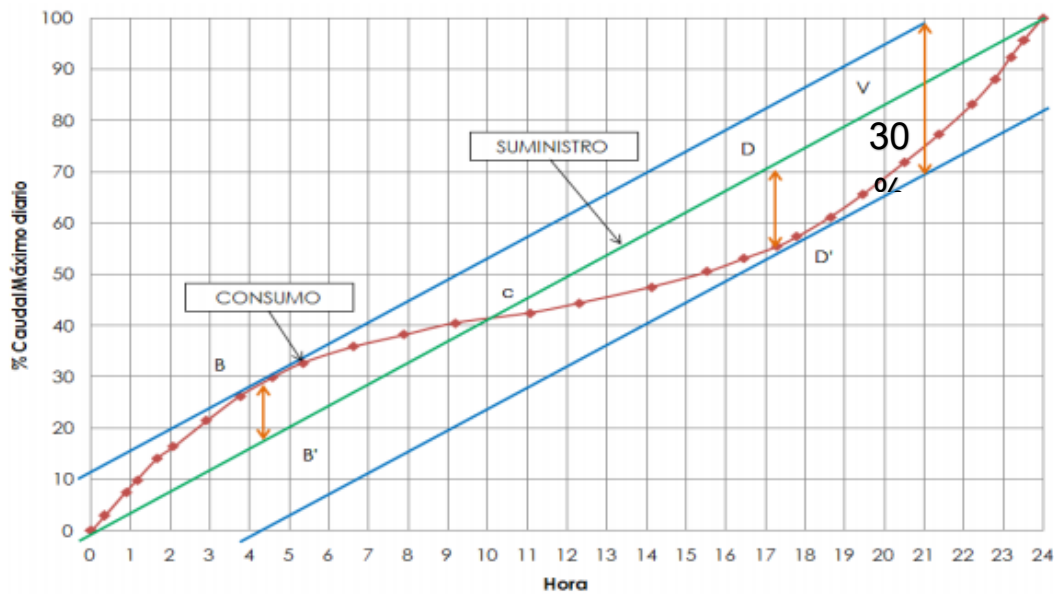
Fuente Propia

8.4.7 Tanque de Almacenamiento. El siguiente dimensionamiento está basado en los porcentajes de consumo horario del municipio, los cuales están especificados en el informe técnico emitido por la entidad prestadora de servicios públicos de Tocancipá (Ver Anexo 5 – pág. 184).

En el cual se hace un análisis de la demanda durante un periodo de 24 horas, utilizando para ello el método de la curva integral, donde se establece un porcentaje de volumen horario del 30%.

De acuerdo establecido en la normativa, la capacidad de almacenamiento debe de ser establecido como 1/3 del volumen máximo en un día, se debe de tener en cuenta un incremento para control de incendios, de acuerdo con el nivel de riesgo en la zona.

Gráfica 6. Suministro por gravedad continuo 24 h



Fuente Propia

Actualmente la planta potabilizadora cuenta con una serie de tanques de almacenamiento, distribuidos en las veredas Canavita y esmeralda. Según lo

especificado en el informe de gestión suministrado por la alcaldía (Ver anexo 5 - pág. 79), la distribución está dispuesta como se describe a continuación.

*Tabla 32. Tanques de almacenamiento PTAP la esmeralda*

<b>TANQUES DE ALMACENAMIENTO PTAP LA ESMERALDA</b>	<b>CAPACIDAD EN m<sup>3</sup></b>
TANQUE LA ESMERALDA	182.81
TANQUE LA CAPILLA	54.32
TANQUE JORGE SOLER	35.12
TANQUE No 4 - MANANTIAL	287.15
TANQUE SAN VICTORINO	317.7
TANQUE PRIMAVERA	104.86
TANQUE TABLÓN	10
TANQUE LA CRUZ	45.43
TANQUE DOÑA MATILDE	15.68
TANQUE VERÓNICA	3.33
TANQUE LA VIRGEN	81.9
TANQUE ENRIQUE VELANDIA	40
TANQUE MAURICIO CUTIVA	15.02
PLANTA DE AGUA POTABLE LA ESMERALDA	247.4
<b>TOTAL</b>	<b>1440.72</b>

*Fuente Propia*

Contemplando la capacidad de almacenamiento actual se necesita realizar el ajuste para contener el volumen restante para el caudal de proyección, por tano se requiere 2015 m<sup>3</sup>/día ≈ 0.023 m<sup>3</sup>/s. adicional. Con ello se dimensiona dicho tanque.





