

**DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y FUNCIONAL DEL ESTADO ACTUAL DEL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA MUNICIPAL DE
TENJO – DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA**

**MATEUS GONZÁLEZ DIANA MARILSA
RODRÍGUEZ JIMÉNEZ DIEGO ALEJANDRO**



**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2015**

**DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y FUNCIONAL DEL ESTADO ACTUAL DEL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA MUNICIPAL DE
TENJO – DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA**

**MATEUS GONZÁLEZ DIANA MARILSA
RODRÍGUEZ JIMÉNEZ DIEGO ALEJANDRO**

**Proyecto presentado como requisito para optar a:
Proyecto de grado**

Asesores

**Disciplinar: MIGUEL ROBERTO HERNANDEZ VIRVIESCAS, Ingeniero Civil
Metodológico: BIBIANA CAROLINA GÓMEZ SALGADO, Licenciada**

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2015**

Nota de aceptación:

Jurado del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, 13 Noviembre 2015.

DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis maestros.

Anónimo por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis; anónimo por su apoyo ofrecido en este trabajo.

A mis Padres.

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	19
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
2. JUSTIFICACIÓN	22
3. OBJETIVOS	24
3.1 OBJETIVO GENERAL	24
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	24
4. ANTECEDENTES	25
4.1 REHABILITACIÓN DE LA PTAR FUNZA	25
4.2 OPTIMIZACIÓN PTAR MUNICIPIO DE TABIO, CUNDINAMARCA	27
5. MARCO REFERENCIAL	29
5.1 MARCO GEOGRÁFICO	29
5.1.1 Ubicación y descripción general.	29
5.1.2 División política Administrativa.	31
5.1.3 Aspectos Económicos y Población.	31
5.1.4 Usos del suelo.	31
5.1.4.1 Uso forestal:	31
5.1.4.2 Uso Agrícola:	31
5.1.4.3 Uso Pecuario	31
5.1.4.4 Uso Urbano e Infraestructura	31
5.1.5 Unidad climática	32
5.1.6 Hidrografía	32
5.1.6.1 Subcuenca del río Chicú	33
5.1.7 Sistemas de acueducto	34
5.1.8 Sistema de alcantarillado sanitario y pluvial	34
5.1.8.1 Alcantarillado sector urbano	35
5.2 MARCO DEMOGRÁFICO	36
5.2.1 Cálculo De La Población	36
5.2.1.1 Nivel de Complejidad del Sistema.	37
5.2.1.2 Proyección de la Población	37
5.2.1.3 Dotación neta	39
5.3 MARCO CONCEPTUAL	40
5.3.1 Fuentes de las aguas residuales	40
5.3.2 Contaminantes de importancia en las aguas residuales	41
5.3.3 Características físicas, químicas y biológicas del agua residual	42
5.3.3.1 Caracterización física.	42

5.3.3.2	Caracterización Química	42
5.3.3.3	Caracterización bacteriológica.	43
5.3.4	Clasificación de los métodos de tratamiento de las aguas residuales	44
5.3.4.1	Operaciones físicas unitarias	45
5.3.4.2	Procesos químicos unitarios	46
5.3.4.3	Procesos biológicos unitarios.	47
5.3.5	Etapas de tratamiento de aguas residuales	48
5.3.5.1	Tratamiento primario.	48
5.3.5.2	Tratamiento secundario	50
5.3.5.3	Tratamiento terciario.	52
5.3.5.4	Tratamiento avanzado / Recuperación del agua residual.	53
5.4	SISTEMAS DE TRATAMIENTO EN EL MUNICIPIO DE TENJO	53
5.4.1	Planta de tratamiento tipo RAP	53
5.4.1.1	Rap.	53
5.4.1.2	Tanque sedimentador:	54
5.4.1.3	Disposición final:	54
5.4.1.4	Control de Operaciones en el RAP.	55
5.4.2	Planta De Tratamiento Tipo Laguna de Oxidación	55
5.5	MARCO JURIDICO	56
6.	DISEÑO METODOLÓGICO	58
6.1.	ENFOQUE METODOLÓGICO	58
6.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	58
6.3.	FASES DE LA INVESTIGACIÓN	58
6.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	59
6.4.1	Visitas de campo y observación	59
6.4.2	Entrevista	60
6.4.3	Registro Fotográfico	60
6.4.4	Pruebas de Laboratorio	60
7.	RESULTADOS	61
7.1	EVALUACIÓN DEL ESTADO FÍSICO Y DE FUNCIONAMIENTO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO	61
7.1.1	Planta de Tratamiento Tipo RAP (Reactor Anaerobio de Flujo A Pistón)	61
7.1.2	Planta de tratamiento tipo laguna de oxidación	62
7.2	Identificación de Puntos de Vertimiento de Aguas Residuales	66
7.2.1	Planta de Tratamiento Tipo RAP (Reactor Anaerobio de Flujo A Pistón)	66
7.2.2	Planta de Tratamiento Tipo Laguna de Oxidación	67
7.3	Caracterización del agua residual las PTAR´S del Municipio de Tenjo	67

7.3.1 Planta de Tratamiento Tipo RAP (Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón)	68
7.3.2 Planta de Tratamiento Tipo Laguna de Oxidación	69
7.4 Análisis de la eficiencia en las PTAR	70
7.4.1 Eficiencia de la PTAR RAP	70
7.4.2 Eficiencia de la PTAR laguna de oxidación	71
7.5 proyección de la población	71
7.4.1 Método de proyección aritmético	71
7.4.2 Proyección Geométrica	73
7.4.3 Método de proyección exponencial	76
7. CONCLUSIONES	81
8. RECOMENDACIONES	82
BIBLIOGRAFÍA	83

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Límites del municipio de Tenjo _____	29
Tabla 2. Cobertura de servicios municipio de Tenjo _____	35
Tabla 3. Tuberías de alcantarillado en el municipio de Tenjo _____	35
Tabla 4. Datos históricos de población _____	36
Tabla 5. Nivel de complejidad del sistema _____	37
Tabla 6. Métodos de cálculo para la proyección de la población según el nivel de complejidad del sistema _____	37
Tabla 7. Dotación neta máxima _____	40
Tabla 8. Contaminantes de importancia en las aguas residuales _____	42
Tabla 9. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias _____	43
Tabla 10. Aplicaciones de las operaciones físicas en el tratamiento de aguas residuales. _____	45
Tabla 11. Aplicaciones de los procesos químicos unitarios en el tratamiento del agua residual _____	46
Tabla 12. Fases de la investigación _____	59
Tabla 13. Componentes del sistema y su estado físico _____	65
Tabla 14. Parámetros analizados _____	68
Tabla 15. Caracterización de aguas residuales PTAR RAP _____	69
Tabla 16. Caracterización de las aguas residuales en la PTAR Laguna de Oxidación _____	70
Tabla 17. Proyección de la población _____	79

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Zanjón de oxidación PTAR Funza, año 2014.....	26
Imagen 2. PTAR Funza, año 2015.....	27
Imagen 3. Optimización PTAR Tabio.....	28
Imagen 4. Límites y clima en el municipio de Tenjo.....	30
Imagen 5. Hidrografía del municipio de Tenjo	32
Imagen 6. Localización de la subcuenca del río Chicú	33
Imagen 7. Principales fuentes de aguas residuales municipales.....	41
Imagen 8. Tratamiento primario	49
Imagen 9. Tratamiento de aguas residuales típico	52
Imagen 10. Reactor RAP Tratamiento secundario.....	54
Imagen 11. Planta tipo RAP, municipio de Tenjo.....	54
Imagen 12. Laguna de oxidación municipio de Tenjo	56
Imagen 13. Vertedero de excesos	63
Imagen 14. Sistema de cribado	64
Imagen 15. Desarenadores	64
Imagen 16. Efecto ballena en laguna de oxidación.....	65
Imagen 17. Vertimiento del efluente de la PTAR RAP	66
Imagen 18. Vertimiento del efluente en la PTAR laguna de oxidación	67

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. REGISTRO FOTOGRAFICO87

ANEXO B. PLANOS PTAR RAP Y LAGUNA DE OXIDACIÓN ¡Error! Marcador no definido.

GENERALIDADES

DIAGNÓSTICO TÉCNICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA MUNICIPAL DE TENJO- DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA

LINEA DE INVESTIGACIÓN

Servicios Básicos y Complementarios

SUBLINEA DE INVESTIGACION

SEMILLERO

HIDROTECNIA

NOMBRE DEL INVESTIGADOR

Diana Marilsa Mateus González
Diego Alejandro Rodríguez Jiménez

NOMBRE ASESORES

Disciplinar: MIGUEL ROBERTO HERNANDEZ VIRVIESCAS, Ingeniero Civil
Metodológico: BIBIANA CAROLINA GÓMEZ SALGADO, Licenciada

LUGAR DONDE SE REALIZA EL PROYECTO

MUNICIPIO: Tenjo
DEPARTAMENTO: Cundinamarca
AÑO: 2015

GLOSARIO

AFLUENTE¹: agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, o algún proceso de tratamiento.

AGUAS: crudas Aguas residuales que no han sido tratadas.

AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES: agua residual de origen doméstico, industrial, comercial e institucional que contiene desechos humanos.

AGUAS RESIDUALES: agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria.

AIREACIÓN: proceso de transferencia de masa, generalmente referido a la transferencia de oxígeno al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido).

ALCANTARILLA: es una tubería o conducto, en general cerrado, que normalmente fluye a medio llenar, transportando aguas residuales o lluvias.

ALCANTARILLA COMBINADA: transporta tanto aguas residuales como aguas lluvias.

ALCANTARILLA PLUVIAL: transporta aguas lluvias y cualquier otro residuo puede ser descargada en las calles o sobre la superficie del suelo.

ALCANTARILLA SANITARIA: transporta aguas residuales sanitarias y es diseñada para excluir aguas lluvias, infiltración y flujo de entrada.

¹ COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. RAS-2000. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, (noviembre, 2000). Título E. Tratamiento de Aguas Residuales. p. E5.

BACTERIA: grupo de organismos microscópicos unicelulares, rígidos carentes de clorofila, que desempeñan una serie de procesos de tratamiento que incluyen oxidación biológica, fermentaciones, digestión, nitrificación y desnitrificación.

BIODEGRADACIÓN²: degradación de la materia orgánica por acción de microorganismos sobre el suelo, aire, cuerpos de agua receptores o procesos de tratamiento de aguas residuales.

CARGA ORGÁNICA: producto de la concentración media de DBO por el caudal medio determinado en el mismo sitio; se expresa en kilogramos por día (kg/d).

CARGA SUPERFICIAL: caudal o masa de un parámetro por unidad de área y por unidad de tiempo, que se emplea para dimensionar un proceso de tratamiento ($m^3/(m^2 \text{ día})$, kg DBO/ (ha /día).

CAUDAL MÁXIMO HORARIO: caudal a la hora de máxima descarga.

CAUDAL MEDIO: caudal medio anual.

CLARIFICADOR: tanque de sedimentación rectangular o circular usado para remover sólidos sedimentables del agua residual.

CLORACIÓN: aplicación de cloro, o compuestos de cloro, al agua residual para desinfección; en algunos casos se emplea para oxidación química o control de olores.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO): cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.

² ibíd., p. E6-E7.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO):³ medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o bicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas.

DESARENADORES: cámara diseñada para permitir la separación gravitacional de sólidos minerales (arena).

DESCOMPOSICIÓN ANAEROBIA: degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular por efecto de microorganismos. Usualmente va acompañada de la generación de ácidos y gas metano.

DESINFECCIÓN: destrucción de bacterias y virus de origen fecal en las aguas residuales, mediante un agente desinfectante.

DIGESTIÓN AEROBIA: descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en presencia de oxígeno.

DIGESTIÓN ANAEROBIA: descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en ausencia de oxígeno.

DIGESTIÓN DE ALTA TASA: descomposición de lodos que requiere un proceso separado de espesamiento posterior a la digestión.

DIGESTIÓN: descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en presencia de oxígeno.

DISPOSICIÓN FINAL: disposición del efluente de una planta de tratamiento o de los lodos tratados.

³ ibíd., p. E7.

EFICIENCIA DE TRATAMIENTO⁴: relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje.

EFLUENTE FINAL: líquido que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales.

EMISARIO: canal o tubería que recibe las aguas residuales de un sistema de alcantarillado y las lleva a una planta de tratamiento o de una planta de tratamiento y las lleva hasta el punto de disposición final.

FILTRO ANAEROBIO: consiste en una columna llenada con varios tipos de medios sólidos usados para el tratamiento de la materia orgánica carbonácea en aguas residuales.

FILTRO PERCOLADOR: tanque que contiene un lecho de material grueso, compuesto en la gran mayoría de los casos de materiales sintéticos o piedras de diversas formas, de alta relación área/volumen, sobre el cual se aplican las aguas residuales por medio de brazos distribuidores fijos o móviles. Este es un sistema de tratamiento aerobio.

LAGUNA AEROBIA: término a veces utilizado para significar “laguna de alta producción de biomasa”. Lagunas de poca profundidad, que mantienen oxígeno disuelto (molecular) en todo el tirante de agua.

LAGUNA AIREADA: estanque natural o artificial de tratamiento de aguas residuales en el cual se suple el abastecimiento de oxígeno por aireación mecánica o difusión de aire comprimido. Es una simplificación del proceso de lodos activados y según sus características se distinguen cuatro tipos de lagunas aireadas. 1. Laguna aireada de mezcla completa, 2. Laguna aireada facultativa, 3. Laguna facultativa con agitación mecánica y 4. Laguna de oxidación aireada.

LAGUNA ANAEROBIA: laguna con alta carga orgánica en la cual se efectúa el tratamiento en ausencia de oxígeno disuelto (molecular), con la producción de gas metano y otros gases como el sulfuro de hidrógeno (H₂S).

⁴ ibíd., p. E8.

LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN: se entiende por lagunas de estabilización los estanques construidos en tierra, de poca profundidad (1-4 m) y períodos de retención considerable (1-40 días). En ellas se realizan de forma espontánea procesos físicos, químicos, bioquímicos y biológicos, conocidos con el nombre de autodepuración o estabilización natural.

LAGUNA DE MADURACIÓN: laguna de estabilización diseñada para tratar efluente secundario o agua residual previamente tratada por un sistema de lagunas (anaerobia - facultativa, aireada - facultativa o primaria - secundaria). Originalmente concebida para reducir la población bacteriana.

LAGUNA FACULTATIVA: laguna de coloración verdosa cuyo contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día. En el estrato superior de una laguna facultativa primaria existe una simbiosis entre algas y bacterias, en presencia de oxígeno; en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia de los sólidos sedimentables.

LECHOS DE SECADO: dispositivos que eliminan una cantidad de agua suficiente de lodos para que puedan ser manejados como material sólido.

LODO BIOLÓGICO: lodo excedente que se genera en los procesos biológicos de las aguas residuales.

LODOS ACTIVADOS: procesos de tratamiento biológico de aguas residuales en ambiente químico aerobio, donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Esta alta concentración de microorganismos se logra con un sedimentador que retiene los flóculos biológicos y los retorna al tanque aireado.

MUESTRA COMPUESTA⁵: mezcla de varias muestras alícuotas instantáneas recolectadas en el mismo punto de muestreo en diferentes tiempos. La mezcla se hace sin tener en cuenta el caudal en el momento de la toma.

⁵ ibíd., p. E9.

MUESTRA INTEGRADA: consiste en el análisis de muestras instantáneas tomadas simultáneamente en diferentes puntos o tan cerca como sea posible. La integración se hace de manera proporcional a los caudales medidos al tomar la muestra.

MUESTRA PUNTUAL: muestra de agua residual tomada al azar en un momento determinado para su análisis. Algunos parámetros deben determinarse in situ y otros en el laboratorio.

OXÍGENO DISUELTO: concentración de oxígeno medida en un líquido, por debajo de la saturación. Normalmente se expresa en mg/L.

PASO DIRECTO (BY PASS): conjunto de tuberías, canales, válvulas y compuertas que permiten desvío del agua residual de un proceso o planta de tratamiento en condiciones de emergencia o de mantenimiento correctivo.

PLANTA DE TRATAMIENTO (DE AGUA RESIDUAL): conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales.

PRETRATAMIENTO: procesos de tratamiento localizados antes del tratamiento primario.

PROCESO BIOLÓGICO: proceso en el cual las bacterias y otros microorganismos asimilan la materia orgánica del desecho, para estabilizar el desecho e incrementar la población de microorganismos (lodos activados, filtros percoladores, digestión, etc.).

SEDIMENTACIÓN: operación física de clarificación de las aguas residuales por efecto de la gravedad. Junto con los sólidos sedimentables precipita materia orgánica del tipo putrecible⁶.

SÓLIDOS NO SEDIMENTABLES: materia sólida que no sedimenta en un período de 1 hora, generalmente.

⁶ ibíd., p. E10.

SÓLIDOS SEDIMENTABLES: materia sólida que sedimenta en un periodo de 1 hora.

TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA: tiempo medio teórico que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil.

TRATAMIENTO ANAEROBIO: estabilización de un desecho por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno.

TRATAMIENTO BIOLÓGICO: procesos de tratamiento en los cuales se intensifican la acción natural de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente. Usualmente se utilizan para la remoción de material orgánico disuelto.

TRATAMIENTO CONVENCIONAL: procesos de tratamiento bien conocidos y utilizados en la práctica. Generalmente se refiere a procesos de tratamiento primario o secundario. Se excluyen los procesos de tratamiento terciario o avanzado.

TRATAMIENTO PRIMARIO: tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. Esta remoción normalmente es realizada por operaciones físicas como la sedimentación. El efluente del tratamiento primario usualmente tiene alto contenido de materia orgánica y una relativamente alta DBO.

