EVALUACION PRELIMINAR DE LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE ARAUCA

ANGELICA MARIA MOLINA
JANETH LILIANA TIGREROS GUTIERREZ

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE ARAUCA
INGENIERIA AMBIENTAL
ARAUCA
2005

EVALUACION PRELIMINAR DE LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE ARAUCA

ANGELICA MARIA MOLINA GIRALDO
JANETH LILIANA TIGREROS GUTIERREZ

TRABAJO DE INVESTIGACION

MARIO E. AYALA TRIANA
ING. AGRICOLA
ESPECIALESTA EN INGENIERIA AMBIENTAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE ARAUCA
INGENIERIA AMBIENTAL
ARAUCA
2005

Nota de aceptación

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Arauca, Mayo del 2005

A mi Madre ya que con su incansable lucha me brindo la oportunidad de superarme, a mis abuelitos ya que fueron quienes me enseñaron a luchar y no dejarme rendir por nada, a mis hermanos, a mis tías por su colaboración y en especial a Dahian Isabella, mi hija por ser el regalo mas grande y lindo que Dios me ha otorgado.

Janeth Liliana Tigreros Gutiérrez

A la persona que más admiro, Mi madre: Edilma Rocío, quien me ha enseñado que en la vida hay que asumir retos , ha inculcado en mí los valores que me han hecho crecer como persona, y es ella quien me anima cada día a luchar incansablemente sin importar tropiezos, por alcanzar mis metas. A mis hermanos y amigos, sin su apoyo no hubiese sido posible la realización de este sueño.

Angélica María Molina Giraldo

AGRADECIMIENTOS

A los funcionarios y operarios de EMSERPA que nos suministraron información acerca del sistema de tratamiento de aguas residuales municipal, además por brindarnos su colaboración cuando lo necesitamos.

Al Ingeniero Mario Eduardo Ayala, quien nos asesoró y apoyo a lo largo de esta investigación.

A la Profesora Margoth Torres de Rubio por recalcarnos siempre el valor de la constancia.

A todos los profesores de la Universidad Nacional de Colombia Sede Arauca por contribuir en nuestra formación personal y académica.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION 1

1 OBJETIVOS 3
1.7 1.1 GENERAL 3
1.8 1.2 ESPECIFICOS 3
2 JUSTIFICACIÓN 4
3 EL SISTEMA DE TRATAMIENTO 6
3.1 3.1 ANTECEDENTES 6
3.2 7
3.3 3.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO 7
3.4 3.3 DESCRIPCIÓN DEL ESTADO FISICO 8
3.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL PREDIO 8
3.3.2 ESTRUCTURA DE ENTRADA 9
3.3.3 LAGUNA ANAERÓBICA 10
3.3.4 LAGUNAS FACULTATIVAS PRIMARIA Y SECUNDARIA 11
3.3.5 LAGUNA DE MADURACIÓN 12
3.3.6 ESTRUCTURA DE SALIDA 13
3.5 3.4 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO 14
3.6 3.5 LOCALIZACION 14
3.7 14
3.8 14
3.9 3.6 DISEÑO Y CARACTERISTICAS FISICAS 14
3.6.1 POBLACIÓN 14
1.6.2 TRATAMIENTO 18
4 MARCO LEGAL 23
5 MARCO TEORICO 25
5.1 3.1 AGUAS RESIDUALES 25
5.2 3.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES 25
3.2.1 HISTORIA 26
3.2.2 TRANSPORTE DE LAS AGUAS RESIDUALES 27
5.3 3.3 NATURALEZA DE LAS AGUAS RESIDUALES 29
3.3.1 ORIGEN Y CANTIDAD 29
3.3.2 COMPOSICIÓN 30
5.4 3.4 CARACTERISTICAS DE EFLUENTES EN LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION 32
5.5 3.5 REACTORES 32
3.5.1 TIPOS DE REACTORES 33
3.5.1.1 Reactor de flujo continuo y mezcla completa 34

3.5.1.2 Reactor de flujo en piston 35
5.6 3.6 SÓLIDOS 35
3.6.1 TRATAMIENTO DE LOS SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN 36
3.6.2 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS, MÉTODO ESTÁNDAR. 38
5.7 TAMICES 39
6 METODOLOGIA 46
6.1 4.1 DISEÑO METODOLOGICO OPERACIONAL 46
4.1.1 RECONOCIMIENTO DEL ÁREA DE TRABAJO 47
4.1.2 REVISIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE 47
4.1.3 SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO 47
6.2 4.2 MONITOREO 48
4.2.1 FECHAS DE MONITOREO 48
4.2.2 DETERMINACIONES IN SITU 48
4.2.3 RECIPIENTES UTILIZADOS PARA EL MONITOREO 48
4.2.4 PRESERVACIÓN, ALMACENAMIENTO Y ENVÍO DE LAS MUESTRAS 48
6.3 49
6.4 4.3 ANÁLISIS DE LABORATORIO 49
6.5 PARÁMETROS ESTADÍSTICOS 50
6.6 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS 51
6.7 CAUDAL 51
7 RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS 52
7.1 5.1 PARAMETROS IN SITU 52
5.1.1 PH 52
5.1.2 TEMPERATURA 55
7.1.1.1 Temperatura ambiente 55
7.1.1.2 Temperatura muestras 55
7.2 5.2 CAUDAL 58
7.3 5.3 SÓLIDOS SUSPENDIDOS 70

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 78

BIBLIOGRAFIA 83

LISTA DE TABLAS

Tabla 3-1 *Registros históricos de población* ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 3-2. POBLACIÓN AÑO 2005..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla ***3-3 Tasas de crecimiento en el departamento de Arauca.***.....**¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 3-4 Usuarios del servicio de alcantarillado a Diciembre del 2004.....**¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 3-5 Barrios que vierten sus aguas a la fase I del alcantarillado. ....**¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 3-6: Barrios que vierten sus aguas a la fase II del alcantarillado .....**¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 5-1 Tipos de sólidos que componen las aguas residuales......**¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 5-2 *Fuentes y métodos de corrección de los aportes incontrolados.* ....**¡Error! Marcador no definido.**
*Tabla 5-3 Datos de diseño de tamices de malla de alambre***¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 6-1 Métodos Analíticos aplicados en el presente trabajo. .....**¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 7-1: pH entrada sistema de tratamiento..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 7-2 *Datos de pH registrados durante los monitoreos a la Salida del Sistema de Tratamiento. 7:30 y 12:30* ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 7-3 Temperatura de las muestras vertedero de entrada a las lagunas ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 7-4 ***: CAUDAL EFLUENTE HORARIO, REGISTRADO DURANTE LOS DIAS MUESTREADOS: 18 AL 27 DE ABRIL.***..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 7-5 Registro Caudal 18/Abril/2005..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 7-6 Registro Caudal 19/Abril/2005..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 7-7 ***Datos de sólidos suspendidos registrados durante los monitoreos a la entrada del Sistema de Tratamiento. 7:30 a.m y 12:30 p.m***.....**¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 7-8 ***Datos de sólidos suspendidos registrados durante los monitoreos a la salida del Sistema de Tratamiento. 7:30 a.m y 12:30 p.m*****¡Error! Marcador no definido.**

INTRODUCCION

Las aguas residuales y su tratamiento son hoy un tema que atrae cada vez más la atención de la comunidad de ingenieros que trabajan con el medio ambiente; Esto debido a que cada vez, los grados de contaminación en el agua y su escasez son mayor, razón por la cual, se busca hacer un uso más eficiente del recurso agua a través del tratamiento de sus descargas.

La contaminación del agua es conocida como la incorporación de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos como aguas residuales.
"Las Aguas residuales son las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportadas mediante el sistema de alcantarillado".

