



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**EVALUACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL  
MUNICIPIO DE GACHANCIPA.**

**DANIEL ALEJANDRO AMEZQUITA BEJARANO  
PAOLA JIMENA BEJARANO JIMENEZ**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
BOGOTÁ  
2018**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**EVALUACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL  
MUNICIPIO DE GACHANCIPA.**

**DANIEL ALEJANDRO AMEZQUITA BEJARANO    CÓDIGO: 505068**  
**PAOLA JIMENA BEJARANO JIMENEZ        CÓDIGO: 504646**

**TRABAJO DE GRADO**

**DIRECTOR**

**Jesús Ernesto Torres Quintero**  
**Ing. Civil- Magister en Recursos Hidráulicos**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**BOGOTÁ**

**2018**



## 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 jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del director de tesis

Bogotá, D.C., Mayo de 2018

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	28
1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	29
1.1 ANTECEDENTES.....	29
1.1.1 LOCALIZACION.....	29
1.1.2 EXTENSIÓN.....	30
1.1.3 ALTITUD.....	30
1.1.4 LIMITES.....	30
1.1.5 VIAS DE COMUNICACIÓN.....	30
1.1.6 HIDROLOGIA.....	31
1.1.6.1 RED HIDRICA.....	31
1.1.6.2 DISPONIBILIDAD DEL AGUA.....	31
1.1.6.3 USOS DEL AGUA.....	32
1.1.7 ESTADO SANITARIO ACTUAL.....	32
1.1.7.1 ACUEDUCTO.....	32
1.1.7.2 ALCANTARILLADO.....	32
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	34
2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	34
3. OBJETIVOS.....	35
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	35
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	35
4. DELIMITACION.....	35

4.1 TIEMPO.....	35
4.2 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	35
4.2 LIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
5. METODOLOGÍA.....	36
5.1 DETERMINACION DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	36
5.2 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	37
5.4 PRESENTACION DE DATOS E INFORMACION.....	37
5.5 ANÁLISIS Y PRESENTACION DE LOS RESULTADOS.....	38
6. MARCO DE REFERENCIA.....	38
6.1 MARCO CONCEPTUAL.....	38
6.1.2 Características importantes de las aguas residuales.....	39
6.1.3 Tratamiento de aguas residuales.....	42
6.2 MARCO TEÓRICO.....	43
6.2.1 AGUAS RESIDUALES.....	43
6.2.2 CONSIDERACIONES PARA EL PROCESO DE TRATAMIENTO.....	47
6.2.3 MODELOS MATEMATICOS (FILTROS Y LAGUNAS).....	48
6.3 MARCO HISTÓRICO.....	53
6.4 MARCO LEGAL.....	53
7. ESTADO DEL ARTE.....	58
8. DISEÑO METODOLOGICO.....	59
8.1. EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS EXISTENTES VISITA TECNICA.....	59
8.1.1 ESTIMACION DE LA POBLACION.....	65
8.1.2 CAUDALES.....	69

9. PRETRATAMIENTO .....	73
9.1 REJILLAS DE CRIBADO .....	73
9.1.2 DESARENADOR.....	76
10. TRATAMIENTO SECUNDARIO .....	78
10.1.1 LAGUNA FACULTATIVA PRIMARIA .....	78
10.1.2 ESTACION DE BOMBEO.....	81
10.1.3 FILTROS PERCOLADORES .....	83
10.1.4 LAGUNA FACULTATIVA SECUNDARIA .....	86
10.1.5 TANQUE DE CONTACTO .....	87
11. ANALISIS DE RESULTADOS .....	89
12. OPTIMIZACION .....	90
13. CONCLUSIONES.....	91
14. RECOMENDACIONES.....	93
16. BIBLIOGRAFÍA .....	101

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Procesos de tratamiento de agua residual .....	46
Tabla 2. Censos del municipio (DANE) .....	65
Tabla 3. Población proyectada, crecimiento lineal. ....	67
Tabla 4. Población proyectada, geométrico. ....	67
Tabla 5. Población proyectada, Logarítmico .....	68
Tabla 6. Población Promedio .....	69
Tabla 7. Dotación neta por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida	70
Tabla 8. Dotación para el municipio de Gachancipá .....	70
Tabla 9. Incrementos de población para cálculo de caudales .....	71
Tabla 10. Caudales .....	72
Tabla 11. Datos para diseño .....	72
Tabla 12. Características de las rejillas .....	73
Tabla 13. Rejillas .....	75
Tabla 14. Diseño de las rejillas .....	76
Tabla 15. Diseño de desarenador .....	78
Tabla 16. Dimensiones y parámetros actuales laguna N°1 .....	80
Tabla 17. Calculo laguna facultativa N°1 .....	81
Tabla 18. Parametros para bombas .....	82
Tabla 19. Potencia de las bombas .....	83
Tabla 20. Diseño filtro percolador .....	85
Tabla 21. Dimensiones y parámetros actuales laguna N°2 .....	86
Tabla 22. Calculo laguna facultativa N°2 .....	86
Tabla 23. Parámetros de desinfección por cloración .....	88
Tabla 24. Análisis de resultados .....	89

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Localización del municipio de Gachancipá en Cundinamarca .....	29
Ilustración 2 Esquema de funcionamiento PTAR.....	48
Ilustración 3 Tubería ingreso .....	60
Ilustración 4 Letrero ingreso PTAR.....	60
Ilustración 5 Rejillas.....	60
Ilustración 6 Valvula .....	60
Ilustración 7 Válvulas.....	61
Ilustración 8 Desarenador.....	61
Ilustración 9 Recorrido laguna .....	61
Ilustración 10 Salida agua residual a laguna #1.....	61
Ilustración 11 Tubería que va a filtros.....	62
Ilustración 12 Tubería de las 3 bombas .....	62
Ilustración 13 Parte alta del filtro.....	62
Ilustración 14 Perfil filtro percolador.....	62
Ilustración 15 Medio filtrante (Producto de Serviacueducto Ltda).....	63
Ilustración 16 Salida de agua a laguna #2 .....	63
Ilustración 17 Agua luego de filtración .....	63
Ilustración 18 Laguna # 2 .....	63
Ilustración 19 Salida del agua de la PTAR.....	64
Ilustración 20 Tanque de contacto.....	64
Ilustración 21 Rio Bogotá.....	64
Ilustración 22 Salida del agua a quebrada .....	64
Ilustración 23 Lecho de secado (lodos activos) .....	65

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO 1: PLANTA GENERAL

ANEXO 2: DETALLE FILTRO PERCOLADOR Y DESARENADOR

ANEXO 3: CUARTO DE BOMBAS Y TANQUE DE CONTACTO

ANEXO 4: PERFILES

ANEXO 5: CALCULO DE CAUDAL METODO WAPPPUS

ANEXO 6: CURVA DE LA BOMBA

ANEXO 7: LABORATORIO, CALIDAD DE AGUA (CAR)

## GLOSARIO

**Agua residual:** tipo de agua que se haya contaminada con elementos tóxicos tales como materia fecal y orina de seres humanos, e incluso de animales, considerándose también como el producto sobrante de las actividades cotidianas de subsistencia humana.<sup>1</sup>

**Agua residual doméstica:** Son las aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por las excretas humanas y las actividades domésticas.<sup>2</sup>

**Agua residual industrial:** Todas las aguas residuales generadas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad industrial o comercial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.<sup>3</sup>

**Anaerobio:** no requiere O<sub>2</sub> libre para su crecimiento y multiplicación y que es inhibido por las concentraciones.<sup>4</sup>

**Cavitación:** Condición que producen los gases encerrados dentro de un líquido cuando la presión se reduce a la presión del vapor.<sup>5</sup>

**Cuerpo de agua:** Acumulación de agua corriente o quieta, que en su conjunto forma la hidrósfera; son los charcos temporales, esteros, manantiales, marismas, lagunas, lagos, mares, océanos, ríos, arroyos, reservas subterráneas, pantanos y cualquier otra acumulación de agua.<sup>6</sup>

**DBO<sub>5</sub>:** Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días. Medida de la cantidad de oxígeno consumida en la oxidación del material carbonoso de una muestra de agua, por la población microbiana, a lo largo de cinco días de incubación. Se trata de una reacción fuertemente dependiente de la temperatura por lo que siempre que el ensayo no se haya hecho a 20° que es la estándar habrá que indicarlo. Se trata

---

<sup>1</sup> (definiciones, 2018)

<sup>2</sup> (IGIME, 2015)

<sup>3</sup> (IGIME, 2015)

<sup>4</sup> (UNAM, 2016)

<sup>5</sup> (Definicion, 2008)

<sup>6</sup> (Scribd, 2018)

del parámetro indicador de contaminación orgánica más ampliamente empleado, aunque tiene serias limitaciones que hay que tener en cuenta a la hora de su interpretación, entre estas pueden destacarse: en los cinco días que dura el ensayo normalmente no se oxida más del 60 o 70% de la materia orgánica realmente presente en la muestra, los resultados obtenidos dependen del inóculo bacteriano y la presencia de sustancias tóxicas para los microorganismos puede falsear los resultados.<sup>7</sup>

**DQO:** Demanda química de oxígeno. Se trata de un ensayo empleado para la medida del contenido en materia orgánica de una muestra de agua residual. Como agente oxidante se emplea una sustancia química, como el dicromato, fuertemente oxidante en medio ácido y a elevada temperatura.<sup>8</sup>

**Desinfección:** Destrucción por medio de un agente químico o físico de las bacterias y virus patógenos que se encuentran en el material a desinfectar. Se diferencia de la esterilización en que esta última destruye todos los microorganismos, patógenos o no, incluidas las formas de resistencia.<sup>9</sup>

**Eficiencia:** Es la relación entre la salida y la entrada, esta puede ser volumen, potencia, energía y se mide en porcentaje.<sup>10</sup>

**Efluente:** Que fluye al exterior, descargado como desecho con o sin tratamiento previo; por lo general se refiere a descargas líquidas hacia cuerpos de aguas superficiales.<sup>11</sup>

**Estabilización:** Proceso físico-químico mediante el cual se produce la transformación de una sustancia en otra más estable y generalmente menos tóxica. Mineralización de la materia orgánica.<sup>12</sup>

**Fluido:** Líquido o gas. Un líquido que es específicamente compuesto para usarlo como medio de transmitir potencia en un sistema hidráulico.<sup>13</sup>

**Límite permisible:** Valor máximo de concentración de elemento(s) o sustancia(s) en los diferentes componentes del ambiente, determinado a través de métodos

---

<sup>7</sup> (UNAM, 2016)

<sup>8</sup> (UNAM, 2016)

<sup>9</sup> (UNAM, 2016)

<sup>10</sup> (Scribd, 2018)

<sup>11</sup> (Definicion, 2008)

<sup>12</sup> (UNAM, 2016)

<sup>13</sup> (Definicion, 2008)

estandarizados, y reglamentado a través de instrumentos legales.<sup>14</sup>

**Percolación:** Movimiento del agua a través de los intersticios de la roca o del suelo.<sup>15</sup>

**Presión:** Fuerza por unidad de área. Se expresa en PSI. Es creada por la restricción al flujo. La presión ejercida en un recipiente es la misma en todas direcciones.<sup>16</sup>

**PSI:** Pound per square inch - Libras por pulgada cuadrada.<sup>17</sup>

**Tratamiento primario:** El tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso físico y químico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión, u otros procesos en los que la DBO<sub>5</sub> de las aguas de entrada se reduzca por lo menos en un 20% antes del vertido, y el total de sólidos en suspensión se reduzca al menos en un 50%.<sup>18</sup>

**Tratamiento secundario:** Proceso que incluye un tratamiento biológico con sedimentación secundaria, en el que se alcanzan determinados parámetros mínimos de calidad: La DBO<sub>5</sub> a 20 °C (sin nitrificación) debe reducirse, al menos, entre un 70 y un 90 %. La DQO debe aminorarse más del 75%. Los sólidos en suspensión deben reducirse entre el 70 y el 90%.<sup>19</sup>

**Válvula:** Dispositivo que cierra o restringe temporalmente un conducto. Estas controlan la dirección de un flujo; controlan el volumen o caudal de un flujo; y controlan la presión del sistema.<sup>20</sup>

**Volumen:** Tamaño de espacio de la cámara, se mide en unidades cúbicas. m<sup>3</sup>, pies cúbicos.<sup>21</sup>

---

<sup>14</sup> (Scribd, 2018)

<sup>15</sup> (Scribd, 2018)

<sup>16</sup> (definiciones, 2018)

<sup>17</sup> (Scribd, 2018)

<sup>18</sup> (UNAM, 2016)

<sup>19</sup> (UNAM, 2016)

<sup>20</sup> (Scribd, 2018)

<sup>21</sup> (definiciones, 2018)

**RAE No. 01**

**FICHA TOPOGRÁFICA**

**TITULO: EVALUACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE GACHANCIPA.**

**AUTORES: DANIEL ALEJANDRO AMEZQUITA BEJARANO, PAOLA JIMENA BEJARANO JIMENEZ.**

**ALTERNATIVA: Trabajo de investigación.**

**PAGINAS: 101      TABLAS: 24      FIGURAS: 22      ANEXOS: 7**

**CONTENIDO:**

INTRODUCCION

ANTECEDENTES

JUSTIFICACION

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

METODOLOGIA

MARCO DE REFERENCIA

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BILBIOGRAFIA

ANEXOS

**PALABRAS CLAVE:** Tratamiento de aguas, Agua residual, eficiencia, DBO.

**DESCRIPCIÓN:** El presente trabajo de investigación, esta direccionado a la evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio Gachancipá, basados en la verificación del funcionamiento de cada unidad de la planta de tratamiento de aguas residuales en términos de eficiencia y

cumplimiento de dimensionamiento , como también la verificación del cumplimiento con la normatividad ambiental vigente.

Haciendo uso de la información obtenida en campo y en la CAR, por medio del análisis, se identificó el funcionamiento de la PTAR, basados en parámetros de vertimiento, calidad del agua y diseño hidráulico de las respectivas unidades.

**METODOLOGIA:** se implementó para el desarrollo del presente trabajo de grado una metodología basada en cuatro fases las cuales son : Determinación del área de estudio, recopilación de información, presentación de datos e información de forma organizada y lógica y por último análisis y presentación de resultados, los cuales están especificados en el ítem 5 del presente documento.

**CONCLUSIONES:** A través del presente trabajo de investigación se evaluó el funcionamiento de cada una de las unidades de la PTAR de Gachancipa, teniendo en cuenta aspectos técnicos, y así mismo por medio del análisis de la información logró realizar una comparación con la normatividad vigente. Además por medio de la evaluación se plantearon recomendaciones para aumentar la eficiencia de la plata de tratamiento de aguas residuales.

#### **FUENTES:**

**ROMERO ROJAS, Jairo Alberto.** Tratamiento de aguas residuales; teoría y principios de diseño. Bogotá: Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito, 2001.

**ROMERO ROJAS, Jairo Alberto.** Purificación del agua Bogotá: Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito, 2000.

**ROMERO ROJAS, Jairo Alberto.** Tratamiento de aguas residuales; teoría y principios de diseño. Bogotá: Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito, 2001

**ROMERO ROJAS, Jairo Alberto.** Lagunas de Estabilización De Aguas Residuales. Bogotá: Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito, 2005

**TCHOBANOGLIOUS, George. RON, Crites** Tratamiento de aguas residuales para poblaciones pequeñas. Mc Graw Hill. 2000.

**Revista Mexicana de Ingeniería Química.** Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica y nitrógeno en un filtro percolador con nuevo empaque. [En línea] 2013. [Citado el: 12 de 10 de 2017.].  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62029966019>

**ALCALDIA GACHANCIPA** Información general [en línea] 16 de agosto de 2013. Bogotá Alcaldía [Citado 2 Septiembre, 2017] Disponible en internet:  
[http://www.gachancipa-cundinamarca.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.gachancipa-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml)

**PRADA GUADALUPE ALVARO** Plantas de tratamiento de agua residual [en línea] 2005. Perú  
Universidad nacional de San Martín [Citado 5 Septiembre de 2017] Disponible en internet: <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2366>

**LENNTECH** Historia de tratamiento de agua potable y residual [en línea] 2014. España Lenntech [Citado 5 Septiembre de 2017] Disponible en internet:  
<http://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/historia/historia-tratamiento-agua-potable.htm>

Aportes de leyes por el ingeniero Gonzales Fernando

**ALCALDIA BOGOTÁ** Decretos y leyes aguas residuales [en línea] 2009. Bogotá Alcaldía [Citado 6 de septiembre de 2017] Disponible en internet:  
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=974>

**ambientum.com. 2015.** El portal profesional del medio ambiente. [En línea] 2015. [Citado el: 12 de 09 de 2017.]  
<http://www.ambientum.com/diccionario/listado/diccionario.asp?letra=i#>.

**Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. 2006.** PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RÍO BOGOTÁ. . [En línea] 2006. [Citado el: 12 de 09 de 2017.]  
[http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/adminverblobawa?tabla=T\\_NORMA\\_ARC\\_HIVO&p\\_NORMFIL\\_ID=305&f\\_NORMFIL\\_FILE=X&inputfileext=NORMFIL\\_FILEN\\_AME](http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/adminverblobawa?tabla=T_NORMA_ARC_HIVO&p_NORMFIL_ID=305&f_NORMFIL_FILE=X&inputfileext=NORMFIL_FILEN_AME)

**Berg, Susan. 2001.** muy fitness. Fuentes de contaminantes. [En línea] 2001. [Citado el: 12 de 09 de 2017.] [https://muyfitness.com/fuentes-de-contaminantes\\_13121031/](https://muyfitness.com/fuentes-de-contaminantes_13121031/)

**Espigares García, M y Perez Lopez , J.A.** AGUAS RESIDUALES.COMPOSICIÓN. [En línea] [Citado el: 12 de 09 de 2017.] [http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)

**Ministerio de Desarrollo Económico. 2000.** REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS-2000. Bogotá D.C : s.n., En línea[ 2000]. [http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7.Tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales.pdf](http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7.Tratamiento_de_aguas_residuales.pdf)

**Municipio de Gachancipá.** Alcaldía de Gachancipá - Cundinamarca. [En línea] [Citado el: 04 de 09 de 2017.] <http://www.gachancipa-cundinamarca.gov.co/index.shtml#8>.