#### 8.4.7.1 Datos de Entrada

Caudal de Diseño (Q)= 23 L/S  $\approx$  2015 m<sup>3</sup>/día

Déficit acumulado: 15%

Porcentaje de volumen horario (%V): 30%

- Volumen del tanque

$$V = 1.2 * 2015 * 30\%$$

$$V = 725.4 \text{ m}^3$$

- Capacidad de almacenamiento. Se considera un incremento de consumo del 15%, considerando un riesgo bajo.

$$CA = \frac{1}{3} * 2015 + 15\%$$

$$CA = 773 \text{ m}^3$$

- Dimensionamiento del tanque. Considerando una altura del tanque de 7m

$$A = \frac{\text{Volumen}}{\text{Altura}}$$

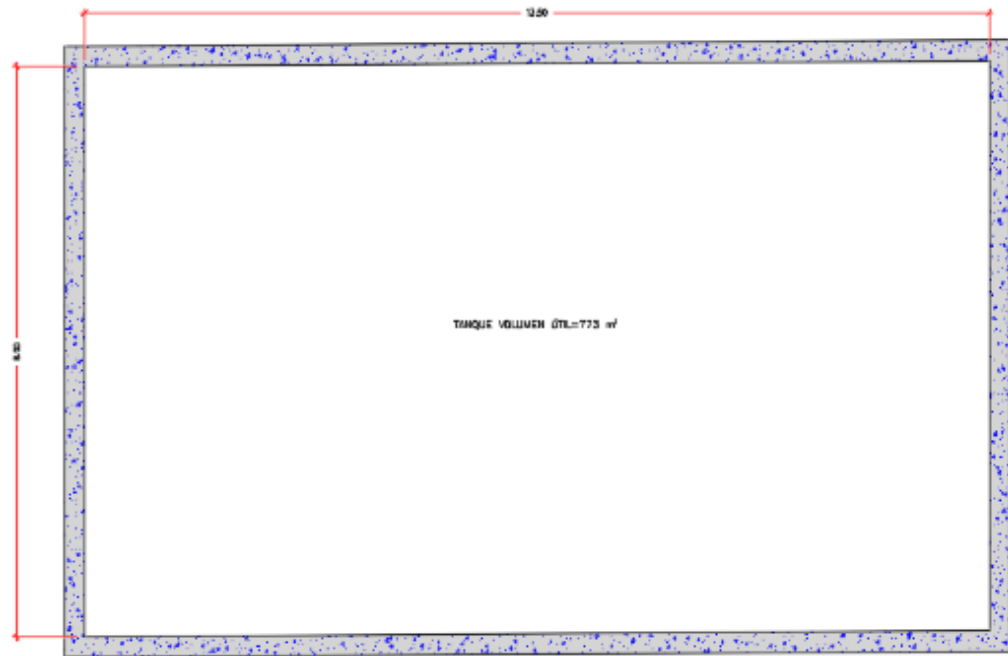
$$A = \frac{773}{7} \approx 110 \text{ m}^2$$

Se dimensiona un tanque de 8.5 m de ancho por 13.5 m de largo.

A continuación, un esquema.