La utilización de lagunas de estabilización para el tratamiento de las aguas residuales en el Municipio de Arauca es una buena opción, puesto que se posee una buena ubicación geográfica, disponibilidad de terrenos, abundante brillo solar y bajos costos de operación.

El municipio de Arauca cuenta en la actualidad con un sistema natural de tratamiento de aguas residuales domésticas, consistente en Lagunas de Estabilización de tipo anaeróbico, facultativo y de maduración, las cuales presentan problemas de acumulación de sedimentos debido a la alta presencia de lodos y arenas arrastradas.

Con esta investigación se pretende evaluar la remoción de sólidos suspendidos en el sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Arauca,

Para el desarrollo de este proyecto se tomaron dos estaciones de muestreo: uno a la entrada y otro a la salida del sistema de tratamiento. Se hicieron (20) veinte muestreos en cada estación, a las 7:30 a.m. y a las 12:30 p.m. por 10 días, para un total de 40 muestras tomadas. La determinación de sólidos suspendidos se hizo por medio de Laboratorios ANTEK S.A. en la ciudad de Bogotá, como complemento del trabajo de campo se tomaron datos in situ de temperatura del agua y ambiente y pH.

Se tuvo especial cuidado con esta parte del trabajo: La toma de muestras, ya que el muestreo de las aguas residuales, constituye uno de los aspectos fundamentales en toda evaluación de la contaminación del recurso hídrico, puesto que muestreos incorrectos producen resultados incoherentes que llevan a análisis errados.

Con el desarrollo de este proyecto se está aportando valiosa información sobre la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos en este sistema de tratamiento, también sobre la importancia y efectos que pueden ocasionar dichos contaminantes.; al mismo tiempo servirá para tener en cuenta en el diseño y construcción de nuevos sistemas de tratamiento en la región y en lugares con características similares.

1 OBJETIVOS

1.1 GENERAL

- Evaluar la remoción de sólidos suspendidos en el sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Arauca.

1.2 ESPECIFICOS

- Determinar el contenido de sólidos suspendidos en la entrada y en la salida del sistema de tratamiento de aguas residuales.

- Determinar si se genera impacto negativo o no en el río Arauca, en cuanto al contenido de sólidos suspendidos por la entrega de las aguas de las lagunas; teniendo en cuenta el Decreto 1594/84 Art. 72 del Ministerio de Agricultura.

- Proporcionar un punto de referencia para investigaciones futuras, o para nuevos sistemas de tratamiento.

2 JUSTIFICACIÓN

Las aguas residuales se encuentran presentes por todo el mundo, en forma de productos de las actividades diarias a nivel industrial y doméstico. Las labores domésticas contaminan el agua, sobre todo, con residuos fecales y detergentes. Los trabajos agrícolas y ganaderos pueden producir una contaminación muy grave de las aguas de los ríos y otros cuerpos de agua, debida sobre todo a los vertidos de aguas cargadas de residuos orgánicos.

El agua residual industrial es muy variable tanto en composición como en caudal y presenta parámetros contaminantes como: DBO, DQO, Sólidos en suspensión, Aceites y grasas, Metales pesados.

Estos productos residuales de dichas actividades, suponen una serie de riesgos para el medio ambiente (contaminación) y para los humanos (enfermedades).

El impacto de esta agua puede variar ampliamente, puesto que las fuentes de agua residual son múltiples y el medio es complejo y variable.

Por ello, se ha progresado en el empleo de técnicas de tratamiento de este recurso, implementando cada vez técnicas más eficientes, para producir efluentes de gran calidad.

Al mismo tiempo se han restringido los límites permisibles de vertimiento, con el fin te evitar impactos negativos a los cuerpos de agua.

Ante toda esta problemática, han surgido iniciativas orientadas a frenar estos procesos de desequilibrio y deterioro del medio ambiente, y es así que se establecen algunas estrategias de planificación y manejo sostenible de carácter internacional, nacional, regional y local.

El Ministerio de Salud, teniendo en cuenta la problemática existente a nivel nacional, expide el Decreto 1594/84 el cual reglamenta el tratamiento y vertimiento de las aguas residuales.

Las autoridades municipales, como entes que ejercen vigilancia y control, deben obligatoriamente con recursos propios o gestionados ejecutar planes, programas y proyectos para atender la problemática local y controlar la contaminación ambiental producida por el vertimiento de aguas residuales en lugares no apropiados.

El Municipio de Arauca cuenta con un sistema de tratamiento que comprende 6 lagunas, de tipo anaeróbico, facultativo y de maduración, las cuales deberían ser evaluadas frecuentemente con el fin de saber como es el comportamiento de cada uno de los parámetros de importancia en las aguas residuales, y de esta forma garantizar la salud pública de los habitantes del municipio. Pero en la actualidad no se realizan frecuentemente tales análisis, en lo que va de este año no se ha llevado a cabo monitoreos con el fin de saber como está funcionando la remoción de tales parámetros; siendo Emserpa el encargado de velar por el adecuado funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio.

Es por ello que se hace necesario realizar una Evaluación Preliminar de la Remoción de Sólidos Suspendidos en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales del Municipio de Arauca, ya que con el desarrollo de este proyecto se estaría aportando valiosa información sobre el comportamiento de los sólidos suspendidos.

3 EL SISTEMA DE TRATAMIENTO

3.1 ANTECEDENTES

La cuidad de Arauca se encuentra localizada en el Departamento de Arauca, ubicada a 7º 0.5' de latitud Norte y 70º 45' de longitud al Oeste de Greenwich, altura 125 m.s.n.m. Temperatura media 30ºC, precipitación media anual: 1258mm. Limita al Norte y Oriente con la República Bolivariana de Venezuela, por el Sur y Occidente con Arauquita, Cravo Norte y Puerto Rondón.

Antes de 1990 el agua residual del municipio era tratada mediante pozos sépticos residenciales, que eran desocupados por la empresa EMPOARAUCA, por medio de carro tanques el agua cruda era transportada hacia una laguna cercana al puente internacional José Antonio Páez,

Durante el gobierno del entonces alcalde Julio Enrique Acosta B. (1987 -1990) preocupado por la explosión demográfica, producido por la bonanza petrolera, se hizo necesario la construcción de la primera fase del acueducto, alcantarillado y del sistema de tratamiento de aguas residuales, ya que las aguas servidas ocasionaban problemas de salud pública, malos olores y degradación del paisaje urbano.

El consorcio PTI procedió a realizar los diseños de las redes y la construcción de las lagunas de oxidación de los cuales no existen memorias de su diseño.

El alcantarillado y las lagunas fueron construidos en dos etapas:

Primera etapa: se construyeron las redes de la primera fase para la recolección de las aguas residuales para el casco urbano que existía a la época, se hicieron dos lagunas para el tratamiento del agua recolectada.

Segunda etapa: durante el gobierno del alcalde Marcos Ataya (1995 - 1997) fue contratada la firma PTI para que hiciera el estudio de la segunda fase del alcantarillado para los nuevos usuarios que se habían asentado hasta este año y la ampliación de las lagunas de oxidación de dos a seis lagunas de las cuales según el diseño, tres son anaeróbicas y tres facultativas.

Desde la construcción de la primera fase hasta hoy el servicio ha sido administrado por la Empresa de Servicios Públicos de Arauca (EMSERPA) empresa del estado.
Actualmente funciona con una Laguna Facultativa Primaria, una Laguna Facultativa Secundaria, una Laguna Anaeróbica, y una de Maduración.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

En el alcantarillado de Arauca las aguas llegan a dos estaciones de bombeo, de estas estaciones se desaloja mediante bombeo a las lagunas de tratamiento, hay tres lagunas facultativas y tres lagunas de oxidación. A la entrada del sistema de tratamiento hay dos vertederos de 90º para medir el fujo de caudal***, (Ver Foto 3-1)*** a la salida hay una caja que recibe el rebose y finalmente pasa a una tubería que conduce el vertimiento al río Arauca.

