

**DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA POBLACIONES MENORES O IGUALES A 2000 HABITANTES**

OLGA LORENA PIEDRA CALLE

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA JULIO GARAVITO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C. DICIEMBRE DE 2019**

**DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA POBLACIONES MENORES O IGUALES A 2000 HABITANTES**

OLGA LORENA PIEDRA CALLE

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAESTRÍA EN INGENIERA
CIVIL CON ÉNFASIS EN RECURSOS HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE**

**ING. JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS
INGENIERO CIVIL
DIRECTOR**


**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA JULIO GARAVITO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

BOGOTÁ D.C.

2019

El Trabajo de Grado de Maestría titulada "DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MENORES O IGUALES A 2000 HABITANTES" presentada por OLGA LORENA PIEDRA CALLE, cumple con los requisitos establecidos para optar al Título de Magíster en Ingeniería Civil con Énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente.

Nota de aceptación



Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá D.C., Diciembre de 2019

DEDICATORIA

A mi esposo Ernesto con todo mi amor,
A mis hijos Anahí, Ana Sofía y Ernesto Xavier,
y a mi madre Laura, por su ejemplo de tenacidad y entrega.

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios Jehová, ya que por Él tengo todo.

A mi Esposo por su paciencia y apoyo incondicional.

A mi padre Oswaldo, por su aporte y motivación.

A mi Director Doctor Jairo Romero por sus conocimientos, guía y colaboración.

RESUMEN

El presente trabajo propone el diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residuales para poblaciones menores o iguales a 2000 habitantes que cumpla con la normatividad aplicable, así como con la posibilidad de reúso del efluente para fines agrícolas con restricciones y pecuario. Lo anterior se logra a través de la caracterización teórica del vertimiento, la determinación de 3 alternativas de diseño y la recomendación de la alternativa seleccionada. Se incluye el análisis de la normatividad vigente, información departamental de los Municipios con poblaciones del alcance del presente trabajo y los parámetros para vertimientos al Río Bogotá.

1. Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN.....	10
OBJETIVOS.....	11
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	11
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	11
1. MARCO NORMATIVO	12
2. POBLACIÓN Y LÍNEA BASE	20
2.1 <i>INFORMACIÓN GEOESTADÍSTICA OFICIAL</i>	20
2.2 <i>GESTIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN CUNDINAMARCA</i>	23
3. CARACTERIZACIÓN TEÓRICA DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MENORES O IGUALES A 2000 HABITANTES	34
4. ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO CONCEPTUAL.....	36
4.1 <i>Alternativa 1 – Sistema Lagunar (Laguna Facultativa + Laguna de Maduración)</i>	40
4.2 <i>Alternativa 2 – Sistema lagunar: (Laguna Anaerobia + Laguna Facultativa + Laguna de Maduración)</i>	44
4.3 <i>Alternativa 3 – Sistema Anaerobio y Lagunar (Tanque Im-Hoff + Laguna Facultativa + Laguna de Maduración)</i>	49
4.1 <i>Tablas comparativas de Eficiencias y Costos</i>	56
<i>Matriz de selección</i>	57
5 DISEÑO CONCEPTUAL SELECCIONADO.....	58
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
REFERENCIAS.....	60

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Comparativo de Parámetros de calidad para vertimientos de aguas residuales ..	14
Tabla 2 Parámetros para vertimientos menores a 625 kg/día de DBO5	16
Tabla 3 Valores parámetros vertimientos en Cundinamarca	18
Tabla 4 Datos CNPV 2018 para Municipios del Departamento de Cundinamarca.....	21
Tabla 5 Estado del tratamiento de vertimientos en Cundinamarca	28
Tabla 6. Interpretación de estados de PTAR en Cundinamarca.....	30
Tabla 7 Municipios con vertimientos sin tratamiento en las Cabeceras Municipales	31
Tabla 8 Tecnologías implementadas en PTAR municipales.....	33
Tabla 9 Parámetros de diseño para una Población menor o igual a 2000 habitantes.....	34
Tabla 10 Parámetros de diseño Vrs. Normatividad y Eficiencias requeridas	35
Tabla 11 Factores de importancia en la selección de procesos y operaciones.....	38
Tabla 12 Criterios y puntajes de calificación para factores de importancia	39
Tabla 13 Laguna Facultativa Alternativa 1	41
Tabla 14 Laguna de Maduración Alternativa 1	42
Tabla 15 Presupuesto Alternativa 1	43
Tabla 16 Laguna Anaerobia Alternativa 2.....	45
Tabla 17 Laguna Facultativa Alternativa 2.....	46
Tabla 18 Laguna de Maduración Alternativa 2	47
Tabla 19 Presupuesto Alternativa 2	48
Tabla 20 Tanque Imhoff Alternativa 3	50
Tabla 21 Laguna Facultativa Alternativa 3.....	51
Tabla 22 Laguna de Maduración Alternativa 3	52
Tabla 23 Presupuesto Alternativa 3	53
Tabla 24 Comparativo de dimensiones de cada alternativa	55
Tabla 25 Comparativo de eficiencias de Alternativas de Tratamiento	56
Tabla 26 Comparativo de Costos de Alternativas.....	56
Tabla 27 Matriz multi-criterio para selección de alternativas de tratamiento	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución espacial para población de Municipios de Cundinamarca.....	22
Figura 2. Proporción de vertimientos con y sin tratamiento en Cundinamarca.....	24
<i>Figura 3a. Vertimientos con y sin tratamiento para municipios de Cundinamarca</i>	<i>25</i>
Figura 4. Ubicación de vertimientos con (b) y sin (a) tratamiento.....	29
Figura 5. Estado de las PTAR para vertimientos de Cundinamarca.....	30
Figura 6. Fuente de recursos de financiación de PTAR en Cundinamarca.....	32

LISTA DE DIAGRAMAS

Ilustración 1 Diagrama de Flujo Alternativa 1	40
Ilustración 2 Diagrama de Flujo Alternativa 2	44
Ilustración 3 Diagrama de Flujo Alternativa 3	49
Ilustración 4 Esquema Tanque Imhoff	54

INTRODUCCIÓN

El objetivo del tratamiento de aguas residuales es la entrega de caudales en la oportunidad y condiciones técnicas que cumplan la normatividad existente.

El Departamento de Cundinamarca cuenta con un total de 116 municipios. En 98 de ellos, se han registrado un total de 580 vertimientos, de los cuales 458 se encuentran sin tratamiento alguno. En los 18 municipios faltantes no existen información reportada. (CAR, 2017).

Las cifras anteriores muestran que el 79% de los vertimientos registrados, se encuentran desatendidos.

En el reporte además se evidencian 122 vertimientos que cuentan con algún tipo de tratamiento, sin embargo, de estos solamente el 53% se encuentran en operación.

La necesidad de enfocar recursos al tratamiento de aguas residuales es una prioridad.

En ese contexto se justifica el presente trabajo que propone una solución para ser implementada en poblaciones de hasta 2000 habitantes con parámetros de diseño iguales o menores a los aquí tratados.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Presentar el diseño conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales aplicable a una población aportante menor de 2000 habitantes.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la normatividad existente y detallar los requerimientos de cumplimiento para los sistemas de tratamiento de aguas residuales para poblaciones menores o iguales a 2000 habitantes.
- Identificar los sectores rurales y/o Municipios con poblaciones menores o iguales a 2000 habitantes, que no tienen sistemas de tratamiento de aguas residuales dentro del Departamento de Cundinamarca.
- Generar mínimo tres alternativas de tratamiento de aguas residuales para poblaciones menores o iguales a 2000 habitantes.
- Recomendar la alternativa más viable de diseño conceptual de la planta de tratamiento de aguas residuales.

1. MARCO NORMATIVO

A continuación, se listan las leyes, normas y decretos encontrados:

1974. DECRETO LEY 2811 DE 1974

Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

1993. LEY 99 DE 1993.

Por la cual se crea el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental -SINA- y se dictan otras disposiciones.

1994. LEY 142 DE 1994.

Por la cual se establece el régimen de servicios públicos domiciliarios.

2006. ACUERDO No. 43 DEL 17 DE OCTUBRE DE 2006. CAR

Por el cual se establecen los objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá a lograr en el año 2020.

2010. DECRETO 3930 DE 2010

Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley de 1979, así como el capítulo II del Título VI - Parte III Libro II del Decreto de ley 2811 de 1974, en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.

2012. DECRETO 2667 DE 2012

Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones.

2013. DECRETO 3050 DE 2013.

Por la cual se restablecen las condiciones para el trámite de las solicitudes de viabilidad y disponibilidad de los servicios públicos domiciliario de acueducto y alcantarillado.

2014. DECRETO 2041 DE 2014.

Por la cual se reglamenta el Título VIII de Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales.

2014. RESOLUCIÓN 1207 DE 2014.

Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.

2015. DECRETO 475 DE 2015.

Por la cual se reglamenta el artículo 250 de la ley 1450 de 2011 y se dictan disposiciones.

2015. 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.

2015. DECRETO 1077 DE 2015.

Decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible.

2017. RESOLUCIÓN 501 DE 2017.

Adopta el reglamento técnico para el sector de agua y saneamiento básico RAS, composición de tubos, materiales, ductos y accesorios de acueducto y alcantarillado.

2018. 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.

2018. RESOLUCIÓN 0223 DE 2018.

Establece un nuevo polígono como lindero de zona de cuidado y protección a la Reserva Forestal Protectora Productora de la Cuenca Alta del Río Bogotá, aprobada por la Resolución Ejecutiva No. 076 de 1977

2018. RESOLUCIÓN 0844 DE 2018

Por la cual se establecen los requisitos técnicos para los proyectos de agua y saneamiento básico de zonas rurales que se adelantan bajo los esquemas diferenciales definidos en el Capítulo 1, del Título 7, de la Parte 3 del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015.

Con base en la Normatividad descrita, se listan los parámetros de calidad de dos Resoluciones emitidas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (0631 de 2015 y 1207 de 2014) y el Acuerdo 043 de la CAR, con el objeto de generar un comparativo de posibles parámetros de diseño para una planta de tratamiento de aguas residuales, para una población de 2000 habitantes, que se aplicarán según:

- La Ubicación geográfica en el Departamento de Cundinamarca: Cuenca alta, media o baja del Río Bogotá y Clasificación I, II, III, IV o V del punto de vertimiento.

- El Lugar de vertimiento: cuerpos de agua superficial, zonas verdes, etc
- El Uso del efluente: Ninguno, Uso agrícola o industrial, otro.

Tabla 1 Comparativo de Parámetros de calidad para vertimientos de aguas residuales

Parámetros	Expresado como	MÁXIMOS PERMISIBLES		
		Resolución 0631 de 2015 Valores para (ARD – ARnD) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a <u>cuerpos de aguas superficiales</u> , con una carga menor o igual a 625,00 kg/día DBO5	Acuerdo 43 de 2006 (CAR) Valores de la Clase IV Corresponde a valores de los usos agrícola con restricciones y pecuario.	Resolución 1207 de 2014 disposiciones relacionadas con el uso de aguas tratadas Uso agrícola.
Demanda Bioquímica del Oxígeno (DBO)	mg/L O ₂	90	50	N/R
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	180	N/R	N/R
Coliformes Totales	NMP/100 ml	N/R	20.000	N/R
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	N/R	N/R	1,0E(+5)
Enterococos Fecales	>	N/R	N/R	1,0E(+2)
Helmintos Parásitos Humanos	Huevos y Larvas /L	N/R	N/R	1
Protozoos Parásitos Humanos	Quistes/L	N/R	N/R	1
Salmonella sp	NMP/100 ml	N/R	N/R	1
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	10	N/R
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	N/R	5
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L	Análisis y Reporte	N/R	N/R
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte	N/R	N/R
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	90	40	N/R
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	5	N/R	N/R
Grasas y Aceites	mg/L	20	N/R	N/R
Sustancias activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte	N/R	N/R
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	Análisis y Reporte	N/R	1
Fenoles Totales	mg/L	N/R	N/R	1,5