**Ministerio de ambiente** Decretos y leyes aguas residuales [en línea] 2000. Bogotá  
Alcaldía [Citado 6 de septiembre de 2017] Disponible en internet:  
[http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley\\_0373\\_1997.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0373_1997.pdf)

**Congreso de la República** Decretos y leyes aguas residuales [en línea] 2000. Bogotá  
Alcaldía [Citado 6 de septiembre de 2017] Disponible en internet:  
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1177>

**Congreso de la República** Decretos y leyes aguas residuales [en línea] 2000. Bogotá  
Alcaldía [Citado 6 de septiembre de 2017] Disponible en internet:  
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=2752>

**Presidente de la República de Colombia** Decretos y leyes aguas residuales [en línea] 2000. Bogotá  
Presidencia [Citado 6 de septiembre de 2017] Disponible en internet:  
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18617>

**DAMA** Decretos y leyes aguas residuales [en línea] 2000. Bogotá  
Dama [Citado 6 de septiembre de 2017] Disponible en internet:  
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=974>

**Ministerio de desarrollo económico** Decretos y leyes aguas residuales [en línea]  
2000. Bogotá  
Ministerio [Citado 6 de septiembre de 2017] Disponible en internet:  
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=38541>

**Quintero Angel , Alejandro .** EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE LA TEBAIDA  
QUINDÍO [En línea] 2007..Manizales : s.n., 2007 [Citado el: 12 de 09 de2017.]  
<http://www.bdigital.unal.edu.co/1090/1/alejandroquintero.2007.pdf>

**Ramallo, R.S. 1996.** Tratamiento de aguas residuales. Barcelona [en línea ]1996.  
[Citado el: 12 de 09 de2017.]  
[https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=30etGjzPXyWC&oi=fnd&pg=PA1&dq=tratamiento+en+aguas+residuales&ots=OCpcHskGp9&sig=qY4-6VRKW\\_g4jIMZUV60fbBGkyg#v=onepage&q&f=true](https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=30etGjzPXyWC&oi=fnd&pg=PA1&dq=tratamiento+en+aguas+residuales&ots=OCpcHskGp9&sig=qY4-6VRKW_g4jIMZUV60fbBGkyg#v=onepage&q&f=true)

**TEAM FENIX. 2010.** SANEAMIENTO AMBIENTAL. [En línea] 01 de 06 de 2010.  
[Citado el: 12 de 09 de 2017.]  
<http://teamfenixsa.blogspot.com.co/>

**Estado de Aguas y Costas del Ministerio de Medio Ambiente** La Situación  
Actual y los Problemas Existentes y Previsibles. [En línea] [Citado el: 5 de 10 de  
2017.]  
[http://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan%20de%20Recuperaci%C3%B3n%20del%20J%C3%BAcar/Cap.3\\_part2\\_Libro\\_blanco\\_del\\_agua.pdf](http://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan%20de%20Recuperaci%C3%B3n%20del%20J%C3%BAcar/Cap.3_part2_Libro_blanco_del_agua.pdf)

**DRINKING WATER** treatment wáter [En línea] enero de 2015 [Citado el 12 de 10  
de 2017] [https://www.cdc.gov/healthywater/drinking/public/water\\_treatment.html](https://www.cdc.gov/healthywater/drinking/public/water_treatment.html)

**TES GROUP WATER** treatment saweag wáter [En línea] 2017 [Citado el 8 de 10  
de 2017] [https://tesgroup.com/water/services/design-build-and-operate/?gclid=EAlalQobChMIzNa2h5Xs1qIVClqGCh14wg2wEAAYAAEgKM7\\_D\\_BwE](https://tesgroup.com/water/services/design-build-and-operate/?gclid=EAlalQobChMIzNa2h5Xs1qIVClqGCh14wg2wEAAYAAEgKM7_D_BwE)

**LORMELYN E. CLAUDIO** Wastewater Management in the Philippines [En línea] 23 de abril de 2015 [Citado el 09 de 10 de 2017] [http://www.wipo.int/edocs/mdocs/mdocs/en/wipo\\_ip\\_mnl\\_15/wipo\\_ip\\_mnl\\_15\\_t4.pdf](http://www.wipo.int/edocs/mdocs/mdocs/en/wipo_ip_mnl_15/wipo_ip_mnl_15_t4.pdf)

**AMETEK** Water and Wastewater Industry [En línea] 2017 [Citado el 09 de 10 de 2017] [http://www.ametekcalibration.com/industries/water-and-wastewater?gclid=EAlaQobChMIwdLy-JXs1gIVRFmGCh2ogQDnEAMYASAAEgJsUPD\\_BwE](http://www.ametekcalibration.com/industries/water-and-wastewater?gclid=EAlaQobChMIwdLy-JXs1gIVRFmGCh2ogQDnEAMYASAAEgJsUPD_BwE)

**REY RIOS DIANA ELENITH** inventario de los sistemas de tratamiento de aguas residuales del departamento del Meta [En línea] 20 de 04 de 2017 [Citado el 12 de 10 de 2017] <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/593/2/CF%20-%20Trabajos%20de%20Grado%20Maestr%C3%ADa%20en%20Ingenier%C3%ADa%20Civil-3094660%20.pdf>

**ACODAL. 2017.** Acodal.org . [En línea] 25 de 10 de 2017. [Citado el: 25 de 04 de 2018.] <http://www.acodal.org.co/reglamento-tecnico-ras-nueva-resolucion-0330-de-2017/> .

*Acueducto Gachancipa. Gachancipá, Alcaldia de. 2011.* 2011.

**AguaMarket. 2016.** Caudal, Caida Hidraulica. [En línea] 2016. <http://www.aguamarket.com/diccionario/resultados.asp>.

**ambientum.com. 2015.** El portal profesional del medio ambiente. [En línea] 2015. <http://www.ambientum.com/diccionario/listado/diccionario.asp?letra=i#>.

**ARBOLEDA Valencia, J. 2000..** *Teoría y práctica de la purificación del agua.* . Bogotá D.C. : Editorial Mc Graw Hill., 2000.

**Arlandis , Oller y Sanz Valero, J. 1997.** *Cancer por contaminación química del agua de consumo humano en menores de 19 años.* 1997.

**AVILA JIMENEZ, Cristian. 2015.** EL TIEMPO. *¿Cómo es el avance en la cobertura de acueducto en Colombia?* [En línea] 24 de Marzo de 2015.

<http://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/agua-potable-en-colombia-/15445939>.

**Basico, Ministerio de Desarrollo Economico Direccion de Agua Potable y Saneamiento. 2000.** *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Basico RAS*. Bogota : s.n., 2000.

**Berg, Susan. 2001.** muy fitness. *Fuentes de contaminantes*. [En línea] 2001. [Citado el: 12 de 09 de 2017.] [https://muyfitness.com/fuentes-de-contaminantes\\_13121031/](https://muyfitness.com/fuentes-de-contaminantes_13121031/).

**BV, Lennthech. 2016.** Historia del tratamiento de agua potable. *Water Tratment Solutions*. [En línea] 2016. <http://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/historia/historia-tratamiento-agua-potable.htm>.

**CAR, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. 2016.** Diagnostico Esquema de Ordenamiento Territorial. *Observatorio de agendas interinstitucionales y conflictos ambientales*. [En línea] 2016. <http://www.observatorioambientalcar.co/archivos/1390808554diagnosticoterritorialporsubsistemaseotena.pdf>.

**CARDENAS, Yolanda Andia. 2000.** Tratamiento de agua coagulación y floculación. [En línea] 26 de Septiembre de 2000. [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154).

**Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. 2006.** *PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RÍO BOGOTÁ*. 2006. [http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/adminverblobawa?tabla=T\\_NORMA\\_ARC\\_HIVO&p\\_NORMFIL\\_ID=305&f\\_NORMFIL\\_FILE=X&inputfileext=NORMFIL\\_FILEN\\_AME](http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/adminverblobawa?tabla=T_NORMA_ARC_HIVO&p_NORMFIL_ID=305&f_NORMFIL_FILE=X&inputfileext=NORMFIL_FILEN_AME).

**Cundinamarca, Alcaldía Tena -. 2016.** Nuestro municipio. [En línea] 28 de Septiembre de 2016. [http://www.tena-cundinamarca.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.tena-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml).

**Cundinamarca, Corporación Autónoma Regional de. 2009.** *Proyecto de preinversión para la preparación del programa de manejo ambiental de la cuenca del río Bogotá convenio de cooperación técnica no reembolsable ATN/OC-102008-CO.* Bogotá : s.n., 2009.

**Definicion. 2008.** Definicion.de. [En línea] Definicion, 2008. [Citado el: 20 de 03 de 2018.] <https://definicion.de>.

**Definicionabc. 2017.** Definicion abc tu diccionario hecho facil. [En línea] 2017. [Citado el: 10 de 04 de 2018.] <https://www.definicionabc.com/medio-ambiente/aguas-residuales.php>.

**Espigares García, M y Perez Lopez , J.A. AGUAS RESIDUALES.COMPOSICIÓN.**

[http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf).

**EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE REMOCION DE MATERIA ORGANICA . Muños sanchez. 2013.** Mexico : s.n., 203.

*Evaluación, Mejoramiento y Optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Soritor Perú.* **ALVARO, PRADA GUADALUPE. 2005.** 2005.

**FANDIÑO PIAMONTE, Jimmy Sebastian. 2016.** *Evaluación y optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de purificacion en el departamento del Tolima.* Bogotá : Repositorio Insitucional Tesis Base de Datos, 2016.

**Gachancipa, Consorcio Ptar. 2013.** [file:///C:/Users/Invitado/Downloads/DISE%C3%91O%20GACHANCIPA%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Invitado/Downloads/DISE%C3%91O%20GACHANCIPA%20(1).pdf). [En línea] abril de 2013.

**GUEVARA ALDANA, Raul. 2007.** *Plan de desarrollo 2006 - 2007.* Cundinamarca : Municipio de Tena, 2007.

*Historia del tratamiento de agua potable.* **Lenntech. 1998-2017.** España : s.n., 1998-2017.

**IGIME. 2015.** [En línea] 08 de 2015. [Citado el: 12 de 03 de 2018.] [http://aguas.igme.es/igme/publica/depuracion\\_aresidual/8.pdf](http://aguas.igme.es/igme/publica/depuracion_aresidual/8.pdf).

*Informacion General. Gachancipa, Alcaldia. 2007.* Bogotá : s.n., 2007.

**LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. 1997.** *Elementos de Acueductos y Alcantarillados* . Colombia : Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 1997.

**Lopez Cualla, Ricardo. 1995.** *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado* . 1995.

**Lozano-Rivas, William. 2012.** *Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales*. Bogotá D.C. : s.n., 2012.

*Mapa de Gachancipá en Cundinamarca. Gachancipá, Alcaldia de. 2007.* Bogotá : s.n., 2007.

**Martinez Menes, Mario, y otros. 2016.** Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. *Lineas de Conduccion por Gravedad*. [En línea] 26 de Septiembre de 2016. [http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS%20TECNICAS%20E%20INSTRUCTIVOS%20NAVA/FICHA%20TECNICA\\_L%C3%8DNEA%20DE%20CONDUCCI%C3%93N.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS%20TECNICAS%20E%20INSTRUCTIVOS%20NAVA/FICHA%20TECNICA_L%C3%8DNEA%20DE%20CONDUCCI%C3%93N.pdf).

**Miguel, Ortiz. 2014.** prezi. *CRIBADO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. [En línea] 24 de febrero de 2014. [Citado el: 10 de 10 de 2017.] <https://prezi.com/gp4nhp5aavat/cribado-en-el-tratamiento-de-las-aguas-residuales/>.

**Ministerio de Desarrollo Económico. 2000.** *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS-2000*. Bogotá D.C : s.n., 2000.

**Ministerio de Desarrollo Económico. 2000.** *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS-2000*. Bogotá : s.n., 2000.

**Ministerio del Desarrollo Economico. 2000.** *Reglamento Tecnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Basico RAS 2000*. Bogotá : s.n., 2000.

**Municipio de Gachancipá.** Alcaldía de Gachancipá - Cundinamarca. [En línea] [Citado el: 04 de 09 de 2017.] <http://www.gachancipa-cundinamarca.gov.co/index.shtml#8>.

**Pereira, Aguas y Agua de. 2014.** Captación y aducción del agua. [En línea] 2014. [http://www.aguasyaguas.com.co/calidad\\_agua/index.php/es/home-es-es/10-contenido/12-captacion-y-aduccion-del-agua](http://www.aguasyaguas.com.co/calidad_agua/index.php/es/home-es-es/10-contenido/12-captacion-y-aduccion-del-agua).

*Publicación de Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua.* **CYTED. 2011.** Buenos Aires : s.n., 2011.

**Quintero Angel , Alejandro . 2007.** *EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE LA TEBAIDA (QUINDÍO).* Manizales : s.n., 2007. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1090/1/alejandroquintero.2007.pdf>.

**Ramallo, R.S. 1996.** *Tratamiento de aguas residuales.* Barcelona : Reverté S.A, 1996. [https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=30etGjzPXyWC&oi=fnd&pg=PA1&dq=tratamiento+en+aguas+residuales&ots=OCpcHskGp9&sig=qY4-6VRKW\\_g4jIMZUV60fbBGkyg#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=30etGjzPXyWC&oi=fnd&pg=PA1&dq=tratamiento+en+aguas+residuales&ots=OCpcHskGp9&sig=qY4-6VRKW_g4jIMZUV60fbBGkyg#v=onepage&q&f=false).

**RAS. TITULO E RAS 2000.** [En línea] [http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7.\\_Tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales.pdf](http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7._Tratamiento_de_aguas_residuales.pdf).

**Resolucion 0330 . 2017.** <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330%20-%202017.pdf>. [En línea] 8 de junio de 2017.

**resolucion 631 de 2015.** MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. [En línea] [Citado el: 19 de abril de 2018.] [https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R\\_MADS\\_0631\\_2015.pdf](https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MADS_0631_2015.pdf).

**Rey Rios, Diana Elenith. 2017.** Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. [En línea] 20 de abril de 2017. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/593/2/CF%20->

%20Trabajos%20de%20Grado%20Maestr%C3%ADa%20en%20Ingenier%C3%A  
Da%20Civil-3094660%20.pdf.

**Romero rojas, jairo aberto. 2005.** *Laguas De Estabilizacion De Aguas Residuales* . s.l. : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2005.

**Romero Rojas, jairo alberto. 1998.** *Acuitratamiento por Lagunas de Estabilizacion*. s.l. : Escuela Colombiana de Ingenieria , 1998.

**ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. 1999.** Potabilizacion del Agua. Mexico DF : Alfaomega Grupo Editor SA, 1999, pág. 306.

**Romero rojas, jairo. 2000.** *Purifiacion del agua* . s.l. : Escuela Colombiana De Ingenieria Julio Garavito, 2000.

—. **2001.** *Tratamiento de aguas residuales; teoria y princio de diseño*. s.l. : Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2001.

**Salud, OMS Organización Mundial de la. 2016.** Organización Mundial de la Salud, OMS . [En línea] Noviembre de 2016. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>.

**SANTAMARIA, Felipe. 2016.** Plantas de Tratamiento de Agua Residual y Laboratorio. *Apuntes tomados en clase*. Bogota : s.n., 2016.

**Scribd. 2018.** Scribd. [En línea] Chelsea, 2018. [Citado el: 12 de 03 de 2018.] <https://es.scribd.com/doc/127949571/Glosario-de-Terminos-Hidraulicos>.

**SISTEC, Aguas.** Solucioin en tratamientos de agua. *Planta de tratamiento de agua potable*. [En línea] <http://www.aguasistec.com/planta-de-tratamiento-de-agua-potable.php>(2016).

**social, Ministerio de la protección.** Decreto Número 1575 de 2007. [En línea] <http://www.minvivienda.gov.co/DecretosAgua/1775%20-%202007.pdf>.

**SOSTENIBLE, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO. 2015.** CORTOLIMA. [En línea] MINISTERIO DE AMBIENTE, 17 de 03 de 2015. [Citado el: 25 de 04 de 2018.] [http://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/Resolucion\\_Vertimientos\\_631\\_2015.pdf](http://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/Resolucion_Vertimientos_631_2015.pdf).

**Tchobanoglus George. 2000.** *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones.* 2000.

**TEAM FENIX. 2010.** SANEAMIENTO AMBIENTAL. [En línea] 01 de 06 de 2010. [Citado el: 12 de 09 de 2017.] <http://teamfenixsa.blogspot.com.co/>.

*Ubicacion PTAR Gachancipá.* **Google. 2017.** Bogotá : s.n., 2017.

**UPME, Unidad de Planeación Minero Energética. 2015.** *ATLAS: Potencial Hidroenergético de Colombia.* Bogotá : s.n., 2015.

[www.chj.es](http://www.chj.es). *La Situación Actual y los Problemas Existentes y Previsibles.* [En línea] [Citado el: 12 de 09 de 2017.] [http://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan%20de%20Recuperaci%C3%B3n%20del%20J%C3%BAcar/Cap.3\\_part2.\\_Libro\\_blanco\\_del\\_agua.pdf](http://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan%20de%20Recuperaci%C3%B3n%20del%20J%C3%BAcar/Cap.3_part2._Libro_blanco_del_agua.pdf).

## **INTRODUCCIÓN.**

La contaminación de los ríos y quebradas es un tema que afecta a cualquier comunidad relacionada con estos recursos hídricos, muchos son los intentos que se hacen para disminuir la contaminación y mitigar el daño que este produce a las poblaciones. Uno de ellos son las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), estas tienen la función de disminuir los contaminantes que lleva el agua producto de las aguas residuales domésticas e industriales, muchos de estos contaminantes son difíciles de eliminar con procesos caseros y otros a simple vista no se ven, afectando aún más el agua, y con ello el ecosistema y la salud humana. Es por eso que hoy en día existen leyes, decretos, normas y manuales que indican los procesos que se deben seguir para la eliminación de estos contaminantes teniendo en cuenta el nivel de complejidad del sistema, el clima, la demografía y en especial el territorio en el cual se desea hacer un proyecto como este.

Con base en lo anterior, el proyecto del cual se habla en el presente documento, es la PTAR del municipio de Gachancipá, ubicado en el departamento de Cundinamarca, dicha PTAR está construida con el fin de realizar el tratamiento de las aguas residuales del Municipio de Gachancipá. Está ubicada en la parte alta del Río Bogotá, con una vida útil de 25 años y con una última optimización realizada en el año 2014 con el fin de garantizar el adecuado tratamiento de las aguas residuales de toda la población.

En el presente trabajo de grado se realizará la evaluación de la planta de tratamiento aguas residuales, determinando la demanda, los caudales de diseño y el funcionamiento de unidades que conforman la Planta de tratamiento de agua residual de Gachancipá. Utilizando parámetros como la eficiencia de la PTAR y verificando si cumple normatividad existente, de no cumplir lo anteriormente mencionado se realizará propuesta de mejora.

Debido a que es un trabajo de investigación se dejara por escrito, cual es el estado actual de la planta teniendo en cuenta la evaluación del rendimiento, operatividad, factores operativos, de diseño y de mantenimiento, así como las recomendaciones para los procesos a corto, mediana y largo plazo.

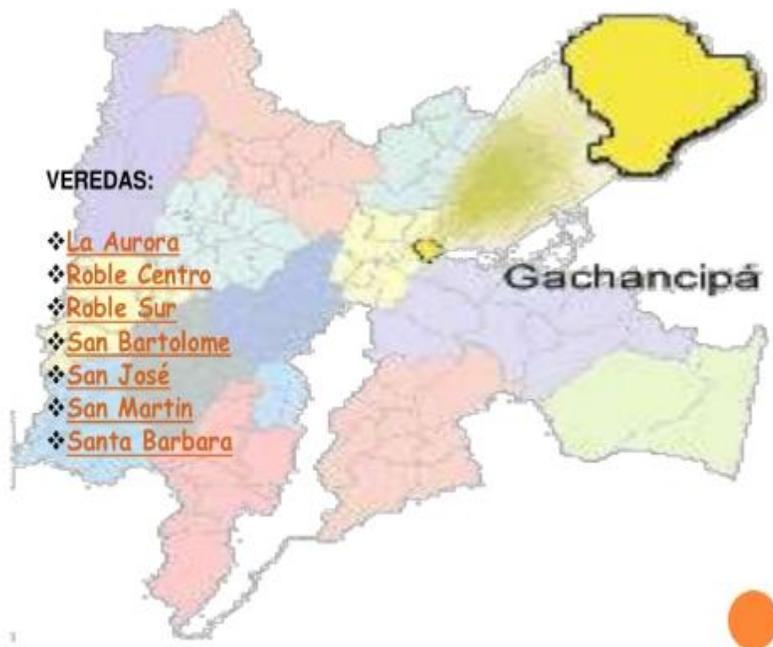
## 1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.

### 1.1 ANTECEDENTES

#### 1.1.1 LOCALIZACION

El municipio de Gachancipá está ubicado en el departamento de Cundinamarca en la sabana centro, se encuentra a 42 kilómetros de la ciudad de Bogotá.<sup>22</sup>

Ilustración 1 Localización del municipio de Gachancipá en Cundinamarca



Fuente: (ALCALDIA GACHANCIPA)<sup>23</sup>

<sup>22</sup> (Informacion General, 2007)

<sup>23</sup> (Mapa de Gachancipá en Cundinamarca, 2007)

### **1.1.2 EXTENSIÓN**

El municipio de Gachancipá tiene una extensión total de  $44\text{km}^2$ ;

Una extensión urbana de  $42.5086\text{ km}^2$ ;

Una extensión rural de  $0.567\text{ km}^2$ .