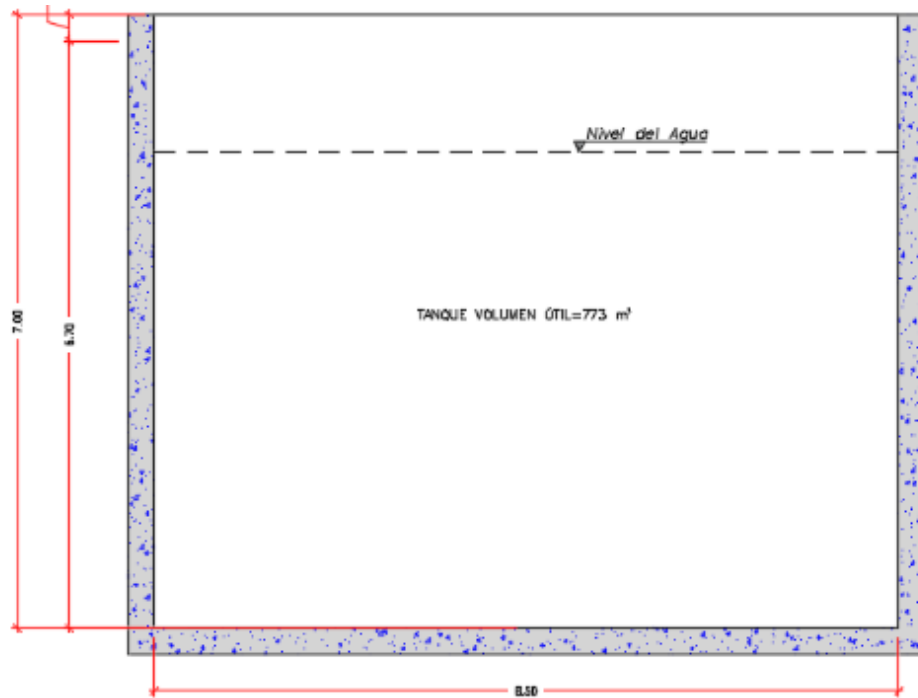


Figura 36. Diseño tanque de almacenamiento-Planta



Fuente Propia

Figura 37. Diseño tanque de almacenamiento-Sección transversal



Fuente Propia



#### 8.4.8 Presupuesto de la Alternativa de Diseño Propuesta

Tabla 33. Presupuesto alternativa de diseño

<b>PRESUPUESTO APROXIMADO DE LA ALTERNATIVA DE DISEÑO PROPUESTA</b>					
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UND</b>	<b>CANT.</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
<b>1</b>	<b>OBRA PRELIMINARES</b>				<b>\$ 4.150.508</b>
1.1	Localización y replanteo				\$ 4.150.508
1.1.1	Localización y replanteo estructuras (Incluye equipos de precisión y/o topografía)	M2	704,79	\$ 5.889	\$ 4.150.508
<b>2</b>	<b>EXCAVACIONES Y RELLENOS</b>				<b>\$ 80.402.226</b>
2.1	Excavaciones				\$ 69.796.227
2.1.1	MdeO excavación manual en terreno natural H = 0 - 3 m (Según planos)	M3	74,00	\$ 26.228	\$ 1.940.876
2.1.2	Excavación mecánica en terreno natural H = 0 - 8 m (Según planos)	M3	1121,28	\$ 32.730	\$ 36.699.494
2.1.3	Retiro de material sobrante (Volqueta 7 M3)	M3	1090,46	\$ 28.571	\$ 31.155.857
2.2	Rellenos				\$ 10.605.999
2.2.1	Relleno con material seleccionado procedente de la excavación	M3	104,83	\$ 22.611	\$ 2.370.230
2.2.2	Relleno en base granular BG-B compactado al 95%	M3	64,19	\$ 128.298	\$ 8.235.769
<b>3</b>	<b>ADUCCIÓN Y CONDUCCIÓN</b>				<b>\$ 26.153.377</b>
3.1	Aducción				\$ 2.617.673
3.1.1	Suministro e Instalación tubería PVC-P 6", unión mecánica RDE 32.5	ML	5,83	\$ 291.194	\$ 1.697.661
3.1.2	Suministro e instalación de niple pasa muro en HD 6", L = 0 - 0.50 m, extremo brida x brida	UND	1,00	\$ 920.012	\$ 920.012
3.2	Conducción				\$ 23.535.705
3.2.1	Suministro e Instalación tubería PVC-P 6", unión mecánica RDE 32.5 (Sedimentador a filtros)	ML	11,90	\$ 291.194	\$ 3.465.209
3.2.2	Suministro e Instalación tubería PVC-P 4", unión mecánica RDE 32.5 (filtros)	ML	9,65	\$ 156.193	\$ 1.507.262
3.2.3	Suministro e Instalación tubería PVC-P 6", unión mecánica RDE 32.5 (Sedimentador a filtros)	ML	8,07	\$ 291.194	\$ 2.349.936



