	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b> <small>126</small>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 1 de 7</b>

16.

**FECHA**

Señores  
**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**  
**BIBLIOTECA**  
 Ciudad

<b>UNIDAD REGIONAL</b>	Seccional Girardot
<b>TIPO DE DOCUMENTO</b>	Trabajo De Grado
<b>FACULTAD</b>	Ciencias Agropecuarias
<b>NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO</b>	Pregrado
<b>PROGRAMA ACADÉMICO</b>	Ingeniería Ambiental

El Autor(Es):

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>	<b>No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN</b>
Gutierrez Ospina	Juan David	1106309280

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>
Vega Romero	Diana Carolina

**TÍTULO DEL DOCUMENTO**

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



**MACROPROCESO DE APOYO**  
**PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO**  
**DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL**  
**REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

**CÓDIGO: AAAr113**  
**VERSIÓN: 3**  
**VIGENCIA: 2017-11-16**  
**PAGINA: 2 de 7**

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL PUNTO DE VERTIMIENTO (COLECTOR LA ARENOSA), EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DEL CARMEN DE APICALÁ – TOLIMA.

**SUBTÍTULO**

(Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

**TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía

Ingeniero Ambiental.

**AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO**

28/03/2019

**NÚMERO DE PÁGINAS**

74

**DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS**  
(Usar 6 descriptores o palabras claves)

ESPAÑOL	INGLÉS
1. Aguas Residuales	Sewage water
2. Vertimiento	Shedding
3. Colector	Manifold
4. Tratamientos	Treatments
5. Fuentes Receptoras	Receiving Sources
6. Alcantarillado	Sewerage

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*





<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 3 de 7</b>

### RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

La empresa de acueducto, Alcantarillado y Aseo del Carmen de Apicalá DAGUAS S.A. E.S.P., comprende la necesidad de realizar un estudio Técnico – económico de posibles alternativas para la inclusión de un sistema de tratamiento de aguas residuales viable para el municipio del Carmen De Apicalá.

Como punto de partida de este estudio, se desarrolló un diagnóstico breve del estado actual del servicio de alcantarillado, donde se estableció el porcentaje de cobertura del mismo, el material y diámetro de todo el sistema, la caracterización de sus puntos de vertimiento actualmente monitoreados y las fuentes receptoras de agua superficial. Posterior a ello, se seleccionó uno de los puntos principales de vertimiento (Colector La Arenosa) para el desarrollo del presente proyecto.

De esta manera, para la evaluación de la viabilidad del sistema de tratamiento para el municipio, se planteó un análisis de alternativas cuya finalidad fue evaluar y calificar cada tratamiento mediante 5 variables que son: Operación y Mantenimiento, Costos De Inversión, Área Requerida, Producción de olores y Eficiencia de Tratamiento (Balance de Cargas); para poder así, Seleccionar la alternativa más favorable para el municipio, con el fin de mejorar la calidad del Agua de las fuentes receptoras, junto al mejoramiento de la calidad de vida de la población Carmeluna.

#### Abstract

The aqueduct, Alcantarillado y Aseo del Carmen de Apicalá DAGUAS S.A. E.S.P., understands the need to carry out a technical - economic study of possible alternatives for the inclusion of a viable wastewater treatment system for the municipality of Carmen De Apicalá.

As a starting point for this study, a brief diagnosis of the current state of the sewerage service was developed, where it was established the percentage of coverage of the same, the material and diameter of the entire system, the characterization of its currently monitored dumping points and receiving sources of surface water. After that, one of the main dumping points (La Arenosa Collector) was selected for the development of this project.

Thus, for the evaluation of the viability of the treatment system for the municipality, an analysis of alternatives was proposed whose purpose was to evaluate and qualify each treatment through 5 variables that are: Operation and Maintenance, Investment Costs, Required Area, Production of odors and Treatment Efficiency (Load Balance); to be able to select the most favorable alternative for the





municipality, in order to improve the water quality of the receiving sources, together with the improvement of the quality of life of the Carmeluna population.

### AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son:

Marque con una "X":

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	x	
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	x	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos





<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 5 de 7</b>

patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo en mi calidad de estudiante y por ende autor exclusivo, que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi plena autoría, de mi esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi creación original particular y, por tanto, soy el único titular de esta. Además, aseguro que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mi competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

#### **Información Confidencial:**

Esta Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. **SI** \_\_\_ **NO** **X**.  
En caso afirmativo expresamente indicaré, en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

#### **LICENCIA DE PUBLICACIÓN**

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*





Como titular del derecho de autor, confiero a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El Autor, garantizo que el documento en cuestión es producto de mi plena autoría, de mi esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi creación original particular y, por tanto, soy el único titular de esta. Además, aseguro que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mi competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el "Manual del Repositorio Institucional AAAM003"





i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



**Nota:**

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. Estudio de viabilidad de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el punto de vertimiento (colector la arenosa), en el casco urbano del municipio del Carmen de Apicalá - Tolima	Texto, Imágenes

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafa)
Gutierrez Ospina Juan David	

21.1-51.20.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PARA EL PUNTO DE VERTIMIENTO (COLECTOR LA ARENOSA), EN EL  
CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DEL CARMEN DE APICALÁ - TOLIMA

JUAN DAVID GUTIÉRREZ OSPINA

Cód.: 363214146

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
GIRARDOT-CUNDINAMARCA

2019



ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PARA EL PUNTO DE VERTIMIENTO (COLECTOR LA ARENOSA), EN EL  
CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DEL CARMEN DE APICALÁ - TOLIMA

JUAN DAVID GUTIÉRREZ OSPINA

Cód.: 363214146

Trabajo de grado opción pasantía para optar por el título de ingeniero ambiental

Asesor interno

DIANA CAROLINA VEGA ROMERO

ING. AMBIENTAL Y SANITARIA

ESPECIALISTA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

MAGISTER EN INGENIERÍA CIVIL

Asesor externo

ANDRÉS FELIPE GARZÓN GUTIÉRREZ

ING. AMBIENTAL

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
GIRARDOT-CUNDINAMARCA

2019

Notas de aceptación

---

---

---

---

---

Firma del director del trabajo

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Girardot, Cundinamarca (-----)



## **Dedicatoria**

El presente trabajo de grado va dedicado primordialmente a Dios, quien ha sido el principal guía en este proceso, con el fin de obtener una de las metas y logros más esperados para así cumplir poco a poco los anhelos más queridos.

A mis padres, que con su esfuerzo, trabajo y sacrificio durante todo el desarrollo de esta carrera me han ayudado y han sido mi motor para sacar adelante la misma, por otra parte, a los conocidos quienes me tendieron su mano cada vez que lo necesite y me aportaron de una u otra manera sus conocimientos y experiencias para el desarrollo de cada una de las tareas durante estos 5 años.

## **Agradecimientos**

Agradezco principalmente a la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo del municipio de Carmen De Apicalá por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de Realizar mi Opción de Grado – Pasantía, a los Ingenieros *Andrés Felipe Garzón Gutiérrez* (asesor Externo) y *Leonardo Alfonso Cuellar* (Ing. Civil, operario de Alcantarillado de la Empresa), quienes estuvieron disponibles para cada una de las inquietudes y me aportaron gran parte de su conocimiento adquirido gracias a la experiencia en su oficio, Por otra parte a mi tutora del presente trabajo *Diana Carolina Vega Romero*, por el aporte de sus conocimientos en el área y su disponibilidad de tiempo para la elaboración de este trabajo.



## **Resumen Ejecutivo**

La empresa de acueducto, Alcantarillado y Aseo del Carmen de Apicalá DAGUAS S.A. E.S.P., comprende la necesidad de realizar un estudio Técnico – económico de posibles alternativas para la inclusión de un sistema de tratamiento de aguas residuales viable para el municipio del Carmen De Apicalá.

Como punto de partida de este estudio, se desarrolló un diagnóstico breve del estado actual del servicio de alcantarillado, donde se estableció el porcentaje de cobertura del mismo, el material y diámetro de todo el sistema, la caracterización de sus puntos de vertimiento actualmente monitoreados y las fuentes receptoras de agua superficial. Posterior a ello, se seleccionó uno de los puntos principales de vertimiento (Colector La Arenosa) para el desarrollo del presente proyecto.

De esta manera, para la evaluación de la viabilidad del sistema de tratamiento para el municipio, se planteó un análisis de alternativas cuya finalidad fue evaluar y calificar cada tratamiento mediante 5 variables que son: Operación y Mantenimiento, Costos De Inversión, Área Requerida, Producción de olores y Eficiencia de Tratamiento (Balance de Cargas); para poder así, Seleccionar la alternativa más favorable para el municipio, con el fin de mejorar la calidad del Agua de las fuentes receptoras, junto al mejoramiento de la calidad de vida de la población Carmeluna.

## TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN .....	11
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
3	JUSTIFICACIÓN .....	14
4	OBJETIVOS .....	16
4.1	OBJETIVO GENERAL .....	16
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
5.	MARCO NORMATIVO .....	17
6.	DISEÑO METODOLÓGICO .....	19
	ARÉA DE ESTUDIO .....	19
	GEORREFERENCIACIÓN .....	20
	DESCRIPCIÓN INSTITUCIONAL .....	20
<b>7.</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>25</b>
	Etapa 1. Fase diagnóstica .....	25
	Etapa 2. Fase estratégica.....	25
	Etapa 3. Fase de ejecución.....	26
8.	RESULTADOS .....	37
	Etapa 1 Diagnóstico.....	37
	Etapa 2. Fase Estratégica.....	41



Etapa 3. Fase de Ejecución.....	42
9. CONCLUSIONES .....	67
10. RECOMENDACIONES .....	69
11. REFERENCIAS .....	70

## Lista de Tablas

<i>Tabla 1 Límites Geográficos</i> .....	19
<i>Tabla 2 Variables de Análisis</i> .....	35
<i>Tabla 3 Analisis de Párametros De AR</i> .....	37
<i>Tabla 4 Proyecciones de población y Caudales</i> .....	41
<i>Tabla 5 Alternativas y Tratamientos</i> .....	42
<i>Tabla 6 Costos Totales Anuales de Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento.</i> .....	44
<i>Tabla 7 Costos de Operación y Mantenimiento</i> .....	45
<i>Tabla 8 Costos de Construcción de Procesos Unitarios para PTARM</i> .....	47
<i>Tabla 9 Costos de Construcción De Procesos Unitarios PTARM</i> .....	49
<i>Tabla 10 Área Requerida</i> .....	50
<i>Tabla 11 Calificación Potencial de Olores</i> .....	51
<i>Tabla 12 Balance De Cargas Alternativa N°1</i> .....	53
<i>Tabla 13 Balance de Cargas Alternativa N°2</i> .....	53
<i>Tabla 14 Balance De Cargas Alternativa N°3</i> .....	54
<i>Tabla 15 Balance De Cargas Alternativa N° 4</i> .....	55
<i>Tabla 16 Eficiencia Alternativa N°1</i> .....	56
<i>Tabla 17 Eficiencia Alternativa N°2</i> .....	57
<i>Tabla 18 Eficiencia Alternativa N°3</i> .....	58
<i>Tabla 19 Eficiencia Alternativa N°4</i> .....	59
<i>Tabla 20 Calificación Variable de Balance De Cargas</i> .....	60
<i>Tabla 21 Comparación Resolución 0631 de 2015</i> .....	61
<i>Tabla 22 Calificación Variables</i> .....	62
<i>Tabla 23 Calificación Promedio de las Alternativas Municipio De Carmen De Apicalá</i> .....	63



## *Lista de Figuras*

<i>Figura 1. Fuente: Autor 2019.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2 . Fuente: DAGUAS S.A E.S.P.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3. Fuente Autor 2019. ....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 4. Fuente: Planeación Municipal 2003.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 5. Fuente: Propia. ....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 7 Fuente: Autor 2019.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 8 Fuente: Autor 2019.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 9 Fuente: Autor 2019.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 10 Fuente: Autor 2019.....</i>	<i>59</i>

## 1 INTRODUCCIÓN

“El servicio público domiciliario de alcantarillado es la recolección municipal de residuos, principalmente líquidos, por medio de tuberías y conductos. El sistema de alcantarillado está compuesto por una serie de tuberías y obras complementarias, necesarias para recolectar y evacuar las aguas residuales de una población y la escorrentía superficial producida por la lluvia. Los sistemas de alcantarillado se clasifican según el tipo de aguas que conducen.” (Empresa de Acueducto y alcantarillado de Bogotá, 2006).

El municipio de Carmen de Apicalá cuenta a la fecha con el 100% de cobertura de alcantarillado en el perímetro urbano; En la Actualidad, cuenta con trece (13) Puntos de vertimiento establecidos sobre las fuentes receptoras (Quebrada palmara, yayala, arenosa y la mona); Hoy en día, se realiza monitoreo a siete de estos, ya que el restante la empresa de servicios públicos los ha eliminado y/o interconectado a un colector de Aguas Residuales; Rodríguez (2016) afirma que, “Un colector, es un conducto que recibe aportaciones de uno o más de un ramal secundario, con la finalidad de poder transportar en todo momento la totalidad de los caudales aportados por los ramales a los que da servicio”.

Por otra parte, el vertimiento de aguas residuales no tratadas hacia fuentes Receptoras hídricas es una problemática en Aumento en Colombia, pues se ha convertido en uno de los problemas más crecientes a nivel nacional, ya que, de 562 sistemas existentes en el país, solo el 10% tiene adecuado funcionamiento, según estudio de UNICEF (twenergy, 2016, citado por Giraldo et-al, 2016); el municipio de Carmen de Apicalá – Tolima, es un municipio que a la fecha no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales específico, debido a ello no realiza un manejo adecuado de las aguas residuales las cuales son vertidas a cuerpos receptores de agua superficial generando así, un acrecentamiento en la contaminación del recurso hídrico, dando paso a la



generación de impactos ambientales en los diferentes puntos de vertido de Aguas Residuales (AR) y lugares colindantes.

