

6es  
0039  
EJ 2

Herminia

056022

FORMULACION DE ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS DEL MUNICIPIO DE  
TAURAMENA – CASANARE

BRADIXON CALIXTO GAITAN  
ING INDUSTRIAL  
COD 7062247

LUIS FERNANDO BETANCOURTH ARISTIZABAL  
ADMINISTRADOR DE EMPRESAS  
COD 17415443

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS  
FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS E INGENIERIA  
ESPECIALIZACION EN GESTION AMBIENTAL SOSTENIBLE  
VILLAVICENCIO - META  
2010

FORMULACION DE ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS DEL MUNICIPIO DE  
TAURAMENA – CASANARE

BRADIXON CALIXTO GAITAN  
ING INDUSTRIAL  
COD 7062247

LUIS FERNANDO BETANCOURTH ARISTIZABAL  
ADMINISTRADOR DE EMPRESAS  
COD 17415443

Trabajo Final para optar por el Título de Especialista en  
Gestion Ambiental Sostenible

Director  
CAROLL EDITH CORTES CASTILLO  
QUIMICA

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS  
FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS E INGENIERIA  
ESPECIALIZACION EN GESTION AMBIENTAL SOSTENIBLE  
VILLAVICENCIO - META  
2010

## NOTA DE ACEPTACION

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Director

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Villavicencio octubre de 2010

## AGRADECIMIENTOS

A cada una de las personas que desde el momento en que surgió nuestro interés por realizar la Especialización en Gestión Ambiental Sostenible, creyeron en nosotros y nos apoyaron moral y económicamente

A nuestros amigos y compañeros de la especialización por todos los momentos compartidos

A nuestros profesores que nos brindaron amistad y conocimiento

A la Universidad de los Llanos la especialización en Gestión Ambiental Sostenible

A la Secretaría de Infraestructura Física del Municipio de Tauramena por su colaboración y decidido apoyo en la formulación de nuestro proyecto de grado

## CONTENIDO

|                                                                                    | Pag |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| INTRODUCCION                                                                       | 10  |
| 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA                                                       | 12  |
| 2 JUSTIFICACION                                                                    | 14  |
| 3 ACTORES                                                                          | 16  |
| 4 OBJETIVOS                                                                        | 17  |
| 4 1 OBJETIVO GENERAL                                                               | 17  |
| 4 2 OBJETIVOS ESPECIFICOS                                                          | 17  |
| 5 MARCO TEORICO                                                                    | 18  |
| 5 1 CALIDAD DEL AGUA                                                               | 18  |
| 5 2 CONTAMINACION HIDRICA                                                          | 18  |
| 5 3 AGUAS RESIDUALES                                                               | 19  |
| 5 3 1 Caracteristicas de las aguas residuales urbanas                              | 20  |
| 5 4 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS                                     | 22  |
| 5 5 ETAPAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES                                      | 24  |
| 5 5 1 Tratamiento primario                                                         | 24  |
| 5 5 2 Tratamiento secundario                                                       | 24  |
| 5 5 3 Tratamiento terciario                                                        | 25  |
| 5 6 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A TRAVES DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION          | 25  |
| 5 6 1 Ventajas y desventajas del lagunaje                                          | 28  |
| 5 7 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE HUMEDALES ARTIFICIALES            | 31  |
| 5 8 CICLO DE VIDA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES                              | 31  |
| 5 8 1 Reutilizacion de guas residuales                                             | 32  |
| 5 8 2 Reuso de lodos                                                               | 32  |
| 5 9 PARTICIPACION SOCIAL EN LA GESTIÓN AMBIENTAL                                   | 35  |
| 6 MARCO DE REFERENCIA                                                              | 36  |
| 6 1 LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO                                               | 36  |
| 6 2 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANA DE TAURAMENA | 37  |
| 6 3 TIPOS DE APORTANTES AL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES          | 39  |
| 7 MARCO NORMATIVO                                                                  | 40  |
| 8 METODOLOGIA                                                                      | 41  |
| 8 1 DESCRIPCION DE LAS FASES DEL TRABAJO                                           | 42  |
| 8 2 MARCO LOGICO                                                                   | 43  |
| 9 CRONOGRAMA                                                                       | 46  |
| 10 PRESUPUESTO GLOBAL DE LA PROPUESTA                                              | 47  |
| 11 RESULTADOS ESPERADOS                                                            | 48  |

|    |              |
|----|--------------|
| 12 | BIBLIOGRAFIA |
| 13 | ANEXOS       |

|    |
|----|
| 49 |
| 53 |

## LISTA DE TABLAS

|         |                                                                               | Pag |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1 | Caracterizacion de las aguas residuales                                       | 20  |
| Tabla 2 | Calidad del agua residual domestica de Tauramena                              | 21  |
| Tabla 3 | Importancia de los principales agentes de la polucion de las aguas residuales | 22  |
| Tabla 4 | Costo efectivo del tratamiento de aguas residuales                            | 29  |
| Tabla 5 | Ventajas y desventajas de las lagunas de estabilizacion                       | 30  |
| Tabla 6 | Numero de usuarios y aportantes al sistema de tratamiento                     | 39  |
| Tabla 7 | Marco Legal                                                                   | 40  |

## **LISTA DE ANEXOS**

### **ANEXO 1**

Tabla A Características del agua que ingresa y sale del STAR

Tabla B Comparativo de afectación de la fuente receptora

### **ANEXO 2**

Registro fotografico planta de tratamiento de aguas residuales de Tauramena

## **SIGLAS**

CAR Corporacion Autonoma Regional

CEPIS Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente

CORPOORINOQUIA Corporacion Autonoma Regional de la Orinoquia

CRA Comision de Regulacion de Agua Potable y Saneamiento Basico

DBO Demanda Bioquimica de Oxigeno

DQO Demanda Quimica de Oxigeno

EMSET Empresa Municipal de Servicios Publicos de Tauramena

GWP Potencial de Calentamiento Global

IDEAM Instituto de Hidrologia Meteorologia y Estudios Ambientales de Colombia

MAVDT Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial

OD Demanda de Oxigeno

OMS Organizacion Mundial de la Salud

PH Peso del Hidrogeno

RAS Reglamento Tecnico normativo del Sector de Agua Potable y Saneamiento Fisico

STAR Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

SINA Sistema Nacional Ambiental

SST Remocion de Materia Organica Removida

SISBEN Sistema de Identificacion de Potenciales beneficiarios de Programas Sociales

## INTRODUCCION

El Municipio de Tauramena en la actualidad atraviesa por un periodo importante para el desarrollo territorial del departamento de Casanare y para el país en especial por su evolución a partir de la explotación petrolera, lo que genera expectativas locales y nacionales cada vez mayores de acuerdo con la fortaleza económica departamental y municipal que las regalías petroleras generan.

En consecuencia es importante incluir acciones orientadas a la satisfacción de las principales necesidades de la población con el fin de alcanzar una mayor cobertura en los servicios de Educación, Salud y Saneamiento Básico tratando de cubrir integralmente a la población más vulnerable y asignando los recursos disponibles a las exigencias que la ley establece para su inversión y como parte es que en el municipio de Tauramena ha realizado se han implementado soluciones en agua potable, manejo de aguas residuales, disposición de residuos sólidos, acompañadas del fortalecimiento de programas de salud y educación tanto en la cabecera municipal, como en las veredas y centros poblados.

Sin embargo, el solo hecho de contar con este tipo de soluciones no es garantía suficiente para que los riesgos para la salud humana y para el ambiente natural inmediato se logren eliminar de manera definitiva por el contrario, estos pueden y suelen persistir por diferentes y variadas razones, a saber la selección e implementación de tecnologías inapropiadas para las condiciones geoespaciales del municipio, la operación y mantenimiento deficiente respecto a las especificaciones iniciales de las propuestas, el manejo inadecuado de los productos y subproductos de los procesos de potabilización, la disposición final de residuos sólidos y tratamiento de aguas residuales entre los más comunes.

En el caso del municipio de Tauramena se considera que la tecnología de tratamiento de aguas residuales es apropiada por las condiciones de clima, disponibilidad de espacio físico y cobertura de la totalidad de aguas residuales producidas por el mismo. La planta de tratamiento está conformada por un sistema de lagunas de estabilización recomendado para las condiciones del trópico como uno de los procesos más eficientes que existen para la depuración de las aguas residuales domésticas por su eficiencia para la eliminación y reducción de contaminación de origen orgánico y microbiológico, además por sus comparativos bajos costos de operación per cápita (Mendonça 1999). Sin embargo, hay elementos en el diseño, operación y mantenimiento del sistema que hacen que presente eficiencias de remoción de carga contaminante de tan solo el 64 % de DBO según lo reportó la empresa de Servicios Públicos de Tauramena (EMSET) en el año 2007 (Romero J 2007).

En general las aguas residuales recogidas y llevadas a la planta de tratamiento son provenientes de usos domesticos restaurantes hoteles centros vacacionales matadero municipal, hospital clinicas, ingenio yuquero lavaderos de vehiculos y comercio en general estas descargas sumadas al hecho de que la red de recoleccion de aguas servidas y aguas lluvias es combinada, se consideran como los principales factores por los cuales la eficiencia del sistema en general es media baja como lo menciona Ferrer J (2008) y que adicionalmente son un factor relevante en el que la concentracion de carga organica es fundamental para el funcionamiento de las lagunas de estabilizacion (Escalante et al 1996, Rojas 2002)

Por otra parte desde la mirada actual de uso sostenible de los recursos hidricos se considera que las aguas efluentes pueden ser reutilizadas en procesos productivos agricolas y pecuarios, siempre y cuando su calidad los haga factibles, asi, al incluir este concepto dentro de la condiciones de operacion del sistema de tratamiento de aguas residuales y en la conciencia colectiva de los habitante del municipio es posible que el municipio y de otros municipios vecinos se beneficien

Este proyecto plantea de esta manera la evaluacion integral del sistema y el planteamiento de estrategias adecuadas para mejorar el funcionamiento del sistema y el posible reuso de las aguas tratadas del Municipio de Tauramena Casanare en procesos agricolas o en riego de jardines y prados

## 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Municipio de Tauramena cuenta con una red de alcantarillado en la cabecera municipal que cubre la totalidad del municipio, y cumple con las disposiciones técnicas exigidas por el RAS 2000<sup>1</sup> sin embargo hay zonas de expansión que no cuentan con la red de alcantarillado

El diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales-STAR de Tauramena se planeo para una capacidad de 45L/día o población equivalente de 22 870 habitantes aproximadamente considerando que para el año 2 006 la población en la cabecera del municipio era de 11 228 habitantes y para el 2009<sup>2</sup> alcanzaba los 18 343 hab y que además su proyección de población al año 2 026 es de 22 678 habitantes se prevé que la capacidad del STAR será suficiente para los próximos 15 años (Alcaldía Municipal de Tauramena, 2 009)

Sin embargo debido a factores como el aumento de población la industria la combinación con aguas lluvias las condiciones de operación sumado a los aportes de vertimientos sin tratamiento realizados por el matadero municipal el hospital y la planta de yuca modifican el régimen hídrico actual de la planta

La Empresa de servicios públicos de Tauramena – EMSET ha detectado que el sistema en general está trabajando fuera de régimen especialmente en época de invierno debido a que la red de alcantarillado es combinado hecho que incrementa el caudal de la STAR y disminuye la carga orgánica necesaria para el funcionamiento del sistema de lagunaje

De acuerdo con estudios de caracterización realizados por la EMSET en época de verano con muestras tomadas y analizadas por el Laboratorio Ambitest Ltda se encontró que las aguas de entrada a la planta de tratamiento se componen de concentraciones de grasas y aceites de 9 36mg/L, DBO de 217 33mg/L DQO de 435,40mg/L, OD de 0 07mg/L y sólidos totales de 413 67mg/L, y que el porcentaje de remoción después de pasar por sistema de lagunaje no superan el 65% (ver tabla A anexo 1)