Parámetros	Expresado como	MÁXIMOS PERMISIBLES		
		Resolución 0631 de 2015 Valores para (ARD – ARnD) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a <u>cuerpos de aguas superficiales</u> , con una carga menor o igual a 625,00 kg/día DBO5	Acuerdo 43 de 2006 (CAR) Valores de la Clase IV Corresponde a valores de los usos agrícola con restricciones y pecuario.	Resolución 1207 de 2014 disposiciones relacionadas con el uso de aguas tratadas Uso agrícola.
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	N/R	N/R
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	N/R	N/R
Aluminio	mg/L	N/R	5	5
Arsénico	mg/L	N/R	0,1	0,1
Berilio	mg/L	N/R	0,1	0,1
Boro	mg/L	N/R	0,3-0,4	0,4
Cadmio	mg/L	N/R	0,01	0,01
Cinc	mg/L	N/R	2	3
Cobalto	mg/L	N/R	0,05	0,05
Cobre	mg/L	N/R	0,2	1
Cromo (Cr+6)	mg/L	N/R	0,1	0,1
Fluor	mg/L	N/R	1	1
Hierro	mg/L	N/R	5	5
Litio	mg/L	N/R	2,5	2,5
Manganeso	mg/L	N/R	0,2	0,2
Mercurio	mg/L	N/R	0,01	0,002
Molibdeno	mg/L	N/R	0,01	0,07
Niquel	mg/L	N/R	0,2	0,2
pH	Unidades	6,00-9,00	4,5-9,0	6,0-9,0
Conductividad	micro S/cm	N/R	N/R	1500
Plomo	mg/L	N/R	0,1	5
Sodio	mgNa/L	N/R	3.000	200
Selenio	mg/L	N/R	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	N/R	0,1	0,1
Cloro Total Residual (con mínimo 30 minutos de contacto)	mg Cl ₂ /L	N/R	N/R	Menor a 1
Cianuro Libre	mg/L	N/R	N/R	0,2
Sulfatos	mg/L	N/R	N/R	500

N/R: No registra parámetro

ARD: aguas residuales domésticas

ARnD: aguas residuales no domésticas

Como se resume en la Tabla 2, los vertimientos que no superen los 625 kg/día de DBO5, y que sean entregados a cuerpos de agua superficiales (quebradas, ríos etc.), deberán cumplir con los siguientes parámetros:

Tabla 2 Parámetros para vertimientos menores a 625 kg/día de DBO5

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	VALOR MÁS RESTRICTIVO
pH	Unidades	6,00-9,00
Demanda Bioquímica del Oxígeno (DBO)	mg/L O ₂	90
Demanda Química del Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	180
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	90
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	5
Grasas y Aceites	mg/L	20

Sin embargo, deberá tomarse en cuenta que la Resolución 0330 de 2017, en su artículo 167, "Cuerpo Receptor ...". establece: "Para determinar los requerimientos de tratamiento de las aguas residuales de una población, se deben utilizar modelos de.. ..., ...y los objetivos de calidad establecidos por la autoridad ambiental, teniendo en cuenta los requerimientos establecidos en el correspondiente Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV)". (Resolución 0330,2017). (Subrayado y negrita no son del texto).

En el Departamento de Cundinamarca la Autoridad Ambiental es la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca Área Metropolitana de Bogotá (CAR), que abarca los Municipios de: Bogotá, Cajicá, Chía, Cogua, Cota, Funza, Gachancipá, Mosquera, Nemocón, Sibaté, Soacha, Sopó, Tocancipá y Zipaquirá. Comprende los 13 municipios y la Capital del Área Metropolitana de Bogotá.

Esta Autoridad a través del Acuerdo CAR Número 043 de 2006, establecen los objetivos de calidad de agua del Río Bogotá, clasificándola en 4 clases y tres cuencas según su ubicación (Alta, Media o Baja), como se indica a continuación:

"ARTÍCULO 1°. CLASIFICACIÓN DE USOS DEL AGUA PARA LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ Y VALORES DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD A APLICAR POR CLASE."

"ARTÍCULO 2°. OBJETIVOS DE CALIDAD PARA LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ. Establecer para la cuenca alta, media y baja del río Bogotá, y con base en la clasificación de usos del agua para la cuenca del río Bogotá y valores de los parámetros de calidad a aplicar por clase, contemplados en el artículo primero los siguientes objetivos de calidad bajo condiciones hidrológicas promedio, los que se deben alcanzar en el año 2020:

NUMERAL 8 - CUENCA DEL RÍO FRÍO CÓDIGO: 2120-12

Comprendida por el Río Frío y sus afluentes, desde su cabecera hasta su desembocadura en el Río Bogotá, así:

- a) Río Frío y sus afluentes desde su cabecera hasta la desembocadura de la quebrada el Cimientito corresponden a la Clase I.
- b) Río Frío y sus afluentes desde la desembocadura de la quebrada el Cimientito hasta el puente de la carretera Tabio – Cajicá corresponden a la Clase II.
- c) Río Frío y sus afluentes desde el puente de la carretera Tabio Cajicá hasta su desembocadura en el Río Bogotá corresponden a la Clase IV.

NUMERAL 19 - CUENCA BAJO BOGOTÁ CÓDIGO: 2120-01.

Comprendida por el Río Bogotá y sus afluentes, desde la desembocadura del Río Apulo hasta su desembocadura hasta el Río Magdalena, así:

19.1. Subcuenca Quebrada Cachimbula:

Comprendida por la quebrada y sus afluentes, desde su cabecera hasta la desembocadura del Río Bogotá, corresponden a la Clase II.

19.2. Subcuenca Quebrada Acuatá:

Comprendida por la quebrada y sus afluentes, desde su cabecera hasta la desembocadura del Río Bogotá, corresponden a la Clase II.

19.3. Subcuenca Río Bajo Bogotá:

- a) Cuerpos de agua, excluido el Río Bogotá, dentro de la comprensión señalada corresponden a la Clase II.
- b) Río Bogotá propiamente dicho, dentro de la comprensión señalada, corresponden a la Clase IV.

ARTÍCULO 3°. Los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV), de los municipios localizados en la cuenca del Río Bogotá, deben ser formulados de tal manera

que en su ejecución se alcancen los Objetivos de calidad que se establecen en el presente acuerdo.

ARTÍCULO 4°. Los Objetivos de calidad que se establecen en el presente acuerdo, se convierten en un condicionante técnico para el otorgamiento de concesiones, permisos, autorizaciones y licencias ambientales, requeridas por la ley para el uso y aprovechamiento de los recursos naturales o para el desarrollo de actividades o el establecimiento de nuevos proyectos regionales y municipales que afecten o puedan afectar el medio ambiente.

ARTÍCULO 5°. Los objetivos de calidad para el Río Bogotá adoptados mediante el presente acuerdo, se tendrán como uno de los requisitos previos al proceso de fijación de las metas de reducción de las cargas contaminante para efectos del cobro de la tasa retributiva.

ARTÍCULO 6°. Los Objetivos de calidad establecidos en el presente acuerdo, se convierten en un referente para la definición de las inversiones encaminadas al saneamiento de la cuenca del Río Bogotá por parte de las entidades del nivel nacional, departamental y municipal." (Acuerdo 043, 2006).

La CLASE IV - Corresponde a valores de los usos agrícola con restricciones y pecuario. En la Tabla No. 1 se expresan los valores de esta clase como referencia de parámetros aplicables, toda vez que el "Río Bogotá propiamente dicho, dentro de la comprensión señalada, corresponde a la Clase IV".

Es así que los principales parámetros a cumplir en gran parte del Departamento de Cundinamarca son los de la Tabla 3.

Tabla 3 Valores parámetros vertimientos en Cundinamarca

Parámetro	Expresado como	Valor más restrictivo
DBO	mg/L	50
Coliformes Totales	NMP/100 ml	20.000
Nitritos	mg/L	10
Sólidos suspendidos	mg/L	40

Fuente: Acuerdo CAR 043 de 2006

En cuanto a La Resolución 1207, también considerada en el comparativo de Normatividad (Tabla No. 1), considera como uso agrícola lo siguiente:

- Cultivos de pastos y forrajes para consumo animal.
- Cultivos no alimenticios para humanos o animales.
- Cultivos de fibras celulósicas y derivados.
- Cultivos para la obtención de biocombustibles (biodiesel y alcohol carburante) incluidos lubricantes.
- Cultivos forestales de madera, fibras y otros no comestibles.
- Cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos a procesos físicos o químicos.

Su aplicación dependerá del uso que se le de al efluente, sin embargo, para efectos del presente trabajo, no tiene aplicación y su registro se realiza a manera de establecer comparativos de valores máximos exigidos según su uso.

APLICABILIDAD:

Para una población menor o igual a 2000 habitantes, cuyo sistema de tratamiento de aguas residuales vierte su efluente en el Río Bogotá directamente, deberán cumplir con los parámetros de calidad del Acuerdo 043 de 2006 de la CAR, Clasificación IV.

2. POBLACIÓN Y LÍNEA BASE

Como unidad geográfica de análisis se tomó el Departamento de Cundinamarca, pues presenta un contexto interesante en el avance de iniciativas para la descontaminación de cuerpos de agua estratégicos e históricamente afectados por el ininterrumpido vertimiento de aguas residuales en sus diferentes cauces con especial impacto en el Río Bogotá. Tal es el caso de la sentencia emitida por el Consejo de Estado en marzo de 2014, a partir de la cual se adoptaron órdenes y asignaron responsabilidades a diferentes niveles (nacional, departamental, distrital, municipal y local) para la recuperación de la cuenca hidrográfica del Río Bogotá, a través de la gestión integral del componente ambiental, social, económico e institucional (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, S/F).

La delimitación poblacional geográfica, así como la identificación de vertimientos contaminantes que requieran de algún tipo de tratamiento, implicó la revisión de diferentes fuentes para reconocer, por un lado, los límites de población, y por otro, municipios del departamento que registren algún tipo de desatención en cuanto a la instalación de sistemas de depuración de aguas residuales (Plantas de Tratamiento de Agua Residual, en general, sin distinción de su tecnología y/o tipo de tratamiento).

Se consultaron reportes oficiales de los censos de población adelantados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), así como informes de diagnóstico y caracterización de población de la Gobernación de Cundinamarca. Por su parte, en cuanto al estado del arte sobre la gestión de aguas residuales en el departamento, se consultaron los reportes oficiales emitidos por la Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR) y las Empresas Públicas de Cundinamarca (EPC), en los cuales se presentan inventarios sobre la cantidad y tipo de sistemas de tratamiento implementados en los municipios de su jurisdicción.

2.1 INFORMACIÓN GEOESTADÍSTICA OFICIAL

Cumpliendo con el criterio de población establecido para los diseños de los sistemas de tratamiento de agua residual (≤ 2.000 habitantes), se realizó la revisión poblacional para

cada uno de los 116 municipios del Departamento de Cundinamarca, tomando cifras oficiales del DANE.

Los datos del DANE consultados, corresponden al Análisis de Información del Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV) 2018 para Cundinamarca, a partir de estos se registran los valores de población que se relacionan en la Tabla 4, donde se indica el código, nombre y número de habitantes por municipio del departamento (DANE, 2018).

Tabla 4 Datos CNPV 2018 para Municipios del Departamento de Cundinamarca

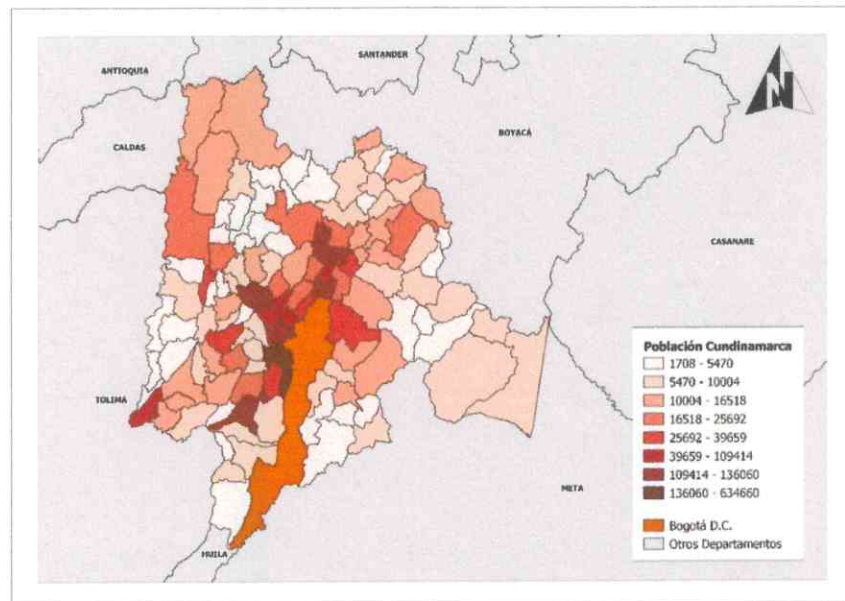
CÓDIGO MUNICIPIO	NOMBRE MUNICIPIO	POBLACIÓN (HABITANTES)	CÓDIGO MUNICIPIO	NOMBRE MUNICIPIO	POBLACIÓN (HABITANTES)
25001	Agua de Dios	10.390	25473	Mosquera	127.416
25019	Albán	5.961	25483	Nariño	2.128
25035	Anapoima	12.170	25486	Nemocón	12.319
25040	Anolaima	12.088	25488	Nilo	7.066
25599	Apulo	7.439	25489	Nimaima	3.016
25053	Arbeláez	9.665	25491	Nocaima	5.222
25086	Beltrán	1.760	25513	Pacho	23.586
25095	Bituima	2.240	25518	Paima	3.830
25099	Bojacá	9.890	25524	Pandi	4.722
25120	Cabrera	4.324	25530	Paratebueno	7.837
25123	Cachipay	9.166	25535	Pasca	8.706
25126	Cajicá	80.117	25572	Puerto Salgar	14.706
25148	Caparrapí	10.282	25580	Pulí	2.545
25151	Cáqueza	15.407	25592	Quebradanegra	4.476
25154	Carmen de Carupá	7.179	25594	Quetame	4.560
25168	Chaguaní	3.350	25596	Quipile	6.111
25175	Chía	128.038	25612	Ricaurte	10.875
25178	Chipaque	8.640	25645	San Antonio del Tequendama	10.004
25181	Choachí	10.355	25649	San Bernardo	7.412
25183	Chocontá	19.539	25653	San Cayetano	4.068
25200	Cogua	20.810	25658	San Francisco	9.353
25214	Cota	31.102	25662	San Juan de Río Seco	7.538
25224	Cucunubá	6.962	25718	Sasaima	9.330
25245	El Colegio	22.601	25736	Sesquilé	10.428
25258	El Peñón	3.515	25740	Sibaté	31.202
25260	El Rosal	21.639	25743	Silvania	20.637
25269	Facatativá	136.060	25745	Simijaca	11.564
25279	Fomeque	10.734	25754	Soacha	634.660
25281	Fosca	5.470	25758	Sopó	24.665
25286	Funza	90.732	25769	Subachoque	14.532
25288	Fúquene	4.792	25772	Suesca	15.479
25290	Fusagasugá	131.369	25777	Supatá	4.600
25293	Gachalá	4.240	25779	Susa	6.079
25295	Gachancipá	16.518	25781	Sutatausa	5.331
25297	Gachetá	8.169	25785	Tabio	21.025
25299	Gama	3.065	25793	Tausa	6.540
25307	Girardot	88.285	25797	Tena	8.114