TRATAMIENTO SECUNDARIO: es aquel directamente encargado de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos.

VERTEDEROS: son dispositivos que permiten determinar el caudal. Poseen una ecuación general que depende de la gravedad, de su geometría, de su espesor de pared. La variable independiente será siempre la altura de la lámina de agua sobre el nivel de referencia. De esta forma cualquier vertedero puede calibrarse mediante una curva de calibración del mismo con base en diferentes alturas de la lámina de agua de los diferentes caudales⁷.

⁷ ibíd., p. E11.

INTRODUCCIÓN

El propósito de este informe es dar a conocer los procesos que tienen las aguas residuales, las cuales se puede definir como aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias⁸, esto resulta de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua proveniente de los diferentes sitios mencionados anteriormente.

En la actualidad en los diferentes municipios de Cundinamarca no se ha tomado en serio la importancia de las aguas residuales, y por lo tanto se evidencia una de las problemáticas ambientales como la contaminación de los recursos hídricos, entre ellos el río Bogotá; además, cerca de 1300 cuerpos de agua están siendo contaminados por ser los receptores de los vertimientos municipales. El inventario de sistemas de tratamiento de aguas residuales del Ministerio del Medio Ambiente, reporta que sólo 22% de las cabeceras municipales del país hacen tratamiento de las aguas residuales y muchas están funcionando deficientemente, o lo que es más crítico, sin ser operadas.

El objetivo de este proyecto es dar un diagnóstico técnico del estado actual de la PTAR del municipio de Tenjo, identificando los principales problemas de funcionamiento, y revisar si está cumpliendo con los parámetros mínimos de calidad dados en el Decreto 3930 de 2010, donde establece ampliamente lo referente a los vertimientos de agua residual, y finalmente analizar la información recolectada para tener criterio y dar algunas recomendaciones para ayudar al buen funcionamiento de PTAR.

Finalmente se realizaron visitas de campo, ensayos de laboratorio, y registros fotográficos donde se evidencio el mal funcionamiento y el incumplimiento de la normatividad vigente; uno de los principales problemas que se determinaron en las unidades de tratamiento, es que estas no están en la capacidad de tratar el caudal generado por la población urbana, ya que éstas fueron diseñadas para una población de 5900 habitantes y según el DANE para el 2005 se estimó una población de 7844 habitantes.

⁸ INFORME TÉCNICO SOBRE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN COLOMBIA. LÍNEA BASE 2010. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. República de Colombia. BOGOTÁ, D. C., Octubre de 2012.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la inadecuada recolección, tratamiento y disposición de los vertimientos generados por las actividades domésticas, industriales y comerciales en el país, se han generado en forma sucesiva problemas de salubridad y de calidad del agua como se evidencia en la cuenca hidrográfica del río Bogotá. La situación comienza a ser insostenible, en la medida en que los cuerpos receptores sobrepasan su capacidad de asimilar todos los contaminantes y consecuentemente se altera la calidad del recurso para su uso posterior.

El casco urbano del municipio de Tenjo cuenta con dos plantas de tratamiento de aguas residuales, una denominada RAP (Reactor anaeróbico de Flujo a Pistón) y otra correspondiente a una Laguna de Oxidación. Dichas unidades de tratamiento no tienen la capacidad para tratar el agua residual generada actualmente y por tanto los excesos que no se pueden tratar se vierten directamente a la quebrada Churuguaco que desemboca finalmente al río Chicú.

En el informe de auditoría especial a la gestión sobre el río Bogotá, realizado por la Contraloría General de la República en el año 2013, se menciona la ausencia de un proceso eficiente para tratar las aguas residuales e industriales del municipio de Tenjo; en razón a que las Plantas de Tratamiento (PTAR), presentan un funcionamiento deficiente y la planta no tiene la capacidad suficiente para tratar el caudal de entrada.

Por lo que se establece que finalmente las aguas residuales que llegan al río Chicú, no están cumpliendo con los estándares de calidad establecidos en el Art 223 del decreto 1541 de 1978, que ordena que en todos los sistemas de alcantarillado, los residuos líquidos se deben someter a un tratamiento que garantice la conservación de las características de la corriente receptora, en este caso, el río Chicú, que va a terminar en el Rio Bogotá, contribuyendo a la contaminación y al deterioro de este.

También hay que tener en cuenta que los sistemas de tratamiento de aguas residuales existentes en el municipio de Tenjo, no se encuentran en buen estado, cada una tiene un factor en particular de su estado físico como de su estado de funcionamiento, así mismo, sus cumplimiento en cuanto a normatividad ambiental legal vigente no es la más favorable, prueba de ello es el valor de la tasa retributiva que el Municipio debe pagar por el no cumplimiento del mismo y el cual fue determinada por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca –CAR, autoridad ambiental competente en este caso.

En la laguna de oxidación, se presentan deformaciones en algunas partes de la geomembrana (conocido como efecto ballenas), ocasionados por la acumulación de gases provenientes de la descomposición de la materia orgánica. Esto ha disminuido la capacidad hidráulica de la laguna.

También hay que tener en cuenta las constantes quejas que presenta la comunidad por malos olores. En los alrededores del RAP hay urbanizaciones a menos de 200

metros, y en la laguna de oxidación se encuentran varias viviendas ubicadas a menos de 100 metros. Las unidades de tratamiento no cuentan con una barrera viva que mitigue el problema y por tanto se ha generado malestar en la comunidad.

El impacto ambiental causado puede llegar a un punto de no retorno, sobre todo en los municipios donde las fuentes de agua en las que se descargan las aguas residuales no tienen capacidad de asimilación. De ahí que sea tan importante que el Municipio de Tenjo formule estrategias en el mediano y largo plazo que permitan ampliar la capacidad instalada para realizar el tratamiento adecuado a las aguas residuales generadas y así mitigar el impacto negativo sobre el ambiente y la salud de la población.

Por lo anteriormente descrito, se llega a la pregunta de investigación ¿Cómo se puede optimizar las condiciones de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera Municipal de Tenjo con base a los parámetros establecidos en el Decreto 3930 de 2010 y en el reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS-2000)?

2. JUSTIFICACIÓN

Los escasos recursos hídricos de la cuenca del río Bogotá, frente a los múltiples usos, requieren adecuado manejo y protección de fuentes abastecedoras, como también de los vertimientos de aguas residuales, para la recuperación y el saneamiento integral de la cuenca.

De acuerdo con diferentes estudios y caracterizaciones, se ha afirmado que la cantidad total de excrementos humanos húmedos es aproximadamente de 80 a 270 gramos por persona al día y que un 20% de la materia fecal y un 2.5% de la orina son material orgánico putrescible; por consiguiente el agua residual domestica cruda es putrescible, olorosa, ofensiva y un riesgo para la salud. Si se arrojan aguas residuales crudas a un rio o cuerpo de agua en exceso, su capacidad de asimilación de contaminantes se verá disminuido, y esto se refleja en su calidad y aptitud para usos benéficos por parte del hombre⁹.

El retorno de las aguas residuales a nuestros ríos o lagos nos convierte en usuarios directos o indirectos de las mismas, y a medida que crece la población, aumenta la necesidad de proveer sistemas de tratamiento o renovación que permitan eliminar los riesgos para la salud y minimizar los daños al ambiente.

Paralelamente, en la actualidad se viene presentando un creciente reconocimiento de esta imperiosa necesidad por parte de todas las sociedades en el mundo, el cual ha permitido una mayor dedicación de esfuerzos por parte de las entidades competentes en pos de lograr una armonía entre el desarrollo y un medio ambiente saludable.

El documento del Consejo Nacional de Política Económica y social CONPES 3320 del 6 de diciembre de 2004, "Estrategia para el manejo ambiental del Río Bogotá", identificó como una de las principales causas de contaminación del Río Bogotá, los vertimientos domésticos sin tratar, provenientes de los asentamientos humanos existentes a lo largo de la cuenca, y por tal razón estableció una estrategia para el manejo ambiental del Río, con el fin de; complementar la infraestructura de saneamiento básico, establecer estándares de calidad del agua a lo largo de la cuenca, para el reusó del agua residual principalmente en el riego de cultivos, y para la conformación de esquemas regionales para la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado, especialmente en lo relacionado con el tratamiento de las aguas residuales.

A partir de esto nace la necesidad de evaluar en el Municipio de Tenjo, el tratamiento que se le da al agua residual, para determinar el grado de cumplimiento, de los

⁹ ROMERO ROJAS, Jairo Albero. Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. 3 ed. Bogotá: escuela colombiana de ingeniería, 2004. p.129

requisitos establecidos en el Decreto 3930 de 2010 por el Ministerio de Salud sobre usos del agua y residuos líquidos.

Finalmente esta investigación fue orientada en generar un diagnóstico técnico del funcionamiento y estado actual de la PTAR, y así proponer recomendaciones pertinentes que ayuden al mejoramiento de la misma, mitigando el impacto ambiental y aumentando la calidad de vida de la comunidad cercana.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diagnosticar técnica y funcionalmente el estado actual de la Planta de tratamiento de aguas residuales de la cabecera Municipal de Tenjo.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar cuáles son los principales problemas en las unidades de tratamiento de aguas residuales.
- Analizar la información recolectada sobre la PTAR de Tenjo, para tener un criterio y generar un diagnóstico sobre el tratamiento que se lleve a cabo, para dar las posibles soluciones.
- Determinar si el agua vertida al río Chicú y la quebrada Churruguaco cumplen con los parámetros mínimos de calidad establecidos según el Decreto 3930 DE 2010 el cual deroga el Decreto 1594 de 1984.

4. ANTECEDENTES

La presente investigación recopiló información a nivel departamental, donde encontramos que la construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales es una práctica relativamente nueva en Colombia (a partir de la segunda mitad del siglo pasado); sin embargo la situación actual de las PTAR es lamentable.

La problemática ambiental identificada por la Contraloría General de la República en la cuenca del río Bogotá, cuyas causas, en su mayoría, están asociadas al desarrollo durante los últimos 50 años de las actividades agrícolas, ganaderas, mineras e industriales, y sus respectivos vertimientos, en la Sabana de Bogotá. Así mismo, se relacionan con el proceso de urbanización alrededor de la cuenca, con el control deficiente por parte de las autoridades ambientales en el uso y manejo de los recursos hídricos, y con la ausencia de una adecuada prestación de servicios públicos en términos de calidad y cobertura.

Ha sido una constante la ineficiencia e ineficacia de la gestión de los actores públicos y privados, -responsables y corresponsables- para afrontar esta situación de deterioro de la cuenca, con los impactos económicos, ambientales y sociales que conlleva, impactos cuya identificación y cuantificación supondrían un presunto detrimento patrimonial que se acrecienta en la medida en que no se toman las decisiones y no se adelantan las obras y acciones pertinentes, como fue señalado por la CGR en su función de advertencia de abril de 2011¹⁰.

A continuación se exponen los casos de la optimización de las PTAR'S de los municipios de Funza y Tabio en Cundinamarca.

4.1 REHABILITACIÓN DE LA PTAR FUNZA¹¹

La PTAR del municipio de Funza contaba con seis zanjones de oxidación precedidos de unas estructuras preliminares que incluyen el sistema de retención de sólidos gruesos, finos y arenas mediante una rejilla, bivalva, tamices estáticos y desarenadores, pasando posteriormente de manera continua el agua residual hacia los Zanjones de oxidación donde ocurre el tratamiento biológico.

La optimización de la cual fue objeto la PTAR introduce en el sistema de tratamiento el proceso denominado SBR (Secuencial Batch Reactor) para los seis zanjones; el cual incorpora la tecnología de lodos activados de procesos continuos a sistemas

¹⁰ Auditoría Especial a la Gestión del Río Bogotá, 2010. CONTRALORÍA General de la República, Contraloría Distrital de Bogotá, Contraloría de Cundinamarca y Contraloría de Soacha

¹¹ IGNACIO GÓMEZ IHM S.A. ALCALDIA MUNICIPAL DE FUNZA. Filosofía de Operación Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas-Secuencial Batch Reactor (SBR)-309 Ips. Diseño y descripción. Revisión 01, 2014. p. 4

intermitentes. El tratamiento se hace en un solo tanque donde se combina el lodo activado con el agua residual cruda. El lodo activado se airea y se mezcla alternadamente en un cierto número predeterminado de ciclos. La separación de sólidos y líquido se lleva a cabo durante la fase de sedimentación de cada ciclo. Después de la fase de sedimentación el efluente se decanta desde la superficie del líquido al canal de salida.

La primera etapa habilitó la operación de los dos primeros zanjones bajo esta tecnología. Aun cuando la primera etapa también incluyó la optimización del tercer zanjón mediante el mantenimiento y reubicación de 8 aireadores superficiales, el objeto final de la optimización es que en una etapa futura, los seis zanjones de la planta operen bajo la tecnología SBR. Al final de la optimización, la PTAR del municipio de Funza podrá tratar 309 lps, capacidad suficiente para el manejo de las aguas municipales en el horizonte del proyecto, año 2035¹².

Imagen 1. Zanjón de oxidación PTAR Funza, año 2014



Fuente: Informe diario de obra-Ignacio Gómez IHM S.A.2014

En la Grafica 1, se observa la adecuación de los zanjones de oxidación para implementar el sistema SBR. Y en la Grafica 2 ya se puede ver en operación uno de los dos zanjones optimizados con dicho sistema.

¹² IGNACIO GÓMEZ IHM S.A. ALCALDIA MUNICIPAL DE FUNZA. Filosofía de Operación Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas-Secuencial Batch Reactor (SBR)-309 lps. Diseño y descripción. Revisión 01, 2014. p. 4

Imagen 2. PTAR Funza, año 2015



Fuente: Informe diario de obra-Ignacio Gómez IHM S.A.2015

4.2 OPTIMIZACIÓN PTAR MUNICIPIO DE TABIO, CUNDINAMARCA¹³

La PTAR del municipio de Tabio, no tenía la capacidad para tratar el caudal correspondiente a las aguas domésticas y tampoco removía de manera eficiente las cargas contaminantes. Por tal motivo se planeó la optimización de la planta teniendo en cuenta las nuevas normativas de calidad para la cuenca del río Bogotá.

Para subsanar esto se proyectó un sistema de tratamiento de las aguas residuales mediante Lagunas Aireadas de Mezcla Completa (LAMC), más Laguna de Sedimentación (LS), con posterior desinfección por cloración. El efluente tratado se verte por gravedad a la descarga existente al río Chicú.

La planta proyectada considero la utilización del tratamiento preliminar con un vertedero lateral de alivio de aguas lluvias, rejillas de cribado medio, dos desarenadores en paralelo y un vertedero triangular proyectado. Posteriormente estas aguas son transportadas hasta una cámara desgrasadora y una cámara de distribución existente. El proyecto contemplo el mejoramiento de tres de las cinco lagunas existentes para transformarlas en el sistema de LAMC + LS para todo el periodo 2015-2035.

¹³ COLOMBIA. CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA CAR. Diseños de detalle para la construcción de obras de saneamiento en los municipios de la cuenca del río Bogotá, paquete 1. contrato 0735-09, coa6579. Informe final municipio de Tabio. Abril 2011

En la Imagen 3 se puede apreciar el sistema de LAMC, en su estado de operación.

Imagen 3. Optimización PTAR Tabio



Fuente: Autores

Finalmente las aguas serán dispuestas en una cámara de contacto para la cloración proyectada en hormigón armado y vertidas finalmente a la descarga existente¹⁴.

¹⁴ COLOMBIA. CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA CAR. Diseños de detalle para la construcción de obras de saneamiento en los municipios de la cuenca del río Bogotá, paquete 1. contrato 0735-09, coa6579. Informe final municipio de Tabio. Abril 2011

5. MARCO REFERENCIAL

“La generación de aguas residuales es un producto inevitable de la actividad humana. El tratamiento y disposición apropiada de las aguas residuales supone el conocimiento de las características físicas, químicas y biológicas de dichas aguas; de su significado y de sus efectos sobre la fuente receptora.”¹⁵. La compleja pregunta acerca de que contaminantes contenidos en el agua residual, y a qué nivel, deben ser eliminados de cara a la protección del entorno requiere una respuesta específica en cada caso concreto. Para establecer dicha respuesta es preciso analizar las condiciones y necesidades locales en cada caso, y aplicar los conocimientos científicos respetando las normas reguladoras de calidad de agua existente.

5.1 MARCO GEOGRÁFICO

5.1.1 Ubicación y descripción general.

Es un municipio del departamento de Cundinamarca (Colombia), se encuentra a 2587 msnm promedio, con latitud 40 52' Norte y longitud 740 09' Oeste. Se ubica al noreste de Bogotá a 57 Km pasando por Chía, Cajicá y Tabio; su acceso es generalmente por la denominada autopista Medellín a 21 Km de la capital, vía Siberia – Tenjo¹⁶.

Los actuales límites fueron definidos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi en 1941 y aprobados mediante ordenanza 36 de 1945, delimitándolo con los municipios de Subachoque, Tabio, Chía, Cota, Funza y Madrid. En el Mapa y Tabla 1 se pueden apreciar los límites del municipio de Tenjo.