Además en este mismo análisis se estableció que la calidad de la fuente receptora que es la Quebrada la Portana se ha visto afectada también por el incremento en la concentración los parámetros antes mencionados en porcentajes que oscilaron en incrementos del 37% a más del 100% en concentración como es el caso de la DBO y la DQO (ver tabla B anexo 1)

---

<sup>1</sup> Reglamento Técnico Normativo del Sector de agua potable y saneamiento básico Título E tratamiento de aguas residuales

<sup>2</sup> Alcaldía Municipal de Tauramena programa de Gobierno Soluciones en serio 2008 2011 Área social optimización de los servicios públicos Área ambiental recuperación de ríos y quebradas

Tomando en consideracion el conjunto de aspectos anteriormente descritos se plantea la formulacion de estrategias de mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales urbanas del municipio de Tauramena – Casanare orientado a la minimizacion control compensacion correccion y recuperacion de los impactos ambientales generados

## 2 JUSTIFICACION

La problemática ambiental es un tema que ha intervenido todos los campos de la actuación humana y que merece todos los esfuerzos en la búsqueda de alternativas de solución que contribuyan con la organización y proyección del desarrollo regional y de comunidades en diferentes zonas del mundo

Este compromiso con el tema ambiental se da buscando el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y la solución de los problemas sociales presentes en amplios sectores de la población

El agua es componente fundamental de los seres vivos y de sus procesos, por lo tanto es un soporte del planeta cada día se presta más atención a su manejo su conservación y recuperación en términos de calidad y disponibilidad. Todas las aguas procedentes de actividades domésticas, comerciales, industriales y agropecuarias que presentan características físicas, químicas o biológicas dañinas a la salud humana, animal o al ecosistema son denominadas aguas residuales.

Asociado a lo anteriormente expuesto se tiene que el uso del agua y de la tierra están interrelacionados, por tanto las decisiones sobre el uso de esta en una parte de la cuenca hidrográfica presentan oportunidades y limitaciones para los usuarios en otra parte de la misma. Estas circunstancias constituyen un argumento a favor de la planificación integrada a nivel de cuenca hidrográfica, a fin de asegurar que no se comprometa excesivamente el agua de una cuenca determinada, que los usuarios del agua, río arriba, no priven de oportunidades a los de río abajo que los proyectos cumplan con sus propósitos y que el crecimiento, mantengan un equilibrio con los recursos hídricos.

La intención de aprovechar y conservar se convierte así en una obligación en todos los contextos -internacional, nacional, regional y local al cual se le deben dedicar los mayores esfuerzos. Esta preocupación no excluye a ninguno de los actores, autoridades ambientales, locales y comunidad en general.

Para abordar esta situación se deben tomar medidas dirigidas a establecer los tipos de aportantes, los actores, la infraestructura, los caudales, la carga orgánica de entrada de entrada y salida en la planta de tratamiento de aguas residuales en el Municipio de Tauramena y los usos alternativos a las aguas tratadas y aguas lluvias más allá de su vertimiento en la Quebrada la Portana, para lo cual se requiere un trabajo articulado entre los actores involucrados, manejando herramientas metodológicas de educación y capacitación ambiental participativa y planeación que sean la base para formular estrategias de mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales Urbanas del municipio y que redunden en el mejoramiento de la calidad de vida y ambiente sano.

Debido a lo anteriormente expuesto este proyecto pretende formular estrategias de mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Tauramena – Casanare involucrado dentro de el propuestas que generen un cambio de mentalidad mediante la sensibilizacion, la concientizacion y la participacion activa de la comunidad empresarios, comerciantes y los entes de control, con el fin de desarrollar e implementar mecanismos dirigidos a la proteccion, control y manejo sostenible de las fuentes hidricas y reaprovechamiento de las aguas tratadas generadas por la planta de tratamiento de aguas residuales

### 3 ACTORES

#### ➤ Autoridades Ambientales

Por ser de su competencia en el área de su jurisdicción Corpoorinoquia debe participar en este proceso por ser el administrador de los recursos naturales del departamento del Casanare. Así mismo el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) ente encargado a nivel nacional de las políticas de saneamiento básico y producción limpia.

#### ➤ Autoridades Locales

El municipio de Tauramena Secretaría de Obras Públicas y Educación del Municipio en sus programas ambientales y educativos relacionados con el uso y aprovechamiento de los recursos naturales, la oficina de Planeación por su desempeño en lo referente al ordenamiento territorial y la Empresa de Servicios Públicos de Tauramena.

#### ➤ Comunidad circunvecina

Junta de Acción Comunal Junta Administradora Local, propietarios de predios pequeños como los habitantes de los sectores urbanos circundantes e industrias, que afectan directamente o indirectamente con los vertimientos que generan. Y comunidad anexa afectada por la calidad del efluente y de la quebrada la Portana.

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Formular un plan de mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales urbanas del Municipio de Tauramena Casanare con la participación de los habitantes, autoridades y empresas usuarias del sistema

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Reconocer el área de estudio, los actores involucrados y el alcance del proyecto

Elaborar el diagnóstico del sistema de tratamiento de aguas residuales urbanas del Municipio de Tauramena para determinar las fallencias y necesidades de mejoramiento en conjunto con la comunidad

Identificar y formular la propuesta de mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Tauramena Casanare

Construir con los actores el plan de mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales urbanas del Municipio de Tauramena Casanare

## **5 MARCO TEORICO**

### **5 1 CALIDAD DEL AGUA**

El concepto de calidad del agua es usado para describir las características químicas físicas y biológicas del agua. La determinación de la calidad del agua depende del uso que se le va a dar. No basta con decir "esta agua está buena" o "esta agua está mala". Agua apropiada para riego de jardines puede no ser de buena calidad para agua potable. Se conoce al agua como disolvente universal porque tiene capacidad para disolver lentamente casi cualquier cosa con la que llegara a estar en contacto. Desde que la lluvia cae a través de la atmósfera discurre sobre la superficie terrestre o se infiltra en ella, está constantemente disolviendo la materia (CEPIS ops-oms-org, 2001)

En la atmósfera durante la condensación y precipitación la lluvia o la nieve absorben cantidades variables de dióxido de carbono y otros gases así como pequeñas cantidades de material orgánico e inorgánico. Además, la precipitación arrastra sustancias radiactivas a la superficie de la Tierra así el agua reacciona con los minerales del suelo y de las rocas. Los principales componentes disueltos en el agua superficial y subterránea son los sulfatos, los cloruros, los bicarbonatos de sodio y potasio, y los óxidos de calcio y magnesio, además las aguas de la superficie suelen contener también residuos domésticos e industriales. Los acuíferos poco profundos pueden presentar grandes cantidades de compuestos nitrogenados y cloruros, derivados de la agricultura intensiva y de desechos humanos y animales (Torres F. 2002)

El término calidad es un término neutral que no puede ser clasificado como bueno o malo sin hacer referencia al uso para el cual el agua es destinada. De acuerdo con lo anterior tanto los criterios como los estándares y objetivos de calidad de agua variarán dependiendo de si se trata de agua para consumo humano (agua potable) para uso agrícola o industrial para recreación, para mantener la calidad ambiental, entre otros en general los límites permitidos para sustancias presentes en el agua son establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y por cada gobierno (Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en Colombia) (Motta R. 1998)

### **5 2 CONTAMINACION HIDRICA**

Los ríos y quebradas de nuestro planeta son como las arterias de nuestro cuerpo por eso es necesario no contaminarlos. Estos ecosistemas se contaminan con minerales pesados, materia orgánica e inorgánica de los vertimientos industriales agrícolas ganaderos y del alcantarillado de ciudades y poblados que impiden el reciclaje natural del agua (Mamani W. 2003)

La eliminacion de las aguas residuales conduciendolas al mar o las vias fluviales permite a la poblacion microbiana degradar el residuo. La dilucion del residuo hace que el contenido organico de las aguas no alcance un nivel demasiado alto. Las vias fluviales naturales contienen una poblacion de microorganismos que utilizan compuestos organicos disueltos que son a su vez parte de la cadena alimentaria de protozoos, insectos, gusanos y peces. En condiciones normales en una via fluvial esta poblacion de organismos forma un ecosistema equilibrado. El sistema en equilibrio puede ser desestabilizado por la adiccion de un exceso de material organico metabolizable tal como ocurre con grandes vertidos de aguas residuales, dichas adiciones causan un incremento considerable en el crecimiento y metabolismo de la poblacion microbiana aerobica de la via fluvial que utilizara todo el oxigeno disponible disuelto en el agua (Capo M. 2007)

Las vias fluviales se ven afectadas no solamente por la adiccion de residuos biodegradables (contaminacion nutricional) sino, tambien frecuentemente, por contaminacion quimica y fisica. La contaminacion quimica es principalmente industrial con la liberacion de acidos, alcalis y compuestos toxicos que pueden envenenar a los organismos vivos. La contaminacion fisica es la liberacion de materiales que pueden cambiar las condiciones fisicas en la misma. Este tipo de contaminacion consiste principalmente en la liberacion de grandes cantidades de agua caliente de las centrales energeticas que utilizan grandes cantidades de aguas para refrigeracion, asi, el cambio de temperatura del agua puede favorecer un exceso en el crecimiento de los organismos nativos o el crecimiento de nuevos organismos cambiando asi el equilibrio de la poblacion normal (Scragg A. 2001)

### **5.3 AGUAS RESIDUALES**

Las aguas residuales son las aguas usadas y los solidos que por uno u otro medio se introducen en las alcantarillas y son transportadas por ellas hasta la planta de tratamiento, sin embargo esas aguas residuales son subclasificadas como "domesticas" cuando se trata de los liquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales, como "residuales municipales" cuando se trata de los residuos liquidos transportados por el alcantarillado de una poblacion y tratados en una planta de tratamiento municipal y como "residuales industriales" cuando las aguas provienen de las descargas de industrias de manufactura (Baez N. 2004)

Las aguas lluvias transportan la carga poluidora de techos, calles y demas superficies por donde circula. Sin embargo en ciudades modernas se recogen en alcantarillas separadas, sin conexiones conocidas de aguas residuales domesticas o industriales y en general se descargan directamente al curso de agua natural mas proximo sin ningun tratamiento. En ciudades que poseen un sistema de alcantarillado combinado se acostumbra captar el caudal de tiempo seco mediante un alcantarillado interceptor y conducirlo a la planta de tratamiento para su procesamiento. Sin embargo durante los aguaceros el caudal en exceso de la

capacidad de la planta y del alcantarillado interceptor se desvia directamente al curso natural de agua. En este caso se pueden presentar riesgos serios de polución y de violación de las normas de descarga, los cuales se pueden evitar reemplazando el sistema de alcantarillado combinado por uno separado (Romero J 2005)

5.3.1 Características de las aguas residuales urbanas. En términos generales se establece que las aguas residuales urbanas se caracterizan por contener materia orgánica en suspensión y disuelta, sustancias nitrogenadas y fosforadas, sales minerales, y sustancias producto del lavado de calles y techos cuando llueva y las cuales pueden arrastrar materia sólida inorgánica en suspensión, además de otros productos (fenoles, plomo, escape vehículos motor, hidrocarburos, grasas, aceites, insecticidas y residuos de jardinería entre otros).