Foto 3-1*: Vertedero triangular a la Entrada del sistema de tratamiento*

Fuente: Angélica Mª Molina

3.3 DESCRIPCIÓN DEL ESTADO FISICO

Durante visita de campo al predio donde funciona actualmente la PTAR se pudo evidenciar que las diferentes estructuras presentan algunos problemas o deficiencias en cuanto a su funcionamiento o construcción, las cuales se describen a continuación:

3.3.1 Características del predio

De acuerdo con el RAS 2000, los aspectos que deben considerarse en la ubicación de la planta son los siguientes:

- Disponibilidad de la tierra (precio e impuestos).
- Investigación geotécnica previa para establecer la condición geológica del sitio (estrato del subsuelo y monitoreo de las aguas subterráneas).

- Selección del sitio donde el agua puede circular por gravedad desde el municipio hasta la planta, en último caso por bombeo.
- Selección de un sitio cercano a un lugar donde pueda tomarse la energía eléctrica y/o un sitio de depuración (manejo de lodos facilitado).
- Establecer las condiciones climáticas del sitio.
- El acceso motorizado a la planta debe ser posible (carros y camiones).

El sistema de Lagunas de Estabilización cuenta con ingresos en carretera destapada y en buen estado, con vías de acceso propio, no se han definido las vías de circulación interna, por lo que resulta dispendiosa cualquier operación por causa de daños en la estabilidad de los taludes. ***Ver Foto 3-2***

Foto 3-2 Vía de acceso a las Lagunas de oxidación. Municipio de Arauca

Fuente: Liliana Tigreros

3.3.2 Estructura de Entrada

La estructura de entrada consiste en una cámara a la cual llega el emisario final de las estaciones de bombeo La Unión y Meridiano 70 y que a su vez cumple la función de repartir los caudales proporcionalmente para las dos entradas que posee la laguna anaeróbica.

3.3.3 Laguna Anaeróbica

Debido a la ausencia de un desarenador, la Laguna Anaeróbica presenta problemas de acumulación de sedimentos, especialmente en la zona de entrada, hasta el punto que los mismos sobresalen por encima del nivel del agua y se ha formado un pequeño "islote", en el cual ya comienza a desarrollarse la vegetación, y la acumulación significativa de lodo, lo cual afecta el normal funcionamiento de la laguna. ***Ver Foto 3-3***

Foto 3-3: Islote formado por la acumulación de lodo y material vegetal.

Fuente: Angélica Mª Molina

La empradización existente entorno a las Lagunas, requiere planes de reforestación y manejo del entorno paisajístico. Adicionalmente, cuando se lleva a cabo la poda de los prados, el material de corte termina por caer dentro de la laguna, constituyéndose en un aporte adicional de material orgánico y afectando estéticamente la laguna.

Las dimensiones de la laguna son:

Área superficial mojada = 3.583 Ha

Profundidad = 3.00 m

Área de fondo = 2.873 Ha

Volumen real = 96.843,31m^3

Tiempo de retención = 10 días

Fuente: Secretaría de Obras Públicas Municipal

3.3.4 Lagunas Facultativas primaria y secundaria

El aspecto conocido técnicamente como eutrofización, el cual se caracteriza por el rápido crecimiento de la vegetación en los cuerpos de agua, afecta de manera grave el funcionamiento de las Lagunas de Estabilización, ya que la vegetación va invadiendo de manera gradual la laguna, reduciendo su volumen efectivo y propiciando las condiciones anaeróbicas debido a la descomposición del material vegetal. ***Ver Foto 3-4***

Foto 3-4: **Laguna facultativa primaria.**

Fuente: Liliana Tigreros

La coloración verde intensa es indicador de buen funcionamiento de las lagunas facultativas; no obstante, debido a los fenómenos ya mencionados, se ha

empezado a detectar la presencia de algas verde azuladas y rojas que tienen efectos negativos por su menor productividad y tendencia a la formación de agregados que impiden la correcta iluminación de las lagunas.[1]
Al igual que la Laguna Anaeróbica, las Lagunas Facultativas presentan, aunque en menor grado, acumulación de lodos en el fondo.

Las dimensiones de las lagunas son:
Área de superficie mojada = 6,518 Ha
Profundidad = 1.10 m
Área de fondo = 6,183 Ha
Volumen real = 69.859,41 m^3
Tiempo de retención = 7 días

3.3.5 Laguna de Maduración

La laguna de Maduración presenta un crecimiento excesivo de biomasa (algas verdes) y material vegetal debido a la presencia de puntos muertos o de menor movimiento de la masa de agua, por la extensión de los tubos de entrada mas de 2 mts del borde de la laguna, lo cual se evidencia con mayor claridad en la estructura de salida, donde el efluente presenta una coloración verde intensa, lo cual contrasta de manera significativa con la coloración del agua del cuerpo receptor. ***Ver Foto 3-5***

[1] Fuente: EMSERPA. Diagnostico del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales del Municipio de Arauca – Departamento de Arauca

Foto 3-5: Laguna de Maduración.

Fuente: Angélica Mª Molina

3.3.6 Estructura de Salida

El efluente de la Laguna de Maduración es conducido por medio de colectores por rebose y es unido a una caja de distribución la cual alimenta dos tuberías de 16" hasta su descarga en el río Arauca. ***Ver Foto 3-6***

Foto 3-6*: Caja de Distribución.*

Fuente: Liliana Tigreros

3.4 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

El sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Arauca, no cuenta con personal capacitado de planta que se responsabilice por el funcionamiento del sistema, lo cual interfiere en el normal funcionamiento de las lagunas de estabilización.
Las firmas que se hicieron cargo del diseño y construcción no dejaron memorias técnicas de operación y funcionamiento del sistema como tal.

3.5 LOCALIZACION

El Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales del Municipio de Arauca, se encuentra localizado a **1.3** kilómetros del casco urbano, al Noreste, en la vereda Monserrate sobre la vía que conduce al Puente internacional JOSÉ ANTONIO PÁEZ. Recibe el agua proveniente de la mayor parte del Municipio, y descarga el efluente al Río Arauca.

3.6 DISEÑO Y CARACTERISTICAS FISICAS

3.6.1 Población

Según la información contenida dentro del Esquema de Ordenamiento Territorial, los datos históricos manejados y suministrados por el DANE, la población según el DANE 1999 – PBOT esta reportada en 53.654 habitantes.

El municipio presenta índices de crecimiento porcentual según reporte del DANE de 3.02% media anual. Las cifras que se manejan no son suficientes para establecer un comportamiento y difieren entre sí según la entidad que origina la información, por consiguiente es difícil determinar con exactitud el crecimiento real y las tendencias en el aumento de la población.

Las características económicas de Arauca, en especial por la industria petrolera, han influido decisivamente en el crecimiento de la población a causa de los procesos migratorios[2]. Se observa una tasa de población flotante, con tendencia al decrecimiento y que se establece en 1.230 habitantes (Hospital Local), o sea el 9.5% del total Urbano y un 6% del Total general. Contrasta con las cifras de 1997 de 4.210, para un 26% de la población Urbana.

La proyección de crecimiento se plantea para los próximos años, a una tasa de 3.1 teniendo en cuenta las dinámicas y tendencias poblacionales de los últimos años, la actividad económica y las estadísticas y proyecciones de la Secretarias de Salud, de Gobierno y la Oficina de Planeación.

Los registros históricos provenientes del Departamento Nacional de Estadística – DANE, la población reportada en censos anteriores fue:

Tabla 3-1 ***Registros históricos de población***

AÑO	URBANA
1993	38916
1999	53564

FUENTE: DANE

La población actual proyectada según el DANE, tomado de la página Web www.dane.gov.co, es para el año 2005 (Ver Tabla 1.2.)