CÓDIGO MUNICIPIO	NOMBRE MUNICIPIO	POBLACIÓN (HABITANTES)	CÓDIGO MUNICIPIO	NOMBRE MUNICIPIO	POBLACIÓN (HABITANTES)
25312	Granada	6.900	25799	Tenjo	20.342
25317	Guachetá	12.403	25805	Tibacuy	3.891
25320	Guaduas	24.578	25807	Tibirita	2.477
25322	Guasca	14.943	25815	Tocaima	13.498
25324	Guataquí	1.793	25817	Tocancipá	39.111
25326	Guatavita	6.208	25823	Topaipí	3.523
25328	Guayabal de Siquima	3.614	25839	Ubalá	7.253
25335	Guayabetal	5.752	25841	Ubaque	6.399
25339	Gutiérrez	3.295	25843	Ubaté	6.890
25368	Jerusalén	2.025	25845	Une	4.070
25372	Junín	5.252	25851	Útica	4.208
25377	La Calera	28.443	25506	Venecia	6.029
25386	La Mesa	28.193	25862	Vergara	3.787
25394	La Palma	7.608	25867	Vianí	39.659
25398	La Peña	5.459	25871	Villagómez	1.708
25402	La Vega	12.622	25873	Villapinzón	15.864
25407	Lenguazaque	9.439	25875	Villeta	25.692
25426	Macheta	5.734	25878	Viotá	12.283
25430	Madrid	109.414	25885	Yacopí	10.960
25436	Manta	3.349	25898	Zipacón	4.232
25438	Medina	7.175	25899	Zipaquirá	128.789

Fuente: DANE, 2018

De acuerdo con lo anterior, la distribución general por rangos de población municipal del departamento se ilustra en la Figura 1.

Figura 1. Distribución espacial para población de Municipios de Cundinamarca.



Fuente: Cifras del DANE, 2018. Capas de información geográfica tomadas del Marco Geoestadístico Nacional del DANE, 2017.

Tomando en consideración los datos presentados con anterioridad, se encontró que tan sólo tres (3) municipios cumplían con el requisito poblacional considerado para el presente estudio: Beltrán (1.760 hab), Guataquí (1.793 hab) y Villagómez (1.708 hab).

2.2 GESTIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN CUNDINAMARCA

Empresas Públicas de Cundinamarca S.A. E.S.P., es una entidad constituida bajo la Ordenanza No. 04 de 2008, con autonomía administrativa, patrimonial y presupuestal, y tiene como principal accionista a la Gobernación de Cundinamarca. Su objeto principal incluye la prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo y las actividades complementarias a dichos servicios (EPC, 2017).

De lo anterior, deriva la gestión de proyectos entorno al componente de aguas residuales del departamento de Cundinamarca para la ejecución directa de los diseños y construcción de PTAR o bien sea asignando las partidas presupuestales para que entidades, que también tienen injerencia en este componente, como la CAR o los municipios, sean quienes coordinen su planificación, ejecución y puesta en marcha.

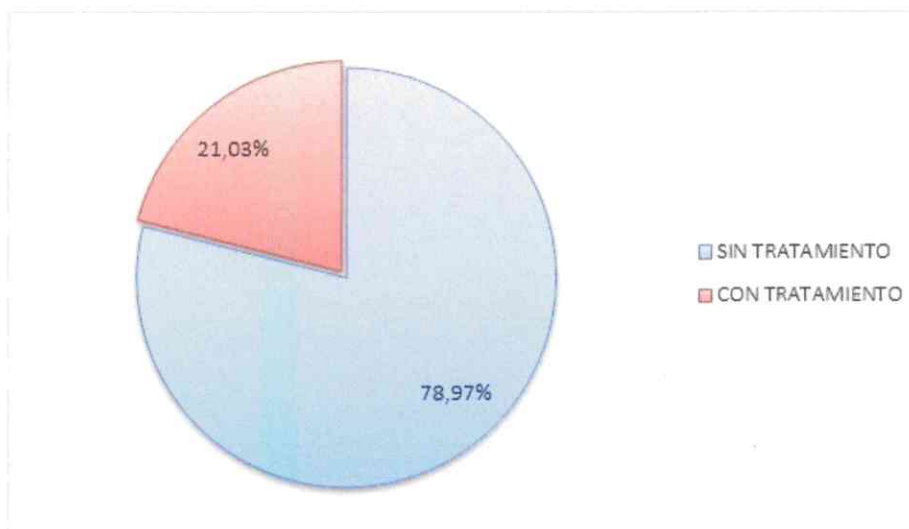
EPC cuenta con una base de datos en la que se lleva un registro de las PTAR del departamento y detalla información sobre los tipos de tratamiento, estado de funcionamiento, porcentaje de aguas no tratadas, entre otros; sin embargo, la CAR, como entidad ambiental y territorial con jurisdicción en Cundinamarca, también lleva un registro acerca del estado que presenta cada municipio frente a la planificación, diseño, construcción y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

De acuerdo con la revisión de la información de ambas entidades, se encontró que, comparativamente, la base de datos de la CAR es mucho más completa pues, por un lado, contiene los detalles de las PTAR incluidas en los registros de EPC junto a otros adicionales que allí no aparecen reportados y, por otro lado, su información está mucho más desagregada y relacionada con más categorías que permitieron manejar más unidades de análisis y así poder construir una línea base más sólida.

En función de lo anterior, se llevó a cabo la revisión del Consolidado de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Jurisdicción de la CAR¹, en el cual la entidad lleva un inventario de los vertimientos de cada municipio, ubicación, estado y tipo de tratamiento, además de otros detalles relacionados con la normatividad y aspectos operacionales y técnicos.

De acuerdo con el procesamiento de la información para su respectivo análisis, en primera medida se encontró que el 79% de los vertimientos inventariados para los 98 municipios incluidos en el consolidado de la CAR, se encuentran sin tratamiento (ver Figura 2), es decir que no existe una PTAR para realizar su descontaminación y posterior descarga en las fuentes receptoras de aguas superficiales.

Figura 2. Proporción de vertimientos con y sin tratamiento en Cundinamarca

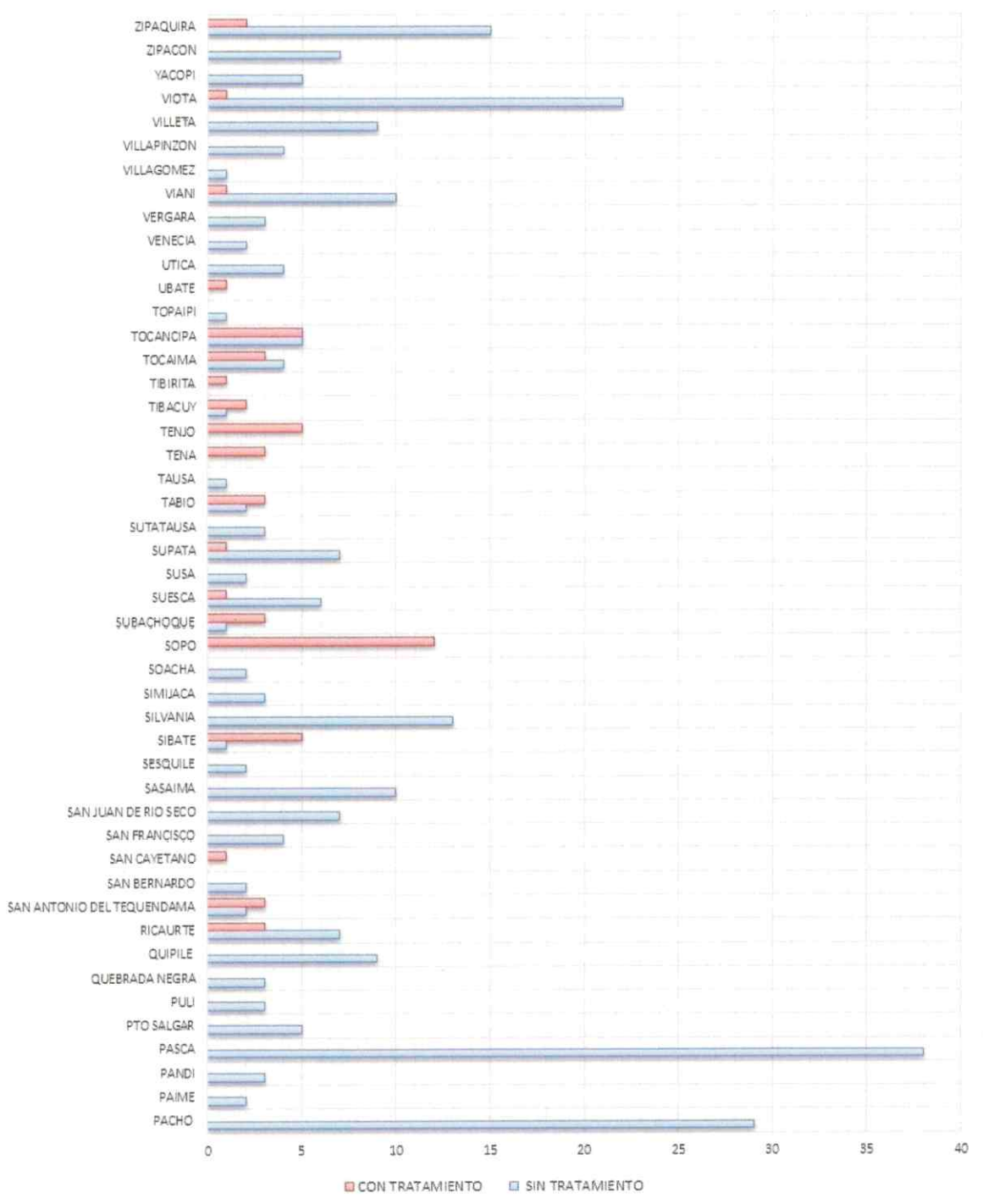


Fuente: "Consolidado de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Jurisdicción CAR" (CAR, 2017)

Los datos presentados en el gráfico anterior, corresponden a un total, por departamento, de 580 vertimientos, de los cuales 458 se encuentran sin tratamiento y 122 con tratamiento. En las Figuras 3a y 3b, se incluye un reporte desagregado de la cantidad de vertimientos con y sin tratamiento por municipio.