Las características físico-químicas principales de las aguas residuales urbanas de acuerdo con CEPIS (Torres-Carranza) se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Características de las aguas residuales urbanas.

| PARAMETRO<br>(mg/l) | CONTAMINACION |       |        |
|---------------------|---------------|-------|--------|
|                     | FUERTE        | MEDIA | LIGERA |
| Sólidos totales     | 1 000         | 500   | 200    |
| Sól. Suspen.        | 500           | 300   | 100    |
| Sól. Sedimen.       | 250           | 180   | 40     |
| Sól. Dis.           | 250           | 100   | 60     |
| D B O               | 300           | 200   | 100    |
| D Q O               | 800           | 450   | 160    |
| OX Disuelto         | 0             | 0.10  | 0.20   |
| Nitrogeno total     | 86            | 50    | 25     |
| N Orgánico          | 35            | 20    | 10     |
| N amoniacal         | 50            | 30    | 15     |
| Nitritos            | 0.10          | 0.05  | 0.00   |
| Nitratos            | 0.40          | 0.20  | 0.10   |
| Fósforo total       | 17            | 7     | 2      |
| Cloruros            | 175           | 100   | 15     |
| Grasas              | 40            | 20    | 0      |
| PH                  | 6.90          | 6.90  | 6.90   |

Fuente: CEPIS 2004 (Torres Carranza). Características físico-químicas principales de las aguas residuales urbanas.

En cuanto a las características biológicas de las aguas residuales urbanas se encuentra que en ellas hay presencia de numerosos microorganismos, algunos con características de patógenos y otros no, en general las aguas residuales urbanas contienen  $10^6$  coliformos Totales / 100 ml (Torres-Carranza).

Respecto al municipio de Tauramena las características de calidad del agua residual doméstica fueron determinadas por el laboratorio Ambitest Ltda a finales de 2008 y presentaron los resultados que se observan en la tabla 2

Tabla 2 Calidad del agua residual doméstica Tauramena 2008

| Parametro        | Valor<br>Afluente 2008 <sup>1</sup><br>(mg/L) | Valor<br>Afluente 2010 <sup>2</sup><br>(mg/L) |
|------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| SST              | 288                                           | 413 67 sólidos<br>totales                     |
| S Sedimentables  | 0 6                                           | NR                                            |
| DBO              | 290                                           | 217 33                                        |
| DQO              | 366                                           | 435 40                                        |
| Grasas y aceites | 4 1                                           | 9 36                                          |
| pH               | 7 06                                          | NR                                            |
| OD               | 0 8                                           | 0 07                                          |
| Conductividad    | 563                                           | NR                                            |
| Fosforo total    | 228                                           | NR                                            |
| Nitrogeno total  | 26                                            | NR                                            |
| Temperatura      | 27 9                                          | NR                                            |
| SAAM             | 1 68                                          | NR                                            |
| COLI TOTALES     | >2400                                         | NR                                            |
| COLI FECALES     | >2400                                         | NR                                            |

Fuente: Jairo Romero EMSET 2008 Diagnóstico y diseño para mejorar las condiciones de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Tauramena

Toda agua residual afecta en alguna manera la calidad del agua de la fuente o cuerpo de agua receptor. Sin embargo, se dice que un agua residual causa contaminación solamente cuando introduce condiciones o características que el agua de la fuente o cuerpo receptor inaceptable para el uso propuesto de la misma. En la tabla 3 se presenta en forma breve los efectos más importantes de los principales agentes de la contaminación de las aguas residuales.

**Tabla 3** Importancia de los principales agentes de la polucion de las aguas residuales

| Contaminantes                  | Motivo de su importancia                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Solidos Suspendidos            | Los solidos suspendidos pueden llevar al desarrollo de depositos de barro y condiciones anaerobias cuando los residuos no tratados son volcados en el ambiente acuatico                                                                                                                                            |
| Materia organica biodegradable | Compuesta principalmente de proteinas carbohidratos y grasas por lo general se mide en terminos de DBO y DQO Si es descargada sin tratamiento al medio ambiente su estabilizacion biologica puede llevar al consumo del Oxigeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas                                    |
| Microorganismos Patógenos      | Los organismos patogenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir enfermedades                                                                                                                                                                                                                         |
| Nutrientes                     | Tanto el Nitrogeno como el Fosforo junto con el Carbono son nutrientes esenciales para el crecimiento Cuando son lanzados en el ambiente acuatico pueden llevar al crecimiento de la vida acuatica indeseable Cuando son lanzados en cantidades excesiva en el suelo pueden contaminar tambien el agua subterranea |
| Contaminantes importantes      | Compuesto organicos en inorganicos seleccionados en funcion de su conocimiento o sospecha de carcinogenicidad mutanogenicidad teratogenicidad o elevada toxicidad Muchos de estos compuestos se encuentran en las aguas residuales                                                                                 |
| Matéria orgánica refractaria   | Esta materia organica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales Ejemplos típicos incluyen detergentes pesticidas agricolas etc                                                                                                                                               |
| Metales pesados                | Los metales pesados son normalmente adicionados a los residuos de actividades comerciales e industriales debiendo ser removidos si se va a usar nuevamente el agua residual                                                                                                                                        |
| Solidos inorganicos disueltos  | Componentes inorgánicos como el calcio sodio y sulfato son adicionados a los sistemas domesticos de abastecimiento de agua debiendo ser removidos si se va a reutilizar el agua residual                                                                                                                           |

Fuente Tratamiento de efluentes Caracterización Anexo IX Aguas Residuales y Tratamiento de Efluentes Cloacales Disponible en [http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/materias/ing\\_sanitaria/Tema9Introduccion Definiciones pdf](http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/materias/ing_sanitaria/Tema9Introduccion Definiciones pdf)

## 5 4 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales pueden ser tratadas dentro del sitio en el cual son generadas (por ejemplo tanques septicos u otros medios de depuracion) o bien pueden ser recogidas y llevadas mediante una red de tuberias - y eventualmente bombas - a una planta de tratamiento municipal Los esfuerzos para recolectar y tratar las aguas residuales domesticas de la descarga estan tipicamente sujetos a regulaciones y estandares locales y estatales A menudo ciertos contaminantes de origen industrial presentes en las aguas residuales requieren procesos de tratamiento especializado (Scragg A 2001)

El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y un residuo solido o fango (tambien llamado biosolido o lodo) convenientes para su disposicion o reuso Es muy comun llamarlo depuracion de aguas residuales para distinguirlo del tratamiento de aguas potables (Leon, 1995)

Tipicamente existen dos formas generales de tratar las aguas residuales Una de ellas consiste en dejar reposar las aguas residuales hasta que se asiente en el fondo de los estanques el material solido y despues se trata la corriente superior

de residuos con sustancias químicas para reducir el número de contaminantes dañinos presentes. El segundo método más común consiste en utilizar la población bacteriana para degradar la materia orgánica y recibe el nombre de tratamiento de lodos activados. Requiere el abastecimiento de oxígeno a los microbios de las aguas residuales para potenciar su metabolismo (Reynolds, 2002).

Los pasos básicos para el tratamiento de aguas residuales incluyen

1. Pretratamiento—remoción física de objetos grandes
2. Deposition primaria—sedimentación por gravedad de las partículas sólidas y contaminantes adheridos
3. Tratamiento secundario—digestión biológica usando lodos activados o filtros de goteo que fomentan el crecimiento de microorganismos

Como se mencionó previamente, el tratamiento de las aguas residuales es una combinación de operaciones físicas, químicas y biológicas que remueven el material suspendido, coloidal o disuelto en las aguas. típicamente, el tratamiento de aguas residuales comienza por la separación física inicial de sólidos grandes (basura) de la corriente de aguas domésticas o industriales empleando un sistema de rejillas (mallas). aunque también pueden ser triturados esos materiales por equipo especial. posteriormente se aplica un desarenado (separación de sólidos pequeños muy densos como la arena) seguido de una sedimentación primaria (o tratamiento similar) que separe los sólidos suspendidos existentes en el agua residual. A continuación sigue la conversión progresiva de la materia biológica disuelta en una masa biológica sólida usando bacterias adecuadas, generalmente presentes en estas aguas. Una vez que la masa biológica es separada o removida (proceso llamado sedimentación secundaria) el agua tratada puede experimentar procesos adicionales (tratamiento terciario) como desinfección, filtración, entre otros. Este efluente final puede ser descargado o reintroducido de vuelta a un cuerpo de agua natural (corriente, río o bahía) u otro ambiente (terreno superficial, subsuelo) en cuanto a los sólidos biológicos segregados (lodos) estos se someten a procesos de espesamiento y neutralización antes de la descarga o reutilización apropiada (Scragg A. 2001).

En el tratamiento convencional se utilizan rejillas para remoción de materiales gruesos, desarenadores para remoción de arena, sedimentación para remoción de material sedimentable y tratamiento biológico para oxidación de la materia orgánica disuelta y coloidal. Existen dos grandes tipos de actividad biológica que ejecutan los organismos en la descomposición de la materia orgánica de las aguas residuales: oxidación aeróbica y oxidación anaeróbica.

Mediante la actividad microbiológica se desarrollan biopelículas y películas biológicas o simplemente cultivos de microorganismos que descomponen la materia orgánica biodegradable. A través de reacciones de catabolismo y anabolismo o síntesis

celular se oxidan o mineralizan los compuestos organicos y se produce biomasa. La retencion de la biomasa y la evaporacion de los productos gaseosos formados permiten efectuar el tratamiento del agua o remocion de DBO (Ronzano E 2005)

## **5 5 ETAPAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

5 5 1 Tratamiento primario (asentamiento de solidos) El tratamiento primario es para reducir aceites, grasas arenas y solidos gruesos

El tratamiento de las aguas residuales requiere de forma similar un complejo sistema de pantallas y sedimentadores para eliminar los solidos. A esta etapa de separacion fisica se la denomina tratamiento primario (Jimenez D 2003)

En este proceso se emplean las siguientes fases: Remocion de solidos, remocion de arena, precipitacion con o sin ayuda de coagulantes o floculantes, separacion y filtracion de solidos. El agregado de cloruro ferrico ayuda a precipitar en gran parte a la remocion de fosforo y ayuda a precipitar biosolidos (Spiro T 2004)

5 5 2 Tratamientos secundarios es designado para substancialmente degradar el contenido biologico de las aguas residuales que se derivan de la basura humana, basura de comida, jabones y detergentes. La mayoría de las plantas municipales e industriales trata el licor de las aguas residuales usando procesos biologicos aerobicos que son procesos en los que la depuracion de la materia organica biodegradable del agua residual se efectua por la actuacion de microorganismos (fundamentalmente bacterias) que se mantienen en suspension en el agua o bien se adhieren a un soporte solido formando una capa de crecimiento

En el tratamiento secundario el agua se extiende sobre un lecho de arena o grava cubierto por los microorganismos aerobicos, o bien se agita con los microorganismos en un reactor. Como resultado de este proceso se consigue una disminucion de DBO (demanda bioquimica de oxigeno) del 90% (Martinez S 2005)

Uno de los principales problemas de la utilizacion del tratamiento biologico es la eliminacion de los lodos generados. Debido a su composicion mayoritariamente organica, los lodos son excelentes fertilizantes, sin embargo su aplicacion en los cultivos esta restringida por la presencia en ellos de metales toxicos. Estos metales llegan a las aguas residuales procedentes de fuentes domesticas e industriales o de escorrentia urbana, especialmente cuando los sistemas de alcantarillado utilizados son combinados. Otras alternativas para la eliminacion de los lodos son incinerarlos para la produccion de calefaccion y electricidad o degradarlos anaerobicamente a metano, un combustible de elevada calidad (Martinez S 2005)

Sin embargo en muchos casos se presenta una fuerte oposicion por parte de los municipios y por tanto el destino final de los lodos suele ser su enterramiento en vertederos, que con el paso del tiempo se van saturando y por tanto se convierten en un problema adicional para la comunidad, asi que ahora la mirada esta puesta en la remocion de los contenido metalico de los lodos y la disminucion de sus niveles a fin de ser empleados como una fuente valiosa de materia organica para fertilizacion (Spiro T 2004)

Cuando se usa oxigeno molecular disuelto como aceptador final de electrones, el proceso es aerobico y se conoce, tambien, como respiracion aerobica. La oxidacion biologica aerobica es la conversion bacteria de los elementos, de su forma organica a su forma inorganica altamente oxidada en un proceso conocido tambien como "mineralizacion". La mineralizacion o descomposicion microbiologica del material organico de las aguas residuales en productos finales inorganicos como dioxido de carbono, agua, nitrogeno amoniacal o nitratos, ortofosfatos y sulfatos es caracteristica de la oxidacion aerobica de carbohidratos y lipidos. Sin embargo no se aplica a muchos compuestos aromaticos que tienen masa molecular alta, estado de oxidacion alto y son estables bioquimicamente como la lignina, materia humica y muchos hidrocarburos aromaticos clorados (Romero J 2005)

5.5.3 Tratamiento terciario: este tratamiento proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente al estandar requerido antes de que este sea descargado al ambiente receptor (mar, rio, lago, campo, etc.). Mas de un proceso terciario del tratamiento puede ser usado en una planta de tratamiento. Dentro de este tratamiento se consideran los pasos de filtracion, lagunaje, humedales artificiales y la desinfeccion.