El Presente Proyecto, buscó para su desarrollo, una serie de actividades, acciones y tareas a realizar donde se realizó un Análisis de viabilidad para la selección de un sistema de tratamiento de Aguas Residuales Para uno de sus Puntos Actualmente monitoreados (Colector La Arenosa) de la zona urbana del municipio, con el apoyo técnico y logístico de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo municipal DAGUAS S.A. E.S.P.

Teniendo en cuenta lo anterior, se consideraron los parámetros de diseño según lo establecido por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2017), el Diagnóstico Actual del Servicio de Alcantarillado municipal (Sector Urbano), La Resolución 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” y Bibliografía existente; lo que permitió Seleccionar e identificar el tipo de sistema de tratamiento adecuado para la remoción efectiva de los parámetros (DBO, DQO, SST, Fósforo Reactivo total, Fósforo total, Nitratos, Fenoles), en donde se tuvo en cuenta que estuviera dentro de los valores máximos permisibles decretados en la normatividad ambiental legal vigente.

## 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El municipio del Carmen de Apicalá no cuenta con un sistema de Tratamiento de Aguas Residuales, razón por la cual se evidencia que, los vertimientos de todo el sistema de alcantarillado del casco urbano (13 puntos) actualmente cuenta con siete puntos finales de descarga de sus aguas residuales mixtas a cuerpos receptores de agua superficial, haciendo evidente la contaminación en dichos cuerpos, generando así, impactos asociados como: proliferación de vectores, malos olores, contaminación del recurso hídrico aguas abajo, cambios abruptos en la concentración de contaminantes, degradación y contaminación de fauna acuática (alevinos, peces, cangrejos), trayendo consigo una alteración significativa del equilibrio ecológico circundante municipal.

Por otra parte, al no existir un sistema de tratamiento de aguas residuales se evidencian problemáticas de Salud pública en las zonas colindantes a los puntos de vertimientos de alcantarillado, conllevando a enfermedades como: paludismo, dengues y/o enfermedades gastrointestinales, afectando así las comunidades de dichas zonas. (Organización Mundial de la Salud. OMS 2017).

Para el Desarrollo del Presente Trabajo, se estimó uno de los Siete Puntos de Vertimiento Actualmente monitoreados (Colector La Arenosa), en el cual se recolectan aproximadamente la contribución de Aguas Residuales del 70% del Casco Urbano Municipal.

### 3 JUSTIFICACIÓN

Desde la perspectiva mundial existe una capacidad inadecuada en el tratamiento de las aguas residuales por lo que, según el informe “Gestión de Aguas Residuales” elaborado por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA. 2015), afirma que, “El 80 % de las aguas residuales mundiales no reciben un tratamiento adecuado para evitar la contaminación y la propagación de enfermedades, una situación que perjudica sobre todo a los países menos desarrollados y en vía de desarrollo”, teniendo en cuenta que, “Esta problemática se ha venido visualizando desde los años setenta y ha sido causada por la superpoblación, la crisis del agua y el alto costo de construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales, es por lo anterior que, el resultado del tratamiento inadecuado de las aguas residuales genera un aumento significativo de la tasa mortalidad (sobre todo) de enfermedades prevenibles”.

(SYNERTECH, 2015).

Actualmente, el municipio de Carmen De Apicalá – Tolima, no cuenta con un sistema claro u/o específico de tratamiento de Aguas Residuales (AR) para los puntos de descarga en los cuerpos de agua receptores, que cumpla con los parámetros y metas de reducción de cargas contaminantes de acuerdo con el Decreto 302 de 2000, “Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, en materia de prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado”. Por lo que, se busca establecer un análisis de alternativas y/o estrategias, partiendo de los análisis de vertimientos del Plan de Saneamiento y Manejo de vertimientos (PSMV) DAGUAS S.A ESP, con el propósito de desarrollar un estudio de viabilidad para un sistema de tratamiento de aguas residuales que cumpla con la disminución de cargas contaminantes en el marco de los límites máximos permisibles de los parámetros considerados en la normatividad legal ambiental vigente, para el punto denominado colector la arenosa del



municipio, teniendo en cuenta criterios técnicos, económicos y sociales. Todo lo anterior con el fin de disminuir los impactos ambientales generados en este punto de vertimiento del sistema de alcantarillado de la cabecera municipal.

Por otra parte, los cuerpos de agua receptores (Quebrada la Arenosa, Quebrada la Palmara), han venido presentando déficit en la Calidad del Agua conforme a lo establecido en el Decreto 302 de 2000 y la Resolución 0631 de 2015 “Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”; debido a que el caudal no es suficiente para desarrollar la dilución de las cargas contaminantes vertidas. Situación que podrá corregir con el estudio de las alternativas a proponer.

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL.**

Realizar un estudio de viabilidad de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para el Punto de Vertimiento seleccionado (Colector La Arenosa) en el casco urbano del municipio de Carmen De Apicalá – Tolima.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

Recopilar la documentación sobre el estado actual del servicio de alcantarillado de la cabecera municipal.

Realizar el Diagnóstico del manejo y estado actual de vertimientos del Casco Urbano.

Realizar el análisis de alternativas para la establecer el Sistema de tratamiento viable para el municipio de Carmen de Apicalá.

## **5. MARCO NORMATIVO**

Para el desarrollo del presente proyecto se tuvo en cuenta la Normatividad ambiental legal vigente a nivel nacional y regional enunciada a continuación:

En Colombia se contempla para la Protección de cuerpos de agua superficial receptoras los criterios establecidos por la Constitución Política de Colombia de 1991, la Cual es la ley máxima y general que rige y aplica para todo el país; Por otra parte, se tuvo en cuenta las medidas de Control Sanitario para Residuos u/o vertimientos líquidos, según lo establece la Ley 9 de 1979.

Teniendo en cuenta lo anterior se tiene como referencia los conceptos básicos de ordenamiento territorial municipal, POT y clasificaciones del Suelo establecidos en la Ley 388 de 1997 para plantear la posible ubicación del Sistema de tratamiento de aguas residuales e identificar el punto de vertimiento seleccionado para el desarrollo del presente proyecto; posterior a ello, mediante el Decreto 3930 de 2010 se Establecen las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados; por consiguiente, para la contextualización de conceptos y parámetros de conservación y protección de los cauces para la fundamentación del presente análisis se contempla lo mencionado en el Decreto 1076 de 2015.

Así mismo, se consideró los conceptos y estrategias de saneamiento ambiental para el manejo adecuado de vertimientos según lo establece la Resolución 1433 de 2004, para un mayor entendimiento de lo establecido por PSMV actualización 2019 desarrollado por la empresa de Servicios Públicos DAGUAS S.A E.S.P.; en donde en la Resolución 0790 de 2015 se acoge la actualización del plan de saneamiento y manejo de vertimientos del municipio del Carmen De Apicalá e hizo parte de la respectiva Revisión Documental de procedimientos e informes sobre el Sistema de alcantarillado y Vertimientos.



Como Parte fundamental para el desarrollo analítico de Viabilidad para la selección de la alternativa más óptima para la construcción futura de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el municipio, se tiene como punto de partida lo establecido en la Resolución 0631 de 2015, en donde en su Parte en su ART 8°, Establece los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas, (ARD) de las actividades industriales, comerciales o de servicios; y de las aguas residuales (ARD y ARnD) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales.

Por último, para la elaboración de los cálculos y análisis de alternativas se contemplaron los criterios, conceptos y parámetros de la Resolución 0330 de 2017 en donde en sus Artículos 11, 12, 13, 14, se establecieron los parámetros u/o estándares para la elaboración de un análisis de alternativas favorable, Art. 75, en donde se establece el caudal de diseño el cual permite el dimensionamiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales; Art. 184. En donde se establecen las eficiencias de remoción de cada alternativa para el desarrollo de la variable de balance de cargas; Art. 209, control de olores en plantas de tratamiento, allí se establecen las disposiciones establecidas por la normatividad ambiental legal vigente, usando como Guía lo establecido por el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2017 en donde en sus Títulos B, D y E se establecieron los parámetros U/o Criterios de diseño de sistemas de tratamiento de AR, junto a los criterios para el desarrollo de las proyecciones de población con el fin de velar por la protección y control del Medio ambiente y los Recursos Naturales (Decreto 2811 de 1974).

## 6. DISEÑO METODOLÓGICO

### ARÉA DE ESTUDIO

Territorialmente el municipio del Carmen de Apicalá se encuentra ubicado en aproximadamente a unos 12 km del municipio de Melgar – Tolima. Lo atraviesa la quebrada Apicalá, tributaria del río Sumapaz. Su altura sobre el nivel del mar es de 328 metros y se caracteriza por una naturaleza exuberante, gran extensión rural, y turismo religioso; El municipio está conformado por 183 kilómetros cuadrados y se divide en 12 veredas y 23 barrios. (Alcaldía Municipal Carmen de Apicalá. 2016).

*Tabla 1 Límites Geográficos*

<b><u>NORTE</u></b>	<b>Dpto. de Cundinamarca y municipio de Melgar</b>
<b><u>SUR</u></b>	Cunday
<b><u>ORIENTE</u></b>	Melgar
<b><u>OCCIDENTE</u></b>	Suarez
<b><u>SUR OCCIDENTE</u></b>	Cuchillas El Páramo – Aguas Claras

*Fuente: Alcaldía Municipal Carmen De Apicalá*

## GEORREFERENCIACIÓN

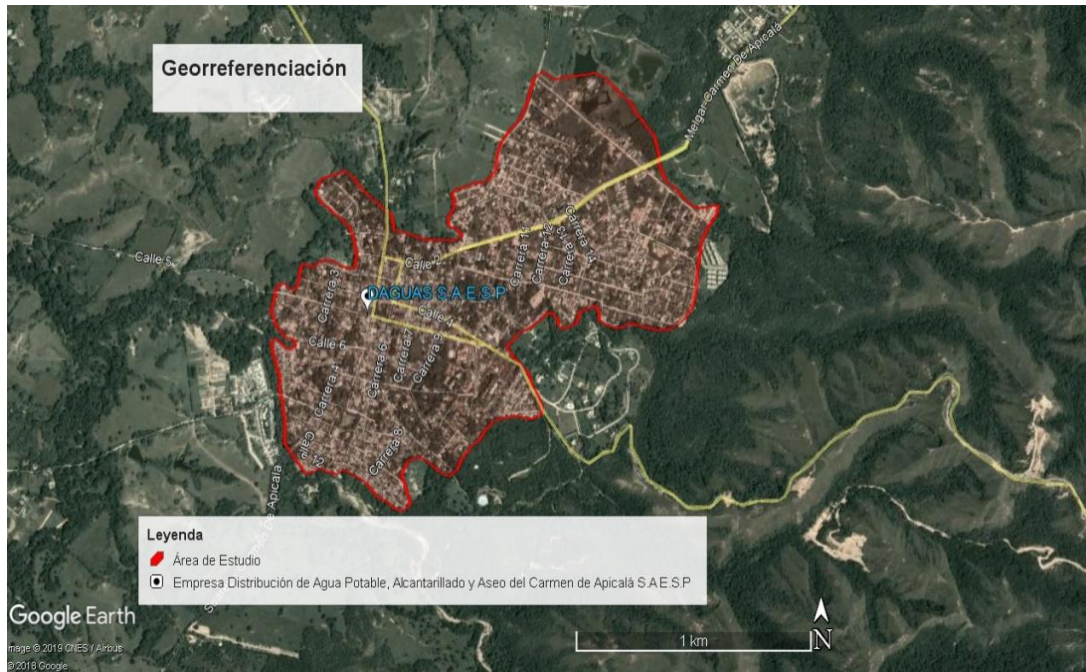


Figura 1. Fuente: Autor 2019

Lo expuesto en la Figura anteriormente, es la ubicación de la empresa y delimitación del casco urbano municipal (Área de estudio general):

## DESCRIPCIÓN INSTITUCIONAL

La empresa de distribución de agua potable, Alcantarillado y Aseo del Carmen de Apicalá (Daguas. S.A E.S.P.), Territorialmente su sede administrativa se encuentra ubicada dentro del perímetro Urbano sobre la Cll 5<sup>a</sup> # 4-88 B/Centro.

Daguas. S.A E.S.P. es una empresa que Presta los Servicios públicos de Acueducto, Alcantarillado y Aseo teniendo en cuenta que es supervisada y controlada por entes como: Procuraduría, Contraloría, Superintendencia de Servicios públicos domiciliarios y Cortolima, es por esto por lo que, la empresa busca y encamina sus esfuerzos a la mejora continua en la prestación de sus servicios a la comunidad Carmeluna.

Por lo tanto, en la prestación de los Servicios Públicos Domiciliarios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo, la empresa dentro de sus valores corporativo establece para la calidad y la continuidad en la prestación del servicio, con especial protección del medio ambiente, aplicar los principios de eficiencia, eficacia y ética, con un sistema tarifario justo, mejorando la cobertura para contribuir en el desarrollo de la comunidad, la empresa y su talento humano. Así mismo, la organización se ha proyectado para consolidarse y ser líder en la prestación de Servicios Públicos de Acueducto, Alcantarillado y Aseo; en desarrollo de la imagen corporativa y como ejemplo regional dentro de los principios de Eficiencia, Eficacia y Transparencia, con calidad y responsabilidad destacándose por su rentabilidad, economía y control de recursos, creando sentido de pertenencia a nivel interno y externo. (Daguas S.A E.S.P., 2010).