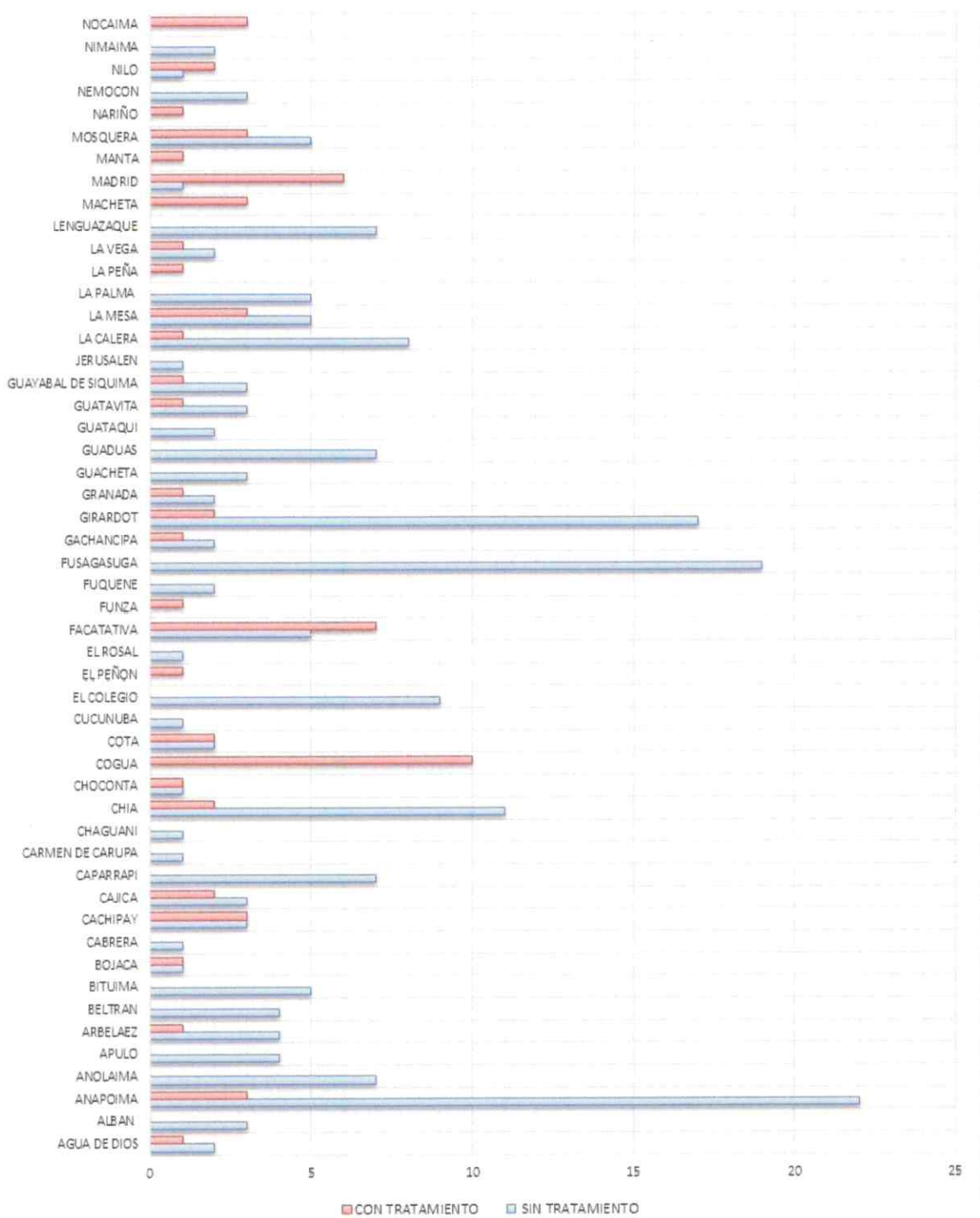
¹ En el consolidado no se registran datos para dieciocho (18) municipios: Cáqueza, Chipaque, Choachí, Fomeque, Fosca, Gachalá, Gacheta, Gama, Guasca, Guayabetal, Gutiérrez, Junín, Medina, Paratebuena, Quetame, Ubalá, Ubaque y Une.

Figura 3a. Vertimientos con y sin tratamiento para municipios de Cundinamarca



Fuente: "Consolidado de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Jurisdicción CAR" (CAR, 2017)

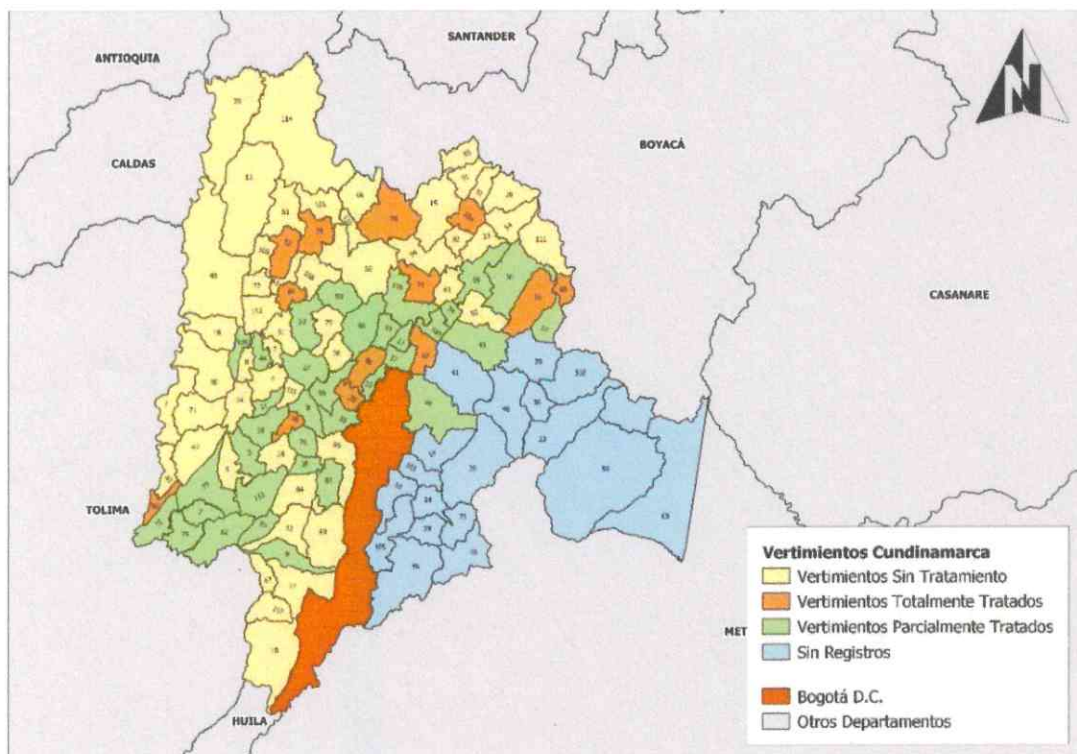
Figura 3b. Vertimientos con y sin tratamiento para municipios de Cundinamarca



Fuente: "Consolidado de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Jurisdicción CAR" (CAR, 2017)

En el mapa de la Figura 4, se representa la distribución geográfica en cuanto al estado del tratamiento de vertimientos en los municipios del departamento de Cundinamarca (ver Tabla 5).

Figura 4. Estado del tratamiento de vertimientos en Cundinamarca



Fuente: "Consolidado de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Jurisdicción CAR" (CAR, 2017)

Tabla 5 Estado del tratamiento de vertimientos en Cundinamarca

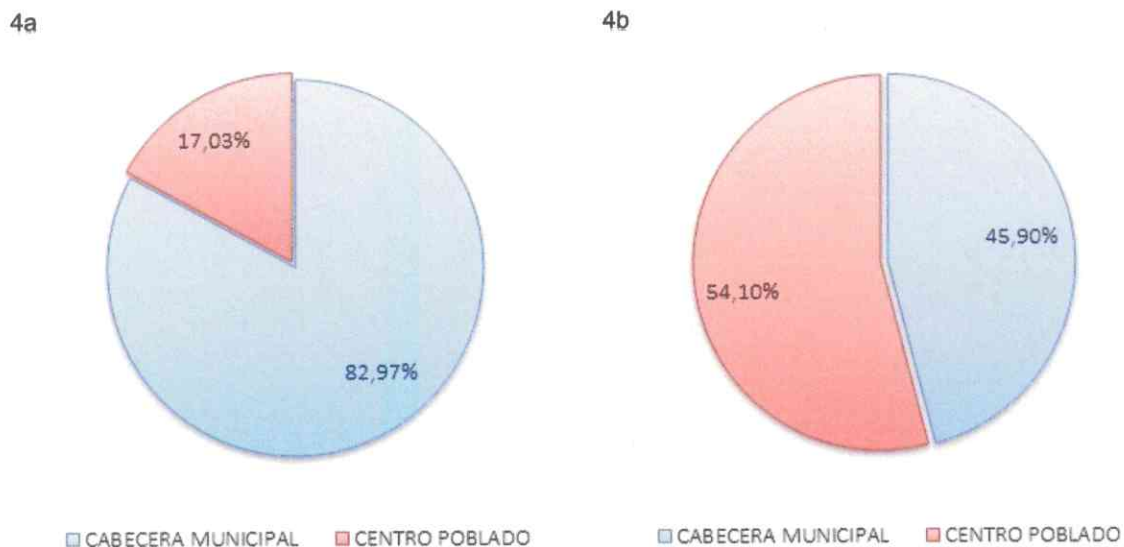
SIN TRATAMIENTO		PARCIALMENTE TRATADOS	
Ningún vertimiento del municipio cuenta con una PTAR instalada y en operación para su descontaminación y posterior descarga.		El municipio tiene vertimientos que cuentan con PTAR para su descontaminación y descarga, pero aún se presentan vertimientos sin ningún tratamiento.	
(2) Albán (4) Anolaima (5) Apulo (7) Beltrán (8) Bituima (10) Cabrera (13) Caparrapí (15) Carme de Carupa (16) Chaguaní (23) Cucunubá (24) El Colegio (26) El Rosal (31) Fúquene (32) Fusagasugá (39) Guachetá (40) Guaduas (42) Guataquí (47) Jerusalén (51) La Palma (54) Lenguazaque (61) Nemocón (63) Nimaima (65) Pacho (66) Paime (67) Paime	(69) Pasca (70) Puerto Salgar (71) Pulí (72) Quebradanegra (74) Quipile (77) San Bernardo (79) San Francisco (80) San Juan de Rio Seco (81) Sasaima (82) Sesquillé (84) Silvania (85) Simijaca (86) Soacha (91) Susa (92) Sutatausa (94) Tausa (101) Topaipí (106) Útica (107) Venecia (108) Vergara (110) Villa Gómez (111) Villapinzón (112) Villeta (114) Yacopí (115) Zipacón	(1) Aguas de Dios (3) Anapoima (6) Arbeláez (9) Bojacá (11) Cachipay (12) Cajicá (17) Chía (20) Chocontá (22) Cota (27) Facatativá (34) Gachancipá (37) Girardot (38) Granada (43) Guatavita (44) Guayabal de Siquima (49) La Calera (50) La Mesa (53) La Vega	(56) Madrid (57) Manta (59) Mosquera (62) Nilo (75) Ricaurte (76) San Antonio del Tequendama (83) Sibaté (88) Subachoque (89) Suesca (90) Supatá (93) Tabio (97) Tibacuy (99) Tocaima (100) Tocancipá (109) Vianí (113) Viotá (116) Zipaquirá
TOTALMENTE TRATADOS		SIN REGISTROS	
Todos los vertimientos del municipio se encuentran con una PTAR instalada y en operación para su descontaminación y posterior descarga.		No se presenta información que permita dar cuenta del estado del tratamiento de los vertimientos generados en el municipio.	
(21) Cogua (25) El Peñón (30) Funza (52) La Peña (55) Machetá (60) Nariño (64) Nocaima	(78) San Cayetano (87) Sopo (95) Tena (96) Tenjo (98) Tibirita (104) Ubaté	(14) Cáqueza (18) Chipaque (19) Choachí (28) Fómeque (29) Fosca (33) Gachalá (35) Gachetá (36) Gama (41) Guasca	(45) Guayabetal (46) Gutiérrez (48) Junín (58) Medina (68) Paratebuena (73) Quetame (102) Ubalá (103) Ubaque (105) Une

Fuente: "Consolidado de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Jurisdicción CAR" (CAR, 2017)

En segundo lugar, se hizo un análisis en cuanto a la ubicación de los vertimientos inventariados, tomando como referencia si están en la Cabecera Municipal o en Centro

Poblados, así, se encontró que un poco más del 80% de los vertimientos inventariados sin tratamiento se encuentran en las Cabeceras Municipales de los municipios (ver Figura 4a), mientras que los vertimientos con tratamiento presentan una distribución prácticamente equiparable entre la Cabecera Municipal y los Centro Poblados (ver Figura 6b).