Tabla 3-2. POBLACIÓN AÑO 2005

Total	Cabecera	Resto
90.548	68.981	21.567

FUENTE: DANE Colombia.

[2] *ORSTOM 1998 Movilidad Espacial en ciudades en zonas de expansión. . CEDE- Universidad de los Andes.*

Con base en lo anterior, se adopta como población base para el presente estudio, un total de **68.981** habitantes en el área urbana para el año **2005** (Como lo ilustra la tabla 1-2).

La proyección de crecimiento se plantea para los próximos años, a una tasa de 3.02 teniendo en cuenta las dinámicas y tendencias poblacionales de los últimos años, la actividad económica y las estadísticas y proyecciones de la Secretaría de Salud, de Gobierno y la Oficina de Planeación.

Tabla 3-3 Tasas de crecimiento en el departamento de Arauca.

Población y tasas de crecimiento media anual, según departamentos. 1999 y 1995 - 2015							
	Población Quinquenal						**Tasa de crecimiento media anual**
Departamento	**1999**	**1995**	**2000**	**2005**	**2010**	**2015**	**(por cien)**
Arauca	232.013	198.720	240.190	281.435	323.508	363.903	3,02

Fuente www.dane.gov.co

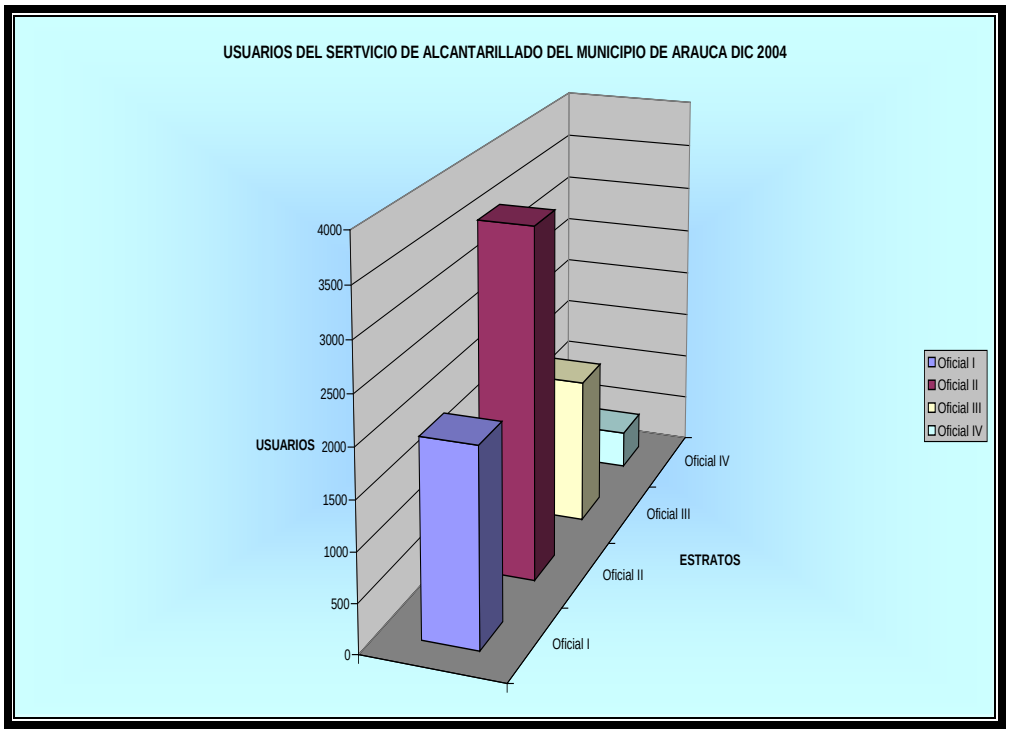
Actualmente el sistema de alcantarillado cuenta con 7986 usuarios distribuidos entre los diferentes estratos oficiales y comerciales. (*Como lo ilustra la Tabla 3.4)*

Tabla 3-4 Usuarios del servicio de alcantarillado a Diciembre del 2004

Sector	Estratos	Usuarios	%
Oficial	I	1992	25 %
	II	3610	45 %
	III	1513	19 %
	IV	391	5 %
Comercial	VII	115	1 %
	VIII	365	5 %
TOTAL	-	**7986**	**100**

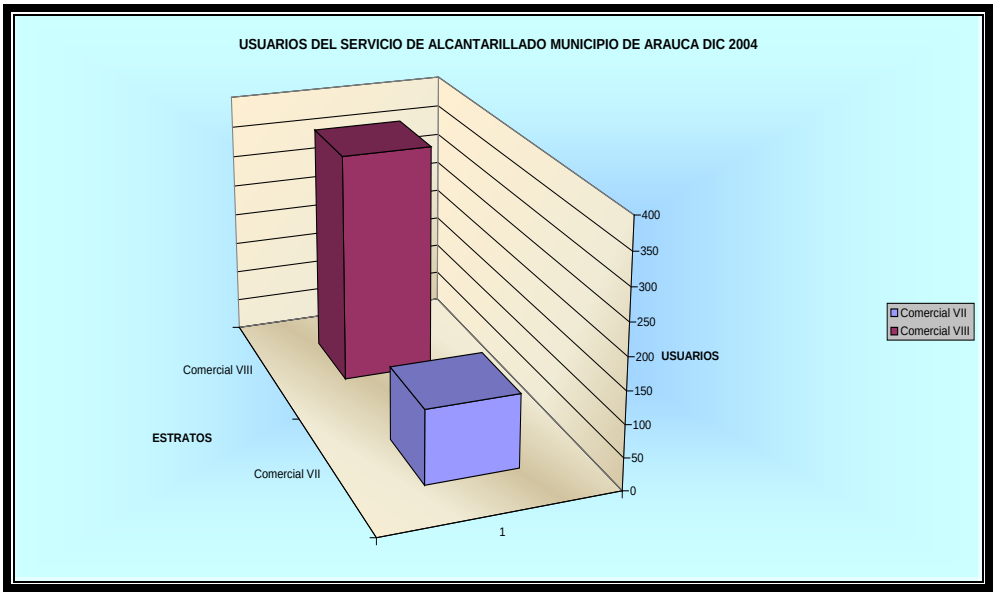
Fuente: EMSERPA E.S.P

Figura 3-1 Usuarios servicio de alcantarillado sector oficial Dic 2004



Fuente: EMSERPA E.S.P

Figura 3-2 Usuarios servicio alcantarillado sector comercial Dic 2004



Fuente: EMSERPA E.S.P

3.6.2 Tratamiento

El sistema de tratamiento consta de dos estaciones de bombeo, la fase uno y la fase dos.[3]

Las aguas residuales salen de las casas hacia la caja de recolección donde es conducida a través de tubería PVC de ϕ 6" hacia el tubo PVC madre de ϕ 12", y hace su recorrido hasta la estación principal de bombeo para ser impulsada a las lagunas de oxidación. Todo este proceso ocurre por gravedad en la fase uno.

Para la fase dos el agua sale hasta el tubo madre donde va ha ser conducida por gravedad hasta las estaciones de relevo para ser bombeadas hasta la estación principal de bombeo y luego impulsarlas a través de bombas sumergibles hasta la laguna de oxidación.

Fase uno: La estación de la fase uno se localiza en el Barrio Unión sobre la avenida Leoni Valencia, esta cuenta con dos bombas sumergibles (flygh), con un caudal de diseño de 150 L/s y 75 HP cada una, su tubería de impulsión es de un diámetro ϕ 20". Y recibe las aguas de los barrios del centro de la ciudad.

