

**DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (PTARD) DEL AEROPUERTO EL EDÉN
DE ARMENIA**

DAVID CABEZAS SÁNCHEZ

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AMBIENTALES
PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL
SANTIAGO DE CALI - VALLE DEL CAUCA
2013**

**DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (PTARD) DEL AEROPUERTO EL EDÉN
DE ARMENIA**

DAVID CABEZAS SÁNCHEZ

Pasantía institucional para optar al título de administrador ambiental

**Director
ALEJANDRO SOTO DUQUE
Químico
Especialista en Gestión Ambiental**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AMBIENTALES
PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL
SANTIAGO DE CALI - VALLE DEL CAUCA
2013**

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Administrador Ambiental

GLORIA AMPARO JIMÉNEZ BOTERO
Jurado

JULIO CÉSAR WILCHES RODRÍGUEZ
Jurado

Santiago de Cali, 28 de Noviembre del 2013

Dedico este trabajo, la culminación de mis estudios de pregrado y el inicio de un nuevo ciclo de vida a:

Mi amada madre, Olga Sánchez Valencia, quien me enseñó valores y moral, me dió la vida, una niñez magnífica y su apoyo incondicional durante el desarrollo de este proyecto.

Mi adorada abuela, Esneda Valencia de Sánchez (Q.E.P.D), quien siempre se preocupaba por mí y me motivaba a culminar mis estudios.

Mi querido padre, Humberto Cabezas Solano, quien con su tutoría me enseñó el camino de la racionalidad y la lógica.

Mis tías Sandra, Nelssy, Miryam, Patricia y Edilma, quienes me han mostrado su aprecio en innumerables ocasiones y me hicieron más tolerable el tiempo de desarrollo de este trabajo.

Mis tíos Jairo, Raúl, Ricardo y Fernando, quienes mostraron su interés en que yo finalizara el desarrollo de este proyecto y culminara esta etapa.

Mis primos Juan Fernando, Diana, Paula, Valentina, Miguel, Vanessa y Juliana, con quienes he compartido algunos de los momentos más importantes de mi vida.

Mis amigos de la Universidad Autónoma de Occidente, Jenny, Sebastián, Mauricio, Johan, Christian L., Christian M., Diego, Viviana y Julián con quienes viví la experiencia universitaria y la experiencia de una amistad que jamás olvidaré.

Mis amigos del Colegio Americano, especialmente Leonardo, Jenny, Cesar, Paola y Ana, ya que a pesar de que casi no los frecuento, sigo teniendo los más agradables recuerdos de ellos, de una etapa única.

Finalmente, a David Moreno por el larguísimo tiempo que me ha brindado su amistad y a Juliana Infante por estos últimos 5 años de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios. A pesar de ser un hombre que siempre trata de razonar usando la lógica y la ciencia, hay muchas cosas que para mí se dan por milagros y no son posibles de explicar.

A la Dra. Graciela Gómez, de la Aeronáutica Civil, por haberme facilitado esta oportunidad de probarme a mí mismo como profesional, estudiante y persona.

Al Ing. Luis Ángel Caicedo, de la Aeronáutica Civil, por facilitarme las herramientas que permitieron el desarrollo de este proyecto.

A los profesores Guillermo Hurtado y Alejandro Soto por las asesorías, y a los profesores Gloria Jiménez y Julio Wilches por evaluar el contenido de este trabajo.

CONTENIDO

RESUMEN	Pág. 12
INTRODUCCIÓN	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2 ELEMENTOS DEL PROBLEMA	15
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
2. JUSTIFICACIÓN	18
3. OBJETIVOS	19
3.1 OBJETIVO GENERAL	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
4. MARCO REFERENCIAL	20
4.1 MARCO CONCEPTUAL	20
4.2 MARCO TEÓRICO	42
4.3 MARCO LEGAL	55
4.4 MARCO CONTEXTUAL	57
5. METODOLOGÍA	59
5.1 ZONA DE ESTUDIO	59
5.2 DISEÑO EXPERIMENTAL	62
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS	67
6.1 FASE DE DOCUMENTACIÓN Y REVISIÓN	67
6.2 FASE DE CAMPO	72
6.3 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	83
6.4 ANÁLISIS FINAL	101
7. CONCLUSIONES	105
8. RECOMENDACIONES	106
BIBLIOGRAFÍA	107

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Manual de operación y mantenimiento de PTARD a instalar	111
Anexo B. Cuadro de registro histórico de parámetros fisicoquímicos	120
Anexo C. Registro fotográfico de visitas de campo	123

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Número de pasajeros transportados durante los años 2000-2012	16
Cuadro 2. Selección de procesos para tratamiento de aguas residuales	28
Cuadro 3. Componentes de costos de sistemas de tratamiento de aguas	47
Cuadro 4. Normatividad aplicable a la disposición de vertimientos	56
Cuadro 5. Valores de temperatura (°C) promedio del aeropuerto El Edén	60
Cuadro 6. Valores de precipitación (mm) promedio del aeropuerto El Edén	60
Cuadro 7. Registro histórico de calidad de vertimientos del aeropuerto	67
Cuadro 8. Ficha técnica de la PTARD del Aeropuerto El Edén de Armenia	72
Cuadro 9. Inventario de puntos fijos de vertimiento del aeropuerto El Edén	76
Cuadro 10. Análisis fisicoquímico y eficiencia de remoción porcentual	78
Cuadro 11. Comparación de análisis fisicoquímico con el decreto 1594/84	79
Cuadro 12. Porcentaje de remoción promedio de sistema Ecolo-System	84
Cuadro 13. Componentes del sistema Ecolo-System ES-08 DE	86
Cuadro 14. Costos e inversión para instalación de sistema de tratamiento	86
Cuadro 15. Concepto y porcentajes de pago del proyecto	90
Cuadro 16. Tiempos de ejecución del proyecto	90
Cuadro 17. Costo de alcantarillado y agua potable del aeropuerto	91
Cuadro 18. Cantidad de pasajeros por sexo, movilizados en el año 2012	91
Cuadro 19. Características técnicas de elementos ahorradores de agua	92
Cuadro 20. Consumo individual de instalaciones actuales VS ahorradoras	95
Cuadro 21. Consumo total de instalaciones actuales VS ahorradoras	95

Cuadro 22. Ahorro general total (vertimiento y consumo) de agua en pesos	96
Cuadro 23. Costeo de proyecto de renovación de instalaciones hidráulicas	98
Cuadro 24. Flujo de caja del proyecto de renovación a 20 años	100
Cuadro 25. Aumento porcentual de pasajeros (últimos 12 años)	101
Cuadro 26. Aumento porcentual del caudal de la PTARD (últimos 5 años)	102
Cuadro 27. Número de pasajeros y caudal proyectados a 5 años	103
Cuadro 28. Labores de operación y mantenimiento para la PTARD	116
Cuadro 29. Programa de inspecciones y mantenimiento para la PTARD	118
Cuadro 30. Histórico de parámetros y eficiencia de remoción porcentual	120

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Gráfica histórica del número de pasajeros de los últimos 12 años	16
Figura 2. Procesos aplicables en el tratamiento de aguas residuales	27
Figura 3. Modelo de costos de sistemas de tratamiento evaluados	50
Figura 4. Costos de operación y mantenimiento de sistemas evaluados	51
Figura 5. Selección de tratamiento según origen, composición y objetivos	54
Figura 6. Gráfica histórica de temperatura máxima	68
Figura 7. Gráfica histórica de porcentaje de remoción de grasas y aceites	69
Figura 8. Gráfica histórica de porcentaje de remoción de sólidos	69
Figura 9. Gráfica histórica de porcentaje de remoción de DBO ₅	70
Figura 10. Gráfica histórica de porcentaje de remoción de DQO	70
Figura 11. Gráfica histórica de pH máximo y pH mínimo	71
Figura 12. Fotografía de la PTARD del aeropuerto El Edén de Armenia	75
Figura 13. Fotografía de cañería obstruida en el área de abordajes	77
Figura 14. Gráfica de temperatura máxima	80
Figura 15. Gráfica de pH máximo	80
Figura 16. Gráfica de pH mínimo	81
Figura 17. Gráfica de remoción de grasas y aceites	81
Figura 18. Gráfica de remoción de sólidos suspendidos totales	82
Figura 19. Gráfica de remoción de DBO ₅	82
Figura 20. Fotografía de sistema Ecolo-System semi-enterrado	85
Figura 21. Plano general del sistema de tratamiento de aguas	87

Figura 22. Gráfica histórica de caudal de la PTARD de los últimos 5 años	102
Figura 23. Gráfica de número de pasajeros proyectados a 5 años	103
Figura 24. Gráfica del caudal promedio de la PTARD proyectado a 5 años	104
Figura 25. Lechos de secado de la PTARD	123
Figura 26. Desarenador (azul) y clorificador (verde)	123
Figura 27. Pozo receptor y cribado	123
Figura 28. Presencia de animales en el pozo receptor	123
Figura 29. Vista superior de la PTARD	124
Figura 30. Toma de pH mediante pH-metro	124
Figura 31. Presencia de hormiguero en cimiento de la PTARD	124
Figura 32. Toma de caudal mediante metodo volumetrico	124

RESUMEN

Se realizó el diagnóstico de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas (PTARD) del aeropuerto El Edén de Armenia, el cual opera bajo autoridad de la Aeronáutica Civil de Colombia, como manera de verificar el cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos de vertimiento de acuerdo al decreto 1594/1984 y conocer el estado actual de funcionamiento de la PTARD. El diagnóstico se ejecutó, comparando los resultados de laboratorio del análisis fisicoquímico del vertimiento con el artículo 72 del decreto.

Se procedió a construir un registro histórico de los resultados de vertimiento a partir de los distintos informes de análisis de aguas residuales previos a este proyecto. Se identificaron los parámetros en los cuales la planta presenta deficiencia operativa (Demanda Biológica de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales y Grasas) y se procedió a ejecutar la visita de reconocimiento y caracterización en campo; posteriormente se realizó el muestreo para análisis en laboratorio.

En el reconocimiento en campo, ejecutado el 3 de Abril de 2013, se identifica el sistema de lodos activados como tipo de tratamiento dado al vertimiento. Se descubrieron problemas de funcionamiento con los aireadores y de alimentación a la PTARD por daños en las cañerías. Después se realizó una segunda visita el día 5 de Julio de 2013 para hacer el muestreo de aguas residuales y posterior análisis fisicoquímico en el laboratorio.

Los resultados del laboratorio y la comparación de estos con los registros históricos de anteriores análisis, pusieron en evidencia la deficiencia operativa de la planta, la cual ya ha alcanzado su caudal máximo de operación debido al incremento de pasajeros del aeropuerto. Con base en lo anterior, se propuso el cambio de la planta y la instalación de equipos ahorradores de agua como alternativa de solución para el cumplimiento de los parámetros de vertimiento.

Palabras claves: PTAR, análisis fisicoquímico, aeropuerto, aguas residuales domésticas, diagnóstico.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo al Banco Mundial, más de 300 millones de habitantes de ciudades en Latinoamérica producen 225,000 toneladas de residuos sólidos cada día. Sin embargo, menos del 5% de las aguas de alcantarillado de las ciudades reciben tratamiento (REYNOLDS, 2002)¹. Con la ausencia de tratamiento, las aguas residuales son por lo general vertidas en aguas superficiales, creando un riesgo obvio para la salud humana y el medio ambiente.

La meta del tratamiento de aguas residuales nunca ha sido producir un producto estéril, sin especies microbianas, sino reducir el nivel de microorganismos dañinos a niveles más seguros de exposición, donde el agua es comúnmente reciclada para el riego o usos industriales.

El inventario de sistemas de tratamiento de aguas residuales realizado en Colombia por el Ministerio del Medio Ambiente, en el año 2002, reporta que sólo el 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. Según el Inventario Nacional del Sector de Agua Potable y Saneamiento realizado por el Ministerio de Desarrollo Económico en el mismo año, cerca de 1300 cuerpos de agua están siendo contaminados por ser los receptores de los vertimientos municipales (Minambiente, 2002; citado por Salas *et al* 2007)².

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente trabajo trata el diagnóstico realizado a la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del aeropuerto El Edén del municipio de Armenia, el cual opera bajo jurisdicción de la Aeronáutica Civil de Colombia, con el objetivo de evaluar el funcionamiento de la planta para determinar si hay cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos exigidos por el decreto 1594/1984; ya que esta planta vierte el agua tratada en la cañada El Cántaro.

¹ REYNOLDS, Kelly. 2002. Tratamiento de aguas residuales en Latinoamerica. Identificación del problema. [En línea] 2002. [Citado el: 23 de Enero de 2013.] <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd27/reynolds.pdf>

² SALAS QUINTERO, Diana, ZAPATA, Mario Alberto y GUERRERO, Jhoniers. 2007. Modelo de costos para el tratamiento de aguas residuales en la región. *Universidad Tecnológica de Pereira*. [En línea] Diciembre de 2007. [Citado el: 15 de Enero de 2013.] <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4191/2099>. ISSN 0122-1701.

Se consultaron distintas fuentes bibliográficas para armar un marco referencial sólido acerca de aguas residuales. Las fuentes provinieron de revistas electrónicas, artículos así como libros y tesis; adicionalmente se consultaron los planes de manejo ambiental del aeropuerto. Seguidamente se recolectaron la mayor cantidad de datos históricos de resultados de análisis fisicoquímico de aguas residuales de la PTARD; en esta parte se presentó la mayor dificultad del proyecto, debido a que no era posible acceder a algunos de los datos por cuestiones administrativas y de mando, adicionalmente algunos de los archivos estaban perdidos y no fue posible localizarlos.

Durante la realización del histórico se identifica el número de pasajeros como una constante de gran importancia para el desarrollo del proyecto, y por tanto es necesario incluir esta información en el proyecto. Lamentablemente no se incluye toda la información por disponibilidad de datos. Una vez teniendo toda la información, se realizan 2 visitas de campo: En la primera se realizó el recorrido por el aeropuerto para realizar la evaluación estructural de la PTARD donde se identifican fallas como la ubicación, señalización, cimientos de la estructura, problemas de aireadores, entre otros. También se realizó un inventario de los puntos de vertimiento.

En la segunda visita se realizó el análisis fisicoquímico de aguas residuales. En este punto del trabajo también se presentaron problemas de tipo logístico con el laboratorio que contrató la Aeronáutica Civil. Una vez teniendo los resultados del análisis de la visita, al compararlo con el histórico se identifican los parámetros en los cuales presenta mayor deficiencia la planta: Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Grasas.

Habiendo identificado los parámetros, se formularon 2 alternativas de solución a los problemas de cumplimiento de la PTARD: se propuso el cambio total de la actual planta compacta, por una planta de procesos independientes; y como segunda medida se propuso el cambio de las instalaciones hidráulicas del aeropuerto, de manera que haya un ahorro de agua y los contaminantes lleguen con una concentración más alta a la PTARD, facilitando el tratamiento del agua.

Se evaluaron económicamente ambos proyectos, demostrando que si existe un ahorro significativo de agua, lo que se traduce en un ahorro monetario al aeropuerto. Finalmente, se realizó una proyección a 5 años del número de pasajeros y del caudal de operación de la planta, de lo cual se infiere que de no presentarse ninguna de las alternativas de solución anteriores, la PTARD seguiría incumpliendo los parámetros de vertimiento establecidos por el decreto 1594/1984.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Con la creciente tendencia de la globalización, el transporte aéreo ha tomado un lugar cada vez más relevante en esta realidad actual; sin embargo, ya sea en el comercio, manufactura o en este caso, prestación de servicios, se da lugar a una serie de impactos ambientales negativos que se manifiestan en el consumo de recursos naturales, generación de residuos sólidos y emisión de contaminantes atmosféricos; pero sin duda uno de los aspectos ambientales más relevantes en el transporte aéreo, como consecuencia del desarrollo de dicha actividad de servicio, es el vertimiento de aguas residuales.

El aeropuerto —EEdén”, en la ciudad de Armenia, es un ejemplo claro de esta problemática. La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas (PTARD) de dicha institución fue construida para tratar las aguas residuales provenientes del aeropuerto (sanitarios, grifos, duchas, lavado y trapeo), sin embargo, actualmente la PTARD no da abasto para el 100% de las aguas servidas, ya que se ha presentado un crecimiento del personal aeroportuario, del número de pasajeros y del tamaño de la institución; por tanto se ha disminuido su capacidad instalada de tratamiento, en cuanto a carga de materia orgánica vertida.

1.2 ELEMENTOS DEL PROBLEMA

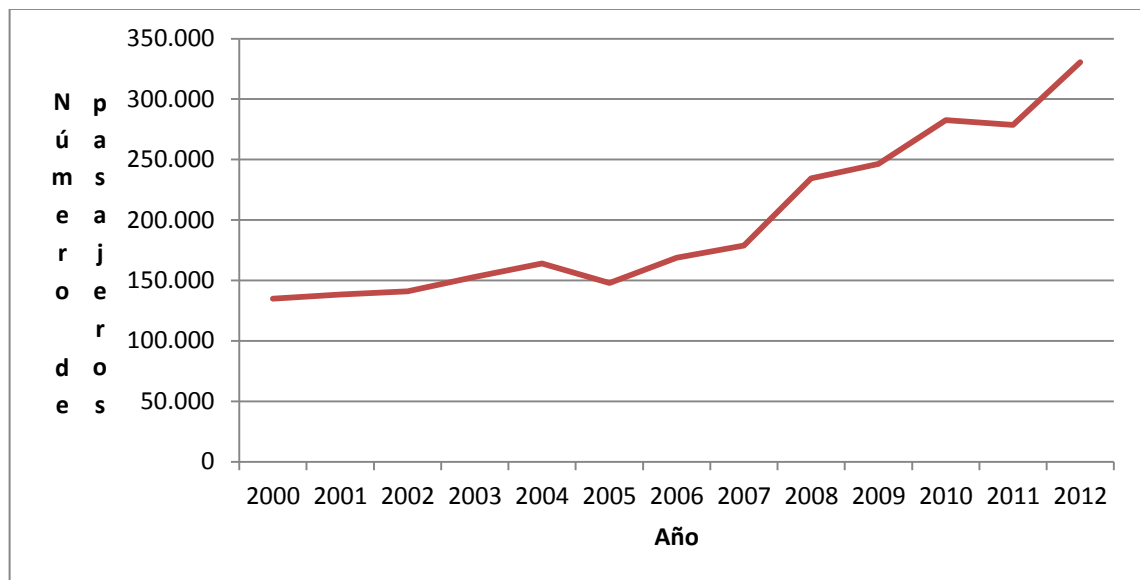
1.2.1 Número de pasajeros. De acuerdo al plan de manejo ambiental del aeropuerto El Edén de Armenia, originalmente la PTARD fue diseñada para tratar un caudal de 75,75 m³/día de aguas residuales, distribuido entre 134.857 pasajeros en el año 2000 (Cuadro 1). Sin embargo, al año 2011 el número se duplico, lo que implica una mayor descarga de aguas residuales a la PTARD (Figura 1).

Cuadro 1. Número de pasajeros transportados durante los años 2000-2012*

Año	Número de pasajeros
2000	134.857
2001	138.308
2002	141.074
2003	153.003
2004	163.909
2005	147.853
2006	168.763
2007	178.838
2008	234.393
2009	246.257
2010	282.694
2011	278.671
2012	330.426

Fuente: Aeronáutica Civil

Figura 1. Gráfica histórica del número de pasajeros de los últimos 12 años



* Los datos del periodo 2004-2007, y del año 2012 están basados en supuestos, debido a que solo se pudo obtener datos de salida. No había disponibilidad de datos de pasajeros de llegada. Se asume que la llegada equivale al 95% de la salida. Los datos incluyen pasajeros nacionales, internacionales, regulares y chárter.

1.2.2 Vida útil de la PTARD. En el plan de manejo ambiental, se menciona que no se contemplaba la posibilidad de que el número de pasajeros aumentara un 100%; por lo tanto, la vida útil de la PTARD se ha acortado con esta creciente tendencia.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el estado actual de funcionamiento de la PTARD y cuáles serían los factores que inciden en el desempeño de la PTARD?; además de acuerdo a lo anterior, ¿existen alternativas teóricas para mejoramiento de sus procesos?

2. JUSTIFICACIÓN

Los componentes ambientales como son suelo, agua y aire, se ven afectados por el desarrollo de cualquier tipo de actividad económica. Ya que la PTARD del aeropuerto El Edén de Armenia, funciona las 24 horas del día, se presentan impactos negativos en los componentes del aire, por la generación de olores ofensivos, y en el agua debido a la disposición de aguas residuales que no cumplen con la normatividad establecida en el decreto 1594/1984.

La estrategia de evaluación de los procesos llevados a cabo en la PTARD, implican un mejoramiento continuo en el desarrollo de las actividades ejecutadas en el aeropuerto; adicionalmente, se garantiza un total cumplimiento de las normatividades aplicables.

Con la tendencia creciente de esta institución, es necesario hacer énfasis en la prevención y mantenimiento de la PTARD, considerando que a futuro la capacidad instalada podría no ser suficiente frente al volumen de pasajeros y personal.

Debido a esto, un seguimiento adecuado y una evaluación constante, son relevantes para el levantamiento de datos históricos que permitan una proyección sobre el rendimiento ideal de la PTARD.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas (PTARD) del aeropuerto El Edén de Armenia.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico estructural y funcional del estado de la PTARD.
- Comparar las características fisicoquímicas de los vertimientos con la normatividad ambiental vigente.
- Formular alternativas teóricas de mejoramiento a los procesos de la PTARD.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO CONCEPTUAL

4.1.1 Definición de aguas residuales. Se consideran aguas residuales domesticas los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales. Se denominan aguas negras a aquellas provenientes de inodoros y transportan básicamente excrementos humanos y orina y por ello contribuyen principalmente con materia orgánica (DBO), sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales (ROMERO ROJAS, 2002)³.

Las aguas grises son aguas residuales provenientes de tinajas, duchas, lavamanos y lavadoras; aportan DBO, sólidos suspendidos, fósforo, y grasas.

Los principales residuos domésticos que aportan materia orgánica, sólidos suspendidos y grasas a las aguas residuales proceden de la evacuación de los residuos y manipulaciones de cocinas (desperdicios, arenas de lavado, residuos animales y vegetales, detergentes y partículas), de lavados domésticos (jabones, detergentes, sales, entre otros) y de la actividad general de viviendas (celulosa, almidón, glucógeno, insecticidas, partículas orgánicas, entre otros) (BÁEZ NOGUERA, 1995)⁴.

4.1.2 Objetivos del tratamiento de aguas residuales⁵. De acuerdo con diferentes estudios y caracterizaciones, se ha afirmado que la cantidad total de excrementos humanos húmedos es aproximadamente de 80-270 g/persona/día, la cantidad de orina es de 1-1,3 kg/persona/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 a un río o cuerpo de agua, en exceso de la capacidad de asimilación de contaminantes del agua receptora, éste se verá disminuido en su calidad y aptitud para usos benéficos por parte del hombre.

³ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. 2002. *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. 2 ed. Bogotá : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002. pág. 1244. ISBN 958-8060-13-3.

⁴ BÁEZ NOGUERA, Jorge. 1995. *Tratamiento básico de aguas residuales*. Barranquilla : Ediciones Uninorte, 1995. ISBN 985-9105-39-4.

⁵ Romero, 2002,. p. 17-19.

El objetivo básico del tratamiento de aguas es proteger la salud y promover el bienestar de los individuos miembros de la sociedad.

El retorno de las aguas residuales a los 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 daños al medio ambiente.

4.1.3 Principios de diseño, operación y mantenimiento de PTAR⁶.

- **Diseño:** El determinante más importante en la selección del sistema de tratamiento lo constituyen la naturaleza del agua residual cruda y los requerimientos de uso y disposición del efluente. La solución de un problema de tratamiento de aguas incluye, generalmente cinco etapas principales:
 - Caracterización del agua residual cruda y definición de las normas de vertimiento.
 - Diseño conceptual de los sistemas de tratamiento propuestos, incluyendo la selección de los procesos de cada sistema, los parámetros de diseño y la comparación costos de las alternativas propuestas.
 - Diseño detallado de la alternativa de costo mínimo.
 - Construcción.
 - Operación y mantenimiento del sistema construido.

Un sistema de tratamiento de aguas residuales de diseño y eficiencia excelente, pero con costos de operación y mantenimiento altos, es mejor no construirlo. La experiencia indica que el costo inicial y los costos de operación y mantenimiento constituyen el factor primordial al adoptar una solución de control de contaminación hídrica exitosa. Por otra parte, un sistema de

⁶ Ibid., p. 178-185.

tratamiento de baja confiabilidad no garantiza la producción de un efluente de la calidad requerida y convierte la operación del sistema en un problema que obliga a poner atención y destinar recursos excesivos a esta actividad. En resumen, los principales factores de importancia en la selección de procesos y operaciones de tratamiento son los siguientes:

- **Factibilidad:** El procesos debe ser factible y, por consiguiente, compatible con las condiciones existentes de dinero disponible, terreno existente y aceptabilidad del cliente o de la comunidad propietaria del mismo.
- **Aplicabilidad:** El proceso debe ser capaz de proveer el rendimiento solicitado, es decir, estar en capacidad de producir un efluente con la calidad requerida para el rango de caudales previsto.
- **Confiabilidad:** El proceso debe ser lo más confiable posible, esto es, que sus condiciones óptimas de trabajo sean difíciles de alterar, que tenga capacidad de soporte de cargas y caudales extremos y mínima dependencia de tecnología y operación compleja.
- **Costos:** El proceso ha de ser de costo mínimo. La comunidad o el propietario deben estar en capacidad de costear todos los compuestos del sistema de tratamiento, así como su operación y mantenimiento.
- **Características del afluente:** Estas determinan la necesidad de pretratamiento primario o tratamiento secundario, tipo de tratamiento (físico, químico, biológico), necesidad de neutralización o de igualamiento, así como el tamaño, cinética y tipo de reactor.
- **Procesamiento y producción de lodos:** La cantidad y calidad del lodo producido determina la complejidad del tratamiento requerido para su disposición adecuada. Procesos sin problemas de tratamiento y disposición de lodos son los ideales.
- **Requerimientos de personal:** Procesos sencillos requieren menos personal, menos adiestramiento profesional y, por tanto, son más ventajosos.

En un país como Colombia es esencial seleccionar sistemas de tratamiento de aguas residuales con base en el siguiente principio básico de diseño: El dinero disponible para tratamiento de aguas residuales es escaso, por lo que las obras de control de polución deben satisfacer los requerimientos de tratamiento a un costo de operación y mantenimiento mínimo.

- Operación y mantenimiento: Todo sistema de tratamiento de aguas residuales debe estar diseñado de tal manera que, cuando se opere adecuadamente, produzca en forma continua el caudal y calidad de efluente requerido. Se tiene que contar con equipos de laboratorio que permitan determinar las características esenciales de operación, hacer los ajustes requeridos y controlar la calidad del efluente. El sistema de tratamiento debe estar en capacidad de operar continuamente, aun en los casos en que sea necesario sacar de operación un equipo para su mantenimiento o reparación. Esto supone la existencia de dos o más unidades de repuesto o reserva y la previsión, en el diseño, de suficientes accesorios y conexiones que faciliten la derivación o el aislamiento de los equipos de operación crítica. El mantenimiento se define como el arte de mantener los equipos de la planta, las estructuras y todos los accesorios en condiciones adecuadas para prestar los servicios de los cuales fueron propuestos, por lo cual es esencial para lograr una operación eficiente del sistema de tratamiento. Para asegurar un mantenimiento adecuado se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:
- La responsabilidad del mantenimiento debe definirse claramente.
 - La responsabilidad del mantenimiento debe asignarse a personal competente.
 - Los objetivos del mantenimiento deben definirse con claridad y establecerse un programa de mantenimiento.
 - El programa de mantenimiento debe contar con presupuesto adecuado y seguro.
 - El sistema de tratamiento debe contar con todos los repuestos, herramientas y controles requeridos para su mantenimiento.
 - El mantenimiento preventivo tiene que planearse y programarse en forma permanente.

- Debe existir un registro, computarizado o escrito, de cualquier labor de mantenimiento, que permita controlar el programa correspondiente. Lo ideal sería que los registros de control fueran el mínimo necesario para administrar y ejecutar un programa efectivo de mantenimiento; suficientes para que no se olvide todo lo que hay que hacer, pero sin que incluyan esfuerzo de dedicación excesiva que desaliente su diligenciamiento actualizado.