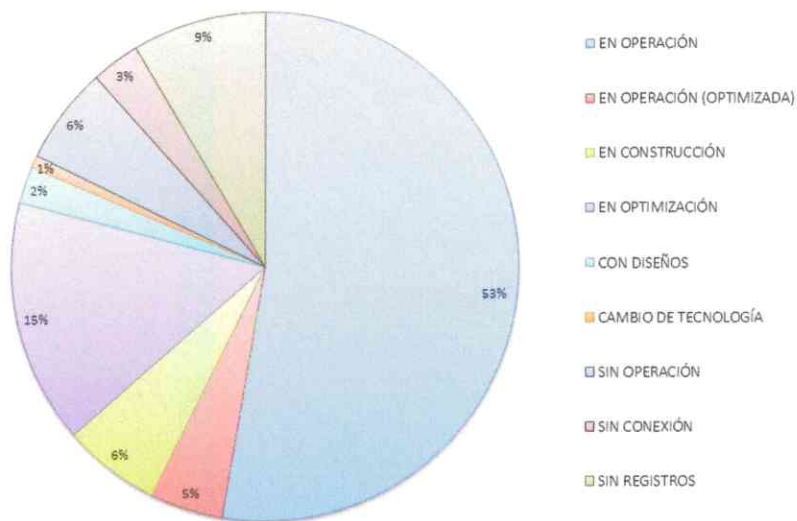
Figura 4. Ubicación de vertimientos con (b) y sin (a) tratamiento



Fuente: "Consolidado de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Jurisdicción CAR" (CAR, 2017)

Otra información de valioso reporte, corresponde al estado en el que se encuentran las PTAR asociadas a los vertimientos con tratamiento; en este sentido se elaboró la Figura 5, en la cual se presentan los estados de funcionamiento definidos por la CAR, así mismo se incluye la Tabla 6 en la cual se presente una breve descripción de las categorías incluidas en el gráfico.

Figura 5. Estado de las PTAR para vertimientos de Cundinamarca



Fuente: "Consolidado de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Jurisdicción CAR" (CAR, 2017)

Tabla 6. Interpretación de estados de PTAR en Cundinamarca

ESTADO PTAR	INTERPRETACIÓN
En operación	La PTAR se encuentra en correcto funcionamiento de acuerdo a su diseño y especificaciones técnicas.
En operación (optimizada)	La PTAR se encuentra en correcto funcionamiento luego de estar sujeta a un proceso de repotenciación de sus unidades y equipos, esto con el fin de mejorar su capacidad de remoción de contaminantes.
En construcción	La PTAR se encuentra en etapa de construcción lo cual comprende la adecuación de suelos, construcción de unidades, instalación de equipos y puesta en marcha.
En optimización	La PTAR se encuentra en una etapa de construcción para la repotenciación del sistema de tratamiento ya instalado, esto con la intención de recuperar o mejorar su capacidad de remoción de contaminantes.
Con diseños	La PTAR ya cuenta con el diseño conceptual, es decir planos, cálculos, especificaciones técnicas y manuales de operación.
Cambio de Tecnología	La PTAR instalada fue reemplazada en su totalidad por otro tipo de tecnología de depuración.
Sin operación	La PTAR no está en funcionamiento pese a estar completamente construida y conectada con las respectivas redes hidráulicas para la recepción y vertimiento de efluentes.
Sin conexión	La PTAR se encuentra construida pero no está conectada con las respectivas redes hidráulicas para la recepción y vertimiento de efluentes.
Sin registros	La PTAR no cuenta con ningún tipo de información que permita clasificarla en alguno de los demás estados relacionados con su funcionamiento.

Fuente: "Consolidado de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Jurisdicción CAR" (CAR, 2017)

De acuerdo con la Figura 5, un poco más de la mitad de las PTAR que están instaladas se encuentran en operación (53%), seguido de aquellas que están siendo optimizadas (15%) y de las que no presentan registros (9). Los siguientes estados, en orden de representatividad corresponden a las PTAR sin operación (6%), en construcción (6%) y en operación – optimizada (5%).

La información existente no permite determinar la población de cada asentamiento: rural, vereda o centro poblado de un Municipio; sin embargo el DANE clasifica la población entre Cabecera Municipal y Resto (Centros Poblados).

Con base a lo anterior se encuentra que hay al menos 27 municipios en el Departamento de Cundinamarca, con una población en el casco urbano menor a 2000 habitantes, con un total de 59 vertimientos sin tratamiento alguno.

Cabe también detallar que 14 de los 27 municipios de la Tabla 7 presentan más de un vertimiento desatendido en el sector Urbano.

Tabla 7 Municipios con vertimientos sin tratamiento en las Cabeceras Municipales

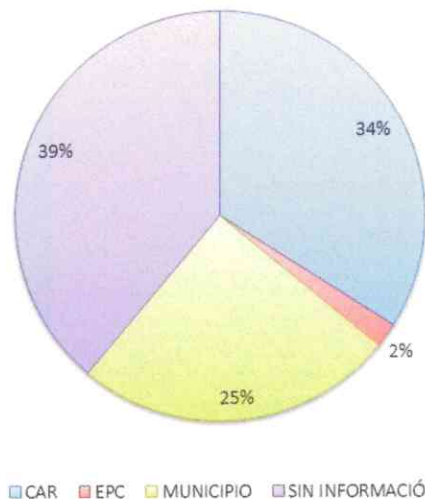
No.	Municipio	Población Cabecera Municipal	Vertimientos en la Cabecera Municipal (sin tratamiento)
1	Alban	1.512	3
2	Beltrán	294	4
3	Bituima	464	3
4	Cabrera	1.390	1
5	Carmen de Carupa	1.910	1
6	Chaguaní	1.094	1
7	Cucunubá	1.683	1
8	Fúquene	549	1
9	Guataquí	1.124	2
10	Guatavita	1.912	2
11	Guayabal de Siquima	1.041	3
12	Jerusalén	686	1
13	Nilo	1.108	1
14	Nimaima	593	2
15	Paime	782	2
16	Pandi	1.329	3
17	Pulí	586	5
18	Quebradanegra	741	1

No.	Municipio	Población Cabecera Municipal	Vertimientos en la Cabecera Municipal (sin tratamiento)
19	Quipile	1.867	1
20	San Antonio del Tequendama	1.557	2
21	Susa	1.601	1
22	Sutatausa	1.324	2
23	Tausa	883	1
24	Topaipí	1.084	1
25	Viani	1.579	10
26	Villagomez	769	1
27	Zipacón	1.469	3
Total:		30.931	59

Fuente: Registro CAR (CAR, 2017) e información de población DANE 2015.

En la Figura 6 se incluyen las fuentes de financiación de los proyectos de PTAR del departamento: aportes provenientes de la CAR (34%), seguidos de las partidas presupuestales de los municipios (25%) y la EPC (2%).

Figura 6. Fuente de recursos de financiación de PTAR en Cundinamarca



Fuente: "Consolidado de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Jurisdicción CAR" (CAR, 2017).

Como último aspecto, en la Tabla 8 se listan los tipos de tratamiento que se han implementado como solución para la descontaminación de aguas residuales del departamento.

Tabla 8 Tecnologías implementadas en PTAR municipales

UASB (Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente)	Lagunas de Oxidación
RAFA (Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente)	Lagunas Facultativas
SBR (Reactores Biológicos Secuenciales)	Lodos Activados
RAP (Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón)	Sistemas Sépticos
Biodigestor	Tanque Aerobios
Filtro Percolador	Tanques Anaerobios
Lagunas Aireadas	Zanjones de Oxidación

Fuente: "Consolidado de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Jurisdicción CAR" (CAR, 2017)

En el ANEXO 1 se adjunta, como recurso de consulta, el cuadro completo del Consolidado de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Jurisdicción CAR, así como base de datos de la EPC.

3. CARACTERIZACIÓN TEÓRICA DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MENORES O IGUALES A 2000 HABITANTES

Según la Resolución 0330 de 2017 Art. 169, Tabla 24, los aportes per cápita para aguas residuales domésticas de DBO, tiene un intervalo de 25 a 80 gramos/habitante/día, calculando la carga y demás parámetros establecidos para una población menor o igual a 2000 habitantes se obtienen los valores de la Tabla 9.

Tabla 9 Parámetros de diseño para una Población menor o igual a 2000 habitantes

DISEÑO PTAR 2000 HABITANTES PARÁMETROS DE DISEÑO			
Población	2.000	Hab	ALCANCE DEL DISEÑO
Carga per cápita	50	g/hab d	RAS 2017
SST per cápita	50	g/hab d	RAS 2017
NH ₃ -N per cápita	8,4	g/hab d	RAS 2017
NTK	12	g/hab d	RAS 2017
Coliformes totales	200.000.000.000	No. / hab d	RAS 2017
Temperatura	18	°C	
Q (m ³ /d)	238	m ³ /d	Q= Dot*Pobl*F. Retorno
Q diseño	2,75	L/s	
Carga orgánica	100	kg DBO/d	
DBO	420	mg/L	DBO afluente
SST	420	mg/L	SST afluente
NH ₃ -N	70	mg/L	Nitratos o N. amoniacal
NTK	100	mg/L	Nitrógeno Total Kjeldahl
Coliformes totales	168.067.226	NMP/100mL	RAS 2017
Dotación	140	L/hab d	RAS 2017
Factor de retorno	0,85	%	RAS 2000

En las Tabla 10 se presentan las eficiencias requeridas.

Tabla 10 Parámetros de diseño Vrs. Normatividad y Eficiencias requeridas

PARÁMETRO	AGUA CRUDA	RESOLUCIÓN 043 CAR 2015	EFICIENCIA REQUERIDA
DBO	420 mg/L	50 mg/L	88%
SS	420 mg/L	40 mg/L	91%
Nitritos (NO ₂ ⁻)	N/R	10 mg/L	N/A
NTK	100,84 mg/L	N/R	N/A
Coliformes Fecales	1,68x10 ⁸ NMP/100mL	20.000 NMP/100mL	99,99%

En esta Tabla 10, se evidencia que el parámetro que requiere mayor atención es el de los Coliformes Totales, por otro lado los Nitritos y NTK, por su ínfima concentración teórica y experimental en aguas residuales domésticas, no aplican en cuanto al diseño conceptual propuesto en el presente trabajo.

4. ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO CONCEPTUAL

Para el desarrollo del diseño conceptual se proponen tres alternativas de tratamiento para vertimientos generados por una población de 2000 habitantes.

En consideración de los bajos recursos de los que disponen y asignan los Municipios o entidades departamentales para los proyectos de saneamiento básico en especial para el tratamiento de aguas residuales, se proponen alternativas pensadas en el óptimo rendimiento de esos recursos, con soluciones de bajo costo y operación sencilla, tanto para la fase de construcción como para la puesta en marcha, operación y mantenimiento del sistema.

Con base en lo anterior se proponen alternativas de tratamiento principalmente lagunares que satisfacen el cumplimiento de la normatividad aplicada y representan la mínima inversión:

Alternativa 1: Se propone tratar las aguas residuales a través de dos lagunas, la primera Facultativa y la segunda de Maduración. Siendo el proceso Facultativo reconocido por sus altas eficiencias en remoción de DBO y SST, se propone su aplicación seguida de una Laguna de Maduración que tiene el objeto de remover los Coliformes residuales del tratamiento primario.

Alternativa 2: Trata el vertimiento a través de una Laguna Anaerobia seguida de una Laguna Facultativa y termina el proceso con una Laguna de Maduración.

Alternativa 3: Se propone tratar el vertimiento a través de un Tanque ImHoff seguido de una Laguna Facultativa que termina el tratamiento con una Laguna de Maduración para el tratamiento de los Coliformes residuales.

Las tres alternativas contemplan la construcción de una criba o rejilla a la entrada del sistema que elimina sobretamaños y un porcentaje menor de sólidos suspendidos, así como una trampa de grasas y una canaleta Parshall que permite monitorear el caudal afluente de manera constante.

FACTORES DE IMPORTANCIA PARA LA SELECCIÓN DE PROCESOS Y OPERACIONES

Para realizar un planteamiento de alternativas aplicables al diseño conceptual, se establece en primer orden los parámetros de diseño, los cuales, por sus amplios escenarios en cuanto a las características de los afluentes, requisitos de los efluentes, disponibilidad de terreno, costos y métodos de disposición ya generan una primera aproximación a los diseños factibles.

Según Romero (2005) en su tratado sobre tratamiento de aguas residuales, los factores de importancia en la selección de procesos y operaciones de tratamiento son:

- a) Factibilidad
- b) Aplicabilidad
- c) Confiabilidad
- d) Costo
- e) Características del efluente
- f) Procesamiento y producción de lodos
- g) Requerimientos de personal

En función de lo anterior y considerando el alcance del presente trabajo, en la Tabla 11 se detallan las características asociadas a cada factor de importancia, a partir de las cuales se logró hacer la selección de las alternativas más adecuadas para el caso de estudio.