Tabla 1. Límites del municipio de Tenjo

LÍMITE	MUNICIPIO
NORTE	TABIO
SUR	FUNZA
ORIENTE	CHIA-COTA
OCCIDENTE	SUBACHOQUE-MADRID

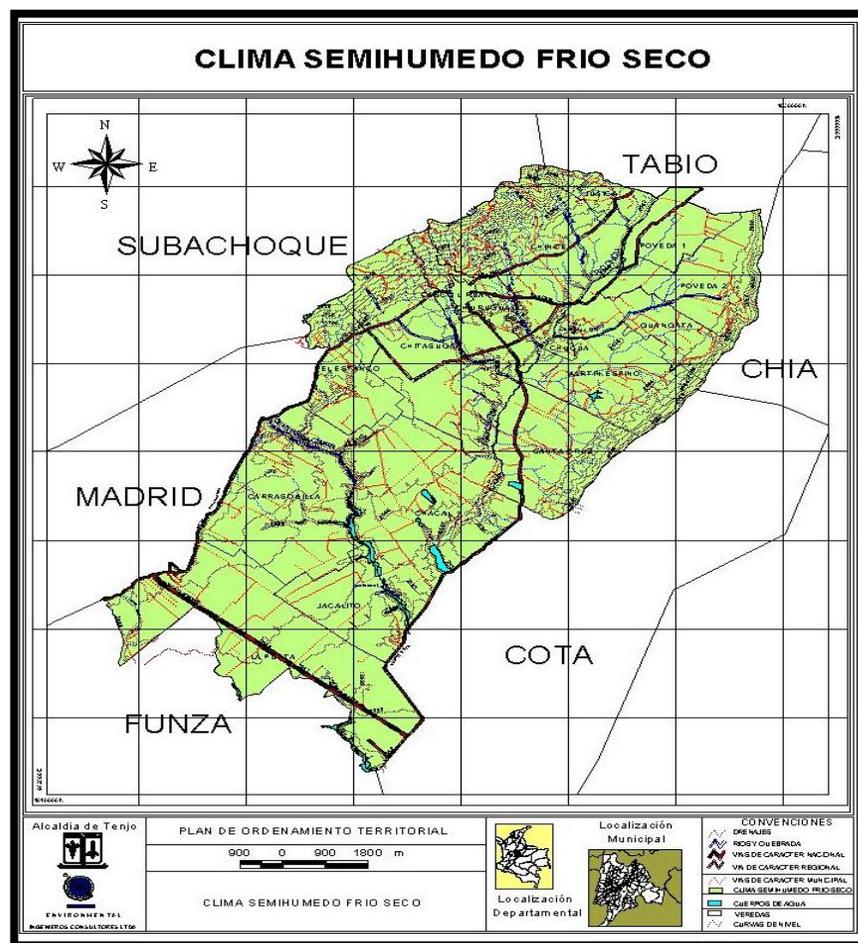
Fuente: Autores trabajo

¹⁵ ROMERO ROJAS, Jairo Albero. Tratamiento de aguas residuales: Caracterización de las aguas residuales. 3 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004. p.17

¹⁶ TENJO. ALCALDIA MUNICIPAL. Información general [Artículo de internet] <http://www.tenjo-cundinamarca.gov.co/> [Consultada: 20 de abril de 2015].

El municipio tiene una extensión de 108 km² de los cuales 106 se hallan en piso térmico frío y los 2 restantes corresponden al páramo, la temperatura media del Municipio es de 13°C, con una población urbana y rural de dieciocho mil cuatrocientos sesenta y seis (18.466) habitantes según el último censo poblacional realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en el año 2005, tiene un territorio plano, ligeramente ondulado en algunos sectores. Casi todas las tierras están comprendidas en el piso térmico frío, regadas por el río Chicú y otros caudales menores.

Imagen 4. Límites y clima en el municipio de Tenjo



Fuente: Alcaldía de Tenjo-Cundinamarca. [Citado el 13 de abril de 2015] Disponible en <<http://www.tenjo-cundinamarca.gov.co/>>

Los cultivos de clima frío más sobresalientes son el trigo, cebada, papas, legumbres. En materia de ganadería el mayor porcentaje es de la lechera, que permite una buena industria en la elaboración de quesos y mantequilla.

5.1.2 División política Administrativa.

Su división administrativa cuenta con un casco urbano, una inspección de policía en la vereda de La punta y un sector rural conformado por quince veredas: La Punta, Carrasquilla, El Estanco, Chitasuga, Jacalito, El Chacal, Santa Cruz, Chucua, Guangata, Martin y Espino, Poveda 1, Poveda 2, Churuguaco, Chince y Juaica.

5.1.3 Aspectos Económicos y Población.

La base de la economía de Tenjo son las actividades agropecuarias las cuales se presentan en el 86% de las veredas; el sector agropecuario es el principal generador del PIB municipal.

Aproximadamente el 30% de la población económicamente activa del municipio, vive de las actividades agrícolas y pecuarias.

Hay un porcentaje del 32,6% de la población que trabaja en el área rural del municipio, pero que vive fuera de él, que son empleados en los cultivos de flores y que se considera población flotante.

5.1.4 Usos del suelo.

Los principales usos del suelo son la conservación de la naturaleza (40%) y el manejo del agua (40%). Adicionalmente, se llevan a cabo actividades como la silvicultura (5%) y la agricultura y ganadería (5%). Con respecto a su uso los suelos del Municipio se clasifican así:

5.1.4.1 Uso forestal: este uso corresponde a las coberturas boscosas y vegetación de tipo leñosa. Los principales usos dados a la vegetación de estas áreas, son: protección del suelo en áreas de fuertes pendientes, provisión de leña para cocción, provisión de madera con fines de construcción o reparación de viviendas y hábitat para la escasa fauna.

5.1.4.2 Uso Agrícola: unidad de uso del suelo destinada a los cultivos.

5.1.4.3 Uso Pecuario: unidad de uso del suelo destinada a pastoreo y levante de ganado lechero. “Esta unidad involucra la cobertura vegetal de pastos manejados. El pisoteo constante de los animales contribuye de manera importante en los procesos erosivos por sobrepastoreo, el cual forma parte del paisaje del área y potencia los procesos de remoción del suelo e inestabilidad del mismo.”¹⁷.

5.1.4.4 Uso Urbano e Infraestructura: corresponde a las unidades de uso del suelo que identifica el “área urbana” de las veredas y municipios localizados en el área de

¹⁷ CONSORCIO JJG 2013. Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos PSMV. Municipio de Tenjo, 2013. p. 13-15.

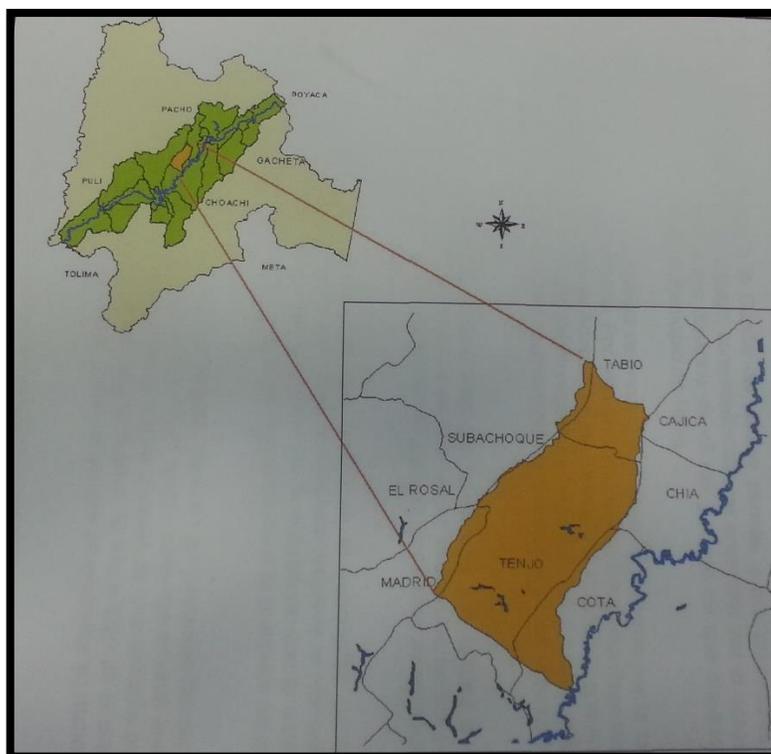
5.1.6.1 Subcuenca del río Chicú

La subcuenca se encuentra ubicada en el departamento de Cundinamarca; limita por el norte con parte del municipio de Tabio, al oriente con los municipios de Cajica, Chía y Cota; al occidente con los municipios de Subachoque, el Rosal y Madrid y al sur con parte del municipio de Tenjo.

la subcuenca está conformada por zonas rurales de los municipios de Cajica, Chía, Cota, Madrid, y Subachoque e incluye las zonas urbanas de los municipios de Tabio y Tenjo. el área total de la cuenca es 14188.8 hectáreas y el cauce principal, tiene una longitud de 26.3 Km.

La cabecera de la subcuenca del río Chicú se encuentra sobre la cota 3250 msnm y la parte baja en su desembocadura, se ubica sobre la cota 2550 msnm. Tiene como tributarios importantes las quebradas Tince, Carrón, Garay, Caracol, Churuguaco y Soacha¹⁹.

Imagen 6. Localización de la subcuenca del río Chicú



Fuente: CAR, Diagnostico subcuenca del río Chicú, 2011

¹⁹ CAR. Diagnóstico, perspectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del río Bogotá. Subcuenca del río Chicú. 2010-2011

La capa vegetal de la micro cuenca del río Chicú está en los cerros cubiertos por matorral nativo (60%), bosque secundario avanzado (15%), potreros (10%) y paisajes artificiales como tierras de cultivo y parches de eucalipto y pino (15%). Hay sectores con abundantes especies nativas como Cedros (*Cedrela montana*), Encenillos (*Weinmania* spp.), Ericáceas (*Vallea stipularis*, *Rapanea* sp.), Arrayanes (*Myrcianthes*) y Laurel de Cera (*Myrica* spp).

5.1.7 Sistemas de acueducto

El abastecimiento de agua potable del Municipio de Tenjo proviene de la captación de tres pozos profundos denominados Chitasuga, La Cascajera y Churuguaco, los cuales producen actualmente en su totalidad 47 L/s, para abastecer una población de aproximadamente 24.439 habitantes. El sistema de acueducto cuenta con una planta de tratamiento de agua potable con capacidad de 50 Lts/seg y distintos tanques de almacenamiento ubicados estratégicamente en distintos sectores, a través de los cuales se realiza la distribución del servicio a la zona urbana y veredas (sector plano y sector alto). La red de distribución tiene una longitud total estimada en 6.000 metros²⁰.

5.1.8 Sistema de alcantarillado sanitario y pluvial

La cabecera urbana está dotada de un sistema de alcantarillado de tipo mixto, ya que algunos tramos trabajan como alcantarillado sanitario, otros como pluviales y otros como combinados. La cabecera comprende un área entre la calle 1 y la calle 7 y entre la carrera 1 C y la carrera 11 cerca de la vía que conduce a la vereda Churuguaco. Este alcantarillado sirve un área de aproximadamente 86.40 Ha.

El alcantarillado urbano recibe colectores de las veredas Churuguaco alto, parte alta del cementerio, Camellón de los Pavos y Camellón pan de Azúcar drenando a la planta de tratamiento RAP. El efluente desdrega a un vallado donde se utiliza para regadío de predios.

La empresa encargada de la prestación del servicio de alcantarillado es EMSERTENJO S.A. ESP.

La cobertura de alcantarillado para el año 2013, en el sector urbano según información de EMSERTENJO, es del 100% y para el área rural del 13,1%.

Las coberturas de los servicios de acueducto y alcantarillado se relacionan en el cuadro siguiente.

²⁰ ibíd., p. 23-26.

Tabla 2. Cobertura de servicios municipio de Tenjo

Población	Acueducto urbano	Acueducto rural	Alcantarillado urbano	Alcantarillado rural
18466	100,00%	79,20%	100,00%	13,10%

Fuente: EMSERTENJO S.A. ESP.

5.1.8.1 Alcantarillado sector urbano. Respecto al tema de redes y de usuarios del sistema de acueducto la Secretaria de Infraestructura del municipio de Tenjo se suscribió con el Consorcio MEDINA – BAQUERO 2013, el contrato de Consultoría No. 167 de 2013 cuyo objeto consistió en el “Levantamiento del Catastro de Redes y de Usuarios del Sistema de Acueducto y Alcantarillado del municipio de Tenjo, Cundinamarca”. La información resultante del estudio se describe como sigue.

La red de alcantarillado urbano del municipio se puede mencionar que es combinada y está conformada por tuberías de gres, concreto y PVC en diámetros que oscilan entre 8” y 28”. Existen cerca de 550 pozos en mampostería en el casco urbano del tipo cónico y cilíndrico²¹.

En el Tabla 3 se pueden apreciar los diámetros, materiales y longitudes de las redes que conforman el sistema de alcantarillado del municipio de Tenjo.

Tabla 3. Tuberías de alcantarillado en el municipio de Tenjo

DIÁMETRO (Pulgadas)	MATERIAL	LONGITUD (m)
8	CONCRETO	677
10		772
12		335
14		509
16		111
18		80
28		539
	TOTAL	3023
6	GRES	61
8		10875

²¹ ibíd., p. 28.

10		3811
12		869
16		298
	TOTAL	15914
8	NOVAFORT	6419
10		3580
12		1284
14		490
16		965
18		184
20		3
22		28
28		357
	TOTAL	13310

Fuente: CONSORCIO MEDINA-BAQUERO 2013

Según el estudio el matadero vierte las aguas residuales de manera directa al alcantarillado municipal, sin hacerle ningún tipo de tratamiento previo.

5.2 MARCO DEMOGRÁFICO

El municipio de Tenjo, cuenta con una población total de 18.466 habitantes, distribuidos en la zona urbana 7. 884 habitantes y en la zona rural 10.582 hab. El número de viviendas urbanas es de 1742 y rurales de 3.312. En Tabla 2. Datos Históricos de Población.

Tabla 4. Datos históricos de población

Año Censal	Población Urbana	Población Rural	Población Total
1973	1.354	9.068	10.422
1985	3.442	9.281	12.723
1993	5.674	10.059	15.733
2005	7.884	10.582	18.466

Fuente: DANE, censos de población municipio de Tenjo, 1973 – 2005.

5.2.1 Cálculo De La Población

En el cálculo de las proyecciones de población se tuvo en cuenta la población histórica del municipio de Tenjo. Para lo cual se obtuvo información en el

Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas DANE, de los censos de población históricos de los años 1973, 1985, 1993 y 2005. Ver Tabla 4.

5.2.1.1 Nivel de Complejidad del Sistema. La clasificación del proyecto en un nivel de complejidad bajo, medio, medio alto y alto depende del número de habitantes en la zona urbana del municipio, su capacidad económica y el grado de exigencia técnica que se requiera para adelantar el proyecto, en la Tabla 5 se puede ver en nivel de complejidad del sistema de acuerdo con lo establecido en Título A del reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000.

Tabla 5. Nivel de complejidad del sistema

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Fuente: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS 2000. Título A. Tabla A.3.1.

5.2.1.2 Proyección de la Población. De acuerdo al RAS 2000 el Método de proyección de la población depende del Nivel de Complejidad del Sistema²². En el siguiente cuadro se muestra los métodos de cálculo permitidos para proyectar la población futura de una localidad, Ver Tabla 6.

Tabla 6. Métodos de cálculo para la proyección de la población según el nivel de complejidad del sistema

Método por emplear	Bajo	Medio	Medio alto	Alto
Aritmético, Geométrico y exponencial	X	X		
Aritmético + Geométrico + exponencial + otros			X	X
Por componentes (demográfico)			X	X
Detallar por zonas y detallar densidades			X	X

Fuente: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000. Título B. Sistemas de Acueducto.

²² COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. RAS-2000. Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (noviembre, 2000). Título A, documentación técnico normativa del sector de agua potable y saneamiento básico. p. A9.

Para la proyección de población se realizó una estimación utilizando los datos históricos de población obtenidos del Departamento Nacional de Estadística DANE; mediante la utilización de modelos matemáticos según lo recomendado por el RAS 2000. Las tres metodologías más utilizadas se exponen a continuación:

- **Método Aritmético**

Este método supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente.

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

Donde, P_f es la población (hab) correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población, P_{uc} es la población (hab) correspondiente al último año censado con información, P_{ci} es la población (hab) correspondiente al censo inicial con información, T_{uc} es el año correspondiente al último año censado con información, T_{ci} es el año correspondiente al censo inicial con información y T_f es el año al cual se quiere proyectar la información.

- **Método Geométrico**

Se emplea en poblaciones con una importante actividad económica, que genera un desarrollo significativo con importantes áreas de expansión las cuales se pueden dotar de servicios públicos. La ecuación utilizada para el cálculo es la que sigue.

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

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

La letra r representa la tasa de crecimiento anual en forma decimal, P_f es la población (Hab) correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población, P_{uc} es la población (Hab) correspondiente al último año censado con información, T_{uc} es el año correspondiente al último año censado con información, T_{ci} es el año

correspondiente al censo inicial con información y T_i es el año al cual se quiere proyectar la información.

- **Método Exponencial**

Para emplear este método se requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y poseen abundantes áreas de expansión. La ecuación empleada es la siguiente:

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

Donde es la tasa de crecimiento de la población la cual se calcula como el promedio de las tasas calculadas para cada par de censos con la fórmula siguiente.

$$k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

En esta ecuación P_{cp} representa la población del censo posterior, P_{ca} es la población del censo anterior, T_{cp} es el año correspondiente al censo posterior, T_{ca} es el año correspondiente al censo anterior y L_n el logaritmo natural o neperiano²³.

5.2.1.3 Dotación neta. La dotación neta corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto.

Cuando se multiplica la población que va a ser servida por la dotación se obtienen la demanda total de agua; por tal razón la evaluación de la dotación es tan importante como la proyección de la población²⁴.

²³ COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. RAS-2000. Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (noviembre, 2000). Título B, Sistemas de Acueducto. p. B30-B31.

²⁴ *ibíd.*, p. B33.