Está compuesto por siete (7) veredas:

1. El roble
2. El roble sur
3. La Aurora
4. San Bartolomé
5. San José
6. Santa Bárbara
7. San Martin

Siendo esta última en donde está ubicada la PTAR.<sup>24</sup>

### **1.1.3 ALTITUD**

La altura del municipio sobre el nivel del mar es de 2568 metros.

### **1.1.4 LIMITES**

Sus límites al norte son con los municipios de Nemocon y Suesca, al oriente con Sesquile, al occidente con Tocancipa y al sur con Guatavita.

### **1.1.5 VIAS DE COMUNICACIÓN**

Gachancipá cuenta con excelentes vías de Comunicación como la Doble Calzada Briceño - Tunja - Sogamoso, partiendo de la Capital por la Autopista Norte Vía a Tunja, a solo 30 minutos de la capital. Al municipio solo se llega por vía terrestre<sup>25</sup>

---

<sup>24</sup> (Informacion General, 2007)

<sup>25</sup> (Informacion General, 2007)

## **1.1.6 HIDROLOGIA**

### **1.1.6.1 RED HIDRICA**

La presente red, está ubicada y pertenece a la cuenta alta del Rio Bogotá, la cual está compuesta por 10 subcuencas, divididas en 2 vertientes, clasificadas como VERTIENTE ORIENTAL Y VERTIENTE OCCIDENTAL .<sup>26</sup>

#### **VERTIENTE ORIENTAL**

En esta vertiente se concentran seis (6) subcuencas las cuales son:

1. Subcuenca de Quindingua
2. Subcuenca de Porquera
3. Subcuenca de El Roble
4. Subcuenca de Gachina
5. Subcuenca de Gruta

Y un drenaje directo.

#### **VERTIENTE OCCIDENTAL**

En esta vertiente se concentran cuatro (4) subcuencas las cuales son:

1. Subcuenca de El Morral
2. Subcuenca de Colón
3. Subcuenca de La Isla
4. Subcuenca de Gusapán

### **1.1.6.2 DISPONIBILIDAD DEL AGUA**

Según estudios ya realizados por la Corporación Autónoma Regional (CAR) las cuencas son de baja disponibilidad por lo que su uso en cuanto a agua potable se

---

<sup>26</sup> (Informacion General, 2007)

refiere es muy limitado porque majea un caudal intermitente por el bajo tiempo de concentración en las cuencas.<sup>27</sup>

### **1.1.6.3 USOS DEL AGUA**

En el municipio de GACHANCIPA los usos del agua es en su mayoría son para consumo humano pero a través del crecimiento del municipio, en la parte industrial se ha aumentado el consumo en los últimos años, también en el riego de cultivos de flores, área en la cual se han realizado muchos avances.

De este modo cada vereda se abastece de distintos puntos de agua. En la vereda San Martin el agua proviene de nacimientos en el cerro de Fetibre; En la aurora se abastece en la parte alta de nacimientos mientras que en la parte baja del acueducto de Bogotá; En El Roble se abastecen de agua de la subcuenca Quindingua y nacimientos; En la vereda San José de la quebrada la Moya; En San Bartolomé de la subcuenca La Gruta y nacimientos; En Santa Bárbara de nacimientos de la parte alta del municipio y por último en el perímetro urbano del acueducto de Bogotá.<sup>28</sup>

### **1.1.7 ESTADO SANITARIO ACTUAL**

#### **1.1.7.1 ACUEDUCTO**

El acueducto del municipio de Gachancipá esta administrado por el acueducto de Bogotá y también por la oficina de servicios públicos en diferentes nacimientos para las veredas. (Acueducto Gachancipa, 2011)

#### **1.1.7.2 ALCANTARILLADO**

El alcantarillado del municipio presenta un deterioro significativo, ya que tiene recepción de aguas lluvias y de escorrentía. Debido a que son aguas que rebosan, entran al sistema con una velocidad considerable, la cual afecta la red tuberías.

---

<sup>27</sup> (Informacion General, 2007)

<sup>28</sup> (Informacion General, 2007)

Otro aspecto a mencionar del alcantarillado, es la zona residencial o de viviendas, las cuales no se encuentran conectadas.<sup>29</sup>

La planta se encuentra ubicado a 1,35 kilómetros de la cabecera municipal de Gachancipá, tiene una extensión de 0,21 km<sup>2</sup>. Cabe recordar que la PTAR realiza el tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales de todo el municipio y vierte el agua residual tratada en el Río Bogotá. (Ubicación PTAR Gachancipá, 2017)<sup>30</sup>

LA PTAR de Gachancipá está conformada por un sistema de pre tratamiento que consiste en rejilla de cribado, vertedero, sedimentador y posteriormente va a una laguna facultativa que envía sus aguas a un filtro percolador y finalmente devuelve el agua del filtro a otras 2 lagunas facultativas.

Se realizó una mejora en la PTAR, debido a que su método era únicamente lagunas de estabilización lo cual no generaba una buena eficiencia y por ello afectaba la entrega el agua residual tratada al Río Bogotá en términos de calidad.

### **1.1.7.3 ANTECEDENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

La Planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Gachancipá, tenía un periodo de diseño hasta el año 2015, la cual tenía dentro de su capacidad, recibir desechos de una población de 5000 habitantes, presentando una buena eficiencia hasta el año 2013.

Su sistema de tratamiento principal estaba basado 2 lagunas de estabilización, lo cual era un método no muy eficaz, teniendo en cuenta que la calidad de agua que ingresa a la PTAR era muy baja, debido al crecimiento poblacional del municipio. En busca de la mejora de aguas vertidas al río Bogotá, se puso en marcha el proyecto de mejoramiento y optimización de dicha planta, a la cual se le implemento dos unidades de filtros percoladores y así aumentando una capacidad de 20 LPS a 39,4LPS llevando así ,una mejora notable en la calidad del agua que se vierte al río Bogotá. Con la nueva planta se prevé que satisfaga las necesidades de la población por un periodo de diseño de 25 años.

---

<sup>29</sup> (Acueducto Gachancipa, 2011)

<sup>30</sup> (Ubicación PTAR Gachancipá, 2017)

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

La función principal de las PTAR es eliminar los contaminantes que trae el agua provenientes de las descargas de agua residual tanto domiciliaria como industrial y devolverla, libre de organismos contaminantes, a la corriente del cauce correspondiente, dicha eliminación debe estar sujeta a la normatividad vigente y para ello se deben seguir determinar procesos dependiendo del tipo de tratamiento que se le dé, cuando uno de estos procesos falla o no funciona en el nivel indicado, los demás procesos también fallan y la eficiencia de la PTAR disminuye, siendo esto perjudicial para el medio ambiente y para la salud humana.

Es por ello que con la evaluación y optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Gachancipá se comprueba si la eficiencia de esta PTAR está cumpliendo con los parámetros indicados en la normatividad vigente, además de confirmar que cada uno de los procesos dentro de la PTAR esté funcionando debidamente, garantizando con ello una mejoría en la eliminación de los contaminantes, evitando daños en el ecosistema existente en la zona y en la salud de la población del municipio de Gachancipá y aledaños. Teniendo en cuenta el tipo de proyecto se define para desarrollarse bajo el marco de la ingeniería, ya que la información recopilada requiere de cálculos y análisis para entregar así un resultado factible y óptimo para así ser transmitido de forma clara.

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

En el municipio de Gachancipá en Cundinamarca en la vereda de San Martín se encuentra ubicada la PTAR la cual ha sido rediseñada y mejorada en su totalidad puesto que las aguas residuales que salen de este municipio van directo al río Bogotá el cual ya está bastante contaminado y en búsqueda de un menor impacto ambiental y una recuperación de este río. Esta PTAR tiene que tener un óptimo funcionamiento para el beneficio de todo el departamento de Cundinamarca y del país.

El vertimiento de aguas no tratadas es un problema claro en el río Bogotá con lo cual se necesita una evaluación constante y en su defecto una optimización para que la remodelación de dicha PTAR siga dando beneficios a la descontaminación del río Bogotá, puesto que aguas abajo de la planta el agua del río se usa para cultivos siembras y demás factores que afectan la manipulación humana del líquido, crean enfermedades y aún más contaminación a los diferentes ecosistemas del departamento.

¿La remodelación de la PTAR de Gachancipá cumplió a cabalidad con la normatividad vigente (RAS 2000, Resolución 0330 de 2017 y Resolución 0631 de 2015), en cuanto a vertimiento de aguas residuales al río Bogotá, fue una buena opción el uso de filtros percoladores?

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Gachancipá Cundinamarca.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar la información de la P.T.A.R. suministrada por la corporación autónoma regional (CAR).
- Diagnosticar por un análisis técnico, las operaciones unitarias que se presentan en los diferentes tratamientos que se ejecutan en la P.T.A.R. de Gachancipá, incluyendo calidad de agua, estructuras hidráulicas y eficiencia, verificando si cumplen con la normatividad ambiental vigente.
- Proponer mejoras en las estructuras mediante una propuesta de acciones y optimizaciones , en la unidad y si es el caso en la PTAR, de acuerdo al diagnóstico y evaluación.

### **4. DELIMITACION**

#### **4.1 TIEMPO.**

El presente trabajo se espera desarrollar entre los plazos establecidos por la UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA se inicia el proyecto en día 5 de agosto de 2017 y se entrega de acuerdo a las fechas establecidas entregando el proyecto el día 2 de mayo de 2018.

#### **4.2 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.**

El proyecto se realizará en la ciudad de Bogotá método teórico y lo practico en el municipio de Gachancipá en el departamento de Cundinamarca.

Se realizara un diagnostico específico en cada una de las partes que conforman la PTAR como lo son: sistema de cribado, desarenador, laguna facultativa primaria, filtros percoladores y por último laguna facultativa secundaria. De dichas unidades de tratamiento, se evaluara si existe un cumplimiento en cuanto a normatividad vigente y dimensionamiento hidráulico y así mismo identificar si es necesario realizar una mejora o sugerir una recomendación respecto a la eficiencia que deberían presentar. El esquema que representa las unidades de la PTAR se puede encontrar en el (ANEXO 1)

## **4.2 LIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Para el desarrollo de la evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Gachancipá, se requiere calificar o diagnosticar la calidad del agua teniendo como parámetro lo establecido por las entidades para el vertimiento al afluente final refiriendo a ello, la toma de muestras en campo de la cuenca del Río Bogotá – Sisga – Tibitóc, para su análisis en laboratorio y comparación con parámetros de desinfección y vertimiento .Lo anterior es una limitación, teniendo en cuenta que esta labor debe realizarse por cuenta propia, ya que la Universidad Católica de Colombia no cuenta con un laboratorio para dicho estudio o la posibilidad de encontrar información en la oficina de planeación de Gachancipá, o en la CAR es pequeña. Al realizar la evaluación de la planta, el diseño está construido para un periodo de diseño establecido de acuerdo en la resolución (0330 de 2017 Ministerio de Vivienda, Ciudad y Desarrollo) con factores variables como población, caudales, presupuestos.

Además, otras limitaciones son: el tiempo de la investigación y la información proporcionada por el municipio de Gachancipá,

## **5. METODOLOGÍA**

### **5.1 DETERMINACION DEL ÁREA DE ESTUDIO**

- Se realiza la identificación del municipio de Gachancipá y así mismo la ubicación de la PTAR por medio de un reconocimiento cartográfico arrojado por (google earth).
- Con el área de estudio se procede a hacer una visita de campo con el objetivo de recopilar información y así mismo hacer la identificación de las operaciones de las unidades de la planta de tratamiento.

- Seguidamente con la información anterior se le dará el enfoque a la zona en la cual la unidad o unidades no se encuentren en óptimo funcionamiento para así realizar el tiramiento y la optimización.

## **5.2 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Teniendo en cuenta la amplia información que se requiere para diagnosticar y evaluar la planta, se implementaran dos tipos de trabajos para la recopilación de la información como lo son campo y oficina.

Es necesario para el desarrollo del proyecto obtener material informativo como planos de la planta de Gachancipá, para así identificar el funcionamiento esquemático de la PTAR, esta cartografía será proporcionada el ente regulador en la planta y la CAR. Además, en la visita de campo se tomaran datos en cuanto a la contaminación que llega a la PTAR ya sea de tipo industrial y domiciliaria como también comercial, así mismo se tendrán en cuenta los artículos y decretos de calidad del agua regidas por la corporación autónoma de Cundinamarca (CAR) y con ella las pautas requeridas por el Ministerio del medio ambiente como trabajo de oficina.

Además, con la información, se realizará una evaluación a cada una de las unidades que conforman el sistema del tratamiento de las aguas residuales de la PTAR de Gachancipá, el cual consta de un sistema de rejillas, vertedero, sedimentador, trampa de grasas, lagunas facultativas y por último los filtros percoladores.

## **5.4 PRESENTACION DE DATOS E INFORMACION**

La información para el desarrollo del proyecto obtenida en el trajo de campo y oficina mencionado anteriormente junto con las investigaciones refiriendo a ello, requerimientos de funcionamiento óptimo por cada unidad según la CAR serán presentarán adjuntos en tablas en orden lógico, dichos datos se clasificarán para facilitar el análisis de los mismos en su debido momento para evaluar el funcionamiento de la PTAR.

## **5.5 ANÁLISIS Y PRESENTACION DE LOS RESULTADOS**

Teniendo los datos se procederá a realizar un análisis en cada una de las unidades de la PTAR del municipio de Gachancipá con el objetivo de identificar el funcionamiento de los mismos y realizar si es el caso un nuevo diseño para su optimización de la planta la cual cumpla las estipulaciones regidas por la Corporación Autónoma Regional (CAR) y el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible para el tratamiento adecuado de las aguas de la planta y así finalmente presentar los resultados obtenidos de la propuesta de optimización de la unidad o unidades para el cumplimiento de la calidad de agua.

Se realizó la evaluación de la calidad del agua tanto a la entrada y salida para así mismo verificar la eficiencia de la PTAR, por medio de la determinación de parámetros físico químicos y microbiológicos de medición y análisis como: caudales, temperatura, DBO, DQO, solidos suspendidos y solidos volátiles. Para ello se tomó como primera fuente de datos, los que se proporcionó la CAR y el Municipio de Gachancipá.

## **6. MARCO DE REFERENCIA**

### **6.1 MARCO CONCEPTUAL**

#### **Aguas Residuales:**

Son las aguas y sólidos que por algún medio se introducen en las cloacas y son transportadas por el sistema de alcantarillado.

#### **6.1.1 Clasificación de aguas residuales**

- **Aguas residuales domésticas (ARD):**  
Son aquellos líquidos provenientes de las viviendas, edificios comerciales e institucionales.
- **Aguas residuales municipales (ARM):**  
Son los residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y son tratados en una planta de tratamiento municipal.
- **Aguas residuales industriales (ARI):**  
Son las aguas residuales que provienen de las descargas de industrias de manufactura.

- **Aguas Negras (AN):**  
Se le denomina aguas negras a las aguas residuales provenientes de inodoros, es decir, las que transportan excrementos humanos y orina, con un alto contenido de sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales.
- **Aguas grises (AG):**  
Son las aguas residuales que provienen de tinajas, duchas, lavamanos y lavadoras, las cuales aportan DBO, sólidos suspendidos, fósforo, grasas y coliformes fecales, es decir son aguas residuales domésticas, pero excluyendo las provenientes de los inodoros.

### **6.1.2 Características importantes de las aguas residuales**

- **Acidez:**  
Es la capacidad cuantitativa de un agua de neutralizar una base fuerte a un pH de 8.2. Esta se origina en la disolución de CO<sub>2</sub> atmosférico, en la oxidación biológica de la materia orgánica o en la descarga de aguas residuales industriales.
- **Ácido sulfhídrico:**  
Este ácido (H<sub>2</sub>S) es un producto de la descomposición anaerobia de las aguas residuales. Es altamente corrosivo, ya que al exponer un agua residual a la atmósfera se desprende H<sub>2</sub>S y se detecta un olor a huevo podrido. En las situaciones en las que el gas se acumula en la corona de las alcantarillas, este se disuelve en la humedad condensada en las paredes del tubo, lo que conlleva un proceso de oxidación biológico que lo convierte en ácido sulfúrico y que produce corrosión en las tuberías de concreto.
- **Alcalinidad:**  
Es una medida de la capacidad del agua de neutralizar ácidos. Esta capacidad la hace importante en el tratamiento químico de aguas residuales, en los procesos de remoción biológica de nutrientes, en la remoción de amoníaco y en tratamientos anaerobios.
- **Coliformes:**

Son un organismo indicador de contaminación, es decir, son un indicador de la existencia de organismos productores de enfermedad.

- **Color:**  
Las aguas residuales domésticas son de color gris, y a medida que el agua envejece cambia a color gris oscuro y luego a negro. Este color es producido principalmente por la formación de sulfuros metálicos. El color en aguas industriales puede indicar el origen de la polución, y es una medida de buen estado o deterioro de los procesos de tratamiento.
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):**  
Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. Este es el parámetro más usado para medir la calidad de las aguas residuales ya que con ella se determina la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, sirve para diseñar unidades de tratamiento biológico, para evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y para fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras.
- **Grasas y Aceites:**  
Se definen como sustancias solubles en hexano. Se consideran grasas y aceites a los compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno que flotan en el agua residual, recubren las superficies con las cuales entran en contacto, causan iridiscencia y problemas de mantenimiento, e intervienen con la actividad biológica pues son difíciles de biodegradar.
- **Metales pesados:**  
Los metales pesados en altas concentraciones son todos tóxicos, entre ellos cabe resaltar el mercurio, cadmio y plomo, ya que estos elementos se magnifican biológicamente, en el medio natural, a través de la cadena alimenticia.
- **Olor:**  
Los olores en las aguas residuales constituyen una de las principales objeciones ambientales y su control en plantas de tratamiento es muy importante. Entre los problemas que se atribuyen a los olores ofensivos

se señalan pérdida de apetito, menor consumo de agua, dificultades respiratorias, náusea, vómito, pérdida del valor de la propiedad y del potencial de su desarrollo.

- Oxígeno disuelto (OD):

Es un gas de baja solubilidad en el agua, es esencial para la vida acuática aerobia. Su solubilidad oscila entre 7 mg/L a 35°C y 14.6 mg/L a 0°C para presión de una atmósfera. Debido a la baja disponibilidad de OD, se limita la capacidad autopurificadora de los cuerpos de agua y por tal razón se hace necesario el tratamiento de las aguas residuales previo a su disposición en ríos y embalses. El suministro de oxígeno y las concentraciones de OD en tratamientos biológicos aerobios y aguas receptoras de aguas residuales son aspectos de la mayor importancia en el diseño, operación y evaluación de plantas de tratamiento de aguas residuales.

- pH:

Es la medida de la concentración del ion hidrógeno en el agua, se encuentra expresada como el logaritmo negativo de la concentración molar de ion hidrógeno. Aguas con concentración adversa del ion hidrógeno son difíciles de tratar biológicamente. Aguas con pH menor de seis, en tratamiento biológico, favorecen el crecimiento de hongos sobre las bacterias. El valor de pH adecuado para diferentes procesos de tratamiento y para la existencia de la mayoría de la vida biológica es de 6.5 a 8.5.

- Temperatura:

Es un parámetro importante por su efecto sobre las características del agua, sobre las operaciones y procesos de tratamiento, así como el método de disposición final. La temperatura afecta y altera la vida acuática, modifica la concentración de saturación de oxígeno disuelto y la velocidad de las reacciones químicas y de la actividad bacteriana. Adicionalmente la tasa de sedimentación de sólidos en aguas cálidas es mayor que en aguas frías, por el cambio de la viscosidad del agua. La temperatura óptima para la actividad bacteriana es de 25°C a 35°C.

- **Turbiedad:**  
Constituye una medida óptica del material suspendido en el agua. Es un factor importante en el control de calidad.