## **5.6 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A TRAVES DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION**

Las lagunas de estabilizacion son las mas utilizadas para el tratamiento de aguas residuales. Estas lagunas son fundamentalmente reservorios artificiales, que comprenden una o varias series de lagunas anaerobias, facultativas y de maduracion. El tratamiento primario se lleva a cabo en la laguna anaerobia, la cual se diseña principalmente para la remocion de materia organica suspendida (SST) y parte de la fraccion soluble de materia organica ( $DBO_5$ ). La etapa secundaria en la laguna facultativa que remueve la mayoria de la fraccion remanente de la  $DBO_5$  soluble por medio de la actividad coordinada de algas y bacterias heterotroficas. El principal objetivo de la etapa terciaria en lagunas de maduracion es la remocion de patogenos y nutrientes (principalmente Nitrogeno). Las lagunas de estabilizacion constituyen la tecnologia de tratamiento de aguas residuales mas costo-efectiva para la remocion de microorganismos patogenos por medio de mecanismos de desinfeccion natural. Las lagunas de estabilizacion son particularmente adecuadas para paises tropicales y subtropicales dado que la intensidad del brillo solar y la

temperatura ambiente son factores clave para la eficiencia de los procesos de degradación (Ronzano E 2005)

A continuación se presenta una breve descripción de las características de cada una de las lagunas involucradas en un sistema de lagunas de estabilización

a Lagunas Anaerobias El tratamiento se lleva a cabo por la acción de bacterias anaerobias. Como consecuencia de la elevada carga orgánica y el corto periodo de retención del agua residual, el contenido de oxígeno disuelto se mantiene muy bajo o nulo durante todo el año. El objetivo perseguido es retener la mayor parte posible de los sólidos en suspensión que pasan a incorporarse a la capa de fangos acumulados en el fondo y eliminar parte de la carga orgánica (Ferrer J 2008)

La estabilización en estas lagunas tiene lugar mediante las etapas siguientes

- Hidrólisis Los compuestos orgánicos complejos e insolubles en otros compuestos más sencillos y solubles en agua
- Formación de ácidos los compuestos orgánicos sencillos generados en la etapa anterior son utilizados por las bacterias generadoras de ácidos. Produciéndose su conversión en ácidos orgánicos volátiles
- Formación de metano una vez que se han formado los ácidos orgánicos una nueva categoría de bacterias actúa y los utiliza para convertirlos finalmente en metano y dióxido de carbono

Las lagunas anaerobias suelen tener profundidad entre 2 y 5 m. el parámetro más utilizado para el diseño de lagunas anaerobias es la carga volumétrica que por su alto valor lleva a los tiempos de retención se encuentren en valores que oscilan entre 2-5 días (Nemerow N 1998)

b Lagunas Facultativas Son aquellas que poseen una zona aerobia y una anaerobia, siendo respectivamente en superficie y fondo. La finalidad de estas lagunas es la estabilización de la materia orgánica en un medio oxigenado proporcionando principalmente por las algas presentes

En este tipo de lagunas se puede encontrar cualquier tipo de microorganismos desde anaerobios estrictos, en el fango del fondo hasta aerobios estrictos en la zona inmediatamente adyacente a la superficie. Además de las bacterias y protozoarios en las lagunas facultativas es esencial la presencia de algas que son los principales suministradoras de oxígeno disuelto (Ronzano E 2005)

El objetivo de las lagunas facultativas es obtener un efluente de la mayor calidad posible en el que se haya alcanzado una elevada estabilización de la materia orgánica, y una reducción en el contenido en nutrientes y bacterias coliformes

La profundidad de las lagunas facultativas suele estar comprendida entre 1 y 2 m para facilitar así un ambiente oxigenado en la mayor parte del perfil vertical

Las bacterias y algas actúan en forma simbiótica, con el resultado global de la degradación de la materia orgánica. Las bacterias utilizan el oxígeno suministrado por las algas para metabolizar en forma aeróbica los compuestos orgánicos. En este proceso se liberan nutrientes solubles (nitratos, fosfatos) y dióxido de carbono en grandes cantidades, estos son utilizados por las algas en su crecimiento. De esta forma la actividad de ambas es mutuamente beneficiosa (Jiménez D E 2005)

En una laguna facultativa existen tres zonas

- 1 Una zona superficial en la que existen bacterias aeróbicas y algas en una relación simbiótica, como se ha descrito anteriormente
- 2 Una zona inferior anaerobia en la que se descomponen activamente los sólidos acumulados por acción de las bacterias anaeróbicas
- 3 Una zona intermedia que es parcialmente aerobia y anaerobia en la que la descomposición de los residuos orgánicos la llevan a cabo las bacterias facultativas

c Lagunas de maduración Este tipo de laguna tiene como objetivo fundamental la eliminación de bacterias patógenas. Además de su efecto desinfectante, las lagunas de maduración cumplen otros objetivos, como son la nitrificación del nitrógeno amoniacal, cierta eliminación de nutrientes, clarificación del efluente y consecución de un efluente bien oxigenado

Las lagunas de maduración se construyen generalmente con tiempo de retención de 3 a 10 días cada una, mínimo 5 días cuando se usa una sola y profundidades de 1 a 1,5 metros. En la práctica el número de lagunas de maduración lo determina el tiempo de retención necesario para proveer una remoción requerida de coliformes fecales (Romero J 2005)

Las lagunas de maduración suelen constituir la última etapa del tratamiento, por medio de una laguna facultativa primaria o secundaria o de una planta de tratamiento convencional debido a la eliminación de agentes patógenos si se reutiliza el agua depurada. El número de lagunas de maduración y el tiempo de retención hidráulica a considerar en cada caso depende de la calidad bacteriológica del efluente que se pretenda conseguir, que a su vez es función de

su uso posterior vertido al mar o a un cauce natural o reutilización para riego. Dado que la eliminación de bacterias patógenas de origen fecal verificada en cualquiera de los tres tipos de lagunas consideradas obedece a una cinética de primer orden (Ferrer J 2008)

d. **Lagunas Aerobias**. Reciben aguas residuales que han sido sometidos a un tratamiento y que contienen relativamente pocos sólidos en suspensión. En ellas se produce la degradación de la materia orgánica mediante la actividad de bacterias aerobias que consumen oxígeno producido fotosintéticamente por las algas.

Son lagunas poco profundas de 1 a 1.5 m de profundidad y suelen tener tiempo de residencia elevada: 20-30 días (Ferrer J 2008).

Las lagunas aerobias se pueden clasificar según el método de aireación: sea natural o mecánico, en aerobias y aireadas.

a. **Lagunas aerobias**: la aireación es natural, siendo el oxígeno suministrado por intercambio a través de la interfase aire-agua y fundamentalmente por la actividad fotosintética de las algas.

b. **Lagunas aireadas**: en ellas la cantidad de oxígeno suministrada por medios naturales es insuficiente para llevar a cabo la oxidación de la materia orgánica, necesitando un suministro adicional de oxígeno por medios mecánicos.

El grupo específico de algas, animales o especies bacterianas presentes en cualquier zona de una laguna aerobia depende de factores tales como la carga orgánica, el grado de mezcla de la laguna, el pH, los nutrientes, la luz solar y la temperatura.

5.6.1 **Ventajas y desventajas del lagunaje**. Se sabe que las lagunas de estabilización son uno de los procesos más eficientes que existen para el tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales. Sin embargo, por ser consideradas uno de los sistemas de tratamiento de aguas residuales más sencillos desde lo operacional y constructivo, en muchas ocasiones se descuidan las actividades de operación y mantenimiento que requieren (Mendonça 1999).

En general se ha establecido que entre los aspectos que orientan la elección de la alternativa más adecuada, el económico es uno de los más importantes en la selección del sistema a implementar, especialmente en los países en etapa de desarrollo.

Según lo reporta Mendonça (1999), en el año 1983 se adelantó una investigación en cuatro tipos de procesos de tratamiento de aguas residuales que involucraban los siguientes procesos:

- Sistemas de lagunas de estabilizacion compuesto de lagunas anaerobia facultativa y de maduracion en serie
- Sistema de lagunas aireadas mecanicamente, compuesto de lagunas aireadas facultativas y de maduracion en serie
- Sistema de zanjas de oxidacion, compuesto de zanjas de oxidacion decantadores secundarios y lechos de secado de lodos
- Sistema de filtracion biologica compuesto de decantadores primarios y secundarios filtros biologicos digestores y lechos de secado de lodos

Para esa investigacion se considerados precios de construccion operacion mantenimiento y algunos costos adicionales asi como otros aspectos que se listan a continuacion

|                                                               |                             |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Poblacion contribuyente                                       | 250 000 hab                 |
| Contribucion de aguas residuales                              | 120 l/hab dia               |
| Caudal medio diario                                           | 30 000 m <sup>3</sup> /dia  |
| Contribucion de DBO <sub>5</sub>                              | 40 g/hab dia                |
| Carga diaria de DBO <sub>5</sub>                              | 10 000 kg/dia               |
| Temperatura del agua residual                                 | 20° C                       |
| Concentracion de coliformes fecales en el afluente            | 2x10 <sup>7</sup> CF/100 ml |
| Estandar para DBO <sub>5</sub> del efluente de cada sistema   | 25 mg/l                     |
| Estandar para coliformes fecales del efluente de cada sistema | 10 000CF/100ml              |

Despues de evaluar todos los aspectos posibles considerando condiciones equiparables entre los diferentes tratamientos corroboraron que efectivamente el tratamiento con lagunaje de estabilizacion era inferior comprado con los otros tratamientos y practicamente correspondia a un 30% del costo para un sistema de tratamiento convencional Ver tabla 4

Tabla 4 Costo efectivo del tratamiento de aguas residuales

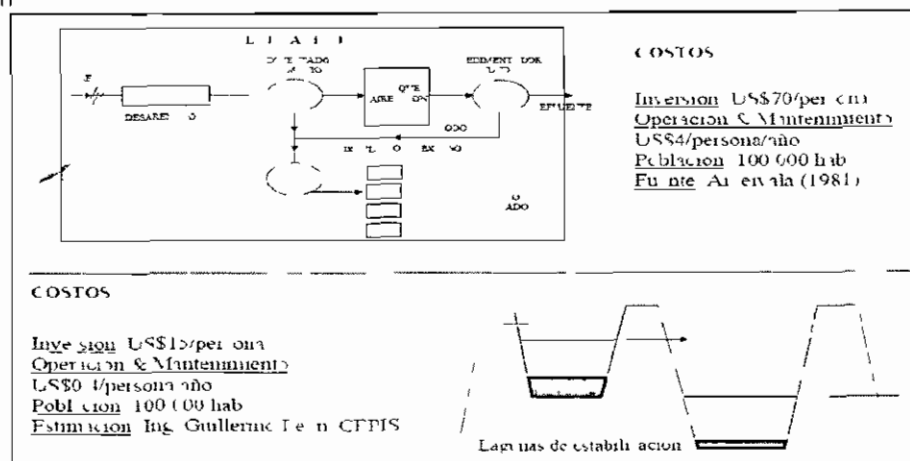
| TIPO DE TRATAMIENTO       | COSTO PER CAPITA<br>SIN EL TERRENO<br>(US\$) | COSTO TOTAL DEL<br>CAPITAL Y OPERACION<br>(US \$) |
|---------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Lagunas de estabilizacion | 1 00 a 2 00                                  | 1 20 a 3 50                                       |
| Lagunas aireadas          | 1 50 a 2 25                                  | 4 10 a 7 00                                       |
| Zanjas de oxidacion       | 1 75 a 2 60                                  | 5 50 a 10 00                                      |
| Tratamiento convencional  | 3 20 a 9 50                                  | 5 00 a 20 00                                      |