Tabla 7. Dotación neta máxima

Nivel de complejidad	Dotación neta máxima para poblaciones de clima frío o templado (L/hab-día)	Dotación neta máxima para poblaciones con clima cálido (L/hab-día)
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio Alto	125	135
Alto	135	150

Fuente: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Resolución 2320 de 2009. Tabla 9.

5.3 MARCO CONCEPTUAL

5.3.1 Fuentes de las aguas residuales

“En general se consideran aguas residuales domésticas los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales. Se denominan aguas residuales municipales los residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal, y se llaman aguas residuales industriales las aguas residuales provenientes de las descargas de industrias de manufactura. También se acostumbra denominar aguas negras a las aguas residuales provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales, y aguas grises a las aguas residuales provenientes de tinas, duchas, lavamanos y lavadoras, aportantes de DBO, sólidos suspendidos, fosforo, grasas y coliformes fecales, esto es aguas residuales domésticas, excluyendo las de los inodoros.”²⁵.

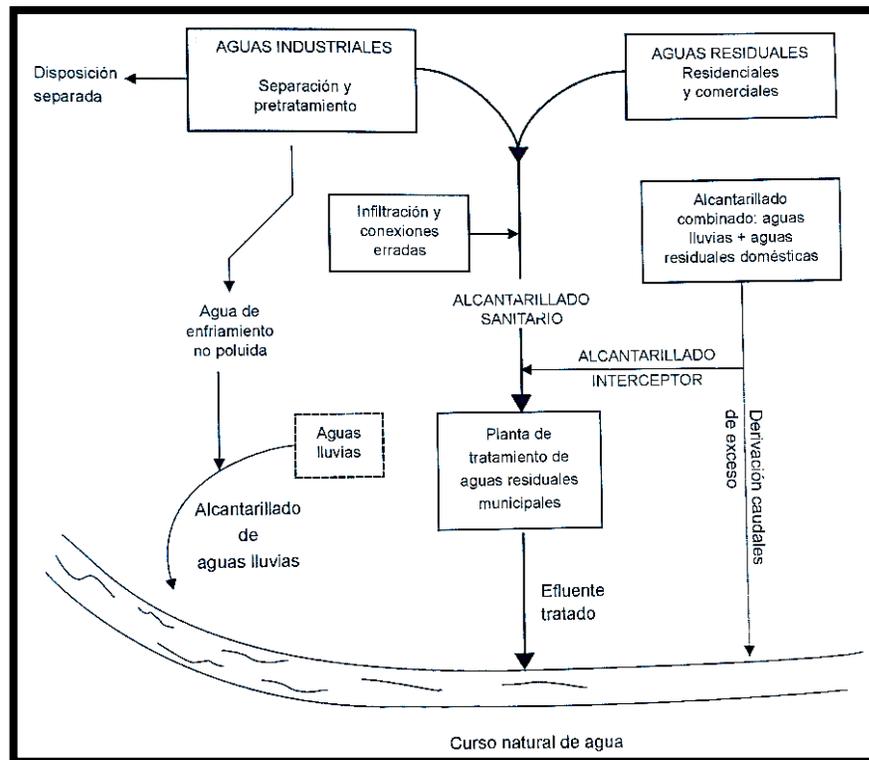
“Las aguas lluvias transportan la carga pulidora de techos, calles y demás superficies por donde circula; sin embargo, en ciudades modernas se recogen en alcantarillas separadas y, en general, se descargan directamente en el curso de agua natural más próximo sin ningún tipo de tratamiento. En ciudades que poseen un sistema de alcantarillado combinado se acostumbra a captar el caudal en tiempo seco mediante un alcantarillado interceptor y conducirlo a la planta de tratamiento.

²⁵ ROMERO ROJAS, Jairo Albero. Tratamiento de aguas residuales: Caracterización de las aguas residuales. 3 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004. p.17

No obstante, durante los aguaceros el caudal en exceso de la capacidad de la planta y el alcantarillado interceptor se desvía directamente al curso natural de agua.”²⁶.

En la Imagen 7 se resumen las principales fuentes de aguas residuales municipales.

Imagen 7. Principales fuentes de aguas residuales municipales



Fuente: ROMERO ROJAS, Jairo Albero. Tratamiento de aguas residuales: Caracterización de las aguas residuales. 3 ed. p.18

5.3.2 Contaminantes de importancia en las aguas residuales

“Toda agua residual afecta en alguna manera la calidad del agua de la fuente o cuerpo de agua receptor. Sin embargo, se dice que un agua residual causa polución solamente cuando introduce condiciones o características que hacen el agua de la fuente o cuerpo receptor inaceptable para el uso propuesto de la misma.”²⁷. En la

²⁶ ibíd., p. 18

²⁷ ibíd., p. 25

Tabla 8 se presenta de forma breve y generalizada, los efectos más importantes de los principales agentes de contaminación de las aguas residuales.

Tabla 8. Contaminantes de importancia en las aguas residuales

Contaminante	Parámetro típico de medida	Impacto ambiental
Materia orgánica biodegradable	DBO, DQO	Desoxigenación del agua, generación de olores indeseables.
Materia suspendida	SST, SSV	Causa turbiedad en el agua, deposita lodos.
Patógenos	CF	Hace el agua insegura para consumo y recreación.
Amoníaco	NH ₄	Desoxigena el agua, es tóxico para organismos acuáticos y puede estimular el crecimiento de algas.
Fósforo	Ortofosfatos	Puede estimular el crecimiento de algas.
Materiales tóxicos	Cada materia tóxica específica	Peligro para la vida vegetal y animal
Sales inorgánicas	SDT	limita los usos agrícolas e industriales del agua
Energía térmica	Temperatura	Reduce la concentración de saturación de oxígeno en el agua, acelera el crecimiento de organismos acuáticos.
Iones de hidrógeno	pH	Riesgo potencial para organismos acuáticos

Fuente: ROMERO ROJAS, Jairo Albero. Tratamiento de aguas residuales: Caracterización de las aguas residuales. 3 ed. p.25

5.3.3 Características físicas, químicas y biológicas del agua residual

En las aguas residuales domésticas debemos considerar una serie de parámetros a tener en cuenta durante los estudios de caracterización de sus aguas, estos son:

5.3.3.1 Caracterización física. La temperatura del agua, la conductividad eléctrica, la turbiedad, los sólidos (sólidos suspendidos, sólidos totales, sólidos sedimentables, sólidos totales).

5.3.3.2 Caracterización Química. Alcalinidad, acidez, el potencial de hidrogeno (pH), oxígeno disuelto (OD), demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO), carbono orgánico, bicarbonatos, cloruros, sulfatos (SO₄), nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, calcio, hierro, hidrocarburos totales, magnesio, sodio, fósforo orgánico e inorgánico, fosfato, potasio, metales pesados, grasas y aceites, fenoles.

5.3.3.3 Caracterización bacteriológica. Coliformes totales y fecales.

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química, y biológica. En la Tabla 9 se muestran las principales propiedades físicas del agua residual así como sus principales constituyentes químicos y biológicos, y su procedencia. Es conveniente observar que muchos de los parámetros que aparecen en la tabla están relacionados entre ellos. Por ejemplo una propiedad física como la temperatura afecta tanto la actividad biológica como a la cantidad de gases disueltos en el agua residual²⁸.

Tabla 9. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias

CARACTERÍSTICAS	PROCEDENCIA
Propiedades físicas:	
Color	Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de materia orgánica.
Olor	Agua residual en descomposición, residuos industriales.
Sólidos	Aguas de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.
Temperatura	Agua residual doméstica e industrial
Constituyentes químicos:	
Orgánicos:	
Carbohidratos	Agua residual doméstica, industriales y comerciales
Grasas animales, aceites y grasa	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Pesticidas	residuos agrícolas
Fenoles	Vertidos industriales
Proteínas	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Contaminantes Prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Agentes tensoactivos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Compuestos orgánicos volátiles	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Inorgánicos:	
Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea

²⁸ METCALF y Eddy, Ingeniería de aguas residuales: características de las aguas residuales. 3 ed. Madrid: McGraw-Hill, 1995. 145 p.

Cloruros	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea
Metales Pesados	Vertidos industriales
Nitrógeno	residuos agrícolas y aguas residuales domésticas
pH	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Fósforo	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de escorrentía
Contaminantes Prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Azufre	Agua de suministro; aguas residuales domésticas, comerciales e industriales
Gases:	
Sulfuro de hidrógeno	Descomposición de residuos domésticos
Metano	Descomposición de residuos domésticos
Oxígeno	Agua de suministro; infiltración de agua superficial
Contribuyentes Biológicos	
Animales	Curso de agua y plantas de tratamiento
Plantas	Curso de agua y plantas de tratamiento
Protistas:	
Eubacterias	Agua residual doméstica, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento.
Arqueobacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento
Virus	Aguas Residuales domésticas

Fuente: METCALF y Eddy, Ingeniería de aguas residuales. Tabla 3.1

5.3.4 Clasificación de los métodos de tratamiento de las aguas residuales²⁹

Los contaminantes presentes en el agua residual pueden eliminarse con procesos químicos, físicos o biológicos. Los métodos individuales suelen clasificarse en operaciones físicas unitarias, procesos químicos unitarios, y procesos biológicos unitarios. A pesar de que estas operaciones y procesos se utilizan conjuntamente en los sistemas de tratamiento, se ha considerado ventajoso estudiar las bases científicas de cada uno de ellos por separado, ya que los principios básicos son comunes.

²⁹ Ibíd., p. 220.

5.3.4.1 Operaciones físicas unitarias. Las operaciones llevadas a cabo en el tratamiento de las aguas residuales, en que los cambios en las características y propiedades del agua se realizan mediante la aplicación de las fuerzas físicas, se conocen como operaciones físicas unitarias. Dado que el origen de estas operaciones se halla en la observación directa de fenómenos que se daban en la naturaleza, constituyen los primeros métodos de tratamiento empleados por el hombre. Hoy en día, las operaciones físicas unitarias constituyen la base de la mayoría de los diagramas de flujo de procesos. En la Figura 5 se muestra las operaciones físicas unitarias que suelen utilizarse en un diagrama de flujo de procesos típico correspondiente al tratamiento de agua residual. (1)

Las operaciones físicas unitarias más comúnmente empleadas en el tratamiento del agua residual incluyen: 1) Medición de caudales; 2) Desbaste; 3) Dilaceración; 4) Homogeneización de caudales; 5) Mezclado; 6) Sedimentación; 7) Sedimentación acelerada; 8) Flotación; 9) Filtración; 10) Transferencia de gases; 11) Volatilización y arrastre de gases. En la Tabla 7 se resumen las principales aplicaciones de cada una de ellas.

Tabla 10. Aplicaciones de las operaciones físicas en el tratamiento de aguas residuales.

OPERACIÓN	APLICACIÓN
Medición de caudal	Control y seguimiento de procesos, informes de descarga.
Desbaste	Eliminación de sólidos gruesos y sedimentables por intercepción (retención en superficie).
Dilaceración	Trituración de sólidos gruesos hasta conseguir un tamaño más o menos uniforme.
Homogeneización del caudal	Homogeneización del caudal y de las cargas de DBO y de sólidos en suspensión.
Mezclado	Mezclado de productos químicos y gases con el agua residual, mantenimiento de los sólidos en suspensión
Floculación	Provoca la agregación de pequeñas partículas aumentando el tamaño de la misma, para mejorar su eliminación por sedimentación por gravedad.
Sedimentación	Eliminación de sólidos sedimentables y espesado de fangos.
Flotación	Eliminación de sólidos en suspensión finamente divididos y de partículas con densidades cercanas a la del agua. También espesa los fangos biológicos.
Filtración	Eliminación de los sólidos en suspensión residuales presente después del tratamiento químico o biológico.

Micro tamizado	Mismas funciones que la filtración. También la eliminación de las algas de los afluentes de las lagunas de estabilización.
Trasferencia de gases	Adición y eliminación de gases.
Volatilización y arrastre de gases	Emisión de compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles del agua residual.

Fuente: METCALF y Eddy, INC, Ingeniería de aguas residuales, pág. 221.

5.3.4.2 Procesos químicos unitarios. Los procesos empleados en el tratamiento de las aguas residuales en los que las transformaciones se producen mediante reacciones químicas reciben el nombre de procesos químicos unitarios. Con el fin de alcanzar los objetivos de tratamiento del agua residual, los procesos químicos unitarios se llevan a cabo en combinación con las operaciones físicas unitarias. En la Tabla 8 se resumen los procesos químicos, así como sus principales aplicaciones.

“Las ventajas inherentes asociada al uso de procesos químicos unitarios es que se trata de procesos aditivos (con la excepción de la absorción con carbón activado). En la mayoría de los casos, la eliminación de un constituyente se consigue por medio de la adición de otra sustancia. Como resultado de ello, se suele producir un incremento neto de los constituyentes disueltos en el agua residual. Por ejemplo, cuando se añade productos químicos para mejorar la eficacia de eliminación en la sedimentación simple, se produce un incremento en la concentración de sólidos totales disueltos. Si se va a reutilizar el agua tratada, este hecho puede construir un factor importante. Este carácter aditivo contrasta con las operaciones físicas unitarias y los procesos biológicos unitarios, que se pueden caracterizar como procesos sustractivos, en los que se elimina materia del agua residual. Otra desventaja de todos los procesos químicos es que comportan un coste de funcionamiento importante. Los costes de algunos de los productos químicos están vinculados al coste de la energía, razón por la cual es previsible que su coste aumente conforme aumente el coste de aquella”.

Tabla 11. Aplicaciones de los procesos químicos unitarios en el tratamiento del agua residual

PROCESO	APLICACIÓN
Precipitación Química	Eliminación de fósforo y mejora de la eliminación de sólidos en suspensión en la instalación primaria empleada en tratamientos fisicoquímicos.

Adsorción	Eliminación de materia orgánica no eliminada con métodos convencionales de tratamiento químico y biológico. También se emplea para dechlorar el agua residual antes de su vertido final.
Desinfección	Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades (pueden realizarse de diversas maneras).
Desinfección con dióxido de cloro	Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades.
Desinfección con cloruro de bromo	Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades.
Desinfección con ozono	Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades.
Desinfección con luz ultravioleta	Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades.
Otros	Para alcanzar objetivos específicos en el tratamiento de las aguas residuales, se puede emplear otros compuestos químicos.

Fuente: METCALF Y EDDY, INC, Ingeniería de aguas residuales, pág. 344

5.3.4.3 Procesos biológicos unitarios. En la mayoría de los casos, con un análisis y control adecuado del entorno, es posible tratar por vía biológica de la práctica totalidad de las aguas residuales. Por lo tanto, es necesario que el ingeniero sanitario conozca perfectamente el funcionamiento y las características de cada uno de los procesos de tratamiento biológico, a fin de que pueda asegurar el control y adecuación del medio ambiente al proceso de tratamiento escogido.

Los objetivos del tratamiento biológico del agua residual son la coagulación y eliminación de los sólidos coloides no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica. En el caso del agua residual doméstica, el principal objetivo es la reducción de la materia orgánica presente y, en muchos casos, la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo. A menudo, la eliminación de compuestos a nivel de traza que puedan resultar tóxicos, también constituye un objetivo de tratamiento importante. En el caso de las aguas de retorno de uso agrícolas, el principal objetivo es la eliminación de los nutrientes que puedan favorecer el crecimiento de plantas acuáticas, como el nitrógeno y el fósforo. En el caso de aguas residuales industriales, el principal objetivo es la reducción de la concentración de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos. A menudo, puede

ser necesario lleva a cabo un pretratamiento previo, debido a la potencial toxicidad de estos compuestos para los microorganismos³⁰.

La eliminación de la DBO carbonosa, la coagulación de los sólidos coloidales no sedimentables, y la estabilización de la materia orgánica se consiguen, biológicamente, gracias a la acción de una variedad de microorganismos, principalmente bacterias. Los microorganismos se utilizan para convertir la materia orgánica carbonosa coloidal y disuelta en diferentes gases y tejido celular.

5.3.5 Etapas de tratamiento de aguas residuales

Aquellos métodos de tratamiento en los que predominan los fenómenos físicos se conocen como operaciones unitarias, mientras que aquellos métodos en los que la eliminación de los contaminantes se realiza con base en procesos químicos o biológicos se conocen como procesos unitarios.

Al referirse a operaciones y procesos unitarios es porque se agrupan entre sí para constituir los tratamientos primario, secundario y terciario.

5.3.5.1 Tratamiento primario. El principal objetivo es el de remover aquellos contaminantes que pueden sedimentar, como por ejemplo los sólidos sedimentables y algunos suspendidos o aquellos que pueden flotar como las grasas³¹.

- **Sedimentación primaria:** Se realiza en tanques ya sean rectangulares o cilíndricos en donde se remueve de un 60 a 65% de los sólidos sedimentables y de 30 a 35% de los sólidos suspendidos en las aguas residuales. En la sedimentación primaria el proceso es de tipo floculento y los lodos producidos están conformados por partículas orgánicas.

Un tanque de sedimentación primaria tiene profundidades que oscilan entre 3 y 4m y tiempos de detención entre 2 y 3 horas. En estos tanques el agua residual es sometida a condiciones de reposo para facilitar la sedimentación de los sólidos sedimentables. El porcentaje de partículas sedimentadas puede aumentarse con tiempos de detención más altos, aunque se sacrifica eficiencia y economía en el proceso; las grasas y espumas que se forman sobre la superficie del sedimentador primario son removidas por medio de rastrillos que ejecutan un barrido superficial continuo.