El mantenimiento preventivo, además de estar constituido por el mantenimiento programado para prevenir las fallas o eventuales salidas del servicio de un componente del sistema de tratamiento, es esencial para reducir fallas no programadas, eliminar las emergencias y reducir los costos de operación y de mantenimiento. Dependiendo del tipo de sistema de tratamiento, todo programa de mantenimiento debe incluir las labores relacionadas con:

- Buen aseo general: La planta, equipos, corredores, laboratorios, deben permanecer limpios y en orden, con una apariencia estética agradable.
- Lubricación: Hay que asegurar que todo el equipo este lubricado adecuadamente y posea un cronograma de lubricación acorde con las instrucciones del fabricante.
- Refrigeración: Se debe verificar el estado de funcionamiento de cualquier equipo, asegurando su operación a la temperatura apropiada y el reemplazo de empaques o rodamientos de acuerdo con el programa de rutina de revisión e inspección.
- Almacenamiento: Se ha de mantener un inventario apropiado de repuestos y equipos de reemplazo, en tal forma que no haya interrupciones de servicio ni periodos de espera prolongados entre reparaciones.
- Arranque del sistema de tratamiento: El periodo de arranque de cada sistema de tratamiento debe aprovecharse para entrenar los operadores, familiarizarlos con los equipos y modificar cualquier procedimiento con el objeto de asegurar la obtención de la calidad requerida del efluente.

Cada tipo de planta (lodos activados, filtros biológicos, unidades rotatorias de contacto biológico, lagunas de estabilización, lagunas aireadas, procesos hídricos) requiere un arranque y operación específicos para obtener el efluente propuesto en el diseño. El arranque de un proceso biológico de tratamiento es un periodo que tiene que darse para que los microorganismos inoculados o existentes en el reactor se aclimaten, se acostumbren, se desenvuelvan y multipliquen dentro de las características del ecosistema que están viviendo.

En procesos de tratamiento anaerobio, generalmente, por la escasez y poca disponibilidad de lodo granulado específico para el afluente, se toma lodo floculento anaerobio de estaciones de tratamiento de desechos domésticos o de otras industrias, muchas veces de calidad inferior a la deseada para la inoculación de los reactores anaerobios. Debido a estas dificultades, el periodo de arranque puede exigir una duración de cuatro a seis meses. En procesos aerobios es necesario hacer un arranque gradual de los reactores procediendo a aclimatar la biomasa y lograr la concentración óptima de sólidos suspendidos mediante la dosificación apropiada del efluente, la recirculación necesaria de lodo y el encendido requerido de los equipos de aireación, hasta lograr un caudal de diseño del proceso.

4.1.4 Procesos de tratamiento de aguas residuales. La selección de un proceso de tratamiento de aguas residuales, o de la combinación adecuada de ellos, depende principalmente de:

- Las características del agua cruda.
- La cantidad requerida del efluente.
- La disponibilidad de terreno.
- Los costos de construcción y operación del sistema de tratamiento.
- La confiabilidad del sistema de tratamiento.
- La facilidad de optimización del proceso para satisfacer requerimientos futuros más exigentes.

La mejor alternativa de tratamiento se selecciona con base en el estudio individual de cada caso (Cuadro 2), de acuerdo con las eficiencias de remoción requeridas y con los costos de cada una de las posibles soluciones técnicas (Figura 2)⁷.

El principio básico en el tratamiento de aguas residuales es la separación del líquido de los constituyentes indeseables, o la alteración de sus propiedades fisicoquímicas o biológicas con el objeto de alcanzar niveles compatibles con los requisitos de descarga⁸. La selección de alternativas de tratamiento es efectuada en atención a consideraciones de orden técnico, científico y económico⁹. Se debe proceder al desarrollo y evaluación de las diferentes alternativas de evacuación o reutilización aplicables para luego determinar la combinación óptima.

Los procesos de tratamientos de aguas residuales se clasifican en (METCALF & EDDY, INC, 1995)¹⁰:

- Físicos y mecánicos¹¹: Son procesos en los que predomina la acción de fuerzas físicas. Puesto que la mayoría de estos métodos han evolucionado directamente a partir de las primeras observaciones de la naturaleza por parte del hombre, fueron los primeros en ser aplicados al tratamiento de las aguas residuales. Entre las operaciones unitarias típicas se encuentran:
- Desbaste¹²: Consiste en el uso de una rejilla con aberturas generalmente uniformes, que se usa para retener sólidos gruesos existentes en el agua residual.

⁷ Romero, 2002,. p. 139-140.

⁸ Báez, 1995,. p. 23

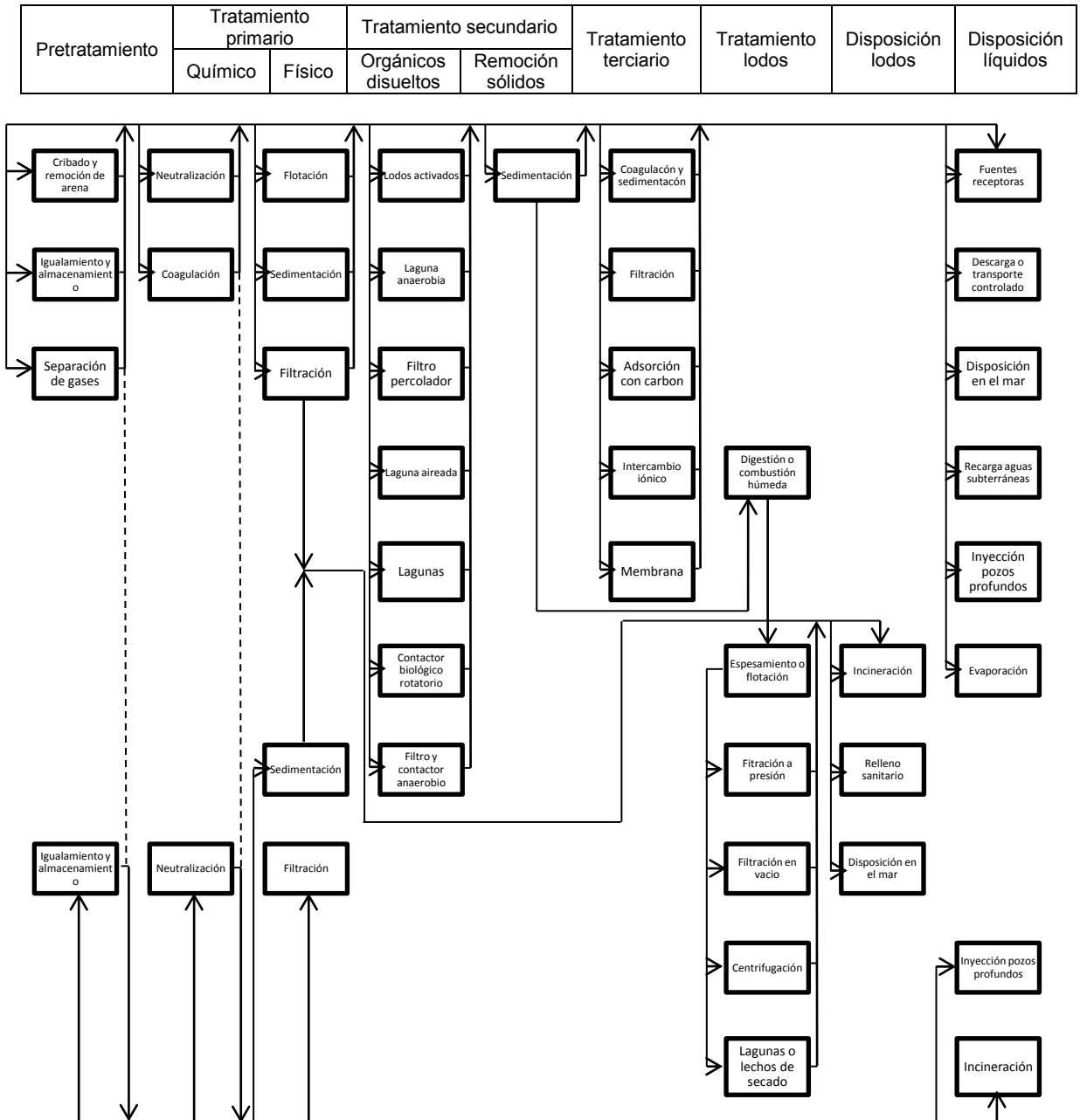
⁹ Ibid,. p. 23

¹⁰ METCALF & EDDY, INC. 1995. *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. 3 ed. Madrid : McGraw-Hill, 1995. pág. 505. Vol. 1. ISBN 84-481-1727-1.

¹¹ METCALF & EDDY, 1995,. p. 142

¹² Ibid,. p. 228

Figura 2. Procesos aplicables en el tratamiento de aguas residuales



Fuente: Tomado de ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. 2002. *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. 2 ed. Bogotá : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002. pág. 1244. ISBN 958-8060-13-3

Cuadro 2. Selección de procesos para tratamiento de aguas residuales

Contaminante	Proceso
DBO	Lodos activados, lagunas aireadas, filtros percoladores, biodiscos, lagunas facultativas aireadas o fotosintéticas, lagunas anaeróbicas, filtros anaeróbicos, proceso anaeróbico de contacto, reactor anaeróbico de flujo ascensional (UASB).
Sólidos suspendidos	Sedimentación, flotación, cribado, filtración.
Compuestos orgánicos refractarios	Adsorción con carbón intercambio iónico, electrodiálisis, ósmosis inversa.
Nitrógeno	Nitrificación-desnitrificación, intercambio iónico.
Fósforo	Precipitación química, coprecipitación biológica, intercambio iónico.
Metales pesados	Intercambio iónico, precipitación química.
Sólidos suspendidos inorgánicos	Intercambio iónico, electrodiálisis, ósmosis inversa.

Fuente: Tomado de ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. 2002. *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. 2 ed. Bogotá : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002. pág. 1244. ISBN 958-8060-13-3

- Mezclado¹³: Es una operación unitaria que posee varias fases:
 - ✓ Mezcla de una sustancia con otra.
 - ✓ Mezcla de suspensiones líquidas.
 - ✓ Mezcla de líquidos miscibles.
 - ✓ Floculación.
 - ✓ Transferencia de calor.

En el proceso de tratamiento con fangos activados, para asegurar que los microorganismos disponen de oxígeno, es necesario mezclar el contenido de

¹³ Ibid., p. 242

los tanques de aireación además de introducir aire u oxígeno puro. Para cumplir con ambos requisitos, la solución que suele emplearse es la introducción de aire con difusores, aunque existe la alternativa de instalar aireadores mecánicos. También se incorporan y mezclan productos químicos con los fangos, para mejorar las características del secado de los mismos. En el proceso de digestión anaerobia, el mezclado se emplea para acelerar el proceso de conversión biológica y para calentar uniformemente el contenido del digestor.

- Sedimentación¹⁴: Consiste en la separación, por acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. Los términos de sedimentación y decantación se usan indistintamente.
- Flotación¹⁵: Operación unitaria que se emplea para la separación de partículas sólidas o líquidas de una fase líquida. La separación se consigue introduciendo finas burbujas de gas, normalmente aire, en la fase líquida. Las burbujas se adhieren a las partículas, y la fuerza ascensional que experimenta el conjunto partícula-burbuja de aire hacen que suban hasta la superficie del líquido. De esta forma es posible ascender a la superficie de partículas cuya densidad es inferior, como el caso del aceite en el agua. La principal ventaja del proceso de flotación frente al de sedimentación consiste en que permite eliminar mejor y en menos tiempo las partículas pequeñas o ligeras cuya deposición es lenta.
- Filtración¹⁶: La filtración se emplea, de modo generalizado, para conseguir una mayor eliminación de sólidos en suspensión (DBO particulada) de los efluentes de los procesos de tratamiento biológicos y químicos, y también se emplea para la eliminación del fósforo precipitado por vía química.
- Transferencia de gases¹⁷: Fenómeno mediante el cual se transfiere gas de una fase a otra, normalmente de la fase gaseosa a la líquida. Para alcanzar los objetivos de desinfección se transfiere cloro en forma gaseosa a una disolución en agua. Es frecuente añadir oxígeno al efluente tratado después de la cloración (postaireación). Uno de los procesos de eliminación de los compuestos del nitrógeno consiste en la conversión del nitrógeno en amoníaco y posterior transferencia del amoníaco en forma gaseosa al aire.

¹⁴ Ibid., p. 251

¹⁵ Ibid., p. 277

¹⁶ Ibid., p. 283

¹⁷ Ibid., p. 314

- Químicos¹⁸: Métodos en los cuales la eliminación o conversión de los contaminantes se consigue con la adición de productos químicos o gracias al desarrollo de ciertas reacciones químicas.
- Precipitación química¹⁹: Consiste en la adición de productos químicos con la finalidad de alterar el estado físico de los sólidos disueltos y en suspensión, y facilitar su eliminación por sedimentación.
- Adsorción²⁰: Captación de sustancias solubles presentes en la interfase de una solución. Esta interfase puede hallarse entre un líquido y un gas, un sólido, o entre 2 líquidos diferentes. El tratamiento de agua residual con carbón activado suele estar considerado como un proceso de refinado de aguas que ya han recibido un tratamiento biológico normal. En este caso, el carbón se emplea para eliminar parte de la materia orgánica disuelta. Así mismo, es posible eliminar parte de la materia particulada también presente, dependiendo de la forma en que entran en contacto el carbón y agua.
- Desinfección²¹: Destrucción selectiva de los organismos que causan enfermedades. Es importante que los desinfectantes sean seguros en su aplicación y manejo, y que su fuerza o concentración en las aguas tratadas sea medible y cuantificable. Los métodos más empleados para llevar a cabo la desinfección son:
 - ✓ Agentes químicos: cloro y sus compuestos, bromo, yodo, ozono, fenol y compuestos fenólicos, alcoholes, metales pesados y compuestos afines, colorantes, jabones, compuestos amoniacales cuaternarios, agua oxigenada, ácidos y álcalis diversos.
 - ✓ Agentes físicos: luz y calor.

¹⁸ METCALF & EDDY, 1995,. p. 142

¹⁹ Ibid., p. 345

²⁰ Ibid., p. 358

²¹ Ibid., p. 369-372

- ✓ Medios mecánicos: tamices de malla gruesa y fina, desarenadores, sedimentación primaria y química, filtros percoladores, fangos activados, cloración del agua residual tratada.

- ✓ Radiación: Electromagnética, acústica y radiación de partículas.

- Biológicos: Procesos de tratamiento en los que la eliminación de los contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad biológica. La principal aplicación de los procesos biológicos es la eliminación de las sustancias orgánicas biodegradables presentes en el agua residual en forma, tanto como coloidal, como en disolución. Básicamente, estas sustancias se convierten en gases, que se liberan a la atmósfera, y en tejido celular biológico, eliminable por sedimentación. Los objetivos del tratamiento biológico del agua residual son la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales 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. Entre los principales procesos unitarios biológicos se encuentran (SEOANEZ CALVO, 2000)²²:
 - Autodepuración.

 - Tanques sépticos.

 - Reactores anaeróbicos.

 - Lagunas de estabilización.

 - Lodos activados.

 - Zanjas de oxidación.

²² SEOANEZ CALVO, Mariano. 2000. *Aguas residuales urbanas. Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento*. Madrid : Ediciones Mundi-Prensa, 2000. págs. 30-36. ISBN 84-7714-545-6.

- Filtros.
- Digestores de lodos.

4.1.5 Parámetros físicos del agua residual.

- Sólidos: Materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105 °C. No se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a la alta presión de vapor. La fracción filtrable de los sólidos corresponde a sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal está compuesta por partículas de materia de tamaños entre 0,001 y 1 micrómetro. Los sólidos disueltos están compuestos de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones en disolución en el agua. No es posible eliminar la fracción coloidal por sedimentación²³. Los sólidos se pueden clasificar de acuerdo a su composición en:
 - Orgánicos²⁴: Sólidos de origen vegetal o animal en las aguas residuales. Pueden ser de origen sintético. Los glúcidos, lípidos, proteínas y sus derivados son los grandes grupos de esta clase; son biodegradables y su eliminación por combustión es relativamente sencilla.
 - Inorgánicos²⁵: Sólidos de origen generalmente mineral, como sales, arcillas, lodos arenas y gravas, y ciertos compuestos como sulfatos, carbonatos, entre otros, que pueden sufrir algunas transformaciones (oxidación, reducción, otros).

De acuerdo a su sedimentación, se clasifican en:

- Sedimentables²⁶: Aquellas partículas más gruesas que se depositaran, por gravedad en el fondo de los receptores; su análisis se realiza por volumetría y gravimetría, previa decantación y tamizado. Se componen de un 70% de sólidos orgánicos y un 30% de sólidos inorgánicos.

²³ METCALF & EDDY, 1995,. p. 59-60

²⁴ Seoáñez, 2000,. p. 30

²⁵ Ibid., p. 30

²⁶ Ibid., p. 31

- Suspendidos²⁷: Partículas flotantes, como trozos de vegetales, animales, basuras, entre otros, y aquellas que también son perceptibles a simple vista y tienen posibilidades de ser separadas del líquido por medios físicos, como arcillas, arenas, entre otros. Generalmente se componen de un 68% de sólidos orgánicos y un 38% de sólidos inorgánicos.

- Temperatura²⁸: Dado que el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas registradas de las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año. La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción. El aumento en las velocidades de las reacciones químicas que produce un aumento de la temperatura, combinado con la reducción del oxígeno presente en las aguas superficiales, es causa frecuente de agotamiento de las concentraciones de oxígeno disuelto. La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana se sitúa entre los 25 y los 35°C. Los procesos de digestión aerobia y de nitrificación se detienen cuando alcanzan los 50 °C. A temperaturas de alrededor de 15 °C, las bacterias productoras de metano cesan su actividad, mientras que las bacterias nitrificantes autótrofas dejan de actuar cuando la temperatura alcanza valores cercanos a los 5 °C. Si se alcanzan temperaturas de 2 °C, incluso las bacterias quimio-heterótrofas que actúan sobre la materia carbonosa dejan de actuar.

- Densidad²⁹: Se define la densidad de un agua residual como su masa por unidad de volumen, expresada en kg/m³. Es una característica física importante del agua residual dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento. En ocasiones, se emplea como alternativa a la densidad del peso específico del agua residual, obtenido como cociente entre la densidad del agua residual y la densidad del agua. Ambos parámetros, la densidad y el peso específico, dependen de la temperatura y varían en función de la concentración total de sólidos en el agua residual.

- Color³⁰: El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua

²⁷ Ibid., p. 31

²⁸ METCALF & EDDY, 1995., p. 70-72

²⁹ Ibid., p. 72

³⁰ Ibid., p. 72

residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Llegado este punto, suele clasificarse el agua residual como séptica.

- Turbiedad³¹: La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones.

4.1.6 Parámetros químicos del agua residual.

- Materia inorgánica³²: Las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua aumentan tanto por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas, como por las aguas residuales, tratadas o sin tratar, que a ella se descargan. Las aguas residuales, salvo el caso de determinados residuos industriales, no se pueden tratar con el objetivo específico de eliminar los constituyentes inorgánicos que se incorporan durante el ciclo de uso. Las concentraciones de constituyentes inorgánicos aumentan, igualmente, debido al proceso natural de evaporación que elimina parte del agua superficial y deja sustancias inorgánicas en el agua
- pH³³: La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si esta no se modifica antes de la evacuación de las aguas.
- Gases³⁴: Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en aguas residuales brutas son el nitrógeno (N₂), el oxígeno (O₂), el dióxido de carbono (CO₂), el sulfuro de hidrógeno (H₂S), el amoníaco (NH₃), y el metano (CH₄).

³¹ Ibid., p. 72-73

³² Ibid., p. 95

³³ Ibid., p. 95

³⁴ Ibid., p. 101

Los tres primeros son gases de común presencia en la atmósfera, y se encuentran en todas las aguas en contacto con la misma. Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales.

- Oxígeno disuelto: Es el gas más importante, y se consume debido a la actividad química y biológica. El oxígeno disuelto depende de factores como temperatura, altitud, movimientos del curso receptor, actividad biológica, actividad química, entre otros³⁵. La cantidad real de oxígeno y otros gases presentes en la solución, viene condicionada por los siguientes aspectos³⁶:
 - ✓ Solubilidad del gas.
 - ✓ Presión parcial del gas en la atmósfera.
 - ✓ Temperatura.
 - ✓ Pureza del agua (salinidad, sólidos en suspensión, entre otros)

Debido a que la velocidad de las reacciones bioquímicas que consumen oxígeno aumenta con la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más críticos en épocas estivales. Dado que evita la formación de olores desagradables en las aguas residuales, es deseable y conveniente disponer de cantidades suficiente de oxígeno disuelto.

- Dióxido de carbono³⁷: Se produce en las fermentaciones de los compuestos orgánicos de las aguas residuales. El CO₂ del agua se presenta libre o como componente de bicarbonatos; la parte libre puede tener una fracción activa que puede destruir carbonatos y ejercer diversas acciones químico-biológicas en el seno del agua residual.
- Metano: Se forma en la descomposición anaerobia de la materia orgánica al reducir ciertas bacterias el CO₂, utilizando hidrógeno de fermentaciones butíricas y apareciendo sobre todo en cierto tipo de estaciones depuradoras,

³⁵ Seoáñez, 2000,. p. 33

³⁶ METCALF & EDDY, 1995,. p. 101-102

³⁷ Seoáñez, 2000,. p. 33

dando algunas posibilidades de aprovechamiento como combustible³⁸; sin embargo, el riesgo de explosión es elevado y por tanto los pozos de registro, empalmes de alcantarilla, o cámaras de conexión en los que exista el riesgo de acumulaciones de gas deberán ser aireados con un ventilador portátil antes y durante los lapsos de tiempo en los que los operarios trabajen en ellos. En las plantas de tratamiento, el metano se genera en los procesos de tratamiento anaeróbicos empleados para la estabilización de los fangos de aguas residuales³⁹.

- Sulfuro de hidrógeno: Gas que se forma al descomponerse en medio aerobio ciertas sustancias orgánicas e inorgánicas que contienen azufre, o en la reducción de sulfitos y sulfatos minerales; mientras que su formación queda inhibida en presencia de grandes cantidades de oxígeno⁴⁰. Su presencia se manifiesta fundamentalmente por los olores que produce, es un indicativo de la evolución y estado de un agua residual; es poco estable al calor, descomponiéndose en azufre e hidrógeno⁴¹.
- Olores⁴²: Son debido a gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica. El olor característico del agua residual séptica es debido a la presencia de sulfuro de hidrógeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios.

4.1.7 Parámetros biológicos de las aguas residuales

- Materia orgánica⁴³: Son sólidos que provienen de los reinos vegetal y animal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia, en determinados casos, de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como azufre, fósforo, o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las

³⁸ Ibid., p. 33

³⁹ METCALF & EDDY, 1995,. p. 102

⁴⁰ Ibid., p. 102

⁴¹ Seoáñez, 2000,. p. 33

⁴² METCALF & EDDY, 1995,. p. 63

⁴³ METCALF & EDDY, 1995,. p. 73

proteínas (40-60%), hidratos de carbono (25-50%), y grasas (10%). Otro compuesto orgánico con importante presencia en el agua residual es la urea, principal constituyente de la orina. No obstante, debido a la velocidad del proceso de descomposición de la urea, raramente está presente en aguas residuales que no sean muy recientes. Junto con las proteínas, los hidratos de carbono, las grasas y los aceites y la urea, el agua residual también contiene pequeñas cantidades de gran número de moléculas orgánicas sintéticas cuya estructura puede ser desde muy simple a extremadamente compleja.

- Proteínas⁴⁴: Son los principales componentes del organismo animal, mientras que su presencia es menos relevante en el caso de organismos vegetales. Están presentes en todos los alimentos de origen animal o vegetal cuando estos están crudos. La urea y las proteínas son los principales responsables de la presencia de nitrógeno en las aguas residuales. La existencia de grandes cantidades de proteínas en agua residual puede ser origen de olores fuertemente desagradables debido a los procesos de descomposición.
- Hidratos de carbono⁴⁵: Ampliamente distribuidos por la naturaleza, los hidratos de carbono incluyen azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera, compuestos todos ellos presentes en el agua residual. Los azúcares tienen tendencia a descomponerse; las enzimas de determinadas bacterias y fermentos dan lugar a un proceso de fermentación que incluye la producción de alcohol y dióxido de carbono. Los almidones por otro lado, son más estables, pero se convierten en azúcares por la actividad bacteriana así como por la acción de ácidos minerales diluidos. Desde el punto de vista del volumen y la resistencia a la descomposición, la celulosa es el hidrato de carbono cuya presencia en el agua residual es más importante.
- Grasas y aceites⁴⁶: El término grasa, de uso extendido, engloba las grasas animales, aceites, ceras y otros constituyentes presentes en las aguas residuales. Las grasas y aceites alcanzan las aguas residuales domésticas en forma de mantequilla, manteca, margarina, aceites y grasas vegetales. Proviene habitualmente de carnes, germen de cereal, semillas, nueces y ciertas frutas. La mayor parte de estos aceites flotan en el agua residual, aunque una fracción de ellos se incorpora al fango por los sólidos sedimentables. La presencia de grasas y aceites en el agua residual puede provocar problemas tanto en la red de alcantarillado como en las plantas de

⁴⁴ Ibid., p. 74

⁴⁵ Ibid., p. 74

⁴⁶ Ibid., p. 75

tratamiento. Si no se elimina el contenido de la grasa antes del vertido del agua residual, puede interferir con la vida biológica en aguas superficiales y crear películas y acumulaciones de materia flotante desagradables.

- Agentes tensoactivos⁴⁷: Formados por moléculas de gran tamaño, ligeramente solubles en agua, y que son responsables de la aparición de espumas en la planta de tratamiento y en la superficie de los cuerpos de agua receptores de los vertidos de agua residual. Tienden a concentrarse en la interfase aire-agua. Durante el proceso de aireación del agua residual se concentran en la superficie de las burbujas de aire creando una espuma muy estable. La determinación de la presencia de elementos tensoactivos se realiza analizando el cambio de color de una muestra normalizada de azul de metileno. Los agentes tensoactivos también reciben el nombre de sustancias activadas al azul de metileno (MBAS).

- Demanda Bioquímica de Oxígeno⁴⁸: Es el parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado, aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales. La determinación del mismo está relacionada con la medición de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. Los resultados de la DBO se emplean para:
 - Determinar la cantidad aproximada de oxígeno que requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.

 - Dimensionar las instalaciones de tratamiento de las aguas residuales.

 - Medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento.

 - Controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos.

- Demanda Química de Oxígeno⁴⁹: La DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales, ya sean domésticas o industriales, que puedan contener compuestos tóxicos. La

⁴⁷ Ibid., p. 75-76

⁴⁸ Ibid., p. 80

⁴⁹ Ibid., p. 93

DQO de un agua residual suele ser mayor que su correspondiente DBO, siendo esto debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica. En muchos tipos de aguas residuales es posible establecer una relación entre los valores de DBO y DQO. Ello puede resultar de gran utilidad dado que es posible determinar la DQO en un tiempo de 3 horas, frente a los 5 días necesarios para determinar la DBO. Una vez establecida la correlación entre ambos parámetros, pueden emplearse las medidas de la DQO para el funcionamiento y control de las plantas de tratamiento.

- Microorganismos⁵⁰: Los principales grupos de microorganismos presentes tanto en aguas residuales como superficiales se clasifican en organismos eucariotas, eubacterias y arqueobacterias. Los virus, también presentes en el agua residual, se clasifican en función del sujeto infectado.
- Bacterias: El papel que desempeñan las bacterias en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en el marco natural como en las plantas de tratamiento, es amplio y de gran importancia⁵¹. Las bacterias de las aguas residuales pueden clasificarse, según su nutrición, en 3 grupos:
 - ✓ Parasitas⁵²: Han tenido como huésped al hombre o a los animales; suelen ser patógenas y producir graves enfermedades (cólera, tifus, disentería, entre otros), y en el tratamiento de las aguas residuales son uno de los factores más importantes a tener en cuenta.
 - ✓ Saprófitas⁵³: Se nutren de sólidos orgánicos residuales y provocan descomposiciones fundamentales en los procesos de depuración.
 - ✓ Autótrofas⁵⁴: Bacterias que sustentan su protoplasma a partir de sustancias minerales como dióxido de carbono, sulfatos, fosfatos, carbonatos, entre otros, tomando la energía necesaria para su biosíntesis a partir de la luz (bacterias fotosintéticas) o a partir de ciertas reacciones químicas (bacterias

⁵⁰ Ibid., p. 103-104

⁵¹ Ibid., p. 104

⁵² Seoáñez, 2000., p. 35

⁵³ Ibid., p. 35

⁵⁴ Ibid., p. 35

quimiosintéticas). Las más importantes en las aguas residuales urbanas, según los procesos que efectúan son⁵⁵:

- Nitrificantes: Son las *Nitrobacter* y *Nitrosomonas*, que necesitan como fuente de energía reacciones químicas determinadas. Son aerobias. Las primeras oxidan el ácido nitroso y las segundas el amoníaco.