### **6.1.3 Tratamiento de aguas residuales**

El objetivo principal del tratamiento de las aguas residuales es corregir sus características desfavorables, de tal manera que su uso o disposición final pueda ocurrir de acuerdo con las reglas y criterios definidos por las autoridades legislativas. Se clasifican de acuerdo al tipo de tratamiento biológico que se utiliza.

- **Lagunas de estabilización facultativas.**  
Es una laguna de oxidación, que se caracteriza por tener tres zonas bien definidas, una zona superficial en la cual se presentan procesos aerobios. Una zona del fondo, de carácter anaerobio, donde los sólidos se acumulan y son descompuestos mediante el proceso de fermentación. Y finalmente, cuentan con una zona intermedia, parcialmente aerobia y anaerobia o facultativa, donde la descomposición de la materia orgánica se realiza mediante bacterias aerobias, anaerobias y facultativas.
- **Filtros percoladores.**  
El filtro percolador o filtro biológico, es un proceso que se usa para poner en contacto el agua residual con biomasa adherida a un medio de soporte fijo. Consiste en un lecho de piedra, u otro medio, sobre el cual se aplican aguas residuales, con el consecuente crecimiento de microorganismos sobre el lecho, los cuales se encargan de reducir la carga orgánica existente en el agua residual.

## 6.2 MARCO TEÓRICO

### 6.2.1 AGUAS RESIDUALES

**Características químicas del agua residual:** Algunas de las características químicas de las aguas residuales son:

- **Materia Orgánica:** Constituye la tercera parte de los elementos de las aguas residuales, siendo los principales compuestos que se pueden hallar: Proteínas (40-60 %), Carbohidratos (25-50 %) y Grasas y aceites (10 %).
  - o **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en el agua. El (DBO) es el parámetro más usado para calificar o medir la calidad de las aguas residuales y superficiales y así mismo determinar que tanta cantidad de oxígeno se necesita para estabilizar biológicamente la materia orgánica existente en la muestra de agua.<sup>31</sup> Se expresa matemáticamente de la siguiente manera.

$$\frac{d L_t}{d t} = -k L_t$$

Dónde:

$L_t$  = DBO remanente en el agua.

$k$  = Constante que expresa la tasa de oxidación.

$t$  = tiempo de oxidación.

$\frac{d L_t}{d t}$  = tasa de oxidación de la materia orgánica carbonacea (mg/Led)

- o **Demanda química de oxígeno (DQO):** se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable

---

<sup>31</sup> (Romero rojas, 2001)

químicamente, mediante un agente oxidante fuerte, en general se usa dicromato de potasio en un medio ácido y a alta temperatura. El (DQO) es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales. (Romero rojas, 2001)<sup>32</sup>

- Carbono orgánico total (COT): se mide mediante la introducción de una cantidad conocida de muestra en un horno a alta temperatura.
  
- Demanda total de oxígeno (DTO): esta prueba se realiza en una cámara de combustión catalizada con platino, en la cual se produce una transformación de la materia orgánica en productos finales estables.<sup>33</sup> La (DTO) es la sumatoria del oxígeno requerido para la oxidación de cada componente como: el carbono el nitrógeno orgánico, el amoníaco, el azufre, el fósforo y el hidrógeno.<sup>34</sup>

- Materia Inorgánica:

- PH: procede de Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales. Un pH que se encuentre entre los valores de 5 a 9, no suele tener un efecto significativo sobre la mayoría de las especies, aunque algunas son muy estrictas a este respecto.<sup>35</sup>
  
- Cloruros: procedente de aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea. Se consideran como indicador indirecto de contaminación.
  
- Alcalinidad: nos mide la cantidad de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos presentes en el agua. Procede de aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea.

---

<sup>32</sup> (Romero rojas, 2001)

<sup>33</sup> (Espigares García, y otros)

<sup>34</sup> (Romero rojas, 2001)

<sup>35</sup> (Espigares García, y otros)

- Nitrógeno y Fósforo: la limitación de nitrógeno puede producir cambios en la composición bioquímica de los organismos, y reducir sus tasas de crecimiento.
  - Azufre: es requerido para la síntesis de proteínas y se libera cuando éstas se descomponen.
  - Compuestos tóxicos: algunos componentes de las aguas residuales son muy tóxicos para los organismos y microorganismos, y por ello, son de gran importancia en cuanto al vertido y tratamiento.
  - Metales pesados: le confiriéndoles un carácter tóxico al agua, son generalmente procedentes de vertimientos industriales.<sup>36</sup>
- Gases: Los gases que se encuentran más frecuentemente en la composición de las aguas residuales son nitrógeno, oxígeno, anhídrido carbónico, sulfhídrico, amoníaco y metano.
- Oxígeno disuelto: es necesario para la vida de todos los organismos aerobios. Procedentes de agua de suministro e infiltración de agua superficial.
  - Sulfuro de hidrógeno: se forma por descomposición anaerobia de la materia orgánica azufrada, o por reducción de sulfatos y sulfitos minerales. Procedentes de la descomposición de residuos domésticos.
  - Metano: es el principal subproducto de la degradación anaerobia de la materia orgánica de las aguas residuales. Procedentes de la descomposición de residuos domésticos.<sup>37</sup>

**Características biológicas del agua residual:** A continuación, se describen los principales grupos de organismos que se pueden encontrar:

---

<sup>36</sup> (Espigares García, y otros)

<sup>37</sup> (Espigares García, y otros)

- Bacterias: pueden ser de origen fecal o bacterias implicadas en procesos de biodegradación, tanto en la naturaleza como en las plantas de tratamiento.
- Virus: proceden de la excreción, por parte de individuos infectados, ya sean humanos o animales. Poseen la capacidad de adsorberse a sólidos fecales, favoreciendo de esta forma su supervivencia durante tiempos prolongados en las aguas residuales.
- Algas: su crecimiento está favorecido por la presencia en las aguas residuales de distintas formas de fósforo y nitrógeno, así como de carbono y vestigios de elementos tales como hierro y cobalto, dando lugar a procesos de eutrofización.
- Protozoos: los que se encuentran más frecuentemente en las aguas residuales son amebas, flagelados y los ciliados libres y fijos.
- Hongos: la mayoría son aerobios estrictos, pueden tolerar valores de pH relativamente bajos, y tienen baja demanda de nitrógeno.<sup>38</sup>

Igualmente, para el tratamiento de estas existen diversos procesos, algunos se enumeran en la Tabla 1.

**Tratamientos en las aguas residuales:** El grado de tratamiento requerido para eliminación de materia orgánica en un agua residual depende de los límites de vertido para el afluente existente. El tratamiento primario se emplea para la eliminación de los sólidos en suspensión y los materiales flotantes, impuesta por los límites, tanto de descarga al medio receptor como para poder llevar los efluentes a un tratamiento secundario, bien directamente o pasando por una neutralización u homogeneización. El tratamiento secundario comprende de tratamientos biológicos convencionales. En cuanto al tratamiento terciario su objetivo fundamental es la eliminación de contaminantes que no se eliminan con los tratamientos biológicos convencionales. En la Tabla No.1 se encuentra la clasificación convencional de los procesos de tratamiento de agua residuales.<sup>39</sup>

Tabla 1. Procesos de tratamiento de agua residual

---

<sup>38</sup> (Espigares García, y otros)

<sup>39</sup> (Ramalho, 1996)

Niveles de tratamiento de aguas residuales		
Tratamiento Primario	Tratamiento Secundario	Tratamiento Terciario
Cribado o desbrozo	Lodos activos	Micro tamizado
Sedimentación	Aireación prolongada	Filtración
Flotación	Estabilización por contacto	Precipitación y coagulación
Separación de aceites	Lagunas de aireación	Adsorción (carbón activado)
Homogeneización	Estabilización por lagunaje	Intercambio iónico
Neutralización	Filtros biológicos (percoladores)	Ósmosis inversa
	Discos biológicos	Electrodialisis
	Procesos de contacto, filtros (sumergidos)	Cloración y ozonización
		Procesos de reducción de nutrientes

Fuente. Tratamiento de aguas residuales, Ramalho, 1996<sup>40</sup>

## 6.2.2 CONSIDERACIONES PARA EL PROCESO DE TRATAMIENTO

Cuando una planta de tratamientos de aguas residuales está en funcionamiento se tiene como primer objetivo obtener una calidad de agua que cumpla con la normatividad de vertimiento al afluente final, por ello en este ítem se expondrán procesos básicos para obtener la misma.

**Cribado:** este es uno de los problemas más frecuentes debido al taponamiento y a veces la corrosión que se presenta en el sistema de rejillas, el cual se soluciona implementando una limpieza e inspección rutinaria, refrendo a ello que las condiciones de variabilidad en cuanto a la humedad y secado del material en que está construido la rejilla, puede generar en este la corrosión acelerada.<sup>41</sup>

**Aforo:** este, no es un proceso de tratamiento como tal, pero aun así debe realizarse, para así tener un dentro de dosificación de sustancias químicas, determinar eficiencia de los equipos de bombeo, calcular tiempos de retención, caculo de agua tratada y suministrada y así finalmente calcular el costo unitario del tratamiento.<sup>42</sup>

**Coagulación, floculación:** en este proceso de tratamiento se tiene en cuantas principalmente características de temperatura, pH, alcalinidad, turbiedad. En

<sup>40</sup> (Ramalho, 1996)

<sup>41</sup> (Romero rojas, 2000)

<sup>42</sup> (Romero rojas, 2000)

donde por medio de un ensayo de jarras se evalúa el tipo de coagulante a usar y su cantidad o dosificación.<sup>43</sup>

**Sedimentación:** en esta fase de pre tratamiento se tiene como objetivo la remoción rápida de cualquier tipo de residuo sólido que sea sedimentable y que además se encuentre como material flotante, en donde estos remueven entre el 50 % y 70% de los sólidos que se encuentren allí suspendidos y además entre el 25% y 40% de (DBO).<sup>44</sup>

**Filtración:** la filtración se requiere de una mezcla de materiales con alto coeficiente de uniformidad para que los poros del mismo logren su función (retener). Estos se pueden clasificar según:

- ✓ La dirección de flujo, ya sea ascendente o descendente,
- ✓ El medio, ya sea de arena o arena y antracita
- ✓ La tasa de filtración, ya sea lentos, rápidos y de tasa alta.

A demás según la teoría de la filtración se tiene modelos estratigráficos para los filtros, refiriendo a ello el tipo de lecho como el simple, mixto o profundo.

### **6.2.3 MODELOS MATEMATICOS (FILTROS Y LAGUNAS)**

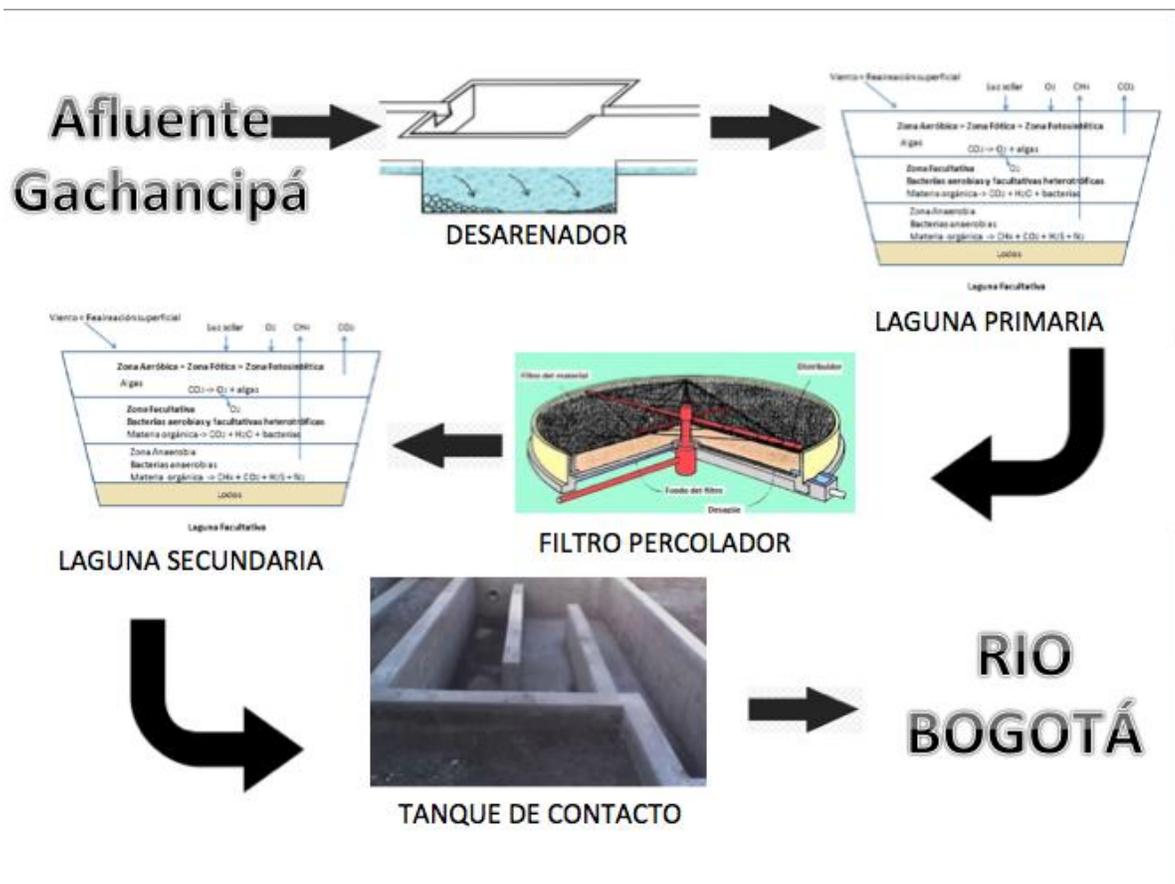
El sistema de la planta de tratamiento de aguas residuales de Gachancipá consta principalmente de las unidades de lagunas facultativas y filtros percoladores, los cuales en conjunto trabajan para el tratamiento y descontaminación de la misma.

Ilustración 2 Esquema de funcionamiento PTAR

---

<sup>43</sup> (Romero rojas, 2000)

<sup>44</sup> (Tchobanoglus George, 2000)



Fuente: Autores

A continuación, se mostrarán los modelos matemáticos representativos de dichas unidades.

**FILTRO PERCOLADOR:** Al realizar la evaluación en cuanto a la eficiencia de un filtro percolador el cual tiene como función remover (DQO) de una descarga sanitaria real, se evidencia el éxito del funcionamiento del mismo, independientemente de la variabilidad que se pueda presentar en flujo y calidad del agua residual, por ellos los filtros percoladores han demostrado ser eficientes en la remoción de DQO, en donde además reducen los niveles de nitrógeno amoniacal.<sup>45</sup>

<sup>45</sup> (EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE REMOCION DE MATERIA ORGANICA , 2013)

En las investigaciones referentes a los filtros percoladores se han encontrado que tienen una eficiencia de remoción de entre el 60% al 90% teniendo cargas orgánicas que oscilan entre 0.6 y 3.2 kg DBO/ m3d.<sup>46</sup>

El siguiente es el modelo matemático propuesto por GERMAIN, el cual expone una fórmula matemática para el diseño de filtros percoladores de medio plástico.<sup>47</sup>

$$\frac{S_e}{S_o} = e^{-KD/q^{0.5}}$$

Dónde:

$S_e$  = DBO soluble del efluente en mg/L

$S_o$  = DBO soluble del afluente, sin incluir recirculación, mg/L

$K$  = Constante de tratabilidad,  $m^{-0.5}$  y  $d^{-0.5}$

$K = 2, 21 (m \cdot d)^{-0.5}$  Para aguas residuales domesticas sedimentadas, a 20 °C

$K = 0, 25 - 2, 51 (m \cdot d)^{-0.5}$  Para aguas residuales industriales, a 20 °C

$D$  = Profundidad del filtro para medio plástico se prefiere a 6m, en general mayor a 3

$q$  = Carga hidráulica, sin incluir recirculación, m/d.

Además, dicho modelo expresa que la constante  $K$  se debe corregir por temperatura según su siguiente expresión matemática.<sup>48</sup>

$$K_T = K_{20} * (1, 035^{T-20})$$

Dónde:

$K_T$  = Constante de tratabilidad a la temperatura de diseño T

---

<sup>46</sup> (EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE REMOCION DE MATERIA ORGANICA , 2013)

<sup>47</sup> (Romero rojas, 2001)

<sup>48</sup> (Romero rojas, 2001)

$K_{20}$  = Constante de tratabilidad a la temperatura 20 °C

$T$  = temperatura mínima esperada °C

En los estudios realizados por Germain se indicó que no había influencia considerable en cuando a la recirculación para la tasa de reacción  $K$ . German expone para su modelo matemático que para tener en cuenta la recirculación, se debe modificar la ecuación anterior, de la siguiente forma.<sup>49</sup>

$$S_a = \frac{(s_o) + RS_e}{1 + R}$$
$$S_e = (S_a)(e^{-KD/q^n})$$

Dónde:

$S_a$  = DBO del afluente al filtro, incluyendo la recirculación mg/L.

$R$  = relación de recirculación o razón entre el caudal recirculado.

$n$  = coeficiente dependiente del medio de soporte, igual a 0.5 para medio plástico según Germain.

Donde finalmente, en diseño se requiere del cálculo o la determinación de la carga hidráulica expresada matemáticamente como:<sup>50</sup>

$$q = \left\{ \frac{KD}{\ln \left[ \frac{S_a}{S_e} \right]} \right\}^{\frac{1}{n}}$$

**LAGUNAS AEROBICAS:** son lagunas en las cuales la estabilización de la materia orgánica existente se realiza en condiciones completamente aeróbicas. Basándose en los estudios realizados por Oswald se definió que las producciones

---

<sup>49</sup> (Romero rojas, 2001)

<sup>50</sup> (Romero rojas, 2001)

de oxígeno, generado por las algas dentro de una laguna, es la energía solar la cual esta expresada matemáticamente de la siguiente manera.<sup>51</sup>

$$O = 0.20 * FS$$

Dónde:

$O$  = producción de oxígeno, Kg  $\frac{O_2}{had}$

$F$  = factor de oxigenación

$S$  = radiación solar, cal / cm<sup>2</sup> \*d

Dicho factor de oxigenación  $F$ , en el modelo matemático representa la relación entre la masa de oxígeno producido y DBOU a satisfacer en dicha laguna, este factor DBOU se recomienda de 90%.

Además, Oswald propone el cálculo de  $C$ .

$$C = \frac{C_o}{1 + K\theta}$$

Dónde:

$C_o$  = Concentración de DBO en el afluente, mg/L

$C$  = concentración de DBO en el efluente, mg/L

$K$  = Concentración de reacción de primer orden para remoción de DBO

$\theta$  = tiempo de retención en el reactor, el cual se calcula de la siguiente forma:

$$\theta = \left(\frac{1}{k}\right)\left(\frac{C_o}{C} - 1\right)$$

En dicha parte del diseño es de suma importancia la selección del valor de  $K$  ya que esta, es función de factores que pueden variar como lo son temperatura, se puede calcular de la siguiente, manera según Marais.<sup>52</sup>

---

<sup>51</sup> (Romero rojas, 2005)

$$Kt = 0.3(1.05)^{(T - 20)}$$

## 6.3 MARCO HISTÓRICO

### 6.3.1 PRIMERAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En 1827 se empezaron a implementar los filtros de arena y carbón para cuidar la salud pública inventado por James Simplon.

En 1914 los ingenieros Edward Arden y William locked descubrieron los fangos activos, uno de los sistemas de tratamiento biológico para la depuración de la contaminación orgánica de aguas residuales que todavía usamos en la actuales depuradoras.

Luego de eso se comenzó con fases de tratamiento que es las que usamos hoy en día con diferentes métodos para mejorar la calidad del agua y no hacerle daño al ecosistema.