De esta manera, se debe entender que el tema o el Servicio principal a relacionar es el de Alcantarillado, en donde la empresa ofrece la prestación del servicio continuo, teniendo de forma organizada la disponibilidad técnico operativa para la manifestación de alguna eventualidad y para las respectivas actividades misionales y funcionales de la misma, teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, el personal con el que cuenta la empresa es calificado y con experiencia en su oficio, para así ofrecer a cada uno de sus suscriptores un servicio confiable y de buena calidad.

Hoy en día, la empresa busca reemplazar por sectores el material del sistema de alcantarillado, pues este, se encuentra en muy mal estado y es un poco obsoleto, generando así déficit en la prestación del servicio y lo que a futuro podría acarrearle un suceso de impacto sanitario y sanciones por parte de las autoridades ambientales.

A continuación se muestra la organización de la empresa DAGUAS S.A E.S.P.



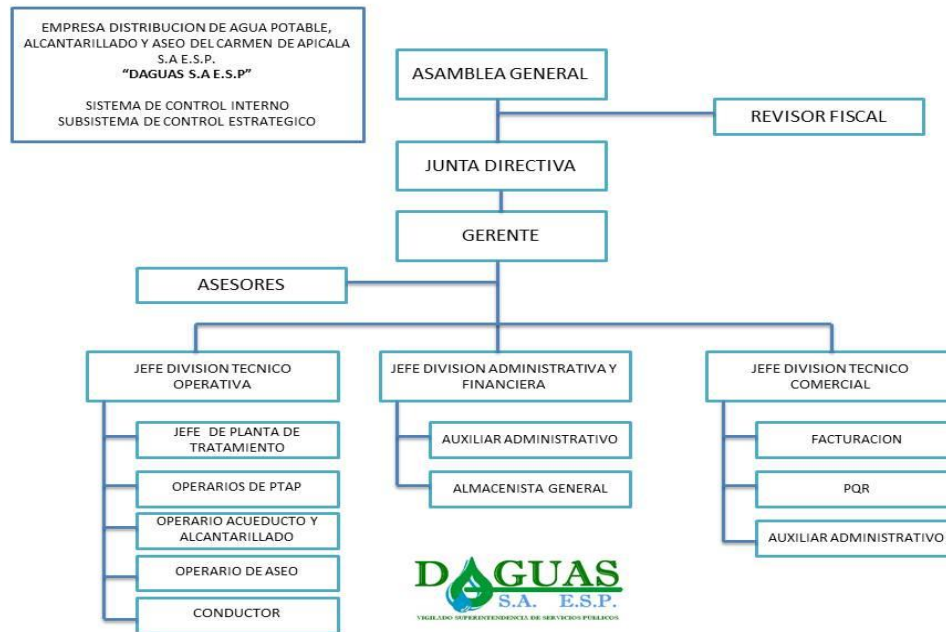


Figura 2 . Fuente: DAGUAS S.A E.S.P.

Por último, se debe tener en cuenta que para el presente Proyecto se tomó uno de los siete puntos de vertimiento que actualmente son monitoreados el cual corresponde al Colector de la Arenosa y se contempló el Predio destinado para la construcción del posible sistema de tratamiento de Aguas Residuales para el municipio.

## MÉTODOS Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Durante el desarrollo del proyecto se realizará un análisis investigativo de tipo cuantitativo, por medio de los parámetros de diseño establecidos por el Ras 2017 “Titulo D: Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias”, “Titulo E: Tratamiento De Aguas Residuales” y la Resolución 330 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”.

Teniendo en cuenta lo anterior se realizará un análisis estadístico comparativo de los parámetros de aguas Residuales bajo la normatividad ambiental legal vigente (Resolución 0631 de 2015), donde dicha información será recopilada para su posterior análisis porcentual de remoción para así determinar la eficiencia del sistema de tratamiento a seleccionar, teniendo en cuenta, los valores de cada parámetro establecido en la caracterización inicial del AR del sistema de Alcantarillado Combinado específicamente en el punto de vertimiento “La Arenosa Carmen De Apicalá (**Tabla 3**), para cumplir con los valores límites máximos permisibles de la Resolución citada anteriormente.

Por último, se buscará dejar una Guía metodológica como soporte documental de buenas prácticas ambientales para determinar por medio de Análisis de viabilidad un sistema de tratamiento de aguas residuales en el municipio.

## **RECURSOS**

### **HUMANOS**

- ❖ **Operarios:** Personas que realizaran el acompañamiento a las salidas de Campo.
- ❖ **Jefe de Plantas de Tratamiento de Agua Potable:** Ing. Ambiental Andrés Felipe Garzón Gutiérrez (Asesor Externo): Codirector de Pasantía, Persona que vigilará y Apoya la Revisión documental llevada a cabo.
- ❖ **Operario de Alcantarillado:** Ing. Civil Leonardo Alfonso Cuellar Apoyo Técnico, Planos, imágenes.
- ❖ **Personal Administrativo:** Asesoramiento y apoyo para la Revisión y recopilación documental asociada al tema de Investigación.

## **INSTITUCIONALES**

**Universidad de Cundinamarca:** Asesoría Interna Durante el periodo de desarrollo y ejecución del proyecto.

- ❖ **Alcaldía Municipal de Carmen De Apicalá:** Apoyo para la Recopilación Documental y demás a fines.
- ❖ **Empresa de Servicios Públicos Daguas S.A E.S.P.:** Espacio y asesoría Profesional para el Desarrollo de la Pasantía.

## **FÍSICOS, LOGÍSTICOS Y/O TÉCNICOS**

### ❖ **INSUMOS**

- Plan de saneamiento y manejo de Vertimientos PSMV
- Vehículos.
- Combustible.
- Documentos Plan Maestro de Alcantarillado Municipal.
- Documentación de apoyo para el diseño y Cálculos del Sistema de Tratamiento de AR a seleccionar.
- Agenda.
- Bolígrafos.

### ❖ **EQUIPOS**

- Computador.
- Cámara Fotográfica.
- GPS.

## **7. METODOLOGÍA**

La metodología desarrollada se dividió en 3 etapas, dando cumplimiento a cada uno de los objetivos citados anteriormente y que conlleva al desarrollo del análisis de viabilidad de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el municipio de Carmen de Apicalá, siendo las etapas:

### **Etapa 1. Fase diagnóstica**

En esta etapa se Reconoció e identificó cada uno de los de los Puntos de vertimiento que presentan actualmente un monitoreo por medio de recopilación de información en medio digital en la empresa DAGUAS S.A. E.S.P. junto a la Caracterización de las AR en dichos Puntos para que de esta manera se seleccionara un Punto de vertimiento específico el cual tiene como nombre Colector la Arenosa (**Tabla 3**), y así poder dar cumplimiento a los Objetivos 1 y 2 planteados anteriormente, en donde se contempló visitas programadas a la alcaldía municipal, planeación municipal y la empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo (EAAA) del municipio de Carmen de Apicalá para la recopilación de la información preliminar para la extracción de datos como: Cobertura del sistema de alcantarillado municipal (**Figura 4**), se realizó la toma de coordenadas del predio en sitio, por medio de la aplicación móvil “Mobile Topographer Gis”, dicho predio fue destinado por parte de la Alcaldía municipal para la construcción del sistema (**Figura 5**), por último, se recopiló información Digital (planos, plan Maestro de acueducto y alcantarillado, Plan de Saneamiento y manejo de vertimientos PSMV y afines).

### **Etapa 2. Fase estratégica**

En esta etapa se buscó Articular y dar cumplimiento a los objetivos específicos 1,2, y 3 propuestos anteriormente, en donde, posteriormente a la recopilación de información y la



ejecución de lo contemplado en la etapa Diagnóstica, se estudió las Características generales del predio por medio de imágenes satelitales; para las respectivas georreferenciaciones U/o creación de imágenes, se utilizó la Plataforma Google Earth e información descargada del geoportal del IGAC (Shape) para la caracterización del mismo, para determinar si cuenta con las condiciones óptimas para el desarrollo del sistema.

Por otro lado, se realizó la proyección de población teniendo en cuenta los criterios del RAS 2017 título B y Censos Nacionales DANE, posteriormente se seleccionó el método aritmético, debido al desarrollo poblacional y económico del municipio de Carmen de Apicala junto al periodo de retraso de 20 años en su desarrollo, para dicho cálculo se utilizó la fórmula:

$$Pf = Puc + ((Puc - Pci) / (Tuc - Tci)) * (Tf - Tuc)$$

**Tp:** Tasa población

**Puc:** Población último censo

**Pci:** Población censo inicial

**Tuc:** Tiempo último censo

**Tci:** Tiempo censo inicial

### **Etapa 3. Fase de ejecución**

Para el desarrollo del siguiente análisis de alternativas se tiene cómo fundamento, lo estipulado en la Resolución 330 de 2017 y Reglamento Técnico de Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2017 junto al Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos Actualizado al año en curso.

Por otra parte, por medio de lo mencionado anteriormente se busca dar cumplimiento al objetivo N° 3 del proyecto, en donde se presenta el conjunto de alternativas requeridas para la posible construcción a futuro de un sistema de tratamiento para el municipio de Carmen de

Apicalá – Tolima, Teniendo en cuenta esto, se tuvo en cuenta el Rubro presupuestal de la Empresa de servicios públicos para poder así formular la alternativa más viable para evitar las problemáticas asociadas al no Tratamiento de Aguas Residuales y que han sido mencionadas anteriormente en el documento, para ello se tuvo en cuenta criterios de preselección y selección final de alternativas a considerar para el análisis Técnico-Económico de cada una a plantear **ALTERNATIVAS PROPUESTAS DE SOLUCIÓN.**

A continuación, se plantean cuatro (4) posibles alternativas en donde se realizó un análisis técnico – económico de alternativas para determinar la viabilidad teniendo en cuenta las siguientes variables, tales como:

- Porcentaje de remoción u/o eficiencia del sistema, buscando así el cumplimiento con los límites máximos permisibles según lo estipula la Resolución 0631 de 2015, garantizando los requisitos de calidad hacia el cuerpo receptor.
- Costos de inversión, operación y mantenimiento, teniendo en cuenta los índices de ICCP Actuales establecidos por el DANE.
- La operación y disponibilidad de terreno.

Consorcio Ses-Arq, 2013 afirma que, “Según las condiciones socioeconómicas y ambientales que enmarcan cada problema de tratamiento y la disposición de las aguas residuales, las características de una tecnología pueden considerarse como ventajas o desventajas en un proceso de selección.”

Teniendo en cuenta lo anterior, al ser un ejercicio netamente Académico, se contempla la información brindada por la empresa de servicios públicos DAGUAS S.A E.S.P. y la Alcaldía Municipal para el planteamiento de cada Tratamiento.

## **TIPOS DE TRATAMIENTO**

Marmolejo. (2011) afirma que, “una PTAR o sistema de tratamiento de aguas residuales está integrada por varias etapas e independiente del tipo de tecnología utilizada, es necesario la instalación de tratamiento o niveles preliminares que impidan el desgaste de equipos y reduzcan los riesgos por obstrucción y posibles daños”; estas etapas son: Tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamientos anaerobios, de desinfección y manejo de lodos contaminantes.

Teniendo en cuenta lo anterior, se define y conceptualiza cada uno de estos para aclarar el significado y funcionalidad de cada tratamiento a formular.

### **- Tratamiento Preliminar**

“Los tratamientos preliminares habitualmente son físicos e implican la reducción de sólidos en suspensión y el acondicionamiento de las aguas residuales para los posteriores procesos de tratabilidad Los tratamientos preliminares fundamentales en un sistema de tratamiento de aguas residuales”, (Nieto & Ibarra. 2016); por otra parte, estos buscan garantizar la durabilidad de equipos y la disminución de las posibles dificultades de operación y mantenimiento en los procesos a de tratamiento a seguir.

Dentro de los tratamientos preliminares se encuentran: Rejillas, Cribado, trampas de grasa y desarenadores cuyo objetivo es retener solidos gruesos y finos que puedan ocasionar obstrucciones en el sistema.

### **- Tratamiento Primario**

Es aquel en donde se busca remover una parte significativa de sólidos y material suspendido y materia orgánica, Es un tratamiento donde uno de los parámetros que más puede remover es la

DBO y sólidos suspendidos del efluente. Los compuestos disueltos u/o solubles no pueden ser removidos por este tipo de tratamiento.

#### - **Tratamiento Secundario**

Es un tratamiento que, “se usa principalmente para la remoción de DBO soluble y Sólidos suspendidos, allí por lo general se incorporan los procesos biológicos de lodos activados, Filtro percoladores, Sistemas de lagunas (aireadas y no aireadas), Biodiscos y sedimentación.”

(Romero, 2002).

Teniendo en cuenta lo anterior, se busca remover por medio de los tratamientos secundarios primariamente la DBO y los SST (sólidos suspendidos totales), y alistar así el agua para la carga contaminante de nutrientes en el postratamiento terciario.

#### - **Tratamientos Anaerobios de las aguas Residuales**

Estos tratamientos tienen como principios la acción de microorganismos en un medio donde la disponibilidad de oxígeno es nula, Ramalho. (1983), afirma que, “el tratamiento anaerobio se utiliza tanto para las aguas residuales como para la digestión de lodos, en donde se obtiene como productos finales los gases ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , entre otros en menor cantidad) en donde se manifiestan en las etapas de: 1. Fermentación Ácida y 2. Fermentación Metánica.

Dentro de estos tratamientos se encuentran:

- Reactor anaerobio con flujo ascendente y manta de lodo (UASB)
- Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA)
- Reactor anaerobio de flujo pitón (RAP)
- Filtro Anaerobio.