Tabla 11 Factores de importancia en la selección de procesos y operaciones

FACTIBILIDAD SOSTENIBILIDAD TÉCNICA	El diseño es necesario y factible, razón por la cual se destinan para su ejecución los recursos y terreno requeridos.	10%
APLICABILIDAD SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL	Con el diseño a seleccionar se entrega el efluente con las características técnicas que cumplen con el Acuerdo 043 de 2006 (CAR) y por ende también da cumplimiento a normas menos restrictivas como la Resolución 0631 de 2015.	10%
CONFIABILIDAD SOSTENIBILIDAD TÉCNICA Y GESTIÓN DEL RIESGO	El sistema diseñado podrá soportar cargas y caudales extremos eventuales, de acuerdo al cálculo de diseño, la carga máxima será equivalente a una población de 2000 habitantes estimada en 100 kg/día de DBO ₅ . Las alternativas planteadas deberán cumplir con el tratamiento de (DBO, CF y serán resistente a cargas y caudales extremos). Adicional a lo anterior, según la Resolución 844 de 2018 "RAS RURAL", Capítulo 1, Artículo 7 y Numeral 2 (Ministerio de Vivienda, 2018), establece que como requisitos de proyectos en zonas rurales, "Estos sistemas deberán ser planeados, diseñados y construidos conforme a los requisitos técnicos contenidos en esta resolución y en la Resolución 0330 de 2017..."; además se deberán tomar en cuenta los PSMV aprobados para cada Municipio o zona de disposición.	15%
COSTO SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA	Una vez planteadas y costeadas las alternativas de diseño, se ha de escoger la de menor costo considerando no solo la construcción sino la operación y mantenimiento del sistema en su horizonte de diseño (25 años).	30%
CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE	Por las características del efluente se determinan inicialmente, los procesos del tratamiento, sus requerimientos y el cumplimiento de los parámetros establecidos en el capítulo anterior para el presente vertimiento.	15%
PROCESAMIENTO Y PRODUCCIÓN DE LODOS SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL	Se diseñarán tratamientos con producción de lodos de acuerdo al espacio físico existente para su manejo y control y de ser posible su aprovechamiento.	10%
SOSTENIBILIDAD SOCIAL	Se calificará la percepción de la comunidad y partes interesadas sobre las alternativas planteadas.	10%

En función de los factores y sus características definidas en la Tabla 11, se listan los criterios y puntajes de evaluación asociados a cada uno de ellos en la Tabla 12.

Tabla 12 Criterios y puntajes de calificación para factores de importancia

CRITERIOS DE CALIFICACIÓN	PUNTAJE
FACTIBILIDAD	
La alternativa se puede ejecutar	100
La alternativa es parcialmente ejecutable	50
La alternativa no se puede ejecutar	0
APLICABILIDAD	
Tiene restricciones técnicas de clima, características del afluente o características inhibitoras o no modificables (1-10)	0
Restricciones parciales (1-3)	50
No tiene restricciones	100
CONFIABILIDAD	
Soporta cargas y caudales extremos	100
No soporta cargas y caudales extremos	0
COSTO	
Menor costo	100
Costo intermedio	50
Mayor costo	0
CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE	
Cumple con los parámetros de diseño en el efluente	100
Cumple parcialmente, necesita proceso adicional	50
No cumple con los parámetros de diseño en el efluente	0
PROCESAMIENTO Y PRODUCCIÓN DE LODOS	
La cantidad producida de lodos es manejable	100
La cantidad producida de lodos no es manejable y requiere tratamiento e infraestructura adicional	0
SOSTENIBILIDAD SOCIAL	
Percepción favorable de las partes interesadas sobre la alternativa planteada	100
Percepción intermedia de las partes interesadas sobre la alternativa planteada	50
Percepción desfavorable de las partes interesadas sobre la alternativa planteada	0

4.1 Alternativa 1 – Sistema Lagunar (Laguna Facultativa + Laguna de Maduración)

El diagrama de flujo, se presenta en la ilustración 1.

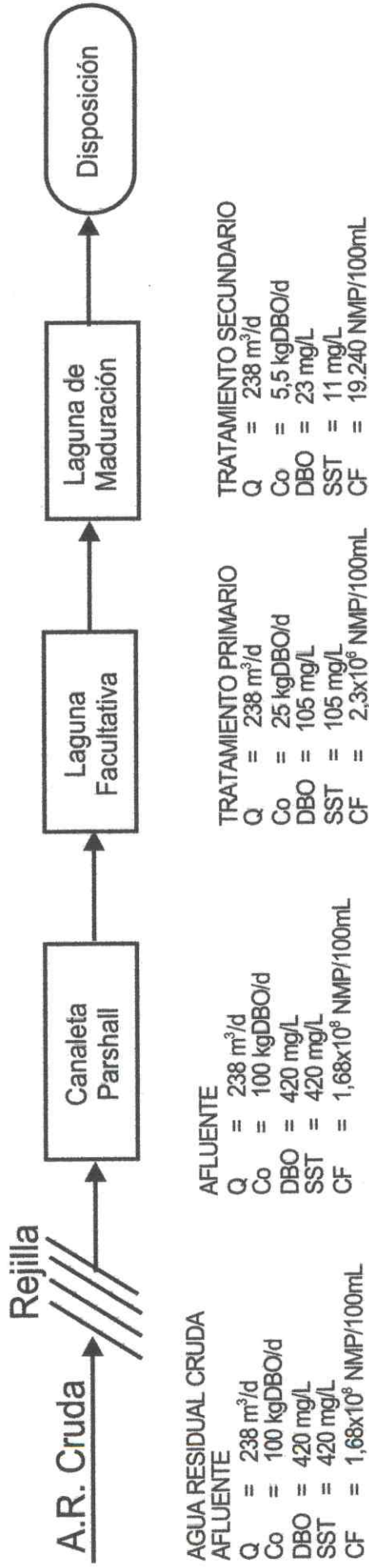


Ilustración 1 Diagrama de Flujo Alternativa 1

Diseño conceptual Alternativa 1:

El diseño conceptual se incluye en las Tablas: No. 13 "Laguna Facultativa y No. 14 "Laguna de Maduración".

Tabla 13 Laguna Facultativa Alternativa 1

Parámetro	Unidad	Valor	Referencia
Población	hab	2.000	
Dotación	L/hab d	140	RAS 2017
Factor de retorno	%	0,85	RAS 2000
Q diseño (P*Dot*Fret%)	L/s	2,75	
Carga per cápita	g/hab d	50	RAS 2017
SST per cápita	g/hab d	50	RAS 2017
Coliformes totales	No. / hab d	2,E+11	RAS 2017
Temperatura	°C	20	
Caudal afluente	m³/d	238	
Carga orgánica afluente (CO)	kgDBO/d	100	
DBO afluente	mg/L	420	
SST afluente	mg/L	420	
Coliformes Fecales afluente (No)	NMP/100mL	168.671.733	
Carga orgánica superficial máxima afluente (CSM)	kg DBO/had	401	McGarry y Pescod
Carga orgánica superficial (CSA)	kg DBO/had	381	
Carga superficial removida (CSR)	kg DBO/had	287	McGarry y Pescod
Largo (L)	m	75	
Ancho (W)	m	35	
Área Laguna	m²	2.625	
Área Laguna	ha	0,26	
Profundidad de agua (H)	m	2,5	
Volumen calculado (V)	m³	6.563	

Parámetro	Unidad	Valor	Referencia
Borde libre	m	0,8	
Eficiencia en DBO=Eficiencia CO	%	75	McGarry y Pescod Ec. 6.21
DBO efluente primario	mg/L	105	
Carga orgánica efluente primario	kgDBO/d	25	
Tiempo de retención (θ)	día	27,5	
Constante de Mortalidad	d ⁻¹	2,60	
Coliformes Fecales efluente primario (N)	NMP/100mL	2'320.388	
Eficiencia en Coliformes Fecales	%	98,62	
Eficiencia en SST	%	75	RAS 2017
SST efluente primario	mg/L	105	

Tabla 14 Laguna de Maduración Alternativa 1

Parámetro	Unidad	Valor	Referencia
Carga orgánica afluente (CO)	kgDBO/d	25	
DBO efluente primario	mg/L	105	
SST efluente primario	mg/L	105	
Coliformes Fecales efluente primario (No)	NMP/100mL	2.320.388	
Carga orgánica superficial (CSA)	kg DBO/had	45	
Largo	m	110	
Ancho	m	50	
Área Laguna	ha	0,55	
Profundidad de agua (H)	m	2	
Volumen (V)	m ³	11.000	
Borde libre	m	0,50	
Eficiencia en DBO	%	78%	RAS 2000
DBO efluente	mg/L	23	
Carga orgánica efluente	kgDBO/d	5,5	
Tiempo de retención (θ)	día	46	
Constante de Mortalidad	d ⁻¹	2,60	$K_b = 2,6 \cdot 1,19^{(T-20)}$ Ec. Marais
Coliformes Fecales efluente (N)	NMP/100mL	19.240	$N = N_0 / (1 + K_b \cdot \theta)$

Parámetro	Unidad	Valor	Referencia
Eficiencia en Coliformes Fecales	%	99,17	Ef=1-(N/No)%
Eficiencia en SST	%	90	RAS 2000
SST efluente	mg/L	11	

El presupuesto de la Alternativa se expone resumido por capítulos en la Tabla 15.

Tabla 15 Presupuesto Alternativa 1

RESUMEN DE COSTOS POR CAPÍTULO	ALTERNATIVA 1
CRIBA, TRAMPA DE GRASAS Y CANALETA PARSHALL	\$ 1.320.194
LAGUNA FACULTATIVA	\$ 434.337.750
LAGUNA DE MADURACIÓN	\$ 431.513.950
COSTO PTAR	\$ 867.171.894
OPERACIÓN \$ / año	\$ 18.000.000
INDICADORES	
COSTO PTAR, \$ / hab	\$ 433.586
COSTO OPERACIÓN \$ / m ³	\$ 207

4.2 Alternativa 2 – Sistema lagunar: (Laguna Anaerobia + Laguna Facultativa + Laguna de Maduración).

El diagrama de flujo, se presenta en la ilustración 2.

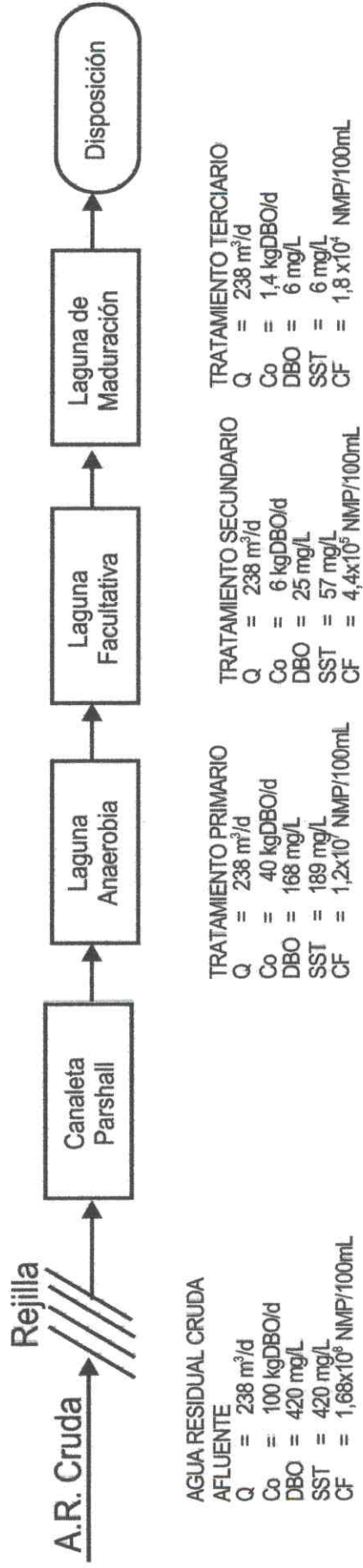


Ilustración 2 Diagrama de Flujo Alternativa 2

Diseño conceptual Alternativa 2:

El diseño conceptual se incluye en las Tablas: No. 16 "Laguna Anaerobia", No. 17 "Laguna Facultativa" y Tabla No. 18 "Laguna de Maduración".