Continuación tabla 33. Presupuesto alternativa de diseño

3.2.4	Suministro e instalación de niple pasa muro en HD 6", L = 0 - 0.50 m, extremo brida x brida	UND	2,00	\$ 920.012	\$ 1.840.023	
3.2.5	Válvula de compuerta elástica 6"	UND	1,00	\$ 538.475	\$ 538.475	
3.2.6	Válvula de bola tipo pesada 4"	UND	12,00	\$ 1.152.900	\$ 13.834.800	
<b>4</b>	<b>AIREACIÓN</b>				<b>\$ 51.413.001</b>	
4.1	Bandejas de aireación				\$ 51.413.001	
4.1.1	Suministro e instalación de bandejas de aireación en poliéster reforzado con fibra de vidrio de (0.85 x 0.85 m = 0,72 m <sup>2</sup> )	UND	6,00	\$ 8.297.181	\$ 49.783.086	
4.1.2	Suministro e instalación de estructura de apoyo para bandejas de aireación	GL	1,00	\$ 1.629.915	\$ 1.629.915	
<b>5</b>	<b>SEDIMENTACIÓN</b>				<b>\$ 23.115.209</b>	
5.1	Sedimentador de alta tasa				\$ 23.115.209	
5.1.1	Concreto simple 14 MPa para solado de limpieza	M3	1,42	\$ 334.550	\$ 475.730	
5.1.2	Concreto estructural 28 MPa	M3	29,63	\$ 562.040	\$ 16.653.455	
5.1.3	Láminas de fibrocemento (3.2 m x 1.2 m x 0.01 m)	UND	99,00	\$ 60.465	\$ 5.986.024	
<b>6</b>	<b>FILTRACIÓN</b>				<b>\$ 13.065.192</b>	
6.1	Filtración rápida				\$ 13.065.192	
6.1.1	Filtro metálico en lamina de acero de 1.55 m de diámetro y 1.05 m de altura con accesorios	UND	2,00	\$ 4.589.252	\$ 9.178.504	
6.1.2	Arena para filtro	M3	1,70	\$ 805.375	\$ 1.367.710	
6.1.3	Antracita para filtro	M3	4,53	\$ 556.237	\$ 2.518.978	
<b>7</b>	<b>TANQUE DE ALMACENAMIENTO</b>				<b>\$ 96.245.406</b>	
7.1	Tanque de Almacenamiento en Concreto				\$ 96.245.406	
7.1.1	Concreto simple 14 MPa para solado de limpieza	M3	5,71	\$ 334.550	\$ 1.910.448	
7.1.2	Concreto estructural 28 MPa	M3	167,84	\$ 562.040	\$ 94.334.958	
<b>PRESUPUESTO TOTAL APROXIMADO - ALTERNATIVA DE DISEÑO PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA</b>		<b>TOTAL - COSTO DIRECTO</b>			<b>\$ 294.544.919</b>	
		ADMINISTRACIÓN			19%	\$ 55.963.535
		IMPREVISTOS			3%	\$ 8.836.348
		UTILIDAD			5%	\$ 14.727.246
		IVA/UTILIDAD			19%	\$ 2.798.177
		<b>TOTAL</b>			<b>\$ 376.870.223</b>	

Fuente propia

## 9. CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, la calidad del agua cruda que llega a la planta potabilizadora de agua La Esmeralda es buena, el contenido de hierro es muy bajo, 0.04 mg/L, siendo inferior a lo especificado en la norma 0.3mg/L, en su gran mayoría, los resultados se encuentran dentro de los parámetros establecidos en el Resolución 2115 de 2007, a excepción del pH. Por lo anterior, la planta no necesita de una estructura para tratar sedimentos de mayor tamaño como lo son: adición de coagulantes y un tanque de floculación.