- Ferruginosas y manganosas: Son las que extraen su energía de procesos de oxidación de sales ferrosas o manganosas, y pertenecen a ella los géneros *Clonothrix* y *Leptothrix*.

- Tiobacterias: Las *Thiotrix*, *Beggiatoas* y otras oxidan el H₂S, y al agotar el gas oxidan el azufre producido a ácido sulfúrico.

- Oxidantes del hidrógeno: Las *Hydrogenomonas* oxidan el hidrógeno producido por las bacterias heterótrofas en las fermentaciones de los glúcidos, produciendo agua.

Según el medio, las bacterias de las aguas residuales urbanas se pueden clasificar en⁵⁶:

- ✓ Aerobias: Necesitan de oxígeno procedente del agua para su alimento y respiración. El oxígeno disuelto que les sirve de sustento es el oxígeno libre (molecular) del agua, y las descomposiciones y degradaciones que provocan sobre la materia orgánica serán procesos aerobios; estos procesos se caracterizan por la falta de malos olores.

- ✓ Anaerobias: Consumen oxígeno procedente de los sólidos orgánicos e inorgánicos y la presencia de oxígeno disuelto no les permite subsistir. Los procesos que provocan se caracterizan por la presencia de malos olores.

- ✓ Facultativas: Algunas bacterias aerobias y anaerobias pueden llegar a adaptarse al medio opuesto, es decir, las aerobias a medio sin oxígeno disuelto y las anaerobias a aguas con oxígeno disuelto.

⁵⁵ Ibid., p. 35-36

⁵⁶ Ibid., p. 35

- Hongos⁵⁷: Son protistas eucariotas aerobios, no fotosintéticos y quimioheterótrofos. Junto con las bacterias son los principales responsables de la descomposición del carbono e hidratos de carbono y productos nitrogenados.
- Algas⁵⁸: Las algas pueden presentar serios inconvenientes en las aguas superficiales, puesto que pueden reproducirse rápidamente cuando las condiciones son favorables. Los crecimientos explosivos son característicos de los llamados lagos eutróficos, que son lagos con gran contenido en compuestos necesarios para el crecimiento biológico. Puesto que el efluente de las plantas de tratamiento del agua residual suele ser rico en nutrientes biológicos, la descarga del efluente en lagos provoca su enriquecimiento y aumenta su tasa de eutrofización. La presencia de algas afecta al valor del agua de abastecimiento, ya que puede originar problemas de olor y de sabor.
- Protozoos⁵⁹: Son microorganismos eucariotas cuya estructura está formada por una sola célula abierta. Los protozoos de importancia para el tratamiento de aguas residuales son las amebas, flagelados y los ciliados libres y fijos. Tienen importancia capital, tanto en el funcionamiento de los tratamientos biológicos como en la purificación de cursos de agua ya que son capaces de mantener el equilibrio natural entre los diferentes tipos de microorganismos.
- Plantas y animales⁶⁰: Las diferentes plantas y animales que tienen importancia para el tratamiento de aguas abarcan desde los gusanos y rotíferos, hasta los crustáceos macroscópicos. El conocimiento de estos organismos resulta útil a la hora de valorar el estado de lagos y corrientes, al determinar la toxicidad de las aguas residuales evacuadas al medio ambiente, y a la hora de determinar la efectividad de la vida biológica en los tratamientos secundarios empleados para destruir los residuos orgánicos.
- Virus: Son partículas parasíticas formadas por un cordón de material genético (ácido desoxirribonucleico ADN, o ácido ribonucleico ARN) con una capa de recubrimiento proteínico. No tienen capacidad para sintetizar compuestos

⁵⁷ METCALF & EDDY, 1995,. p. 104

⁵⁸ Ibid., p. 104-105

⁵⁹ Ibid., p. 105

⁶⁰ Ibid., p. 105

nuevos. En lugar de ello, invaden las células del cuerpo vivo que los acoge y reconducen la actividad celular hacia la producción de nuevas partículas virales a costa de células originales⁶¹. El interés que tiene el conocer la gran variedad de virus que pueden aparecer en las aguas residuales, es por su acción nociva como agentes productores de enfermedades (cosa a tener en cuenta en los tratamientos en estaciones depuradoras) pues pueden infectar el tracto intestinal y pasar a las heces⁶². En un gramo de heces se pueden encontrar hasta 10^9 partículas de virus infecciosos. Los virus más comunes en las aguas residuales urbanas son:

- ✓ Adenovirus.

- ✓ Enterovirus: Poliovirus, echovirus, coxsackievirus.

- ✓ Hepatitis A.

- ✓ Reovirus.

- ✓ Rotavirus.

4.2 MARCO TEÓRICO

4.2.1 Alternativas de operación. Según un informe realizado por la empresa AETS (APPLICATION EUROPEENE DE TECHNOLOGIES ET DE SERVICES, Sin fecha)⁶³, para los municipios de Ubaté, San Miguel de Sema y Saboyá en el departamento de Boyacá; un método para mejorar la eficiencia operativa de una planta de tratamiento de aguas residuales, es la operación bajo techo, ya que de este modo se eliminan las aguas lluvias que parasitan el sistema y diluyen los contaminantes que se pretenden extraer de las aguas que se están tratando.

⁶¹ Ibid., p. 106

⁶² Seoáñez, 200., p. 36

⁶³ APPLICATION EUROPEENE DE TECHNOLOGIES ET DE SERVICES. Sin fecha. Propuesta metodológica para el diagnóstico de sistemas de saneamiento municipal. [En línea] Sin fecha. [Citado el: 8 de Noviembre de 2012.] http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=%22ptar%22%20diagnóstico&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CBkQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ikongroup.net%2Fubate%2FFSCommand%2Fpressan.pps&ei=xGqcUNP7HoXK9QTqyoG4AQ&usq=AFQjCNGjvFOpdojdTeW8xeaUfdg_gnhIJQ.

4.2.2 Problemas de gestión de aguas residuales. De acuerdo a la SUNASS (SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO, 2008)⁶⁴, los principales problemas en la gestión de aguas residuales son el déficit de cobertura de tratamiento y la ineficiencia operativa de las PTAR. La ineficiencia operativa se puede presentar por causas como:

- Insuficiente recursos destinados al mantenimiento de las PTAR, tanto financiero como humano.
- Déficit de financiamiento para tratamiento de aguas, como es la parte operacional.
- Mala gestión y sin visión a largo plazo.
- Instituciones que no tienen interiorizada una cultura ambiental.
- Planeamiento de la construcción de la PTAR muchas veces no contempla problemas relacionados con su ubicación.
- Institución sin experiencia en operación y mantenimiento de PTAR.
- La institución no cuenta con equipos de laboratorio para el control de calidad, o recursos para subcontratación.
- La institución no cuenta con programas para controlar las descargas de los usuarios.

La principal consecuencia de la ineficiencia operativa se manifiesta en el incumplimiento de los requisitos de calidad del agua, establecidos por la norma.

⁶⁴ SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO. 2008. *Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución.* [En línea] 2008. [Citado el: 8 de Noviembre de 2012.] http://www.sunass.gob.pe/doc/supervision/diagnostico/diagnostico_situacional_aguas_eps.pdf.

4.2.3 Restricciones técnicas. Uno de los problemas más comunes a que se ven expuestas las Plantas de tratamiento es la falta de capacidad para la selección de la tecnología adecuada para el manejo de las aguas residuales y su adaptación a las condiciones propias de la zona de operación (BERNAL RIASQUEY, 2003)⁶⁵.

De acuerdo con la contraloría General de la Republica, las fallas que prevalecen en estos sistemas de tratamiento se tipifican así:

- Falta de claridad en el entendimiento de las exigencias y requisitos del proceso: en algunos casos no se realiza el tratamiento primario o en otros su calidad es muy deficiente.
- Pese a la utilización plena de la capacidad instalada de algunas de las plantas existentes, un volumen importante del agua no alcanza a ser procesado y se vierte directamente en los cuerpos receptores sin tratamiento previo.
- El diseño insuficiente de algunas lagunas anaeróbicas, en especial las construidas antes de los años 80, implica la falta de la profundidad necesaria y la ocurrencia de procesos de sedimentación alta, que impide la digestión debida de los sólidos sedimentados y ocasiona malos olores bajo calidad de los efluentes.
- El control de la calidad del agua es insuficiente o inexistente con incumplimiento manifiesto de la normatividad existente que obliga a actualizar anualmente la caracterización del vertimiento. Las cifras existentes evidencian que solo el 40% de las plantas actuales cumple con la remoción eficiente de carga orgánica, con niveles superiores al 80% y al 65% para sólidos suspendidos.
- Solamente el 22% de las plantas cumple los requisitos de permisos de vertimiento.

⁶⁵ BERNAL RIASQUEY, Leonardo Ernesto. 2003. Análisis evaluativo técnico y económico entre tres plantas de aguas residuales: Dos para tratamiento de agua doméstica y una para tratamiento de agua industrial. [En línea] 2003. [Citado el: 15 de Enero de 2013.] <http://intellectum.unisabana.edu.co:8080/jspui/bitstream/10818/5098/1/129994.pdf>.

4.2.4 Costos de inversión y operación de una planta de tratamiento físico-químico. Los costos totales de inversión se dividen en costos directos de inversión y costos indirectos de inversión. Los costos directos de inversión contemplan las obras civiles, las interconexiones hidráulicas, obras de urbanización, instalaciones eléctricas, instrumentación y equipos. Mientras que los costos indirectos de inversión contemplan gastos generales y la Inspección Técnica de Obras (ITO) e ingeniería (CARRASCO QUIROZ, 2007)⁶⁶.

- Costos directos: Para el cálculo de los costos directos de inversión se realiza una estimación del costo de las obras civiles y de los equipos necesarios para la planta de tratamiento. Además se asume que las interconexiones hidráulicas son un 10% de los costos directos, que las obras de urbanización y los costos de instrumentación son un 5% cada uno, y que las instalaciones eléctricas representan un 8%, con estas consideraciones las obras civiles más los equipos representa un 72% de los costos directos, por lo que conociendo el costo de las obras civiles y de los equipos se pueden estimar los costos directos (Qasim, 1985; citado por Carrasco).

- Costos indirectos: Debido a que los costos indirectos de inversión son muy difíciles de cuantificar y dependen de muchas variables, se considera que estos representan aproximadamente un 30% adicional a los costos directos de inversión, distribuidos entre gastos generales e ingeniería e inspección técnica de obras.

Los costos de operación de una PTAR vienen dados por la siguiente fórmula:

$$C=V \times X+F$$

Donde C son los costos totales de operación y mantenimiento en el periodo de consideración, V es el costo variable unitario, X es la cantidad de litros de agua que se prevé tratar en el periodo en consideración y F son los costos fijos totales en el mismo periodo (SOLARES CASTILLO, 2006)⁶⁷.

⁶⁶ CARRASCO QUIROZ, Carlos Alberto. 2007. Tratamiento físico químico de aguas residuales. [En línea] 2007. [Citado el: 24 de Enero de 2013.] http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2007/carrasco_c/sources/carrasco_c.pdf.

⁶⁷ SOLARES CASTILLO, Marvin Rolando. 2006. Certificación de la norma ISO 14000 para una planta de tratamiento de aguas negras. [En línea] 2006. [Citado el: 23 de Enero de 2013.] http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1677_IN.pdf.

4.2.5 Modelo de costos para el tratamiento de aguas residuales en la región cafetera Colombiana. Salas (SALAS QUINTERO, y otros, 2007)⁶⁸, propone un modelo basado en el método de costos unitarios, siguiendo los lineamientos del modelo CAPDET (software para modelado de tratamiento de aguas residuales), el cual combina los métodos de acercamiento paramétrico y de costos unitarios para realizar la estimación de costos totales de un proyecto, y el modelo conceptual de CINARA (Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico) para la selección de tecnología en sistemas de potabilización de agua, también basado en el principio de costos unitarios propuesto en CAPDET.

- Conceptos generales de costos de sistemas de tratamiento de aguas residuales: Los costos de una PTAR se clasifican en: inversión inicial, y funcionamiento (administración, operación, mantenimiento) (Cuadro 3).

En la inversión inicial de una obra de ingeniería es necesario tener en cuenta, aparte de los costos directos de construcción, otros costos que deben ser cuantificados ya que elevan significativamente el monto de la inversión, como es la administración, imprevistos y utilidades (AIU). La AIU corresponde a los costos que la firma o entidad constructora adiciona al presupuesto total de inversión como un porcentaje, que en Colombia fluctúa entre el 15 y 25% y que para el modelo se adopta 20%.

Para el cálculo de los costos directos se utilizó el método del costo unitario. Los costos se deben asociar a los tamaños de las unidades de tratamiento y estos se pueden representar por una ecuación de la forma $Y = A \times X^B$, donde "Y" corresponde a la cantidad de obra requerida y "X" es el tamaño característico de la unidad de tratamiento.

Los factores que determinan los costos de operación y mantenimiento de una instalación de tratamiento de aguas residuales están asociados a la complejidad de la tecnología utilizada, el tamaño de la misma y la capacidad local de soportar esta complejidad.

⁶⁸ SALAS QUINTERO, Diana, ZAPATA, Mario Alberto y GUERRERO, Jhoniers. 2007. Modelo de costos para el tratamiento de aguas residuales en la región. *Universidad Tecnológica de Pereira*. [En línea] Diciembre de 2007. [Citado el: 15 de Enero de 2013.] <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4191/2099>. ISSN 0122-1701.

Cuadro 3. Componentes de costos de sistemas de tratamiento de aguas

Costos	Actividad	
Inversión	Estudios preliminares y de suelos	
	Diseño e ingeniería	
	Construcción	
	Terreno	
	Interventoría	
	Gastos administrativos, legales y financieros	
Funcionamiento	Operación y mantenimiento	Reposiciones
		Reparaciones
		Energía
		Insumos químicos
		Monitoreo de los procesos y de calidad de agua
		Mano de obra para operación y mantenimiento
		Disposición de lodos
		Mantenimiento de equipos
	Administrativos	Personal administrativo
		Gastos generales
		Tasas ambientales

Fuente: Tomado de SALAS QUINTERO, Diana, ZAPATA, Mario Alberto y GUERRERO, Jhoniers. 2007. Modelo de costos para el tratamiento de aguas residuales en la región. *Universidad Tecnológica de Pereira*. [En línea] Diciembre de 2007. [Citado el: 15 de Enero de 2013.] <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4191/2099>. ISSN 0122-1701

- Límites de caudal: Los caudales de diseño se fijaron en 1, 3, 8 y 16 L/s, que corresponden a una población de 600, 1800, 4800 y 9600 habitantes, respectivamente, con una dotación de 180 L/hab/día y un coeficiente de retorno de 0,8. Para cada uno de estos caudales se realizaron diseños típicos de cada uno de los 6 sistemas de tratamiento, con el propósito de conocer la magnitud de la dimensión (volumen o área) más importante de cada unidad de tratamiento y derivar de esta los modelos de cantidades de obra de los ítems relevantes.

- Criterios de diseño: Los criterios de diseño de las alternativas de tratamiento fueron determinados con base en el RAS 2000 y revisión de literatura. Las unidades de tratamiento se consideraron semienterradas para su

dimensionamiento estructural y las obras civiles de las plantas de tratamiento se consideraron en concreto reforzado.

- Sistemas de tratamiento evaluados: Los sistemas de tratamiento evaluados fueron:
 - Desarenador, sedimentador primario, humedal de flujo superficial, lecho de secado.
 - Desarenador, sedimentador primario, humedal de flujo subsuperficial, lecho de secado.
 - Desarenador, sedimentador primario, filtro percolador, sedimentador secundario, lecho de secado.
 - Desarenador, sedimentador primario, laguna facultativa, lecho de secado.
 - Desarenador, sedimentador primario, lodos activados, sedimentador secundario, lecho de secado.
 - Desarenador, tanque séptico, filtro anaerobio de flujo ascendente, humedal de flujo subsuperficial, lecho de secado.

Los modelos de cantidades de obra se desarrollaron de manera independiente para cada tren de tratamiento. Con este objetivo se definieron las siguientes actividades para la construcción de un sistema de tratamiento de aguas residuales:

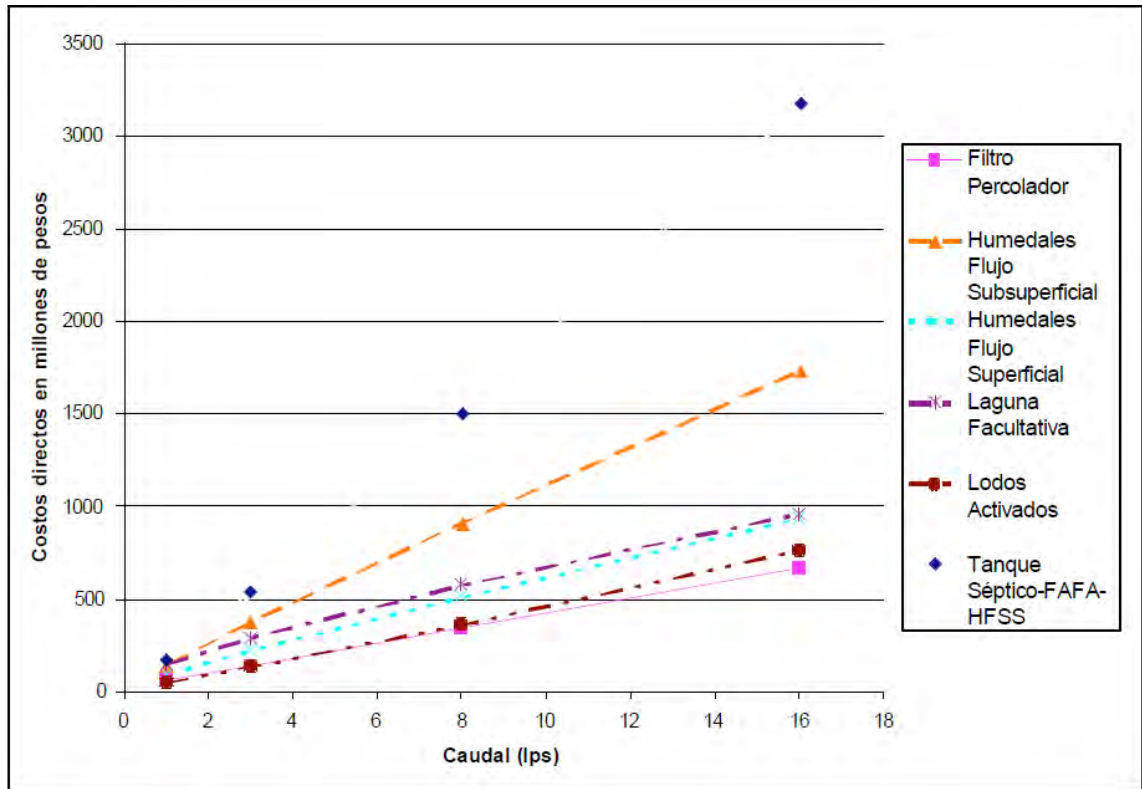
- Localización.
- Excavación.
- Colocación de concreto.

- Figurado de hierro.
- Instalación de formaleta.
- Material de soporte.
- Recubrimiento.
- Sembrados.
- Instalaciones hidráulicas.
- Equipos.
- Conexiones.
- Cerramiento.
- Afirmado de vías.
- Cunetas de aguas lluvias.

Para cada tren de tratamiento se estimaron los modelos de cantidad de obra de cada una de las unidades que lo conforman. De esta forma se puede estimar el costo de inversión para cada unidad de tratamiento por separado y el costo total de la planta de tratamiento como una sumatoria del costo de sus unidades.

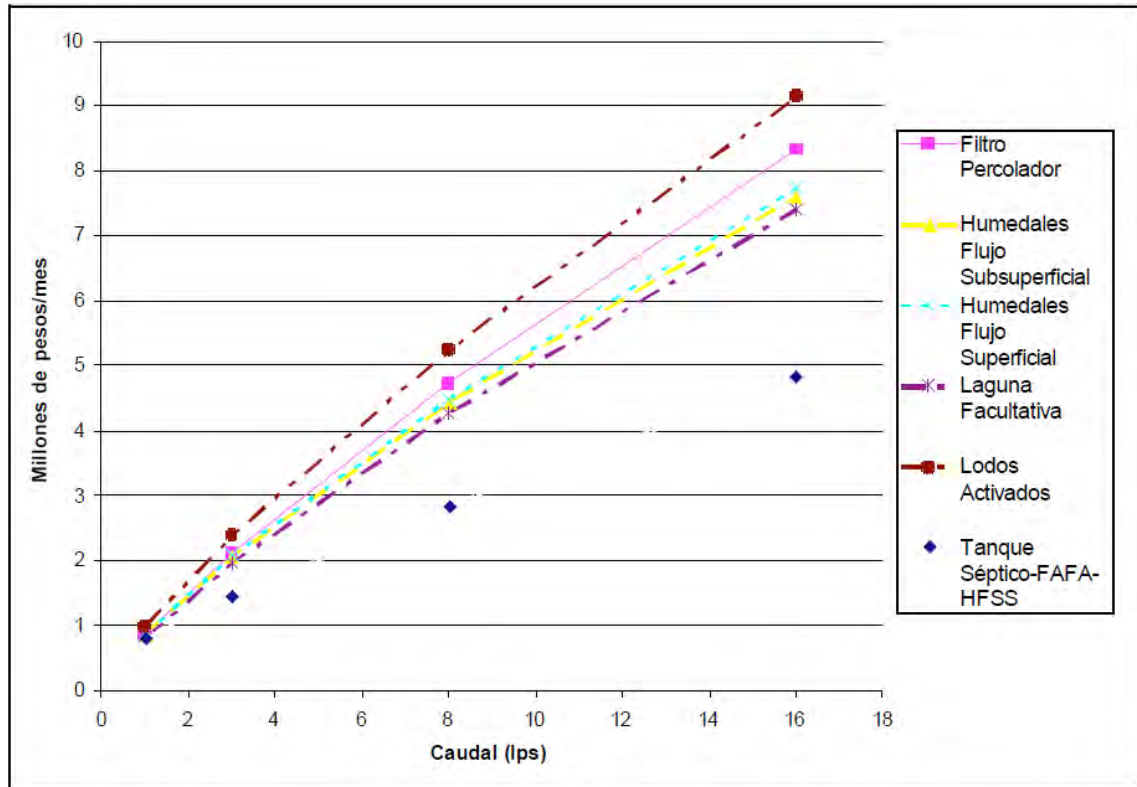
- Resultados obtenidos con el modelo de costos propuesto para sistemas de tratamiento de aguas residuales en Colombia: Figuras 3 y 4.

Figura 3. Modelo de costos de sistemas de tratamiento evaluados



Fuente: Tomado de SALAS QUINTERO, Diana, ZAPATA, Mario Alberto y GUERRERO, Jhoniers. 2007. Modelo de costos para el tratamiento de aguas residuales en la región. *Universidad Tecnológica de Pereira*. [En línea] Diciembre de 2007. [Citado el: 15 de Enero de 2013.] <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4191/2099>. ISSN 0122-1701

Figura 4. Costos de operación y mantenimiento de sistemas evaluados



Fuente: Tomado de SALAS QUINTERO, Diana, ZAPATA, Mario Alberto y GUERRERO, Jhoniers. 2007. Modelo de costos para el tratamiento de aguas residuales en la región. *Universidad Tecnológica de Pereira*. [En línea] Diciembre de 2007. [Citado el: 15 de Enero de 2013.] <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4191/2099>. ISSN 0122-1701

- Conclusiones: De acuerdo a Salas *et al* (2007), el estudio arroja las siguientes conclusiones:
 - Los costos más representativos en inversión inicial de sistemas naturales están constituidos por el costo del lote necesario para la construcción del sistema, por los costos de impermeabilización y por el costo del material filtrante en el caso de humedales de flujo subsuperficial.
 - En el caso de los sistemas convencionales, los costos más significativos en inversión inicial están representados por la adquisición de equipos de automatización y control de los procesos, así como por los equipos de bombeo,

en unidades como lodos activados o filtro percolador. En estos sistemas también son significativos los costos de las unidades de manejo de lodos.

- Los costos más representativos de operación y mantenimiento de sistemas convencionales incluyen el funcionamiento de los procesos de automatización y control (en el caso de que existan), de los equipos de bombeo y los insumos químicos necesarios para el tratamiento.
- Los resultados de la aplicación del modelo de costos para los cinco sistemas de tratamiento seleccionados indican que el sistema más costoso de construir es el de desarenador – sedimentador – humedal de flujo subsuperficial – lecho de secado, mientras que el menos costoso de construir es el de desarenador – sedimentador – filtro percolador – sedimentador secundario – lecho de secado.
- Los resultados del modelo de costos de operación y mantenimiento muestran que el sistema más oneroso de operar y mantener es el de desarenador – sedimentador – lodos activados – sedimentador secundario – lecho de secado, mientras que el menos oneroso es el de desarenador – sedimentador primario – laguna facultativa – lecho de secado.

4.2.6 Selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales (SUÁREZ MARMOLEJO, 2010)⁶⁹. El diseño de una PTAR debe involucrar la escogencia adecuada de los procesos buscando un funcionamiento óptimo de acuerdo a la situación en particular (Guerrero, 2003; citado por Suárez, 2010)⁷⁰. Para Crites y Tchobanoglous (2000; citados por Suárez, 2010)⁷¹ la selección es el proceso mediante el cual se opta por la opción más apropiada para las condiciones del sitio donde se implementará la PTAR. El ingeniero debe escoger la tecnología o combinación de procesos, con el propósito de transformar las características iniciales del agua residual a niveles aceptables para cumplir con las normas de vertimiento y de reutilización.

⁶⁹ SUÁREZ MARMOLEJO, Claudia Lorena. 2010. Tratamiento de aguas residuales municipales en el Valle del Cauca. [En línea] 2010. [Citado el: 23 de Enero de 2013.] http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/W5-3_GEN_PHD_D5.3.12_MSc_Suarez_Municipal_wastewater_treatment_Valle_del_Cauca.pdf.

⁷⁰ Ibid. p. 36

⁷¹ Ibid. p. 36

La selección de un sistema de tratamiento debe considerar, además de los criterios convencionales de factibilidad técnica económica, su adecuación a la realidad sociopolítica y ambiental del sector considerado, así como su capacidad para satisfacer, a través del tiempo, los criterios de descarga establecidos por la normativa vigente. Para ello es necesario desarrollar herramientas que permitan evaluar los posibles esquemas de tratamiento en forma objetiva y considerando las condiciones mencionadas (Sánchez *et al.*, 2006; citados por Suárez, 2010)⁷².