## - **Desinfección**

La Desinfección debe tenerse en cuenta en el Efluente del sistema, puesto que al no realizar este último, puede llegar a generar peligros de salubridad a la población circundante y deterioro del cuerpo de Agua receptor aguas abajo.

Teniendo en cuenta lo anterior, Martínez, (2016) afirma que: “La efectividad de los procesos de desinfección convencional, como cloración y radiación UV, depende de la carga orgánica y niveles de sólidos suspendidos en el agua a tratar. La turbiedad con frecuencia se considera como el factor más limitante en el proceso de desinfección.”, por lo que, los tratamientos de desinfección más comunes son la Cloración y Radiación UV.

## - **Manejo de lodos**

Cualquier sistema de tratamiento de Agua Residual debe contemplar un manejo de Lodos Optimo pues los contienen un alto porcentaje de Carga contaminante durante su generación; para ello se debe tener en cuenta el uso de buenas prácticas y no descargarse directamente a cuerpos de agua superficial sin tener en cuenta criterios como:

- Estabilización.
- Control de olores.
- Aireación.
- Secado.

Consorcio Ses-Arq (2013) establece que, los tipos de tratamiento para un buen manejo de estos son:

- Espesadores por gravedad.
- Digestión de lodos.
- Lechos de secado.



## **EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.**

Como paso a seguir se muestran las etapas y la metodología de selección de la alternativa de tratamiento más adecuada para el municipio donde se realizó el presente estudio, teniendo en cuenta el Punto de vertimiento Tomado y el Predio destinado por el municipio para la construcción futura del sistema.

### **- Definición de las metas del Proyecto.**

Como Primera etapa de selección de las 2 posibles alternativas, se estableció las metas que ayudo a la contextualización para la selección de la alternativa más viable para la formulación del sistema de tratamiento de Aguas Residuales.

- Cumplir los niveles de remoción en los parámetros a evaluar exigidos por la Resolución 0631 de 2015.
- Seleccionar el tratamiento u/o alternativa más conveniente para el municipio teniendo en cuenta el análisis socio económico del municipio y De la Empresa de servicios Públicos
- **Preselección de las alternativas tecnológicas a Evaluar**

Como segunda etapa se desarrolló una preselección de alternativas que aplican para el tratamiento de las Aguas Residuales domésticas en el municipio donde se realizó el estudio.

Teniendo en cuenta lo citado anteriormente no se contemplarán las alternativas que devenguen un alto costo de operación por el consumo que estos puedan tener, tanto energético, Físico y Químico, ya que no sería viable por lo que el gravamen financiero estaría más alto del rubro presupuestal establecido.

Por otro lado, el Consorcio Ses-Arq (2013) contempla que, “La introducción de la PTAR en el sistema de alcantarillado combinado genera la necesidad de prever la instalación de estructuras

de alivio en la red que permitan el vertimiento de aguas lluvias de exceso, para así proteger el funcionamiento de la PTAR, siendo esta una única alternativa de aliviar el caudal de excesos”.

De esta manera, el Pretratamiento se definirá como una única alternativa, la cual tendrá como punto de partida un proceso de Cribado (Rejillas), desarenado (retención de Arenas), y un sistema de rebose Para Medición de Caudal.

Para el tratamiento Primario se preselecciono un listado de tratamientos en base a la revisión Bibliográfica consultada y citada anteriormente, estos son:

- Tanque Imhoff
- Lodos Activados.
- Biodiscos Rotatorios.
- Lagunas Aireadas.
- Tanque Séptico.
- Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón (RAP)
- Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)
- Filtro Percolador.
- Reactor anaerobio con flujo ascendente y manta de lodo (UASB)

## **ANALISIS DE ALTERNATIVAS DESCARTADAS**

### **- Biodiscos Rotatorios.**

Es un sistema de tratamiento Aerobio que cuenta con un medio y forma una Biopelícula, este proceso u/o tratamiento tiene como principio el tipo de crecimiento adherido a medida de la rotación de sus discos de forma horizontal, por lo que, requiere personal altamente calificado y certificado, los criterios de diseño son complejos y poco conocidos aún, y el costo de inversión alto hacen que se descarte de las posibles alternativas a implementar en el sistema.

- **Lagunas Aireadas.**

Su propósito consiste en asimilar la materia orgánica soluble, permitiendo de esta manera la separación de sólidos y reducción de la carga orgánica; todo ello, en un tiempo de residencia corto. Poseen aireadores flotantes de alta velocidad de eje inclinado para una óptima transferencia de oxígeno, y de esta forma permitir al máximo la suspensión de los sólidos. (Andrade & Peña. 2017).

El tratamiento mencionado anteriormente debido al alto consumo Energético y alto costo de mantenimiento de los equipos del sistema mecánico obligan a Descartar esta opción como alternativa para el presente estudio.

- **Filtro Percolador.**

Los esquemas de filtros percoladores aerobios, han demostrado en instalaciones de bajo, medio y alto caudal su eficacia y eficiencia operativa, en un sinnúmero de instalaciones en el mundo. Es razonable afirmar que uno de los esquemas o alternativas de tratamiento de aguas residuales que presenta avances recientes es precisamente este, fundamentalmente en la distribución, localización e instalación de los lechos filtrantes que conforman el esquema de retención. (Consortio Ses-Arq, 2013).

Esta alternativa a pesar de su buena eficiencia de remoción es un sistema de alto coste de operación, mantenimiento y construcción; por otro lado, requiere personal constante ara su operación pues es un sistema vulnerable a fallas en el sistema si no se desarrolla una inspección y operación controlada; por último, la alta generación de lodos que este proceso u/o tratamiento genera es alta por lo que, se hace necesario la no inclusión de esta alternativa al sistema de tratamiento a formular.

## **ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PRESELECCIONADAS.**

Teniendo en cuenta la eficiencia de remoción y el rubro presupuestal se determinaron que los siguientes tratamientos se preseleccionaron para el Respectivo Analisis Técnico-económico para la Formulación del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales más viable.

- Tanque Imhoff
- Lodos Activados
- Tanque Séptico.
- Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón (RAP)
- Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)
- Reactor anaerobio con flujo ascendente y manta de lodo (UASB).

## **METODOLOGÍA DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.**

Siguiendo la metodología propuesta por el Ministerio de Ambiente (Ministerio del Medio Ambiente – República de Colombia, 2002), la selección de la alternativa de tratamiento de aguas residuales adoptada para una población específica, se llevó a cabo con base en la definición y análisis comparativo de las ventajas y desventajas de los diferentes tratamientos u/o alternativas disponibles, teniendo en cuenta las características físico-biológicas y socioeconómicas del municipio de estudio.

Por otra parte, La evaluación de las ventajas y desventajas de cada alternativa se desarrolló por medio de un análisis Promedio donde la alternativa que tenga una calificación más alta será la más viable, definiendo su importancia en relación a las demás expuestas.

Para fines del presente estudio y teniendo en cuenta las características del Municipio analizado, se seleccionaron las siguientes variables de análisis:

- Requerimientos y costos de operación y mantenimiento (O&M)

- Costos de inversión
- Requerimientos de área para la construcción del sistema
- Potencial de producción de olores
- Eficiencia del tratamiento

Adicionalmente, se estableció un rango de calificación e importancia de (1-3) para cada una de las Variables, en donde se generó un promedio-relacional de cada una de las alternativas analizadas, por consiguiente, el valor dado a cada una de esas variables dependerá del tipo de tratamiento, Características del municipio, condiciones particulares de cada tratamiento y de la zona.

A continuación, se presenta de forma detallada la evaluación de las alternativas preseleccionadas, mediante la definición de las calificaciones y nivel de importancia de cada uno de los criterios de análisis mencionados anteriormente.

- **Variables de Análisis**

Los criterios de evaluación que permitieron definir la mejor alternativa de tratamiento a implementar. En la siguiente tabla se presentan cada uno de los criterios analizados.

*Tabla 2 Variables de Análisis*

<b>VARIABLE</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>SELECCIÓN DE VARIABLE</b>
Requerimientos de operación y mantenimiento	<b>Bajo</b>	1 El sistema seleccionado debe ser de fácil
	<b>Medio</b>	2 operación y mantenimiento para garantizar el
	<b>Alto</b>	3 éxito del tratamiento. Adicionalmente se debe contemplar el costo de la operación y mantenimiento.



Costos de inversión	<b>Bajo</b>	1	Teniendo en cuenta que, el rubro presupuestal es limitado, este es uno de los factores más importantes a tener en cuenta a la hora de realizar la evaluación.
	<b>Medio</b>	2	
	<b>Alto</b>	3	
Requerimientos de área	<b>Bajo</b>	1	Este criterio se incluye teniendo en cuenta el Predio que actualmente tiene el municipio disponible para la construcción del sistema.
	<b>Medio</b>	2	
	<b>Alto</b>	3	
Potencial de producción de olores	<b>Bajo</b>	1	Este parámetro representa el impacto social que podría generar el sistema de tratamiento en las zonas Colindantes al punto de vertimiento analizado.
	<b>Medio</b>	2	
	<b>Alto</b>	3	
Eficiencia del tratamiento	<b>Bajo</b>	1	Es importante verificar mediante este factor la eficiencia de cada una de las alternativas, para así determinar cuál cumple con los objetivos de calidad de la fuente de agua.
	<b>Medio</b>	2	
	<b>Alto</b>	3	

*Fuente: Autor 2019.*

Por último, para los parámetros de las Aguas Residuales (AR) del Punto de Vertimiento: Colector de La Arenosa, el análisis, se desarrolló por medio de gráficos comparativos con respecto al porcentaje de remoción que presente cada parámetro teniendo en cuenta la información bibliográfica y/o conceptualización de diferentes autores en cada uno de los temas asociados a lo citado anteriormente, junto a ello, se analizaron las variables de: Costos de Operación y mantenimiento, Costos de Inversión, Área Requerida y Producción de Olores.

## 8. RESULTADOS

### Etapa 1 Diagnóstico

En el área de estudio y en la respectiva revisión documental en el PSMV actualizado al presente año, se evidencio que, hoy en día se encuentran en monitoreo 7 puntos de vertimientos los cuales reciben aportes de todo el sistema de alcantarillado del municipio, Dentro dichos puntos, se seleccionó uno de estos (Colector La Arenosa) como punto de partida del presente proyecto, Donde dicho punto recibe aproximadamente entre el 60% y 70% de los aportes del Sistema.

De esta manera, se presenta el Resultado de Análisis de Caracterización de Aguas Residuales proporcionados por la empresa ANALQUIM LTDA., en donde se tendrá en cuenta el punto de vertimientos 4197 – 2018 La Arenosa Carmen De Apicalá:

*Tabla 3 Analisis de Párametros De AR*

<u>PUNTO</u>	<u>PARÁMETRO</u>	<u>UNIDADES</u>	<u>RESULTADO</u>
4197 – 2018 La Arenosa Carmen De Apicalá	Coliformes Termo tolerantes (Fecales)	NMP/100 ml	1 * 10 <sup>6</sup>
	Coliformes Totales	NMP/100 ml	3,33 * 10 <sup>6</sup>
	Conductividad	μS/cm a 25°C	652
	DBO5	Mg/l	151
	DQO	Mg/l	219
	Fenoles	Mg/l	< 0,07
	Fosforo Reactivo	Mg/l	3,23
	Total		

Fosforo total	Mg/l	4,3
Nitratos	Mg/l	0,3
PH	Unidades	6,62
SST	Mg/l	88
Turbiedad	UNT	210

*Fuente: ANALQUIM LTDA. 2018.*

Por consiguiente, se realizó la toma de coordenadas del Punto de Vertimiento específico seleccionado para su respectiva Ubicación y Georreferenciación y así poder contextualizar y materializar dicho punto, A continuación se presenta el Resultado de dicho proceso de Georreferenciación:



*Figura 3. Fuente Autor 2019.*

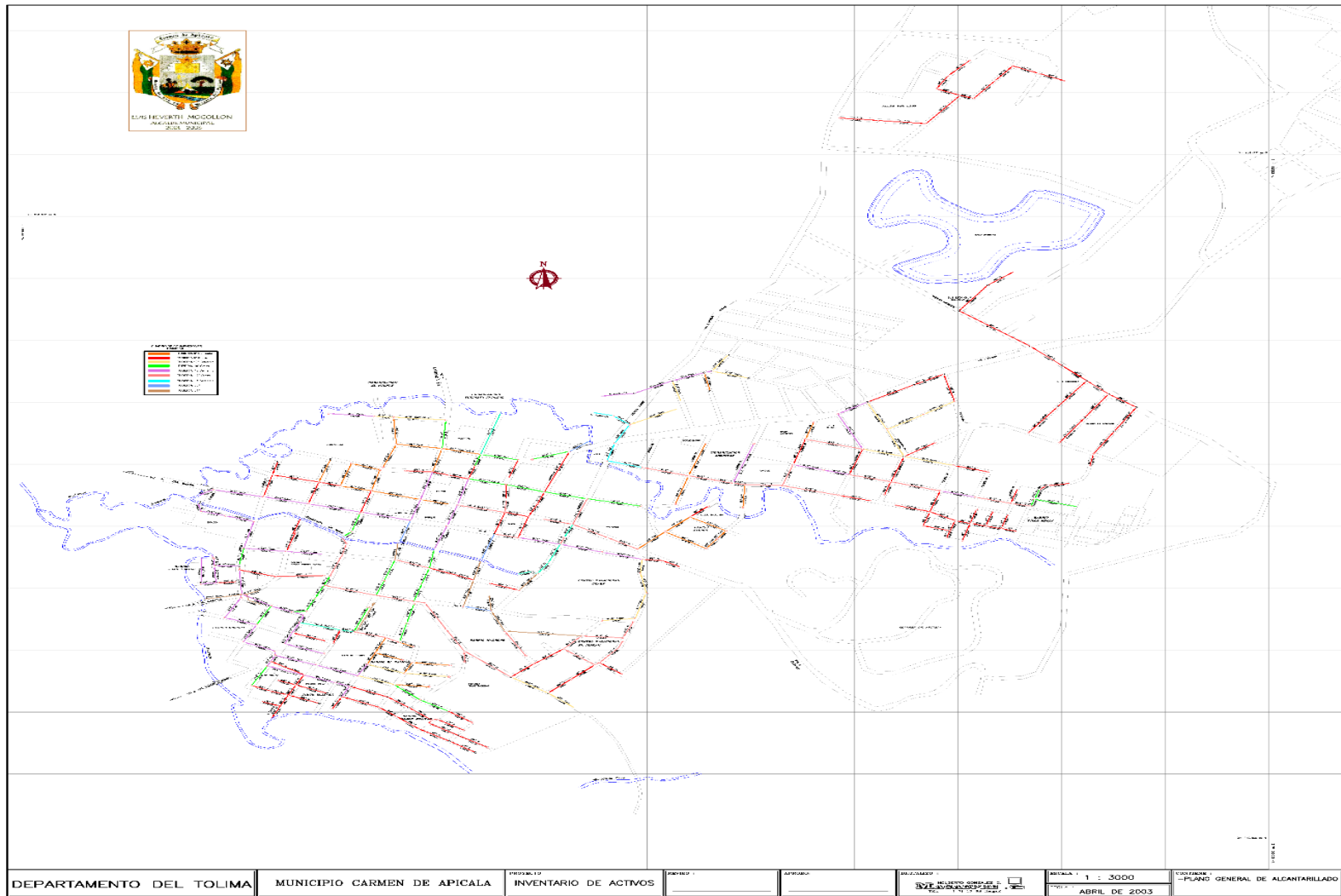


Figura 4. Fuente: Planeación Municipal 2003

El municipio de Carmen de Apicalá a la fecha, no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales, razón por la cual se fundamenta el Presente proyecto, por otra parte, bajo la Revisión bibliográfica y datos obtenidos en la empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo, el municipio cuenta con el 100% de cobertura del sistema de alcantarillado en el Casco Urbano, pero como se observa en la Ilustración 4, la red de alcantarillado cuenta con redes de alcantarillado combinado de 8”, 10”, 12”, 16”, 20” y 24” de diámetro, presentando en la mayoría de sus tramos material de Gres (barro vitrificado) y Cemento-concreto en mal estado; además, se presentan tramos con problemas de velocidades y pozos con profundidades muy bajas lo que hace que se presenten rebosamientos inadecuados sobre las Vías, haciendo que en temporada fuerte de lluvias colapse parte del sistema en algunos sectores.

Por otro lado, en la Ilustración 5 se presenta a continuación el Predio destinado por parte de la Alcaldía Municipal para la construcción futura del sistema de tratamiento de Aguas Residuales, dicho predio presenta un área de 1.178 Ha.



Figura 5. Fuente: Propia.



## Etapa 2. Fase Estratégica.

Se realizó un estudio de población teniendo en cuenta los Censos Nacionales por parte de DANE de los años: 1984-1985-1993-2005, y Así lograr determinar la población junto a las Dotaciones para el año en curso (2019) en el municipio de Carmen de Apicalá.

Consideraciones:

**QD:** Caudal de aguas residuales domésticas. (L/s)

**QI:** Caudal de aguas residuales industriales. (L/s)

**Qc:** Caudal de aguas residuales comerciales. (L/s)

**QIN:** Caudal de aguas residuales industriales. (L/s)

**QMD:** Caudal Medio Diario de aguas residuales. (m<sup>3</sup>/s)

**QMH:** Caudal Máximo Horario. (m<sup>3</sup>/s)

*Tabla 4 Proyecciones de población y Caudales*

<b>Año</b>	<b>Población</b>	<b>Dotación Neta (L/Hab.Día)</b>	<b>Q<sub>D</sub> (L/s)</b>	<b>Q<sub>I</sub> (L/s)</b>	<b>Q<sub>C</sub> (L/s)</b>	<b>Q<sub>IN</sub> (L/s)</b>	<b>(QMD) (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>(QMH) (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>2005</b>	6277	140	8,6	6,90	53,7	27,60	0,097	0,227
<b>2019</b>	7401	140	10,2	6,90	53,7	27,60	0,098	0,231
<b>2044</b>	9407	140	13,0	6,90	53,7	27,60	0,101	0,237

*Fuente: Autor 2019.*

Las fuentes principales para la estimación y cálculos respectivos fueron el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Carmen de Apicalá, Los Censos Nacionales del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), la Resolución 0330 de 2017 y RAS-2017.

En la tabla citada anteriormente tenemos que el Caudal Medio Diario que llegará a la PTAR es de 0,098 m<sup>3</sup>/s (8501 m<sup>3</sup>/s /día) y el Caudal Máximo Horario de 0,391, donde se tuvo en cuenta



para establecer las posibles alternativas para la formulación del sistema de tratamiento de aguas residuales.

### **Etapa 3. Fase de Ejecución.**

Por medio de los criterios de calificación y Selección de variables, se realizaron las bases de cálculo correspondientes para cada una de las Variables teniendo en cuenta las 4 alternativas propuestas, A continuación se muestra el número de alternativas con el tratamiento correspondiente.

*Tabla 5 Alternativas y Tratamientos*

<b>Alternativa</b>	<b>Tratamiento</b>
<b>1</b>	Tratamiento preliminar, Tanque Imhoff (tratamiento primario) y filtro anaerobio
<b>2</b>	Tratamiento preliminar, tratamiento primario y Lodos activados
<b>3</b>	Tratamiento preliminar, tratamiento primario Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)
<b>4</b>	Tratamiento preliminar, tratamiento primario Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón (RAP)

*Fuente: Autor 2019.*

➤ **REQUERIMIENTOS DE COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.**

Para determinar los costos de operación y mantenimiento de cada una de las alternativas se utilizarán los valores de los índices de costos para la construcción pesada (ICCP) estipulados por el DANE y REPORT TO THE CITY COUNCIL FROM THE CITY MANAGER (2017), sobre los costos totales anuales de operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento, el costo de utilizado para la Tabla 6 inicialmente es en dólares del año 1977, por lo que se hizo necesario la conversión a pesos del año 2015 para que posteriormente se pudiese empalmar a costos del año en curso por medio de los índices citados a continuación:

**ICC (2015):** 10386.83

**ICCP (2015):** 148, 52

**ICCP (2019):** 167,61

**Valor Promedio Dólar 2015:** \$ 2743,39

**Formula:** 
$$Costo\ actual = \frac{(costo\ año\ de\ referencia) \times (índice\ actual)}{(índice\ del\ año\ de\ referencia)}$$

En donde el índice del año de referencia ósea 1977 es de 2577 y el índice del año actual (2015) es de 10386.83.

Luego se determinó el costo de operación en pesos tomando una tasa promedio de cambio para 2015 de 2743,39 pesos colombianos.

Por último, se empalmo el costo de operación al año en curso 2019, tomando como referencias los ICCP del año 2015 y 2019.

**Consideración**

Para la ejecución del cálculo estadístico del Costo de operación y Mantenimiento expresado en la siguiente tabla se contempló los costos totales anuales de Operación y mantenimiento expresado en la siguiente ilustración:

*Tabla 6 Costos Totales Anuales de Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento.*

<b>TIPO DE PLANTA</b>	<b>ECUACIÓN DEL COSTO</b>
<b>Tratamiento Primario</b>	$C = 11,02 Q^{1,01}$
<b>Filtros Percoladores</b>	$C = 26,07 Q^{0,94}$
<b>Lodos Activados</b>	$C = 30,30 Q^{0,96}$
<b>Tratamiento Avanzado</b>	$C = 0,48 Q^{1,44}$

*C= Costo en Dólares de 1977; Q= Caudal Promedio Diario n en m<sup>3</sup>/d.*

*Fuente: Romero 2002.*

Para el entendimiento y desarrollo de los Costos de operación y mantenimiento establecidos en la **Tabla 7 Costos de Operación y Mantenimiento**, se debe tener en cuenta:

**Valor Promedio Dólar (2015):** 2743,39

**ICCP (2015):** 148,52

**ICCP (2019):** 167,61

**ICC (2015):** 10386,83

*Tabla 7 Costos de Operación y Mantenimiento*

<b>Alternativa</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Costos de operación (Dólares 1977)</b>	<b>Costos de operación (Dólares 2015)</b>	<b>Costos de operación (Pesos 2015)</b>	<b>Costos de operación (Pesos 2019)</b>	<b>Puntaje Calificación</b>
<b>1</b>	Tratamiento preliminar, Tanque Imhoff (tratamiento primario) y filtro anaerobio	\$ 102.555	\$ 413.355	\$ 1.133.995.158	\$ 1.279.753.086	1,00
<b>2</b>	Tratamiento preliminar, tratamiento primario y Lodos activados	\$ 281.921	\$ 1.136.310	\$ 3.117.340.319	\$ 3.518.027.275	3,00
<b>3</b>	Tratamiento preliminar, tratamiento primario Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)	\$ 259.723	\$ 1.046.835	\$ 2.871.876.809	\$ 3.241.013.143	3,00
<b>4</b>	Tratamiento preliminar, tratamiento primario Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón (RAP)	\$ 259.723	\$ 1.046.835	\$ 2.871.876.809	\$ 3.241.013.143	3,00

*Fuente: Autor 2019*

Este es un factor de gran importancia, ya que, se deberán evitar alternativas cuyo sistema de tratamiento requieran un Costo Alto de Operación y mantenimiento, por otra parte, se calificó teniendo en cuenta el Costo que tendría en el año actual en curso para su construcción.

Teniendo en cuenta lo anterior y lo expresado en la tabla, la alternativa N° 1 es la que representa un costo menor y mano de obra no tan sofisticada en comparación a las demás alternativas.

### ➤ **COSTOS DE INVERSIÓN**

Para determinar los costos de operación y mantenimiento de cada una de las alternativas se utilizarán los valores de los índices de costos para la construcción pesada (ICCP) estipulados por el DANE y REPORT TO THE CITY COUNCIL FROM THE CITY MANAGER (2017), sobre los costos de construcción de procesos unitarios para PTARM, el costo de utilizado para la Tabla 7 inicialmente es en dólares del año 1977, por lo que se hizo necesario la conversión a pesos del año 2015 para que posteriormente se pudiese empalmar a costos del año en curso por medio de los índices citados a continuación:

**ICC (2015):** 10386.83

**ICCP (2015):** 148, 52

**ICCP (2019):** 167,61

**Valor Promedio Dólar 2015:** \$ 2743,39

**Formula:** 
$$Costo\ actual = \frac{(costo\ año\ de\ referencia) \times (índice\ actual)}{(índice\ del\ año\ de\ referencia)}$$

En donde el índice del año de referencia ósea 1977 es de 2577 y el índice del año actual (2015) es de 10386.83.

Luego se determinó el costo de operación en pesos tomando una tasa promedio de cambio para 2015 de 2743,39 pesos colombianos.

Por último, se empalmo el costo de operación al año en curso 2019, tomando como referencias los ICCP del año 2015 y 2019.

Para la ejecución del cálculo estadístico del Costo de Inversión, se contempló los costos de construcción de procesos unitarios para PTARM expresado en la siguiente ilustración:

*Tabla 8 Costos de Construcción de Procesos Unitarios para PTARM*

<b>PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</b>	<b>ECUACIÓN DEL COSTO</b>
Tratamiento Preliminar	C= 123Q <sup>0,76</sup>
Bombeo de afluente	C= 730Q <sup>0,65</sup>
Igualamiento de Caudales	C= 482Q <sup>0,60</sup>
Trituradores	C= 196Q <sup>0,56</sup>
Sedimentación primaria	C= 375Q <sup>0,70</sup>
Lodos Activados	C= 1076Q <sup>0,75</sup>
Zanjón de Oxidación	C= 4273Q <sup>0,57</sup>
Biodiscos	C= 1070Q <sup>0,77</sup>
Filtros Percoladores	C= 8271Q <sup>0,46</sup>
Agregación de Químicos	C= 30Q <sup>0,91</sup>
Lagunas de Estabilización	C= 2836Q <sup>0,67</sup>
Lagunas Aireadas	C= 1024Q <sup>0,79</sup>
Micro-Cribado Secundario	C= 1026Q <sup>0,58</sup>
Cloración para Desinfección	C= 299Q <sup>0,65</sup>
Filtración en Lechos Mezclados	C= 361Q <sup>0,79</sup>
Filtración en Arena	C= 1405Q <sup>0,61</sup>
Tratamiento sobre el Suelo de Efluentes Secundarios	C= 1147Q <sup>0,71</sup>
Emisario del Efluente Sobre Aguas Superficiales	C= 107Q <sup>0,77</sup>
Emisario del Efluente sobre el Mar	C= 49Q <sup>1,66</sup>
Edificio de Mantenimiento y Laboratorio	C= 1623Q <sup>0,58</sup>
<b>PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LODOS</b>	<b>ECUACIÓN DE COSTO</b>
Espesamiento por Gravedad	C= 216Q <sup>0,70</sup>
Lechos de Secado	C= 170Q <sup>0,73</sup>
Digestión Aerobia	C= 322Q <sup>0,78</sup>
Digestión Anaerobia	C= 137Q <sup>0,92</sup>
Lagunas de Lodos	C= 178Q <sup>0,72</sup>
Tratamiento Termico	C= 4088Q <sup>0,53</sup>
Incineración	C= 70Q
Disposición de Lodos sobre el Suelo	C= 1802Q <sup>0,39</sup>
Aplicación de Lodo Liquido sobre el Suelo	C= 1028Q <sup>0,45</sup>

\*C= Costo en dólares 1978; Q= Caudal de diseño m<sup>3</sup>/día

*Fuente: Romero 2002*

Para el entendimiento y desarrollo de los Costos de operación y mantenimiento establecidos en la **Tabla 9 Costos de Construcción De Procesos Unitarios PTARM**, se debe tener en cuenta:

**Valor Promedio Dólar (2015): 2743,39**



**ICCP (2015):** 148,52

**ICCP (2019):** 167,61

**ICC (2015):** 10386,83

**Tabla 9 Costos de Construcción De Procesos Unitarios PTARM**

<b>Alternativa</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Costos de operación (Dólares 1977)</b>	<b>Costos de operación (Dólares 2015)</b>	<b>Costos de operación (Pesos 2015)</b>	<b>Costos de operación (Pesos 2019)</b>	<b>Puntaje Calificación</b>
<b>1</b>	Tratamiento preliminar, Tanque Imhoff (tratamiento primario) y filtro anaerobio	\$ 330.396	\$ 1.331.689	\$ 3.653.342.089	\$ 4.122.923.966	1,00
<b>2</b>	Tratamiento preliminar, tratamiento primario y Lodos activados	\$ 1.283.019	\$ 5.171.323	\$ 14.186.956.692	\$ 16.010.475.432	2,00
<b>3</b>	Tratamiento preliminar, tratamiento primario Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)	\$ 1.898.338	\$ 7.651.421	\$ 20.990.832.125	\$ 23.688.886.160	3,00
<b>4</b>	Tratamiento preliminar, tratamiento primario Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón (RAP)	\$ 2.112.592	\$ 8.514.991	\$ 23.359.942.304	\$ 26.362.509.626	3,00

*Fuente: Autor 2019.*

Esta es una variable de gran importancia, ya que se deberá evitar sistemas de tratamiento que requieran un costo de inversión muy alto.