- **Precipitación química – coagulación:** la coagulación en el tratamiento de las aguas residuales es un proceso de precipitación química en donde se agregan compuestos químicos con el fin de remover los sólidos. El uso de

³⁰ METCALF Y EDDY. Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. Volumen I. Mc. Graw Hill. Madrid, 1995. p. 120

³¹ RIGOLA, L. Miguel. Tratamiento de aguas industriales, Edit. Reverte, Marcombo, España., 1999.

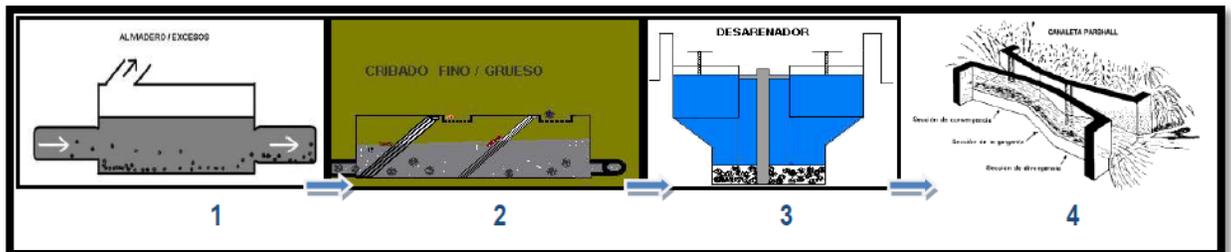
la coagulación ha despertado interés sobre todo como tratamiento terciario y con el fin de remover fósforo, color, turbiedad y otros compuestos orgánicos.

- **Tanque Imhoff**³²: en este tanque se destacan los sólidos sedimentables en la zona superior y se produce la digestión anaerobia de los lodos en la zona inferior. La operación consiste en retirar las espumas y grasas diariamente y purgar periódicamente el volumen de los lodos digeridos.

A continuación se realiza una descripción del tratamiento primario llevado a cabo en la PTAR RAP del municipio de Tenjo.

1. Aliviadero (vertedero de excesos).
2. Rejillas de cribado: Rejilla gruesa y rejilla fina.
3. Desarenador.
4. Sistema de medición.

Imagen 8. Tratamiento primario



Fuente: Corporación Autónoma de Cundinamarca CAR- CONHYDRA S.A. ESP. Manual de operación planta de aguas residuales del municipio de Tenjo.

- **Aliviadero:** Es una estructura en concreto y separada del vertedero de excesos por medio de una rejilla. Esta estructura está destinada a evacuar los excesos de caudal que se puedan llegar a presentar a la entrada de la planta y dirigirlos hacia la fuente receptora por medio de una tubería que conecta la planta con la fuente³³.

³² BUENO, J L.; Sastre; Lavin, G. Contaminación e ingeniería ambiental: Contaminación de aguas. Ed. FICYT, Oviedo, 1997.

³³ COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. RAS-2000. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, (noviembre, 2000). Título E. Tratamiento de Aguas Residuales. p.E50

- **Rejilla de cribado:** El sistema de rejillas de cribado se compone de dos rejillas, la primera es una rejilla de cribado grueso, con espaciamiento entre centros de barras generalmente de 25mm, tiene como finalidad retener las partículas gruesas antes de entrar al sistema. La segunda rejilla de cribado es una rejilla fina, generalmente con espaciamiento entre barras de 10mm, tiene como finalidad retener aquellas partículas mayores que pudieran haber pasado la primera rejilla, cada rejilla se compone de barras de acero inoxidable y tienen su respectiva escurridera y rampa de secado.
- **Desarenador:** Al final del canal de acceso se encuentra el desarenador, el cual es una estructura en concreto compuesta por una zona de entrada con dos compuertas que regulan el flujo y permiten dirigir el agua hacia los dos canales de desarenado. La finalidad del desarenador es favorecer la sedimentación de partículas tamaño arena que se encuentran suspendidas en el flujo.
- **Sistema de medición:** Es el sitio seleccionado para el aforo de caudales afluentes y efluentes. Está conformado por una canaleta Parshall.

5.3.5.2 Tratamiento secundario. El objetivo de este tratamiento es remover la demanda biológica de oxígeno (DBO) soluble que escapa a un tratamiento primario, además de remover cantidades adicionales de sólidos sedimentables³⁴.

El tratamiento secundario intenta reproducir los fenómenos naturales de estabilización de la materia orgánica, que ocurre en el cuerpo receptor. La ventaja es que en ese proceso el fenómeno se realiza con más velocidad para facilitar la descomposición de los contaminantes orgánicos en períodos cortos de tiempo. Un tratamiento secundario remueve aproximadamente 85% de la DBO y los SS aunque no remueve cantidades significativas de nitrógeno, fósforo, metales pesados, demanda química de oxígeno (DQO) y bacterias patógenas.

Además de la materia orgánica se va a presentar gran cantidad de microorganismos como bacterias, hongos, protozoos, rotíferos, etc., que entran en estrecho contacto con la materia orgánica la cual es utilizada como su alimento. Los microorganismos convierten la materia orgánica biológicamente degradable en CO₂ y H₂O y nuevo material celular. Además de estos dos ingredientes básicos microorganismos – materia orgánica biodegradable, se necesita un buen contacto entre ellos, la presencia de un buen suministro de oxígeno, aparte de la temperatura, pH y un adecuado tiempo de contacto.

Para llevar a efecto el proceso anterior se usan varios mecanismos tales como: lodos activados, biodisco, lagunaje, filtro biológico.

- **Lodos Activados:** es un tratamiento de tipo biológico en el cual una mezcla de agua residual y lodos biológicos es agitada y aireada. Los lodos biológicos

³⁴ RIGOLA, L. Miguel. Tratamiento de aguas industriales, Edit. Reverte, Marcombo, España., 1999.

producidos son separados y un porcentaje de ellos devueltos al tanque de aireación en la cantidad que sea necesaria. En este sistema las bacterias utilizan el oxígeno suministrado artificialmente para desdoblarse los compuestos orgánicos que a su vez son utilizados para su crecimiento.

A medida que los microorganismos van creciendo se aglutinan formando lodos activados; éstos más el agua residual fluyen a un tanque de sedimentación secundaria en donde sedimentan los lodos. Los efluentes del sedimentador pueden ser descargados a una corriente receptora; parte de los lodos son devueltos al tanque con el fin de mantener una alta población bacteriana para permitir una oxidación rápida de la materia orgánica.

- **Biodisco:** es tan eficaz como los lodos activados, requiere un espacio mucho menor, es fácil de operar y tiene un consumo energético inferior. Está formado por una estructura plástica de diseño especial, dispuesto alrededor de un eje horizontal. Según la aplicación puede estar sumergido de un 40 a un 90% en el agua a tratar, sobre el material plástico se desarrolla una película de microorganismos, cuyo espesor se autorregula por el rozamiento con el agua, en la parte menos sumergida, el contacto periódico con el aire exterior es suficiente para aportar el oxígeno necesario para la actividad celular.

- **Filtro Biológico:** está formado por un reactor, en el cual se ha situado un material de relleno sobre el cual crece una película de microorganismos aeróbicos con aspecto de limos.

La altura del filtro puede alcanzar hasta 12m. El agua residual se descarga en la parte superior mediante un distribuidor rotativo cuando se trata de un tanque circular. A medida que el líquido desciende a través del relleno entra en contacto con la corriente de aire ascendente y los microorganismos. La materia orgánica se descompone lo mismo que con los lodos activados, dando más material y CO₂.

- **Reactor Secuencial de Cochada:** el proceso SBR (Sequencing Batch Reactor en inglés) es un reactor de lodos activados en el cual todo el tratamiento se realiza en un solo tanque, lo cual permite ahorros en costo de capital.

Entre las ventajas señaladas para este proceso se incluyen: posibilidad de ajustar y cambiar la duración de las diferentes etapas del tratamiento, control del final de cada reacción biológica y la calidad del efluente; con ello, se evita la prolongación del tiempo de reacción, la disminución de la capacidad de tratamiento de la planta y el consumo de energía innecesaria para aireación.

- **Lagunas de oxidación o de estabilización:** el tratamiento por lagunas de estabilización puede ser aplicable en los casos en los cuales la biomasa de algas y los nutrientes que se descargan en el efluente puedan ser asimilados sin problema por el cuerpo receptor. En caso de que las algas descargadas al cuerpo receptor no puedan sobrevivir en él, generando una demanda de oxígeno adicional, que impida cumplir con los objetivos de calidad

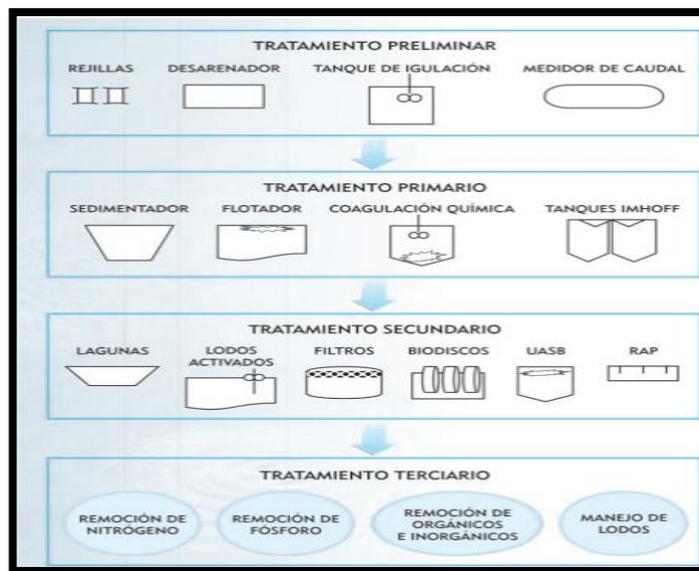
estipulados, debe incluirse en el proyecto la remoción de estas en el efluente final antes de ser descargado.

Para el tratamiento de aguas residuales domesticas se consideran únicamente los sistemas de lagunas que tengan unidades anaerobias, aireadas, facultativas y de maduración.

5.3.5.3 Tratamiento terciario. Tiene el objetivo de remover contaminantes específicos, usualmente tóxicos o compuestos no biodegradables o aún la remoción complementaria de contaminantes no suficientemente removidos en el tratamiento secundario.

Como medio de filtración se puede emplear arena, grava antracita o una combinación de ellas. El pulido de efluentes de tratamiento biológico se suele hacer con capas de granulometría creciente, duales o multimedia, filtrando en arena fina trabajando en superficie. Los filtros de arena fina son preferibles cuando hay que filtrar flóculos formados químicamente y aunque su ciclo sea más corto pueden limpiarse con menos agua³⁵.

Imagen 9. Tratamiento de aguas residuales típico



Fuente: Guía De Gestión Para El Manejo, Tratamiento Y Disposición Final De Las Aguas Residuales Municipales

³⁵ CRITES TCHOBANOGLOUS. Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos y descentralizados. Tomo 1.

5.3.5.4 Tratamiento avanzado / Recuperación del agua residual. El nivel de tratamiento necesario, más allá del tratamiento secundario convencional, para la eliminación de constituyentes de las aguas residuales que merecen especial atención, como los nutrientes, los compuestos tóxicos y los excesos de materia orgánica o de sólidos en suspensión. Además de los procesos de eliminación de nutrientes, otros procesos u operaciones unitarias habitualmente empleadas en los tratamientos avanzados son la coagulación química, floculación y sedimentación seguida de filtración y carbono activo. Para la eliminación de iones específicos y para reducción de sólidos disueltos, se emplean métodos menos comunes, como el intercambio iónico o la ósmosis inversa. También se emplea el tratamiento avanzado para diversas posibilidades de reutilización de las aguas residuales para los cuales es preciso conseguir efluentes de alta calidad, como puede ser el caso del agua empleada para refrigeración industrial o para la recarga de aguas subterráneas. En términos de calidad del efluente, algunos procesos de tratamiento natural (antes llamado tratamiento en el terreno) pueden resultar equivalentes al tratamiento avanzado de las aguas residuales³⁶.

5.4 SISTEMAS DE TRATAMIENTO EN EL MUNICIPIO DE TENJO

5.4.1 Planta de tratamiento tipo RAP

5.4.1.1 Rap. Es una estructura compuesta de una sección rectangular, es el corazón del proceso biológico anaerobio. Es alimentado con las aguas residuales provenientes del desarenador. Después de un período de retención el agua fluye hacia el efluente. La estabilización anaeróbica proporciona a las células poca energía en su crecimiento haciendo que este sea relativamente bajo, de esta forma la producción de lodo es mucho menor. Los costos operativos son muchos menores que otros sistemas y hay mayor sencillez en su operación y mantenimiento.³⁷

El sistema tiene unidades rectangulares RAP de idénticas dimensiones reforzadas, cada reactor cuenta con pantallas de separación que garantiza el flujo a pistón a través de los tanques. Estos muros son de dos tipos: los que apoyan en el piso y los que están suspendidos, los primeros obligan a pasar el flujo por encima y los últimos a pasar el flujo por debajo. Ver Imagen 10.

³⁶ METCALF Y EDDY. Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. Volumen I. Mc. Graw Hill. Madrid, 1995, pág. 350.

³⁷ COLOMBIA. Corporación Autónoma de Cundinamarca CAR- CONHYDRA S.A. ESP. Manual de operación planta de aguas residuales del municipio de Tenjo. p. 11.

Imagen 10. Reactor RAP Tratamiento secundario



Fuente: Corporación Autónoma de Cundinamarca CAR- CONHYDRA S.A. ESP. Manual de operación planta de aguas residuales del municipio de Tenjo. p. 10

5.4.1.2 Tanque sedimentador: La función básica del sedimentador es la separación del lodo digerido del agua residual tratada. Estructura de sedimentación esta al final de cada RAP donde entrega el clarificado a las canaletas con múltiples vertederos.

5.4.1.3 Disposición final: Una vez secados y estabilizados los lodos se enviarán de manera periódica hacia un sector del predio adecuado para tal fin, además este lodo por sus altas propiedades agrícolas, se puede utilizar para la recuperación de suelos agrológicamente pobres, siendo un sustituto barato del abono químico

Imagen 11. Planta tipo RAP, municipio de Tenjo



Fuente: autores

5.4.1.4 Control de Operaciones en el RAP. El sistema reactor de flujo a pistón depende de grupos de microorganismos, primordialmente bacterias y protozoos, alimentados por los materiales orgánicos contenidos en el agua residual. Los microorganismos como criaturas vivientes, persiguen dos funciones básicas, mantenerse vivos y reproducirse cuando las condiciones sean favorables, con el objeto de lograr estas condiciones, que a su vez, permiten tratar el agua residual, el medio ambiente en el que vivan los microorganismos debe ser aceptable. Para un efectivo tratamiento de las aguas residuales y la existencia de un medio ambiente favorable a los microorganismos presentes en el sistema, se deben controlar las siguientes variables de un modo efectivo:

- ✓ Alimento adecuado y suficiente.
- ✓ Adecuada detención hidráulica durante el proceso en el sistema.
- ✓ Temperatura adecuada del agua residual.

Si los elementos que componen la planta son controlados y se realiza un adecuado mantenimiento de la planta, el sistema producirá un efluente bien tratado. El operador deberá observar y llevar un registro de todos aquellos parámetros que inciden en el funcionamiento de la planta³⁸.

5.4.2 Planta De Tratamiento Tipo Laguna de Oxidación

Las lagunas de estabilización son el método más simple de tratamiento de aguas residuales que existe. Son grandes depósitos excavados en el terreno, que permiten descontaminar las aguas residuales por medio de procesos en los cuales interactúan los microorganismos y la luz solar.

El proceso es el siguiente: las bacterias descomponen la materia orgánica, formando nitrógeno orgánico, fosfatos y dióxido de carbono, las algas utilizan estos compuestos junto con la energía de la luz solar para la fotosíntesis, liberando oxígeno para la solución. El oxígeno es a su vez asimilado por las bacterias, cerrando así el ciclo. En la Imagen 12 se aprecia una vista de la laguna de oxidación.

La simplicidad de este sistema de tratamiento de aguas residuales radica en que los procesos físicos y bioquímicos (composición de materia orgánica), se llevan a cabo dentro el mismo reactor (la laguna) en condiciones muy cercanas a las la auto purificación natural. Normalmente, estos sistemas carecen de equipos mecánicos y se caracteriza por sus grandes áreas y largos periodos de retención tanto del agua (hasta más de 70 días) como de los sólidos (hasta más de 10 años)³⁹.

³⁸ COLOMBIA. Corporación Autónoma de Cundinamarca CAR- CONHYDRA S.A. ESP. Manual de operación planta de aguas residuales del municipio de Tenjo. p. 12-13

³⁹ METCALF Y EDDY. Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. Volumen I. Mc. Graw Hill. Madrid, 1995.

Imagen 12. Laguna de oxidación municipio de Tenjo



Fuente: Autores trabajo

Las aguas residuales que fluyen desde los alcantarillados a las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), son muy variables en su flujo y contienen gran cantidad de objetos, en muchos casos voluminosos y abrasivos, que por ningún motivo deben llegar a las diferentes unidades donde se realizan los tratamientos y deben ser removidos⁴⁰. Para esto son utilizados los tamices, las rejillas, los microfiltros, etc.

5.5 MARCO JURIDICO

La necesidad de proteger a la comunidad contra las enfermedades producidas por el consumo de agua sin tratamiento y la disposición indiscriminada de las aguas residuales, en la mayoría de veces en cuerpos de agua. Ha sido motivo de preocupación por parte del Gobierno Nacional, y como solución a la problemática planteada, ha establecido normas ambientales (suministro de agua y saneamiento básico) para el manejo de los residuos, tanto sólidos como líquidos. Son numerosas las reglamentaciones expedidas al respecto, algunas de las cuales se mencionan:

Decreto 2811 de 1974: Código Nacional de los recursos naturales renovables y de protección del medio ambiente.