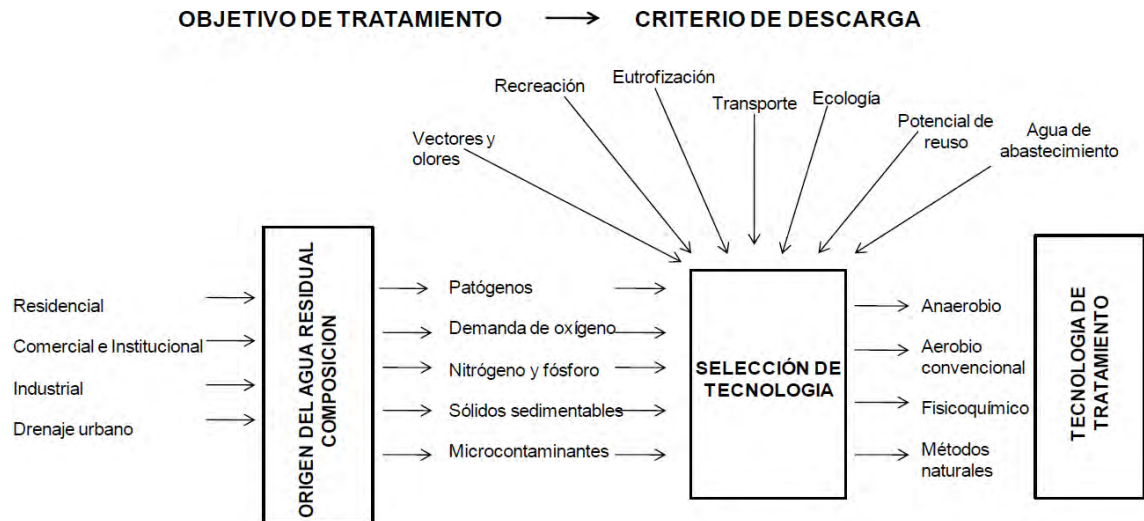
Según Helmer y Hespanhol (1997; citados por Suárez, 2010)⁷³ el proceso de selección de tecnología resulta de una optimización de múltiples criterios que considera factores tecnológicos, socioeconómicos, ambientales e instituciones algunos de los cuales son (Figura 5):

- El tamaño de la comunidad a ser servida.
- Las características del sistema de alcantarillado (convencional o no convencional).
- Las fuentes de aguas residuales (doméstico, industrial, aguas lluvias, infiltración).
- Las futuras oportunidades para minimizar las cargas contaminantes.
- Los estándares de descarga para efluentes tratados (objetivos de tratamiento).
- La disponibilidad de mano de obra capacitada para el diseño, construcción y operación y mantenimiento.
- Condiciones ambientales tales como disponibilidad de terreno, geografía y clima.

⁷² Ibid. p. 28

⁷³ Ibid. p. 28

Figura 5. Selección de tratamiento según origen, composición y objetivos



Fuente: Tomado de SUÁREZ MARMOLEJO, Claudia Lorena. 2010. Tratamiento de aguas residuales municipales en el Valle del Cauca. [En línea] 2010. [Citado el: 23 de Enero de 2013.] http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/W5-3_GEN_PHD_D5.3.12_MSc_Suarez_Municipal_wastewater_treatment_Valle_del_Cauca.pdf

4.2.7 Plan de muestreo para caracterización de aguas residuales (VARGAS TIERRAS, 2012)⁷⁴. Un muestreo de aguas residuales para caracterización, se emprende por una serie de razones con el fin de obtener los siguientes resultados:

- Datos operacionales de rutina sobre el desempeño general de la planta.
- Datos que pueden usarse para documentar el desempeño de un determinado proceso u operación.
- Datos que pueden usarse para implementar programas nuevos propuestos.
- Datos necesarios para reportar cumplimiento de las normas.

⁷⁴ VARGAS TIERRAS, Tannia Jazmín. 2012. Optimización del sistema de tratamiento de agua residual de la planta N° 01 del Cantón Joya de los Sachas. [En línea] 2012. [Citado el: 15 de Enero de 2013.] <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/1976/1/96T00155.pdf>.

Para alcanzar las metas de un programa de muestreo, los datos recolectados deben ser:

- Representativos: los datos deben representar el agua residual.
- Reproducibles: los datos pueden ser reproducidos por otros siguiendo el mismo muestreo y protocolos analíticos.
- Sustentados: la documentación debe estar disponible para validar el plan de muestreo.

4.2.8 Línea de gas producido de digestión de fangos (VELASCO, y otros, 1981)⁷⁵. El gas metano producido en la digestión de los fangos, productos del tratamiento de aguas residuales, se puede usar para el funcionamiento de las calderas, ya sea para el uso de la institución en la cual se encuentra la PTAR. Lo anterior contribuye a la recuperación y ahorro de energía.

4.3 MARCO LEGAL

El Cuadro 4 muestra una cronología de la normatividad aplicable a la disposición de vertimientos. El decreto 1594/1984 es la base del marco legal, ya que reglamenta y establece los parámetros fisicoquímicos que deben cumplir las aguas residuales y los residuos líquidos para su disposición. Dicho decreto fue derogado por el decreto 3930, el cual establece en su artículo 28, la creación de nuevos parámetros de vertimientos. Sin embargo, el artículo 28 fue modificado por el decreto 4728, el cual extiende el plazo de la expedición de los parámetros que a la fecha todavía no han sido publicados. Debido a lo anterior, el decreto 1594 aún continúa parcialmente vigente.

⁷⁵ VELASCO, E.L y DAPENA BAQUEIRO, J.L. 1981. Descripción del proyecto de ampliación de la estación depuradora de aguas residuales de Rejas. [En línea] 1981. [Citado el: 24 de Enero de 2013.] http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1981/1981_noviembre-diciembre_3198_04.pdf.

Cuadro 4. Normatividad aplicable a la disposición de vertimientos

Legislación del agua	Contenido
Decreto 4728 23 diciembre 2010	Por el cual se modifica parcialmente el decreto 3930 de 2010
Decreto 3930 25 octubre 2010	Por el cual se reglamenta el Capítulo II del Título VI-Parte III-Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.
Resolución 2145 23 diciembre 2005	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 1433 de 2004 sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV.
Decreto 3440 21 octubre 2004	Por el cual se modifica el decreto 3100 de 2003 y se adoptan otras disposiciones.
Resolución 1433 13 diciembre 2004	Por la cual se reglamenta el artículo 12 del decreto 3100 de 2003, sobre planes de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV), y se adoptan otras determinaciones.
Decreto 3100 30 octubre 2003	Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.
Decreto 3102 30 diciembre 1997	Por el cual se reglamenta el artículo 15 de la ley 373 de 1997 en relación con la instalación de equipos, sistemas e implementos de bajo consumo de agua
Ley 373 06 junio 1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
Decreto 1594 26 junio 1984	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. PARCIALMENTE VIGENTE. Derogado por el artículo 79 del decreto 3930 de 2010, excepto los artículos 20 y 21.
Decreto Ley 2811 18 diciembre 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Ley 23 19 diciembre 1973	Plantea la necesidad de proteger los recursos naturales renovables, fija límites mínimos de contaminación y establece sanciones por violación de las normas. Se faculta al Presidente de la República para expedir el Código de los Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente.

Fuente: Tomado de COLOMBIA. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Sin fecha. Legislación del agua. Normativa nacional para la administración y planificación ambiental del agua. [En línea] Sin fecha. [Citado el: 7 de Noviembre de 2012.]

<http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=909&conID=3975>, UNIÓN TEMPORAL ACUAMBIENTAL. 2008. *Plan de manejo ambiental (actualización) de los aeropuertos de Villavicencio, Arauca, Armenia, Tumaco, Pasto y Neiva. Plan de manejo ambiental (actualización) aeropuerto -El Edén-*. Armenia : La Institución, 2008. pág. 179. Vol. 1

4.4 MARCO CONTEXTUAL

4.4.1 Localización geográfica general (UNIÓN TEMPORAL ACUAMBIENTAL, 2008)⁷⁶. El aeropuerto El Edén se encuentra ubicado a 11 km (15-20 min) de la ciudad de Armenia y está localizado en una zona limítrofe con el municipio de La Tebaida a 2 km, específicamente el costado suroccidental del aeródromo que colinda con las veredas de Palonegro y El Edén respectivamente. Se ubica en el departamento del Quindío, a una altura aproximada de 1.204 m.s.n.m. Sus coordenadas geográficas son: latitud 4°27'10,66"N, 75°46'4,76"O.

4.4.2 Antecedentes históricos⁷⁷. El 14 de octubre de 1948 fue inaugurado el aeropuerto —El Edén— sin haberse concluido el edificio terminal de pasajeros; con el primer vuelo inaugural, el 15 de diciembre de 1948 se inician las operaciones regulares de esta institución.

El 25 de enero de 1999, se produce el terremoto en el eje cafetero; que dejó afectada la infraestructura del aeropuerto, colapsando la torre de control y el edificio terminal. Por tal razón fue necesaria la reubicación y construcción de un nuevo edificio terminal de pasajeros, una subestación eléctrica, cuartel de bomberos, ampliación de plataforma, adecuación de vías de acceso, repavimentación de la pista y cambio de red de tuberías. Estas obras fueron inauguradas por el entonces presidente Andrés Pastrana y el director de la aeronáutica civil Ernesto Huertas, el 14 de octubre de 2000.

4.4.3 Infraestructura de aguas servidas⁷⁸. El aeropuerto cuenta con un sistema compacto para el tratamiento de aguas residuales domésticas, PTARD, el sistema es de lodos activados en aireación extendida. El agua llega a través de una red de

⁷⁶ UNIÓN TEMPORAL ACUAMBIENTAL. 2008. *Plan de manejo ambiental (actualización) de los aeropuertos de Villavicencio, Arauca, Armenia, Tumaco, Pasto y Neiva. Plan de manejo ambiental (actualización) aeropuerto -El Edén-*. Armenia : La Institución, 2008. pág. 179. Vol. 1.

⁷⁷ Ibid., p. 13.

⁷⁸ Ibid., p. 35.

alcantarillado de aproximadamente 1.060,5 metros lineales; la cual fue ampliada con la construcción del nuevo terminal en el año 2000.

- Producción: Las aguas residuales en el aeropuerto son de origen doméstico y provienen de: servicios sanitarios, bomberos, torre de control, terminal, hangar y sanidad; estas se conducen por tubería de PVC hasta la PTARD hecha en acero, la cual fue diseñada para tratar un caudal de $75,75 \text{ m}^3/\text{día}$, pero la población que se había estimado para el diseño, actualmente se ha duplicado.

- Tratamiento: El agua residual ingresa al pozo de bombeo donde hay una rejilla para retención de sólidos; de allí 2 bombas sumergibles llevan el agua hasta la PTARD, donde ingresa al reactor de aireación donde permanece aproximadamente por 20 horas, después pasa a la tolva de clarificación para retener lodos, de aquí el agua clarificada es llevada a 2 tanques de contacto de cloro, hechos en fibra de vidrio. Los lodos son recirculados a la entrada del reactor y cuando se alcanza una concentración adecuada de microorganismos, debe purgarse periódicamente. Los lodos son llevados a lechos de secado y el agua tratada es vertida al caño —El Cátaro”.

5. METODOLOGÍA

5.1 ZONA DE ESTUDIO

De acuerdo al plan de manejo ambiental propuesto por la Unión Temporal Acuambiental (2008), la zona de estudio posee los siguientes componentes bióticos y abióticos:

5.1.1 Componente abiótico⁷⁹.

- Geología: Conformado por condiciones fluviales y presencia de acuíferos atravesados por fallas geológicas pertenecientes al sistema de romeral. El marco geológico regional es el piedemonte occidental de la cordillera central y los inicios del valle del río Cauca.

La geología del departamento del Quindío está conformada por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias del Paleozoico, Cretácico y Terciario; estas rocas se encuentran plegadas, fracturadas y cubiertas por grandes depósitos de material cuaternario de origen fluvio-volcánico, fluvio-glaciario y fluvio-coluvial, predominando las coberturas de material piroclástico y de cenizas. La geología del aeropuerto se puede identificar como una unidad geológica que hace parte de esta área y pertenece a los depósitos no consolidados de ceniza y flujos de lodo volcánico del cuaternario.

- Geomorfología: Armenia se ha desplegado desde sus orígenes teniendo como patrón de condicionamiento físico espacial, la estructura topográfica que le ha permitido el curso del río Quindío y más de una veintena de quebradas y cañadas que irrigan de norte a sur y occidente.

El aeropuerto El Edén está ubicado en el sector de paisaje de piedemonte del departamento del Quindío. Esta región se caracteriza por presentar relieves escarpados a ligeramente planos, en inmediaciones del sector de paisaje del valle sobre el río La Vieja. Estas geoformas son producto del arrastre de material desde las partes altas de la cordillera y sedimentados en las partes más bajas de la misma.

⁷⁹ Unión Temporal Acuambiental, 2008., p. 50-57.

- Suelos: Los suelos de abanico torrencial del paisaje de piedemonte del municipio de Armenia, clasificados como zona optima cafetera, corresponden a la unidad taxonómica denominada consociación Armenia (Typic Hapludans), en altitud que oscila entre 1.300 y 1.600 m.s.n.m, en clima medio húmedo. El relieve varia de ligeramente de plano a escarpado con pendientes entre el 7% hasta el 50% y erosión ligera.

En los primeros 5 cm de profundidad, el suelo es ácido, de fertilidad media y sin problemas de toxicidad, contenidos altos y medios de materia orgánica, considerable actividad microbiana, abundantes en meso y macrofauna, texturas que varían entre franco arenosas y franco arcillosas, baja densidad aparente, agregados estructurales de tamaño fino y medianamente estables, alta porosidad que permite una buena aireación y rápida infiltración de agua.

- Parámetros climatológicos: Los siguientes parámetros se obtuvieron de la estación sinóptica principal del IDEAM, ubicada en el aeropuerto El Edén (Cuadros 5 y 6).

Cuadro 5. Valores de temperatura (°C) promedio del aeropuerto El Edén

Estación: Aeropuerto El Edén Armenia Código: 2612506 Elevación: 1.204 m.s.n.m Periodo: 2007												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
23	23,1	21,7	21,8	21,6	22,4	22,4	21,8	22	20,8	21,2	20,8	21,9

Fuente: Tomado de UNIÓN TEMPORAL ACUAMBIENTAL. 2008. *Plan de manejo ambiental (actualización) de los aeropuertos de Villavicencio, Arauca, Armenia, Tumaco, Pasto y Neiva. Plan de manejo ambiental (actualización) aeropuerto -El Edén-*. Armenia : La Institución, 2008. pág. 179. Vol. 1

Cuadro 6. Valores de precipitación (mm) promedio del aeropuerto El Edén

Estación: Aeropuerto El Edén Armenia Código: 2612506 Elevación: 1.204 m.s.n.m Periodo: 2007												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
103,2	164,9	194,9	266,5	342,3	51,7	164,4	149,1	185,4	320,8	331,2	290,1	213,7

Fuente: Tomado de UNIÓN TEMPORAL ACUAMBIENTAL. 2008. *Plan de manejo ambiental (actualización) de los aeropuertos de Villavicencio, Arauca, Armenia,*

Tumaco, Pasto y Neiva. Plan de manejo ambiental (actualización) aeropuerto -El Edén-. Armenia : La Institución, 2008. pág. 179. Vol. 1

- Hidrología: Las cuencas hidrográficas en las que se encuentra el municipio de Armenia son las de los ríos Quindío, Espejo, y quebrada Cristales; pertenecientes a la cuenca del río la Vieja. La gran mayoría de quebradas que cruzan por el municipio drenan de oriente a occidente. Sobre el bloque hundido de la falla de Armenia en la zona urbana, lo hacen en ese sentido hasta la traza de la falla, en donde al chocar con el bloque levantado empiezan a drenar hacia el norte, como ocurre con la quebrada La Montañita, o hacia el sur, como es el caso de la quebrada Buenos Aires. El hecho que Armenia posea 53 quebradas urbanas refleja altos niveles freáticos y la posible existencia de acuíferos o capas impermeables muy someras.

5.1.2 Componente biótico⁸⁰.

- Flora: El aeropuerto El Edén se encuentra en el agroecosistema cafetero; no se presentan en su área de influencia directa coberturas vegetales diferentes a cultivos (café, plátano y cítricos), pastizales para ganadería, zonas arboladas y con jardines, y algunos fragmentos de rastrojos que sirven de límite a las fincas cercanas.
- Fauna:
 - Insectos: En las luces PAPI (Precision Approach Path Indicator; del inglés: Indicador de Precisión de Aproximación de Ruta) se encuentran colmenas de abejas y avispas (*Himenoptera*), las cuales se han constituido en un problema para el personal del aeropuerto que labora cerca. Estos insectos prosperan en los cultivos de cítricos, muy comunes en el área de influencia de árboles frutales (cítricos, mango, entre otros). También se observan colonias de hormigas arrieras, en zonas aledañas al aeropuerto como el parque.
 - Reptiles: Se reporta la presencia de serpientes y lagartos sin identificar.
 - Aves: Se observan o reportan especies como: azulejo (*Thraupidae*), cucarachero (*Troglodytidae*), caravana (*Charadriidae*); loro común, loro

⁸⁰ Ibid., p. 61, 72-74.

moñudo, pericos, guacamayas (*Psittacidae*); tórtola (*Columbidae*); siriri, bichofue, pechirrojo (*Tyrannidae*); garza del ganado (*Ardeidae*), gallinazo común (*Cathartidae*), canario (*Fringillidae*); garrapatero, trespies (*Cuculidae*) y pájaros carpinteros (*Picidae*). La mayor parte de las especies encontradas están adaptadas a zonas abiertas y son granívoras o insectívoras. No hay presencia de especies amenazadas.

- Mamíferos: No se reporta presencia de esta clase, a excepción de ardillas.
- Problemas relacionados con el componente biótico: El uso del suelo en el cono de aproximación del aeropuerto interfiere con la actividad aeroportuaria de la siguiente manera:
 - Árboles de gran tamaño interfieren con la visibilidad de la torre de control.
 - Actividad agropecuaria cercana y residuos de rocería dejados en la zona de seguridad, se constituye en factor de vulnerabilidad para amenaza aviaria, pues es fuente de alimento y refugio para muchas especies de aves, lo cual entorpece las actividades aeroportuarias.

5.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

5.2.1 Diagnóstico técnico. De acuerdo a la metodología seguida por Rodríguez (RODRÍGUEZ COTUA, 2008)⁸¹, el primer aspecto a evaluar es el tipo de PTARD que se está diagnosticando, ya sea de lodos activados, lagunas de oxidación, entre otros. Se debe realizar una caracterización del área en la que se ubica la PTARD (clima, localización, entre otros) y normatividad aplicable.

Seguidamente se realiza un análisis espacial, teniendo en cuenta la geomorfología del terreno; y una inspección preliminar en campo, localizando estructuras y fallas técnicas visibles como fugas, problemas estructurales, entre otros.

⁸¹ RODRÍGUEZ COTUA, Eder Andrés. 2008. Gestión ambiental para los subproductos derivados de una planta de tratamiento de aguas residuales en el jardín botánico de la Universidad Nacional de Colombia y comparación con sistemas similares en San Andrés Isla. [En línea] 2008. [Citado el: 8 de Noviembre de 2012.] <http://www.bdigital.unal.edu.co/684/1/812119.2008.pdf>.

El siguiente paso propuesto es el estudio detallado en campo, realizando un análisis de caracterización de los vertimientos, comparándolos con la normatividad aplicable. El análisis de vertimientos debe realizarse con el equipo de laboratorio adecuado y siempre procurando la refrigeración de las muestras de agua, de manera que se evite la alteración de resultados.

Finalmente se recomienda, como paso opcional, la elaboración de un plano con los elementos que conforman la PTARD, su distribución, conexión y función; de manera que facilite la identificación del origen de problemas que se evidencien en la inspección o en el estudio de campo.

5.2.2 Etapas de diagnóstico. Escobar (ESCOBAR URIBE, 2008)⁸², propuso una metodología para el análisis de calidad de agua potable; se utilizara dicha metodología para el cumplimiento de los objetivos pero adaptándose para el análisis de aguas residuales de la siguiente forma:

- Recolección de información confiable y representativa que permita diagnosticar el estado de la calidad fisicoquímica del vertimiento en comparación con la normatividad ambiental vigente. Comprende las siguientes actividades:
 - Consulta de fuentes bibliográficas.
 - Revisión de la documentación de la empresa.
- Realización de monitoreo fisicoquímico del vertimiento de la PTARD del aeropuerto, basada en las siguientes actividades:
 - Revisión de registros históricos de monitoreos de calidad de vertimientos.
 - Fase de campo.

⁸² ESCOBAR URIBE, Luz Nelly. 2008. *Análisis de calidad del agua potable en el aeropuerto La Florida-Tumaco de la regional Valle, Colombia. Pasantía de administración del medio ambiente y de los recursos naturales*. Santiago de Cali. Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de ciencias básicas. Departamento de ciencias ambientales : s.n., 2008. pág. 264.

- Confrontación de los registros existentes desde años atrás disponibles, con los resultados obtenidos en el paso anterior; con el fin de evaluar la tendencia histórica de los parámetros ambientales y establecer las causas y posibles soluciones a los problemas encontrados. Comprende las siguientes actividades:
 - Revisión de la documentación de la empresa.
 - Análisis de los datos obtenidos en el monitoreo.
- Planteamiento de estrategias que posibiliten el cumplimiento de las normas ambientales, de manera que se optimice el manejo de los vertimientos, de acuerdo a las siguientes actividades:
 - Recopilación de la información obtenida en la fase de campo.
 - Recopilación de la información bibliográfica.
 - Planteamiento de estrategias.
 - Documento final.

5.2.3 Planteamiento de estrategias. De acuerdo a Fernández (FERNÁNDEZ-VÍTORA CONESA, 1997)⁸³, el proceso de planteamiento de estrategias de mejoramiento o alternativas de mejoramiento puede estructurarse en los siguientes pasos:

- **Objetivos de la empresa:** Las alternativas componen el conjunto de soluciones para alcanzar los objetivos, es fundamental conocerlos para iniciar el desarrollo de propuestas de solución. En general, los sistemas de gestión ambiental presentan los siguientes:
 - Utilización de recursos, atendiendo a tasas asumibles por el medio ambiente.

⁸³ FERNÁNDEZ-VÍTORA CONESA, Vicente. 1997. *Los instrumentos de la gestión ambiental en la empresa*. Madrid : Ediciones Mundi-Prensa, 1997. pág. 152. ISBN 84-7114-648-7.

- Situación de las actividades en territorios y ecosistemas con una determinada capacidad de acogida.
- Emisión de efluentes por debajo de la capacidad de recepción o asimilación del medio.
- Minimizar los impactos negativos y maximizar los positivos.
- Rentabilizar comercial y socialmente todas las medidas aplicadas en favor del medio ambiente.
- Garantizar el cumplimiento de la legislación medioambiental.
- Diagnóstico medioambiental de la empresa: Para la generación de propuestas de alternativas se utiliza, con base en los objetivos marcados, un doble diagnóstico:
 - Estudio y diagnóstico del proyecto a realizar, o en su caso de la actividad funcionando. Se realizan propuestas en función del uso de recursos, procesos productivos, emisión de elementos y vertimientos.
 - Estudio del territorio como soporte de la actividad, receptor de efluentes y transmisor de interrelaciones. Se diagnostica sobre la capacidad de acogida, estableciendo las áreas del territorio (entorno de actividad), y los factores del medio que se van a ver afectados. Se puede establecer una primera matriz de efectos para cada alternativa, determinando las necesidades de restauración o corrección del medio.
- Determinación del problema y oportunidades: Una vez efectuado el diagnóstico y explotada la información obtenida, se establecen los problemas que, medioambientalmente hablando, puede presentar la actividad y las oportunidades actuales que brinda el medio (subvenciones, sensibilización social, entre otros). Se seleccionan los problemas, determinando aquellos que van a ser objeto de búsqueda de soluciones, con base en criterios objetivos, tales como:
 - Grado de utilidad: posibilidad de cumplimiento de objetivos.

- Matriz de efectos menores: riesgos de que la actividad produzca efectos en el medio.
- Grado de cumplimiento de la legislación medioambiental.
- Rentabilidad económica: positiva.
- Rentabilidad social: creación de empleo, seguridad e higiene, grado de aceptación, entre otros.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1 FASE DE DOCUMENTACIÓN Y REVISIÓN

De acuerdo a la metodología propuesta por escobar, se deben recolectar registros históricos para confrontarlos con los datos actuales (Fase de campo). Siguiendo esta propuesta, se revisó la documentación del aeropuerto donde se obtuvieron los siguientes datos acerca de los resultados de análisis fisicoquímico de aguas residuales de años anteriores (Cuadro 7):

Cuadro 7. Registro histórico de calidad de vertimientos del aeropuerto

Parámetro	Unidad	Norma (1594/1984)	Julio 2008	Septiembre 2008	Mayo 2009	Junio 2009	Diciembre 2009	Octubre 2010	Agosto 2011	Enero 2012	Agosto 2012	Diciembre 2012
Temperatura máxima	°C	Máximo 40,0	27,00	25,00	24,00	22,00	26,00	26,00	27,40	24,00	23,1	26,5
pH máximo	Unidades	Máximo 9,0	7,01	6,39	6,80	7,89	7,66	3,06	5,33	7,46	6,9	7,4
pH mínimo	Unidades	Mínimo 5,0	6,98	5,05	6,70	7,65	7,28	2,86	4,81	6,84	6,4	6,4
Grasas	% Remoción	Mayor a 80,0	85,92	70,11	90,87	78,30	51,97	80,64	87,72	44,42	80,0	73,4
Sólidos suspendidos totales	% Remoción	Mayor a 80,0	95,16	3,76	75,73	75,90	86,63	95,30	77,69	91,34	71,5	84,4
Demanda Biológica Oxígeno	% Remoción	Mayor a 80,0	73,62	81,67	78,03	80,40	95,31	82,16	54,51	51,81	81,8	83,1
Demanda Química Oxígeno	% Remoción	-	72,55	81,71	78,33	78,80	95,30	80,16	51,80	64,98	80,5	80,9

Fuente: Aeronáutica Civil

Como se puede apreciar en el cuadro 7, los parámetros en los cuales presenta mayores problemas la planta son en primer lugar las grasas y los sólidos suspendidos totales, seguidos de DBO y pH mínimo respectivamente (todos resaltados en rojo), lo cual funcionalmente verifica una deficiencia operativa. A continuación se presentan las gráficas de los parámetros expuestos anteriormente (Figuras 6-11):