Fuente adaptado de Narasiah et al (1986)

Tomado de Mendonça SR MENDONÇA SR Lagunas de estabilizacion ¿por que no usarlas? 1999

Al realizar el analisis desde la dimension de lo correspondiente a costos de operacion tambien es posible determinar que las lagunas de estabilizacion son menos costos en comparacion con los sistemas de lodos activados (Figura 1)

Figura 1 Comparacion de costos en personal operacion y mantenimiento de lodos activados y lagunas de estabilizacion



Tomado de: Mendonça SR. Lagunas de estabilizacion ¿por que no usarlas? 1999

Las lagunas de estabilizacion tienen una ventaja enorme sobre los sistemas de tratamiento convencionales (lodos activados y sus variaciones filtros de escurrimiento, etc ) en relacion a la reduccion de coliformes fecales y huevos de helmintos

Adicionalmente, el proceso de tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilizacion presenta cuando se le compara con los procesos biologicos convencionales bastantes ventajas y desventajas, las mas importantes las podemos ver en la tabla 5

Tabla 5 Ventajas y desventajas de las lagunas de estabilizacion

| VENTAJAS                                                                                                       | DESVENTAJAS                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 Eficiencias de eliminacion de organismos patogenos bastantes superiores a las de los procesos convencionales | 1 Eficiencias de eliminacion de materia organica inferiores a las de los procesos convencionales |
| 2 Gran capacidad de adaptacion a las variaciones bruscas de caudal y de las cargas aplicadas                   | 2 Limitadas posibilidades de actuacion sobre el proceso                                          |
| 3 Independencia total de los recursos energeticos convencionales                                               | 3 Necesidad de areas de implantacion muy elevadas                                                |
| 4 Tecnicas de construccion simples estando practicamente limitadas a movimientos de tierra                     | 4 Costes de explotacion similares a los de los procesos convencionales                           |
| 5 Costo de inversion mas bajo que el de los procesos convencionales                                            |                                                                                                  |
| 6 Tecnicas de mantenimiento simples que no exigen operarios con cualificacion tecnica alta                     |                                                                                                  |
| 7 Capacidad de tratar ciertos tipos de aguas residuales industriales                                           |                                                                                                  |
| 8 Posibilidad de reutilizacion de las aguas residuales para riego                                              |                                                                                                  |

Fuente: Ferrer J. Tratamientos Biologicos de Aguas Residuales 2008

## **5 7 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE HUMEDALES ARTIFICIALES**

Estos metodos naturales son antiguos como el hombre. Estan basados en la purificacion que se efectua entre la interaccion de la tierra y el agua en donde en estado primario es conectado potencial de produccion biologica dentro de la agricultura. Los humedales son un filtro biologico. El agua residual para de forma horizontal a traves de sus cavidades ayudada por el tallo y la raiz de las macrofitas y se filtra. Las macrofitas transportan oxigeno por medio de sus raices al agua. Parte del oxigeno es disuelto en el suelo cerca de las raices con el efecto de saturar el area con este. Las zonas lejanas a las raices tienen una deficiencia de oxigeno (Seoanez M 1999)

El mosaico de zonas aerobias, anaerobias y anoxas hace posible que se desarrollen bacterias, hongos y demas microorganismos que participan en la degradacion de los contaminantes presentes en las aguas residuales.

El material organico es consumido por las bacterias en su metabolizacion y convertido en agua y dioxido de carbono. El fosforo en el agua residual se presenta como ortofosfato y se reduce gracias a la precipitacion quimica que se efectua en los humedales en donde se adiciona oxido de hierro en la tierra, formando fosfatos metalicos e hidroxidos metalicos. El nitrogeno liberado en el agua residual en forma de amoniacio es transformado en las diferentes zonas aerobias, anaerobias y anoxas a nitrogeno en forma de gas que es liberado a la atmosfera (Seoanez M 1999)

Estos sistemas de tratamiento son muy economicos en su operacion y mantenimiento, no requieren de adicion de quimicos ni hay una excesiva produccion de lodos, son de facil instalacion y se adaptan a cualquier paisaje.

## **5 8 CICLO DE VIDA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

La aplicacion del analisis del ciclo de vida en Colombia y en particular en saneamiento es novedosa, pues en general los estudios de impacto han estado enfocados a la valoracion cualitativa de los impactos, sin embargo se encuentra limitada por la carencia de informacion y el establecimiento de factores de emisiones asociados a las condiciones locales. Existen muy pocos estudios alrededor de la caracterizacion de los lodos y es nula la informacion sobre las emisiones en el aire (Zambrano D 2007)

En los sistemas evaluados en el valle geografico del rio Cauca, el sistema con mayores consecuencias ambientales es el de lodos activados, asociado principalmente a los altos consumos energeticos. En la categoria que mas impacta es en el calentamiento global. El aporte de consumo energetico de esta categoria es del 98% en los lodos activados mientras que en las lagunas es del 0.002%. Se

observa que el sistema de lodos activados tiene un potencial de calentamiento global (GWP) de 0 525 Kg CO<sub>2</sub> eq Del cual el mayor aporte es del CO<sub>2</sub> (89 4%) mientras que el N<sub>2</sub>O contribuye en solo 10 6% el sistema de lagunas de estabilizacion tiene un (GWP) de 2 14 Kg CO<sub>2</sub> eq Donde el CH<sub>4</sub> contribuye en un 86%, el CO<sub>2</sub> en un 11 2 % y el N<sub>2</sub>O en un 2% Al evaluar las emisiones generadas por cada uno de los sistemas sin considerar los consumos energeticos el sistema conformado por lagunas tendria un (GWP) mayor que el sistema de lodos activados debido a que las emisiones de CH<sub>4</sub> tienen un (GWP) 21 veces mayor a las CO<sub>2</sub> (Zambrano D 2007)

Los sistemas de lodos activados y lagunas de estabilizacion tienen un (GWP) muy similar, considerando que el nivel de tratamiento es el mismo En ambos sistemas los compuestos de influencia tienen un aporte proporcional a excepcion del NO<sub>3</sub>

5 8 1 Reutilizacion de aguas residuales Las aguas residuales regeneradas constituyen un recurso no convencional de agua que se ha desarrollado en los ultimos decenios No obstante para poder proceder a reutilizar este recurso se requieren las tecnologias adecuadas y unos estudios previos detallados Se revisan las tecnologias correspondientes asi como la legislacion respecto a la reutilizacion de aguas residuales Si evaluamos la reutilizacion parece presentar unas ciertas ventajas para su uso como agua de riego, aunque se requieren calculos y herramientas de toma de decision adaptada a cada circunstancia (Catalinas P 2002)

Los desafios de la reutilizacion de las aguas residuales son los de mejorar los sistemas de depuracion y la manera de ser operados un control eficiente de las aguas tratadas, el establecimiento de un sistema de garantias de calidad de las aguas mejorar la prevision de la demanda y eliminar la resistencia de los usuarios basada en los costos Asi mismo tiene ventajas como la de reducir la carga contaminante vertida a masas de agua receptora y el ahorro de agua de calidad para otros usos (Sette R 2003)

5 8 2 Reuso de los lodos Actualmente, paises desarrollados como Alemania, Francia y España utilizan las aguas residuales en riego El uso de aguas residuales domesticas en riego no ocasiona deterioro de los suelos ni de las aguas subterraneas, se obtienen productos de calidad, ademas no se ha observado acumulacion de metales en los cultivos y no incrementa la salinidad de los suelos En cuanto a los gases producidos pueden ser utilizados como fuente de energia de los mismos sistemas (Valenzuela C 1995 )

Otras formas de reutilizacion de lodos pueden ser

- Riego de parques jardines zonas viales campos deportivos de recreacion
- Industria (refrigeracion, calderas diferentes fases del proceso)

- Recarga de acuíferos
- Mantenimiento de lagos, estanques, ríos
- Usos domésticos (no potable)
- Abastecimiento

Sin embargo esas formas de reutilización presentan dos principales problemas que son los metales pesados y la presencia de microorganismos patógenos. Por tanto el tratamiento de lodos constituye una parte fundamental de las plantas de tratamiento y supone un 50% del costo de inversión además de los costos de mantenimiento y control (Valenzuela C 1995 )

Dentro de los procesos de tratamiento se encuentran

a Espesamiento antes de proceder a la eliminación, o estabilización de los lodos que se han separado del agua residual es conveniente (rentable) proceder al espesamiento de los lodos lo que permite reducir al mínimo el volumen para facilitar su manejo transporte y almacenamiento. Se suele realizar por procedimientos como centrifugación o flotación. Para el dimensionado de los espesadores es necesario tener en cuenta aspectos tales como, la capacidad de espesamiento, la velocidad ascensional (influye sobre la forma de la curva de sedimentación) la altura del espesado y el tiempo de retención (Ramos P 2002)

b Estabilización o digestión. Puede ser aerobia o anaerobia

Digestión aerobia. Viene a ser la eliminación en presencia de aire de la parte fermentable de los lodos. Los lodos en este proceso disminuyen de forma continua por la acción de los microorganismos existentes en el reactor biológico a la vez que se produce una mineralización de la materia orgánica. Los productos finales de este proceso metabólico son anhídrido carbónico, agua y productos solubles inorgánicos. Una adecuada estabilización corresponde con una disminución de los sólidos en suspensión del 30 al 35%. El proceso termofílico utiliza el calor metabólico producido por la biodegradación de la materia orgánica alcanzándose temperaturas entre 45 y 65 °C con ello se produce la destrucción de patógenos (Ramos P 2002)

Digestión anaerobia. Se considera el método más adecuado para obtener un producto final aséptico. La descomposición de la materia orgánica por las bacterias se realiza en ausencia de aire. El oxígeno necesario para su desarrollo lo obtienen del mismo alimento. La digestión pasa por procesos de licuefacción, gasificación y mineralización produciéndose un producto final inerte y con liberación de gases. La digestión está influenciada por una serie de fenómenos que determinan su eficacia.