La Alternativa que presento menor costo de inversión fue la N°1 (Tratamiento preliminar, Tanque Imhoff (tratamiento primario) y filtro anaerobio), debido a que es un sistema que no requiere alta demanda o consumo energético, Costos excesivos de operación y Construcción debido a que el Área requerida para este no ocupa gran espacio.

➤ **REQUERIMIENTOS DE ÁREA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA.**

Para determinar el área para la construcción del sistema se realizó un aproximado, teniendo en cuenta que, en los tratamientos anaerobios es necesario poner un tipo de tratamiento adicional como lagunas de maduración para tener un buen tratamiento y tener en cuenta los Criterios de diseño establecidos en la Resolución 0330 de 2017 y RAS 2017 Titulo D y E.

*Tabla 10 Área Requerida*

<b>Alternativa</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Área requerida (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Puntaje</b>
<b>1</b>	Tratamiento preliminar, Tanque Imhoff y filtro anaerobio	400-700	1,00
<b>2</b>	Tratamiento preliminar, tratamiento primario y Lodos activados	1700-1900	2,00
<b>3</b>	Tratamiento preliminar, tratamiento primario Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)- Lagunas de maduración	7000-9000	3,00
<b>4</b>	Tratamiento preliminar, tratamiento primario Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón (RAP) - Lagunas de maduración	10000-12000	3,00

*Fuente: Autor 2019.*

Este factor se analizó debido a que Municipios como Carmen De Apicalá no cuenta con un área de Predio extensa por presupuesto bajo de inversión, sin embargo, la Alcaldía municipal cuenta con un predio citado anteriormente ( **Figura 5**) destinado para la construcción futura del sistema, la calificación que se dio a esta Variable se basó en lo estipulado en el RAS Titulo “E”, teniendo en Cuenta que:

- Las alternativas que presentan dentro de sus sistemas un tratamiento secundario de lagunas de maduración requerirán una extensión de terreno muy amplia, debido a que estas alternativas tienen un dimensionamiento y parámetros de diseño muy amplio para su funcionamiento óptimo.
- La alternativa N° 1 es la que menos requiere extensión de terreno, bajo los parámetros de diseño estipulados en la normatividad legal vigente y Ras 2017, es un sistema que requiere de poca extensión de terreno para su construcción.

En cuanto al área requerida de los sistemas de tratamiento, la alternativa que menos área requiere es la de tanque Imhoff y después la de lodos activados.

#### ➤ **POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE OLORES**

Esta variable se evaluó de forma cuantitativa, teniendo en cuenta lo expuesto en la metodología propuesta por (Ministerio del medio Ambiente - República de Colombia, 2002).

*Tabla 11 Calificación Potencial de Olores*

<b>Alternativa</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Calificación</b>
<b>1</b>	Tratamiento preliminar, Tanque Imhoff y filtro anaerobio	2,00
<b>2</b>	Tratamiento preliminar, tratamiento primario y Lodos activados	1,00

<b>Alternativa</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Calificación</b>
<b>4</b>	Tratamiento preliminar, tratamiento primario Filtro anaerobio de flujo ascendente (RAFA)- Lagunas de maduración	3,00
<b>5</b>	Tratamiento preliminar, tratamiento primario Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón (RAP) - Lagunas de maduración	3,00

*Fuente: Autor 2019.*

la alternativa que menos genera olores es la de los lodos activados, ya que es un sistema aireado, Por otra parte, las alternativas que cuenten dentro de su sistema con un tratamiento de tipo Anaerobio, es más vulnerable a la propagación de olores alta, creando así una tendencia cuya intensidad es mayor, lo que quiere decir que, dichas alternativas son potencialmente generadoras de olores.

#### ➤ **EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO**

Para evaluar y calificar la eficiencia de tratamiento, se realizó un balance de cargas donde se pudo obtener las eficiencias de cada alternativa y comparar con la normatividad ambiental legal vigente (Resolución 0631 de 2015, Art. 8. parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas, (ARD) de las actividades industriales, comerciales o de servicios; y de las aguas residuales (ARD y ARnD) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales).

**Tabla 12 Balance De Cargas Alternativa N°1**

PTAR CARMEN ALTERNATIVA 1								
Caudal	8501,17							
PARÁMETROS INICIALES			CRIBADO			DESARENADOR		
Parámetro	C (mg/l)	L (kg/día)	C (mg/l)	L (kg/día)	eficiencia (%)	C (mg/l)	L (kg/día)	eficiencia (%)
DBO	151,00	1283676,56	128,35	1283676,56	15%	121,93	1283676,56	5%
DQO	219,00	1861756,07	197,10	1861756,07	10%	177,39	1861756,07	10%
SST	88,00	748102,89	61,60	748102,89	30%	58,52	748102,89	5%
<b>Fosforo</b>								
Reactivo	3,23	27458,78	3,23	27458,78	0%	3,23	27458,78	0%
<b>total</b>								
Fosforo total	4,30	36555,03	4,30	36555,03	0%	4,30	36555,03	0%
Nitratos	0,30	2550,35	0,30	2550,35	0%	0,30	2550,35	0%
Fenoles	0,07	595,08	0,07	595,08	0%	0,07	595,08	0%

TANQUE IMHOFF				FAFA		
Parámetro	C (mg/l)	L (kg/día)	eficiencia (%)	C (mg/l)	L (kg/día)	eficiencia (%)
DBO	79,26	834389,76	35%	15,85	166877,95	80%
DQO	133,04	1396317,05	25%	26,61	279263,41	80%
SST	23,41	299241,16	60%	7,02	89772,35	70%
<b>Fosforo</b>						
Reactivo total	3,23	27458,78	0%	3,23	27458,78	0%
Fosforo total	4,30	36555,03	0%	4,30	36555,03	0%
Nitratos	0,30	2550,35	0%	0,30	2550,35	0%
Fenoles	0,07	595,08	0%	0,07	595,08	0%

Fuente: Autor 2019.

**Tabla 13 Balance de Cargas Alternativa N°2**

PTAR CARMEN ALTERNATIVA 2								
Caudal	8501,17							
PARÁMETROS INICIALES			CRIBADO			DESARENADOR		
Parámetro	C (mg/l)	L (kg/día)	C (mg/l)	L (kg/día)	eficiencia (%)	C (mg/l)	L (kg/día)	eficiencia (%)
DBO	151,00	1283676,56	128,35	1283676,56	15%	121,93	1283676,56	5%

**PTAR CARMEN ALTERNATIVA 2**

<b>Caudal</b>	<b>8501,17</b>								
	<b>PARÁMETROS INICIALES</b>			<b>CRIBADO</b>			<b>DESARENADOR</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>C (mg/l)</b>	<b>L (kg/día)</b>	<b>C (mg/l)</b>	<b>L (kg/día)</b>	<b>eficiencia (%)</b>	<b>C (mg/l)</b>	<b>L (kg/día)</b>	<b>eficiencia (%)</b>	
<b>DQO</b>	219,00	1861756,7	197,10	1861756,07	10%	177,39	1861756,07	10%	
<b>SST</b>	88,00	748102,89	61,60	748102,89	30%	58,52	748102,89	5%	
<b>Fosforo Reactivo total</b>	3,23	27458,78	3,23	27458,78	0%	3,23	27458,78	0%	
<b>Fosforo total</b>	4,30	36555,03	4,30	36555,03	0%	4,30	36555,03	0%	
<b>Nitratos</b>	0,30	2550,35	0,30	2550,35	0%	0,30	2550,35	0%	
<b>Fenoles</b>	0,07	595,08	0,07	595,08	0%	0,07	595,08	0%	

	<b>LODOS ACTIVADOS</b>			<b>SEDIMENTADOR SECUNDARIO</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>C (mg/l)</b>	<b>L (kg/día)</b>	<b>eficiencia (%)</b>	<b>C (mg/l)</b>	<b>L (kg/día)</b>	<b>eficiencia (%)</b>
<b>DBO</b>	12,19	128367,66	90%	7,93	83438,98	35%
<b>DQO</b>	26,61	279263,41	85%	17,30	181521,22	35%
<b>SST</b>	5,85	74810,29	90%	3,51	44886,17	40%
<b>Fosforo Reactivo total</b>	2,42	20594,08	25%	1,94	16475,27	20%
<b>Fosforo total</b>	3,23	27416,27	25%	2,58	21933,02	20%
<b>Nitratos</b>	0,20	1657,73	35%	0,16	1326,18	20%
<b>Fenoles</b>	0,07	595,08	0%	0,07	595,08	0%

*Fuente: Autor 2019.*

**Tabla 14 Balance De Cargas Alternativa N°3**

<b>PTAR CARMEN ALTERNATIVA 3</b>									
<b>Caudal</b>	<b>8501,17</b>								
	<b>PARÁMETROS INICIALES</b>			<b>CRIBADO</b>			<b>DESARENADOR</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>C (mg/l)</b>	<b>L (kg/día)</b>	<b>C (mg/l)</b>	<b>L (kg/día)</b>	<b>eficiencia (%)</b>	<b>C (mg/l)</b>	<b>L (kg/día)</b>	<b>eficiencia (%)</b>	
<b>DBO</b>	151,00	1283676,56	128,35	1283676,56	15%	121,93	1283676,56	5%	
<b>DQO</b>	219,00	1861756,7	197,10	1861756,07	10%	177,39	1861756,07	10%	
<b>SST</b>	88,00	748102,89	61,60	748102,89	30%	58,52	748102,89	5%	
<b>Fosforo Reactivo total</b>	3,23	27458,78	3,23	27458,78	0%	3,23	27458,78	0%	
<b>Fosforo total</b>	4,30	36555,03	4,30	36555,03	0%	4,30	36555,03	0%	
<b>Nitratos</b>	0,30	2550,35	0,30	2550,35	0%	0,30	2550,35	0%	
<b>Fenoles</b>	0,07	595,08	0,07	595,08	0%	0,07	595,08	0%	

	<b>UASB</b>			<b>LAGUNAS DE MADURACIÓN</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>C (mg/l)</b>	<b>L (kg/día)</b>	<b>eficiencia (%)</b>	<b>C (mg/l)</b>	<b>L (kg/día)</b>	<b>eficiencia (%)</b>
<b>DBO</b>	36,58	385102,97	70%	10,97	115530,89	70%



<b>DQO</b>	53,22	558526,82	70%	15,97	167558,05	70%
<b>SST</b>	20,48	261836,01	65%	2,05	26183,60	90%
<b>Fosforo Reactivo total</b>	2,58	21967,02	20%	2,58	21967,02	0%
<b>Fosforo total</b>	3,44	29244,02	20%	3,44	29244,02	0%
<b>Nitratos</b>	0,23	1912,76	25%	0,23	1912,76	0%
<b>Fenoles</b>	0,07	595,08	0%	0,07	595,08	0%

Fuente: Autor 2019.