Figura 6. Gráfica histórica de temperatura máxima

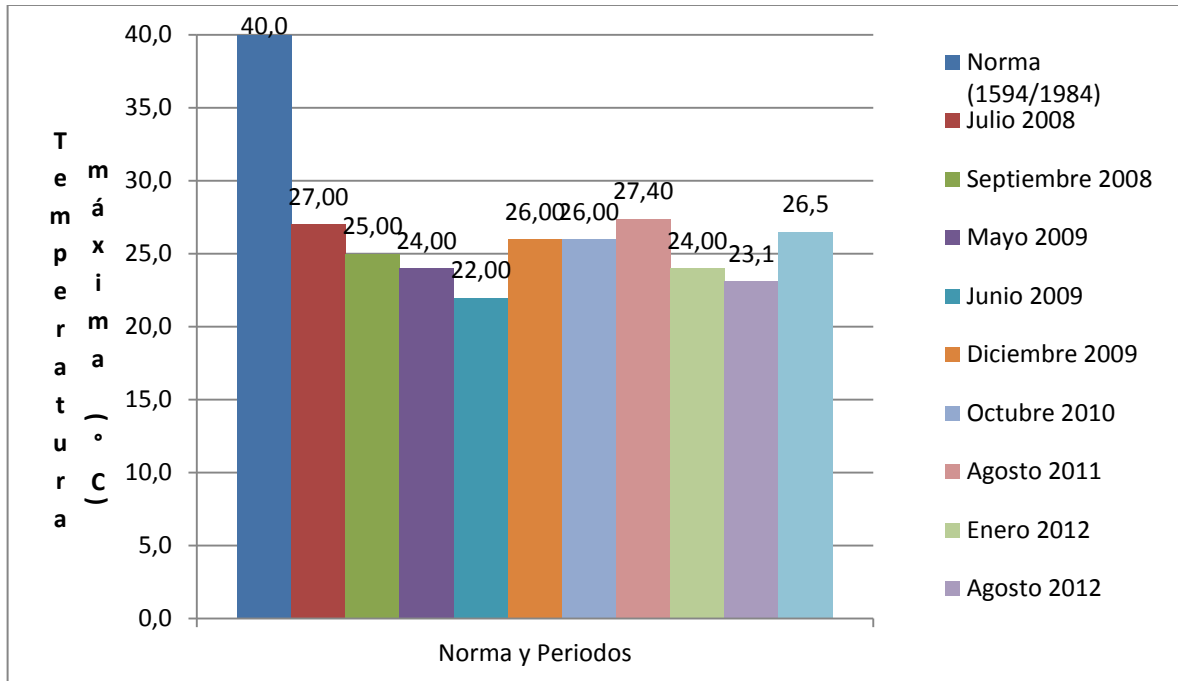


Figura 7. Gráfica histórica de porcentaje de remoción de grasas y aceites

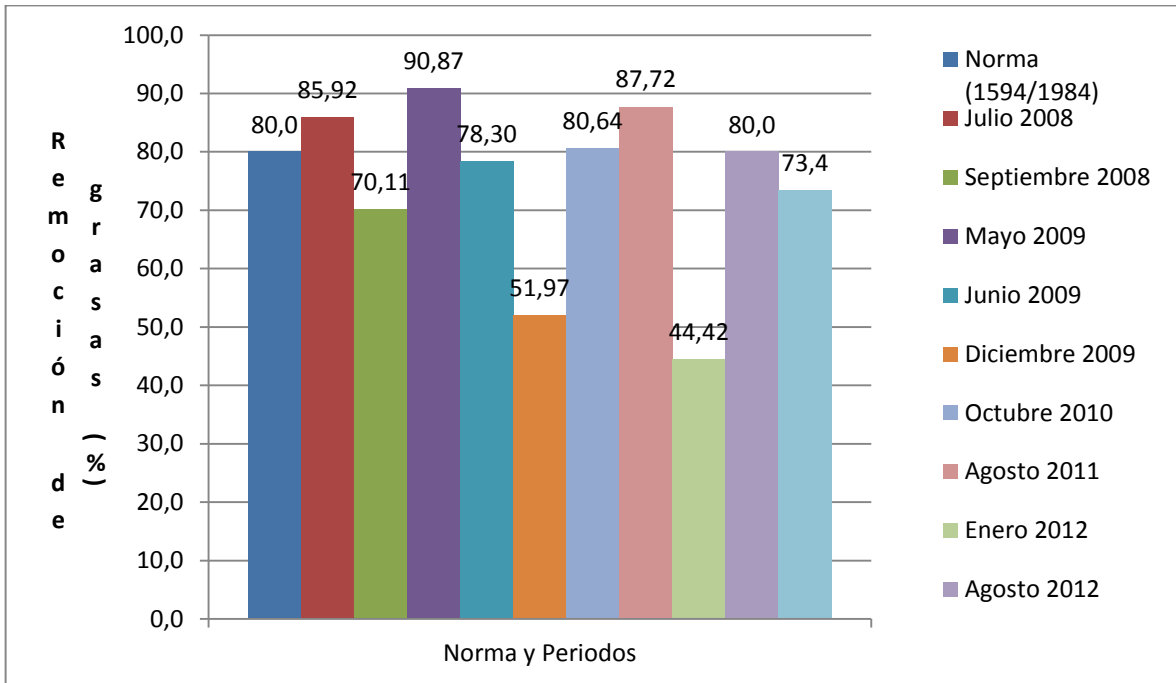


Figura 8. Gráfica histórica de porcentaje de remoción de sólidos

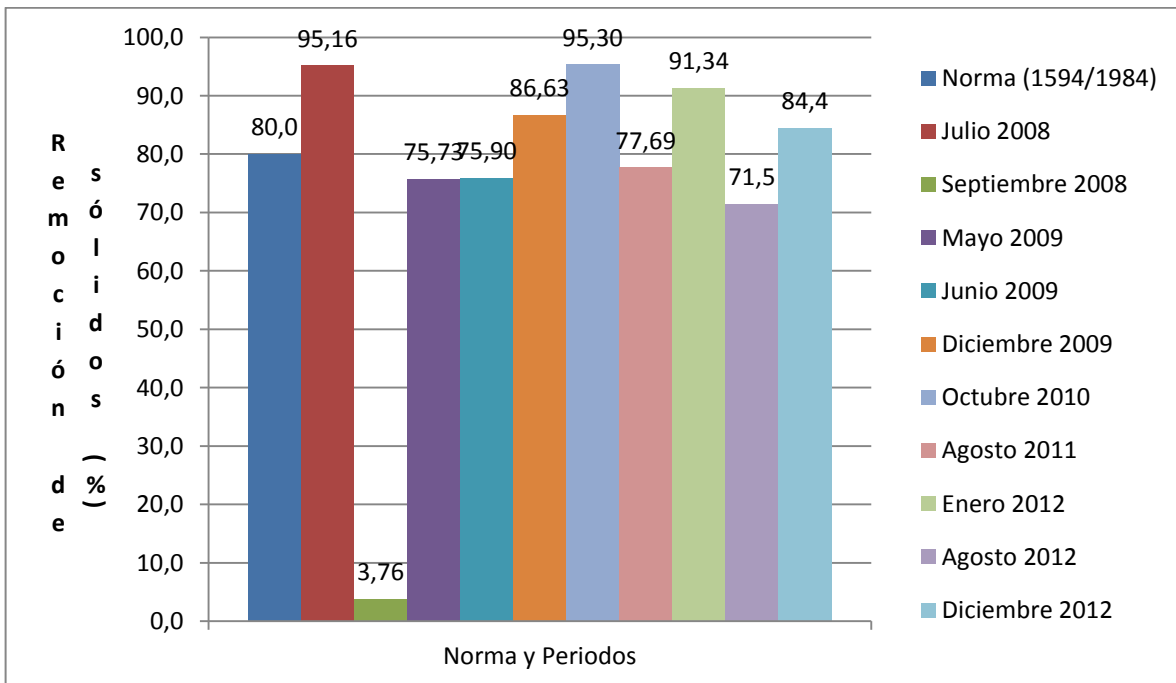


Figura 9. Gráfica histórica de porcentaje de remoción de DBO₅

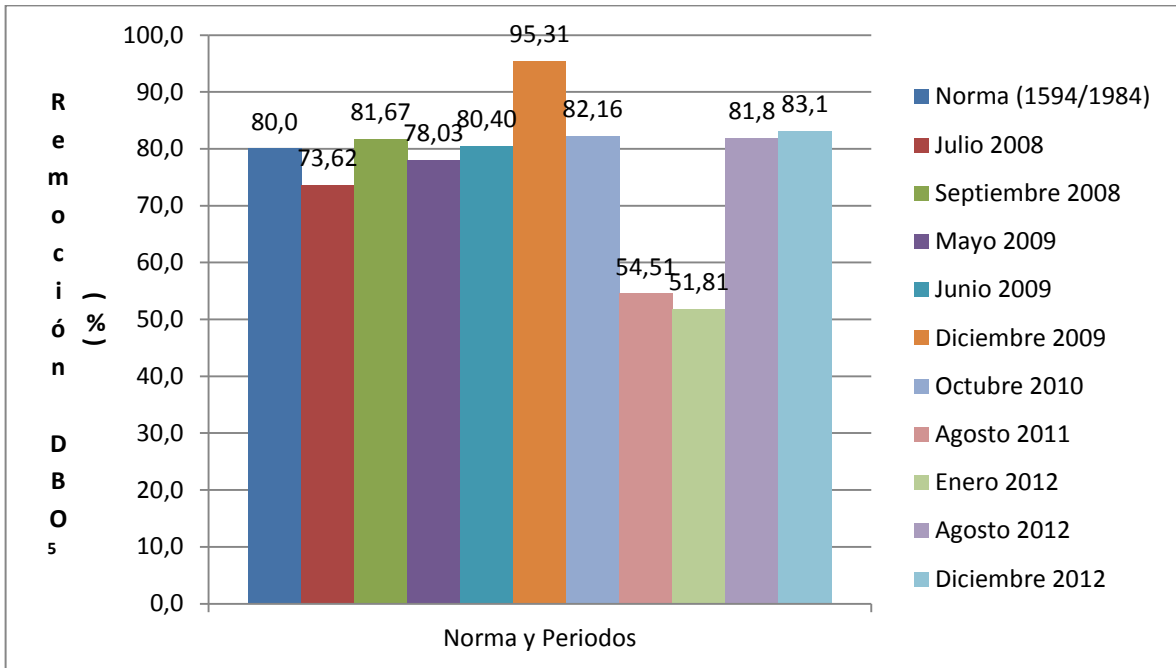


Figura 10. Gráfica histórica de porcentaje de remoción de DQO

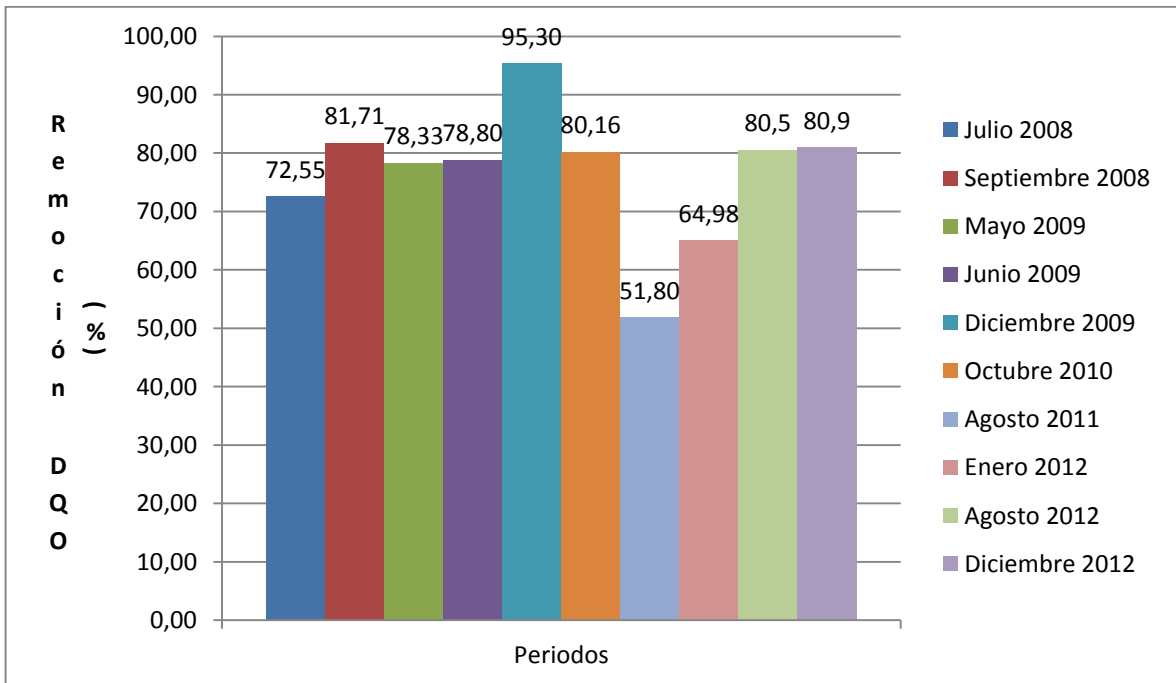
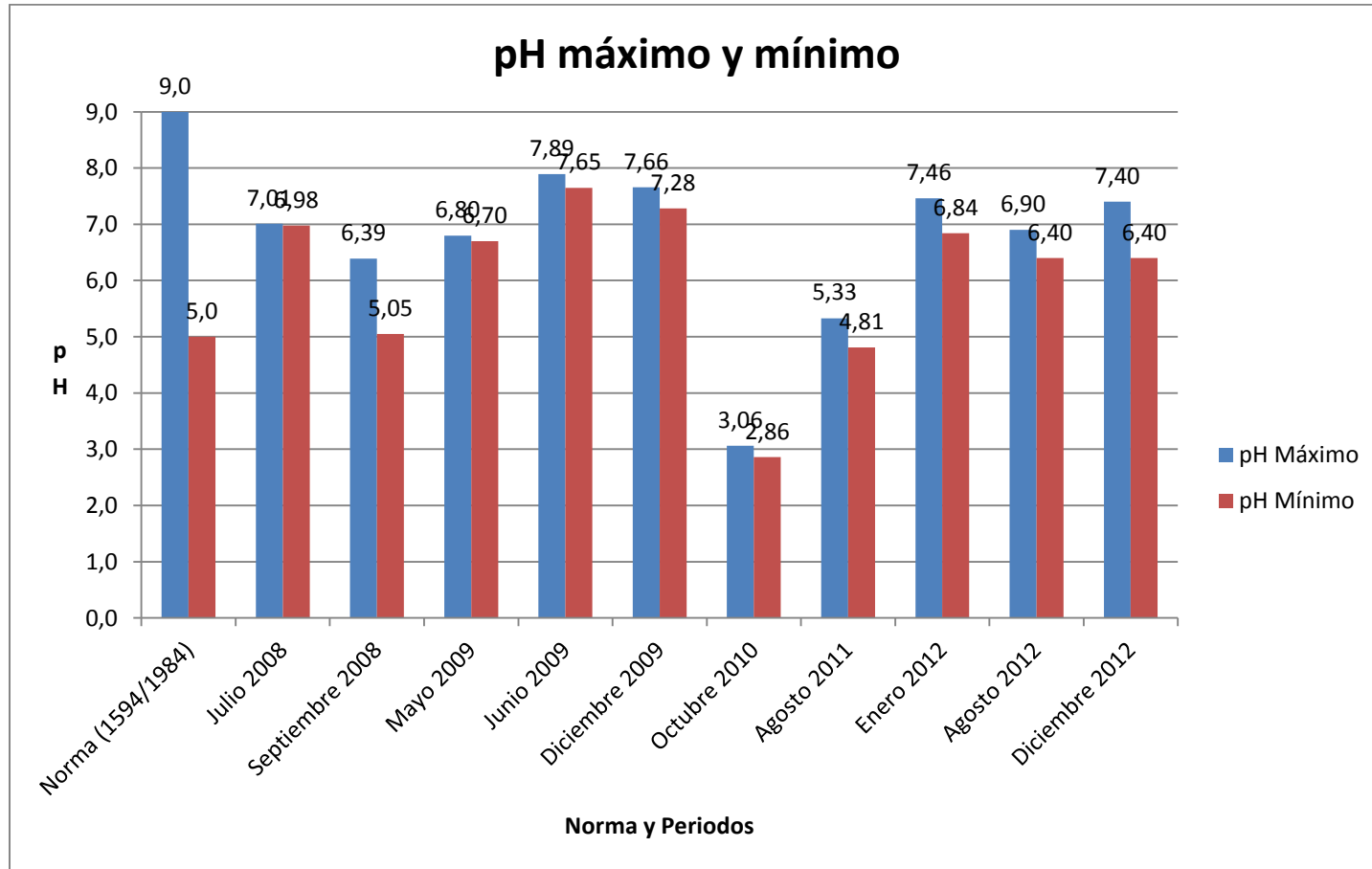


Figura 11. Gráfica histórica de pH máximo y pH mínimo



6.2 FASE DE CAMPO

Siguiendo la metodología propuesta por Rodríguez, se realizó una visita de campo el día miércoles 3 de Abril de 2013, al aeropuerto internacional El Edén de Armenia para realizar la caracterización de la PTARD. Adicionalmente se realizó un recorrido por todo el aeropuerto, inventariando los puntos fijos de vertimientos que se conducen hacia la PTARD. Posteriormente mediante contratación del Laboratorio Microambiental Ingeniería, por parte de la Aeronáutica Civil, se ejecutó un muestreo en campo el día viernes 5 de Julio 2013 y se realizaron los respectivos análisis fisicoquímicos.

6.2.1 Tipo de planta de tratamiento. De acuerdo a lo expuesto en el marco contextual, la PTARD del aeropuerto es de tipo compacto con sistema de lodos activados en aireación extendida. Consta de un pozo de bombeo o tanque primario, cuyas dimensiones son 4 m de ancho, 4 m de largo y 5 m de alto. Las bombas sumergibles del tanque llevan el agua hasta la PTARD la cual, después de 20 horas de clarificación y tratamiento, conduce el líquido al tanque de contacto de cloro y al filtro (hechos en fibra de vidrio) para finalmente verter el agua tratada. El cuadro 8 presenta la ficha técnica de la PTARD:

Cuadro 8. Ficha técnica de la PTARD del Aeropuerto El Edén de Armenia

Parámetro	Tanque 1	Tanque 2	Tanque 3
Identificación	Planta compacta EDOSPINA de aguas residuales	Filtro de arena de gravedad	Tanque de contacto de cloro
Modelo tipo	12CV20	Industrial	Fibra de vidrio
Numero	31.395	34.539	98.695
Año	2.000	2.000	2.000
Código diseño	API 620/650	API 620/650	ASTM D3299 ICONTEC 2889
Prueba	Estanqueidad	Hidrostática	Estanqueidad
Diámetro (m)	3,66	0,91	1,22
Longitud (m)	10,97	1,83	2,3
Peso vacío (kg)	7.500	4,2	500
Peso operación (kg)	83.000	1.500	3.200
Tasa corrosión (mm)	1,59	1,59	No aplica
Flujo servicio (GPM)	14	14	14
Capacidad almacenamiento (m ³)	75,7	1,2	2,6

Fuente: Ficha técnica de la PTARD del Aeropuerto El Edén de Armenia

- Prueba de estanqueidad (EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI EICE ESP, 2011)⁸⁴: La estanqueidad en un producto es la propiedad de una red, tramo de tubería o tanque de no permitir el flujo de agua desde y hacia el exterior, por medio de las paredes de las tuberías, uniones y accesorios. Son objeto de dicha prueba todos los elementos y accesorios que integran las instalaciones, y deben efectuarse antes de proceder al empotramiento de las tuberías o tanques.

- Prueba hidrostática (EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI EICE ESP, 2012)⁸⁵: Procedimiento mediante el cual un tramo de tubería de acueducto y sus accesorios (en cualquier material) es sometido a una presión determinada (presión de prueba), con el fin de garantizar que no haya fugas y/o escapes más allá de los rangos de aceptación en las tuberías, una vez ha sido instalada y antes de ser conectada a la red existente en operación.

- Tasa de corrosión (FONTANA, 1987)⁸⁶: Se define la corrosión como la destrucción o deterioro de un material por la reacción con el entorno. La tolerancia a la corrosión depende principalmente de factores electroquímicos, fisicoquímicos, metalúrgicos y termodinámicos. La tasa define la velocidad de corrosión del tanque que contiene el fluido, multiplicado por los años de vida útil del tanque. En este caso, la velocidad de corrosión tanto de la planta como del filtro de arena es de 1,59 mm por año.

6.2.2 Inspección preliminar en campo. La inspección de la PTARD refleja a primera vista los siguientes problemas:

- La PTARD se encuentra ubicada muy cerca de la cafetería del aeropuerto.

- El pozo receptor, el cual recibe las aguas residuales frescas, se encuentra a la entrada a la PTARD. Cuando se generan olores ofensivos, estos pueden llegar hasta la cafetería.

⁸⁴ LAZZERO TECNOLOGÍAS. Sin fecha. Teoría sobre pruebas de estanqueidad. [En línea] Sin fecha. [Citado el: 9 de Abril de 2013.] http://www.lazzero.com/index.php?option=com_content&view=article&id=86&Itemid=103&lang=es.

⁸⁵ BUENASTAREAS.COM. 2011. Prueba hidrostática. [En línea] Febrero de 2011. [Citado el: 9 de Abril de 2013.] <http://www.buenastareas.com/%2Fensayos%2FPrueba-Hidrostatica%2F1517799.html>.

⁸⁶ INGENIERÍA QUÍMICA. 2009. Espesor por corrosión. [En línea] 2009. [Citado el: 9 de Abril de 2013.] <http://www.ingenieriaquimica.org/foros/espesor-por-corrosion>.

- Se evidencio presencia de animales en el pozo receptor (sapos), los cuales pueden ser succionados por las bombas y taponarlas.
- De acuerdo al técnico operario, el señor Carlos Gil, la PTARD no recibe mantenimiento alguno; tan solo se recogen los lodos y se disponen en los lechos de secado.
- No se lleva registro de la cantidad de lodos que se producen durante el tratamiento.
- La PTARD cuenta con 10 aireadores de los cuales solo funcionan 3, lo cual implicaría una notable disminución en la eficiencia operativa.
- En la base de la PTARD se encuentra ubicado un hormiguero que puede comprometer la integridad estructural de la misma (Anexo C).
- La PTARD no cuenta con la señalización respectiva. En la figura 12 se aprecia que el letrero no especifica que la planta sea de tratamiento de aguas residuales.
- No se evidencia presencia de equipos de seguridad para el operario como extintores, guantes, gafas industriales, entre otros.
- A pesar de lo anterior, los demás tanques como el desarenador y el clorificador se encuentran en estado aceptable.

Figura 12. Fotografía de la PTARD del aeropuerto El Edén de Armenia



6.2.3 Inventario de puntos fijos de vertimiento. Como se mencionó al inicio de este capítulo, se hizo un recorrido por todo el aeropuerto inventariando los puntos en donde existe vertimiento de aguas residuales provenientes de baños. El inventario incluye sanitarios, lavamanos, orinales y duchas (Cuadro 9). Durante el recorrido, se evidenciaron problemas con las cañerías del aeropuerto (Figura 13).

Cuadro 9. Inventario de puntos fijos de vertimiento del aeropuerto El Edén*

Área	Descripción	Sanitario	Lavamanos	Orinal	Ducha
Terminal	Hombres	4	3	3	
	Damas	4	3		
	Hombres (Discapacitados)	1	1	1	
	Damas (Discapacitadas)	1	1		
Oficinas de aeronáutica civil	Hombres	2	2	2	
	Damas	2	3		
	Administrativo	1	1		
Abordaje nacional	Hombres	2	2	2	
	Damas	2	3		
Abordaje internacional	Hombres	3	2	3	
	Damas	4	3		
Llegadas nacionales e internacionales	Hombres	1	3	3	
	Damas	1	1		
Soporte técnico y subestación	Mixto	1	1		
Torre control	Mixto	1	1		1
Sanidad aeroportuaria	Mixto	1	1		1
Bomberos (Piso 1)	Hombres	2	2	1	1
	Damas	2	2		1
	Mixto	1	1		
	Administrativo	1	1		1
Bomberos (Piso 2)	Hombres	1	1	1	
	Damas	1	1		
	Guardia	1	1		
TOTAL		40	40	16	5

* Los baños de carácter administrativo, están restringidos al uso de una sola persona.

Figura 13. Fotografía de cañería obstruida en el área de abordajes



6.2.4 Muestreo en campo y análisis de resultados. Se realizó el muestreo en campo y el análisis fisicoquímico con el laboratorio Microambiental Ingeniería por contratación de parte de la Aeronáutica Civil, el día 5 de Julio de 2013. A continuación se exponen los resultados de laboratorio obtenidos de la ejecución del muestreo en campo (Cuadro 10) y la comparación con el decreto 1594/1984 (Cuadro 11).

Cuadro 10. Análisis fisicoquímico y eficiencia de remoción porcentual

Parámetro	Entrada			Salida			Eficiencia
	A	B	C	D	E	F	
	Caudal	Valor	Carga	Caudal	Valor	Carga	
DBO5 (mg/L)	0,490	148,90	6,30	0,448	51,10	2,10	68,73
DQO (mg/L)		330,00	13,97		122,10	5,01	64,13
SST (mg/L)		120,00	5,08		56,00	2,30	54,76
Grasas (mg/L)		52,90	2,24		12,70	0,52	76,73

Fuente: Microambiental Ingeniería

A= Caudal de entrada (L/s)

B= Parámetro de entrada

C= Carga de entrada (kg/día)= A*B*0,0864 (De acuerdo a lo establecido por el artículo 75 del decreto 1594 de 1984)

D= Caudal de salida (L/s)

E= Parámetro de salida

F= Carga de salida (kg/día)= D*E*0,0864 (De acuerdo a lo establecido por el artículo 75 del decreto 1594 de 1984)

Eficiencia (% Remoción en carga)= ((C-F)/C)*100

Los métodos usados en laboratorio fueron:

- Grasas: Extracción con Soxhlet
- Sólidos suspendidos totales: Gravimétrico
- Demanda Biológica de Oxígeno (DBO 5 Días): Incubación a 5 días
- Demanda Química de Oxígeno (DQO): Reflujo cerrado colorimétrico

Los métodos usados *in situ* fueron:

- Caudal: método volumétrico
- pH: pH-metro digital
- Temperatura: termómetro digital

Cuadro 11. Comparación de análisis fisicoquímico con el decreto 1594/84

Parámetro	Unidad	Norma (1594/1984)	Julio 2013	Cumplimiento
Temperatura máxima	°C	Máximo 40,0	26,1	SI
pH máximo	Unidades	Máximo 9,0	7,79	SI
pH mínimo	Unidades	Mínimo 5,0	6,41	SI
Grasas	% Remoción	Mayor a 80,0	76,73	NO
Sólidos suspendidos totales	% Remoción	Mayor a 80,0	54,76	NO
Demanda Biológica Oxígeno	% Remoción	Mayor a 80,0	68,73	NO
Demanda Química Oxígeno	% Remoción	-	64,13	-

Fuente: Microambiental Ingeniería

De acuerdo a los resultados expuestos anteriormente, al evaluar el funcionamiento de la PTARD del aeropuerto El Edén de Armenia, se verifica que la planta si presenta deficiencia operativa en los 4 parámetros solicitados principalmente por la autoridad ambiental encargada, por ser una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Lo anterior puede ser consecuencia directa del daño de los aireadores de la planta, como se mencionó anteriormente en la visita de reconocimiento, solo 3 de los 10 aireadores están operando. Adicionalmente, al comparar el caudal de este análisis con el histórico (Anexo B), se evidencia que este sigue en aumento, como consecuencia del incremento del número de pasajeros y acompañantes. De igual forma se evidencio que no se cumple con el porcentaje mínimo de remoción (80%) exigido por el decreto 1594/1984. A continuación se presentan las gráficas de los parámetros expuestos anteriormente, a excepción de la demanda química de oxígeno, porque el decreto no establece un valor mínimo de remoción y por tanto no es comparable con la norma (Figuras 14-19):