- Temperatura (rango optimo 29-33°C)
- Concentracion de solidos
- Mezcla de fango
- pH (debajo de 6.2 la supervivencia de microorganismos productores de metano es imposible)
- Acidos volatiles

c Estabilizacion quimica es aquella que se realiza por la adicion a los lodos de productos químicos que los inactivan generalmente se usa calque aumenta el pH, lo que dificulta la accion biologica de los lodos favoreciendose la liberacion de amoniaco (le quita valor fertilizante al lodo)

d Deshidratacion de fangos La eliminacion de agua de los lodos se consigue mediante espesado deshidratacion y secado Para eliminar el agua libre e intersticial es suficiente con el proceso de espesado Para la separacion del agua capilar y de adhesion es necesario una deshidratacion donde se precisan fuerzas mecanicas en centrifugas y filtros Cuando se desea eliminar el agua de adsorcion y de constitucion se requieren energia termica La eleccion del metodo mas adecuado dependera del contenido en materia seca deseada en el lodo final el costo del metodo y características del lodo

e Desinfeccion Es el proceso mediante el cual se trata de eliminar una gran cantidad de organismos patogenos presentes en los lodos y que pueden suponer un riesgo sanitario en su utilizacion En la actualidad no es un proceso generalizado pero paises como Suiza Alemania ya contemplan en su legislacion normas sobre desinfeccion de lodos con fines agricolas Los metodos que se utilizan son la pasteurizacion que somete a los lodos a temperaturas de 70°C y durante 30 minutos el compostaje y la estabilizacion termofilica aerobia o anaerobia que provoca temperaturas de 60°C y un pH de 8 durante 48 horas o 24 horas si el pH es diferente

Una vez estabilizado el lodo el destino que se le puede dar es diverso y puede contemplar la utilizacion en agricultura como abono (digestion aerobia Digestion anaerobia) la recuperacion de terrenos agotados (digestion aerobia Digestion anaerobia) la recuperacion de energia electrica mecanica y calorifica (incineracion) el compostaje (sin digestion) el vertidos directamente al mar rios, lagos el relleno de terrenos escombreras minas abandonadas, pantanos entre otros (Valenzuela C 1995 )

## 5.9 PARTICIPACION SOCIAL EN LA GESTION AMBIENTAL

La participacion es un elemento primordial en todo proyecto a evaluar para definir alternativas en los procesos que afectan o de alguna manera involucra a toda una comunidad. La participacion es la integracion de la ciudadania en el proceso de adopcion de decisiones del gobierno de su ciudad, autonomia o pais. Para que una ciudad o un pais modernos proporcionen los mejores servicios y oportunidades a la poblacion, debe contar con gobiernos abiertos y receptivos dispuestos a escuchar lo que los ciudadanos y ciudadanas les quieren transmitir para contribuir a mejorar la politica y la gestion de los asuntos publicos. Eso es Participacion Ciudadana: la imprescindible participacion de todos los hombres y mujeres que quieran implicarse en los problemas que les afectan, aportando puntos de vista, inquietudes y soluciones. ([www.ministeriodelaproteccion.gov.co](http://www.ministeriodelaproteccion.gov.co))

La participacion de la ciudadania es importante y fundamental para construir una democracia; resulta esencial para favorecer el control de los/las gobernantes, transmitir mejor las preferencias de los ciudadanos y ciudadanas, suavizar los conflictos, favorecer los acuerdos y hacer menos costosa la toma de decisiones politicas. Además, la participacion fomenta un tipo de ciudadania que tiene un mayor interés por informarse acerca de los asuntos politicos, por cooperar con las demás personas y que es más respetuosa con las que son diferentes. Lo que refuerza los vínculos sociales entre los seres humanos, y favorece la comprensión intercultural.

La participacion debe incluir los mecanismos que aseguren la participacion informada de la comunidad organizada en el proceso de evaluación del plan de manejo ambiental. El proyecto se debe divulgar para que los interesados o afectados conozcan los contenidos y desarrollos que lo acompañan. Las personas u organizaciones tienen derecho a formular observaciones; si las observaciones se realizan a la autoridad ambiental competente, esta deberá responder con fundamentos que cobijen las resoluciones que califiquen ambientalmente el proyecto o actividad. ([www.ministeriodelaproteccion.gov](http://www.ministeriodelaproteccion.gov))

## 6. MARCO DE REFERENCIA



Mapa 1. Sistema vial. Fuente: Guía de rutas por Colombia 2008

### 6.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Colombia se sitúa en la región nor-oriental de Suramérica, ocupando el lugar número 25 entre los países más grandes del mundo, con una superficie de 1,14 millones de kilómetros cuadrados, lo cual lo convierte en el quinto país más extenso de Sudamérica (Horst Wattenbach. GTZ, 2004).

El Municipio de Tauramena se encuentra localizado en la parte sur occidental del Departamento de Casanare en la región de la Orinoquía, Oriente Colombiano. Tiene una posición geográfica de 5° 01' 00" de latitud norte y 72° 45' de longitud al oeste de Greenwich; ubicado en un rango altitudinal comprendido entre 150 y 2200 m.s.n.m. con una temperatura promedio de 25° C y una extensión de 24.494 hectáreas, de las cuales 47 corresponden al perímetro urbano. (IGAC 2006).

En cuanto a sus límites, por el norte limita con los Municipios de Aguazul, Recetor y Chameza y el Departamento de Boyacá; por el oriente con los Municipios de Aguazul y Maní; por el sur con aguas del Río Meta y con el Departamento del Meta; y por el occidente con los Municipios de Monterrey y Villanueva. Políticamente el Municipio se encuentra dividido en 36 veredas un corregimiento y 13 barrios con juntas de acción comunal legalmente establecidas para un total de población de 16.586 personas según el SISBEN 2007.

## **6.2 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANA DE TAURAMENA**

El municipio de Tauramena en el Departamento de Casanare en la actualidad cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales compuesto de una red de alcantarillado y una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas. La red en mención esta compuesta por dos cuencas de drenaje: una en la zona norte del municipio que cubre área de 53.82 hectáreas y abarca los Barrios Buenos Aires, Centro, Mastranto, Libertadores, la Florida, la Cascada, parte del Barrio Primavera y la zona de expansión aledaña al Barrio Libertadores. La otra cuenca comprende un total de 108.66 hectáreas e incluye los Barrios las Villas, Gaitan, Palmarito, Gavan, las Colinas, parte del Barrio Primavera, el área de expansión aledaña al Barrio Gavan y las áreas de transición ubicadas entre el Barrio Gavan y Primavera.

La planta de tratamiento de aguas residuales, esta ubicada en la vereda Aceite Alto a 1.6 kilómetros del casco urbano. El sistema se encuentra conformado por dos trenes de Lagunas de Estabilización, las cuales están compuestas por dos Lagunas Anaeróbicas, dos Facultativas y dos de Maduración.

**Estructuras de Entrada.** Se tienen construidas las estructuras de entrada, consisten en una caja de llegada, cancheta Parshall. Posteriormente una segunda estructura donde se encuentra una reja gruesa, la cual remueve los sólidos más grandes. Seguido de esta se tiene una tercera estructura consistente en un aliviadero de caudal con doble vertedero, un desarenador de dos cámaras en paralelo. La última estructura es la encargada de hacer el reparto del caudal mediante un tabique central, el cual alimenta dos canales paralelos donde se encuentran ubicadas las rejillas que remueven el material más fino (EMSET 2005).

Cada canal desemboca en un sifón que se encarga de alimentar cada tren de lagunas con caudales iguales y está conformada por dos trenes de lagunas de estabilización que a su vez están compuestas por caja de entrada de los dos emisarios, sistema de cribado y desarenador, cámara de repartición de caudales, cribado, desarenador, lagunas anaeróbicas, dos lagunas facultativas, dos lagunas de maduración, lechos de secado de lodos, emisario final, tuberías y cajas de interconexión, y recibe el agua residual urbana generada en el casco urbano de Tauramena y desemboca en la Quebrada la Portana (EMSET 2005).

Los sistemas que se encuentran operando en el STAR de Tauramena son los siguientes:

**Laguna Anaeróbica.** El STAR de Tauramena como parte de su tratamiento primario cuenta con dos lagunas Anaeróbicas las cuales dan inicio al tratamiento. El

sistema se compone de dos lagunas de 42 metros de longitud y 20 metros de ancho y profundidad media de 4.5 metros. Las lagunas están completamente impermeabilizadas con geomembrana de alta densidad, la cual está en buen estado.

Foto 1. Laguna anaeróbica del STAR de Tauramena.



Fuente EMSET 2010.

Para garantizar la distribución uniforme del flujo a la entrada de las lagunas anaerobias, se construyó un vertedero rectangular a lo ancho de estas, permitiendo de esta manera distribuir uniformemente el flujo en las dos lagunas, además cuentan con cajas de control de flujo a la entrada de cada laguna, para facilitar las actividades de operación y mantenimiento, lo que permite sacar de servicio cualquiera de las lagunas, operando una compuerta garantizando el funcionamiento de las demás, para mejorar su funcionamiento se le colocaron 8 aireadores.

Laguna Facultativa y Maduración: Al igual que la anterior estas ya fueron optimizadas y se encuentran en funcionamiento.

Estructura de Salida: Se realizaron adecuaciones en la tubería de salida e implementaron un dissipador de energía en parte de entrega del agua residual al cuerpo receptor; el efluente de las Lagunas de Maduración se descarga a la quebrada La Portana, la cual es afluente del Río Caja.

Foto 2. Canal de salida de Laguna anaeróbica del STAR de Tauramena.



Fuente EMSET 2010.

**Lechos de Secado** El sistema de tratamiento cuenta en la actualidad con una estructura destinada para el secado de los lodos, esta se optimizo con la Implementaerón un cerramiento perimetral consistente en un muro de mamposteria con una altura aproximada de un metro, ampliacion de la cubierta adecuacion del area de almacenamiento del lodo deshidratado

El sistema de drenaje del lecho consiste en un canal central donde se encuentra instalada una red de tuberia perforada Los lodos retirados durante el mantenimiento se depositan directamente sobre la placa de concreto y se dejan secar a temperatura ambiente, posteriormente son empacados y almacenados para luego ser utilizados en actividades de mejoramiento de suelo en esta misma area

### **6.3 TIPOS DE APORTANTES AL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES**

El Municipio de Tauramena cuenta con diferentes tipos de vertimientos de aguas residuales Dentro de estos tipos se destacan Aportes de aguas residuales domesticas, comerciales, de aguas de industrias, de hospitales, del matadero municipal y aportes de la planta procesadora de yuca

Los de principal importancia los aportes hechos por las aguas provenientes del matadero Municipal y las provenientes del Hospital local pues estas generan grandes afectaciones al sistema de tratamiento existente

Todos estos aportes como los de la planta procesadora de yuca el Hospital y el matadero, generan cargas contaminantes con elevados indices de contaminacion que afectan el tratamiento para el cual esta inicialmente diseñado el sistema Municipal

La Empresa de Servicios Publicos de Tauramena –EMSET- es la entidad encargada entre otras funciones del manejo del sistema de tratamiento del agua residual y registra los usuarios del sistema estratificados como se muestra en la tabla 6

Tabla 6 Numero de usuarios y aportantes al sistema de tratamiento

| APORTANTES                       | NUMERO DE USUARIOS |
|----------------------------------|--------------------|
| Residencial                      | 3130               |
| Comerciales                      | 245                |
| Oficiales                        | 54                 |
| Educativas                       | 5                  |
| Especiales (ejercito)            | 1                  |
| <b>TOTAL USUARIOS APORTANTES</b> | <b>3435</b>        |

Fuente Jairo Romero EMSET 2008 Diagnostico y disenio para mejorar las condiciones de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Tauramena

## 7 MARCO NORMATIVO

El desarrollo de este proyecto esta enmarcado por la legislacion colombiana de acuerdo con la ley 99 de 1993 que contempla la creacion del Ministerio del Medio ambiente, reordena el sector publico encargado de la gestion y conservacion del medio ambiente y los recursos naturales renovables, asi como la organizacion del Sistema Nacional Ambiental SINA y elCodigo Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Proteccion al Medio Ambiente (decreto ley 2811) que en su articulo 3 regula el manejo de los recursos naturales renovables tales como las aguas en cualquiera de sus estados y los demas elementos y factores que conforman el ambiente o influyan en el denominados en esteCodigo elementos ambientales como los residuos basuras, desechos o desperdicios el decreto 1449 de 1997 que en el articulo 2 establece las obligaciones de los propietarios en relacion con la proteccion, conservacion y aprovechamiento del recurso hidrico el decreto 1753 de 1994 que define el plan de manejo ambiental y el decreto 1575 de 2007 que establece el sistema para la proteccion y control de la calidad del agua para consumo humano

La formulacion de proyectos de tratamiento de aguas residuales independiente de la fuente de financiacion debe tener en cuenta el siguiente marco legal, entre otras regulaciones