Ver Tabla 3-5

[3] Fuente: Tesis Universidad Nacional de Colombia: EVALUACION PRELIMINAR DE LA REMOCION DE COLIFORMES FECALES EN LA SEXTA LAGUNA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE ARAUCA. Por: Rodríguez Franklin. Pág.21 Arauca - 2004

Tabla 3-5 Barrios que vierten sus aguas a la fase I del alcantarillado.

	Barrio
Colector principal	Córdoba
	San Luis
	Libertadores
	Cristo Rey
	San José
	Santa fe
	Santa fesito
	Miramar
	Miramar Frontera
	Unión
	Americas
	La esperanza
	Corocoras
	7 de Agosto
	Cabañas
	20 julio
	1° de mayo
	Santa teresita
	Ciudad jardín

Foto 3-7 Estación de bombeo Barrio Unión

Fuente: Angélica Mª Molina

Fase dos: esta estación cuenta con tres subestaciones de relevo ubicadas en distintos sectores estratégicos una en las chorreras, otra en el cementerio y la última en la brigada XVIII, cada subestación cuenta con bombas sumergibles tipo "flygh" de 34 HP, 34 HP y 8.3 HP respectivamente estas impulsan el agua residual hasta la segunda estación de bombeo ubicada en el barrio meridiano 70, esta cuenta con tres bombas sumergibles "flygh" dos de 150 L/s, y 75 HP y una de 40 L/s, su tubería de impulsión consta de dos tubos de diámetro ϕ 12". Y recibe las aguas de los barrios periféricos de la ciudad. ***(Ver tabla3-6)***

Estos tres tubos de impulsión transportan el agua cruda hacia la cámara de llegada donde es aforada por dos vertederos triangulares de 90°, después de pasar por los vertederos es transportada por dos tubos de diámetro ϕ 24" hasta la primera laguna anaerobia.

Tabla 3-6: Barrios que vierten sus aguas a la fase II del alcantarillado

Estación de relevo	Barrios
Chorreras	Villa Maria
	Pedro Nel Jiménez
	12 octubre
	1° de enero
	Porvenir
	Triunfo
	Villa San Juan
	Flor amarillo
	Sabanales
	Ohiti
	Villa cecilia
	El paraíso
Cementerio	Fundadores
	Olímpico
	Granja
	Terpel
	Villa del Maestro

	Villa del Prado
Brigada	Flor de mi Llano alto
	Flor de mi Llano bajo
	Trompillo
	Aeropuerto
	Brigada XVIII
Tubo principal	Santa Bárbara
	San Carlos
	Araguaney
	El Chircal
	Bosque club

Foto 3-8: Estación de bombeo cementerio

Fuente: Liliana Tigreros

El paso de la primera laguna anaerobia a la segunda, de la segunda a la tercera, de la tercera a la cuarta esta dado por un tubo PVC de diámetro de ϕ 20", el paso de la cuarta laguna a la quinta, de la quinta a la sexta se da por medio de canal de 1.10 m de profundidad y 74 m de ancho.

La estructura de salida consta de un vertedero circular de diámetro ϕ 3 m, y una tubería de descarga al rió Arauca con una longitud de 300 m y diámetro ϕ 24” en tubería de Gres.

4 MARCO LEGAL

El sustento jurídico que apoya la realización de este trabajo se basa en las normas ambientales sobre manejo, tratamiento y vertimiento aguas residuales, enmarcados no solamente en la legislación Colombiana sino también en acuerdos y convenios a nivel internacional, todos estos tendientes a regular el actuar de las instituciones o empresas encargadas del control y tratamiento de las aguas residuales.

A nivel internacional se puede mencionar la convención de Estocolmo en donde se promulga el principio “EL hombre tiene derecho fundamental a un medio de calidad tal que le permita llevar una vida digna y gozar de bienestar...” En Colombia, existen leyes que establecen claramente medidas sobre el control de la contaminación y de vertimientos, a su vez dentro del PLAN BASICO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE ARAUCA, se dictan las estrategias para el ordenamiento territorial con el fin de garantizar el logro de los objetivos de desarrollo ambiental. Dichas estrategias y leyes se mencionan a continuación:

Ley / plan	Establece
PLAN ESTRATÉGICO DE DESARROLLO ECONÓMICO, SOCIAL Y DE OBRAS PÚBLICAS 2004 – 2007 MUNICIPIO DE ARAUCA PROGRAMA 1: Protección, conservación y uso racional del recurso hídrico. Subprograma 3: Manejo de aguas y control de vertimientos de aguas servidas.	Proyecto 4: Control de vertimiento de aguas servidas. Descripción: Limpieza y destaponamiento de cunetas y canales e identificación de las viviendas que no tengan el sistema de aguas negras conectado al alcantarillado municipal, para tomar las medidas respectivas de control. Objetivo: Controlar la contaminación ambiental producida por el vertimiento de aguas negras en lugares no apropiados.
LEY 99 DEL 22 DE DICIEMBRE DE 1993.(Reglamentada parcialmente por el Decreto 948 de 1995).	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS - 2000 SECCION II TÍTULO E TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	El propósito de este título es fijar los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales que se desarrollen en la República de Colombia.
LEY NÚMERO 99 DE 1993 (Diciembre 22) TÍTULO VII De las rentas de las corporaciones autónomas regionales	Tasas retributivas y compensatorias. La utilización directa o indirecta de la atmósfera, del agua y del suelo, para introducir o arrojar desechos o desperdicios agrícolas, mineros o industriales, aguas negras o servidas de cualquier origen, humos, vapores y sustancias nocivas que sean resultado de actividades antrópicas o propiciadas por el hombre, o actividades económicas o de servicio, sean o no lucrativas, se sujetará al pago de tasas retributivas por las consecuencias nocivas de las actividades expresadas.
DECRETO 1594 DEL 26 DE JUNIO DE 1984 Ministerio de Salud	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.
RESOLUCION 273 DEL 1 DE ABRIL DE 1997 Ministerio del Medio Ambiente	Por la cual se fijan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos para los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST).
DECRETO NÚMERO 302 DE 2000 Febrero 25	Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, en materia de prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado".

5 MARCO TEORICO

5.1 AGUAS RESIDUALES

Se denomina agua residual a la mezcla de residuos líquidos y sólidos originados en los hogares, centros comerciales, instalaciones industriales e instituciones publicas, junto con cualquier agua que pueda penetrar en el sistema de alcantarillado, ya sea proveniente de infiltraciones del subsuelo, agua de escorrentía o , procedente de la red de aguas pluviales .[4]

5.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Como mínimo, se requiere tratar los sólidos en suspensión y la materia orgánica disuelta. Pueden ser necesarios procesos especiales para conseguir la eliminación de algunos contaminantes concretos, como el fósforo a partir de sus fuentes urbanas o los metales pesados procedentes de una fabrica de recubrimientos. La legislación regula los niveles mínimos de tratamiento. Por ejemplo, en Colombia, el tratamiento mínimo para aguas residuales de origen doméstico implica la retirada de las sustancias orgánicas consumidoras de oxígeno y de los sólidos en suspensión. Cualquier otro tratamiento adicional, incluyendo la eliminación de nutrientes, depende de la capacidad de asimilación de la corriente aceptora, y de la reutilización posterior.

Se emplean procesos físicos para eliminar los sólidos en suspensión. Los tamices eliminan los desechos y otros sólidos de gran tamaño, mientras que rejillas aireadas o por gravedad, retiran la materia arenosa; cualquiera de las anteriores puede atascar o interferir con operaciones posteriores de bombeo a algunas operaciones unitarias. La sedimentación

[4] Gregory G. Boardman, Duncan M. Powell, George C. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES. Cap. 6. pag. 61

por gravedad se emplea normalmente para eliminar la materia suspendida de menor tamaño (orgánica). En ocasiones especiales se utiliza centrifugación, flotación por aire disuelto y filtración para eliminar los sólidos en suspensión.