Tabla 15 Balance De Cargas Alternativa N° 4

PTAR CARMEN ALTERNATIVA 4								
<b>Caudal</b>	8501,17							
PARÁMETROS INICIALES			CRIBADO			DESARENADOR		
Parámetro	C (mg/l)	L (kg/día)	C (mg/l)	L (kg/día)	eficiencia (%)	C (mg/l)	L (kg/día)	eficiencia (%)
<b>DBO</b>	151,00	1283676,56	128,35	1283676,56	15%	121,93	1283676,56	5%
<b>DQO</b>	219,0	1861756,07	197,10	1861756,07	10%	177,39	1861756,07	10%
<b>SST</b>	88,00	748102,89	61,60	748102,89	30%	58,52	748102,89	5%
<b>Fosforo Reactivo total</b>	3,23	27458,78	3,23	27458,78	0%	3,23	27458,78	0%
<b>Fosforo total</b>	4,30	36555,03	4,30	36555,03	0%	4,30	36555,03	0%
<b>Nitratos</b>	0,30	2550,35	0,30	2550,35	0%	0,30	2550,35	0%
<b>Fenoles</b>	0,07	595,08	0,07	595,08	0%	0,07	595,08	0%

RAP			LAGUNAS DE MADURACIÓN			
Parámetro	C (mg/l)	L (kg/día)	eficiencia (%)	C (mg/l)	L (kg/día)	eficiencia (%)
<b>DBO</b>	36,58	385102,97	70%	10,97	115530,89	70%
<b>DQO</b>	53,22	558526,82	70%	15,97	167558,05	70%
<b>SST</b>	20,48	261836,01	65%	2,05	26183,60	90%
<b>Fosforo Reactivo total</b>	2,10	23760,77	35%	2,10	23760,77	0%
<b>Fosforo total</b>	2,80	1657,73	35%	2,80	1657,73	0%
<b>Nitratos</b>	0,30	595,08	0%	0,30	595,08	0%
<b>Fenoles</b>	0,07	0,00	0%	0,07	0,00	0%

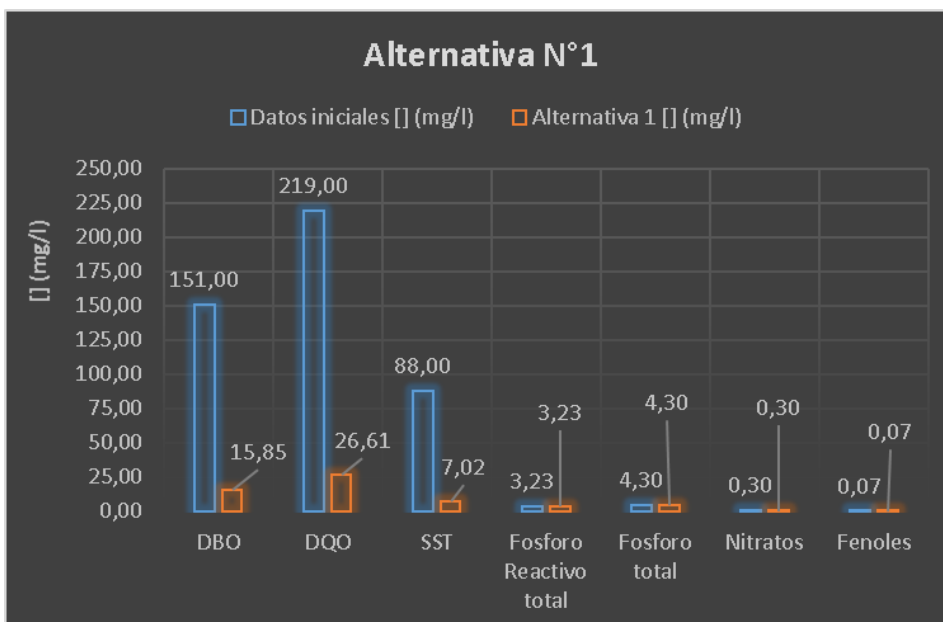
Fuente: Autor 2019.

Teniendo en cuenta el análisis por balance de cargas se muestra el porcentaje de remoción por parámetro de cada alternativa y su respectiva gráfica:

**Tabla 16 Eficiencia Alternativa N°1**

Parametros	Eficiencia	
	Alternativa N°1	
	%	
<b>DBO</b>	0,895025	89,5025
<b>DQO</b>	0,8785	87,85
<b>SST</b>	0,9202	92,02
<b>Fosforo</b>	0	0
<b>Reactivo total</b>		
<b>Fosforo total</b>	0	0
<b>Nitratos</b>	0	0
<b>Fenoles</b>	0	0

*Fuente: Autor2019.*



*Figura 6 Fuente: Autor 2019*

Tabla 17 Eficiencia Alternativa N°2

Parametros	Eficiencia Alternativa	
	N°2	
	%	
DBO	0,9475125	94,75125
DQO	0,921025	92,1025
SST	0,9601	96,01
Fosforo Reactivo	0,4	40
<b>total</b>		
Fosforo total	0,4	40
Nitratos	0,48	48
Fenoles	0	0

Fuente: Autor 2019.

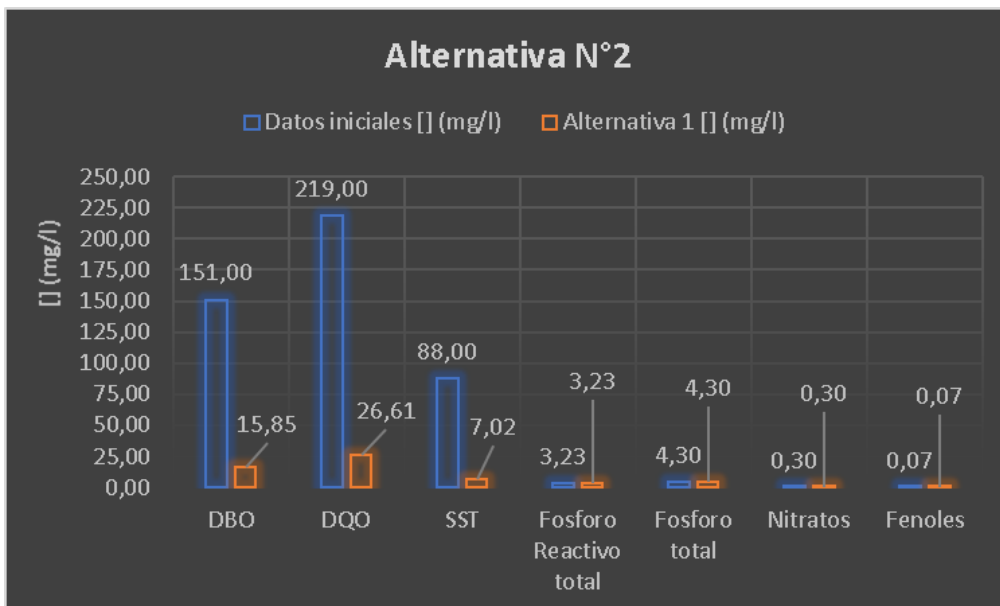


Figura 7 Fuente: Autor 2019

Tabla 18 Eficiencia Alternativa N°3

Parametros	Eficiencia Alternativa N°3	
	%	
<b>DBO</b>	0,927325	92,7325
<b>DQO</b>	0,9271	92,71
<b>SST</b>	0,976725	97,6725
<b>Fosforo</b>	0,2	20
<b>Reactivo total</b>		
<b>Fosforo total</b>	0,2	20
<b>Nitratos</b>	0,25	25
<b>Fenoles</b>	0	0

Fuente: Autor 2019.

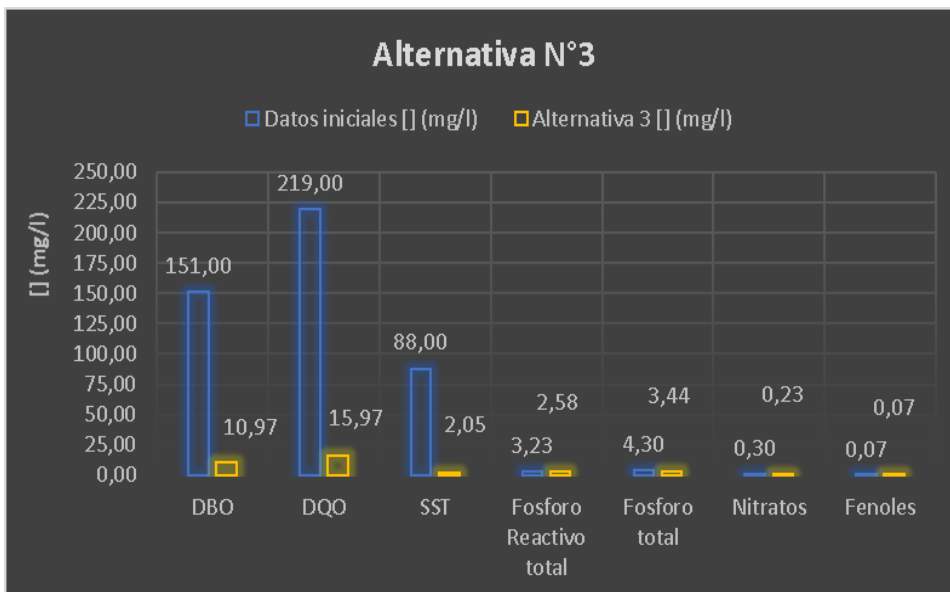


Figura 8 Fuente: Autor 2019

**Tabla 19 Eficiencia Alternativa N°4**

Parametros	Eficiencia Alternativa N°4	
	%	
<b>DBO</b>	0,927325	92,7325
<b>DQO</b>	0,9271	92,71
<b>SST</b>	0,976725	97,6725
<b>Fosforo Reactivo total</b>	0,35	35
<b>Fosforo total</b>	0,35	35
<b>Nitratos</b>	0	0
<b>Fenoles</b>	0	0

Fuente: Autor2019.

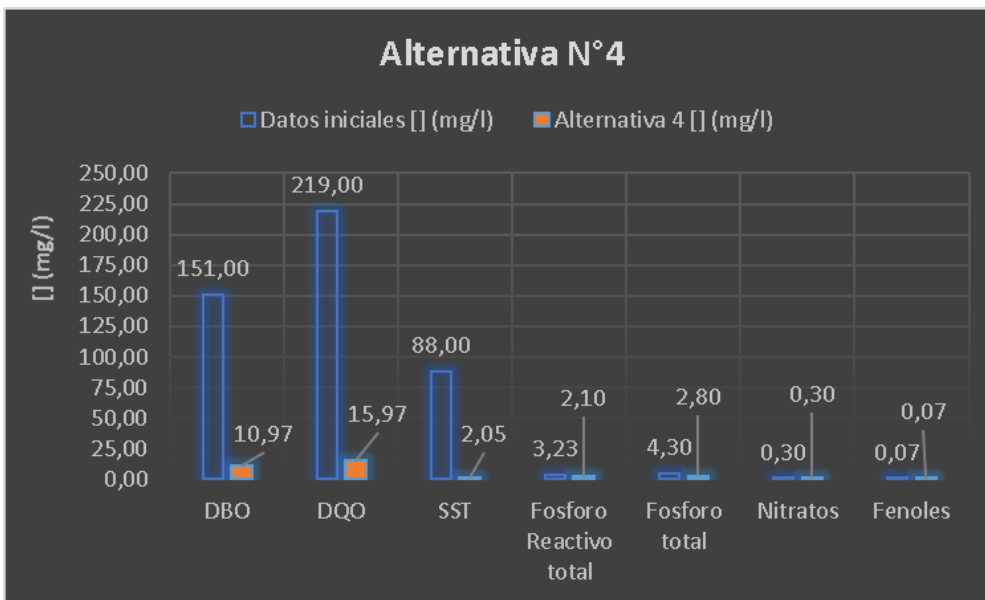


Figura 9 Fuente: Autor 2019

A continuación, se presentan los valores adoptados para la calificación de variables de eficiencia del sistema de tratamiento, para cada uno de los tratamientos preseleccionados.

*Tabla 20 Calificación Variable de Balance De Cargas*

<b>Alternativa</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Calificación</b>
<b>1</b>	Tratamiento preliminar, Tanque Imhoff y filtro anaerobio	2,00
<b>2</b>	Tratamiento preliminar, tratamiento primario y Lodos activados	3,00
<b>3</b>	Tratamiento preliminar, tratamiento primario Filtro anaerobio de flujo ascendente (RAFA)- Lagunas de maduración	2,00
<b>4</b>	Tratamiento preliminar, tratamiento primario Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón (RAP) - Lagunas de maduración	2,00

*Fuente: Autor 2019.*

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó un cuadro comparativo donde se observa los límites máximos permisibles según la Resolución 0631 de 2015 y los Resultados de Cada Alternativa:

*Tabla 21 Comparación Resolución 0631 de 2015*

<b>Parametros</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b>Alternativa 4</b>	<b>Resolución 0631 de 2015</b>
<b>DBO</b>	15,85	7,93	10,97	10,97	150,00
<b>DQO</b>	26,61	17,30	15,97	15,97	70,00
<b>SST</b>	7,02	3,51	2,05	2,05	70,00
<b>Fosforo Reactivo total</b>	3,23	1,94	2,58	2,10	Analisis y Reporte
<b>Fosforo total</b>	4,30	2,58	3,44	2,80	Analisis y Reporte
<b>Nitratos</b>	0,30	0,16	0,23	0,30	Analisis y Reporte
<b>Fenoles</b>	0,07	0,07	0,07	0,07	Analisis y Reporte

*Fuente: Autor 2019.*

De acuerdo con lo anterior, el tratamiento que más eficiencia tiene es el de Lodos activados pues es el que presenta mayor eficiencia de Remoción en Cada uno de los parámetros.

#### ➤ **EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS**

A partir de los criterios de calificación de cada una de las variables presentadas anteriormente, se generó una calificación final promedio para cada una de las alternativas analizadas, en la que se tuvo en cuenta la importancia de cada una de las variables analizadas y el rango de

calificación donde la alternativa que más tenga su promedio lejano a 3, es la alternativa más viable para el municipio.