Actualmente, aunque la PTAP La Esmeralda funcione con normalidad los procesos que se llevan a cabo en esta, no cumplen con los parámetros establecidos en el RAS 2000 resolución 330 de 2017, por lo requiere modificaciones en su diseño.

En cuanto a la obtención de información general y antecedentes de la planta, La Empresa de Servicios Públicos de Tocancipá facilitó la documentación que se encontraba en su base de datos, siendo esta muy útil para el desarrollo del presente trabajo de grado.

La comunidad tuvo participación en el desarrollo del presente proyecto desde el inicio, puesto que, se solicitó su autorización para llevar a cabo el trabajo de grado propuesto. Adicional a lo anterior en las visitas realizadas a la planta se tuvo acompañamiento de una persona de la comunidad quedando registrada su participación en los formatos de diario de campo (anexo 3 y 4).

En cuanto a los entregables (planos y memorias de cálculo) que quedaron como compromiso para la aceptación del desarrollo del trabajo de grado, serán presentados y expuestos una vez sean aprobados por la Universidad Católica de Colombia.

Realizando la revisión del diseño actual de la PTAP La Esmeralda, se pudo identificar que todos los procesos que se llevan a cabo requieren de modificación, puesto que, la mayoría de los parámetros evaluados no cumplen con lo establecidos en la norma RAS 2000 resolución 330 de 2017.



En el proceso de aireación, la carga hidráulica se encuentra por debajo de lo establecido. La altura de las bandejas, la separación media entre orificios y el diámetro de orificios se encuentran por encima de los valores máximos aceptables en la resolución 330 de 2017. Los únicos parámetros que están cumpliendo son la altura total de las bandejas y la distancia entre bandejas.

En el proceso de sedimentación la carga hidráulica se encuentra por encima de lo establecido en la norma y el tiempo de retención por debajo del valor mínimo aceptable. El único parámetro que está cumpliendo con la resolución 330 de 2017 es la velocidad del flujo.

En cuanto al proceso de filtración la tasa de filtración para flujo vertical se encuentra por encima de lo establecido en la norma. En este proceso el parámetro que cumple con la resolución 330 de 2017 es la profundidad del medio.

Para restablecer el servicio de agua potable al 22% de la población Tocancipeña, para la que fue diseñada la planta de potabilización de agua La Esmeralda se necesita un caudal de 80.2 L/s, capacidad que actualmente el pozo el milagro no puede abastecer, puesto que, su capacidad máxima es 40 L/s. Teniendo en cuenta lo anterior, se debe conservar la red de distribución o cobertura actual del 10% de la población y realizar adaptación de esta, puesto que, de acuerdo con la proyección realizada, para el año 2044 se necesitará una capacidad de 36,4 L/s. La capacidad actual de la planta es de 25 L/s.

De acuerdo con la proyección realizada y el porcentaje de abastecimiento del 10% de la población Tocancipeña, la PTAP La Esmeralda con su capacidad nominal de 25L/s podrá suministrar agua potable, sin problema hasta el año 2035, favoreciendo aproximadamente a 10.274 habitantes.

En cuanto a la alternativa de diseño, se proponen cinco bandejas de aireación y una sexta que cumple la función de recolección y posterior aducción del agua hasta el tanque de sedimentación, el cual se propone como un sedimentador de alta tasa con un medio de placas planas. Para la filtración se proponen 6 unidades de filtración rápida con lecho mixto (medio con arena y antracita), para finalizar el

proceso de tratamiento, el agua es conducida a un tanque de almacenamiento de 13.5 x 13.5 x 8.5 m, del cual posteriormente se realiza el proceso de distribución.

Una de las desventajas de la planta potabilizadora es el área delimitada sobre la cual se encuentra construida, pues no se cuenta con mucho espacio para hacer las ampliaciones pertinentes de las estructuras en caso de mejorar la capacidad del pozo.