Los procesos se organizan en tres (3):

- Físicos
- Químicos
- Biológicos

Y estos a su vez se catalogan en primario secundario y terciario.<sup>53</sup>

## 6.4 MARCO LEGAL

### 6.4.1 LEYES Y DECRETOS NACIONALES

#### Ley 09 de 1979

#### Reglamenta el Código Sanitario Nacional.

**Artículo 10:** Todo vertimiento de residuos líquidos deberá someterse a los requisitos y condiciones que establezca el Ministerio de Salud, teniendo en cuenta las características del sistema de alcantarillado y de la fuente receptora correspondiente. **Artículo 14:** Se prohíbe la descarga de residuos líquidos en las

---

<sup>52</sup> (Romero rojas, 2005)

<sup>53</sup> (Publicación de Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua, 2011)

calles, calzadas, canales o sistemas de alcantarillado de aguas lluvias. **Artículo 38:** Se prohíbe colocar letrinas directamente sobre fuentes de agua.<sup>54</sup>

### **Ley 1594 de 1984**

#### **Aguas residuales**

**Artículo 29.** Para los efectos del presente Decreto se tendrán en cuenta los siguientes usos del agua, sin que su enunciado indique orden de prioridad:

- a) Consumo humano y doméstico;
- b) Preservación de flora y fauna;
- c) Agrícola;
- d) Pecuario.

**Artículo 30.** Se entiende por uso del agua para consumo humano y doméstico su empleo en actividades tales como:

- a) Fabricación o procesamiento de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución.
- b) Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios.
- c) Fabricación o procesamiento de drogas, medicamentos, cosméticos, aditivos y productos similares.<sup>55</sup>

### **Ley 142 de 1994**

#### **Establece el Régimen de Servicios Públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.**

**Artículo 2:** El estado intervendrá en los servicios públicos, conforme a las reglas de competencia de que trata esta Ley, en el marco de lo dispuesto en los artículos 334, 336, y 365 a 370 de la Constitución Política. **Artículo 6:** Prestación directa de servicios por parte de los municipios. Los municipios prestarán directamente los servicios públicos de su competencia, cuando las características técnicas y económicas del servicio, y las conveniencias generales lo permitan y aconsejen.

**Artículo 9:** Derecho de los usuarios. Los usuarios de los servicios públicos tienen derecho, además de los consagrados en el Estatuto Nacional del Usuario y demás

---

<sup>54</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 09. (24, enero 1979). Por el cual se dictan medidas sanitarias. El Congreso Bogotá, 1979.

<sup>55</sup> EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA Ley 1594. (26, junio 1984). Por el cual se reglamenta el uso del agua y residuos líquidos. El presidente Bogotá 1984.

normas que consagren derechos a su favor, siempre que no contradigan esta ley.<sup>56</sup>

### **Ley 373 de 1997**

#### **Establece el programa de ahorro y uso eficiente del agua.**

**Artículo 1:** Programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar obligatoriamente un programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Se entiende por programa para el uso eficiente y ahorro de agua el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico. **Artículo 7:** Consumos básicos y máximos. Es deber de la Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento Básico de las Corporaciones Autónomas Regionales y demás autoridades ambientales, de acuerdo con sus competencias, establecer consumos básicos en función de los usos del agua, desincentivar los consumos máximos de cada usuario y establecer los procedimientos, las tarifas y las medidas a tomar para aquellos consumidores que sobrepasen el consumo máximo fijado.<sup>57</sup>

### **Resolución 1074 de 1997**

#### **Establece concentraciones máximas permisibles para vertimientos de aguas a redes de alcantarillado público.**

**Artículo 7:** Los lodos y sedimentos originados en sistemas de tratamiento de aguas residuales no podrán ser dispuestos en corrientes de agua y/o en redes de alcantarillado.<sup>58</sup>

### **Resolución 1096 de 2000**

#### **Por el cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS**

**ARTÍCULO 5:** Las autoridades territoriales y/o empresas prestadoras de servicios públicos domiciliarios de agua potable y saneamiento básico, exigirán para la

---

<sup>56</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 142. (11, julio 1994). Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. El Congreso Bogotá 1994

<sup>57</sup> MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Ley 373. (11, junio 1997). Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Ministerio del ambiente Bogotá 1997

<sup>58</sup> El Director del Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente – DAMA. Ley 1074 (28, octubre 1997). por la cual se establecen estándares ambientales en materia de vertimientos. Bogotá 1997

ejecución de diseños, consultorías, interventorías, obras y servicios propios del sector, que la persona natural o jurídica ejecutora acredite los requisitos de idoneidad y experiencia fijados en el presente Reglamento Técnico.

**ARTÍCULO 10:** Los proyectos que se lleven a cabo en el territorio nacional en el sector de agua potable y saneamiento básico, cubiertos por el alcance de este Reglamento deberán ser ejecutados por profesionales que tengan las calidades y los requisitos de idoneidad que trata el Título II.

**ARTÍCULO 15:** La entidad territorial correspondiente debe presentar en forma concreta el (los) problema(s) o la(s) necesidad(es) que se va(n) a abordar con el proyecto de agua potable o saneamiento básico, con el fin de justificar su ejecución en la medida en que se obtengan beneficios sociales en al área de su jurisdicción.<sup>59</sup>

**Resolución 151 de 2001 de la comisión de regulación de Agua Potable  
Regulación integral de los servicios públicos de Acueducto, Alcantarillado y Aseo**

**Artículo 334:** La Constitución Política establece la intervención del Estado en los servicios públicos, por mandato de la ley, para racionalizar la economía con el fin de conseguir el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes, la distribución equitativa de las oportunidades y los beneficios del desarrollo y la preservación de un ambiente sano. **Artículo 1.3.1.1** Personas que pueden prestar servicios públicos domiciliarios.

De conformidad con el artículo 15 de la Ley 142 de 1994 pueden prestar los servicios públicos:

- a) Las empresas de servicios públicos;
- b) Las personas naturales o jurídicas que produzcan para ellas mismas, o como consecuencia o complemento de su actividad principal, los bienes y servicios propios del objeto de las empresas de servicios públicos;

---

<sup>59</sup> EL MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Ley 1096. (17, noviembre 2000). Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Bogotá 2000

c) Los municipios cuando asuman en forma directa, a través de su administración central, la prestación de los servicios.<sup>60</sup>

### **NTC-ISO 5667-10**

#### **Calidad del agua, muestreo de aguas residuales**

Cargas de la planta de tratamiento: Los datos del flujo son necesarios para evaluar la carga de contaminación impuesta sobre una planta de tratamiento. Es posible que esto haga necesario efectuar mediciones en los puntos de descarga, a un sistema de aguas residuales, así como también en los trabajos mismos.<sup>61</sup>

### **TITULO D**

#### **RAS 2005**

Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias.<sup>62</sup>

### **TITULO E**

#### **RAS 2000**

Caracterización de aguas residuales:

El propósito del siguiente título es fijar los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.<sup>63</sup>

#### **RESOLUCION 0330 de 2017**

“Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”.<sup>64</sup>

---

<sup>60</sup> LA COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO. Resolución 151. (23, enero 2001) Por la cual se regula la prestación integral de los servicios públicos de Acueducto, Alcantarillado y Aseo.

<sup>61</sup> ICONTEC NTC-IOS 5667-10 1995 Con la cual se analiza la calidad del agua potable y agua residual

<sup>62</sup> REGLAMENTO TECNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO Titulo D que aporta los sistemas de recolección y valuación de aguas residuales.

<sup>63</sup> (RAS)

<sup>64</sup> (ACODAL, 2017)

### **RESOLUCION 0631 17 de 03 de 2015**

Por la cual se establecen los valores máximos permisibles que deben cumplir quienes realizan vertimientos a cuerpos de agua superficiales y los alcantarillados

### **RESOLUCION 1433 DE 2004**

Por la cual se reglamenta el artículo 12 del Decreto 3100 de 2003, sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV. Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV. Es el conjunto de programas, proyectos y actividades, con sus respectivos cronogramas e inversiones necesarias para avanzar en el saneamiento y tratamiento de los vertimientos, incluyendo la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de las aguas residuales descargadas al sistema público de alcantarillado, tanto sanitario como pluvial, los cuales deberán estar articulados con los objetivos y las metas de calidad y uso que defina la autoridad ambiental competente para la corriente, tramo o cuerpo de agua. El PSMV será aprobado por la autoridad ambiental competente.

## **7. ESTADO DEL ARTE**

En distintas ciudades se han realizado evaluaciones diagnósticas y optimizaciones buscando como principio siempre la mejora de la calidad de agua que se vierte para evitar daños ambientales y mejorar la calidad de vida de personas que viven a las orillas de distintos ríos en la ciudad de Soritor en Perú en la cual se realizó el diagnóstico y se revisó la PTAR de dicha ciudad ya que el crecimiento de la misma era bastante alto y necesitaban que tuviera un funcionamiento óptimo para evitar problemas de salubridad y daños ambientales.

Con esta intervención se vio que pese a que los reportes daban que la PTAR funcionaba óptimamente tenía muchos errores tanto de diseño como de funcionamiento con lo cual el proyecto dio las opciones de mejoramiento y adecuación para un mejor desempeño, durante este estudio también se encontró que las medidas de las lagunas de estabilización no eran las establecidas por las normas que rigen en Perú.

Como conclusiones se llegó a que la PTAR no está respondiendo de manera eficiente siendo que en reportes anteriores se decía que sí y por tanto no cumple

con las normas de descontaminación lo cual puede generar problemas ambientales y de salud.<sup>65</sup>

En el municipio de Acacias departamento del Meta se realizó la evaluación y diagnóstico de la PTAR de dicho municipio en la que se evidencio que de 9 métodos de tratamiento del agua de los cuales 2 no estaban funcionando y algunos otros no estaban con su mejor eficiencia.

Esto perjudica el municipio puesto que la calidad de agua que se vierte en el rio Guacavía no era la aceptada por los criterios de evaluación de los entes regulatorios y se concluye que se debe realizar más acompañamiento por parte de las entidades encargadas para mantener siempre una eficiencia adecuada y así un buen manejo de las aguas.<sup>66</sup>

Dicho esto, el análisis de la PTAR de Gachancipá es de suma importancia puesto que en búsqueda de mejorar la calidad de agua del rio Bogotá en su cuenca alta donde se vierten aguas de los municipios: Villapinzón, Chocontá, Suesca, Sesquillé, Tominé, Gachancipá, Zipaquirá, Tocancipá, Cajicá, Chía. De estos municipios solo poseen PTAR los siguientes: Tocancipá, Zipaquirá, Gachancipá y Chia. Se debe revisar que todas las mejoras que tuvo la PTAR estén funcionando correctamente para así dar una evaluación coherente acerca de su funcionamiento y si es necesario realizar la optimización para que cumpla con todos los estándares requeridos y solicitados. Así podremos ver si la mejora de la PTAR cumplió con todos los aspectos proyectados a la hora de su construcción y ejecución.

## **8. DISEÑO METODOLOGICO**

### **8.1. EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS EXISTENTES VISITA TECNICA**

Se realizó la visita a la PTAR de Gachancipá con el acompañamiento del ingeniero Jesús Ernesto Torres (tutor) guía en todo el proceso y funcionamiento de la PTAR explicando el flujo del agua y los diferentes métodos de purificación que se usan para mejorar el agua antes de ser vertida en el rio Bogotá.

Comenzando el recorrido se observó un letrero obsoleto el cual no deja ver que a la planta se le han realizado mejoras importantes y que cuenta con bastante tecnología con la cual la CAR y el Gobierno intentan hacer algo por recuperar el

---

<sup>65</sup> (Evaluación, Mejoramiento y Optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Soritor Perú, 2005)

<sup>66</sup> (Rey Rios, 2017)

rio Bogotá. Continuando con el recorrido se encontró con las tuberías que ingresan a la planta llevando las aguas negras del municipio de Gachancipá.

Ilustración 3 Tubería ingreso



Fuente: Autores

Ilustración 4 Letrero ingreso PTAR



Fuente: Autores

El proceso comienza dirigiendo el agua a las rejillas las cuales tienen distintas medidas de separación reteniendo así la mayoría de sólidos y enviando el agua un poco menos contaminada al siguiente paso.

Ilustración 6 Rejillas



Fuente: Autores

Ilustración 5 Valvula



Fuente: Autores

Luego de pasar por este proceso comienza el proceso de desarenado y desengrasado donde terminan de quitarse la mayoría de partículas sólidas que quedan aún en el agua.

Ilustración 8 Desarenador



Fuente: Autores

Ilustración 7 Desarenadores y válvulas



Fuente: Autores

En el siguiente paso se observa como el agua sale a la primera laguna en la cual como ya es de conocimiento ocurre un tratamiento anaerobio el cual se realiza por medio de la fotosíntesis que se da entre el sol y las algas.

Ilustración 10 Salida agua residual a laguna #1



Fuente: Autores

Ilustración 9 Recorrido laguna



Fuente: Autores

Continuando el recorrido se llega al cuarto de bombas el cual cuenta con 3 bombas que dirigen el agua en diferentes sentidos hacia los filtros percoladores los cuales son el nuevo sistema adaptado para la PTAR. Luego de ser bombeada

el agua sube hasta un aspersor ubicado en la parte alta del filtro el cual riega el agua sobre los filtros colocados y desciende por los filtros que poseen bacterias que hacen un tratamiento biológico mucho más efectivo que la laguna.

Ilustración 12 Tubería de las 3 bombas



Fuente: Autores

Ilustración 11 Tubería que va a filtros



Fuente: Autores

Ilustración 14 Perfil filtro percolador



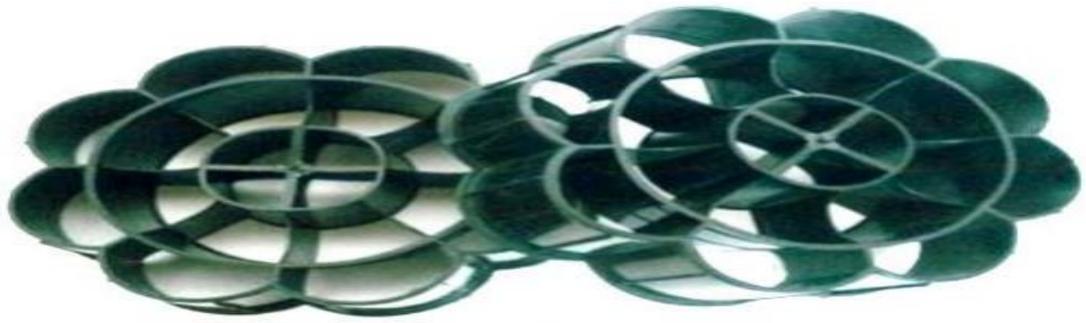
Fuente: Autores

Ilustración 13 Parte alta del filtro



Fuente: Autores

Ilustración 15 Medio filtrante (Producto de Serviacueducto Ltda)



Fuente: Autores

Luego de descender es transportada hasta la segunda laguna facultativa en la cual ya se observa que el agua ha mejorado bastante tanto su color como su olor y tiene muchas menos partículas.

Ilustración 17 Agua luego de filtración



Fuente: Autores

Ilustración 16 Salida de agua a laguna #2



Fuente: Autores

Ilustración 18 Laguna # 2



En esta laguna se repite el proceso de fotosíntesis y luego de recorrer toda la laguna el agua se encamina hacia un último proceso. El cual es tanque donde de contacto donde se vierte cloro en el agua para obtener un mejor resultado y que esta salga con la mejor calidad posible al río.

Ilustración 20 Tanque de contacto



Fuente: Autores

Ilustración 19 Salida del agua de la PTAR



Fuente: Autores

Por último, se encamina el agua en dirección al río Bogotá.

Ilustración 22 Salida del agua a quebrada



Fuente: Autores

Ilustración 21 Río Bogotá



Fuente: Autores

La planta tiene un tratamiento por lodos activados que en este momento no se encuentra en funcionamiento.

Ilustración 23 Lecho de secado (lodos activos)



Fuente: Autores

### 8.1.1 ESTIMACION DE LA POBLACION

Para la determinación de la población, se realizó una consulta en la base de datos oficial del DANE entre los años 1938 y 2005, ya que este factor se relaciona directamente con la población, que hace uso del sistema de alcantarillado y así mismo para efectos del cálculo de la población a futuro, obteniendo la siguiente información.

Tabla 2. Censos del municipio (DANE)

<b>CENSOS MUNICIO GACHANCIPA</b>	
<b>AÑO</b>	<b>POBLACIÓN CABECERA(HAB)</b>
1938	1943
1951	2033
1964	2526
1973	2625
1985	3815
1993	5506
2005	10886

Fuente: Autores

Con los datos de censo poblacional, se realizó la proyección haciendo uso de 4 métodos, tomados del libro Elementos de diseño para de Acueductos y Alcantarillados<sup>67</sup>, a continuación se presentan los siguientes datos:

- **Crecimiento lineal**

En donde se tiene una relación integrada entre el año del último censo (2005) y el censo inicial (1938) expresado matemáticamente como:

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

Donde:

$k_a$  = pendiente de la recta

$P_{uc}$  = población del último censo

$P_{ci}$  = población censo inicial

$T_{uc}$  = año del último censo

$T_{ci}$  = años censo inicial

Y así mismo la ecuación de población proyectada expresada como:

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

$P_f$  = Población proyectada

$T_f$  = año de la proyección

Haciendo uso de dichas ecuaciones se calculó la población proyectada, expresada en la siguiente tabla:

---

<sup>67</sup> (Lopez Cualla, 1995)

Tabla 3. Población proyectada, crecimiento lineal.

AÑO	MÉTODO LINEAL						
	2018		2023	2028	2033	2038	2043
	Ka	Pf	Pf	Pf	Pf	Pf	Pf
1938	133	12621	13289	13956	14623	15291	15958
1951	164	13017	13837	14657	15476	16296	17116
1964	204	13537	14556	15576	16595	17615	18634
1973	258	14242	15533	16824	18114	19405	20696
1985	354	15482	17250	19018	20785	22553	24321
1993	448	16714	18956	21198	23439	25681	27923
<b>PROMEDIO</b>	<b>260,23</b>	<b>14269</b>	<b>15570</b>	<b>16871</b>	<b>18172</b>	<b>19474</b>	<b>20775</b>

Fuente: Autores.

- **Crecimiento geométrico.**

Calculando una población proyectada, incluyendo una variable de tasa de crecimiento por años ( $r$ ), a continuación, el cálculo de la misma:

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

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

Tabla 4. Población proyectada, geométrico.

MÉTODO GEOMÉTRICO						
2018		2023	2028	2033	2038	2043
r	Pf	Pf	Pf	Pf	Pf	Pf
0,03	15208	17295	19669	22368	25438	28929
0,03	16304	19045	22246	25985	30353	35455
0,04	17299	20673	24704	29522	35279	42158
0,05	19401	24230	30260	37791	47197	58943
0,05	21521	27971	36354	47249	61409	79814
0,06	22781	30263	40203	53408	70951	94255
<b>0,04</b>	<b>18752</b>	<b>23246</b>	<b>28906</b>	<b>36054</b>	<b>45104</b>	<b>56592</b>

Fuente: Autores.

- **Crecimiento logarítmico.**

El presente método requiere de la implementación de por lo menos los datos de 3 censos ya que es necesario un promedio de  $k_g$ .

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

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

Donde:

$C_p$  = censo posterior

$C_a$  = censo anterior

Tabla 5. Población proyectada, Logarítmico

<b>MÉTODO LOGARITMICO</b>						
2018		2023	2028	2033	2038	2043
Kg	Pf	Pf	Pf	Pf	Pf	Pf
0,003	16032	18292	20872	23814	27172	31003
0,02	11905	13583	15498	17683	20177	23021
0,00	10497	11977	13666	15593	17791	20300
0,03	8279	9446	10778	12298	14031	16010
0,05	6032	6883	7853	8961	10224	11666
0,06	4885	5573	6359	7256	8279	9446
<b>0,03</b>	<b>10959</b>	<b>10959</b>	<b>12504</b>	<b>14267</b>	<b>16279</b>	<b>18574</b>

Fuente: Autores.

- **Método Wappus.**

El presente método se implementó, pero fue descartado debido a que por medio de los cálculos arrojaba un decrecimiento de población, Puede evidenciarse en el (ANEXO 5).