*Tabla 22 Calificación Variables*

<b>Alternativa</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Calificación Requerimientos O&amp;M</b>	<b>Calificación Requerimientos Costos de inversión</b>	<b>Calificación Requerimientos área requerida</b>	<b>Calificación producción de olores</b>	<b>Calificación Eficiencia de tratamiento</b>
<b>1</b>	Tratamiento preliminar, Tanque Imhoff y filtro anaerobio	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00
<b>2</b>	Tratamiento preliminar, tratamiento primario y Lodos activados	3,00	2,00	2,00	1,00	3,00
<b>4</b>	Tratamiento preliminar, tratamiento primario Filtro anaerobio de flujo ascendente (RAFA), Lagunas de maduración	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00
<b>5</b>	Tratamiento preliminar, tratamiento primario Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón (RAP), Lagunas de maduración	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00

***Fuente:*** Autor 2019.

Por último, siguiendo la metodología expuesta, se definió la siguiente calificación General de cada una de las alternativas:



*Tabla 23 Calificación Promedio de las Alternativas Municipio De Carmen De Apicalá*

<b>Alternativa</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Variable (Cv)</b>	<b>Calificación Variable (Cv)</b>	<b>Promedio</b>
<b>1</b>	Tanque Imhoff y filtro anaerobio	Calificación		1,20
		Requerimientos	1,00	
		O&M		
		Calificación		
		Requerimientos	1,00	
		Costos de inversión		
		Calificación		
		Requerimientos área requerida	1,00	
		Calificación		
		producción de olores	2,00	
<b>2</b>	Tratamiento preliminar, tratamiento primario y Lodos activados	Calificación		2,20
		Requerimientos	3,00	
		O&M		
		Calificación		
		Requerimientos	2,00	
		Costos de inversión		

<b>Alternativa</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Variable (Cv)</b>	<b>Calificación Variable (Cv)</b>	<b>Promedio</b>
		Calificación		
		Requerimientos área requerida	2,00	
		Calificación		
		producción de olores	1,00	
		Calificación		
		Eficiencia de tratamiento	3,00	
		Calificación		
	Tratamiento preliminar, tratamiento primario Filtro anaerobio de flujo ascendente (RAFA), Lagunas de maduración	Requerimientos O&M	3,00	
		Calificación		
		Requerimientos	3,00	
<b>3</b>		Costos de inversión		2,80
		Calificación		
		Requerimientos área requerida	3,00	
		Calificación		
		producción de olores	3,00	

<b>Alternativa</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Variable (Cv)</b>	<b>Calificación Variable (Cv)</b>	<b>Promedio</b>
		Calificación		
		Eficiencia de tratamiento	2,00	
		Calificación		
		Requerimientos O&M	3,00	
	Tratamiento preliminar, tratamiento primario	Calificación		
		Requerimientos Costos de inversión	3,00	
<b>4</b>	Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón (RAP), Lagunas de maduración	Calificación		2,80
		Requerimientos área requerida	3,00	
		Calificación		
		producción de olores	3,00	
		Calificación		
		Eficiencia de tratamiento	2,00	

*Fuente: Autor 2019.*

Teniendo en cuenta lo anterior, se finiquita que para el Municipio de Carmen De Apicalá - Tolima, el Tratamiento más viable, bajo las variables de costos de inversión, operación y mantenimiento, generación de olores, área requerida y Eficiencia de tratamiento es para la

alternativa N°2 cuyos tratamientos son: Tratamiento preliminar, tratamiento primario, Lodos activados; se debe contemplar que, el Tratamiento u/o alternativa que se encuentra más lejano a 3 es la N°1, dicha alternativa no presenta Viabilidad absoluta puesto que, según la Revisión Bibliográfica y lo estipulado por el RAS 2017 y la Resolución 0330 de 2017, este tipo de tratamiento Primario es implementado para población menor a 6000 habitantes.

## 9. CONCLUSIONES

El municipio de Carmen de Apicalá al no tener un sistema de tratamiento de aguas Residuales, hace que los índices de contaminación ambiental se alteren negativamente de forma creciente, lo que hace necesario la inclusión de un Sistema de tratamiento de Aguas Residuales, Contemplando fundamentalmente los criterios de diseño establecidos por la Resolución 0330 de 2017 y el RAS 2017, pues se debe respetar aspectos como el periodo de Diseño y los respectivos cálculos matemáticos e hidráulicos teniendo en cuenta las Características de la zona de estudio, por consiguiente la inclusión de dicho sistema mejoraría la calidad del agua de las fuentes receptoras y el Saneamiento Básico municipal junto a la calidad de vida de la población Carmeluna.

Por otra Parte, para la efectividad o funcionamiento óptimo del sistema de tratamiento, el municipio deberá realizar una inversión económica alta, teniendo en cuenta que, el sistema de alcantarillado que presenta es obsoleto y dentro del perímetro Urbano hay puntos Críticos debido al colapso por zonas del sistema en periodos fuertes y prolongados de lluvias, por ende, se debe garantizar que el servicio de alcantarillado garantice la recolección y transporte óptimo de las Aguas Residuales del municipio.

Se pudo determinar mediante el análisis técnico-económico la alternativa más viable teniendo en cuenta La metodología de selección, en donde se determinó cinco variables para la evaluación y análisis respectivo de cada alternativa, las cuales son: operación y mantenimiento, costos de inversión, área requerida, producción de olores y eficiencia del tratamiento, de acuerdo con lo anterior, se realizó una calificación Promedio en donde la alternativa que más estuviese lejos del Rango alto (3) era la alternativa cuya viabilidad de selección era la más favorable para el municipio de Carmen de Apicalá.

Por último, la alternativa más viable fue la de lodos activados, debido a que es una alternativa que no requiere personal muy especializado, y presentó un porcentaje de eficiencia considerable en cada uno de los parámetros analizados.

## **10. RECOMENDACIONES**

Es necesario que el municipio realice el estudio geomorfológico del Predio destinado para el sistema de tratamiento de aguas residuales.

El municipio de Carmen de Apicalá en conjunto con la empresa de servicios públicos debe construir un sistema que trate sus aguas residuales, pues de no hacerlo para el siguiente quinquenio (2019-2023) puede acarrearle sanciones estrictamente por las diferentes Autoridades Ambientales.

El presente proyecto, abre las puertas a investigaciones futuras donde se realice el Diseño Hidráulico para la construcción de un sistema de tratamiento de aguas residuales contemplando lo exigido por la normatividad ambiental legal vigente y los Criterios establecidos por el RAS 2017.

## 11. REFERENCIAS

- Apicalá, A. C. (2011 - 2014). Estadísticas Carmen De Apicalá.
- Bogotá, E. d. (2006). Documento Técnico de Soporte Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá DC. Bogotá.
- González-Cabrera, O., & Ruiz. Pérez, T., & Claro-Pérez, M., & Pérez-Pino, N., & Pérez Gálvez, G., & Collazo-Alfonso, I. (2014). Estudio de patentes sobre tecnologías para tratamiento de agua y el agua residual. *Transinformação*, 26 (3), 339-347.
- Consortio Ses-Arq, 2013. informe de análisis de alternativas y selección de la alternativa más viable en la formulación del plan maestro de la PTAR centro poblado subía municipio de Silvania. CONTRATO N°: EPC-C-077/2010.
- DANE. (2019). Índice de costos de la construcción pesada (ICCP). Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-costos-de-la-construccion-pesada-iccp>.
- D, R. (2015 - 2016). Saneamiento y Alcantarillado / Gestión de Aguas Residuales. et-al, G. (2016). Diseño de Un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para el 70% de la Cabecera Municipal de Cajamarca, Tolima.
- Rodríguez Miranda, J., & García Ubaque, C., & Pardo Pinzón, J. (2015). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. *Tecnura*, 19 (46), 149-164.
- Marmolejo. C. (2011). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN EL VALLE DEL CAUCA. Cali.
- L., R. V. (2016). Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de agua residual por zanjón de oxidación para el casco urbano del municipio de Vélez -Santander.



Minvivienda. (2017). Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS). Título D Sistemas de Recolección y Evacuación.

Minambiente. (2015). Resolución 631 de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles. Obtenido de

[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).

Corp, H. A. (marzo de 2017). ¿Cuál es la importancia que tiene el Tratamiento de Aguas Residuales? Obtenido de <http://hidrotica.com/noticias-y-promociones/%C2%BFcu%C3%A1-es-la-importancia-que-tiene-el-tratamiento-de-aguas-residuales>

Cortolima. (2019). Corporación Autónoma Regional Del Tolima, Misión y Visión. Obtenido de <http://www.cortolima.gov.co/mision-vision>

Salud, O. M. (octubre de 2017). Enfermedades transmitidas por vectores. Obtenido de <http://apps.who.int/mediacentre/factsheets/fs387/es/index.htm>

Ambiente, P. D. (02 de febrero de 2015). El 80% de las aguas residuales del mundo no reciben el tratamiento adecuado. Obtenido de <https://www.abc.es/sociedad/20150202/abci-aguas-residuales-informe-201502021601.html>

MinDesarrollo. (2017). Reglamento técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico (Ras).

Technologies, S. W. (2015). nyfdecolombia. Obtenido de <https://www.nyfdecolombia.com/normtividad-tratamiento-de-agua/normatividad-aguas-residuales>

Meseth Macchiavello, E. (2013). Estudio de una planta de tratamiento de aguas residuales de Irlanda y su impacto en el medioambiente. Ingeniería Industrial, (31), 141-163.

Pérez Salazar, R., & Alfaro Chinchilla, C., & Sasa Marín, J., & Agüero Pérez, J. (2013).  
EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA ALTERNATIVO DE  
HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.  
Uniciencia, 27 (1), 332-340.

Crombet Grillet, S., & Abalos Rodríguez, A., & Rodríguez Pérez, S., & Pérez Pompa, N.  
(2016). Evaluación del tratamiento anaerobio de las aguas residuales de una comunidad  
universitaria. Revista Colombiana de Biotecnología, XVIII (1), 49-56.

Morato, J., & Subirana, A., & Gris, A., & Carneiro, A., & Pastor, R. (2006). Tecnologías  
sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales. Revista Lasallista de  
Investigación, 3 (1), 19-29.

Dane. (1964). XIII CENSO DE POBLACIÓN Y II DE EDIFICIOS Y VIVIENDAS.  
(Tolima).

RAS. (2000). TITULO E TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Obtenido de  
[http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710\\_ras\\_titulo\\_e\\_.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_e_.pdf)

Martínez. A. (2014). una alternativa de tratamiento biológico para aguas residuales. Obtenido  
de Vol. 13; no. 3.: <file:///D:/CENSOS%20DANE/Dialnet-Biodiscos-4835478.pdf>.

Andrade., P. M. (marzo de 2017). OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE LAS LAGUNAS  
AIREADAS.

Cortolima. (2018). Aparatado Municipio De Carmen De Apicalá. Obtenido de  
[http://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/metast\\_reduccion/fichas\\_municipios/8\\_Ficha\\_Meta\\_Crmen\\_%20de-Apicalá.pdf](http://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/metast_reduccion/fichas_municipios/8_Ficha_Meta_Crmen_%20de-Apicalá.pdf)

Cundinamarca, E. P. (08 de 08 de 2016). DISEÑO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR). Obtenido de (Anexo Técnico):

<http://www.epc.com.co/docs/ANEXO%20TECNICO%20PTAR.pdf>

Dane. (1985). Colombia Censo Nacional De 1985.

Dane. (s.f.). Censo Nacional año 1993-1997. ISSN 0120-6443.

H, M., J, B., X, V., & A, C. (2016). Desinfección de agua residual doméstica mediante un sistema de tratamiento acoplado con fines de reúso. ISSN 0187-8336 • Tecnología y Ciencias del Agua, vol. VII, núm. 4, julio-agosto de 2016, pp. 97-111.

IBAGUE-CORUNIVERSITARIA, C. U. (2002). ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL. Obtenido de

[http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/documento%20t%C3%A9cnico%20de%20soporte1%20-%20c.%20apical%C3%A1%20\(460%20pag%20-%202246%20kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/documento%20t%C3%A9cnico%20de%20soporte1%20-%20c.%20apical%C3%A1%20(460%20pag%20-%202246%20kb).pdf)

Romero. J. (2002). Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios De Diseño. Escuela Colombiana De Ingeniería.

Ramírez. L. (2016). ESTUDIO Y DIAGNOSTICO DE LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL PARA EL PROCESO DE DENSIFICACION DE UN SECTOR DEL CENTRO DE BOGOTA. Obtenido de

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/8314/4/TRABAJO%20DE%20GRADO%20LUIZA%20RAMIREZ.pdf>

M, B. E. (2017). Eficacia del tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Costa Rica. Cuadernos de Investigación UNED (ISSN: 1659-4266) Vol. 9(1): 193-197, junio, 2017.

MANAGER, R. T. (2017). REPORT TO THE CITY COUNCIL FROM THE CITY  
MANAGER. Obtenido de [https://www.cityofsheridanor.com/vertical/sites/%7BEB0DD61B-914B-47DE-BD5C-E59130F53846%7D/uploads/cc\\_120417\\_ENR\\_selection\\_SDC.pdf](https://www.cityofsheridanor.com/vertical/sites/%7BEB0DD61B-914B-47DE-BD5C-E59130F53846%7D/uploads/cc_120417_ENR_selection_SDC.pdf)

Minambiente. (2014). PROTOCOLO PARA EL MONITOREO, CONTROL Y  
VIGILANCIA DE OLORES OFENSIVOS. Obtenido de  
[http://www.minambiente.gov.co/images/Atencion\\_y\\_participacion\\_al\\_ciudadano/Consulta\\_Publica/Protocolo\\_para\\_el\\_Monitoreo\\_Control\\_y\\_Vigilancia\\_de\\_Olores\\_Ofensiv.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/Atencion_y_participacion_al_ciudadano/Consulta_Publica/Protocolo_para_el_Monitoreo_Control_y_Vigilancia_de_Olores_Ofensiv.pdf)

Minambiente. (2015). RESOLUCIÓN 631 DE 2015: "Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones." Obtenido de: [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)

Ramalho, R. (1984). Tratamiento De Aguas Residuales, Versión Castellana. Reverté S.A.