5.2.1 Historia

El Tratamiento de aguas residuales cobró importancia progresivamente desde principios de la década de 1970 como resultado de la preocupación general expresada en todo el mundo sobre el problema, cada vez mayor, de la contaminación humana del medio ambiente, desde el aire a los ríos, lagos, océanos y aguas subterráneas, por los desperdicios domésticos, industriales, municipales y agrícolas.

Los métodos de depuración de residuos se remontan a la antigüedad y se han encontrado instalaciones de alcantarillado en lugares prehistóricos de Creta y en las antiguas ciudades asirias. Las canalizaciones de desagüe construidas por los romanos todavía funcionan en nuestros días. Aunque su principal función era el drenaje, la costumbre romana de arrojar los desperdicios a las calles significaba que junto con el agua de las escorrentías viajaban grandes cantidades de materia orgánica. Hacia finales de la edad media empezaron a usarse en Europa, primero, excavaciones subterráneas privadas y, más tarde, letrinas. Cuando éstas estaban llenas, unos obreros vaciaban el lugar en nombre del propietario. El contenido de los pozos negros se empleaba como fertilizante en las granjas cercanas o era vertido en los cursos de agua o en tierras no explotadas.

Unos siglos después se recuperó la costumbre de construir desagües, en su mayor parte en forma de canales al aire o zanjas en la calle. Al principio estuvo prohibido arrojar desperdicios en ellos, pero en el siglo XIX se aceptó que la salud pública podía salir beneficiada si se eliminaban los desechos humanos a través de los desagües para conseguir su rápida desaparición. Un sistema de este tipo fue

desarrollado por Joseph Bazalgette entre 1859 y 1875 con el objeto de desviar el agua de lluvia y las aguas residuales hacia la parte baja del Támesis, en Londres. Con la introducción del abastecimiento municipal de agua y la instalación de cañerías en las casas llegaron los inodoros y los primeros sistemas sanitarios modernos. A pesar de que existían reservas respecto a éstos por el desperdicio de recursos que suponían, por los riesgos para la salud que planteaban y por su elevado precio, fueron muchas las ciudades que los construyeron.

A comienzos del siglo XX, algunas ciudades e industrias empezaron a reconocer que el vertido directo de desechos en los ríos provocaba problemas sanitarios. Esto llevó a la construcción de instalaciones de depuración. Aproximadamente en aquellos mismos años se introdujo la fosa séptica como mecanismo para el tratamiento de las aguas residuales domésticas tanto en las áreas suburbanas como en las rurales. Para el tratamiento en instalaciones públicas se adoptó primero la técnica del filtro de goteo. Durante la segunda década del siglo, el proceso del lodo activado, desarrollado en Gran Bretaña, supuso una mejora significativa por lo que empezó a emplearse en muchas localidades de ese país y de todo el mundo. Desde la década de 1970, se ha generalizado en el mundo industrializado la cloración, un paso más significativo del tratamiento químico.

5.2.2 Transporte de las aguas residuales

Las aguas residuales son transportadas desde su punto de origen hasta las instalaciones depuradoras a través de tuberías, generalmente clasificadas según el tipo de agua residual que circule por ellas. Los sistemas que transportan tanto agua de lluvia como aguas residuales domésticas se llaman combinados. Generalmente funcionan en las zonas viejas de las áreas urbanas. Al ir creciendo las ciudades e imponerse el tratamiento de las aguas residuales, las de origen doméstico fueron separadas de las de los desagües de lluvia por medio de una red separada de tuberías. Esto resulta más eficaz porque excluye el gran volumen de líquido que representa el agua de escorrentía. Permite mayor flexibilidad en el

trabajo de la planta depuradora y evita la contaminación originada por escape o desbordamiento que se produce cuando el conducto no es lo bastante grande para transportar el flujo combinado. Para reducir costos, algunas ciudades, por ejemplo Chicago, han hallado otra solución al problema del desbordamiento: en lugar de construir una red separada, se han construido, sobre todo bajo tierra, grandes depósitos para almacenar el exceso de flujo, después se bombea el agua al sistema cuando deja de estar saturado.

Las instalaciones domésticas suelen conectarse mediante tuberías de arcilla, hierro fundido o PVC de entre 8 y 10 cm de diámetro. El tendido de alcantarillado, con tuberías maestras de mayor diámetro, puede estar situado a lo largo de la calle a unos 1,8 m o más de profundidad. Los tubos más pequeños suelen ser de arcilla, hormigón o cemento, y los mayores, de cemento reforzado con o sin revestimiento. A diferencia de lo que ocurre en el tendido de suministro de agua, las aguas residuales circulan por el alcantarillado más por efecto de la gravedad que por el de la presión. Es necesario que la tubería esté inclinada para permitir un flujo de una velocidad de al menos 0,46 m por segundo, ya que a velocidades más bajas la materia sólida tiende a depositarse. Los desagües principales para el agua de lluvia son similares a los del alcantarillado, salvo que su diámetro es mucho mayor. En algunos casos, como en el de los sifones y las tuberías de las estaciones de bombeo, el agua circula a presión.

Las canalizaciones urbanas acostumbran a desaguar en interceptadores, que pueden unirse para formar una línea de enlace que termina en la planta de Tratamiento de aguas residuales. Los interceptadores y los tendidos de enlace, construidos por lo general de ladrillo o cemento reforzado, miden en ocasiones hasta 6 m de anchura.

5.3 NATURALEZA DE LAS AGUAS RESIDUALES

El origen, composición y cantidad de los desechos están relacionados con los hábitos de vida vigentes. Cuando un producto de desecho se incorpora al agua, el líquido resultante recibe el nombre de agua residual.

5.3.1 Origen y Cantidad

Las aguas residuales tienen un origen doméstico, industrial, subterráneo y meteorológico, y estos tipos de aguas residuales suelen llamarse respectivamente, domésticas, industriales, de infiltración y pluviales.

Las aguas residuales domésticas son el resultado de actividades cotidianas de las personas. La cantidad y naturaleza de los vertidos industriales es muy variada, dependiendo del tipo de industria, de la gestión de su consumo de agua y del grado de tratamiento que los vertidos reciben antes de su descarga. Una acería, por ejemplo, puede descargar entre 5.700 y 151.000 litros por tonelada de acero fabricado. Si se practica el reciclado, se necesita menos agua.

La infiltración se produce cuando se sitúan conductos de alcantarillado por debajo del nivel freático o cuando el agua de lluvia se filtra hasta el nivel de la tubería. Esto no es deseable, ya que impone una mayor carga de trabajo al tendido general y a la planta depuradora. La cantidad de agua de lluvia que habrá que drenar dependerá de la pluviosidad así como de las escorrentías o rendimiento de la cuenca de drenaje.

Un área metropolitana estándar vierte un volumen de aguas residuales entre el 60 y el 80% de sus requerimientos diarios totales, y el resto se usa para lavar coches y regar jardines, así como en procesos como el enlatado y embotellado de alimentos.

5.3.2 Composición

La composición de las aguas residuales se analiza con diversas mediciones físicas, químicas y biológicas. Las mediciones más comunes incluyen la determinación del contenido en sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), la demanda química de oxígeno (DQO) y el pH.

Los residuos sólidos comprenden los sólidos disueltos y en suspensión. Los sólidos disueltos son productos capaces de atravesar un papel de filtro, y los suspendidos los que no pueden hacerlo. Los sólidos en suspensión se dividen a su vez en depositables y no depositables, dependiendo del número de miligramos de sólido que se depositan a partir de 1 litro de agua residual en una hora. Todos estos sólidos pueden dividirse en volátiles y fijos, siendo los volátiles, por lo general, productos orgánicos y los fijos materia inorgánica o mineral.