Ley 9 de 1979: Código Sanitario Nacional.

⁴⁰ METCALF Y EDDY. Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. Volumen I. Mc. Graw Hill. Madrid, 1995.

Decreto 1180 de 2003: Licencias Ambientales.

Ley 99 de 1993: Reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables

Decreto 3930 del 25 de octubre de 2010: Deroga el Decreto 1594 de 1984, salvo el artículo 20 que trae la lista de las sustancias que son Consideradas de interés sanitario y el artículo 21 el cual define que es un usuario de interés sanitario, estableciendo que es aquel en cuyos vertimientos se puede encontrar alguna de las sustancias listadas en el artículo 20.

Decreto 1594 de 1984: el Decreto 3930 del 25 de octubre de 2010 en su artículo 76 fijó un régimen de transición legal que deja vigente transitoriamente, los siguientes artículos:

Artículos 37 a 48: En los cuales se esbozan los criterios de calidad para destinación del recurso.

Artículos 72 a 79: En los que se establecen las normas de vertimientos

Artículos 155, 156, 158, 160, 161: En los cuales se regula todo el tema de los métodos de análisis y de la toma de muestras.

Dichos artículos seguirán transitoriamente vigentes hasta tanto el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial fije mediante resolución, los usos del agua, los criterios de calidad para cada uso, las normas de vertimiento a los cuerpos de agua, aguas marinas, alcantarillados públicos y al suelo y el Protocolo para el Monitoreo de los Vertimientos en Aguas Superficiales, Subterráneas.

Resolución 1096 de 2000 Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y saneamiento básico (RAS). las características técnicas de la planta de aguas residuales domesticas deben ajustarse a lo estipulado en el Título E del RAS 2000.

Ley 142 de 1994: Régimen de los servicios públicos domiciliarios

Ley 373 de 1997: Uso eficiente y Ahorro del agua.

Resolución 372 de 1998: Actualiza las tarifas mínimas de la tasa retributivas por vertimientos líquidos.

Resolución 631 De 2015: Establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

El enfoque de investigación que se utilizó es cualitativo⁴¹, porque maneja la recolección y análisis de diversos datos que pueden ser medidos para resolver la pregunta planteada en la investigación y por tal razón lograr explicar los diferentes comportamientos en la operación y desempeño de la Planta de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Tenjo.

6.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El objetivo de la investigación descriptiva consistió en llegar a conocer los componentes contaminantes predominantes a través de la descripción exacta de los factores internos y externos que pueden afectar al sistema de tratamiento. La investigación experimental es la parte más importante ya que con ella se analizó las variables recolectadas para llegar a una conclusión. Finalmente para dar solución al problema la investigación se tornó evaluativa, donde se evaluaron los resultados del sistema de tratamiento, en razón de los objetivos propuestos para el mismo, con el fin de tomar decisiones sobre su proyección y programación para un futuro.

6.3. FASES DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto investigativo se fundamentó en aportar en el basto campo de la ingeniería civil, fortalecer las construcciones factibles y sustentables de las PTAR, debido a que en Colombia actualmente y desde los orígenes de los vertimientos de aguas domesticas e industriales, se han ido contaminando, distintos ecosistemas que mantienen un equilibrio ambiental y que además son poseedores de inmensas poblaciones de animales y plantas.

La metodología de investigación se desarrolló en las siguientes 3 etapas:

⁴¹ HERNÁNDEZ, Sampieri Roberto. Metodología de la Investigación: Capítulo 6, Diseños experimentales de investigación. Mc Graw Hill. México, 1994.

Tabla 12. Fases de la investigación

FASES DE LA INVESTIGACION	
FASE 1: Diagnostico técnico	<p>La planta requiere la ejecución de las siguientes obras para mejorar su actual funcionamiento:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ampliación del aliviadero actual 2. Reemplazo de las compuertas en madera 3. Ajuste de los soportes de las canastillas y de los mecanismos de sujeción de las mismas 4. Nivelación de los reboses en los reactores 5. Reparación y nivelación de los cuatro sedimentadores.
FASE 2: Evaluar las condiciones actuales de la planta	<p>Las estructuras que componen la planta muestran deficiencias en cuanto a su mantenimiento general.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Aliviadero lateral a la entrada: se encuentra en regular estado y es demasiado bajo permitiendo el rebose de las aguas residuales en tiempo seco 2. Compuertas de madera: las compuertas de los canales del tratamiento preliminar se encuentran en mal estado y deben ser reemplazadas 3. Rap: los soportes de las canastillas se encuentran sueltos, situación que origina el levantamiento de las rejillas, el rebose superior del reactor es irregular. 4. Sedimentadores: sus vertederos de salida se encuentran desnivelados y en mal estado. Dos de los cuatro sedimentadores trabajan más que los otros dos. 5. Lecho de secado: no está funcionando
FASE 3: Recopilación y análisis de la información	<p>Se recopiló y evaluó toda la información y documentación técnica disponible, tanto regional como local, sobre la historia, funcionamiento, tipo de tratamiento, cálculo de caudales de aguas residuales (caudal de diseño y caudal real que llega a la planta). La información secundaria tanto de informes técnicos preparados sobre el mismo sitio y sus alrededores como de fuentes diferentes a ellos puede aportar elementos muy valiosos en la investigación</p>

Fuente: Autores trabajo

6.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

A continuación se describe cada uno de los instrumentos y técnicas utilizadas para la recolección de información y posteriormente el análisis de esta.

6.4.1 Visitas de campo y observación

Se hacen 5 visitas de campo para realizar la recolección de información, y posteriormente para tomar muestras de agua y fotografías de la PTAR, también se recolecta información en la alcaldía sobre la población en el área urbana, año de construcción de la PTAR, su funcionamiento, el tipo de PTAR construida, el

tratamiento que posee, el operador responsable; y también se estableció que no existía una proyección de ampliación de la actual PTAR.

6.4.2 Entrevista

Se realizó una entrevista a la persona encargada de la operación de la PTAR, donde se conoció de primera mano el estado en que se encontraba la planta; concluyendo que era deficiente.

6.4.3 Registro Fotográfico

Se realizó un registro fotográfico del estado de la PTAR donde se identificó el tipo de estructura y el tratamiento que se estaba empleando, en el anexo fotográfico se registran dichas fotos con su explicación.

6.4.4 Pruebas de Laboratorio

Después de tener todos los datos necesarios se realizara una segunda visita donde se tomara muestra del agua para llevarla a laboratorio correspondiente y hacer el análisis respectivo de acuerdo a la norma establecida.

7. RESULTADOS

7.1 EVALUACIÓN DEL ESTADO FÍSICO Y DE FUNCIONAMIENTO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO

Como ya se había mencionado, el casco urbano del municipio de Tenjo cuenta con dos plantas de tratamiento de aguas residuales, una denominada RAP (Reactor anaeróbico de Flujo a Pistón) y otra correspondiente a una Laguna de oxidación.

7.1.1 Planta de Tratamiento Tipo RAP (Reactor Anaerobio de Flujo A Pistón)

La planta de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Tenjo se construyó en el año de 1989, mediante un proyecto desarrollado por el Centro de Investigaciones de la Facultad de ingeniería de la Universidad de los Andes, y COLCIENCIAS. En el año 1992 entró en funcionamiento.

El sistema corresponde a un Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón conformado por una estructura de entrada, dos desarenadores, dos trampas de grasas y dos módulos del RAP que cuentan con tres cámaras cada una y sedimentadores al final del proceso.

Inicialmente el agua residual llega a una caja, que posee un bypass para desviar las aguas lluvias directamente al vallado, lamentablemente esta tubería se encuentra taponada y en época de lluvias el agua se desborda inundando parte de la PTAR. De lo contrario, el caudal correspondiente a las aguas residuales ingresa a una canal de entrada donde se distribuye una parte al RAP; y los excesos se van a través de un vertedero hasta la estación de bombeo, que cuenta con tres bombas sumergibles para transportar el afluente 1200 m hasta la laguna de oxidación.

El caudal que ingresa al RAP, pasa por una estructura de entrada que cuenta con dos rejillas de cribado (Gruesa y fina), dos desarenadores que descargan a una canaleta Parshall, en donde se afora el caudal, y por último el caudal pasa al RAP; que es una estructura en concreto donde se realiza un proceso biológico anaerobio, este cuenta con dos cámaras rectangulares de idénticas dimensiones, que tienen pantallas de separación que garantizan el flujo a pistón a través de los tanques. Estos muros son de dos tipos: los que apoyan en el piso y los que están suspendidos, los primeros obligan a pasar el flujo por encima y los últimos a pasar el flujo por debajo. Al final del proceso cada reactor cuenta con un sedimentador, que entrega el efluente a un vallado que descarga en la quebrada Churuguaco.

Los parámetros de diseño de la PTAR Según el “Estudio de Evaluación y Optimización de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de Tenjo – departamento de Cundinamarca”, elaborado por la firma C&G Ingeniería Empresarial SAS, fueron los siguientes

- Población de diseño: 5 900 habitantes. (2015 hay 13097 habitantes)
- Caudal de diseño: 10,6 L/s.
- Horizonte de diseño: año 2012

- Periodo de diseño: 20 años

Según el “Informe Final Catastro de Redes” ejecutado por el consorcio Medina-Baquero, en el año 2000 la población que estaba conectada al sistema de alcantarillado, era de 5980 habitantes, la cual es un poco mayor a la de diseño, es decir, la planta está trabajando a su máxima capacidad desde dicho año. Además según información suministrada por la Empresa de Servicios Públicos de Tenjo EMSERTENJO S.A. ESP, el caudal actual de la planta es de 25 L/s, y por tal razón se está bombeando mayor caudal a la Laguna de oxidación, cerca de 15 L/s que igualmente es mayor al que puede tratar (10 l/s).

7.1.2 Planta de tratamiento tipo laguna de oxidación

La Laguna de oxidación es un sistema de tratamiento a base de bacterias anaerobias, que fue diseñada por la Empresa GESTIONAR A. P. C. y en enero de 2007 inicia su funcionamiento.

Antes de iniciar el tratamiento existe un vertedero para aliviar excesos de aguas lluvias, seguido a este inicia el tratamiento primario con dos rejillas de cribado, y dos desarenadores que cuentan al final con un vertedero tipo sutro para medir el caudal. El tratamiento secundario en la laguna de oxidación que presenta forma trapezoidal (B1=46,3 m, B2=109,50 m y L=231 m). En la parte baja de la laguna se presentan seis vertederos que se comunican entre sí y llevan las aguas tratadas a la quebrada Churuguaco que finalmente desemboca en el río Chicú.

Según el “Estudio de Evaluación y Optimización de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de Tenjo – departamento de Cundinamarca”, elaborado por la firma C&G Ingeniería Empresarial SAS, los parámetros de diseño de la PTAR fueron los siguientes:

- Caudal de diseño: 10 L/s.
- Carga por habitante 50 gr / Hab / día
- Profundidad total: 3,0 m (incluyendo borde libre de 0,50 m)
- Área: 1.8 hectáreas
- Volumen aproximado: 57 565 m³

Sus componentes o estructuras en general se encuentran en buen estado, exceptuando una de las compuertas de los desarenadores que se encuentra suelta, y la Laguna de oxidación que requiere de mantenimiento por presentar bolsas con gases – efecto tipo ballena- y mostrar sedimentación en la parte baja de la misma.

- **Vertedero de Excesos**

La estructura se encuentra en buen estado y es empleada para eliminar los excesos de caudal y conducirlos directamente al cauce aledaño, lamentablemente como la

laguna ya no tiene la capacidad para tratar el caudal que entra a la planta, en las horas pico hay una parte que siempre se vierte de manera directa a la quebrada Churuguaco. En la Imagen 13 se aprecia cómo se rebosan las aguas residuales en el vertedero de excesos.

Imagen 13. Vertedero de excesos



Fuente: Autores trabajo

- **Sistema de cribado**

Se localiza aguas abajo del vertedero de excesos y está conformado por dos rejillas en serie que presentan una inclinación de 45° , cuya finalidad es la de retener los sólidos de mayor tamaño que pueden ocasionar taponamiento de la tubería de entrada a la Laguna, estas rejillas se encuentran en buen estado. Las rejillas de cribado se pueden apreciar en la Imagen 14.

Imagen 14. Sistema de cribado



Fuente: autores

- **Desarenadores**

Luego de las rejillas de cribado se localizan dos desarenadores de flujo horizontal en paralelo de sección rectangular que cuentan con compuertas a la entrada de cada uno para que puedan trabajar alternadamente en caso de su mantenimiento. Estas estructuras presentan buen estado estructural (véase Imagen 15).

Imagen 15. Desarenadores



Fuente: autores

- **Laguna de oxidación**

Aguas abajo del sistema primario, inicia el tratamiento secundario del agua residual mediante el sistema de laguna de oxidación.

La geomembrana presenta deformación en algunos puntos de la estructura (efecto ballenas) que probablemente son ocasionados por la acumulación de gases provenientes de la descomposición de la materia orgánica en el terreno.

En el punto más bajo de la laguna se observa la acumulación de sedimentos los cuales deben removerse ya que pueden disminuir la capacidad de la laguna, si esta actividad no se realiza periódicamente.

Imagen 16. Efecto ballena en laguna de oxidación



Fuente: autores trabajo

De acuerdo con las visitas realizadas se identificaron tres viviendas a menos de 100 m de distancia aproximadamente lo cual no cumple en principio con lo establecido en el RAS 2000, ya que dentro de sus distancias mínimas a viviendas y centros poblados es 1000 m como mínimo para lagunas facultativas y reactores cubiertos.

Tabla 13. Componentes del sistema y su estado físico

ESTRUCTURAS DEL SISTEMA	ESTADO
Vertedero de Excesos	Buen estado
Sistema de cribado (dos rejillas en serie)	Buen estado
Desarenadores	Buen estado

Laguna de oxidación	Mal estado: la geomembrana presenta deformación en algunos puntos de la estructura (efecto ballenas) y acumulación de sedimentos en la parte baja
---------------------	---

Fuente: Autores trabajo

7.2 Identificación de Puntos de Vertimiento de Aguas Residuales

7.2.1 Planta de Tratamiento Tipo RAP (Reactor Anaerobio de Flujo A Pistón)

Las aguas residuales recolectadas en el casco urbano y los sectores rurales de Chince, Chitasuga, sector Cementerio, Pan de Azúcar, Pinos parte baja, Pollos, Yazos, Pavera, Cascajera, Tanques y Churuguaco Alto son llevadas por la red de alcantarillado combinado del municipio hasta la PTAR RAP para su posterior tratamiento.

El vertimiento del efluente de la PTAR RAP del municipio de Tenjo se realiza en la vereda Chucua a un vallado que tiene como destino final la Quebrada Churuguaco, y luego de recorrer aproximadamente 1,5 kilómetros descarga en el Río Chicú.

En la fotografía 17 se puede apreciar el sitio de vertimiento de la PTAR RAP del casco urbano del municipio de Tenjo.

Imagen 17. Vertimiento del efluente de la PTAR RAP



Fuente: Autores trabajo

7.2.2 Planta de Tratamiento Tipo Laguna de Oxidación

A la Laguna de oxidación le llegan las aguas residuales provenientes de las veredas los Camellones y Pinos parte alta, además de las aguas provenientes de la estación de bombeo en el RAP. Ver Imagen 18.

El vertimiento de la Laguna se realiza directamente a la quebrada Churuguaco, que desemboca finalmente en el río Chicú.

Imagen 18. Vertimiento del efluente en la PTAR laguna de oxidación



Fuente: Autores trabajo

7.3 Caracterización del agua residual las PTAR´S del Municipio de Tenjo

Con la finalidad de verificar los parámetros establecidos por el Decreto 1594 de 1984 en cuanto a residuos líquidos; el Consorcio JJG 2013 contrató la empresa ANALQUIM LTDA (laboratorio de aguas acreditado pro el IDEAM mediante Resolución 0873 de 27 de mayo de 2013) para la ejecución de los muestreos y análisis de laboratorio de aguas. Se tomaron muestras compuestas y puntuales a la entrada y salida de las dos PTAR´S.

Los muestreos, caracterizaciones y análisis se realizaron los días 16 y 17 de agosto de 2013 para las PTAR´S Urbanas (RAP y Laguna de Oxidación) el cual consistió en un muestreo tipo compuesto de 24 horas con intervalo de medición y aforo cada hora. La campaña de muestreos se realizó por parte de técnicos de ANALQUIM LTDA⁴²., empresa acreditada y con experiencia en este tipo de pruebas. Las

⁴²ANALQUIM LTDA laboratorio de aguas acreditado pro el IDEAM mediante Res 0873 de 27 de mayo de 2013

mediciones realizadas in-situ fueron pH, temperatura, sólidos sedimentables y caudal. Los parámetros analizados y la técnica analítica empleada se muestran en la Tabla 13.

Tabla 14 Parámetros analizados

No.	PARÁMETRO	TÉCNICA ANALÍTICA
1	DBO5	Incubación 5 días
2	DQO	Reflujo abierto
3	Grasas y aceites	Extracción Soxhlet
4	Coliformes totales	Sustrato definido
5	Coliformes fecales	Sustrato definido
6	Ortofosfatos	Colorimétrico
7	Nitrógeno total	Semi-micro Kjeldahl
8	Oxígeno disuelto	Electrodo de membrana
9	Sólidos suspendidos totales	Gravimétrico
10	Sólidos Sedimentables	Volumétrico
11	Conductividad	Electrometría
12	Alcalinidad	Titulométrico H2SO4
13	Nitrógeno amoniacal	Destilación - titulación

Fuente: ANALQUÍM LTDA.