Tabla 16 Laguna Anaerobia Alternativa 2

Parámetro	Unidad	Valor	Referencia
Población	hab	2.000	
Dotación	L/hab d	140	RAS 2017
Factor de retorno	%	0,85	RAS 2000
Q diseño (P*Dot*Fret%)	L/s	2,75	
Carga per cápita	g/hab d	50	RAS 2017
SST per cápita	g/hab d	50	RAS 2017
Coliformes totales	No. / hab d	200.000.000.000	RAS 2017
Temperatura	°C	20	
Caudal afluente	m ³ /d	238	
Carga orgánica afluente (CO)	kgDBO/d	100	
DBO afluente	mg/L	420	
SST afluente	mg/L	420	
Coliformes Fecales afluente (No)	NMP/100mL	168.067.227	
Carga orgánica superficial (CSA)	kgDBO/had	2.083	
COV MAX.	gDBO/m ³ d	500	RAS 2017
COV	gDBO/m ³ d	140	RAS 2017
Tiempo de retención (θ)	día	5	RAS 2000
Profundidad de agua (H)	m	3	RAS 2017
Producción lodos per cápita por año	m ³ /hab.año	0,04	RAS 2000
Largo	m	24	
Ancho	m	10	
Área laguna	m ²	240	
Volumen lodos	m ³ /año	80	RAS 2000
Período de desenlode	años	6	RAS 2000

Parámetro	Unidad	Valor	Referencia
Volumen lodos para 6 años	m ³	480	
Volumen laguna	m ³	1.440	
Borde libre	m	0,5	
Eficiencia en DBO	%	60	RAS 2017
DBO efluente primario	mg/L	168	
Carga orgánica efluente primario	kgDBO/d	40	
Constante de Mortalidad	d ⁻¹	2,60	$K_b = 2,6 \cdot 1,19^{(T-20)}$ Ec. Marais
Coliformes Fecales efluente primario (N)	NMP/100mL	12.004.802	$N = N_0 / (1 + K_b \cdot \theta)$
Eficiencia en Coliformes Fecales	%	92,86	$E_f = 1 - (N/N_0)\%$
Eficiencia en SST	%	55	RAS 2017
SST efluente primario	mg/L	189	

Tabla 17 Laguna Facultativa Alternativa 2

Parámetro	Unidad	Valor	Referencia
Q diseño (P*Dot*Fret%)	L/s	2,75	
Temperatura	°C	20	
Caudal afluente	m ³ /d	238	
DBO efluente primario	mg/L	168	
SST efluente primario	mg/L	189	
Coliformes Fecales afluente (No)	NMP/100mL	12.004.802	
Borde libre	m	0,80	
Eficiencia en DBO	%	85	RAS 2017
DBO Efluente	mg/L	25	
Tiempo de retención (θ)	día	10	
Constante de Mortalidad	d ⁻¹	2,60	$K_b = 2,6 \cdot 1,19^{(T-20)}$ Ec. Marais
Coliformes Fecales efluente secundario (N)	NMP/100mL	444.622	$N = N_0 / (1 + K_b \cdot \theta)$
Eficiencia en Coliformes Fecales	%	96,30	$E_f = 1 - (N/N_0)\%$
Eficiencia en SST	%	70	RAS 2017

Parámetro	Unidad	Valor	Referencia
SST efluente secundario	mg/L	57	
Carga orgánica superficial aplicada	kgDBO/had	333	
Carga orgánica superficial máxima	kgDBO/had	350	RAS 2017
Largo	m	60	
Ancho	m	20	
Área Laguna	ha	0,12	
Profundidad de agua (H)	m	2	RAS 2017
Volumen laguna	m ³	2.400	
Producción de lodos	m ³ /año	60	
Período de desenlode	años	13	
CO efluente secundario	kgDBO/d	6	

Tabla 18 Laguna de Maduración Alternativa 2

Parámetro	Unidad	Valor	Referencia
Caudal afluente	m ³ /d	238	
DBO efluente secundario	mg/L	25	
SST efluente secundario	mg/L	57	
Coliformes Fecales efluente secundario (No)	NMP/100mL	444.622	
Borde libre	m	0,80	
Eficiencia en DBO	%	76	RAS 2000
DBO Efluente	mg/L	6	
Tiempo de retención (θ)	día	9,45	
Constante de Mortalidad	d ⁻¹	2,60	$K_b = 2,6 * 1,19^{(T-20)}$ Ec. Marais
Coliformes Fecales efluente (N)	NMP/100mL	17.388	$N = No / (1 + K_b * \theta)$
Eficiencia en Coliformes Fecales	%	96,09	$E_f = 1 - (N/No) %$
Eficiencia en SST	%	90	RAS 2000
SST efluente	mg/L	6	

Parámetro	Unidad	Valor	Referencia
Largo	m	75	
Ancho	m	20	
Área Laguna	m ²	1.500	
Área Laguna	ha	0,15	
Profundidad de agua (H)	m	1,5	
Volumen (V)	m ³	2.250	
Carga orgánica superficial aplicada	kgDBO/had	40	
Carga orgánica superficial máxima	kgDBO/had	350	RAS 2017
Producción de lodos	m ³ /año	60	
Período de desenlode	años	12,5	

El presupuesto de la Alternativa 2 se expone resumido en la Tabla 19.

Tabla 19 Presupuesto Alternativa 2

RESUMEN DE COSTOS POR CAPÍTULO	ALTERNATIVA 2
CRIBA, TRAMPA DE GRASAS Y CANALETA PARSHALL	\$ 1.320.194
LAGUNA ANAEROBIA	\$ 56.562.000
LAGUNA FACULTATIVA	\$ 268.025.500
LAGUNA DE MADURACIÓN	\$ 265.789.450
COSTO PTAR	\$ 591.697.144
OPERACIÓN \$ / año	\$ 18.000.000
INDICADORES	
COSTO PTAR, \$ / hab	\$ 295.849
COSTO OPERACIÓN \$ / m ³	\$ 207

4.3 Alternativa 3 – Sistema Anaerobio y Lagunar (Tanque Im-Hoff + Laguna Facultativa + Laguna de Maduración + Laguna de Maduración).

El diagrama de flujo, se presenta en la ilustración.

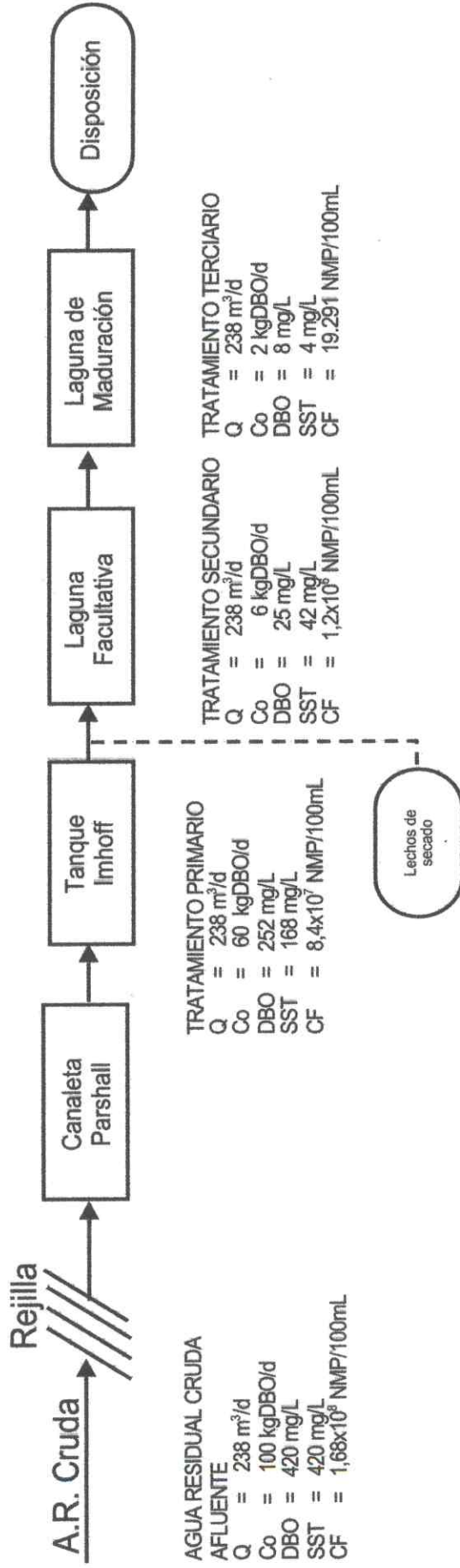


Ilustración 3 Diagrama de Flujo Alternativa 3

Diseño conceptual Alternativa 3:

El diseño conceptual se incluye en las Tablas: No. 20 "Tanque Imhoff", No. 21 "Laguna Facultativa" y Tabla No. 22 "Laguna de Maduración".

Tabla 20 Tanque Imhoff Alternativa 3

Parámetro	Unidad	Valor	Referencia
Población	hab	2.000	
Dotación	L/hab-d	140	RAS 2017
Factor de retorno	%	0,85	RAS 2000
Q diseño (P*Dot*Fret%)	L/s	2,75	RAS 2017
Carga per cápita	g/hab d	50	RAS 2017
SST per cápita	g/hab d	50	RAS 2017
Coliformes totales	No. / hab d	2,E+11	RAS 2017
Temperatura	°C	20	
Caudal afluente	m ³ /d	238	
Carga orgánica afluente (CO)	kgDBO/d	100	
DBO afluente	mg/L	420	
SST afluente	mg/L	420	
Coliformes Fecales afluente	NMP/100mL	168.067.227	
Tiempo de Retención por sedimentación	hrs	2	RAS 2017
Carga Superficial Sedimentador	m ³ /m ² .d	24	RAS 2017
Altura	m	5,1	
Volumen de sedimentador	m ³	20	
Borde libre	m	0,3	
Área sedimentación	m ²	9,92	
Area final sedimentación	m ²	10	
Ancho zona de sedimentación	m	2	
Largo	m	5	
Profundidad zona sedimentador	m	2	
Altura fondo de sedimentador	m	0,2	
Altura total sedimentador	m	2,5	

Parámetro	Unidad	Valor	Referencia
Espaciamiento libre pared digestor al sedimentador	m	1	
Ángulo fondo sedimentador	°	60	
Ángulo fondo sedimentador	radianes	1,05	
Distancia fondo de sedimentador a altura máxima de lodos (zona neutra)	m	0,5	
Espesor muros sedimentador	m	,15	
Inclinación tolva en digestor	°	15	
Inclinación tolva en digestor	radianes	0,26	
Altura de lodos en digestor	m	1,55	
Volumen de lodos en digestor	m ³	40	
Altura fonde de digestor	m	0,58	
Altura total Tanque Imhoff:	ml	5,1	
Volumen Tanque Imhoff	m ³	60	
Coliformes Fecales efluente primario	NMP/100mL	84.033.613	
Eficiencia en DBO	%	40	RAS 2017
DBO efluente primario	mg/L	252	
Carga orgánica efluente primario (CO)	kgDBO/d	60	
Eficiencia en Coliformes Fecales	%	50	RAS 2017
Eficiencia en SST	%	60	RAS 2017
SST efluente primario	mg/L	168	
Vol de lodos	m ³ /mes	6,7	
Volumen de lodos para período de desenlode 6 meses	m ³	40	
Período de desenlode	meses	6	RAS 2017

Tabla 21 Laguna Facultativa Alternativa 3

Parámetro	Unidad	Valor	Referencia
Caudal afluente	m ³ /d	238	
DBO efluente primario	mg/L	252	
Carga orgánica efluente primario (CO)	kgDBO/d	60	
SST efluente primario	mg/L	168	

Parámetro	Unidad	Valor	Referencia
Coliformes Fecales efluente primario (No)	NMP/100mL	84.033.613	
Borde libre	m	0,80	
Eficiencia en DBO	%	90	RAS 2017
DBO efluente secundario	mg/L	25	
Tiempo de retención (θ)	día	25	
Constante de Mortalidad	d ⁻¹	2,60	$K_b = 2,6 * 1,19^{(T-20)}$ Ec. Marais
Coliformes Fecales efluente secundario (N)	NMP/100mL	1.273.237	$N = N_o / (1 + K_b * \theta)$
Eficiencia en Coliformes Fecales	%	98,48	$E_f = 1 - (N/N_o) %$
Eficiencia en SST	%	75	RAS 2017
SST efluente secundario	mg/L	42	
Largo	m	85	
Ancho	m	35	
Área Laguna	ha	0,30	
CDS	kgDBO/had	2	
Profundidad de agua (H)	m	2	
Volumen	m ³	5.950	
COV	g/m ³ d	10	
Producción de lodos	m ³ /año	60	
Período de desenlode	años	33	
Carga orgánica efluente	kg DBO/d	6	

Tabla 22 Laguna de Maduración Alternativa 3

Parámetro	Unidad	Valor	Referencia
Caudal afluente	m ³ /d	238	
DBO efluente secundario	mg/L	25	
SST efluente secundario	mg/L	42	
Coliformes Fecales efluente secundario	NMP/100mL	1.273.237	
Volumen Laguna (V)	m ³	5.950	
Borde libre	m	0,80	

Parámetro	Unidad	Valor	Referencia
Eficiencia en DBO	%	70	RAS 2000
DBO Efluente	mg/L	8	
Tiempo de retención (θ)	día	25	
Constante de Mortalidad	d-1	2,60	$K_b = 2,6 * 1,19^{(T-20)}$ Ec. Marais
Coliformes Fecales efluente (N)	NMP/100mL	19.291	$N = N_0 / (1 + K_b * \theta)$
Eficiencia en Coliformes Fecales	%	98,48	$E_f = 1 - (N/N_0) %$
Eficiencia en SST	%	90	RAS 2000
SST efluente	mg/L	4	
Largo	m	115	
Ancho	m	35	
Área Laguna	m ²	4.025	
Área Laguna	ha	0,40	
Profundidad de agua (H)	m	1,5	
Volumen (V)	m ³	6.038	
Producción de lodos	m ³ /año	60	
Período de desenlode	años	34	
Carga Orgánica Efluente	kgDBO/d	2	

El presupuesto de la Alternativa 3 se expone resumido en la Tabla 23.