Tabla 7 Marco Legal

| NORMA                                                                                         | DESCRIPCION                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>POLITICAS Y PLANES</b>                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Ley 152 de 1994                                                                               | Ley organica de planeacion                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Acuerdo del Consejo Nacional Ambiental 1996                                                   | Lineamientos de Politica para el manejo integral del agua                                                                                                                                                                                                                                    |
| Ley 388 de 1997                                                                               | Ordenamiento Territorial                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Documento Conpes 3031/99                                                                      | Plan para el sector de Agua Potable y Saneamiento Basico                                                                                                                                                                                                                                     |
| Decreto 302 de 2000                                                                           | Reglamentacion relacion ESP – Usuarios                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>FINANCIACION</b>                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Ley 715 de 2001                                                                               | Establece el Sistema General de Participacion que la Nacion transfiere a los entes territoriales                                                                                                                                                                                             |
| Ley 141 de 1994<br>Decreto 1747/95<br>Decreto 1111/ 96<br>Decreto 2141 /99<br>Decreto 1594/84 | Crea el Fondo Nacional de Regalias FNR regula el derecho a percibir regalías por la explotacion de los recursos no renovables y se establecen reglas para su liquidacion y distribucion reestructura la Comision Nacional de Regalias establece el ciclo de los proyectos para su aprobacion |
| <b>TECNICAS E INSTITUCIONALES</b>                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Ley 142 de 1994                                                                               | Servicios publicos domiciliarios                                                                                                                                                                                                                                                             |

Fuente ([www.ministeriodelaproteccion.gov.co](http://www.ministeriodelaproteccion.gov.co))

## 8 METODOLOGIA

La metodología propuesta se acoge a la de un proyecto de gestión relacionado con la formulación de un plan de mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales urbanas del Municipio de Tauramena Casanare, sistema que alcanza hoy un cubrimiento del 90 % en alcantarillado sanitario y un 65 % en el alcantarillado pluvial. Estos datos encontrados en el Diagnóstico elaborado por la Alcaldía Municipal programa de gobierno 'Soluciones en serio 2008-2011' indican un aumento de caudal en las aguas que ingresan a la planta de tratamiento de aguas residuales.

El proyecto de gestión es una herramienta que vincula elementos de investigación, capacitación, recursos humanos y financieros para transformar una realidad social y natural.

Dentro del desarrollo de este tipo de proyecto se consideran entonces cuatro etapas las cuales corresponden en orden a:

**Fase 1 Preliminar,** contacto con actores y comunidad. El propósito es dar a conocer la definición del problema con los elementos de información primaria y secundaria existentes.

**Fase 2 Diagnóstico** en esta se examina trabajos antecedentes y se completa el levantamiento de información primaria necesaria para la caracterización ambiental.

**Fase 3 Elaboración de la propuesta** con los avances obtenidos como producto del desarrollo de la fase 2 se lleva a cabo la propuesta del plan de manejo.

**Fase 4 Validación y perfeccionamiento de la propuesta.** Como etapa final se trabaja en el ajuste con los actores sociales.

Para su éxito requiere elementos fundamentales como son la comunicación, la participación y la coordinación enmarcado dentro de un enfoque de mejoramiento continuo.

## 8 1 DESCRIPCION DE LAS FASES DEL TRABAJO

| Fase de trabajo | Tipo de trabajo                                | Actividades planteadas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fase 1          | Preliminar                                     | 1 Reconocimiento del area de estudio<br>2 Convocatoria de todos los actores involucrados<br>3 Conformacion del equipo gestor                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Fase 2          | Diagnostico                                    | 4 Recoleccion de informacion secundaria y primaria de forma participativa<br>5 Identificacion de aportantes al sistema (Hospital Municipal, matadero, planta de yuca y comunidad en general)<br>6 Evaluacion del funcionamiento sistema de tratamiento de aguas residuales existente en el Municipio<br>7 Procesamiento de informacion y elaboracion del diagnostico<br>8 Perfeccionamiento participativo y socializacion del diagnostico<br>Reconocimiento de soluciones exitosas en situaciones similares |
| Fase 3          | Elaboracion de la Propuesta                    | 10 Elaboracion de la propuesta que permita el mejoramiento de las deficiencias actuales del sistema de tratamiento de aguas residuales urbanas del Municipio de Tauramena Casanare                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Fase 4          | Validacion y perfeccionamiento de la propuesta | 11 Socializacion de la propuesta final y validacion con la comunidad                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

## 8.2 MARCO LOGICO

| FASES      | OBJETIVO                                                                        | ACTIVIDAD                                                                                                                                   | INDICADOR                                                                                                                                                                                                                                                                                      | SUPUESTO                                                                                                                                                        | META                                                                                                                                                             | PRODUCTO                                                                                                          |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Preliminar | Reconocer el área de estudio los actores involucrados y el alcance del proyecto | <p>1 Reconocimiento del área de estudio</p> <p>2 Convocatoria de todos los actores involucrados</p> <p>3 Conformación del equipo gestor</p> | <p>1 El área de estudio plenamente identificada en sus características geográficas de paisajes y sociales</p> <p>2 EL 90 % del personal informado del proceso</p> <p>3 Equipo conformado por personal especializado representantes de la Administración Municipal y comunidad circunvecina</p> | <p>Disponibilidad de personal profesional que formulara el plan</p> <p>Disponibilidad de recursos económicos</p> <p>Participación activa de actores locales</p> | <p>Identificación completa del área de estudio</p> <p>Participación del 90% de parte de los actores involucrados</p> <p>Equipo interdisciplinario conformado</p> | Informe de la situación actual del sistema de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Tauramena Casanare |
|            |                                                                                 | <p>4 Recolección de información secundaria</p> <p>5 Identificación de aportantes al sistema (Hospital</p>                                   | <p>4 Diagrama de actividades desarrolladas en el Municipio</p> <p>5 base de datos actualizada sobre cantidad de</p>                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                  |                                                                                                                   |

|             |                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                          |                                                                                                                                                  |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Diagnostico | Elaborar el diagnostico del sistema de tratamiento de aguas residuales urbanas del Municipio de Tauramena para determinar las falencias y necesidades de mejoramiento en conjunto con la comunidad | <p>Municipal matadero planta de yuca y comunidad en general</p> <p>6 Evaluacion del funcionamiento sistema de tratamiento de aguas residuales existente en el Municipio</p> <p>7 Procesamiento de informacion y elaboracion del diagnostico</p> <p>8 perfeccionamiento participativo y socializacion del diagnostico</p> <p>9 Reconocimiento de soluciones exitosas a situaciones similares</p> | <p>vertimientos generados por las diversas actividades</p> <p>6 documento de trabajo con base de datos a desarrollar compromisos y tareas</p> <p>7 seguimiento del Indice de remocion de carga contaminante (DBO y SST) por los sistemas de tratamiento de agua trimestralmente</p> | <p>Condiciones optimas para el reconocimiento del area de estudio</p> <p>Participacion del personal especializado los representantes comunidad aledaña</p> <p>Disponibilidad de recurso economico para sustentar el costo de muestreo y analisis</p> | Documento de diagnostico de la red de alcantarillado sanitario y pluvial del Municipio en la zona urbana | Informe Identificacion y formulacion del plan de mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Tauramena Casanare |
|             |                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                          |                                                                                                                                                  |

|                                |                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                               |                                                                                                                                               |                                                                                                                             |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elaboracion de la propuesta    | Identificar y formular la propuesta de mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Tauramena                | 10 Elaboracion de la propuesta que permita mejorar las deficiencias actuales del sistema de tratamiento de aguas residuales urbanas del Municipio de Tauramena Casanare | 8 Numero de grupos participantes de todos los actores en el proceso de socializacion<br><br>9 Base de datos de las experiencias tematicas desarrolladas en nivel regional nacional e internacional | Tener toda la informacion<br><br>Participacion activa de los actores y personal involucrado autoridad ambiental autoridad municipal y vecinos | Personal administrativo involucrado del 95%<br><br>Un Informe resumen de experiencias exitosas<br><br>Documento preliminar del Plan de manejo | Documento final del plan de mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Tauramena Casanare |
| validacion y perfeccionamiento | Construir con los actores el plan de mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales urbanas del Municipio de Tauramena Casanare | 11 socializacion de la propuesta final y validacion con la comunidad                                                                                                    | 10 plan de estrategias que mejore el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales urbanas en el Municipio de Tauramena Casanare                                                   | Tener listo un documento                                                                                                                      | Plan de manejo ajustado<br><br>Establecimiento de compromisos para la implementacion del plan                                                 | Documento final del plan de mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Tauramena Casanare |

## 9 CRONOGRAMA

| Actividades                                                                                                                                                             | MESES |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                                                                                                                                                                         | 1     | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 1 Reconocimiento del area de estudio                                                                                                                                    | x     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 2 Invitar a todos los actores locales involucrados                                                                                                                      | x     | x | x |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 3 Reconocimiento del area de estudio                                                                                                                                    | x     | x | x | x |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 4 Recoleccion de informacion secundaria y primaria de forma participativa                                                                                               | x     | x | x | x | x |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 5 Identificacion de aportantes al sistema (Hospital matadero planta de yuca y comunidad en general)                                                                     | x     | x | x | x | x | x |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 6 Evaluacion de funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales existente en el municipio                                                                 | x     | x | x | x | x | x | x |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 7 Procesamiento de informacion y elaboracion de la propuesta                                                                                                            | x     | x | x | x | x | x | x | x |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 8 perfeccionamiento participativo y socializacion del diagnostico                                                                                                       | x     | x | x | x | x | x | x | x |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 9 Reconocimiento de soluciones exitosas a situaciones similares                                                                                                         | x     | x | x | x | x | x | x | x | x |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 10 Elaboracion de la propuesta que permita mejorar las deficiencias actuales del sistema de tratamiento de aguas residuales urbanas del Municipio de Tauramena Casanare | x     | x | x | x | x | x | x | x | x | x  |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 11 socializacion de la propuesta final y validacion con la comunidad                                                                                                    | x     | x | x | x | x | x | x | x | x | x  | x  |    |    |    |    |    |    |    |

## 10 PRESUPUESTO GLOBAL DE LA PROPUESTA

| <b>ACTIVIDADES</b>                                                                                                                                                   | <b>PRESUPUESTO<br/>(PESOS)</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Reconocimiento del area de estudio                                                                                                                                   | \$ 10 000 000                  |
| Convocatoria de todos los actores involucrados                                                                                                                       | \$10 000 000                   |
| Conformacion del equipo gestor                                                                                                                                       | \$30 000 000                   |
| Recoleccion de informacion secundaria                                                                                                                                | \$10 000 000                   |
| Identificacion de aportantes al sistema (Hospital Municipal, matadero planta de yuca y comunidad en general                                                          | \$30 000 000                   |
| Evaluacion del funcionamiento sistema de tratamiento de aguas residuales existente en el Municipio                                                                   | \$20 000 000                   |
| Procesamiento de informacion y elaboracion del diagnostico perfeccionamiento participativo y socializacion del diagnostico                                           | \$20 000 000                   |
| Reconocimiento de soluciones exitosas a situaciones similares                                                                                                        | \$ 10 000 000                  |
| Elaboracion de la propuesta que permita mejorar las deficiencias actuales del sistema de tratamiento de aguas residuales urbanas del Municipio de Tauramena Casanare | \$ 30 000 000                  |
| Socializacion de la propuesta final y validacion con la comunidad                                                                                                    | \$10 000 000                   |
| <b>TOTAL DEL PROYECTO</b>                                                                                                                                            | <b>\$170 000 000</b>           |

## BIBLIOGRAFIA

ALCALDIA MUNICIPAL DE TAURAMENA Plan de Desarrollo Soluciones en Serie 2008-2011", [en línea] [www.tauramenacasanare.gov.co](http://www.tauramenacasanare.gov.co) (citado noviembre 06 de 2009)