7.3.1 Planta de Tratamiento Tipo RAP (Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón)

Los resultados de la caracterización de aguas residuales adelantados por la firma ANALQUÍM LTDA se pueden apreciar en el Tabla 15.

Tabla 15. Caracterización de aguas residuales PTAR RAP

PARAMETRO	UNIDADES	ENTRADA		SALIDA		REMOCIÓN POR CARGA %	DECRETO 1594/84	Cumplimiento
		VALOR	CARGA Kg/día	VALOR	CARGA Kg/día			
Alcalinidad	mg/L	312	N/A	240	N/A	N/A	N.E.	N/A
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	31x10E4	N/A	84x10E4	N/A	N/A	N.E.	N/A
Coliformes Totales	NMP/100 mL	27x10E6	N/A	14.9x10E6	N/A	N/A	N.E.	N/A
DBO	mg/L	250	279.50	120	134.16	52.00%	% R > 80	No cumple
DQO	mg/L	385	430.44	263	294.04	31.69%	N.E.	N/A
Grasas y Aceites	mg/L	27	30.19	22	24.60	18.52%	% R > 80 <100 mg/L	No cumple
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	66.08	73.88	27.16	30.37	58.90%	N.E.	N/A
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	84.56	94.54	34.72	38.82	58.94%	N.E.	N/A
Ortofosfatos	mg/L	26.71	29.86	0.3	0.34	98.88%	N.E.	N/A
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	150	167.70	92	102.86	38.67%	% R > 80	No cumple
Caudal promedio	L/s	12.94	N/A	---	N/A	N/A	N.E.	N/A
pH	Unidades	6.92-7.96	N/A	7.12-7.34	N/A	N/A	5 a 9	Cumplimiento
Conductividad	µS/cm	704-796	N/A	606-728	N/A	N/A	N.E.	N/A
Oxígeno Disuelto	mg/L	0.4-1.4	N/A	2.0-2.6	N/A	N/A	N.E.	N/A
Sólidos Sedimentables	mL/L	1.0-1.9	N/A	0.1-0.2	N/A	N/A	10	Cumplimiento
Temperatura	°C	13.6-19.4	N/A	13.6-20.8	N/A	N/A	40	Cumplimiento

OBSERVACIONES: el signo "<" se indica en la columna "valor", cuando el dato obtenido por la técnica analítica reportada es inferior al dato mínimo cuantificable con precisión aceptable.
*Por condiciones técnicas del punto de muestreo no fue posible aforar el caudal de salida por lo cual se asumió éste igual al de entrada.
% R > 80: Porcentaje de Remoción de carga contaminante mayor al 80 %.
N.E: Valor No Establecido en Decreto 1594/84; N/A No aplica.

Fuente: INFORME ANALQUIM LTDA

De acuerdo con los análisis y las pruebas realizadas en laboratorio se evidencia que el porcentaje de remoción de la PTAR RAP no está cumpliendo con la normatividad ambiental vigente. Actualmente los porcentajes de remoción son de 52% en DBO y de 38,67% en SST. Igualmente se destaca el hecho de no contar con vía de acceso, lo que dificultaría el acceso de equipos para su mantenimiento.

7.3.2 Planta de Tratamiento Tipo Laguna de Oxidación

De igual manera los análisis y las pruebas realizadas en laboratorio reflejan un resultado desfavorable en el porcentaje de remoción de la Laguna de Oxidación, debido a que no está cumpliendo con la normatividad ambiental legal vigente, a pesar de ser un sistema nuevo en cuanto a su construcción. Actualmente los porcentajes de remoción son del orden de 33,68% en DBO₅ y de 15,12% es SST como se puede observar en la Tabla 16.

Tabla 16. Caracterización de las aguas residuales en la PTAR Laguna de Oxidación

TABLA 7. COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON NORMATIVIDAD								
PARAMETRO	UNIDADES	ENTRADA		SALIDA		REMOCIÓN POR CARGA %	DECRETO 1594/84	Cumplimiento
		VALOR	CARGA Kg/día	VALOR	CARGA Kg/día			
Alcalinidad	mg/L	216	N/A	248	N/A	N/A	N.E.	N/A
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	15x10E6	N/A	10x10E5	N/A	N/A	N.E.	N/A
Coliformes Totales	NMP/100 mL	25.9x10E7	N/A	13.8x10E6	N/A	N/A	N.E.	N/A
DBO	mg/L	190	194.86	126	129.22	33.68%	% R > 80	No cumple
DQO	mg/L	271	277.93	247	253.32	8.86%	N.E.	N/A
Grasas y Aceites	mg/L	67	68.71	9	9.23	86.57%	% R > 80 < 100 mg/L	Cumple
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	50.12	51.40	46.48	47.67	7.26%	N.E.	N/A
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	64.4	66.05	59.36	60.88	7.83%	N.E.	N/A
Ortofosfatos	mg/L	20.89	21.42	18.97	19.46	9.19%	N.E.	N/A
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	86	88.20	73	74.87	15.12%	% R > 80	No cumple
Caudal promedio	L/s	11.87	N/A	11.87	N/A	N/A	N.E.	N/A
pH	Unidades	6.91-7.42	N/A	6.91-8.18	N/A	N/A	5 a 9	Cumplimiento
Conductividad	µS/cm	715-1085	N/A	705-830	N/A	N/A	N.E.	N/A
Oxígeno Disuelto	mg/L	0.07-0.70	N/A	3.17-5.92	N/A	N/A	N.E.	N/A
Sólidos Sedimentables	mL/L	0.1-1.8	N/A	0.1-0.7	N/A	N/A	10	Cumplimiento
Temperatura	°C	13.8-19.2	N/A	15.7-20.6	N/A	N/A	40	Cumplimiento

OBSERVACIONES: el signo "<" se indica en la columna "valor", cuando el dato obtenido por la técnica analítica reportada es inferior al dato mínimo cuantificable con precisión aceptable.
 *Por condiciones técnicas del punto de muestreo no fue posible aforar el caudal de salida por lo cual se asumió éste igual al de entrada.
 % R > 80: Porcentaje de Remoción de carga contaminante mayor al 80 %.
 N.E: Valor No Establecido en Decreto 1594/84; N/A No aplica.

Fuente: INFORME ANALQUIM LTDA

7.4 Análisis de la eficiencia en las PTAR

En términos de eficiencia de remoción de DBO, se cumple la siguiente ecuación⁴³:

$$E = \frac{C_0 - C_e}{C_0} * 100\%$$

Donde:

$E = \text{Eficiencia}$

$C_0 = \text{DBO del afluente (g/m}^3\text{)}$

$C_e = \text{DBO del efluente (g/m}^3\text{)}$

7.4.1 Eficiencia de la PTAR RAP

⁴³ ROMERO ROJAS. Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales: reactores y sus modelos. 4 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2013. p. 264

$$E = \frac{250 - 120}{250} * 100\%$$

$$E = 52 \%$$

7.4.2 Eficiencia de la PTAR laguna de oxidación

$$E = \frac{190 - 126}{190} * 100\%$$

$$E = 33.68 \%$$

7.5 proyección de la población

El análisis para el cálculo de la población futura, se realizó con base en los censos elaborados por el Departamento Nacional de Estadística DANE. Para un nivel de complejidad Medio Alto se utilizó el método de proyección geométrico, aritmético y exponencial, en la Tabla 17 se aprecia la población de diseño con su respectivo caudal.

El análisis para el cálculo de la población futura, se realiza con base en los censos elaborados por el Departamento Nacional de Estadística DANE. Para un nivel de complejidad Medio Alto se utilizó el método de proyección geométrico así:

7.4.1 Método de proyección aritmético

Este método no representa el crecimiento vegetativo real, pero se usa en cumplimiento de la norma establecida (RAS-2000).

Rata de crecimiento anual “K_a”

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

Donde:

P_{uc} = Población del ultimo censo

P_{ci} = Población del censo inicial

T_{uc} = Fecha del ultimo censo considerado

P_{ci} = fecha en la cual se realizo el censo inicial considerado

$T_{uc} - T_{ci} = m$ = tiempo transcurrido entre los dos censos considerados

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

Número de años entre censos

de Oct 24/1973 a Oct 24/2005 = 32 años

de Oct 24/2005 a Nov 15/2005 = 21 días

Pasamos los 21 días a años y hallamos m

$$\left(\frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} \right) * (21 \text{ días}) = 0.0575 \text{ años}$$

$$m = 32 \text{ años} + 0.0575 \text{ años}$$

$$m = 32.058 \text{ años}$$

Calculamos K_a

$$K_a = \frac{P_{Nov 15/2005} - P_{Oct 24/1973}}{m}$$

$$K_a = \frac{(7884 - 1354) \text{ habitantes}}{32.058 \text{ años}}$$

$$K_a = 203.69 \text{ hab/año}$$

K_a se aproxima al número entero más cercano

$$K_a = 204 \text{ hab/año}$$

Se proyecta hacia el futuro con la siguiente ecuación

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

$T_f - T_{uc} = m_1$ = número de años trascurrido entre la fecha del ultimo censo

y el año hacia el futuro que vamos a considerar

$$P_f = P_{uc} + K_a * m_1$$

Se calcula con base a junio 30 de cada año del periodo de diseño

de Nov 15/2005 a Nov 15/2014 = 9 años
 de Nov 15/2014 a Jun 15/2015 = 7 meses
 de Jun 15/2015 a Jun 30/2015 = 15 días

Pasamos los 7 meses y 15 días a años y hallamos m_1

$$(15 \text{ días}) * \left(\frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}}\right) = 0.5 \text{ meses} ; (7 + 0.5) \text{ meses} = 7.5 \text{ meses}$$

$$(7.5 \text{ meses}) * \left(\frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}}\right) = 0.625 \text{ años}$$

$$m_1 = 9 \text{ años} + 0.625 \text{ años}$$

$$m_1 = 9.625 \text{ años}$$

Sacamos la población base para la proyección

$$P_{Jun\ 30/2015} = 7884 \text{ hab} + (204 \text{ hab/año} * 9.625 \text{ años})$$

$$P_{Jun\ 30/2015} = 9848 \text{ habitantes}$$

$$P_{Jun\ 30/2016} = 9848 \text{ hab} + (204 \text{ hab/año} * 1 \text{ año}) \quad P_{Jun\ 30/2016} = 10052 \text{ habitantes}$$

$$P_{Jun\ 30/2017} = 9848 \text{ hab} + (204 \text{ hab/año} * 2 \text{ años}) \quad P_{Jun\ 30/2016} = 10256 \text{ habitantes}$$

$$P_{Jun\ 30/2040} = 9848 \text{ hab} + (204 \text{ hab/año} * 25 \text{ años}) \quad P_{Jun\ 30/2016} = 14948 \text{ habitantes}$$

7.4.2 Proyección Geométrica ⁴⁴

Este método es el que más se acerca al crecimiento vegetativo de la población

⁴⁴ COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. RAS-2000. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, (noviembre, 2000). Título B. Sistemas de acueducto.

$$P_{uc} = P_{ci}(1 + r)^n$$

Donde:

P_{uc} = Población del ultimo censo

P_{ci} = Población del censo inicial

r = Rata de crecimiento

n = Numero de años entre censos

Desarrollando la ecuación para (1+r) tenemos:

$$\log P_{uc} = \log P_{ci} + n \log(1 + r)$$

$$\log(1 + r) = \frac{\log P_{uc} - \log P_{ci}}{n}$$

$$\log(1 + r) = \frac{\log P_{Nov\ 15/2005} - \log P_{Oct\ 24/1973}}{n}$$

Número de años entre censos

de Oct 24/1973 a Oct 24/2005 = 32 años

de Oct 24/2005 a Nov 15/2005 = 21 días

Pasamos los 21 días a años y hallamos n

$$\left(\frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}}\right) * (21 \text{ días}) = 0.0575 \text{ años}$$

$$n = 32 \text{ años} + 0.0575 \text{ años}$$

$$n = 32.058 \text{ años}$$

$$\log(1 + r) = \frac{\log 7884 - \log 1354}{32.058}$$

$$\log(1 + r) = \frac{\log 7884 - \log 1354}{32.058}$$

$$\log(1 + r) = 0.0239$$

Calculo de la Proyección

Se calcula con base a junio 30 de cada año del periodo de diseño

n_1 = número de años entre Nov 15/2005 y Jun 30/2015

de Nov 15/2005 a Nov 15/2014 = 9 años
 de Nov 15/2014 a Jun 15/2015 = 7 meses
 de Jun 15/2015 a Jun 30/2015 = 15 días

Pasamos los 7 meses y 15 días a años y hallamos n_1

$$\left(\frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}}\right) * (15 \text{ días}) = 0.5 \text{ meses}$$

$$7 \text{ meses} + 0.5 \text{ meses} = 7.5 \text{ meses}$$

$$\left(\frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}}\right) * (7.5 \text{ meses}) = 0.625 \text{ años}$$

$$n_1 = 9 \text{ años} + 0.625 \text{ años}$$

$$n_1 = 9.625 \text{ años}$$

Calculo de la proyección futura

- $\log P_f = \log P_{uc} + n \log(1 + r)$
 $\log P_{Jun\ 30/2015} = \log P_{Nov\ 15/2005} + n_1 \log(1 + r)$
 $\log P_{Jun\ 30/2015} = \log 7884 + (9.625 * 0.0239)$
 $\log P_{Jun\ 30/2015} = 4.1268$
 $P_{Jun\ 30/2015} = \text{antilog } 4.1268$
 $P_{Jun\ 30/2015} = 10^{4.1268}$
 $P_{Jun\ 30/2015} = 13380 \text{ habitantes} \rightarrow \text{población base para la proyección}$
- $\log P_{Jun\ 30/2016} = \log P_{Jun30/2015} + n_2 \log(1 + r)$
 $\log P_{Jun\ 30/2016} = \log 13380 + (1 * 0.0239)$
 $P_{Jun\ 30/2016} = 14136 \text{ habitantes}$
- $\log P_{Jun\ 30/2040} = \log P_{Jun30/2015} + n_{26} \log(1 + r)$
 $\log P_{Jun\ 30/2040} = \log 13380 + (25 * 0.0239)$
 $P_{Jun\ 30/2040} = 52862 \text{ habitantes}$

7.4.3 Método de proyección exponencial

Generalmente da un resultado muy por encima del nivel de crecimiento vegetativo

$$\ln P_{uc} = \ln P_{ci} + \overline{K_g}(T_{uc} - T_{ci})$$

$T_{uc} - T_{ci} = m =$ tiempo transcurrido entre los dos censos considerados

$$\overline{K_g} = \frac{\ln P_{uc} - \ln P_{ci}}{m}$$

Hallamos m_1 , para el K_{g1}

de Oct 24/1973 a Oct 24/1984 = 11 años

de Oct 24/1984 a Sep 24/1985 = 11 meses

de Sep 24/1985 a Oct 15/1985 = 21 días

Pasamos los 11 meses y 21 días a años y hallamos m_1

$$\left(\frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}}\right) * (21 \text{ días}) = 0.7 \text{ meses}$$

$$11 \text{ meses} + 0.7 \text{ meses} = 11.7 \text{ meses}$$

$$\left(\frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}}\right) * (11.7 \text{ meses}) = 0.975 \text{ años}$$

$$m_1 = 11 \text{ años} + 0.975 \text{ años}$$

$$m_1 = 11.975 \text{ años}$$

$$\overline{K_{g1}} = \frac{\ln P_{Oct 15/1985} - \ln P_{Oct 24/1973}}{11.975 \text{ años}}$$

$$\overline{K_{g1}} = \frac{\ln 3442 - \ln 1354}{11.975 \text{ años}}$$

$$\overline{K_{g1}} = 0.0779$$

Hallamos m_3 , para el K_{g3}

de Oct 15/1985 a Oct 15/1993 = 8 años

de Oct 15/1993 a Oct 24/1993 = 9 días

Pasamos los 9 días a meses a años y hallamos m_2

$$\left(\frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}}\right) * (9 \text{ días}) = 0.025 \text{ años}$$

$$m_2 = 8.025 \text{ años}$$

$$\overline{K_{g2}} = \frac{\ln P_{Oct 24/1993} - \ln P_{Oct 15/1985}}{8.025 \text{ años}}$$

$$\overline{K_{g2}} = \frac{\ln 5674 - \ln 3442}{8.025 \text{ años}}$$

$$\overline{K_{g2}} = 0.0623$$

Hallamos m_3 , para el K_{g3}

de Oct 24/1993 a Oct 24/2005 = 12 años

de Oct 24/2005 a Nov 15/2005 = 21 días

Pasamos los 21 días a años y hallamos m_3

$$\left(\frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}}\right) * (21 \text{ días}) = 0.0575 \text{ años}$$

$$m_3 = 12.0575 \text{ años}$$

$$\overline{K_{g3}} = \frac{\ln P_{Nov 15/2005} - \ln P_{Oct 24/1993}}{12.0575 \text{ años}}$$

$$\overline{K_{g3}} = \frac{\ln 7884 - \ln 5674}{12.0575 \text{ años}}$$

$$\overline{K_{g3}} = 0.0273$$

Se sacó el promedio de los 3 K_g

$$\overline{K_g} = \frac{0.0779 + 0.0623 + 0.0273}{3}$$

$$\overline{K_g} = 0.0558$$

Se calcula la población futura

$$\ln P_f = \ln P_{uc} + \overline{K_g} * m_4$$

$m_4 = n_1$ (Método de proyección geométrico) = número de años entre Nov 15/2005 y Jun 30/2015