La concentración de materia orgánica se mide con los análisis DBO_5 y DQO. La DBO_5 es la cantidad de oxígeno empleado por los microorganismos a lo largo de un periodo de cinco días para descomponer la materia orgánica de las aguas residuales a una temperatura de 20 °C. De modo similar, la DQO es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medio de dicromato en una solución ácida y convertirla en dióxido de carbono y agua. El valor de la DQO es siempre superior al de la DBO_5 porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente. La DBO_5 suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales municipales e industriales biodegradables, sin tratar y tratadas. La DQO se usa para comprobar la carga orgánica de aguas residuales que, o no son biodegradables o contienen compuestos que inhiben la actividad de los microorganismos. El pH mide la acidez de una muestra de aguas residuales. Los valores típicos para los residuos sólidos presentes en el agua y la DBO_5 del agua residual doméstica aparecen en la tabla

adjunta. El contenido típico en materia orgánica de estas aguas es un 50% de carbohidratos, un 40% de proteínas y un 10% de grasas; y entre 6,5 y 8,0, el pH puede variar.

Tabla 5-1 Tipos de sólidos que componen las aguas residuales.

Tipos de Sólidos	Sólidos (mg/l)		DBO_5		DQO
	Fijos	Volátiles	Total	mg/l	mg/l
Suspendidos	70	175	245	110	108
Precipitables	45	100	145	50	42
No precipitables	25	75	100	60	66
Disueltos	210	210	420	30	42
Total	280	385	665	140	150

Fuente: ROMERO J. Reactor de flujo continuo y mezcla completa. En: Tratamiento de aguas residuales

No es fácil caracterizar la composición de los residuos industriales con arreglo a un rango típico de valores dado según el proceso de fabricación. La concentración de un residuo industrial se pone de manifiesto enunciando el número de personas, o equivalente de población (PE), necesario para producir la misma cantidad de residuos. Este valor acostumbra a expresarse en términos de DBO_5. Para la determinación del PE se emplea un valor medio de 0,077 kg, en 5 días, a 20 °C de DBO por persona y día. El equivalente de población de un matadero, por ejemplo, oscilará entre 5 y 25 PE por animal.

La composición de las infiltraciones depende de la naturaleza de las aguas subterráneas que penetran en la canalización. El agua de lluvia residual contiene concentraciones significativas de bacterias, elementos traza, petróleo y productos químicos orgánicos

5.4 CARACTERISTICAS DE EFLUENTES EN LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION

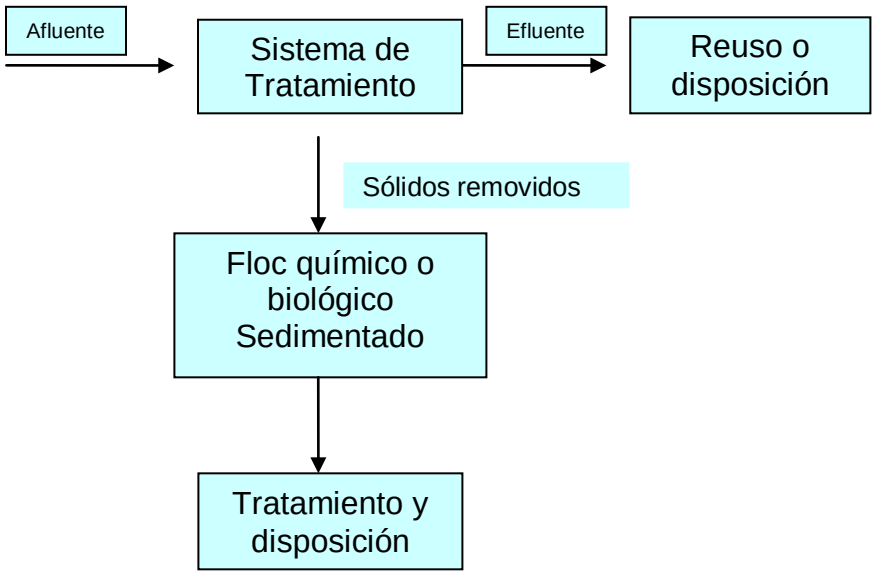
Los efluentes de las lagunas de estabilización son una mezcla heterogénea, compuesta por una gran variedad de partículas suspendidas, disueltas y coloidales, además de organismos tales como algas y bacterias.

En general puede afirmarse que estos efluentes, altamente enriquecidos en nutrientes, presentan altas concentraciones de sólidos suspendidos lo que resultan ser algas y otros individuos biológicos, por lo tanto se han seleccionado a las algas y bacterias como bioindicadores de la eficiencia en el tratamiento.

5.5 REACTORES

Si un fluido contiene un componente no distribuido homogéneamente, es decir, existe un gradiente de concentración, actúan fuerzas naturales para transferir masa y minimizar las diferencias de concentración.
El tiempo requerido para que una sustancia se distribuya homogéneamente en un sistema de tratamiento puede ser muy variable.
El tratamiento y purificación de aguas se hace en tanques de diferentes tipos y formas, en condiciones de control diversas. Las transformaciones biológicas y químicas, que ocurren en dichos reactores, por lo general se concretan en la formación de un floc biológico o químico que se separa económicamente en un tanque de sedimentación.

Figura 5.1. Representación esquemática del tratamiento de aguas



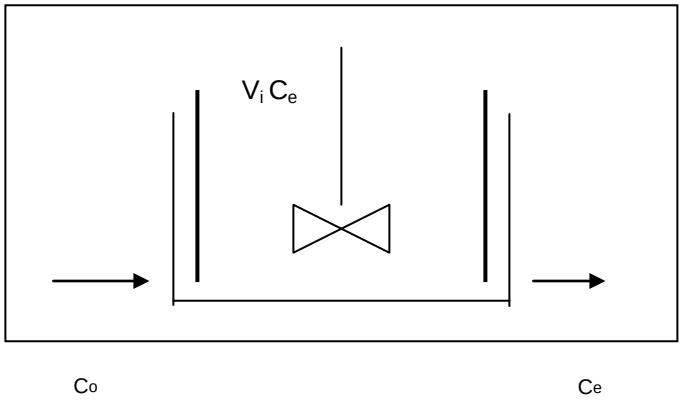
5.5.1 Tipos de reactores

Los procesos de tratamiento de aguas operan, generalmente, como procesos de flujo continuo, con un afluente y efluente definidos durante el periodo de tratamiento. En ocasiones el proceso es discontinuo, en cochada, con una carga instantánea del reactor y descarga posterior, sin adiciones intermedias de afluente ni extracciones de efluente. La reacción entre el afluente y el efluente está determinada por las características de dispersión del reactor y por la cinética de las reacciones dentro de él. Los dos extremos fundamentales de características de dispersión de un reactor son el flujo en pistón y el flujo en mezcla completa.

5.5.1.1 Reactor de flujo continuo y mezcla completa

Este es un reactor ideal, en el cual el afluente es mezclado instantánea y completamente con el contenido del reactor. Las partículas del afluente se dispersan inmediatamente al entrar al reactor, o sea, la dispersión es finita. El tanque tendrá un contenido homogéneo, una composición uniforme en su volumen y, por tanto, la concentración del efluente es idéntica a la del licor mezclado del reactor.[5]

Figura 5.2 Reactor de Flujo Continuo y mezcla completa



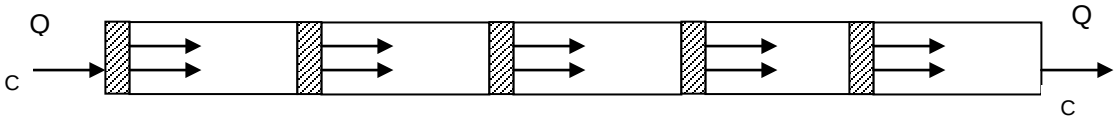
[5] ROMERO J. Reactor de flujo continuo y mezcla completa. En: Tratamiento de aguas residuales. (agosto 2002); p 262.