Para la determinación de la población proyectada, se definió como el promedio de los tres métodos mencionados anterior mente así ajusta a la tendencia de crecimiento presentada.

Tabla 6. Población Promedio

PROMEDIO DE POBLACIÓN PROYECTADA	
AÑO	HAB
2018	14660
2023	16592
2028	19427
2033	22831
2038	26952
2043	31980

Fuente: Autores

Por medio de los datos calculados, se adopta el promedio para determinar la población futura año (2018-2043) del Municipio de Gachancipá, teniendo un periodo de diseño de 25 años basado en la normatividad actual como lo es, La Resolución 0330 de 2017 –Capitulo 1- Artículo 40,<sup>68</sup> con el fin de realizar la evaluación de la PTAR, teniendo como resultado una población proyectada para el año 2043 de 31980 habitantes, identificando un crecimiento en la población de 17320 habitantes en el periodo de diseño.

### 8.1.2 CAUDALES

Para determinar la dotación neta máxima de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Gachancipá, se tomó como parámetro la Resolución 0330 de 2017-Capitulo1- Artículo 43 basada en una tabla por altura de la zona atendida <sup>69</sup>.

---

<sup>68</sup> (Resolución 0330, 2017)

<sup>69</sup> (Resolución 0330, 2017)

Tabla 7. Dotación neta por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida

ALTURA PROMEDIO ZONA ATENDIDA	DOTACION NETA MAXIMA (L/HAB*DIA )
> 2000 m.s.n.m	120
1000-2000 m.s.n.m	130
<1000 m.s.n.m	140

Fuente: (Resolucion 0330 , 2017)

Determinando así según la altitud del Municipio.

Tabla 8. Dotación para el municipio de Gachancipá

ALTITUD (m.s.n.m)	PERIODO DE DISEÑO (resolucion 0330)	DOTACION MAXIMA (L/Hab.dia)
2568	25años	120

Fuente: Autores

De acuerdo con la metodología expuesta en el libro Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados <sup>70</sup> se puede tomar un dato de consumo neto, haciendo uso de la sumatoria del valor del uso y consumo de agua, pero para el efecto de la evaluación de la PTAR se tomó el dato de dotación neta por normatividad con un valor de 120 L/Hab\*Dia. A continuación los datos de incremento para cada año del periodo de diseño.

---

<sup>70</sup> (Lopez Cualla, 1995)

Tabla 9. Incrementos de población para cálculo de caudales.

AÑO	POBLACIÓN	INCREMENTO DE POBLACIÓN (%)	INCREMENTO CONSUMO (%)	CONSUMO NETO (L*hab*día)	PERDIDAS	CONSUMO TOTAL (L/hab*día)
2018	14660			120,00	25%	119,75
		13,18	1,449			
2023	16592			121,74	25%	121,49
		17,09	1,880			
2028	19427			124,03	25%	123,78
		17,52	1,927			
2033	22831			126,42	25%	126,17
		18,05	1,986			
2038	26952			128,93	25%	128,68
		18,66	2,052			
2043	31980			131,57	25%	131,32

Fuente: Autores

Teniendo en cuenta los datos reportados anteriormente, se hace el primer punto a evaluar de la planta de tratamiento como lo es el caudal.<sup>71</sup>

- **Caudal medio diario**

$$Q_{medio\ d} = \frac{poblacion(hab) * consumo\ neto\ (L * hab * d)}{86400}$$

- **Caudal Máximo diario**

$$Q_{maxd} = Q_{medio\ d} * K1$$

Dónde:  $k1 = 1,2$  Según la resolución 0330 capítulo 2 párrafo 2

- **Caudal de diseño**

$$Q_{diseño} = \frac{c * dotacion * poblacion}{86400}$$

---

<sup>71</sup> (Lopez Cualla, 1995)

- **Caudal Máximo Horario**

$$Q_{maximo\ h} = Q_{max\ d} * k_2$$

Dónde:  $k_2 = 1,5$  Tomando un coeficiente de retorno de 0,85 según el capítulo 4- Artículo 134 de la Resolución 0330<sup>72</sup> para ser multiplicado por cada uno de los caudales, y así obtener el caudal de aguas residuales domésticas, a continuación, se presenta una tabla con la recopilación de cálculo de caudales.

Tabla 10. Caudales

Qmedio d (L/s)	K1	Q(ard)	Qmaxd (L/s)	K2	Q(ard)	Qmaxh (L/s)	Q(ard)(L/s)
20,32	1,2	17,3	24,38	1,50	20,73	36,57	31,09
23,33	1,2	19,8	28,00	1,50	23,80	41,99	35,70
27,83	1,2	23,7	33,40	1,50	28,39	50,10	42,58
33,34	1,2	28,3	40,01	1,50	34,01	60,01	51,01
40,14	1,2	34,1	48,17	1,50	40,94	72,25	61,42
48,61	1,2	41,3	58,33	1,50	49,58	87,50	74,37

Fuente: Autores

Teniendo como resultado final los datos para la evaluación.

Tabla 11. Datos para diseño

<b>DATOS GENERALES PARA EL DISEÑO</b>	
Año	2043
Poblacion	31980
Consumo neto(L/hab*día)	131,32
Qmedio (L/S)	48,61
Qmaxdiario (L/s)	58,33
Qmaxhorario (L/s)	87,50
Qdiseño (L/s)	37,75466467

Fuente: Autores.

<sup>72</sup> (Resolucion 0330 , 2017)

## 9. PRETRATAMIENTO

### 9.1 REJILLAS DE CRIBADO

El sistema de pretratamiento implementado por el municipio de Gachancipá para su planta de tratamiento de aguas residuales, tiene como primera unidad el sistema cribado, el cual tiene como fin separar los materiales que pueden ingresar a la PTAR, de acuerdo a su tamaño de partícula individual, mediante el paso por una rejilla o criba .<sup>73</sup>

De acuerdo a la normatividad se determina que es un sistema de limpieza manual. Parámetro que se determina de acuerdo al rango de caudal máximo permitido en el sistema de cribado de hasta los 100 L/s.

El caudal que ingresa por el sistema de cribado se determinó de acuerdo de a la normatividad vigente, resolución 0330 de 2017, Artículo 166 tomando como el caudal de diseño para el pretratamiento de cribado el valor de 74,37 l/s correspondiente al caudal máximo horario.

Se presentan a continuación los parámetros establecidos por el libro, respecto a dimensionamientos:

Tabla 12. Características de las rejillas

CARACTERISTICAS DE LAS REJILLAS	
caracteristicas	de limpieza manual
Ancho de las barras	0,5-1,5 cm
Profundidad de las barras	2,5-7,5cm
Abertura o espaciamiento	2,5-5,0 cm
pendiente con la vertical	30°-45°
Velocidad de acercamiento	0,3-0,6 m/s
Perdida de energia permisible	15cm

Fuente: (Romero rojas, 2001)

---

<sup>73</sup> (Romero rojas, 2001)

Teniendo en cuenta el Artículo 186 de la resolución 0330, se toma en cuenta para el diseño de las rejillas el valor de velocidad de acercamiento entre el rango de 0,3 m/s y 1,2 m/s, escogiendo una velocidad de 0,4 m/s y una longitud de barras de 1,18 m.

Para el diseño de la rejilla se manejaron las siguientes formulas:

- **Pérdida en rejillas:**

Según Kirschmer, la pérdida de energía en una rejilla limpia puede calcularse mediante la ecuación:

$$H = \beta \left(\frac{w}{b}\right)^{\frac{4}{3}} h_v \sin \theta$$

Donde:

H: Pérdida de energía.

B: Factor de forma de las barras.

w: ancho máximo de la sección transversal de las barras, en la dirección del flujo (m)

b: Espaciamiento o separación mínima entre las barras.

$h_v$ : Altura o energía de la velocidad del flujo de aproximación.

$\theta$ : Ángulo de la rejilla con la horizontal.

- Área del canal de diseño (Neta)

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

- Para un ancho de canal de 0,8 m, la altura de la lámina de agua

$$h = \frac{A}{0,8}$$

- La longitud de la rejilla será:

$$L = \frac{h}{\sin 60^\circ}$$

- el número de barras

$$n * 2 + (n - 1) * 2,5 = 0,8$$

- área real

$$\sin 60 = \frac{x}{1,48}$$

$$x = 1,28 \text{ m}$$

$$A_{real} = (1,28\text{m} * 0,8) = 1,024\text{m}^2$$

Con lo anterior se presenta a continuación los cálculos.

Tabla 13. Rejillas

DISEÑO		
parametro	valor	unidad
perdidas (H)	0,0014	m
coeficiente de las barras ( $\beta$ )	1,670	
Ancho maximo de la seccion(w)	0,005	m
espaciamiento entre barras (b)	0,025	m
energia de velocidad (hv)	0,008	m
angulo de inclinacion de la rejilla	60	°
perdida adoptada para un QD=74,37 l/s	0.15	m
velocidad de acercamiento	0,4	m

Fuente: Autores.

Tabla 14. Diseño de las rejillas

parametro	valor	unidad
AREA canal	0,186	m <sup>2</sup>
h lamina de agua ( ancho can 0.8m)	0,232	m <sup>2</sup>
caudal (Q)	0,074	m <sup>3</sup> /s
Altura de la lamina de agua(h)	0,15	m
Longitud rejilla	0,303	m
Nº rejillas	39,519	
espaciamiento	0,025	m

Fuente: Autores.

Al realizar el cálculo de los parámetros, el área calculada arroja un valor de  $0,186m^2$  la cual es menor que el área real, por lo tanto el direccionamiento cumple con los criterios del cribado. Ver (ANEXO1).

### 9.1.2 DESARENADOR

Los desarenadores se utilizan para remover partículas u otros materiales, solidos con peso específico mayor que el de los sólidos orgánicos degradables y con diámetro mayor a  $0.2\text{ mm}^{74}$ , que garantizan la protección de los equipos mecánicos, bombas y otras unidades de tratamiento como lo son los filtros percoladores, así como la reducción de taponamiento en tuberías y canales.

Aplicando Bernoulli

$$\frac{V^2}{2g} + h = \frac{V_2^2}{2g} + H_a + h_L$$

Se forma sección parabólica:

$$T = \frac{3A}{2H}$$

---

<sup>74</sup> (Romero rojas, 2001)

Donde:

A: Área transversal de desarenador  
H: Altura en metros del agua en el canal  
Profundidad en la sección de control:

$$d_c = 2 \frac{V_c^2}{2g}$$

Donde:

V<sub>c</sub>: velocidad en sección de control.

$$V_c = \sqrt{2g \times Hv}$$

Hv: Altura de velocidad en la sección  
Área de la sección de control:

$$a = \frac{Q}{V_c}$$

Ancho de la sección:

$$w = \frac{a}{d_c}$$

Para Q<sub>medio</sub> = 0,031m<sup>3</sup>/s:

$$q = \frac{Q}{w}$$

Ancho de la lámina de agua:

$$T = \frac{3Q}{2Hv}$$

Tabla 15. Diseño de desarenador

<b>Desarenador</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Caudal	0,031	L/s
Largo	14,500	m
Ancho seccion	0,010	m
Altura de la seccion	15,363	m
altura de velocidad	0,500	m
Carga superficial	40,000	m/h
Área de cada canal	0,033	m <sup>2</sup>
Volumen efectivo	0,507	m <sup>3</sup>
TRH	16306,724	s
Área transversal	0,0001	m <sup>2</sup>
Ancho de cada canal	4,047E-06	m
profundidad seccion	0,981	m
velocidad en seccion	3,132	m/s
area seccion	0,0099	m <sup>2</sup>
ancho seccion	0,0101	m
profundidad critica	0,0100	m <sup>2</sup>
Tiempo de sedimentacion	16,190	seg
Material retenido	96,420	Lt/d
Volumen arena	0,400	m <sup>3</sup>

Fuente: Autores

De acuerdo con el decreto 188 de la resolución 0330 de 2017<sup>75</sup> se observa que el desarenador no necesita una geometría específica y que siempre se debe ubicar luego de rejillas por lo que vemos que cumple. Ver (ANEXO 1,2 Y 4)

## **10. TRATAMIENTO SECUNDARIO**

### **10.1.1 LAGUNA FACULTATIVA PRIMARIA**

Las lagunas facultativas son diseñadas con base a modelos de reactor de mezcla completa y cinética de remoción de DBO de primer orden, como lo muestra el modelo de Marais <sup>76</sup> a implementar en este caso, para así determinar Los

<sup>75</sup> (Resolucion 0330 , 2017)

<sup>76</sup> (Romero Rojas, 1998)

parámetros más utilizados para evaluar el comportamiento de las lagunas de estabilización de aguas residuales y la calidad de sus efluentes son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) que caracteriza la carga orgánica<sup>77</sup>.

Como tratamiento secundario el municipio de Gachancipá tiene como primera unidad en su planta de tratamiento de aguas residuales, una laguna facultativa con una profundidad de 1,62 m y un área de 15,975 m<sup>2</sup> aproximadamente.

Haciendo uso del Modelo de mezcla completa y cinética de primer orden<sup>78</sup>, se calcularon parámetro como; concentración de DBO en el afluente, tiempo de retención, y constante de reacción de primer orden para remoción de DBO, a continuación las formulas implementadas:

$$C = \frac{C_o}{1 + (K * \theta)}$$

$$\theta = \frac{1}{k} \left( \frac{C_o}{C} - 1 \right)$$

$$K_T = 1.2(1.085^{T-35})$$

$$A = \frac{Q * \theta}{Profundidad}$$

$$COS = \frac{(DBO afluente) * Q}{1000(A)}$$

$$COV = \frac{(DBO afluente) * Q}{Q(\theta)}$$

---

<sup>77</sup> (Gachancipa, 2013)

<sup>78</sup> (Romero Rojas, 1998)

Donde:

$C$  =Concentración de DBO en el efluente.

$C_o$  = Concentración de DBO en el afluente mg/L.

$K_T$  = Constante de reacción de primer orden para remoción de DBO ( $d^{-1}$ ).

$\theta$  = Tiempo de retención  $d^{-1}$ .

$A$  = Área superficial (ha).

$Q$  = Caudal (m<sup>3</sup>/d).

$COS$  =Carga orgánica superficial (kg DBO/hab).

$COV$  = Carga orgánica volumétrica (kg DBO/hab).

$T$  = Temperatura más fría del municipio (15 ° c).

Con el modelo matemático anteriormente mostrado se realizó el cálculo de los parámetros para el presente año 2018 y para el año de proyección de 2043. Tomando como caudal de diseño para sistemas lagunares el Caudal medido diario de aguas residuales, estipulado en la resolución 0330 de 20117, Artículo 166.<sup>79</sup>

Tabla 16.Dimensiones y parámetros actuales laguna N°1

PARAMETROS	
profundidad (m)	1,62
temperatura	15
DBO afluente (mg/l)	348,87
Q (m <sup>3</sup> /d) 2018	1494,72
Q (m <sup>3</sup> /d) 2043	3568,32

Fuente: Autores

---

<sup>79</sup> (Resolucion 0330 , 2017)

Tabla 17. Calculo laguna facultativa N°1

LAGUNA FACULTATIVA PRIMARIA							
AÑO	Concentracion DBO	Cte remocion DBO	T retencion	A superficial	COS	COV	EFICIENCIA
	C (mg/l)	KT $d^{-1}$	$\theta$ (d)	A (ha)	COS (kg DBO/ha.d)	COV(kg DBO/m <sup>3</sup> d)	E %
2018	68,886	0,235	17,315	1,598	326,412	20,149	80,254
2043	68,886	0,235	17,315	3,814	326,412	20,149	80,254

Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta los datos tomados en campo y los adquiridos por medio del consorcio PTAR Gachancipá el área de la primera laguna está cumpliendo ya que actualmente se tiene un área de 1,599 Ha y al realizar el cálculo se obtiene un valor de área de 1,598 Ha con una eficiencia del 80,254%. Ver (ANEXO 1)

Realizando la proyección al año 2043, el diagnostico arroja un valor de área para dicha laguna de 3,814 Ha, es decir más del doble del área existente, por lo cual al año de proyección no cumplirá.

### 10.1.2 ESTACION DE BOMBEO

La siguiente unidad de tratamiento de aguas, son los filtros percoladores, los cuales tienen una altura de entrada de agua de 6m. Para suministrar el agua a dichos filtro, se tiene una estación de bombeo de aguas residuales, el cual se compone de 3 bombas, de las cuales, 2 están en funcionamiento continuo y la restante se tiene como reserva.

En la visita de campo se tomaron parámetros como la ubicación, los accesorios de tubería, longitud de tubería recta y los equipos.

La estación de bombeo de aguas residuales consta con una rejilla de cribado para evitar daños a los aparatos de bombeo, además un de pozo tipo pozo húmedo; en el cual se encuentran instaladas las bombas (sumergibles) en donde su capacidad está directamente relacionada con los caudales y tiempo de retención de la unidad anterior, a continuación, se reportan los datos para el cálculo de la potencia de las bombas.

De acuerdo con la resolución 0330 de 20117, Artículo 166 el caudal de diseño para sistemas de bombero es el Caudal máximo horario de aguas residuales, el cual corresponde al valor de 74,17 l/s.

Tabla 18. Parametros para bombas

Parametros	
accesorios	m
codo 90° de brida en pvc ø 6"	4,88
codo 45° 6"	2,3
cheque ø 6" brida	12,5
niple de brida en pvc ø 6"	3,1
niple de brida en pvc ø 6"	1
niple de brida en pvc ø 6"	0,5
valvula de mariposa ø 6" brida"	1,1
reduccion 8x6" brida pvc	3,36
longitud equivalente	28,74
longitud tubería recta	12
longitud total	40,74
$\Delta h$	9,54

Fuente: autores

Para el sistema de bombeo se calculó las pérdidas en las tuberías haciendo uso de la ecuación de Hazen Williams (J), a continuación, las formulas implantadas:

$$J = \frac{10,665 * \left(\frac{Qm^3}{s}\right)^{1,85} * l(m)}{C^{1,85} * D^{4,86}}$$

$$C = \frac{Q(l/s)}{0,8}$$

$$c'' = \frac{C}{\# \text{ de bombas}}$$

$$Hp = \frac{c'' * J * 1,4}{74 * \rho}$$

Se obtuvo:

Tabla 19. Potencia de las bombas

bomba	Q (L/s)	c	c"	J en (m)	JT (m)	potencia Hp
1	37,19	46,482	23,241	0,420	10,334	7,0111856
2	37,19	46,482	46,482	0,374		

Fuente: autores.

Para el transporte del agua de la laguna facultativa primaria al filtro percolador se necesita una bomba con una potencia de 7,01 hp. Para la elección del equipo o tipo de bomba se acude a una curva  $H_b = 10.34m$  Vs  $Q = 133,89m^3/h$ .

Se determina el equipo de bombeo sumergible 3 bombas de la empresa (IHM), de a líneas "MS22", referido en (ANEXO 6).

Continuando con el tratamiento secundario el agua se trasporta a la siguiente unidad de tratamiento.

### 10.1.3 FILTROS PERCOLADORES

El tratamiento secundario realizado por la planta de tratamiento es en base a filtros percoladores los cuales son un sistema de lechos filtrantes compuesto de materiales sintéticos, sobre los que se vierten aguas residuales de forma continua mediante brazos de distribución en el caso de nuestra planta móviles (hay filtros de brazos fijos).

Tomando como ejemplo el libro de tratamiento de aguas residuales del ingeniero Jairo Alberto Romero Rojas se realizó un diseño de filtros percoladores para verificar si cumplen con la descarga de  $DBO_5^{80}$ .

Para filtros percoladores con relleno en material plástico:

$$\frac{S_e}{S_i} = EXP[-K_{20} D Q_V^{-m}]$$

Donde:

---

<sup>80</sup> (Romero rojas, 2001)

Se= DBO<sub>5</sub> efluente del filtro

Si= Influyente al filtro

K<sub>20</sub> = constante de tratabilidad dependiendo de la profundidad del filtro del medio filtrante a 20°C.