## 10. RECOMENDACIONES

- La formación sobre la cual se encuentra el pozo (Guadalupe), es muy buena hídricamente, considerando pertinente realizar un estudio hidrogeológico en la zona, pues podría considerarse la elaboración de varios pozos, sin embargo, se debe de garantizar que no exista interferencia con los radios de abatimiento de cada uno.
- De acuerdo con lo especificado en la norma, durante la operación de un acuífero debe de verificarse una vez cada año los niveles freáticos y dinámicos, lo anterior, para establecer los tiempos de mantenimiento del pozo y de la bomba, para de esta manera mejorar frecuentemente la eficiencia de extracción de agua.
- Se recomienda evaluar el estado actual del pozo, pues se desconoce su condición después de los 80 m de profundidad. De acuerdo con el último mantenimiento realizado, la tubería con la que cuenta hasta la cámara de bombeo es de 10" aproximadamente a 120 m de profundidad. Debe de evaluarse si es posible reubicar la bomba para mejorar la capacidad de extracción, determinar el tipo de bomba que se requiere, la ubicación de los filtros y demás factores que intervienen en el buen funcionamiento del pozo.
- Según fuentes consultadas, las plantas compactas funcionan bien cuando se trata de cantidades pequeñas de agua, cuando se requiere tratamiento de un volumen mayor es recomendable realizar las estructuras necesarias en concreto, pues la presión hidrostática requerida para contener dichos volúmenes es elevada y requiere de un material de acero de mayor calibre, resultando mucho más costoso que una estructura en concreto convencional.
- Se recomienda evaluar el diseño propuesto y el impacto que esto puede tener ambientalmente.



## BIBLIOGRAFÍA

**AVALOS, SANTIAGO HEREDIA. 2005.** *EXPERIENCIAS SORPRENDENTES DE QUÍMICA CON INDICADORES DE pH CASEROS.* CADIZ, ESPAÑA : Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 2005.

*Barranquilla's Water Distribution System: A First Detailed Description .* **ÁNGULO, JOSÉ. 2017.** BARRANQUILLA : Procedia Engineering, 2017, Vols. 186 Pág 12-19.

**BÁSICO, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO Y DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO. 2000.** *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO - RAS TITULO C.* BOGOTÁ : MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO , 2000.

**básico, Ministerio de vivienda- viceministerio de agua y saneamiento. 2000.** *minvivienda.gov.co.* [En línea] 17 de Noviembre de 2000. [Citado el: 04 de Agosto de 2019.] <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-agua/reglamento-tecnico-del-sector/manuales>.

**BEJARANO, WALFRANDO ADOLFO FORERO. 2011.** *INFORME DE EMPALME DE GESTION SALIENTE 2008 - 2011.* MUNICIPIO DE TOCANCIPA : ALCALDIA MUNICIPAL DE TOCANCIPA, 2011. pág. 119.

**BERNAL, SANDRA MILENA SANCHEZ Y MARIA PAULA PEÑA. 2011.** *PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE BITUIMA, CUNDINAMARCA.* BOGOTÁ : s.n., 2011.

**BUITRAGO, MARIA FERNANDA HIGUERA CABREJO Y JULIAN ANDRES PARRA. 2018.** *EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAPOTABLE DEL MUNICIPIO DE TOGÜÍ – BOYACÁ. EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAPOTABLE DEL MUNICIPIO DE TOGÜÍ – BOYACÁ.* [PUBLICACION EN LA WED]. BOGOTÁ : UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA, 2018. pág. 67. <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00004555.pdf>.

**CUADROS, ZAIDA CAMILA PÉREZ. 2016.** *DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE GUATEQUE EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ-COLOMBIA. DIAGNÓSTICO*



*Y EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE GUATEQUE EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ-COLOMBIA.* BOGOTÁ : RESPOSITORIO UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA, 2016. pág. 87.  
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13991/4/DIAGN%C3%93STICO%20Y%20EVALUACION%20PTAP%20GUATEQUE%20ZAIDA%20CAMILA%20PEREZ%20CUADROS%20503120.pdf>.