BAEZ N Jorge Sistemas de recoleccion y evacuacion de Aguas residuales y Pluviales Ediciones Uninorte 2004 Cap 4 p 80-85

CAPO M Miguel Principios de Ecotoxicologia Editorial Tebar 2007 cap 7 p 93-98

CATALINAS Pedro, ORTEGA Ernesto Reutilizacion de Aguas Residuales en España Editorial Canarias España 2002 cap 19 p 212-213

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE [Online] CEPIS Control de Calidad del Agua Oct 2001 [en línea] Disponible en [http \ www.cepis.ops-oms.org](http://www.cepis.ops-oms.org)

EMPRESA MUNICIPAL DE SERVICIOS PUBLICOS DE TAURAMENA EMSET S A E S P Plan de Desarrollo "Para Invertir en la Gente 2003 – 2007

ESCALANTE EVE MENDIOLA RCJ BALDERAS CJ Constantes cineticas en lagunas de estabilizacion (caso de una region con clima seco-semiarido) AIDIS Consolidacion para el desarrollo Conferencia presentada en Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental 25 Mexico D F 1996, p 1-8

FERRER POLO Jose, SECO TORRECILLAS Aurora Tratamientos Biologicos de Aguas Residuales Editorial Alfa Omega Grupo Editor S A Mexico 2008 p 140-150

GONZALES HEREDIA Jose Maria GAVIRIA TRUJILLO Alejandro Guia de rutas por Colombia 2008 p 42

GOMEZ OREA, Domingo Evaluacion del Impacto Ambiental Editorial Mundial Prensa y Editorial Agrícola Española S A Madrid 1999 1ª edicion Referencia de la biblioteca de Filosofia FL/TD 194 4 G6 1999

INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES Temperatura promedio para el municipio de Tauramena IDEAM, 2001

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI Coordenadas Geograficas  
Municipio de Tauramena IGAC 2006

HORST WATTENBACH Instrumentos Economicos Ambientales para la valoracion  
de cuencas hidrograficas GTZ Deutsche Gesellschaft fur Technische  
Zusammenarbeit (GTZ) GMBH Programa de Apoyo Ecologico (TOEB) Eschborn  
2004 p 1-15

JIMENEZ BELTRAN Domingo, DE LORA Federico SETTE RAMALHO Rubens  
Tratamiento de Aguas Residuales Editorial Reverte S A España 2003 p 54-61

LEON SG Tratamiento de Aguas Residuales Objetivos y seleccion de  
Tecnologias en funcion al tipo de reuso CEPIS-OMS Centro Panamericano de  
Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente 2005 [en linea] Disponible en  
<http://www.cepis.org.pe/bvsair/e/repindex/rep184/vleh/fulltext/acrobat/leon3.pdf>

MAMANI Q Walter, SUAREZ Nelly GARCIA Claudia Contaminacion del Agua e  
Impactos por Actividades Hidrocarburiferas en Aguarague Editorial Offset  
Boliviana Ltda La Paz Bolivia 2003

MARTINEZ Sergio, RODRIGUEZ Miriam Tratamiento de Aguas Residuales  
Editorial Reverte S A España 2005 p 101-104

MENDONÇA, SR Operacion y Mantenimiento de las Lagunas de Oxidacion  
Garantia de la Calidad del Tratamiento Asociacion Colombiana de Ingenieria  
Sanitaria y Ambiental Hacia la Calidad Necesidad Para el Proximo Milenio  
Barranquilla Conferencia presentada en Congreso Nacional ACODAL Hacia la  
Calidad Necesidad Para el Proximo Milenio, 42 Barranquilla Colombia 1999, p  
23-26

MENDONÇA, SR Lagunas de Estabilizacion ¿por que no usarlas? Seminario  
Internacional Tratamiento de Aguas Residuales a Traves de Humedales Naturales  
y Artificiales y Lagunas de Estabilizacion Organizacion Panamericana de la Salud  
Oficina Sanitaria Panamericana Oficina Regional de la Organizacion Mundial de la  
Salud Bogota, Colombia 24 al 26 de noviembre de 1999 Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/ar1999/mendonza.pdf>

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE Y DE DESARROLLO TERRITORIAL  
(MAVDT) Código de Recursos Naturales y Normas de Proteccion Ambiental  
Bogota Ricardo Motta Vargas 1998 p 21-34

NEMERROW Nelson Tratamiento de Vertidos Industriales y Peligrosos Ediciones  
Diaz de Santos S A España 1998, capitulo 21 p 345-349

PARTICIPACIÓN SOCIAL EN LA GESTION AMBIENTAL, febrero de 2000  
www.ministeriodelaproteccion.gov.co (citado febrero 8 de 2010)

RAMOS CASTELLANOS Pedro ALVAREZ OQUINA Cristina Uso Eficiente y Sostenible de los Recursos Naturales Ediciones Universidad de Salamanca España 2002

REYNOLDS, Kelly Tratamiento de Aguas residuales en Latinoamerica Septiembre-Octubre 2002 disponible en <http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/DeLaLaveSepOct02.pdf>

ROJAS R Determinacion de la constante cinetica en lagunas de estabilizacion Metodos Experimentales Conferencia dentro del Curso Internacional "Gestion integral de tratamiento de aguas residuales" CEPIS/OPS-OMS Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Division de Salud y Ambiente Organizacion Panamericana de la Salud, Organizacion Mundial de la Salud Peru 2002

ROMERO ROJAS Jairo Alberto Lagunas de Estabilizacion de Aguas Residuales Editorial Escuela Colombiana de Ingenieria Colombia 2005 p 23-24 99-102 110

ROMERO, Jairo Profesional EMSET Diagnostico y Diseño Para Mejorar las Condiciones de Tratamiento de Aguas Residuales del Municipio de Tauramena 2008

RONZANO Eduardo DAPENA, Jose Luis Tratamiento Biologico de las Aguas Residuales Ediciones Diaz de Santos S A España 2005 p 311-325

SEOANEZ CALVO Mariano Aguas Residuales Tratamiento por Humedales Artificiales Primera Edicion Editorial Mundo Prensa España 1999 p 177-184

SGRAGG A Biotecnologia Medioambiental Editorial Acribia S A España 2001, p 58-59

SPELLMAN Frank Manual del Agua Potable Editorial Nautica com España 2009 p 97-99

SPIRO, Thomas G STIGLIANI William M Quimica Medio Ambiental Editorial Pearson Educacion S A España 2004 p 345-350

TORRES LEAZA Fernando Manual de Gestion e Ingenieria de la Calidad España 2002 p 311-312

TORRES CARRANZA E Reutilizacion de aguas y lodos residuales Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS Lima Peru 2004 Disponible en <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/lodos.pdf>

VALENZUELA CALAHERRO Cristobal Quimica General Ediciones Universidad de Salamanca España 1995 Primera Edicion

ZAMBRANO D VILLARREAL C GALVIS A SILVA J P Analisis de Ciclo de Vida en Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Seminario Prevencion y Control de la Contaminacion del Recurso Hidrico Cali Colombia 2007 Disponible en <http://www.univalle.edu.co/~cinarauv/archivos/pdf/97.pdf>

## ANEXOS

### Anexo 1 –

Tabla A Características del agua que ingresa y sale del STAR

| Parametro        | P/entrada      | P/salida       | Norma maxima para vertimientos<br>DAMA 1074/97 | Eficiencia de remocion promedio |
|------------------|----------------|----------------|------------------------------------------------|---------------------------------|
| Grasas y aceites | 9 36 mg/l      | 6 63 mg/l      | 100 mg/l                                       | 29%                             |
| DBO              | 217 33 mg O2/l | 78 33 mg O2/l  | 1000 mg/l                                      | 64%                             |
| DQO              | 435 40 mg O2/l | 194 47 mg O2/l | 2000 mg/l                                      | 55%                             |
| OD               | 0 07 mg O2/l   | 1 38 mg O2/l   |                                                | Baja                            |
| Solidos totales  | 413 67 mg/l    | 246 83 mg/l    | 800 mg/l                                       | 40%                             |

Fuente EMSET 2010

Tabla B Comparativo de afectacion de la fuente receptora

| Parametro        | P/ aguas arriba | P/aguas abajo | Alteracion de la fuente |
|------------------|-----------------|---------------|-------------------------|
| Grasas y aceites | 4 81 mg/l       | 6 63 mg/l     | SI                      |
| DBO              | 12 16 mg/l      | 32 00 mg/l    | SI                      |
| DQO              | 40 96 mg O2/l   | 82 11 mg O2/l | SI                      |
| OD               | 5 14 mg O2/l    | 3 79 mg O2/l  | SI                      |
| Solidos totales  | 53 33 mg/l      | 127 33 mg/l   | SI                      |

Fuente EMSET 2010

**Anexo 2. Fotografías del sistema de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Tauramena Casanare.**

**Foto 1 Caja de entrada de los dos emisarios finales**



Fuente EMSET 2010.

**Foto 2 estructura de entrada de caudales**



Fuente EMSET 2010.

Foto 3 vista general cribado y desarenador



Fuente EMSET 2010.

Foto 4 rejillas para cribado de limpieza manual.



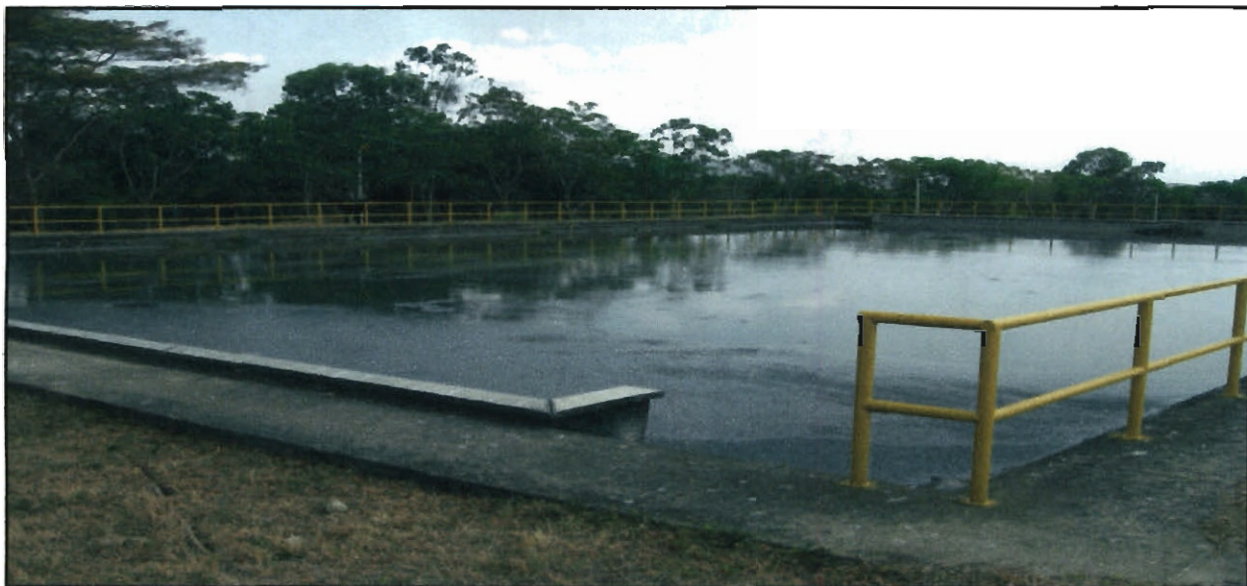
Fuente EMSET 2010.

Foto 5 Rejillas para cribado de aguas de exceso



Fuente EMSET 2010.

Foto 6. Laguna anaeróbica.



Fuente EMSET 2010.

Foto 7. Canal de salida Laguna anaeróbica



Fuente EMSET 2010.

Foto 8. Lagunas facultativas con sistemas de aireación sin funcionar



Fuente EMSET 2010.