D= profundidad del filtro

Q<sub>v</sub>= caudal volumétrico m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>

m = constante experimental para medios plásticos empírica (0,5)

$$A = \left( \frac{-\ln \frac{Se}{Si}}{\frac{Kt}{D^3} D} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Luego hallamos Kt (constante de tratabilidad a la temperatura)

$$Kt = k_{20} (1,035)^{T-20}$$

Para carga hidráulica usamos:

$$q = \left\{ \frac{KD}{\ln \left[ \frac{S_a}{S_e} \right]} \right\}^{\frac{1}{n}}$$

Área superficial:

$$A = \frac{Q + Q_R}{q}$$

Para 2 torres circulares:

Para caudal de dosificación:

$$D_R = \frac{1,66 \times Q_t}{A \times n}$$

Temperatura del aire:

$$T_{aire} = \left[ \frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_f} \right] h_T$$

Tabla 20. Diseño filtro percolador

<b>Filtro Percolador Metodo de Germain</b>		
Q	1494,720	m <sup>3</sup> /d
Profundidad (D)	6,000	m
Brazos	4,000	
Diametro	5,608	m
temperatura agua residual	18,500	C°
Volumen	500,000	m <sup>3</sup>
Falso fondo	5,000	m
se efluente	37,350	mg/l
so afluente	68,880	mg/l
k (15°)	1,870	
q	115,219	m/d
t	15°	m
sa	106,230	mg/l
Volumen del filtro	0,000	m <sup>3</sup>
A	24,699	m <sup>2</sup>
Diametro diseño	3,965	m
Eficiencia requerida	0,458	%
carga organica afluente	0,006	kg/dia
F1	2,083	
CH	0,252	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *d
CO	2,034	g DBO/ m <sup>2</sup> *d
Cudal de dosificacion	0,028	r.p.m
Temperatura del aire	16,689	C°
tiro de aire	0,182	mm

Fuente: Autores

Luego de realizado el diseño se observa que cumple a cabalidad puesto que fue diseñado para un mejor desempeño que el requerido. Ver (ANEXO 1,2 Y 4)

Teniendo en cuenta el artículo 194 de la resolución 0330 de 2017<sup>81</sup> se observa que las dimensiones del filtro cumplen a cabalidad con las establecidas por dicha resolución lo cual indica que el filtro esta en óptimas condiciones luego de su construcción en el 2015.

Con los resultados obtenidos se evidencia que siguiendo los parámetros del RAS2000 con sus respectivas actualizaciones los filtros cumplen con lo requerido.

#### 10.1.4 LAGUNA FACULTATIVA SECUNDARIA

Para mejorar la calidad del agua del municipio se toma el dato de DBO del filtro percolador para así realizar el cálculo de la laguna N°2, para el presente año y el año de proyección.

Tabla 21. Dimensiones y parámetros actuales laguna N°2

PARAMETROS	
profundidad (m)	1,65
temperatura c°	15
DBO afluente (mg/l)	37,35
Q (m3/d) 2018	1494,72
Q (m3/d) 2043	3568,32

Fuente: Autores

Tabla 22. Calculo laguna facultativa N°2

LAGUNA FACULTATIVA SECUNDARIA							
AÑO	Concentracion DBO	Cte remocion DBO	T retencion	A superficial	COS	COV	EFICIENCIA
	C (mg/l)	$d^{-1}$ KT	$\theta$ (d)	A (ha)	COS (kg DBO/ha.d)	COV(kg DBO/m <sup>3</sup> d)	E %
2018	7,100	0,235	18,15	1,644	33,952	2,058	80,992
2043	7,100	0,235	18,15	3,925	33,952	2,058	80,992

Fuente: Autores

<sup>81</sup> (Resolucion 0330 , 2017)

Teniendo un área superficial existente de 1.65 Ha, se puede ver que el área necesaria para el presente año nos arroja un valor de 1,644 Ha, lo que lleva a que la capacidad si cumple. Después del tratamiento por los filtros percoladores y la laguna secundaria, se puede observar que la carga orgánica superficial cumple con los rangos de una laguna facultativa, además de tiempos de retención y dimecionamientos.

La laguna facultativa secundaria es la última unidad de tratamiento de las aguas residuales del municipio de Gachancipá, de la cual se extrae el valor de DQO a ser vertido al Rio Bogotá, la evaluación arroja un valor de 7,1 mg/l.

Evaluando según la normatividad vigente de vertimientos a cuerpos de aguas superficiales, Resolución 631 del 2015 <sup>82</sup> capítulo V de los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales.

Las aguas residuales a cuerpos de aguas superficiales, con una carga menor o igual a 625,00 kg/día dbo5 deben ser máximo de 90kg/día DBO5, el cual cumple con el valor de 7,1 mg/l

Teniendo en cuenta que la laguna facultativa secundaria es la última unidad de la PTAR en ella se calcula, la eficiencia según la siguiente ecuación.

$$E = \frac{(DBO\ entrada - DBO\ salida)}{(DBO\ entrada)} \times 100$$

Lo cual arroja un valor de eficiencia de la planta de tiramiento del 81%. Ver (ANEXO1)

### **10.1.5 TANQUE DE CONTACTO**

Las aguas de la segunda laguna facultativa son llevadas al presente sistema de desinfección, el cual se usa como conducto para su vertimiento. No se usa el vertimiento de cloro, tratando de proteger la vegetación y factores biológicos del rio Bogotá, que con el cloro se verían

---

<sup>82</sup> (resolucion 631 de 2015)

afectados.

Tabla 23. Parámetros de desinfección por cloración

Valores de $C_t = K$ (mg-min/l) para inactivación de Coliformes totales por Cloro libre para log 2																
Dosis de Cloro Aplicada mg/l	10 °C				15 °C				20 °C				25 °C			
	pH				pH				pH				pH			
	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5
<=0,40	24	29	35	42	16	20	23	28	12	15	17	21	8	10	12	14
0,6	25	30	36	43	17	20	24	29	13	15	18	21	8	10	12	14
0,8	26	31	37	44	17	20	24	29	13	15	18	22	9	10	12	15
1,0	26	31	37	45	18	21	25	30	13	16	19	22	9	10	12	15
1,2	27	32	38	46	18	21	25	31	13	16	19	23	9	11	13	15
1,4	27	33	39	47	18	22	26	31	14	16	19	23	9	11	13	16
1,6	28	33	40	48	19	22	26	32	14	17	20	24	9	11	13	16
1,8	29	34	41	49	19	23	27	33	14	17	20	25	10	11	14	16
2,0	29	35	41	50	19	23	28	33	15	17	21	25	10	12	14	17
2,2	30	35	42	51	20	23	28	34	15	18	21	26	10	12	14	17
2,4	30	36	43	2	20	24	29	35	15	18	22	26	10	12	14	17
2,6	31	37	44	53	20	24	29	36	15	18	22	27	10	12	15	18
2,8	31	37	45	54	21	25	30	36	16	19	22	27	10	12	15	18
3,0	32	38	46	55	21	25	30	37	16	19	23	28	11	13	15	18

Fuente: resolución 0330 de 2017. Artículo 121 – desinfección.

Haciendo uso de la tabla anterior, la dosis de cloro aplicada en el tanque de contacto, en la PTAR del Municipio de Gachancipá es de 2mg/l, la temperatura es de 15°C, y un pH de 7,2 de laboratorio, el valor leído  $C_t$  es de 28, con dicho valor se da la inactivación de coliformes totales y un  $THR=0,6$  h. Ver (ANEXO 1,3 Y 4)

El tanque de contacto vierte las aguas al río Bogotá.

## 11. ANALISIS DE RESULTADOS

Tabla 24. Análisis de resultados

Ensayo	Entrada	Salida	Resolucion 0631	Unidades
DBO	378	72	90	mg/L O <sub>2</sub>
DQO	418	185	200	mg/L O <sub>2</sub>
Fosforo reactivo total	9,01	7,97		mg/L p
Fosforo total	11,07	10,4		mg/L p
Grasas y aceites	129	14	20	mg/L
Hidrocarburos totales	<10	<10		mg/L
Ph	7,04 – 7,541	7,2 – 7,59	6 – 9	Unidades
Solidos sedimentables	1 – 4	<1	5	mL/L
Temperatura	18 – 19	18 – 19		°C
Nitratos	0,7	0,3		mg/L N
Nitritos	<0,007	0,026		mg/L N
Nitrogeno Amoniacal	31,9	37,5		mg/L N
Nitrogeno total	42,1	49		mg/L
Nitrogeno kjeldalh	41,4	48,7		mg/L N
Solis suspendidos totales	135	65	100	mg/L
Tensoactivos anionicos	4,71	0,53		mg/L SAAM

Fuete: autores

Con los laboratorios se puede comparar que la planta está cumpliendo con las normas vigentes en cuanto a vertimientos y tiene una eficiencia de 81,06% lo que es acorde a las expectativas que se tenían desde la construcción de los nuevos filtros percoladores.

## 12. OPTIMIZACION

Por medio del análisis de resultados, se realizaron propuestas de optimización de acuerdo a la evaluación y al diagnóstico del presente trabajo de investigación como lo son:

- La planta de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Gachancipá, debe contratar un personal idóneo para la operación de la misma, que este en la capacidad de manejar un control a cada una de las unidades.
- Debe mantenerse en continuo funcionamiento de los dos filtros percoladores, ya que en algunas ocasiones solo trabaja uno. Es preciso ya que la eficiencia de los filtros que el diseño se hizo bajo el parámetro de funcionamiento de ambos filtros.
- La falta de trampa de grasas disminuye la eficiencia de los filtros percoladores, puesto que la gasa cubre de cierta forma el medio filtrante y se disminuye el crecimiento biológico y así mismo disminuye la eficiencia.
- El área de las lagunas para el año 2018, es efectiva, pero para la proyección al año 2043 no lo es, debido a que la se necesitaría casi el doble del área existente, por lo cual en unos años debe realizarse una ampliación de dichas unidades.

### 13. CONCLUSIONES

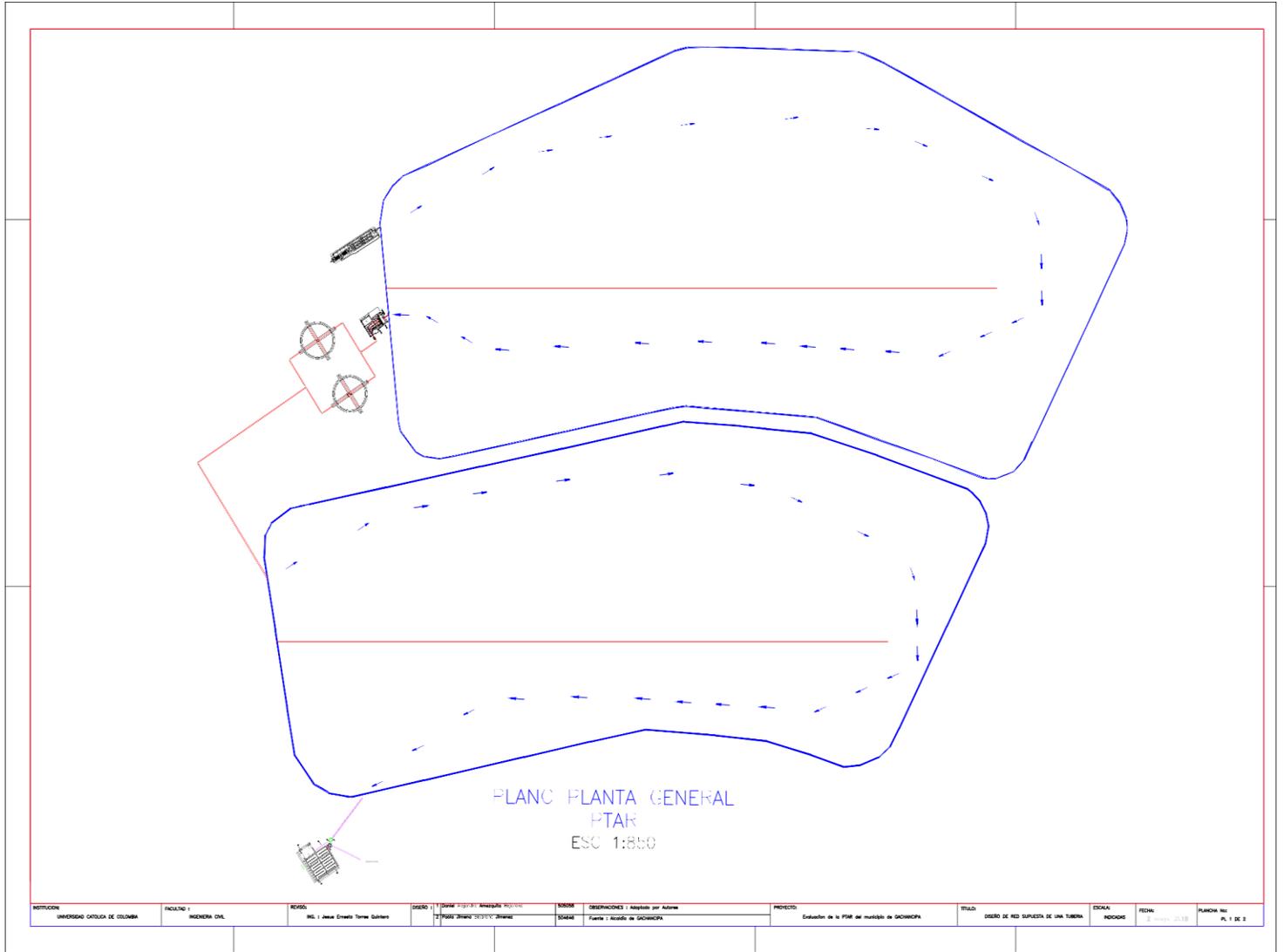
- Se evaluó la información de la PTAR de GACAHANCIPA suministrada por la corporación autónoma regional CAR, en referencia con los laboratorios de calidad de agua, presentando una eficiencia en DBO del 81%.
- Se realizó diagnóstico por análisis técnico de las operaciones unitarias que se presentan en las diferentes partes de la PTAR de GACHANCIPA, La cual consta de desarenador, laguna #1, filtros percoladores, laguna 2 y tanque de contacto, además incluyendo calidad de agua estructuras hidráulicas, eficiencia, con un Caudal de diseño es 37,75 l/s.
- De acuerdo al diagnóstico se evidencio que en la laguna primaria tiene un área de 1,59 hectáreas y una eficiencia de 80,3%, luego en los filtros percoladores se determinó el área requerida de 32.188 metros que cumplen con lo que en realidad está en la planta, posteriormente en la laguna 2 ingreso un DBO de 35,37mg/l y un DBO de salida de 7,1mg/l con eficiencia de 79,03%
- Por medio de los cálculos realizados al comparar con los laboratorios facilitados por la (CAR), se observa que en el diseño teórico la planta debería tener una eficiencia muy superior a la que se evidencia en los documentos, debido que la planta está trabajando muy por debajo de lo esperado ya que el personal de operación de la planta no es el adecuado ya que no se encuentra capacitado para ello, omitiendo labores de control y mantenimiento de la PTAR.
- Se analiza durante la visita técnica que la eficiencia no es la debida, ya que se presenta una acumulación de lodos y partículas en las lagunas, creando un espesor, el cual disminuye la energía y por lo tanto no trabaja con la eficiencia requerida, ya que el área de las lagunas no es utilizada para el tratamiento en su totalidad . Teniendo en cuenta que la carga orgánica superficial tiene una relación inversamente proporcional al área, la capa de lodos en la profundidad de la laguna está restando eficiencia a la misma
- De los métodos propuestos para el cálculo de la estimación de la población, se descarta el método WAPPUS, debido a que presenta un decrecimiento poblacional. Y de acuerdo con los otros métodos la población futura es 31.980 habitantes.

- La inversión de los filtros era muy necesaria ya que antes no cumplía con los estándares de vertimiento de aguas residuales en el diseño anterior, aun así, los medios filtrantes plásticos se ven bastante deteriorados al parecer no reciben un buen mantenimiento y pueden también ser causantes de su baja eficiencia.
- Las aguas residuales del municipio de GACHANCIPA son vertidas en la quebrada El triunfo, afluente del río Bogotá en el tramo número 3, las cuales se deben regir, bajo los estándares de calidad del PSMV del municipio, sin embargo, al no tener dicho permiso, se están rigiendo de la resolución 0631 de 2015. Según la CAR. Se evidencia durante la visita que se encuentran casas a menos de 80 metros de la entrada a la PTAR y en la resolución 0330 Artículo 183 tabla 28 informa que no se permiten viviendas familiares a menos de 200 metros de la PTAR.
- La descontaminación en el río Bogotá es de suma importancia puesto que el impacto ambiental que sufre desde la cuenca alta es altísimo y para cultivos y riegos esta agua no es apta. Por lo que seguir en este proceso mejorando las plantas tanto en la cuenca alta, media y baja es muy importante para el país en general.
- El tanque de contacto es utilizado únicamente, Como canal para llevar las aguas tratadas al Río Bogotá, esto se debe a que la desinfección por clorado, puede generar o desencadenar una serie de reacciones químicas, extinguiendo de alguna forma los microorganismos presentes en el agua, los cuales son necesarios.

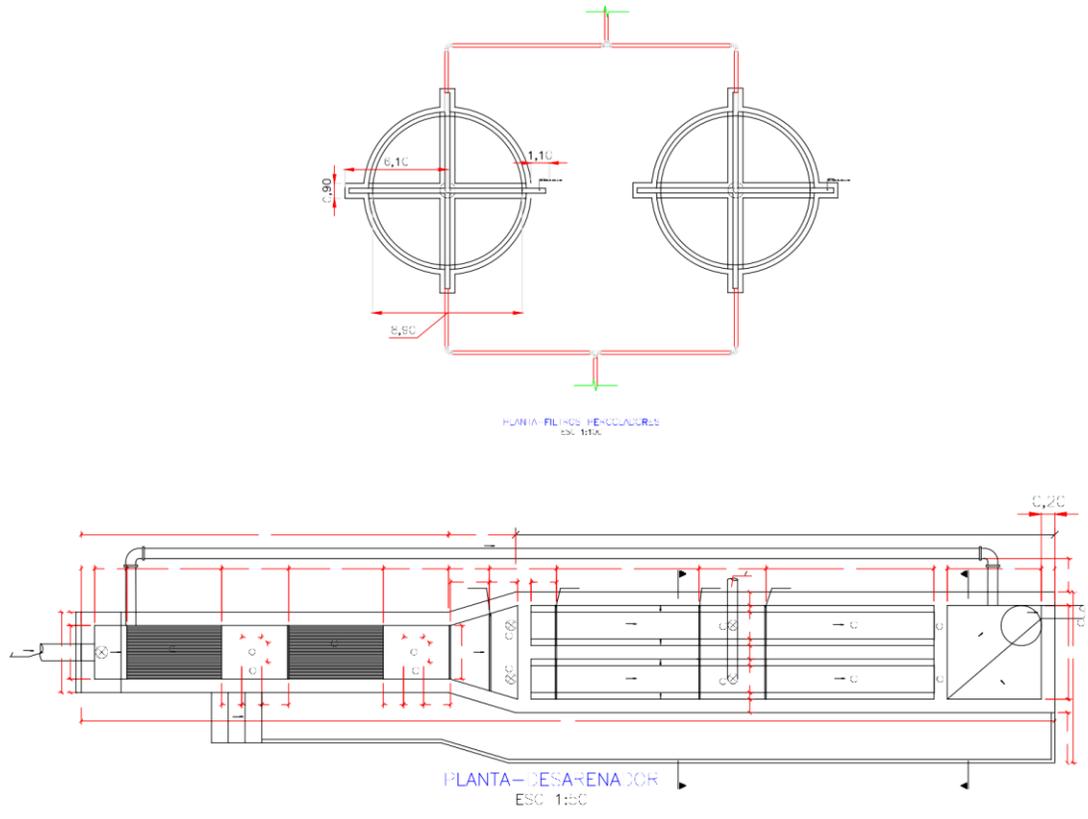
## 14. RECOMENDACIONES

- Es muy importante la limpieza de las rejillas retenedoras de basuras debe hacerse en periodos iguales o inferiores a una semana puesto que la acumulación de basuras puede ocasionar rebosamientos.
- Es fundamental realizar la remoción de lodos tanto en laguna #1 como en laguna#2 puesto que la eficiencia de la planta depende del correcto funcionamiento de cada unidad.
- Se debe realizar un mayor mantenimiento en cuarto de bombas para que su eficiencia sea acorde a lo teóricamente esperado.
- Es indispensable cambiar cada 2 años el medio filtrante para que el funcionamiento del filtro percolador sea optimo, ya que el desgaste del medio filtrante es bastante y resta eficiencia.
- Pese a que la planta cumple con las normas de vertimientos se recomienda que los lechos de secado vuelvan a su correcto funcionamiento para mejorar el impacto ambiental.
- El mantenimiento de cada unidad es fundamental para que todo esté en óptimas condiciones.
- Se recomienda que el municipio de GACHANCIPA se ponga en contacto con la CAR para gestionar el permiso de vertimiento PSMV ya que en este momento solo se rigen por la resolución 0631 de 2015.
- Generar un mayor análisis en el efluente para verificar que esté cumpliendo.
- Periódicamente observar cambios en la salida de cada unidad para poder tener un seguimiento adecuado y evitar daños.