$$m_4 = 9.625 \text{ años}$$

- $\ln P_{Jun\ 30/2015} = \ln P_{Nov\ 15/2005} + \overline{K_g} * m_4$
 $\ln P_{Jun\ 30/2015} = \ln 7884 + 0.0558 * 9.625 \text{ años}$
 $\ln P_{Jun\ 30/2015} = 9.5096$
 $P_{Jun\ 30/2015} = e^{9.5096}$
 $P_{Jun\ 30/2015} = 13493 \text{ habitantes} \rightarrow \text{Población base para la proyección}$
- $\ln P_{Jun\ 30/2016} = \ln P_{Jun\ 30/2015} + \overline{K_g} * m_5; \quad m_5 = 1 \text{ año}$
 $\ln P_{Jun\ 30/2016} = \ln 13493 + 0.0558 * 1 \text{ año}$
 $\ln P_{Jun\ 30/2016} = 9.5657$
 $P_{Jun\ 30/2016} = e^{9.5657}$
 $P_{Jun\ 30/2016} = 14268 \text{ habitantes}$
- $\ln P_{Jun\ 30/2017} = \ln P_{Jun\ 30/2015} + \overline{K_g} * m_6; \quad m_6 = 2 \text{ años}$

$$\ln P_{Jun\ 30/2017} = \ln 13493 + 0.0558 * 2 \text{ años}$$

$$\ln P_{Jun\ 30/2017} = 9.6215$$

$$P_{Jun\ 30/2015} = e^{9.5657}$$

$$P_{Jun\ 30/2015} = 15086 \text{ habitantes}$$

- $\ln P_{Jun\ 30/2040} = \ln P_{Jun\ 30/2015} + \overline{K_g} * m_{29}; \quad m_{29} = 25 \text{ años}$

$$\ln P_{Jun\ 30/2040} = \ln 13493 + 0.0558 * 25 \text{ años}$$

$$\ln P_{Jun\ 30/2040} = 10.9049$$

$$P_{Jun\ 30/2040} = e^{10.9049}$$

$$P_{Jun\ 30/2040} = 54486 \text{ habitantes}$$

Tabla 17. Proyección de la población

CUADRO RESUMEN														
Municipio de Tenjo, Cundinamarca			Altitud: 2587 m.s.n.m				Fecha: NOV 2015							
CENSOS CONOCIDOS			PROYECCIÓN DE POBLACIÓN						NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (lit/hab*día)	DOTACIÓN BRUTA (lit/hab*día)	DEMANDA		
AÑO	FECHA	N° DE HABITANTES	MÉTODO ARITMÉTICO	MÉTODO GEOMÉTRICO	MÉTODO EXPONENCIAL	PROMEDIO	% POBLACIÓN FLOTANTE	POBLACIÓN DE DISEÑO				Qm (lit/s)	QMD (lit/s)	QMH (lit/s)
1973	oct-24	1354							TABLA A.3.1	TABLA 9 RESOLUCIÓN 2320				
1985	oct-15	3442					7%							
1993	oct-24	5674												
2005	nov-15	7884												
2015	jun-30		9848	13380	13493	12240	857	13097	MEDIO ALTO	125	166,67	-	-	-
2016	jun-30		10052	14136	14268	12819	897	13716		125	166,67	21,17	25,40	35,56
2017	jun-30		10256	14935	15087	13426	940	14366		125	166,67	22,17	26,60	37,24
2018	jun-30		10460	15779	15954	14064	984	15048		125	166,67	23,22	27,87	39,01
2019	jun-30		10664	16670	16870	14734	1031	15766		125	166,67	24,33	29,20	40,87
2020	jun-30		10868	17612	17838	15439	1081	16520		125	166,67	25,49	30,59	42,83
2021	jun-30		11072	18607	18863	16180	1133	17313		125	166,67	26,72	32,06	44,89
2022	jun-30		11276	19658	19946	16960	1187	18147		125	166,67	28,00	33,61	47,05
2023	jun-30		11480	20768	21091	17780	1245	19024		125	166,67	29,36	35,23	49,32
2024	jun-30		11684	21942	22302	18642	1305	19947		125	166,67	30,78	36,94	51,72
2025	jun-30		11888	23181	23582	19550	1369	20919		125	166,67	32,28	38,74	54,23
2026	jun-30		12092	24491	24936	20506	1435	21942		125	166,67	33,86	40,63	56,89
2027	jun-30		12296	25874	26368	21513	1506	23019		125	166,67	35,52	42,63	59,68
2028	jun-30		12500	27336	27882	22573	1580	24153		125	166,67	37,27	44,73	62,62
2029	jun-30		12704	28880	29483	23689	1658	25347		125	166,67	39,12	46,94	65,72
2030	jun-30		12908	30512	31176	24865	1741	26606		125	166,67	41,06	49,27	68,98
2031	jun-30		13112	32236	32966	26104	1827	27932		125	166,67	43,10	51,73	72,42
2032	jun-30		13316	34057	34859	27410	1919	29329		125	166,67	45,26	54,31	76,04
2033	jun-30		13520	35981	36860	28787	2015	30802		125	166,67	47,53	57,04	79,86
2034	jun-30		13724	38014	38977	30238	2117	32355		125	166,67	49,93	59,92	83,88
2035	jun-30		13928	40161	41215	31768	2224	33992	125	166,67	52,46	62,95	88,13	
2036	jun-30		14132	42430	43581	33381	2337	35718	125	166,67	55,12	66,14	92,60	
2037	jun-30		14336	44827	46084	35082	2456	37538	125	166,67	57,93	69,51	97,32	
2038	jun-30		14540	47360	48730	36876	2581	39458	125	166,67	60,89	73,07	102,30	
2039	jun-30		14744	50035	51528	38769	2714	41483	125	166,67	64,02	76,82	107,55	
2040	jun-30		14948	52862	54486	40765	2854	43619	125	166,67	67,31	80,78	113,09	

Fuente: autores

7. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta el diagnostico que se realizó en la PTAR del municipio de Tenjo se llegó a las siguientes conclusiones:

- *Con lo los resultados presentados se concluye que ninguna de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas existentes en el casco urbano del Municipio de Tenjo cumple con la normatividad ambiental legal vigente establecida por el decreto 1594 de 1984, y por tanto el efluente está contaminando la quebrada receptora.*
- *Según los análisis de laboratorio entregados por ANALQUIM LTDA se pudo establecer que en la PTAR RAP no se cumplían los parámetros de DBO, grasas y aceites y SST; la PTAR laguna de oxidación no cumple con la carga permisible para DBO y SST, pero está cumpliendo con la remoción de grasas y aceites. Sim embargo si se tiene en cuenta que la laguna fue construida en el año 2007, esta quedo obsoleta en muy poco tiempo.*
- *La PTAR del casco urbano, requiere mantenimiento inmediato y solo presenta capacidad para tratar una parte de las aguas residuales domésticas generada por el casco urbano.*
- *La laguna de oxidación requiere mantenimiento en la geomembrana ya que presenta deformación en algunos puntos de la estructura (efecto ballenas) y acumulación de sedimentos en la parte baja.*
- *Teniendo en cuenta lo anterior se llega a la conclusión final que aunque el casco Urbano del municipio de Tenjo cuenta en con cobertura del 100% de alcantarillado, las plantas de tratamiento urbanas no tienen la capacidad para tratar el agua residual generada actualmente y por lo tanto se requiere la ampliación o construcción de una nueva PTAR (para un caudal de diseño al año 2040 de 130.93L/s) la cual debe construirse en el predio de la RAP (ya que allí se presenta la confluencia de las aguas residuales del casco urbano).*
- *En la entrada de la PTAR RAP la tubería para el exceso de aguas lluvias se encuentra taponada por una lona de arcilla; por esta razón cuando llueve el agua se desborda de la estructura de aliviadero e inunda parte de la planta.*
- *La planta fue diseñada para una población de 5900 habitantes, y con un horizonte de diseño al año 2000. Desde ese año no se ha ejecutado ninguna mejora y según la proyección de la población por el método geométrico en el año 2015 el municipio cuenta con 14317 habitantes.*

8. RECOMENDACIONES

- En cuanto al mantenimiento rutinario de las estructuras hidráulicas de la PTAR, se deben efectuar actividades cotidianas de mantenimiento de las estructuras hidráulicas de la PTAR como quitar sobrenadantes, limpieza de rejillas, control de caudal, entre otros, igualmente realizar muestreos para análisis de calidad de agua, revisión visual del efluente y el afluente, y se debe realizar el mantenimiento periódico cuando se presentan daños en las estructuras que conforman el sistema.
- Se debe habilitar la tubería del caudal de aguas lluvias desde el aliviadero hasta el vallado, para evitar inundaciones en la planta.
- Se deben construir los lechos de secado, con sus respectivas casetas, para el tratamiento de los lodos provenientes del tratamiento y efectuar su disposición final.
- Se requiere tratar las aguas que salen del matadero de forma independiente ya que este se conecta directamente al alcantarillado municipal.
- En la laguna de oxidación también se deben realizar las labores de limpieza de las estructuras de entrada como son vertedero y rejillas de cribado para eliminar materiales que puedan obstruir el ingreso de caudal, igualmente se requiere el mantenimiento de los desarenadores eliminando los sedimentos acumulados, con la disposición en los sitios destinados para tal fin. Eliminación de lodos acumulados en la parte baja de la laguna para que pierda capacidad y no se tapen los vertederos de descarga.
- Para la operación del sistema se debe controlar el caudal de entrada a la Laguna de oxidación, desde la estación de bombeo, para que funcione adecuadamente, controlar el ingreso de material grueso que afecte el caudal de entrada y evacuar los lodos originados en los sedimentadores. Igualmente controlar la acumulación de lodos en la parte baja de la laguna y realizar la correcta disposición de éstos en las zonas establecidas
- Para mitigar el tema de olores se debe instalar una barrera viva con especies preferiblemente de la zona y en lo posible de todas a las alturas hasta unos 20 o 30 metros, igualmente se debe instalar una cerca para evitar el ingreso tanto de personas ajenas como de animales.

BIBLIOGRAFÍA

MUNICIPIO DE TENJO (PSMV)-Nuevo Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos para la cabecera municipal de Tenjo, Cundinamarca,-2013.

CAR, CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA. Abril, 2011. *Diseño de detalle para la construccion de obras de saneamiento en los municipios de la cuenca del río Bogota.* Bogotá : s.n., Abril, 2011. pág. paquete 1, informe final municipio de Tabio.

COLOMBIA, UNIVERSIDAD LA GRAN. *Dirección de Investigaciones. Guía unificada para la presentación de propuestas y anteproyectos de investigación.* Bogotá : s.n.

COLOMBIA., INFORME TÉCNICO SOBRE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN. Octubre de 2012. *Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.* República de Colombia. BOGOTÁ, D. C., : s.n., Octubre de 2012.

CRITES TCHOBANOGLOUS. Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos y descentralizados. Tomo 1.

CUNDINAMARCA, ALCALDIA DE TENJO-. Sitio oficial de Tenjo en Cundinamarca, Colombia. *cundinamarca.gov.co.* [En línea] [Citado el: 20 de abril de 2015.] <http://www.tenjo-cundinamarca.gov.co/index.shtml#1>.

Domiciliarios, Superintendencia de Servicios Publicos. 2013. INFORME TECNICO SOBRE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN COLOMBIA. Bogotá., D.C , Colombia : Imprenta Nacional de Colombia, 2013.

Eddy, METCALF y. 1995. INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES: REDES DE ALCANTARILLADO Y BOMBEO. Madrid : S.A. MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA DE ESPAÑA, 1995. pág. 480. Vol. 1.

Geyer, FAIR Y. 1996. ABASTECIMIENTO DE AGUAS Y REMOCIÓN DE AGUAS RESIDUALES. 1. México : EDITORIAL LIMUSA, 1996. Vol. UNDÉCIMA REIMPRESIÓN.

HERNÁNDEZ, Sampieri Roberto. 1994. Metodología de la Investigación: Capitulo 6, Diseños experimentales de investigación. México : Mc Graw Hill, 1994.

Ignacio Gomez IHM S.A. ALCALDIA MUNICIPAL DE FUNZA. 2014. Filosofía de operación Planta Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas -Secuencial Batch Reactor. 2014.

J, TORRES - BÁEZ NOGUERA. 1992. Tratamiento Básico de Aguas Residuales. España : Editorial Reverté, 1992.

Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial. Departamento Nacional de Planeación Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales en Colombia.

2013. Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico RAS-200, Título E. [En línea] 9 de abril de 2013. [Citado el: 10 de abril de 2015.] <http://www.laguiacondinamarca.com/cundinamarca-tenjo.html>.

RIGOLA L. Miguel. Tratamiento de aguas industriales.

Rojas, Alberto Jairo Romero. 2004. *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES : Teoría y principios de Diseño.* Bogotá : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004.

TCHOBANOGLUS, CRITES -. 2000. *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones.* Colombia, Bogotá : McGraw Hill., 2000.

ZAPATA TIBAQUIRÁ, Hansy. MUNICIPIO DE TENJO. [En línea] [Citado el: 08 de ABRIL de 2015.] <http://www.laguiacondinamarca.com/cundinamarca-tenjo.html>.

ANEXO A. ARCHIVO FOTOGRÁFICO

ANEXO A. REGISTRO FOTOGRAFICO DE CAMPO

PROYECTO: DIAGNÓSTICO TÉCNICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA MUNICIPAL DE TENJO – DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA.

FECHA: Octubre 2015	MUNICIPIO: Tenjo- Planta de Tratamiento Tipo Rap (Reactor Anaerobio de Flujo A Pistón)	Hoja No. 1
---------------------	--	------------

FOTOGRAFÍA

OBSERVACIONES

Fuente propia 13/04/2015



Planta tipo RAP: : el agua residual doméstica llega a la planta a través de una tubería de Ø14” hasta una cámara que cuenta con un vertedero cuyos excesos eran utilizados para sistema de riego veredal

Fuente propia 13/04/2015



Sistema de cribado en RAP: las rejillas se encontraban en buen estado y es fácil su mantenimiento se encuentran en funcionamiento normal

ANEXO A. REGISTRO FOTOGRAFICO

PROYECTO: DIAGNÓSTICO TÉCNICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA MUNICIPAL DE TENJO – DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA.

FECHA: Octubre 2015

MUNICIPIO: Tenjo- Planta de Tratamiento Tipo Rap (Reactor Anaerobio de Flujo A Pistón) –

Hoja No. 2

FOTOGRAFÍA

OBSERVACIONES

Fuente propia 13/04/2015



Desarenadores y caja de inspección en el RAP. Al costado izquierdo se construye una urbanización de casas.

Fuente propia 20/10/2015



Se aprecia el tratamiento preliminar en la PTAR RAP, la tubería que se aprecia al lado izquierdo es la que evacua los excesos a la estación de bombeo.

ANEXO A. REGISTRO FOTOGRAFICO DE CAMPO

PROYECTO: DIAGNÓSTICO TÉCNICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA MUNICIPAL DE TENJO – DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA.

FECHA: Octubre 2015

MUNICIPIO: Tenjo-
 Planta de Tratamiento
 Tipo Rap (Reactor Anaerobio de Flujo A Pistón)

Hoja No. 3

FOTOGRAFÍA

OBSERVACIONES

Fuente propia 13/04/2015



Se aprecia una vista general de la PTAR RAP. En esta se ven las estructuras del tratamiento preliminar, al fondo el sistema RAP, y al lado superior izquierdo el sistema de bombeo

Fuente propia 13/04/2015



Sistema RAP

ANEXO A. REGISTRO FOTOGRAFICO DE CAMPO

PROYECTO: DIAGNÓSTICO TÉCNICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA MUNICIPAL DE TENJO – DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA.

FECHA: Octubre 2015

MUNICIPIO: Tenjo-
Planta de Tratamiento
Tipo Rap (Reactor Anaerobio de Flujo A Pistón)

Hoja No. 4

FOTOGRAFÍA

OBSERVACIONES

Fuente propia 13/04/2015



Fuente propia 13/04/2015



En la caja de entrada una lona se fue con una creciente y quedo atascada dentro de la tubería. Esta era colocada para evitar que el caudal de aguas negras se fuera directamente al vallado. En época de lluvias la tubería no da abasto y parte de la planta se inunda.

ANEXO A. REGISTRO FOTOGRAFICO DE CAMPO

PROYECTO: DIAGNÓSTICO TÉCNICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA MUNICIPAL DE TENJO – DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA.

FECHA: Octubre 2015

MUNICIPIO: Tenjo- Planta De Tratamiento Tipo RAP

Hoja No. 5

FOTOGRAFÍA

OBSERVACIONES

Fuente propia 13/04/2015



Caja de entrada

Fuente propia 13/04/2015



Vallado donde se vierte el efluente

ANEXO 1. REGISTRO FOTOGRAFICO DE CAMPO

PROYECTO: DIAGNÓSTICO TÉCNICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA MUNICIPAL DE TENJO – DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA.

FECHA: Octubre 2015	MUNICIPIO: Tenjo- Planta De Tratamiento Tipo Laguna de Oxidación – Ptar 2	Hoja No. 6
---------------------	--	------------

FOTOGRAFÍA	OBSERVACIONES
<p align="center">Fuente propia 13/04/2015</p> 	<p>Desarenador: Luego de las rejillas de cribado se localizan dos desarenadores de flujo horizontal en paralelo de sección rectangular que cuentan con compuertas a la entrada de cada uno para que puedan trabajar alternadamente en caso de su mantenimiento.</p>
<p align="center">Fuente propia 13/04/2015</p> 	<p>La geomembrana presenta deformación en algunos puntos de la estructura (efecto ballenas) que probablemente son ocasionados por la acumulación de gases provenientes de la descomposición de la materia orgánica en el terreno.</p>

ANEXO B PLANOS PTAR RAP Y LAGUNA DE OXIDACIÓN