Figura 14. Gráfica de temperatura máxima

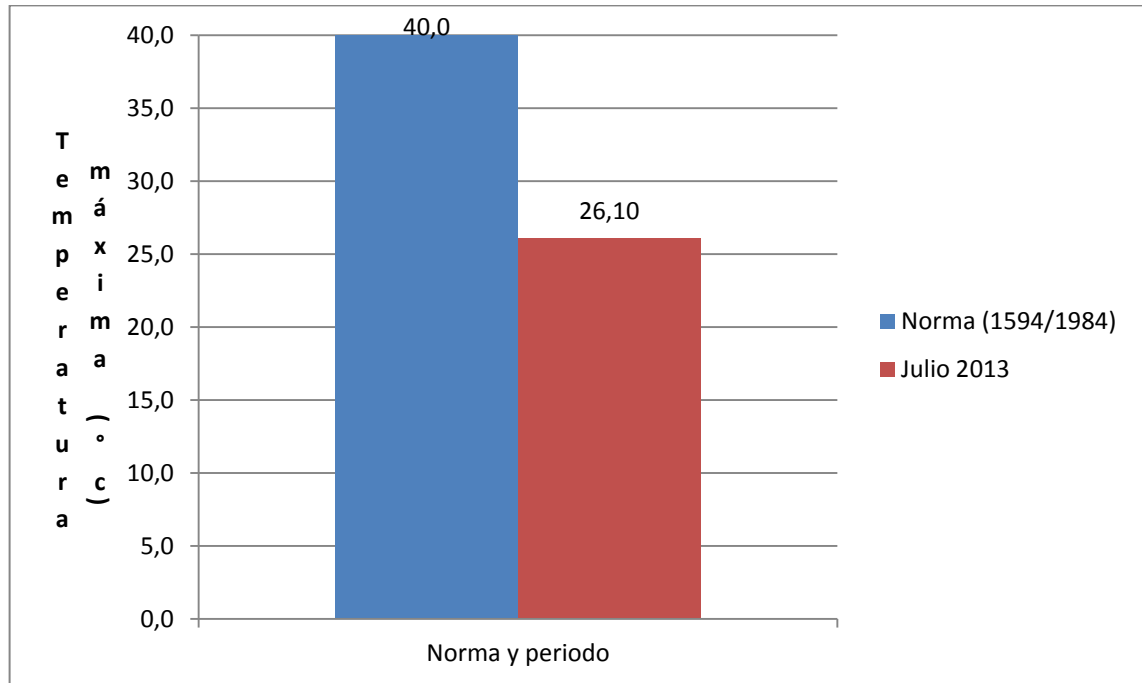


Figura 15. Gráfica de pH máximo

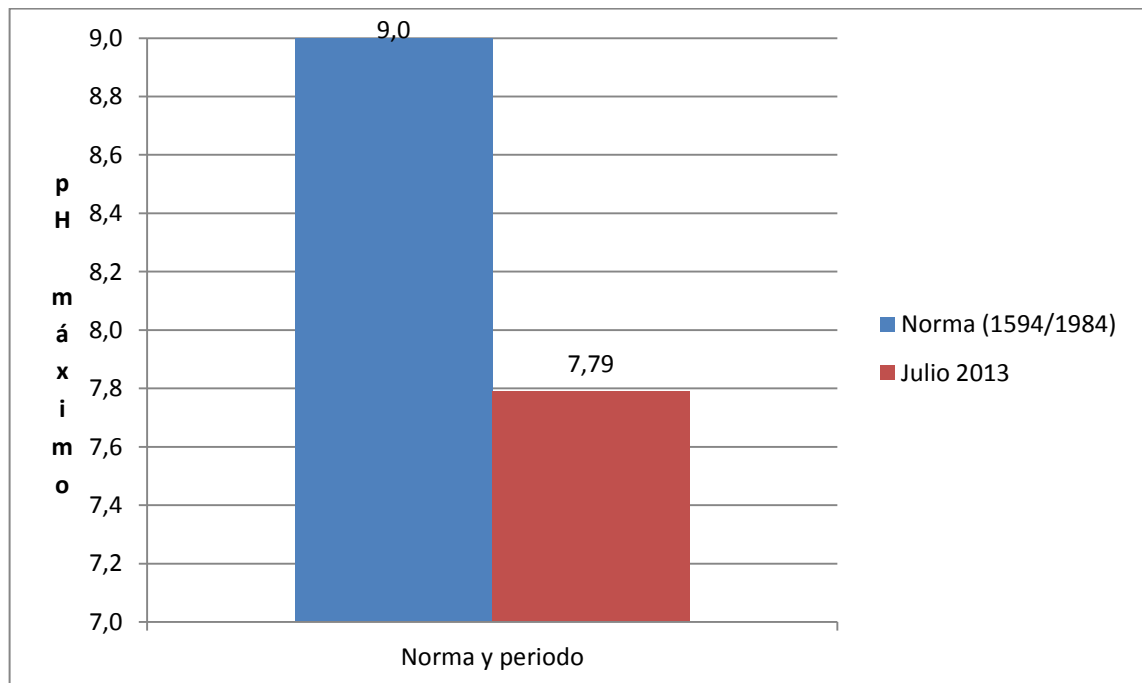


Figura 16. Gráfica de pH mínimo

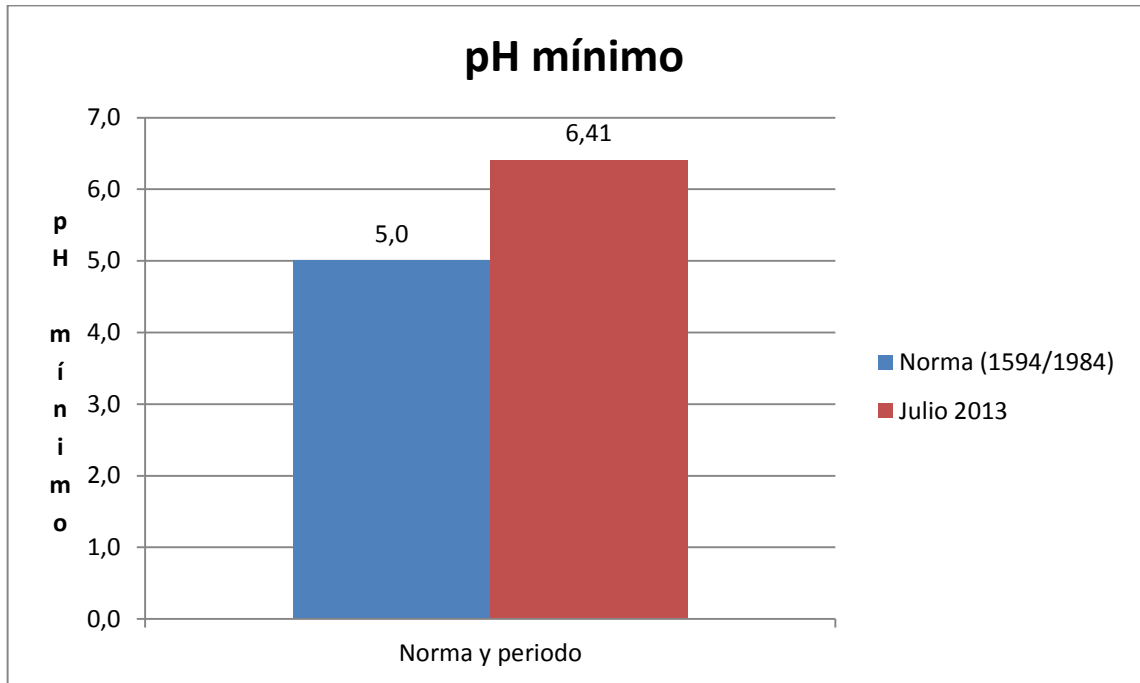


Figura 17. Gráfica de remoción de grasas y aceites

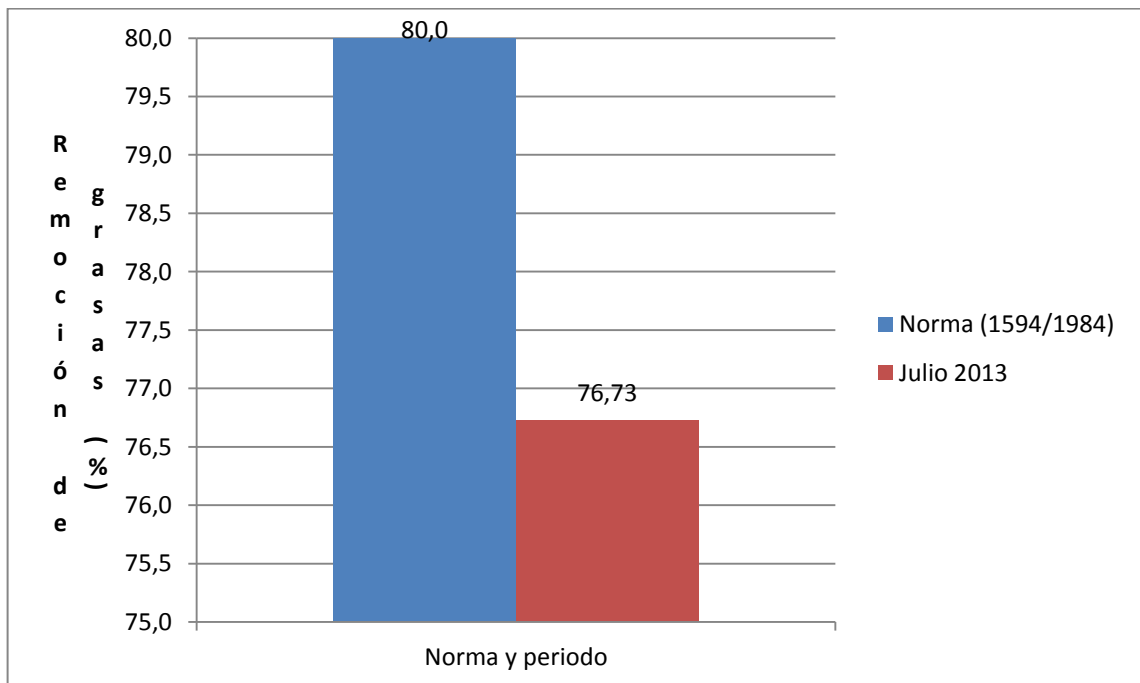


Figura 18. Gráfica de remoción de sólidos suspendidos totales

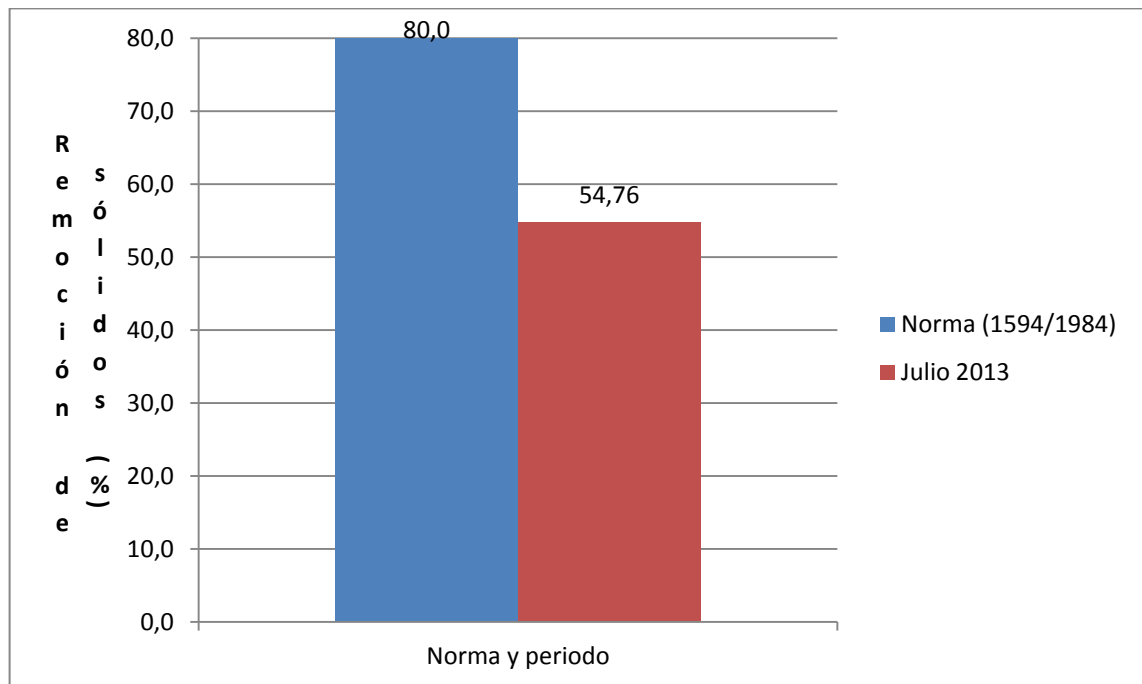
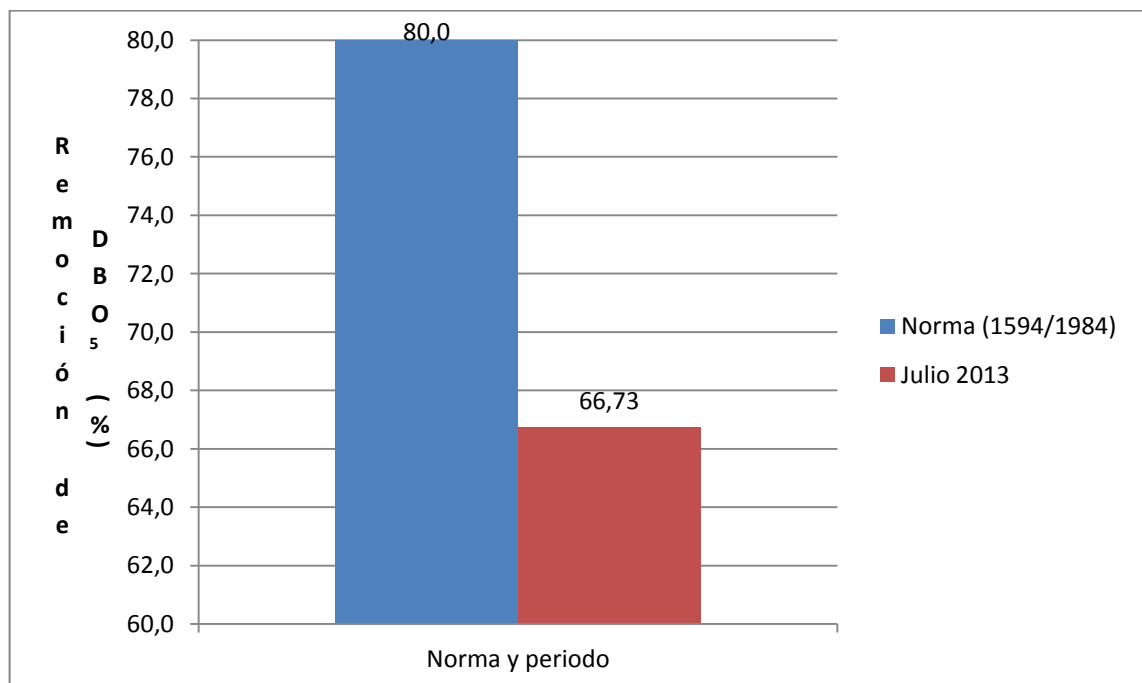


Figura 19. Gráfica de remoción de DBO5



6.3 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Continuando con la metodología de Fernández (1997), aplicando la determinación del problema y oportunidades para la aeronáutica civil, se proponen 2 alternativas de solución para el cumplimiento de los parámetros de vertimientos debido a la ineficiencia operativa de la planta:

6.3.1 Cambio total de la PTARD. Se realizó un estudio de mercado para un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, como posible alternativa de solución a los problemas operativos de la PTARD. Adicionalmente, se debe tener en cuenta que el no cumplimiento de la normatividad ambiental, puede ser sancionado con multas diarias hasta por cinco mil (5.000) salarios mínimos mensuales legales vigentes, de acuerdo a lo establecido por el artículo 40 de la ley 1333/2009 (COLOMBIA. ALCALDÍA DE BOGOTÁ, 2009)⁸⁷. Se hizo la cotización con 3 empresas, 2 de las cuales respondieron y se seleccionó la propuesta de la empresa Techos Verdes S.A.S, recibida el día miércoles 15 de Mayo de 2013 como la mejor opción para las características de vertimiento del aeropuerto El Edén.

La propuesta a continuación está basada en los siguientes supuestos:

- De acuerdo al cuadro de registro histórico de parámetros físico químicos (Anexo B), la PTARD recibe aproximadamente 0,5 L/s de vertimiento. Se hace el supuesto de crecimiento de la población de usuarios y acompañantes al doble de la actual proyectándose a 1 L/s, lo que se traduce en aproximadamente 90 m³/día.

- Se maneja un promedio de DBO5 de 330 ppm.

Empresa. La empresa Techos Verdes S.A.S ofrece un sistema de tratamiento marca Ecolo-Systems. Cuenta con más de 20 años de experiencia y 618 plantas de tratamiento comercializadas, teniendo a su cargo la operación y mantenimiento de más de 250 plantas lo que les da una amplia experiencia en el diseño, construcción, instalación y operación de sistemas de tratamiento de agua sanitaria

⁸⁷ COLOMBIA. ALCALDÍA DE BOGOTÁ. 2009. Ley 1333 de 2009. [En línea] 21 de Julio de 2009. [Citado el: 29 de Julio de 2013.] <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=36879>.

en centros comerciales y de servicios, hoteles, edificios de oficinas, industria y otro tipo de establecimientos.

Calidad del efluente. La calidad del agua saliente del sistema cumplirá con las características que marca el decreto 1594 de 1984 del ministerio de medio ambiente para vertimientos, usado como parámetro para que así pueda ser descargada en aguas y bienes nacionales. Las remociones promedio de los sistemas Ecolo-Systems se presentan a continuación (Cuadro 12):

Cuadro 12. Porcentaje de remoción promedio de sistema Ecolo-System

Parámetro	Eficiencia de remoción (Porcentaje)
Demanda Biológica de Oxígeno (5 Días)	98%
Demanda Química de Oxígeno	90%
Sólidos Suspendidos Totales	99%
Grasas y aceites	99%

Fuente: Techos Verdes S.A.S

Ventajas del sistema. El sistema Ecolo-System cumple con la norma para descarga de agua tratada antes mencionada, permitiendo que el agua tratada pueda ser desalojada de sus instalaciones de forma sencilla y económica.

- Equipo 100% modular que permite aprovechar al máximo el espacio disponible. Los sistemas pueden colocarse semi-enterrados, superficiales, subterráneos o sobre techos y pueden ser ampliados según las necesidades de crecimiento del usuario, sin necesidad de suspender el proceso de tratamiento (Figura 20).
- De recibir una operación y mantenimiento adecuados, el sistema no genera lodos biológicos residuales, por lo que no es necesario pagar por la extracción, estabilización y disposición de estos desechos ni es necesario contar con espesadores, lechos de secado, filtros prensa u otras unidades para la disposición de lodos.
- Bajo costo de operación y mantenimiento comparado con equipos convencionales de tratamiento de agua.

Figura 20. Fotografía de sistema Ecolo-System semi-enterrado



Fuente: Techos Verdes S.A.S

Propuesta técnico económica. Se sugiere el uso del sistema Ecolo-System ES-08 DE

➤ Consideraciones de diseño.

- Por ser un proceso biológico, la descarga de desinfectantes, biocidas, sustancias químicas peligrosas y/o tóxicas pueden afectar a la población bacteriana y por tanto al funcionamiento del sistema.
- Igualmente, para asegurar una concentración suficiente de materia orgánica, se sugiere que el drenaje sanitario que alimentará los sistemas a suministrar deberá ser independiente del drenaje pluvial.
- El influente o agua negra no debe presentar concentraciones excesivas de materia orgánica y/o grasas y aceites.

- Características del sistema propuesto. En el cuadro 13 se exponen los principales componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales recomendado y en la figura 21 se muestra el plano general del sistema de tratamiento:

Cuadro 13. Componentes del sistema aguas Ecolo-System ES-08 DE

Componente	Cantidad
Digestor primario	1 (un) tanque
Tanque de aireación	2 (dos) tanques
Tanque de clarificación	1 (un) tanque
Digestor aeróbico de lodos	1 (un) tanque
Sopladores para sistema neumático	2 (dos) unidades
Área aproximada requerida	82,35m ²

Fuente: Techos Verdes S.A.S

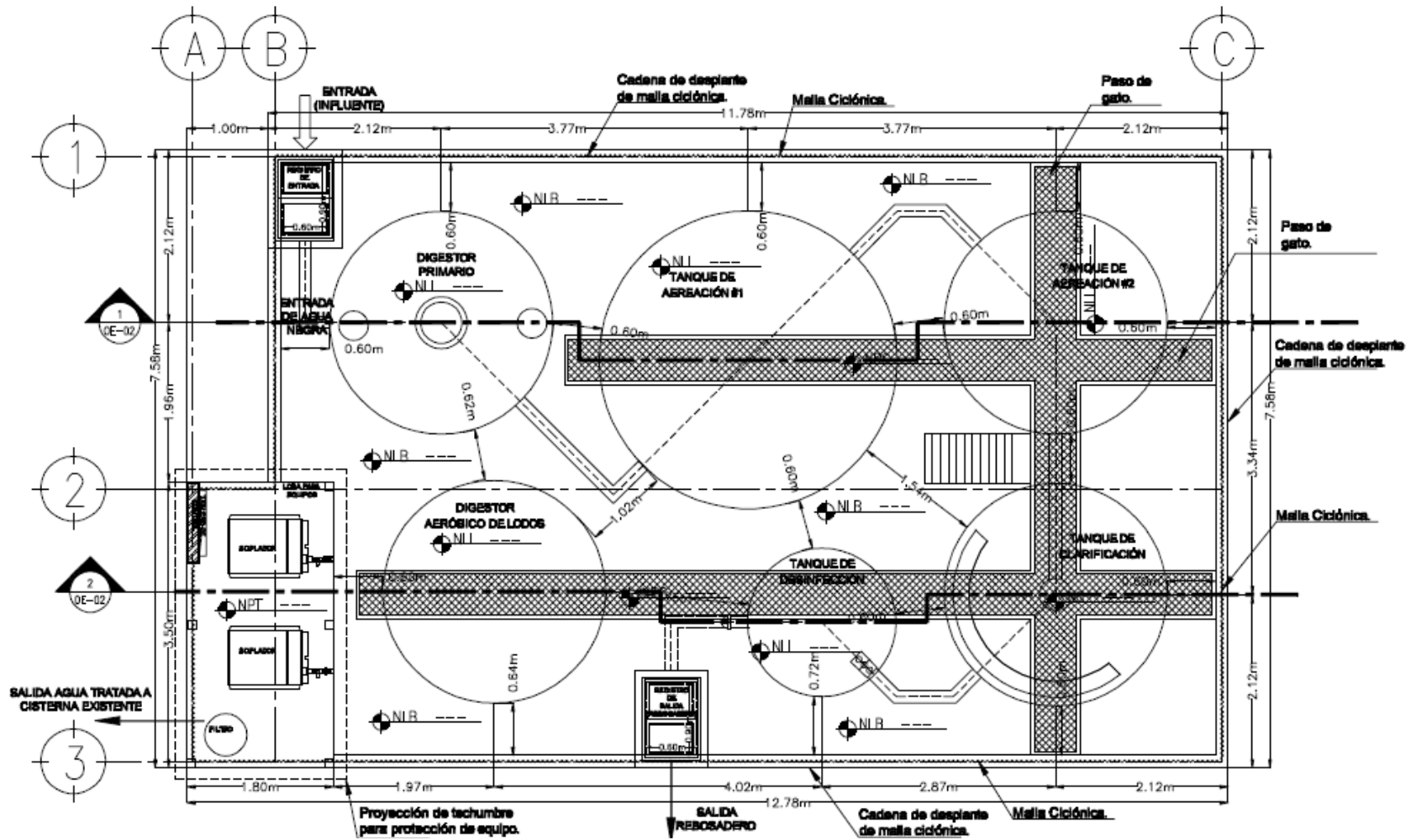
- Consumo eléctrico del sistema: El sistema requiere una alimentación eléctrica de 440 V, 3f, 60 Hz; para los 2 sistemas de sopladores para tanques de aireación. Dichos sopladores tienen una potencia de 3,73 Kw (5 HP). Adicionalmente, se requiere que el suministro al sistema de tratamiento esté conectado al circuito de emergencia para evitar paros durante fallas en el suministro.
- Propuesta económica: A continuación (Cuadro 14) se muestran los montos globales de inversión correspondiente (No incluyen IVA)

Cuadro 14. Costos e inversión para instalación de sistema de tratamiento

Descripción	Precio
Suministro de planta de tratamiento modelo ES-08-DE (Incluye proyecto guía)	\$ 115.503 (USD)
Instalación de sistema de tratamiento	\$ 35'058.305 (COP)
Trabajos de obra civil (opcional)	\$ 55'098.447 (COP)

Fuente: Techos Verdes S.A.S

Figura 21. Plano general del sistema de tratamiento de aguas



Fuente: Techos Verdes S.A.S

El concepto de obra civil es un valor estimado en condiciones ideales de terreno para una planta superficial. Cualquier variación a un terreno ideal como pavimento, placas de concreto, terrenos inestables, cenagosos, accidentados o fluctuaciones en las curvas de nivel conllevan un incremento del valor previsto.

Limitantes de la propuesta.

➤ Limitantes generales:

- El precio ofrecido ha sido calculado de acuerdo a los cargos e impuestos para importación vigentes a la fecha de cotización (15 Mayo 2013). De efectuarse cambios a dichos cargos e impuestos se modificará de forma acorde al precio de venta.
- En caso de ser aceptada esta propuesta, las facturas generadas por este proceso deberán ser canceladas a la tasa de cambio (Dólares a Pesos) del día de generación de la factura, siempre y cuando, esta tasa no sea inferior a la tasa reflejada en cada una de las facturas parciales.
- Techos Verdes S.A.S y Ecolo-Systems Colombia ofrecen el servicio de operación completo de cada una de sus plantas, si el cliente se interesa en esto se debe informar y será motivo de una nueva cotización.

➤ Suministros, servicios y conceptos incluidos en la propuesta:

- Pruebas y arranque hidráulico del sistema.
- Proyecto guía de obra civil en el que se presentan las especificaciones necesarias para que el cliente o terceros puedan realizar el proyecto ejecutivo de obra civil, en caso de no contratarse a Ecolo-Systems.
- Manual de operación y mantenimiento.
- Capacitación del operador por nuestro personal.
- Instalación del sistema.

- Catálogo de conceptos de obra civil requerida para llevar a cabo la instalación del sistema.
- Acompañamiento ante las autoridades ambientales y la DIAN para lograr exención de impuestos y/o reducción de la inversión por parte del cliente.
- Suministros, servicios y conceptos no incluidos en la propuesta: A pesar de que no se incluyen en la propuesta, el cliente puede solicitar asesoría a Techos Verdes S.A.S en los siguientes ítems:
 - Línea o tubería para agua tratada más allá del pie de planta, así como drenaje para evacuación de excedentes y descargas eventuales.
 - Cisternas o Tanques receptores de agua tratada, así como sus equipos de bombeo.
 - Red de recolección y drenaje de las aguas residuales hasta las respectivas plantas de tratamiento.
 - Agua para el llenado de los tanques y/o servicio de camiones tipo Vactor en caso que se requieran.
 - Análisis y/o los permisos que sean requeridos por cualquier autoridad para instalar y operar el sistema.
 - Cualquier otro suministro no especificado claramente en la descripción.

Forma y programa de pago. Los pagos se deberán hacer vía transferencia bancaria y/o cheque de gerencia con base en la carta de instrucciones enviada al cliente una vez recibido por escrito el pedido correspondiente (Cuadro 15).

Cuadro 15. Concepto y porcentajes de pago del proyecto

Concepto de pago	Porcentaje del total del proyecto
Anticipo	50%
Entrega de equipos	30%
Instalación de equipos	10%
Puesta en marcha del sistema	10%

Fuente: Techos Verdes S.A.S

Para el concepto de puesta en marcha se tiene un periodo de espera hasta de 2 (dos) meses en aras de completar el caudal de diseño, finalizado este tiempo el cliente deberá cancelar este concepto independiente a la fase en que se encuentre el proyecto.

Tiempo de entrega. El tiempo de importación y entrega de los equipos es de 10 a 12 semanas en la sede del proyecto, (lugar previamente acordado con el cliente) a partir de haber confirmado el anticipo correspondiente. El tiempo de construcción e instalación de la planta se describe a continuación (Cuadro 16):

Cuadro 16. Tiempos de ejecución del proyecto

Concepto de instalación	Tiempo
Obra civil (Paralelo a la importación)	9 semanas
Instalación estructural e hidráulica	6 semanas
Pintura (Depende del clima)	2 semanas
Tiempo total	20 semanas (5 meses)

Fuente: Techos Verdes S.A.S

Garantía. Techos Verdes S.A.S y ECOLO-SYSTEMS Colombia garantizan contra defectos de materiales y/o fabricación y vicios ocultos en todo el equipo suministrado y recubrimientos durante 1 año a partir de la entrega del equipo. Los tanques metálicos que componen el Sistema ECOLO-SYSTEMS son suministrados con triple protección compuesta por galvanizado por inmersión en caliente, recubrimiento de pintura epóxica contra-corrosión y conexión a un Ánodo de Sacrificio. Por ello los tanques metálicos gozan de una garantía por 10 años a partir de su entrega siempre y cuando se lleve el mantenimiento adecuado.

Vigencia de la oferta. La presente propuesta, de acuerdo a las condiciones y notas indicadas en la misma, es vigente por una duración de hasta 30 días a partir de la fecha de esta propuesta (15 de Mayo de 2013).

6.3.2 Cambio de instalaciones sanitarias. Se realizó un estudio de mercado para el cambio de las instalaciones hidráulicas y equipos sanitarios por sistemas ahorradores de agua, como posible alternativa de solución a los problemas operativos de la PTARD de manera que se disminuya el caudal de aguas residuales, se aumente la concentración de elementos fisicoquímicos y se prolongue la vida útil de la PTARD. La siguiente propuesta puede combinarse con el posible cambio de la PTARD, haciendo que la vida útil de la posible futura PTARD se prolongue. Se hizo la cotización con 3 empresas, 2 de las cuales respondieron y se seleccionó la propuesta de la empresa Corona S.A, recibida el día jueves 25 de Abril de 2013 como la mejor opción para las características de las instalaciones del aeropuerto El Edén.

Datos del proyecto. Los siguientes cuadros (Cuadros 17 y 18) exponen los datos de consumo de agua y pagos por vertimiento. La cantidad por sexo de pasajeros fue calculada, asumiendo que del total de pasajeros, 40% equivale a mujeres y 60% son hombres. Adicionalmente, siguiendo el planteamiento de Romero (2002), el 12% de los pasajeros usan el baño para necesidad sólida y el 88% restante lo usa para necesidad líquida.