## ANEXO 1 (PLANTA GENERAL PTAR GACHANCIPÁ)

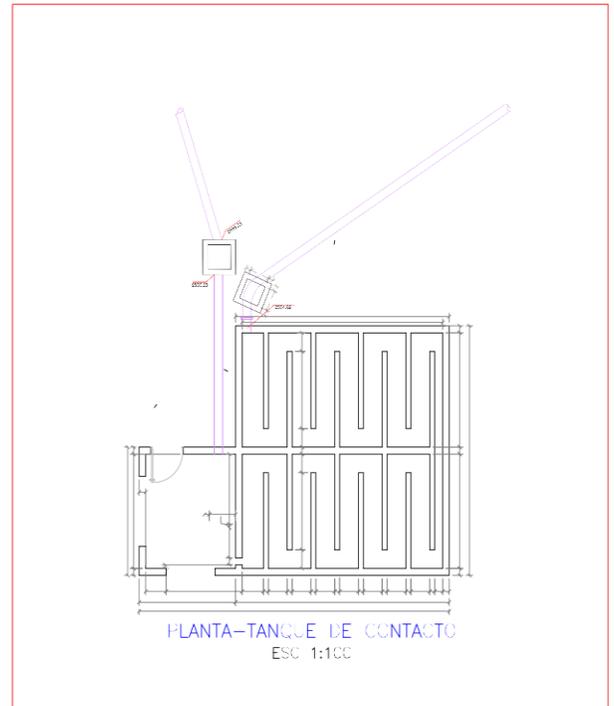
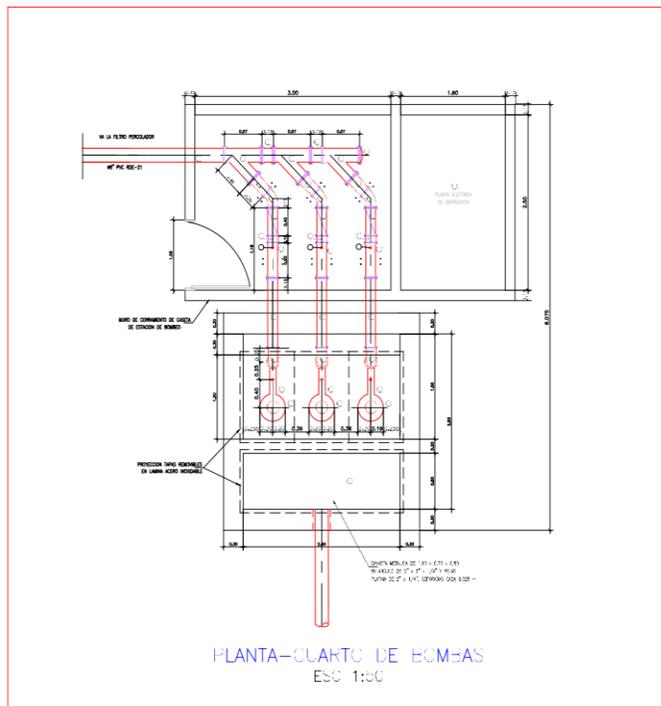


## ANEXO 2 (DETALLE FILTRO PERCOLADOR Y DESARENADOR)



INSTITUCION	FACULTAD	CARRERA	PROFESOR	DISEÑO	TÍTULO	PROYECTO	FECHA	PÁGINA No.
UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA	INGENIERIA CIVIL		MSc. Juan Ernesto Torres Salazar	2018	DESARROLLO Y ASESORIA EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS	Estación de la PIRA del municipio de SICHÓN	2018	2 DE 4

## ANEXO 3 (DETALLE BOMBAS Y TANQUE DE CONTACTO)



INSTITUCIÓN UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA	FACULTAD INGENIERÍA CIVIL	REPOSICIÓN ING. C. María Emelinda Torres Gutiérrez	DISEÑO ING. FREDY JAVIER BARRERA TORRES	DIBUJO INGENIEROS / Asistidos por Adriana	PROYECTO Estación de la PSM del municipio de GACHUPÁN	TÍTULO Detalle Cuarto de bombas y Tanque de contacto	ESCALA INDICADA	FECHA 2010/11/18	FOLIO No. PL 3 DE 4
---	------------------------------	---	--	--	--	---	--------------------	---------------------	------------------------



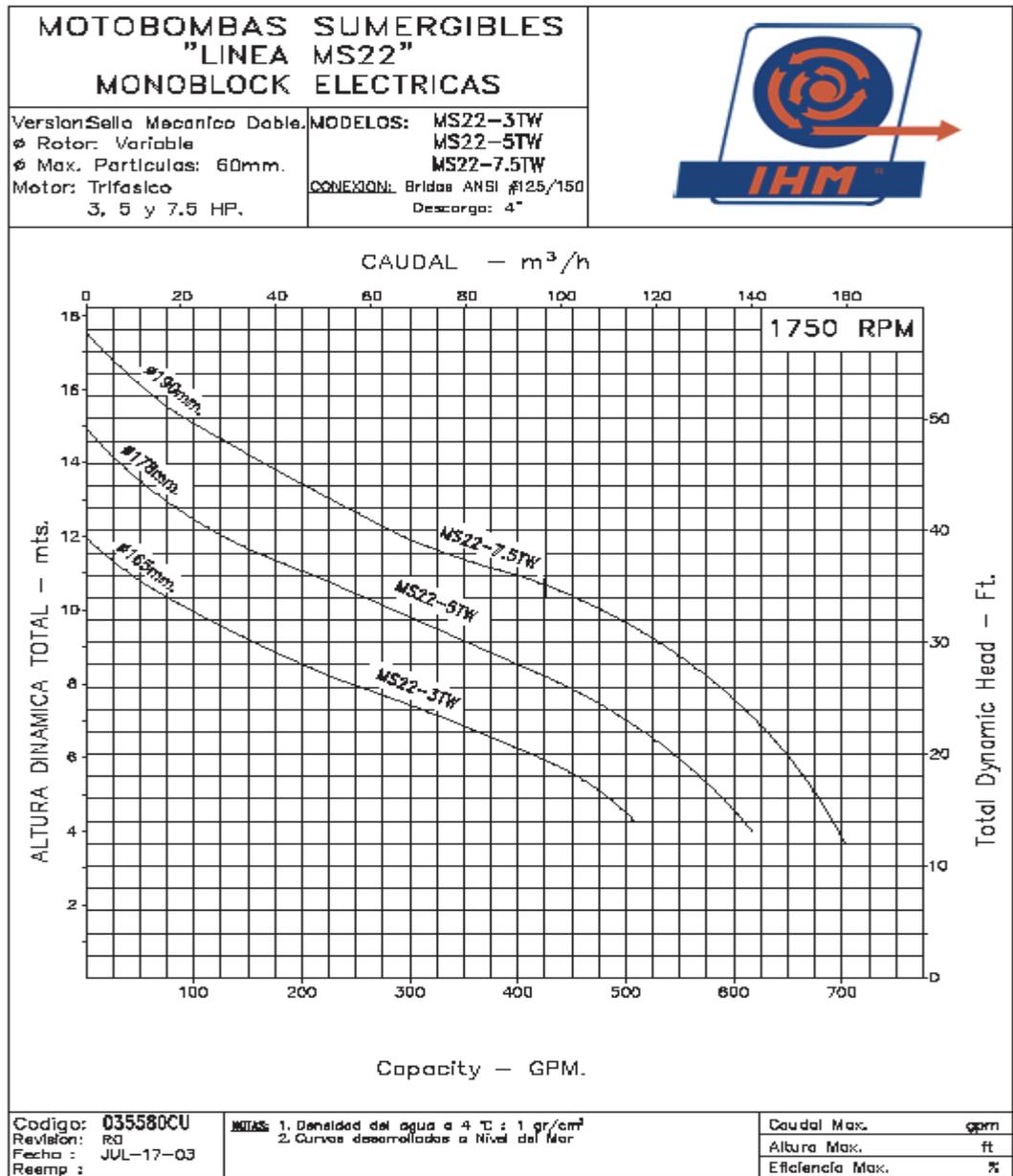
## ANEXO 5 (CALCULO DE POBLACION METODO WAPPUS)

Tabla 25. Método Wappus

<b>MÉTODO DE WAPPUS</b>						
2018		2023	2028	2033	2038	2043
i	Pf	Pf	Pf	Pf	Pf	Pf
2,08	21236	31665	59151	333484	-98044	-43973
2,54	25117	45078	175863	-102194	-41112	-26308
3,04	25691	46511	184523	-105615	-42935	-27656
3,82	34827	114972	-105786	-38479	-24323	-84389
4,81	33157	84779	-227414	-53242	-31599	60722
5,47	29317	55850	252241	-122618	-53222	40406
<b>3,63</b>	<b>28224</b>	<b>63142</b>	<b>25891</b>	<b>56430</b>	<b>-48539</b>	<b>-13533</b>

Fuente: autores.

## ANEXO 6 (CURVA DE LA BOMBA PTAR GACHANCIPÁ)



Fuente: productos HIM

## **ANEXO 7 (LABORATORIOS POR LA C.A.R. PTAR GACHANCIPÁ)**

## 16. BIBLIOGRAFÍA

**ROMERO ROJAS, Jairo Alberto.** Tratamiento de aguas residuales; teoría y principios de diseño. Bogotá: Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito, 2001.

**ROMERO ROJAS, Jairo Alberto.** Purificación del agua Bogotá: Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito, 2000.

**ROMERO ROJAS, Jairo Alberto.** Tratamiento de aguas residuales; teoría y principios de diseño. Bogotá: Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito, 2001

**ROMERO ROJAS, Jairo Alberto.** Lagunas de Estabilización De Aguas Residuales. Bogotá: Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito, 2005

**TCHOBANOGLIOUS, George. RON, Crites** Tratamiento de aguas residuales para poblaciones pequeñas. Mc Graw Hill. 2000.

**Revista Mexicana de Ingeniería Química.** Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica y nitrógeno en un filtro percolador con nuevo empaque. [En línea] 2013. [Citado el: 12 de 10 de 2017.]. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62029966019>

**ALCALDIA GACHANCIPA** Información general [en línea] 16 de agosto de 2013. Bogotá Alcaldía [Citado 2 Septiembre, 2017] Disponible en internet: [http://www.gachancipa-cundinamarca.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.gachancipa-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml)

**PRADA GUADALUPE ALVARO** Plantas de tratamiento de agua residual [en línea] 2005. Perú Universidad nacional de San Martín [Citado 5 Septiembre de 2017] Disponible en internet: <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2366>

**LENNTECH** Historia de tratamiento de agua potable y residual [en línea] 2014. España Lenntech [Citado 5 Septiembre de 2017] Disponible en internet: <http://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/historia/historia-tratamiento-agua-potable.htm>

Aportes de leyes por el ingeniero Gonzales Fernando

**ALCALDIA BOGOTÁ** Decretos y leyes aguas residuales [en línea] 2009. Bogotá Alcaldía [Citado 6 de septiembre de 2017] Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=974>

**ambientum.com. 2015.** El portal profesional del medio ambiente. [En línea] 2015. [Citado el: 12 de 09 de 2017.] <http://www.ambientum.com/diccionario/listado/diccionario.asp?letra=i#>.

**Corporación Autonoma Regional de Cundinamarca. 2006.** PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RÍO BOGOTÁ. . [En línea] 2006. [Citado el: 12 de 09 de 2017.] [http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/adminverblobawa?tabla=T\\_NORMA\\_ARC\\_HIVO&p\\_NORMFIL\\_ID=305&f\\_NORMFIL\\_FILE=X&inputfileext=NORMFIL\\_FILEN\\_AME](http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/adminverblobawa?tabla=T_NORMA_ARC_HIVO&p_NORMFIL_ID=305&f_NORMFIL_FILE=X&inputfileext=NORMFIL_FILEN_AME)

**Berg, Susan. 2001.** muy fitness. Fuentes de contaminantes. [En línea] 2001. [Citado el: 12 de 09 de 2017.] <https://muyfitness.com/fuentes-de-contaminantes-13121031/>

**Espigares García, M y Perez Lopez , J.A.** AGUAS RESIDUALES.COMPOSICIÓN. [En línea] [Citado el: 12 de 09 de 2017.] [http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)

**Ministerio de Desarrollo Económico. 2000.** REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS-2000. Bogotá D.C : s.n., En línea[ 2000]. <http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7>. Tratamiento de aguas residuales.pdf

**Municipio de Gachancipá.** Alcaldía de Gachancipá - Cundinamarca. [En línea] [Citado el: 04 de 09 de 2017.] <http://www.gachancipa-cundinamarca.gov.co/index.shtml#8>.

**Ministerio de ambiente** Decretos y leyes aguas residuales [en línea] 2000. Bogotá Alcaldía [Citado 6 de septiembre de 2017] Disponible en internet: [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley\\_0373\\_1997.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0373_1997.pdf)

**Congreso de la República** Decretos y leyes aguas residuales [en línea] 2000. Bogotá

Alcaldía [Citado 6 de septiembre de 2017] Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1177>

**Congreso de la República** Decretos y leyes aguas residuales [en línea] 2000. Bogotá

Alcaldía [Citado 6 de septiembre de 2017] Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=2752>

**Presidente de la República de Colombia** Decretos y leyes aguas residuales [en línea] 2000. Bogotá

Presidencia [Citado 6 de septiembre de 2017] Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18617>

**DAMA** Decretos y leyes aguas residuales [en línea] 2000. Bogotá

Dama [Citado 6 de septiembre de 2017] Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=974>

**Ministerio de desarrollo económico** Decretos y leyes aguas residuales [en línea] 2000. Bogotá

Ministerio [Citado 6 de septiembre de 2017] Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=38541>

**Quintero Angel , Alejandro** . EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE LA TEBAIDA QUINDÍO [En línea] 2007..Manizales : s.n., 2007 [Citado el: 12 de 09 de2017.] <http://www.bdigital.unal.edu.co/1090/1/alejandroquintero.2007.pdf>

**Ramalho, R.S. 1996.** Tratamiento de aguas residuales. Barcelona [en línea ]1996.

[Citado el: 12 de 09 de2017.] [https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=30etGjzPXyWC&oi=fnd&pg=PA1&dq=tratamiento+en+aguas+residuales&ots=OCpcHskGp9&sig=qY4-6VRKW\\_g4jIMZUV60fbBGkyg#v=onepage&q&f=true](https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=30etGjzPXyWC&oi=fnd&pg=PA1&dq=tratamiento+en+aguas+residuales&ots=OCpcHskGp9&sig=qY4-6VRKW_g4jIMZUV60fbBGkyg#v=onepage&q&f=true)

**TEAM FENIX. 2010.** SANEAMIENTO AMBIENTAL. [En línea] 01 de 06 de 2010.

[Citado el: 12 de 09 de 2017.] <http://teamfenixsa.blogspot.com.co/>

**Estado de Aguas y Costas del Ministerio de Medio Ambiente** La Situación Actual y los Problemas Existentes y Previsibles. [En línea] [Citado el: 5 de 10 de 2017.]

[http://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan%20de%20Recuperaci%C3%B3n%20del%20J%C3%BAcar/Cap.3\\_part2. Libro blanco del agua.pdf](http://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan%20de%20Recuperaci%C3%B3n%20del%20J%C3%BAcar/Cap.3_part2. Libro blanco del agua.pdf)

**DRINKING WATER** treatment wáter [En línea] enero de 2015 [Citado el 12 de 10 de 2017] [https://www.cdc.gov/healthywater/drinking/public/water\\_treatment.html](https://www.cdc.gov/healthywater/drinking/public/water_treatment.html)

**TES GROUP WATER** treatment saweag wáter [En línea] 2017 [Citado el 8 de 10 de 2017] [https://tesgroup.com/water/services/design-build-and-operate/?gclid=EAlaIqObChMIzNa2h5Xs1gIVClqGCh14wg2wEAAYAAEgKM7\\_D\\_BwE](https://tesgroup.com/water/services/design-build-and-operate/?gclid=EAlaIqObChMIzNa2h5Xs1gIVClqGCh14wg2wEAAYAAEgKM7_D_BwE)

**LORMELYN E. CLAUDIO** Wastewater Management in the Philippines [En línea] 23 de abril de 2015 [Citado el 09 de 10 de 2017] [http://www.wipo.int/edocs/mdocs/mdocs/en/wipo\\_ip\\_mnl\\_15/wipo\\_ip\\_mnl\\_15\\_t4.pdf](http://www.wipo.int/edocs/mdocs/mdocs/en/wipo_ip_mnl_15/wipo_ip_mnl_15_t4.pdf)

**AMETEK** Water and Wastewater Industry [En línea] 2017 [Citado el 09 de 10 de 2017] [http://www.ametekcalibration.com/industries/water-and-wastewater?gclid=EAlaIqObChMIwdLy-JXs1gIVRFmGCh2ogQDnEAMYASAAEgJsUPD\\_BwE](http://www.ametekcalibration.com/industries/water-and-wastewater?gclid=EAlaIqObChMIwdLy-JXs1gIVRFmGCh2ogQDnEAMYASAAEgJsUPD_BwE)

**REY RIOS DIANA ELENITH** inventario de los sistemas de tratamiento de aguas residuales del departamento del Meta [En línea] 20 de 04 de 2017 [Citado el 12 de 10 de 2017] <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/593/2/CF%20-%20Trabajos%20de%20Grado%20Maestr%C3%ADa%20en%20Ingenier%C3%ADa%20Civil-3094660%20.pdf>

**ACODAL** nueva resolución 0330 [En línea] 25 de 10 de 2017 [Citado el 25 de 04 de 2018] <http://www.acodal.org.co/reglamento-tecnico-ras-nueva-resolucion-0330-de-2017/>

**DEFINICIONABC. 2017.** Definicion abc tu diccionario hecho facil. [En línea] 2017. [Citado el: 10 de 04 de 2018.] <https://www.definicionabc.com/medio-ambiente/aguas-residuales.php>.

**DEFINICION. 2008.** Definicion.de. [En línea] Definicion, 2008. [Citado el: 20 de 03 de 2018.] <https://definicion.de>.

**SCRIBD. 2018.** Scribd. [En línea] Chelsea, 2018. [Citado el: 12 de 03 de 2018.] <https://es.scribd.com/doc/127949571/Glosario-de-Terminos-Hidraulicos>

**IGIME. 2015.** [En línea] 08 de 2015. [Citado el: 12 de 03 de 2018.] [http://aguas.igme.es/igme/publica/depuracion\\_aresidual/8.pdf](http://aguas.igme.es/igme/publica/depuracion_aresidual/8.pdf).