Tabla 23 Presupuesto Alternativa 3

RESUMEN DE COSTOS POR CAPÍTULO	ALTERNATIVA 3
CRIBA, TRAMPA DE GRASAS Y CANALETA PARSHALL	\$ 1.320.194
TANQUE IMHOFF	\$ 34.674.900
LAGUNA FACULTATIVA	\$ 595.266.000
LAGUNA DE MADURACIÓN	\$ 698.884.450
OPERACIÓN \$ / año	\$ 18.000.000
INDICADORES	
COSTO PTAR, \$ / hab	\$ 665.073
COSTO OPERACIÓN \$ / m ³	\$ 207

ESQUEMA DIMENSIONES TANQUE IMHOFF

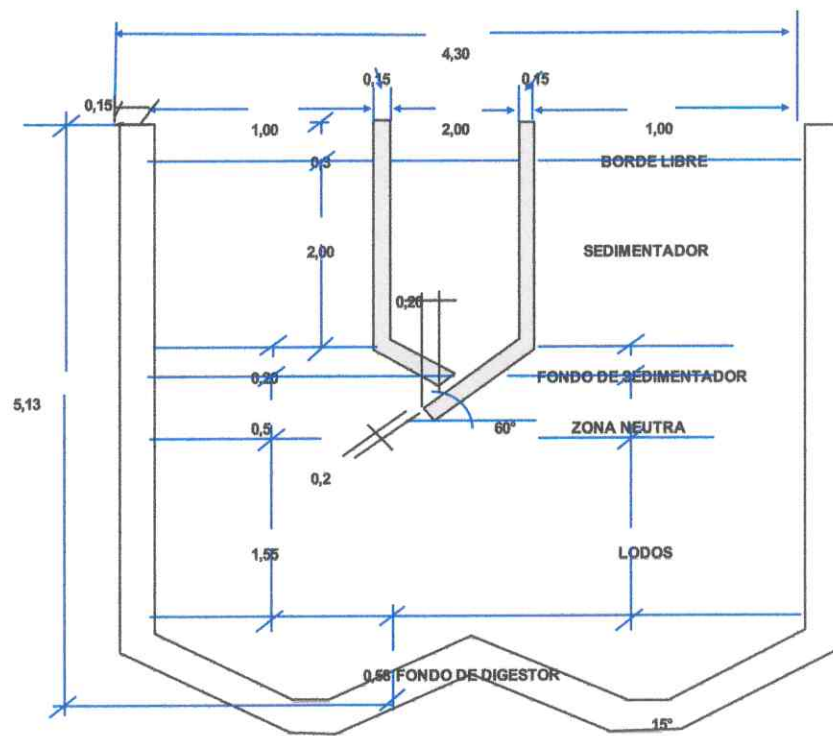
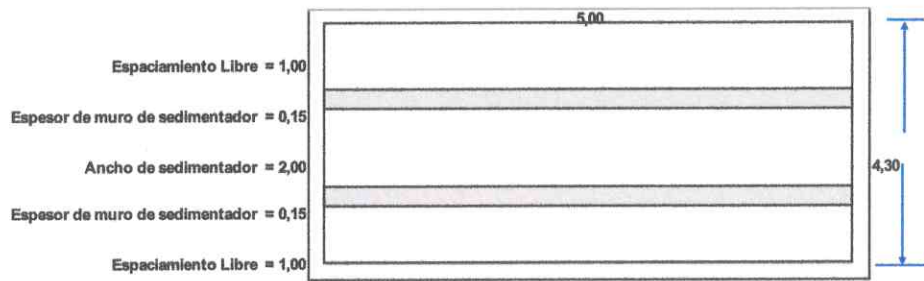


Ilustración 4 Esquema Tanque Imhoff

Tabla 24 Comparativo de dimensiones de cada alternativa

DIMENSIÓN	UN	ALTERNATIVA		
		1	2	3
Tratamiento		L. Facultativa	L. Anaerobia	T. Imhoff
Alto efectivo	m	2,5	3	5,1
Borde libre	m	0,8	0,5	0,3
Unidades	#	1	1	1
Ancho	m	35	10	4,3
Largo	m	75	24	5
Tratamiento		L. Maduración	L. Facultativa	L. Facultativa
Alto efectivo	m	2	2	2
Borde libre	m	0,5	0,8	0,8
Unidades	#	1	1	1
Ancho	m	50	20	35
Largo	m	110	60	85
Tratamiento			L. Maduración	L. Maduración
Alto efectivo	m		1,5	1,5
Borde libre	m		0,8	0,8
Unidades	#		1	1
Ancho	m		20	35
Largo	m		75	115
Área Total	m2	8.125	2.940	7.022
Volumen Total	m3	17.563	5.370	12.098

4.1 Tablas comparativas de Eficiencias y Costos

Tabla 25 Comparativo de eficiencias de Alternativas de Tratamiento

PARAMETRO	UN	CONDICIONES INICIALES	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
			EFICIENCIA	SALIDA	EFICIENCIA	SALIDA	EFICIENCIA	SALIDA
CO	kgDBO/d	100	95%	6	99%	1	98%	2
DBO	mg/L	420	95%	23	99%	6	98%	8
SST	mg/L	420	97%	11	99%	6	99%	4
CT	NMP/100ML	168.067.227	100%	19.240	100%	17.388	100%	19.291

Tabla 26 Comparativo de Costos de Alternativas

RESUMEN DE COSTOS POR CAPITULO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
PRETRATAMIENTO	\$ 1.320.194	\$ 1.320.194	\$ 1.320.194
TRATAMIENTO PRIMARIO	\$ 434.337.750	\$ 56.562.000	\$ 34.674.900
TRATAMIENTO SECUNDARIO	\$ 431.513.950	\$ 268.025.500	\$ 595.266.000
TRATAMIENTO TERCARIO		\$ 265.789.450	\$ 698.884.450
SUBTOTAL OBRA	\$ 867.171.894	\$ 591.697.144	\$ 1.330.145.544
OPERACIÓN	\$ 18.000.000	\$ 18.000.000	\$ 18.000.000
INDICADORES			
COSTO DE INVERSIÓN \$ / hab	\$ 433.586	\$ 295.849	\$ 665.073
COSTO OPERACIÓN \$ / m ³	\$ 207	\$ 207	\$ 207

Matriz de selección

De acuerdo con los aspectos detallados y trabajados en los numerales anteriores, finalmente se estructuró la matriz multicriterio para la selección de la alternativa de tratamiento más idónea (Tabla 28).

Tabla 27 Matriz multi-criterio para selección de alternativas de tratamiento

VARIABLE	PESO	ALTERNATIVA 1 Sistema Lagunar (Facultativa+Maduración)		ALTERNATIVA 2 Sistema Lagunar (Anaerobia+Facultativa+Maduración)		ALTERNATIVA 3 Sistema Anaerobio (Tanque Imhoff + Laguna Facultativa+Laguna de Maduración)				
		Descripción	Calif.	Pond.	Descripción	Calif.	Pond.	Descripción	Calif.	Pond.
FACTIBILIDAD	10%	Ejecutable	100	10	Ejecutable	100	10	Ejecutable	100	10
APLICABILIDAD	10%	Restricciones parciales de grandes áreas requeridas.	0	0	Restricciones parciales de clima y área, genera olores.	100	10	Restricciones sobre sustancias inhibidoras	100	10
CONFIABILIDAD	15%	Tolerancia altas cargas orgánicas y cumple todos los requisitos técnicos establecidos	100	15	Tolerancia altas cargas orgánicas y cumple todos los requisitos técnicos establecidos	100	15	No soporta caudales extremos, pero si cumple con los requisitos técnicos.	50	7,5
COSTO	30%	Mayor costo	0	0	Menor costo	100	30	Mayor costo	0	0
CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE	15%	Cumple.	100	15	Cumple.	100	15	Cumple.	100	15
PROCESAMIENTO Y PRODUCCIÓN DE LODOS	10%	Período de desenlode mayor a 10 años	100	10	Período de desenlode 6 años	50	5	Requiere postratamiento y manejo semestral de extracción de lodos	0	0
SOSTENIBILIDAD SOCIAL	10%	No tienen percepción favorable	0	0	No tienen percepción favorable	0	0	Percepción medianamente favorable	50	5
TOTALES	100%			50			85			47,5

Tomando en consideración la puntuación total obtenida a partir de la sumatoria de las calificaciones asignadas a los criterios de cada alternativa, se tiene que la opción de tratamiento más viable corresponde a la **ALTERNATIVA 2 SISTEMA LAGUNAR COMPUESTO POR UNA LAGUNA ANAEROBIA + LAGUNA FACULTATIVA + LAGUNA DE MADURACIÓN**.

5 DISEÑO CONCEPTUAL SELECCIONADO

El sistema de tratamiento seleccionado para una población de 2000 habitantes o menos corresponde a un sistema lagunar.

Con base en los factores de importancia de la Tabla 11 y su calificación en la Tabla 27, se recomienda la implementación de la Alternativa 2 por las siguientes razones:

1. Menor costo constructivo y de operación.
2. La extracción de lodos requiere un mínimo de esfuerzo operativo a plazos extensos.
3. Mínima área de terreno a utilizar.
4. No requiere personal especializado para su operación y mantenimiento.
5. Su construcción no reviste complejidad alguna.
6. Posibilidad de reúso del efluente para sistemas de riego y pecuario con restricciones.
7. Tiempos cortos de ejecución.
8. El sistema cumple con la normatividad aplicada y es capaz de soportar cargas extremas.

6 CONCLUSIONES

La Alternativa recomendada genera una solución óptima para vertimientos y cumplimiento de los parámetros más restrictivos de la normatividad colombiana en el alcance estimado que es una población menor o igual a 2000 habitantes con una carga máxima de 100 kg/día en 238 m³/día.

La Alternativa recomendada consiste en una serie de Lagunas que inicia con una Anaerobia seguida de una Facultativa para terminar con una laguna de Maduración.

Esta alternativa se recomienda por generar alta eficiencia con un mínimo de área a utilizar, mínimo impacto ambiental y social y costo mínimo de inversión.

REFERENCIAS

- Beatriz U. B. (2010). *Decreto número 9330 del 15 de octubre de 2010*. 29. Retrieved from http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec_3930_2010.pdf
- CAR. (2017). *Consolidado de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Jurisdicción de la CAR*. Bogotá D.C., Cundinamarca. Obtenido de <https://www.car.gov.co/>
- DANE. (2017). *Geoportal: Marco Geoestadístico Nacional*. Obtenido de Versión 2017: <https://geoportal.dane.gov.co/descargamgn.html>
- DANE. (2018). *Análisis de Información de CNPV 2018 en Cundinamarca*. Bogotá D.C. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentacion-CNPV-2018-Cundinamarca.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación. Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan nacional de aguas residuales. Documento Conpes 3177, Julio 15 de 2002.
- Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente, Resolución 1074, octubre 28 de 1997.
- EPC. (2017). *Empresas Pública de Cundinamarca*. Obtenido de Plan Estratégico 2016-2020: <http://www.cundinamarca.gov.co/wcm/connect/dec0b437-0297-4810-b1b8-f74a3421c2bf/EMPRESAS+P%C3%9ABLICAS+DE+CUNDINAMARCA.pdf?MOD=AJPERES&CVID=IHZ2pcG&CVID=IHZ2pcG>
- Gobernación de Cundinamarca. (2016). Plan de Desarrollo Departamental 2016-2020. *Anexo 3.2 Perfil Situacional del Departamento*. Cundinamarca. Obtenido de <http://www.cundinamarca.gov.co:10039/Home/Gobernacion.gc>
- Ministerio de Agricultura, Decreto 1594, 25 de junio de 1984.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (S/F). *Observatorio Colombiano de Gobernanza del Agua*. Obtenido de Sentencia del Río Bogotá: <http://www.ideam.gov.co/web/ocga/sentencia>
- Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Bogotá Noviembre de 2000.

Ministerio de Vivienda, C. y T. C. (2018). *20181108 MVCT RES 0844 RAS RURAL.pdf* (p. 44). p. 44. Retrieved from [http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0844 - 2018.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0844-2018.pdf)

Romero, J. A. (2005). Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. *Escuela Colombiana de Ingeniería*. <https://doi.org/10.1039/c5ra02799c>

Romero, J. A. (2015). Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. In *Escuela colombiana de ingeniería*.

Romero, J. A. (s.f.) Tratamiento de Aguas Residuales. Edit. Escuela Colombiana de Ingeniería, Feb. 2015.

Sentencia Río de Bogotá, AP-25000-23-27-000-2001-90479-01 (Consejo de Estado 28 de Marzo de 2014).

Universidad de los Andes, Concentraciones de referencias para los vertimientos industriales realizados a la red de alcantarillado y de los vertimientos industriales y domésticos efectuados a cuerpos de agua de la ciudad de Bogotá. Comparación de parámetros de vertimientos en cuerpos de agua.

WPCF. Industrial Wastewater Control Program for Municipal Agencies, Manual of Practice OM-4-1982.