Cuadro 17. Costo de alcantarillado y agua potable del aeropuerto

Dato	Cantidad	Unidad
Presión agua potable	60	Libras/Pulgada Cuadrada
Costo metro cubico agua potable	781,02	Pesos Colombianos
Costo litro agua potable	0,78	Pesos Colombianos
Costo metro cubico alcantarillado	541,98	Pesos Colombianos
Costo litro alcantarillado	0,54	Pesos Colombianos

Fuente: Aeronáutica Civil

Cuadro 18. Cantidad de pasajeros por sexo, movilizados en el año 2012

Tipo de necesidad	Cantidad Hombres	Cantidad Mujeres	GRAN TOTAL AÑO 2012
Necesidad solida	23.792,0	15.860,0	
Necesidad liquida	174.464,0	116.310,0	
TOTAL	198.256,0	132.170,0	

Fuente: Aeronáutica Civil

Características de productos. A continuación se encuentran las características técnicas de los productos cotizados (Cuadro 19). Se seleccionó el sanitario de doble descarga para las necesidades de las mujeres y para el personal administrativo, ya que al estar restringido a una sola persona y debido a restricciones de instalaciones, no es posible instalar orinales ahorradores. Se cotizo orinal para la necesidad liquida de los hombres y sanitario ahorrador para la necesidad solida de los hombres. No se realizó cotización para duchas, ya que al ser solo 4 y de uso esporádico, no aportan un vertimiento significativo.

Cuadro 19. Características técnicas de elementos ahorradores de agua

Producto	Imagen	Características
Lavamanos tipo push		<ul style="list-style-type: none"> - Cumple con los requerimientos y especificaciones exigidos por la norma NTC 1644-2005 - Válvula automática tipo push. - Ideal para ambientes públicos y de gran frecuencia de uso. - Producto que dificulta las acciones vandálicas. - Cuerpo metálico con acabados en cromo. - Higiénica y de fácil mantenimiento. - Con sistema que permite regular el consumo de acuerdo a la necesidad y condiciones de instalación. - Producto fabricado, en su mayoría, con materiales reciclables. - Rango de funcionamiento requerido de 20 a 80 PSI. - Consumo de 8,3 L/min a 60 PSI.


Fuente: Corona S.A

Cuadro 19. (Continuación)

<p>Sanitario ahorrador de doble descarga</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Inteligente sistema de accionamiento de control de descarga variable para optimizar el ahorro de agua. - Consumo de agua de 6 y 4,5 L/descarga. - Incluye asiento exclusivo de cierre suave para mayor comodidad y amabilidad con el usuario. - Taza compacta redonda. - Altura tradicional de taza para uso familiar. - Válvula de suministro de agua anti sifón hidrostática. - Sifón 100% esmaltado de 5,1 cm que optimiza el funcionamiento y mantiene limpio el sanitario. - Instalación tradicional de 30,5 cm de la pared terminada. - Cumple con normas Icontec NTC 920
<p>Sanitario ahorrador de fluxómetro</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Alta eficiencia en consumo de agua de 4.85 L/descarga con alta capacidad de evacuación de sólidos. - Taza con entrada posterior anti vandálica, reduce el área de acumulación de mugre y su diseño se torna más limpio. - Cómoda taza alargada con altura tradicional de taza para uso familiar. - Sifón 100% esmaltado de 5,1 cm que optimiza el funcionamiento y mantiene limpio el sanitario. - Para instalación a 25,5 cm de la pared terminada. - Disponible en diferentes tipos de grifería que garantizan el ahorro de agua

Fuente: Corona S.A

Cuadro 19. (Continuación)

<p>Orinal sin consumo de agua</p>		<ul style="list-style-type: none">- Orinal libre de agua, no necesita suministro de agua para operar.- Hecho en porcelana sanitaria para colgar a pared.- Tecnología seca que permite el paso de la orina a través de un cartucho que contiene en su interior una trampa química biodegradable que no contamina y no permite la devolución de olores.- Diseño compacto con curvaturas orgánicas que evitan el empozamiento de la orina, reducen el salpique y facilitan el proceso de limpieza.- Orinal de una sola pieza, de tamaño mediano que permite la instalación en espacios reducidos.- Incluye el Orinal, el cartucho, el desagüe y todos los elementos requeridos para su instalación incluyendo tornillos y grapas.- Disminuye la probabilidad de corrosión en la tubería de drenaje, ya que filtra los sedimentos y partículas de la orina.- Cartucho de duración de 7.000 ciclos, de fácil recambio.- Cumple con las normas para Orinales sin agua Icontec NTC 5814.
-----------------------------------	---	---

Fuente: Corona S.A.

Datos de consumos. En los siguientes cuadros (Cuadro 20 y 21) se exponen los consumos de instalaciones ahorradoras, instalaciones actuales y promedio de agua ahorrado. El cuadro 20 muestra el consumo individual de los elementos y el cuadro 21 expone el consumo, teniendo en cuenta el número de pasajeros del año 2012. Se relaciona el consumo ahorrado total de los orinales sin agua con la necesidad líquida de los hombres; el ahorro de los sanitarios ahorradores con la necesidad física de los hombres; y finalmente, el ahorro de los sanitarios doble descarga con la necesidad física y líquida de las mujeres. El cuadro 22 muestra el ahorro total en pesos obtenido por el ahorro de agua y el ahorro de vertimiento.

Cuadro 20. Consumo individual de instalaciones actuales VS ahorradoras

<i>Equipo</i>	<i>Consumo (Litro/Descarga)</i>	<i>Costo (\$ Total pesos por litros)</i>
Sanitario actual	8,0	\$ 6,2
Sanitario ahorrador	4,9	\$ 3,8
Sanitario 2 botones	5,3	\$ 4,1
Diferencia (Ahorro)	3,0	\$ 2,3
Orinal actual	5,0	\$ 3,9
Orinal ahorrador	0,0	\$ 0,0
Diferencia (Ahorro)	5,0	\$ 3,9
<i>Equipo</i>	<i>Consumo (Litro/Minuto)</i>	<i>Costo (\$ Total pesos por litros)</i>
Grifo actual	14,1	\$ 11,0
Grifo ahorrador	8,3	\$ 6,5
Diferencia (Ahorro)	5,8	\$ 4,5

Cuadro 21. Consumo total de instalaciones actuales VS ahorradoras

<i>Equipo</i>	<i>Consumo total litros</i>	<i>Costo (\$ Total pesos por litros)</i>
Sanitario actual	1.247.696,0	\$ 974.475,5
Sanitario ahorrador	115.391,2	\$ 90.122,8
Sanitario 2 botones	693.892,5	\$ 541.943,9
Diferencia (Ahorro)	438.412,3	\$ 342.408,8
Orinal actual	872.320,0	\$ 681.299,4
Orinal ahorrador	0,0	\$ 0,0
Diferencia (Ahorro)	872.320,0	\$ 681.299,4
<i>Equipo</i>	<i>Consumo (Litros/Año)</i>	<i>Costo (\$ Total pesos por litros)</i>
Grifo actual	4.659.006,6	\$ 3.638.777,3
Grifo ahorrador	2.742.535,8	\$ 2.141.975,3
Diferencia (Ahorro)	1.916.470,8	\$ 1.496.802,0
Total ahorrado	3.227.203,1	\$ 2.520.510,2

Cuadro 22. Ahorro general total (vertimiento y consumo) de agua en pesos

Vertimiento ahorrado en litros/año	Vertimiento ahorrado en pesos/año	Ahorro general de agua y vertimiento en pesos
3.227.203,1	\$ 1.749.079,5	\$ 4.269.589,7

Costeo general. Teniendo en cuenta el número de puntos de vertimiento detectados durante la visita al aeropuerto, se realizó la siguiente cotización de las instalaciones ahorradoras de agua (Cuadro 23). Los códigos corresponden al listado de precios unitarios oficiales de referencia para la contratación de obras civiles del departamento del Valle del Cauca, de acuerdo al decreto 0328 del 16 de Abril/2013 (COLOMBIA. GOBERNACIÓN DEL VALLE DEL CAUCA, 2013)⁸⁸.

Los conceptos usados en la elaboración del presupuesto son establecidos por la Aeronáutica Civil en la circular NID: 4002082.4211/01 del 13 de Julio de 2011. La cual dicta el procedimiento administrativo para establecer el A.I.U en los procesos de contratación.

El A.I.U es una cifra porcentual que se le agrega a cada actividad en las obras por precios unitarios o globales fijos para cobrar los costos de administración (los gastos generales), los imprevistos que puedan presentarse, y finalmente la utilidad que espera obtener el constructor por su trabajo.

- Administración (A): Son los costos indirectos, necesarios para el desarrollo de un proyecto, tales como, honorarios, impuestos, pagos de salarios, gastos de viaje, viáticos, prestaciones sociales, combustibles, entre otros costos operativos.
- Imprevistos (I): En este término cabe hacer referencia a que en la ejecución de los presupuestos de obra, los imprevistos están determinados y se tiene plena seguridad de su presencia ya que es un riesgo normal e todo el desarrollo del proyecto. El porcentaje destinado a imprevistos es asignado según la posibilidad que tenga cada proyecto de tener sobrecostos adicionales no contemplados en el presupuesto inicial de las obras. Los sobrecostos son los

⁸⁸ COLOMBIA. GOBERNACIÓN DEL VALLE DEL CAUCA. 2013. Listado de precios oficiales 2013 (Decreto 0328 de Abril 16 de 2013). [En línea] 16 de Abril de 2013. [Citado el: 23 de Abril de 2013.] <http://www.valledelcauca.gov.co/descargar.php?id=11186>.

valores adicionales a todos los costos presupuestados que son necesarios para dar término a la obra, de la cual se espera un retorno.

- Utilidad (U): Ganancia que el contratista espera recibir por la realización del contrato, la cual debe ser garantizada por las entidades. El contrato como negocio jurídico, tiene por objeto el cumplimiento de los fines estatales y la debida prestación del servicio público, además, la percepción de utilidad económica para el contratista debe ser garantizada por el estado. El IVA (16%), se cobra sobre la utilidad debido a que es un contrato de obra, y se rige y acoge al concepto unificado del IVA.

Cuadro 23. Costeo de proyecto de renovación de instalaciones hidráulicas

Ítem	Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario + IVA2	Valor total
1	1005	Desmonte y retiro de aparatos sanitarios (orinales e inodoros)	Unidad	56	\$ 21.367,0	\$ 1'196.552,0
2	1505	Suministro e instalación de orinales sin agua	Unidad	16	\$ 650.036,0	\$ 10.400.576,0
3	1505	Suministro e instalación de sanitarios ahorradores con fluxómetro	Unidad	15	\$ 511.138,0	\$ 7.667.070,0
4	1505	Suministro e instalación de sanitarios ahorradores de doble descarga	Unidad	25	\$ 178.815,0	\$ 4.470.375,0
5	1005	Suministro e instalación de grifos ahorradores tipo push	Unidad	40	\$ 100.774,0	\$ 4.030.960,0
6	1005	Suministro e instalación de accesorios hidráulicos y sanitarios requeridos para el funcionamiento de sanitarias y orinales	Unidad		\$ 500.000,0	\$ 500.000,0
7	1001	Mano de obra	Global		\$4'500.000,0	\$4'500.000,0
Costo directo						\$ 32.765.533,0
Administración				10%		\$ 3.276.553,3
Imprevistos				2%		\$ 655.310,7
Utilidades				10%		\$ 3.276.553,3
IVA sobre la utilidad				16%		\$ 524.248,5
COSTO TOTAL						\$ 40.498.198,8

Flujo de caja. El flujo de caja de la inversión correspondiente (Cuadro 24) se evaluó en un periodo de 20 años, donde se aprecia que por año se obtiene una ganancia de \$5'425.190 (COP) por concepto de ahorro de agua, ahorro de tasa retributiva y ahorro de multa por no cumplimiento de vertimiento; donde se hace el supuesto que la multa solo equivale a 3,3 salarios mínimos mensuales (de acuerdo al artículo 40 de la ley 1333/2009 se puede multar hasta por 5.000 salarios).

El proyecto recupera la inversión al año 7,5 de haberse iniciado. Para el cálculo de flujo de caja, se usó una tasa de descuento= 0,12 (12% anual), igual a la establecida por el Departamento Nacional de Planeación (DNP).

Los indicadores que se manejaron para el análisis del flujo de caja son:

- Tasa Interna de Retorno (TIR)= 0,12 (12%): Tasa de descuento que hace que el valor presente neto sea cero; lo que indica el interés recomendado para trabajar el proyecto.
- Valor Presente Neto (VPN)= \$22.279: Representa la utilidad que se va a generar en un futuro en términos de dinero de hoy.
- Valor Presente Beneficios (VPB)= \$44'813.927
- Valor Presente Costos (VPC)= \$44'791.649
- Relación Beneficio/Costo (B/C)= \$1,00: Indica el rendimiento de dinero o retorno. En otras palabras, la ganancia obtenida por cada peso invertido.

Cuadro 24. Flujo de caja del proyecto de renovación a 20 años

Flujo de caja proyectado a 20 años	Ahorro de agua en pesos	Ahorro de tasa retributiva anual	Ahorro de multa por no cumplimiento de vertimiento	(+) Ingresos totales	Costo de inversión inicial	Costo de operación (repuesto cartucho orinales anual)	(-) Total costos	(=) Utilidad
Año Inicial	\$0	\$0	\$0	\$0	\$40'498.199	\$0	\$40'498.199	-\$40'498.199
1	\$4'269.590	\$500.000	\$1'950.000	\$6'719.590		\$1'294.400	\$1'294.400	\$5'425.190
2	\$4'269.590	\$500.000	\$1'950.000	\$6'719.590		\$1'294.400	\$1'294.400	\$5'425.190
3	\$4'269.590	\$500.000	\$1'950.000	\$6'719.590		\$1'294.400	\$1'294.400	\$5'425.190
4	\$4'269.590	\$500.000	\$1'950.000	\$6'719.590		\$1'294.400	\$1'294.400	\$5'425.190
5	\$4'269.590	\$500.000	\$1'950.000	\$6'719.590		\$1'294.400	\$1'294.400	\$5'425.190
6	\$4'269.590	\$500.000	\$1'950.000	\$6'719.590		\$1'294.400	\$1'294.400	\$5'425.190
7	\$4'269.590	\$500.000	\$1'950.000	\$6'719.590		\$1'294.400	\$1'294.400	\$5'425.190
8	\$4'269.590	\$500.000	\$1'950.000	\$6'719.590		\$1'294.400	\$1'294.400	\$5'425.190
9	\$4'269.590	\$500.000	\$1'950.000	\$6'719.590		\$1'294.400	\$1'294.400	\$5'425.190
10	\$4'269.590	\$500.000	\$1'950.000	\$6'719.590		\$1'294.400	\$1'294.400	\$5'425.190
11	\$4'269.590	\$500.000	\$1'950.000	\$6'719.590		\$1'294.400	\$1'294.400	\$5'425.190
12	\$4'269.590	\$500.000	\$1'950.000	\$6'719.590		\$1'294.400	\$1'294.400	\$5'425.190
13	\$4'269.590	\$500.000	\$1'950.000	\$6'719.590		\$1'294.400	\$1'294.400	\$5'425.190
14	\$4'269.590	\$500.000	\$1'950.000	\$6'719.590		\$1'294.400	\$1'294.400	\$5'425.190
15	\$4'269.590	\$500.000	\$1'950.000	\$6'719.590		\$1'294.400	\$1'294.400	\$5'425.190
16	\$4'269.590	\$500.000	\$1'950.000	\$6'719.590		\$1'294.400	\$1'294.400	\$5'425.190
17	\$4'269.590	\$500.000	\$1'950.000	\$6'719.590		\$1'294.400	\$1'294.400	\$5'425.190
18	\$4'269.590	\$500.000	\$1'950.000	\$6'719.590		\$1'294.400	\$1'294.400	\$5'425.190
19	\$4'269.590	\$500.000	\$1'950.000	\$6'719.590		\$1'294.400	\$1'294.400	\$5'425.190
20	\$4'269.590	\$500.000	\$1'950.000	\$6'719.590		\$1'294.400	\$1'294.400	\$5'425.190

6.4 ANÁLISIS FINAL

Asumiendo que las condiciones actuales de operación de la PTARD no varíen en los próximos 5 años y se mantengan constantes a futuro, los valores de remoción correspondientes a Demanda Biológica de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales y Grasas, continuarán sin cumplir los requisitos establecidos por el decreto 1594/84 debido al aumento del número de pasajeros (Cuadro 25) y el aumento del caudal de entrada en la planta (Cuadro 26).

El cuadro 25 muestra el aumento porcentual en el número de pasajeros de los últimos 12 años. Promediando dichos porcentajes, se determina que el aumento anual promedio es de 6,81%.

Cuadro 25. Aumento porcentual de pasajeros (últimos 12 años)

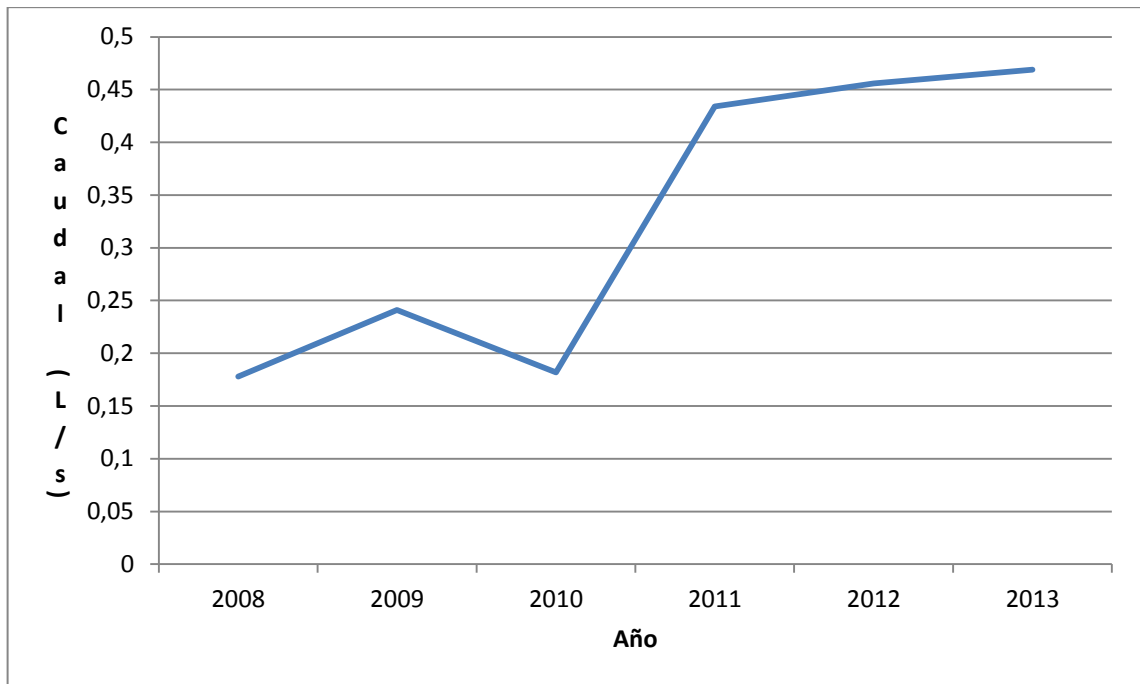
Año	Número de pasajeros	Aumento porcentual
2000	134.857	-
2001	138.308	2,50%
2002	141.074	1,96%
2003	153.003	7,80%
2004	163.909	6,65%
2005	147.853	-10,86%
2006	168.763	12,39%
2007	178.838	5,63%
2008	234.393	23,70%
2009	246.257	4,82%
2010	282.694	12,89%
2011	278.671	-1,44%
2012	330.426	15,66%
Promedio de aumento		6,81%

Lo anterior también aplica para el caudal de entrada y salida de la planta (Anexo B). Sin embargo, por disponibilidad de datos, solo fue posible calcular el promedio de los últimos 5 años. En la figura 22, se aprecia el comportamiento y la variación del caudal en Litros/segundo.

Cuadro 26. Aumento porcentual del caudal de la PTARD (últimos 5 años)

Año	Caudal (L/s)	Aumento porcentual
2008	0,178	-
2009	0,241	26,14%
2010	0,182	-32,42%
2011	0,434	58,06%
2012	0,456	4,82%
2013	0,469	2,77%
Promedio de aumento		11,88%

Figura 22. Gráfica histórica de caudal de la PTARD de los últimos 5 años



Tomando como base los aumentos porcentuales promedios del número de pasajeros y del caudal, se puede hacer una extrapolación de los anteriores datos, proyectados en los próximos 5 años (Cuadro 27). La figura 23 muestra la gráfica del aumento de pasajeros y la figura 24 muestra el aumento del caudal.

Cuadro 27. Número de pasajeros y caudal proyectados a 5 años

Año	Número de pasajeros	Caudal (L/s)
2013	352.922	0,469
2014	376.950	0,525
2015	402.613	0,587
2016	430.024	0,657
2017	459.301	0,735
2018	490.571	0,822

Figura 23. Gráfica de número de pasajeros proyectados a 5 años

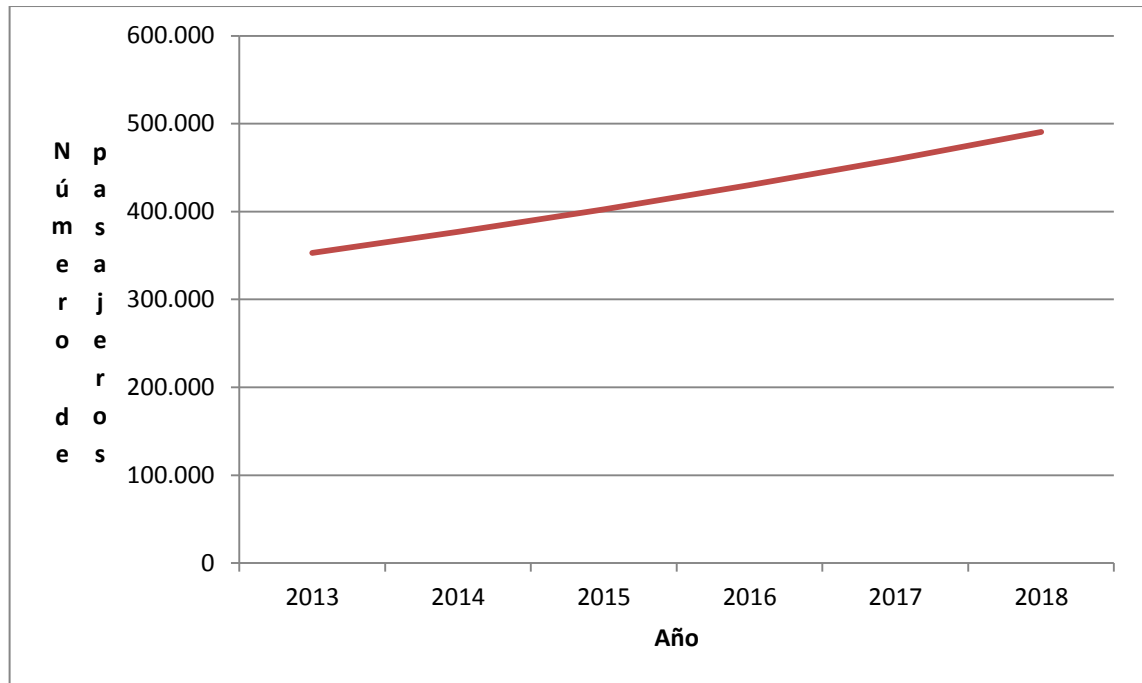
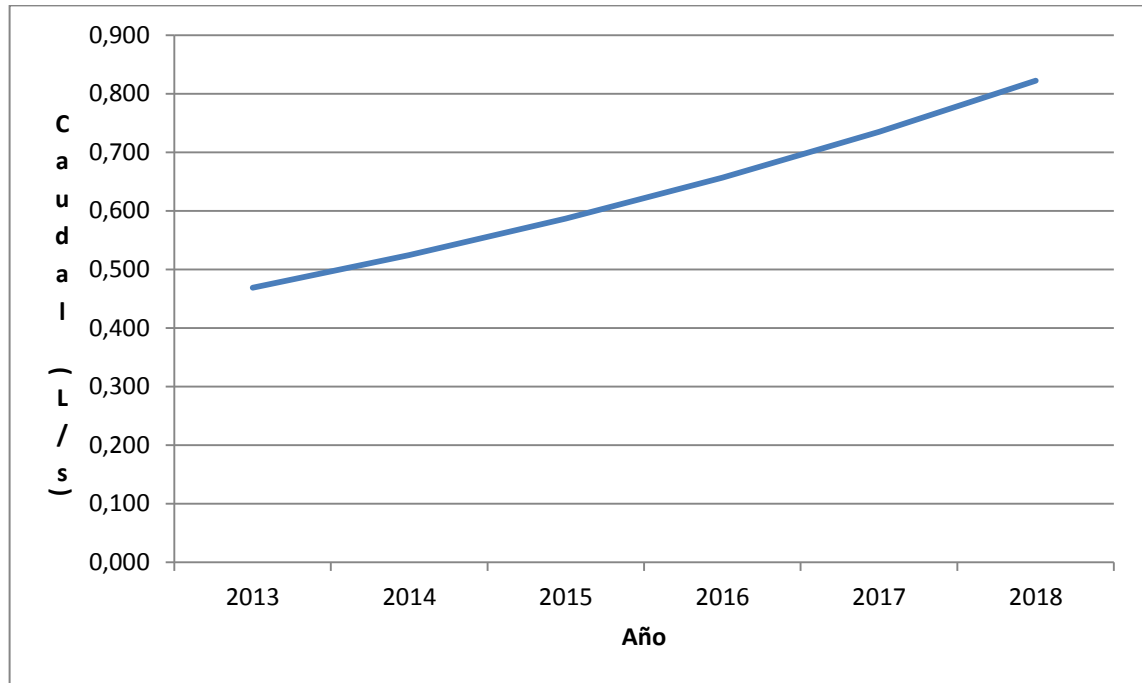


Figura 24. Gráfica del caudal promedio de la PTARD proyectado a 5 años



Lo anterior, sumado a los resultados del análisis de los parámetros de vertimiento supone un aumento en la carga contaminante de entrada a la PTARD, de acuerdo a la relación establecida por el artículo 75 del decreto 1594/84, sobrepasando los límites permitidos, lo cual implica que a corto plazo habría una deficiencia operativa superior a la que presenta actualmente.

7. CONCLUSIONES

- Se evaluó el funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas (PTARD) del aeropuerto El Edén de Armenia con base en la visita técnica, el muestreo de campo, el resultado de la evaluación de parámetros fisicoquímicos en laboratorio, el histórico de muestreo y el decreto 1594/1984; evidenciándose una deficiencia operativa y de funcionamiento principalmente del sistema de aireadores de la planta, lo cual combinado con el aumento de caudal debido al incremento del número de pasajeros y acompañantes, implica un aporte de contaminación a la fuente hídrica receptora, la cañada El Cántaro.
- Se comparó los resultados del análisis fisicoquímico de aguas residuales con el decreto 1594/1984, se evidenció que la planta actualmente no alcanza los parámetros mínimos de vertimiento; lo que podría implicar una sanción por parte de los entes encargados de la vigilancia, manejo y control del medio ambiente (CRQ, contraloría y fiscalía).
- Con base en el diagnóstico estructural y funcional, de la PTARD y los resultados de laboratorio, fue necesario formular alternativas teóricas de mejoramiento como el cambio total de la planta y el cambio de las instalaciones hidráulicas, de manera que se obtenga una mejora de los procesos para dar cumplimiento al decreto 1594/1984 y evitar posibles sanciones de los entes encargados.
- La proyección del número de pasajeros y del caudal de trabajo de la PTARD, evidenció que aumentara la carga contaminante del vertimiento, dificultando el tratamiento del agua y por tanto no habrá cumplimiento de los parámetros evaluados por el decreto 1594/1984, especialmente de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Grasas, en los cuales actualmente ya hay una falencia operativa.