**DANE. 2010.** Proyeccion Municipios 2005-2020. *Proyeccion Municipios 2005-2020.* [En línea] 29 de DICIEMBRE de 2010. [Citado el: 18 de MARZO de 2019.]

**ESP, EMPRESA DE SERVICIOS PUBLICOS DE TOCANCIPA S.A. 2019.** EPS TOCANCIPA. *EPS TOCANCIPA.* [En línea] 2019. [Citado el: 11 de MARZO de 2019.] <http://esptocancipa.com/>.

*Groundwater science in water-utility operations: global reflections.* **Foster, Stephen y Sage, Rob. 2017.** Croft Lane Chipperfield : Hydrogeology Journal, 2017, Vol. 25.

**GUIAS, MAPAS Y. 2015.** TOCANCIPÁ INFO. *TOCANCIPÁ INFO.* [En línea] 19 de MARZO de 2015. [Citado el: 23 de MARZO de 2019.] <http://tocancipa.info/datos-generales-tocancipa/>.

**HIDRITEC. 2016.** PLANTAS COMPACTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE . *PLANTAS COMPACTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE .* [En línea] 2016. [Citado el: 23 de MARZO de 2019.] <http://www.hidritec.com/hidritec/plantas-compactas-de-tratamiento-de-agua-potable>.

**JIMENEZ, MIRIAM. 2015.** AUDITORIA OPERATIVA UNIFRANZ . *AUDITORIA OPERATIVA UNIFRANZ .* [En línea] 25 de 07 de 2015. [Citado el: 08 de 09 de 2019.] <http://audunifranz.blogspot.com/2015/07/auditoria-operativa.html>.

**LTDA, GEOINTERPRETACION. 2001.** *CONSULTORIA PARA PERFORACION DE UN POZO PROFUNDO VEREDA LA ESMERALDA QUEBRADA PEÑA BLANCA TOCANCIPA.* BOGOTÁ D.C. : ALCALDIA MUNICIPAL DE TOCANCIPA, 2001. CARPETA 1.

**LTDA, INGESANDIA. 2001.** *INFORME DE INTERVENTORIA 040.* BOGOTÁ D.C. : ALCANDIA MUNICIPAL DE TOCANCIPÁ, 2001. CARPETA 7.

—. **2002.** *INFORME DE INTERVENTORIA MES DE FEBRERO.* BOGOTÁ D.C. : ALCALDIA MUNICIPAL DE TOCANCIPÁ, 2002. CARPETA 8.

**Martínez, Grecia Guzmán. 2018.** Investigación Acción Participativa (IAP): ¿qué es y cómo funciona? *Investigación Acción Participativa (IAP): ¿qué es y cómo funciona?* [En línea] 13 de ABRIL de 2018. [Citado el: 26 de MARZO de 2019.] <https://psicologiyamente.com/social/investigacion-accion-participativa>.

**MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL Y MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. 2007.** *RESOLUCIÓN 2115.* BOGOTÁ : MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL Y MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIA, 2007. pág. 23.

**MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. 2017.** *RESOLUCION 330 DEL REGLAMENTO TÉCNICO PARA EL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO - RAS.* BOGOTÁ : MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, 2017.

**MORENO, CARLOS JULIO ROZO. 2015.** *INFORME GESTIÓN 2012 - 2015.* MUNICIPIO DE TOCANCIPA : ALCALDIA MUNICIPAL DE TOCANCIPA, 2015. pág. 206.

**MUNICIPAL, WALFRANDO ADOLFO FORERO BEJARANO - ALCALDE. 2018.** *INFORME DE GESTIÓN MUNICIPIO DE TOCANCIPÁ (Cundinamarca).* MUNICIPIO DE TOCANCIPA : ALCALDÍA MUNICIPAL DE TOCANCIPA, 2018. pág. 291.

**RAMIREZ, LAURA ALICIA. 2015.** *Adsorción del naranja de metilo en solución acuosa sobre hidróxidos dobles laminares.* Guanajuato : versión On-line ISSN 2007-9621 versión impresa ISSN 0188-6266, 2015.