8. RECOMENDACIONES

Considerando la tendencia de aumento en la población de usuarios del aeropuerto El Edén al servicio de la ciudad de Armenia, se recomiendan las siguientes propuestas:

- Se recomienda el cambio de las instalaciones y equipos hidráulicos de los puntos fijos de vertimiento tales como: grifos, lavamanos y sanitarios, por elementos ahorradores de agua; con el fin de disminuir la cantidad de las aguas residuales generadas en las actividades domésticas del aeropuerto, facilitando el tratamiento del líquido y garantizando una remoción de los contaminantes del agua exigidos por la normatividad ambiental. Se recomienda también, el cambio total de la planta de tratamiento de agua residual, debido a que ya se está cumpliendo su ciclo de vida útil. La capacidad de operación se ha mantenido constante, mientras que la población de usuarios ha aumentado.
- Debido a la falta actual de personal técnico para operación de la planta de tratamiento, se recomienda la contratación de una persona capacitada en operación, mantenimiento y limpieza de sistemas de tratamiento de aguas. El tiempo de funcionamiento del sistema sería de 24 horas/día por lo tanto el operario debe permanecer al menos ocho (8) horas/día supervisando el correcto funcionamiento del sistema de tratamiento de agua residual del aeropuerto El Edén al servicio de la ciudad de Armenia.
- Se recomienda la ejecución de monitoreos de calidad de aguas vertidas semanales, con el fin de llevar una tabla de control interno para determinar el porcentaje de remoción de los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua residual. Adicionalmente, se recomienda darle mantenimiento preventivo a las líneas de cañería que conducen el vertimiento hasta la planta, con el fin de evitar obstrucciones y deterioro de las mismas.
- Se recomienda la ejecución del análisis de calidad del agua residual para vertimientos, con una periodicidad no mayor a seis (6) meses, el cual debe presentarse a la autoridad ambiental correspondiente, en este caso a la Corporación Autónoma Regional del Quindío (C.R.Q). Adicionalmente, debido a que no existe un registro o control del volumen de lodos durante el proceso de tratamiento de aguas residuales, se recomienda tomar medición del volumen producido junto con el análisis de calidad de agua vertida semanal.

BIBLIOGRAFÍA

APPLICATION EUROPEENE DE TECHNOLOGIES ET DE SERVICES. Sin fecha. Propuesta metodológica para el diagnóstico de sistemas de saneamiento municipal. [En línea] Sin fecha. [Citado el: 8 de Noviembre de 2012.] http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=%22ptar%22%20diagnostico&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CBkQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ikongroup.net%2Fubate%2FFSCommand%2Fpressan.pps&ei=xGqcUNP7HoXK9QTqyoG4AQ&usg=AFQjCNGjvFOpdojdTeW8xeaUfdg_gnhIJQ.

BÁEZ NOGUERA, Jorge. 1995. *Tratamiento básico de aguas residuales*. Barranquilla : Ediciones Uninorte, 1995. ISBN 985-9105-39-4.

BERNAL RIASQUEY, Leonardo Ernesto. 2003. Análisis evaluativo técnico y económico entre tres plantas de aguas residuales: Dos para tratamiento de agua doméstica y una para tratamiento de agua industrial. [En línea] 2003. [Citado el: 15 de Enero de 2013.] <http://intellectum.unisabana.edu.co:8080/jspui/bitstream/10818/5098/1/129994.pdf>.

CARRASCO QUIROZ, Carlos Alberto. 2007. Tratamiento físico químico de aguas residuales. [En línea] 2007. [Citado el: 24 de Enero de 2013.] http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2007/carrasco_c/sources/carrasco_c.pdf.

COLOMBIA. ALCALDÍA DE BOGOTÁ. 2009. Ley 1333 de 2009. [En línea] 21 de Julio de 2009. [Citado el: 29 de Julio de 2013.] <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=36879>.

COLOMBIA. GOBERNACIÓN DEL VALLE DEL CAUCA. 2013. Listado de precios oficiales 2013 (Decreto 0328 de Abril 16 de 2013). [En línea] 16 de Abril de 2013. [Citado el: 23 de Abril de 2013.] <http://www.valledelcauca.gov.co/descargar.php?id=11186>.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Sin fecha. Legislación del agua. Normativa nacional para la administración y planificación ambiental del agua. [En línea] Sin fecha. [Citado el: 7 de Noviembre de 2012.] <http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=909&conID=3975>.

EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI EICE ESP. 2011. Prueba de estanqueidad en redes de alcantarillado. [En línea] 5 de Mayo de 2011. [Citado el: 1 de Noviembre de 2013.] <http://www.emcali.com.co/documents/10157/54502/NDC+EN+RA+009+PRUEBA+DE+ESTANQUEIDAD+Y+HERMETICIDAD+EN+REDES+DE+ALCANTARILLADO.pdf>.

—. 2012. Prueba hidrostática en tuberías de acueducto. [En línea] 18 de Abril de 2012. [Citado el: 1 de Noviembre de 2013.] <http://www.emcali.com.co/documents/11733/187548/NDC-EN-DA-017+Prueba+hidrostatica+en+tub+AC.pdf>.

ESCOBAR URIBE, Luz Nelly. 2008. *Análisis de calidad del agua potable en el aeropuerto La Florida-Tumaco de la regional Valle, Colombia. Pasantía de administración del medio ambiente y de los recursos naturales*. Santiago de Cali. Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de ciencias básicas. Departamento de ciencias ambientales : s.n., 2008. pág. 264.

FERNÁNDEZ-VÍTORA CONESA, Vicente. 1997. *Los instrumentos de la gestión ambiental en la empresa*. Madrid : Ediciones Mundi-Prensa, 1997. pág. 152. ISBN 84-7114-648-7.

FONTANA, Mars. 1987. *Corrosion Engineering*. [ed.] Sanjeev Rao. Tercera edición. Singapur : McGraw-Hill, 1987. págs. 12-14. ISBN 0-07-100360-6.

METCALF & EDDY, INC. 1995. *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. 3 ed. Madrid : McGraw-Hill, 1995. pág. 505. Vol. 1. ISBN 84-481-1727-1.

QUINTERO ÁNGEL, Alejandro. 2007. Evaluación preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de la Tebaida (Quindío). [En línea] 2007. [Citado el: 23 de Enero de 2013.] <http://www.bdigital.unal.edu.co/1090/1/alejandroquintero.2007.pdf>.

RAIGOSA PIRAGAUTA, Ricardo Andrés. 2007. Diagnóstico y optimización del sistema operativo y de mantenimiento del reactor discontinuo secuencial (SBR) de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de La Calera. [En línea]

2007. [Citado el: 23 de Enero de 2013.]
<http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/10185/14876/1/T41.07%20R13d.pdf>.

REYNOLDS, Kelly. 2002. Tratamiento de aguas residuales en Latinoamerica. Identificación del problema. [En línea] 2002. [Citado el: 23 de Enero de 2013.]
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd27/reynolds.pdf>.

RODRÍGUEZ COTUA, Eder Andrés. 2008. Gestión ambiental para los subproductos derivados de una planta de tratamiento de aguas residuales en el jardín botánico de la Universidad Nacional de Colombia y comparación con sistemas similares en San Andrés Isla. [En línea] 2008. [Citado el: 8 de Noviembre de 2012.] <http://www.bdigital.unal.edu.co/684/1/812119.2008.pdf>.

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. 2002. *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. 2 ed. Bogotá : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002. pág. 1244. ISBN 958-8060-13-3.

SALAS QUINTERO, Diana, ZAPATA, Mario Alberto y GUERRERO, Jhoniers. 2007. Modelo de costos para el tratamiento de aguas residuales en la región. *Universidad Tecnológica de Pereira*. [En línea] Diciembre de 2007. [Citado el: 15 de Enero de 2013.]
<http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4191/2099>. ISSN 0122-1701.

SEOANEZ CALVO, Mariano. 2000. *Aguas residuales urbanas. Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento*. Madrid : Ediciones Mundi-Prensa, 2000. págs. 30-36. ISBN 84-7714-545-6.

SOLARES CASTILLO, Marvin Rolando. 2006. Certificación de la norma ISO 14000 para una planta de tratamiento de aguas negras. [En línea] 2006. [Citado el: 23 de Enero de 2013.] http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1677_IN.pdf.

SUÁREZ MARMOLEJO, Claudia Lorena. 2010. Tratamiento de aguas residuales municipales en el Valle del Cauca. [En línea] 2010. [Citado el: 23 de Enero de 2013.]
http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/W5-3_GEN_PHD_D5.3.12_MSc_Suarez_Municipal_wastewater_treatment_Valle_del_Cauca.pdf.

SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO. 2008. *Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución*. [En línea] 2008. [Citado el: 8 de Noviembre de 2012.] http://www.sunass.gob.pe/doc/supervision/diagnostico/diagnostico_situacional_aguas_eps.pdf.

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Sin fecha. Normatividad del recurso hídrico. [En línea] Sin fecha. [Citado el: 23 de Abril de 2013.] http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/politica/normativ/normativ.htm#BM2_8_Normatividad_sobre_el_recurso_hidr.

UNIÓN TEMPORAL ACUAMBIENTAL. 2008. *Plan de manejo ambiental (actualización) de los aeropuertos de Villavicencio, Arauca, Armenia, Tumaco, Pasto y Neiva. Plan de manejo ambiental (actualización) aeropuerto -El Edén-*. Armenia : La Institución, 2008. pág. 179. Vol. 1.

VARGAS TIERRAS, Tannia Jazmín. 2012. Optimización del sistema de tratamiento de agua residual de la planta N° 01 del Cantón Joya de los Sachas. [En línea] 2012. [Citado el: 15 de Enero de 2013.] <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1976/1/96T00155.pdf>.

VELASCO, E.L y DAPENA BAQUEIRO, J.L. 1981. Descripción del proyecto de ampliación de la estación depuradora de aguas residuales de Rejas. [En línea] 1981. [Citado el: 24 de Enero de 2013.] http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1981/1981_noviembre-diciembre_3198_04.pdf.

ANEXOS

Anexo A. Manual de operación y mantenimiento de PTARD a instalar

Competencia del personal (QUINTERO ÁNGEL, 2007)⁸⁹. Las funciones laborales son muy variadas y comprenden actividades en la operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de vertimientos líquidos. El trabajador debe desempeñarse competentemente en la operación, mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo, generar información, de tal manera que se garantice el normal funcionamiento del sistema.

Operación de la planta (RAIGOSA PIRAGAUTA, 2007)⁹⁰. La correcta operación de la planta, se verá reflejada en los resultados obtenidos mediante el seguimiento experimental de la misma, el cual permite evaluar, entre otros, los siguientes aspectos:

- La eficiencia de la planta en distintas épocas del año y en aspectos relativos a la calidad del efluente para sus posibles usos.
- Anomalías de funcionamiento para tomar medidas de corrección adecuadas o para evitarlas. La operación de la PTARD contempla tanto el trabajo rutinario con frecuencia diaria, semanal o mensual, como el trabajo ocasional.
- El trabajo rutinario consiste en la operación de las estructuras que determinan el funcionamiento hidráulico de la PTARD, en los muestreos y observaciones al afluente y efluente necesarios para la evaluación del funcionamiento biológico del sistema y además en la limpieza y mantenimiento de las partes que componen la PTARD.

⁸⁹ QUINTERO ÁNGEL, Alejandro. 2007. Evaluación preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de la Tebaida (Quindío). [En línea] 2007. [Citado el: 23 de Enero de 2013.] <http://www.bdigital.unal.edu.co/1090/1/alejandroquintero.2007.pdf>. RAIGOSA

⁹⁰ PIRAGAUTA, Ricardo Andrés. 2007. Diagnóstico y optimización del sistema operativo y de mantenimiento del reactor discontinuo secuencial (SBR) de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de La Calera. [En línea] 2007. [Citado el: 23 de Enero de 2013.] <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/10185/14876/1/T41.07%20R13d.pdf>.

- El trabajo ocasional se refiere a la evaluación del comportamiento de la PTARD y de otros aspectos como la generación de lodos, resultante de los procesos biológicos; y elementos eléctricos de la caseta.

Inspección diaria⁹¹. El operador de la PTARD deberá hacer un recorrido diario buscando condiciones como las siguientes:

- Condiciones de flujo en el tratamiento preliminar.
- Estado de los equipos electromecánicos y del tablero de control.
- En los reactores se debe revisar a diario la presencia de espumas que debe ser mínima o nula y la duración de los ciclos programados teniendo cuidado de observar la apariencia de las aguas en tratamiento.
- Se debe evitar la excesiva presencia de espumas en los reactores durante la fase de llenado – mezclado y de sobrenadantes durante la fase de sedimentación los cuales originan turbiedad y deterioro físico del efluente del sistema.
- Olores excesivos.
- Color anormal de las aguas residuales en varias etapas del proceso.
- Presencia de espumas.
- Avance en la deshidratación de lodos en los lechos de secado.

Por otro lado se debe realizar la supervisión directa y continua de todo el sistema de tratamiento, con el objetivo de obtener un funcionamiento óptimo en las unidades hidráulicas que componen los procesos físicos y biológicos de la PTARD.

⁹¹ Raigosa, 2007., p. 161

Mantenimiento de la planta de tratamiento⁹². El operador debe efectuar un control diario de las incidencias de la planta, con el objeto de detectar lo antes posible cualquier problema de funcionamiento y poder tomar las medidas correctivas correspondientes, ante la existencia de fallas en el proceso de tratamiento y/o los equipos electromecánicos. Este control contiene las observaciones que pueden reunirse durante una inspección de la planta, que debe realizarla en forma rutinaria a la misma hora del día. Los equipos electromecánicos existentes en la planta se deben revisar de semanalmente de manera rutinaria por parte de personal especializado como son el técnico electromecánico y/o el ingeniero mecánico designados por la corporación.

Cámara de llegada y alivio⁹³. Se debe efectuar el retiro continuo de los sólidos sedimentados en el fondo de la estructura, la disposición de estos residuos se debe efectuar en las trincheras dispuestas para tal fin. Semanalmente se debe efectuar una supervisión de las tuberías de llegada y alivio con el fin de verificar que no se encuentren obstrucciones y mensualmente se debe efectuar un lavado general de las paredes interiores de la misma.

Sistema de cribado⁹⁴. A medida que los desperdicios se van acumulando en las rejillas, éstas se van colmatando y el agua encuentra mayor dificultad para atravesarla. Por tanto, es necesario eliminar los sólidos depositados por lo menos tres veces por día. La eliminación debe efectuarse utilizando para ello un rastrillo que encaje entre los barrotes y transportarlos al sitio seleccionado para la disposición final y entierro. No pueden dejarse al aire libre por que en estas rejillas se recogen una serie de sólidos de naturaleza diversa: que pueden dar lugar a serios problemas para la salud si no se entierran lo antes posible. Por ejemplo, estos sólidos húmedos son un buen criadero de mosquitos y roedores si se dejan acumulados en montones al aire libre.

En temporada de invierno es importante tener en cuenta que las rejillas se taponan muy fácilmente por tanto es necesario mantenerlas limpias en todo momento del día para evitar derrames de agua residual, pero por si algún motivo se presentan estos derrames, limpiarlos lo más rápido posible para evitar malos olores y criadero de moscas y zancudos⁹⁵.

⁹² Ibid., p. 162

⁹³ Ibid., p. 162

⁹⁴ Ibid., p. 162

⁹⁵ Quintero, 2007, p. 104

Desarenador⁹⁶. La limpieza del desarenador consiste en cortar el flujo de agua en un canal por medio de la compuerta, y dejar que los residuos (arenas y otras partículas) depositados en el fondo sequen. Ya seco el material se extrae y se deposita en un pozo construido para este fin, en esta misma fosa se puede enterrar el material extraído de las rejillas de cribado. El periodo de limpieza debe ser de 15 días por canal en época de verano y de 8 días en época de invierno. En periodos de invierno es importante que se revisen los canales después de fuertes aguaceros.

Tanque digestor de lodos⁹⁷. Al igual que la estructura anterior, diariamente, se debe inspeccionar el estado de la estructura verificando el estado del mezclador, electro válvulas y tuberías de entrada y salida, semanalmente, se debe lavar el perímetro del tanque y sus paredes internas (arriba del nivel máximo de lodos).

El funcionamiento del mezclador y las electro válvulas se debe verificar de manera diaria, teniendo cuidado de reportar a su superior inmediato y a la mayor brevedad posible cualquier ruido extraño o discontinuidad en el funcionamiento del equipo, quién le indicará las medidas a tomar mientras el técnico electromecánico realiza una visita a la planta para efectuar una revisión detallada de los equipos en falla.

Cada tres meses, personal especializado debe efectuar una inspección detallada equipo incluidos sus accesorios y el tablero de control con el fin de prever posibles averías y anualmente se debe efectuar verificaciones de parámetros eléctricos y de continuidades de los cableados eléctricos.

Se debe mantener lubricado el equipo de bombeo y libre obstrucciones la tubería de acceso como de egreso, y la estación de bombeo debe permanecer siempre limpia y perfectamente identificada.

La purga de lodo debe realizarse cada 6 meses para evitar que se escape con el agua tratada; esta actividad debe realizarse en periodo de bajo caudal. Cuando se realice la purga de lodo se debe de dejar una porción dentro del tanque para que continúe con la actividad de las bacterias anaerobias⁹⁸.

⁹⁶ Ibid., p. 105

⁹⁷ Raigosa, 2007, p. 163

⁹⁸ Quintero, 2007, p. 106

Lechos de secado⁹⁹. Los lechos de secado se deben limpiar antes de ser utilizados, para tal efecto, se debe efectuar un barrido de la capa superficial de ladrillos y retiro de lodo seco que se encuentre en las juntas.

Para el caso de lechos que únicamente tengan la capa de arena, se debe medir el espesor de la capa y de ser necesario, reponer la arena que se haya perdido durante su uso.

Cabezal de descarga¹⁰⁰. Se debe inspeccionar de manera diaria, verificando que no se encuentre obstruida la tubería de salida y el cabezal de descarga se encuentre en buenas condiciones, mensualmente se debe efectuar un lavado general del cabezal de descarga y la poda alrededor de la estructura.

Trabajos complementarios¹⁰¹. La planta de tratamiento cuenta con un cerramiento que debe ser inspeccionado una vez a la semana, recorriendo todo el perímetro para detectar daños en los postes o el alambre.

Es importante mantener el recinto bien aislado para impedir el acceso de personal ajeno a la planta. La vía de acceso y la zona de parqueo de la planta deben mantenerse en buen estado. El operador deberá efectuar poda regular del prado.

Se debe mantener funcional el alumbrado eléctrico, reemplazando las bombillas a medida que estas salgan de servicio. Adicionalmente, deberá mantener aseada la caseta del operador y la subestación eléctrica y reportar la necesidad de reparación, reposición de utensilios o mejoramiento de las instalaciones a su inmediato superior. A continuación se presenta un cuadro resumen para la ejecución de las labores antes mencionadas (Cuadros 28 y 29):

⁹⁹ Raigosa, 2007,. p. 163

¹⁰⁰ Ibid,. p. 163

¹⁰¹ Ibid,. p. 164

Cuadro 28. Labores de operación y mantenimiento para la PTARD

Estructura	Labor a realizar	Frecuencia
Cámara de llegada y alivio	Inspección visual y retiro de sedimentos	Diaria
	Supervisión de las tuberías de llegada y alivio	Semanal
	Toma de pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad	Diaria
	Toma de muestra para medir DQO	Cada 3 días
Sistema de cribado	Retiro de material retenido en los barros y disposición del mismo en la trinchera correspondiente.	Diario 8 AM, 12 M, 5 PM y después de cada lluvia
Desarenadores	Lubricación de las compuertas de ingreso, salida y de envío de arenas hacia el lecho	Mensual
	Operación del volante de las compuertas	Semanal
	Envío de arenas al lecho de secado	
	Retiro de arenas del lecho de secado	
	Lavado de paredes internas de la estructura	Diaria
Lectura continua y horaria de niveles en la canaleta entre las 8 AM y 7 AM del siguiente día		
Tanque digestor	Inspección visual	Diaria
	Lavado de la pared interna y área adyacente	Semanal
	Inspección detallada del mezclador	Trimestral
	Verificación de parámetros eléctricos y de continuidades de los cableados	Anual
Lechos de secado	Inspección visual	Diaria
	Limpieza y disposición de lodos desecados	Cada vez que los lodos se encuentren manejables
Estructura de descarga del efluente	Inspección visual	Diaria
	Lavado general y rebordeo de la estructura	Mensual
Trabajos complementarios	Inspección general del estado del cerramiento, caminos, caseta de operación y alumbrado externo	Semanal
	Inspección de subestación eléctrica	Diaria
	Limpieza de caseta operación	Semanal
	Mantenimiento de cercas y entrada	Anual

Fuente: Tomado de RAIGOSA PIRAGAUTA, Ricardo Andrés. 2007. Diagnóstico y optimización del sistema operativo y de mantenimiento del reactor discontinuo secuencial (SBR) de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de La Calera. [En línea] 2007. [Citado el: 23 de Enero de 2013.] <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/10185/14876/1/T41.07%20R13d.pdf>

Cuadro 29. Programa de inspecciones y mantenimiento para la PTARD

Equipo	Subequipo	Mantenimiento preventivo trimestral	Mantenimiento preventivo anual (Se realiza además del mantenimiento trimestral)
Equipo de reactores	Mezcladores	<ul style="list-style-type: none"> - Inspección visual exterior. - Revisión de soportes, ajuste de tuercas. - Revisión de guías. - Revisión conexiones eléctricas (cables conectores). - Inspección de fugas. - Inspección del eje. - Inspección de las aspas y limpieza. - Verificación de ruidos en operación 	<ul style="list-style-type: none"> - Engrase del eje. - Revisión de bujes y escobillas del motor eléctrico. - Limpieza de zonas oxidadas de las pinturas de soportes y retoques de las mismas
	Decantadores	<ul style="list-style-type: none"> - Inspección visual exterior. - Revisión de soportes, ajuste de tuercas. - Revisión de guías. - Inspección de vertedero y válvula de control. - Inspección de la manguera de descarga 	<ul style="list-style-type: none"> - Limpieza de zonas oxidadas de las pinturas de soportes y retoques de las mismas

Fuente: Tomado de RAIGOSA PIRAGAUTA, Ricardo Andrés. 2007. Diagnóstico y optimización del sistema operativo y de mantenimiento del reactor discontinuo secuencial (SBR) de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de La Calera. [En línea] 2007. [Citado el: 23 de Enero de 2013.] <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/10185/14876/1/T41.07%20R13d.pdf>

Cuadro 29. (Continuación)

Equipo de reactores	Bombas	<ul style="list-style-type: none"> - Inspección exterior. - Inspección visual fugas. - Verificación de ruidos en operación 	<ul style="list-style-type: none"> - Destapada de la bomba. - Revisión de Rodamientos. - Revisión Impulsor y carcazas. <ul style="list-style-type: none"> o Desgastes. o Incrustaciones. o Señales de cavitación. o Señales de corrosión. o Limpieza. - Cambio de empaques. - Revisión de bujes y escobillas del motor eléctrico.
Equipos del sistema de aireación	Compresores	<ul style="list-style-type: none"> - Inspección del nivel de aceite. - Inspección exterior. - Inspección de operación. - Verificación de manómetros y termómetros. - Revisar y limpiar el filtro de aire. - Análisis de temperatura de aire y rodamientos. - Verificación de ruidos en operación 	<ul style="list-style-type: none"> - Destapada. - Revisar las válvulas, bloque, entre otros. - Cambio de empaques.
Digestor de lodos	Mezclador	<ul style="list-style-type: none"> - Inspección visual exterior. - Revisión de soportes, ajuste de tuercas. - Revisión de guías. - Inspección de fugas. - Inspección de eje y deflectores. - Inspección de las aspas y limpieza. - Verificación de ruidos en operación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Engrase del eje. - Revisión de bujes y escobillas del motor eléctrico. - Limpieza de zonas oxidadas de las pinturas de soportes y retoques de las mismas.

Fuente: Tomado de RAIGOSA PIRAGAUTA, Ricardo Andrés. 2007. Diagnóstico y optimización del sistema operativo y de mantenimiento del reactor discontinuo secuencial (SBR) de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de La Calera. [En línea] 2007. [Citado el: 23 de Enero de 2013.] <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/10185/14876/1/T41.07%20R13d.pdf>

Anexo B. Cuadro de registro histórico de parámetros fisicoquímicos

El siguiente es un cuadro histórico que compila los resultados de eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos de aguas residuales del aeropuerto El Edén de Armenia.

Cuadro 30. Histórico de parámetros y eficiencia de remoción porcentual

Mes y Año	Parámetro	Entrada			Salida			Eficiencia
		A	B	C	D	E	F	
		Caudal	Valor	Carga	Caudal	Valor	Carga	
Julio 2008	DBO5 (mg/L)	0,182	281,00	4,42	0,182	74,20	1,17	73,59
	DQO (mg/L)		603,75	9,49		165,85	2,61	72,53
	SST (mg/L)		130,00	2,04		6,30	0,10	95,15
	Grasas (mg/L)		43,30	0,68		6,10	0,10	85,91
Septiembre 2008	DBO5 (mg/L)	0,111	495,80	4,75	0,237	42,50	0,87	81,70
	DQO (mg/L)		1.041,70	9,99		89,10	1,82	81,74
	SST (mg/L)		200,00	1,92		90,00	1,84	3,92
	Grasas (mg/L)		119,50	1,15		16,70	0,33	70,99
Mayo 2009	DBO5 (mg/L)	0,182	202,10	3,18	0,182	44,50	0,70	77,98
	DQO (mg/L)		440,20	6,92		95,60	1,50	78,28
	SST (mg/L)		197,40	3,10		48,00	0,75	75,68
	Grasas (mg/L)		20,76	0,33		1,90	0,03	90,85

Fuente: Aeronáutica Civil

Cuadro 30. (Continuación)

Mes y Año	Parámetro	Entrada			Salida			Eficiencia
		A	B	C	D	E	F	
		Caudal	Valor	Carga	Caudal	Valor	Carga	
Junio 2009	DBO5 (mg/L)	0,102	176,30	1,55	0,102	34,60	0,30	80,37
	DQO (mg/L)		354,40	3,12		75,30	0,66	78,75
	SST (mg/L)		62,00	0,55		15,00	0,13	75,81
	Grasas (mg/L)		19,30	0,17		4,20	0,04	78,24
Octubre 2010	DBO5 (mg/L)	0,201	212,00	3,68	0,162	46,90	0,66	82,17
	DQO (mg/L)		431,00	7,48		106,00	1,48	80,18
	SST (mg/L)		115,00	2,00		6,70	0,09	95,30
	Grasas (mg/L)		23,50	0,41		5,64	0,08	80,66
Agosto 2011	DBO5 (mg/L)	0,396	162,70	5,57	0,471	62,20	2,53	54,53
	DQO (mg/L)		327,28	11,20		132,57	5,39	51,82
	SST (mg/L)		64,00	2,19		12,00	0,49	77,70
	Grasas (mg/L)		15,50	0,53		1,60	0,07	87,72
Enero 2012	DBO5 (mg/L)	0,562	121,30	5,89	0,571	57,50	2,84	51,84
	DQO (mg/L)		235,40	11,43		81,10	4,00	65,00
	SST (mg/L)		70,40	3,42		6,00	0,30	91,34
	Grasas (mg/L)		12,20	0,59		6,67	0,33	44,45
Agosto 2012	DBO5 (mg/L)	0,338	186,50	5,45	0,303	38,00	0,99	81,73
	DQO (mg/L)		408,10	11,92		89,10	2,33	80,43
	SST (mg/L)		73,30	2,14		23,30	0,61	71,50
	Grasas (mg/L)		23,40	0,68		5,22	0,14	80,00

Fuente: Aeronáutica Civil

Cuadro 30. (Continuación)

Mes y Año	Parámetro	Entrada			Salida			Eficiencia
		A	B	C	D	E	F	
		Caudal	Valor	Carga	Caudal	Valor	Carga	
Diciembre 2012	DBO5 (mg/L)	0,485	162,70	6,82	0,478	28,00	1,16	83,04
	DQO (mg/L)		386,20	16,18		74,00	3,06	81,12
	SST (mg/L)		146,70	6,15		23,30	0,96	84,35
	Grasas (mg/L)		65,90	2,76		17,80	0,74	73,38

Fuente: Aeronáutica Civil

A= Caudal de entrada (L/S)

B= Parámetro de entrada

C= Carga de entrada (Kg/día)= $A*B*0,0864$ (De acuerdo a lo establecido por el artículo 75 del decreto 1594 de 1984)

D= Caudal de salida (L/S)

E= Parámetro de salida

F= Carga de salida (Kg/día)= $D*E*0,0864$ (De acuerdo a lo establecido por el artículo 75 del decreto 1594 de 1984)

Eficiencia (% Remoción en carga)= $((C-F)/C)*100$

Anexo C. Registro fotográfico de visitas de campo
Figura 25. Lechos de secado de la PTARD



Figura 27. Pozo receptor y cribado



Figura 26. Desarenador (azul) y clorificador (verde)



Figura 28. Presencia de animales en el pozo receptor



Figura 29. Vista superior de la PTARD



Figura 31. Presencia de hormiguero en cemento de la PTARD



Figura 30. Toma de pH mediante pH-metro



Figura 32. Toma de caudal mediante metodo volumetrico