**RENOVETEC. 2015.** INGENIERÍA DEL MANTENIMIENTO . *INGENIERÍA DEL MANTENIMIENTO* . [En línea] RENOVE TECNOLOGÍA , 2015. [Citado el: 08 de 09 de 2019.] <http://ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/4-evaluacion-tecnica-de-instalaciones>.

**RODRIGUEZ, MIGUEL ANGEL GARZON. 2007.** *ACTA DE INFORME DE GESTIÓN 2004 - 2007* . MUNICIPIO DE TOCANCIPA : ALCALDIA MUNICIPAL DE TOCANCIPA, 2007. pág. 23.

**ROJAS, JAIRO ALBERTO ROMERO. 1999.** *POTABILIZACIÓN DEL AGUA 3RA EDICIÓN.* MEXICO : ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. de C.V., 1999. pág. 306.

**TOCANCIPÁ, ALCALDÍA DE. 2017.** Tocancipá Alta Competitividad con Desarrollo y Proyección. *Tocancipá Alta Competitividad con Desarrollo y Proyección.* [En línea] ALCALDÍA DE TOCANCIPÁ, 2017. [Citado el: 20 de MARZO de 2019.] <http://www.tocancipa-cundinamarca.gov.co/Proyectos/Paginas/Nuestros-Proyectos.aspx>.

**TOCANCIPÁ, ALCALDIA MUNICIPAL DE. 2015.** *PLAN BASICO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL PBOT TOCANCIPÁ 2015- 2027 - ANEXO TÉCNICO DE SERVICIOS PÚBLICOS.* MUNICIPIO DE TOCANCIPÁ : ALCALDIA MUNICIPAL DE TOCANCIPÁ, 2015. pág. 33.

**TOCANCIPÁ, CONSORCIO AGUAS DE. 2014.** *CONTRATO N°392 DE 2013 - DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO.* MUNICIPIO DE TOCANCIPÁ : CONSORCIO AGUAS DE TOCANCIPÁ, 2014. pág. 234.

**TOCANCIPÁ, EMPRESA DE SERVICIOS PUBLICOS DE. 2019.** *ACTA DE CONCERTACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO.* MUNICIPIO DE TOCANCIPÁ : s.n., 2019.

*Water Quality in the State of Aguascalientes and its Effects on the.* **González FJA, López EMR, Saldaña MCM, Barrera ALG. 2012.** Juárez CC : Springer, Berlin, Heidelberg, 2012.

*Water Quality Management in Central America:.* **REYES, MAUREEN BALLESTEROS-VIRGINIA. 2006.** Tortajada-España : Springer, Berlin, Heidelberg, 2006.

## **ANEXOS**

Anexo 1. Carta de aval del proyecto del proyecto por parte de interlocutores reconocidos en la comunidad y representados por organizaciones comunitarias (Documento digital - pdf).

Anexo 2. Carta de compromiso por parte de los estudiantes en realizar la entrega de los productos a la comunidad (Documento digital - pdf).

Anexo 3. Formato de diario de campo visita a la planta para recopilación de información (Documento digital - pdf).

Anexo 4. Formato de diario de campo visita a la planta toma de muestra de agua cruda para realizarle ensayos de laboratorio (Documento digital - pdf).

Anexo 5. Informe “DIAGNOSTICO Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE TOCANCIPÁ – 2014” (Documento digital - pdf).

Anexo 6. Actas de la secretaria de salud de Tocancipá 2019 (Documento digital - pdf).

Anexo 7. Informe de mantenimiento pozo La Esmeralda 2018 (Documento digital - pdf).

Anexo 8. Memoria de cálculo trabajo de grado – entregable a la comunidad y ESPT (Documento digital - Word).

Anexo 9. Memoria de cálculo trabajo de grado – entregable a la comunidad y ESPT (Documento digital - Excel).

Anexo 10. Planos diseño PTAP La Esmeralda (Documento digital - pdf).