5.5.1.2 Reactor de flujo en piston

El reactor de flujo en pistón o flujo tubular, es un reactor ideal, en el cual las partículas del fluido viajan a lo largo del reactor sin mezclarse y, por tanto, se descargan en la misma secuencia u orden en que entran al reactor. No existe difusión longitudinal ni mezcla, la dispersión es nula, todos los elementos del sistema viajan a la misma velocidad, las partículas retienen su identidad y permanecen en el tanque durante un tiempo igual al tiempo teórico de retención. En la practica, este tipo de reactor se obtiene aproximadamente, con tanques largos, de una relación longitud/ancho/grande, para mantener la dispersión longitudinal de un valor mínimo.

Si se visualiza el concepto de flujo a pistón como un flujo en el cual el fluido, al llegar al reactor, es encerrado en paquetes herméticos que luego viajan a lo largo del tanque, sin transferir ninguna sustancia de un paquete a otro, aunque exista mezcla completa dentro de cada paquete, se puede considerar que cada paquete es un minirreactor de cochada en mezcla completa.[6]

Figura 5.3 Reactor de Flujo en pistón.



5.6 SÓLIDOS

El contenido de sólidos de un agua afecta directamente la cantidad de lodo que se produce en el sistema de tratamiento o disposición. Se considera como sólidos totales de un agua el residuo de evaporación y secado a 103-105ºC.

Los sólidos sedimentables son una medida del volumen de sólidos asentados al fondo de un cono Imhoff, en un periodo de una hora, y representan la cantidad de lodo removible por sedimentación simple; se expresan comúnmente en ml/l.

[6] ROMERO J. Reactor de flujo en pistón. En: Tratamiento de aguas residuales. (agosto 2002); p 266.

Los sólidos disueltos representan el material soluble y coloidal, el cual requiere usualmente, para una remoción, oxidación biológica o coagulación y sedimentación. Los sólidos suspendidos o no disueltos constituyen la diferencia entre los sólidos totales de la muestra no filtrada y los sólidos de la muestra filtrada. En la practica los sólidos disueltos son aquellos con tamaño menor de 1.2 µm y los suspendidos los que tienen tamaño mayor de 1.2 µm, tamaño nominal de poros correspondiente a los filtros de fibra de vidrio usados para hacer la separación.

Los sólidos volátiles son básicamente, la fracción orgánica de los sólidos o porción de los sólidos que se volatilizan a temperaturas de 550± 50ºC. Su determinación es muy importante en lodos activados, lodos crudos y lodos digeridos. El residuo de la calcinación se conoce como sólidos fijos y constituyen la porción inorgánica o mineral de los sólidos.

En tratamiento biológico de aguas residuales se recomienda un limite de sólidos disueltos de 16000mg/l.[7]

5.6.1 Tratamiento de los Sólidos en Suspensión

El origen y composición de los sólidos en suspensión presentes en el agua residual determinan la complejidad de los procesos de tratamiento y la posibilidad de alternativas para tratamientos individualizados. Los sólidos en suspensión que requieren tratamiento o incluso eliminación son:

1. Los sólidos inorgánicos que aportan que aportan la fuente de agua residual, así como el resto de los sólidos que, inevitablemente, llegan hasta las redes de alcantarillado, tanto municipales como industriales.
2. Los sólidos que contienen elevada proporción de componentes orgánicos proveniente de la fuente primaria del agua residual.

[7] ROMERO J. Sólidos. En: Tratamiento de aguas residuales. (agosto 2002); p 68.

3. Los sólidos, orgánicos e inorgánicos, producidos en las diferentes etapas de tratamiento como resultado de los procesos químicos y biológicos.

Tabla 5-2 ***Fuentes y métodos de corrección de los aportes incontrolados.***

Fuentes de aporte incontrolado	Método de corrección
Pozos de servicio de reborde bajo	Puesta a nivel del pozo
Cubierta del pozo de servicio perforada	Sustitución por cubierta impermeable
Cruces de conducciones	Taponamiento
Canalones de tejado	Desconexión
Drenajes de cimientos	Desconexión
Drenajes individuales	Desconexión
Drenajes lineales	Taponamiento
Drenajes superficiales	Taponamiento
Descarga de equipos de aire acondicionado	Desconexión
Drenajes de fuentes y superficies cenagosas	Taponamiento

La importancia del tratamiento de los sólidos en suspensión no necesita de mayor énfasis, puesto que el proceso seleccionado resulta de la mayor importancia para el costo de instalación y mantenimiento de la planta, así como para su capacidad de operación y consistencia para alcanzar los objetivos requeridos para el afluente. El proceso seleccionado, igualmente, debe tener flexibilidad suficiente para trabajar en un intervalo determinado de condiciones hidráulicas y de cargas de sólidos. Finalmente, la eliminación de los sólidos flotantes y correcto manejo y vertido de los fangos mejora la estética de la instalación de tratamiento.

Debido a la diversidad de requerimientos para el tratamiento de los sólidos en suspensión, la elección debe integrarse en el conjunto de procesos de tratamiento del agua residual y con los objetivos que quieran alcanzarse. Esto se muestra en las diferentes funciones del proceso del tratamiento de sólidos en suspensión:

1. Eliminar los sólidos de gran tamaño del afluente de la planta para proteger los equipos mecánicos de tratamiento y evitar obstrucciones en tuberías y canales situados aguas debajo de la entrada.
2. Reducir la carga de sólidos en los procesos posteriores. Esto influye la protección de las puntas de caudal y de la carga de residuo.
3. Recuperar la biomasa, aun activa, tras un proceso biológico, como por ejemplo los fangos activos, para su retorno al proceso como siembra para la corriente de agua residual que entra al proceso.
4. Recoger y retirar, para un tratamiento individualizado, la cantidad de sólidos orgánicos o de biomasa en exceso, por ejemplo, en fangos activos. Esta función también se aplica en fangos químicos.
5. Afinar el afluente final, retirando los sólidos de pequeño tamaño previamente a la salida de la instalación de tratamiento.

El proceso que se usa mayoritariamente para el tratamiento de los sólidos en suspensión incluye tamizado, sedimentación por gravedad, flotación, filtración, así como sistemas mecánicos, como puede ser la centrifugación. Como en el caso del tratamiento del agua de abastecimiento se recurre a los activos químicos para mejorar la eficacia del proceso.

5.6.2 Procedimiento para determinación de sólidos suspendidos, Método Estándar.

Preparación del disco de filtrado de fibra de vidrio. Insértese el disco con la cara rugosa hacia arriba en el aparato de filtrado. Hágase el vacío y lávese el disco con 3 volúmenes sucesivos de 20ml de agua destilada. Continúese succionando hasta eliminar todo vestigio de agua y retírese el agua de lavado. Quítese el filtro del aparato de filtrado y trasladase a una plancheta de aluminio de acero inoxidable. Alternativamente, procédase a separar el crisol y la combinación de filtro si esta utilizando un crisol de Gooch.

Séquese en horno a 103-105ºC durante una hora. Repítase el ciclo de secado, enfriamiento, desecación y pesado hasta obtener un peso constante o hasta que la perdida de peso sea menor de 0.5 mg entre pesadas sucesivas. Consérvese en desecador hasta que se necesite.
Pesar inmediatamente antes de usar.

Calculo:

$$\text{mg de sólidos totales en suspensión / 1} = \frac{(A-B)*1000}{volumendemuestra, ml}$$

Donde, A= peso del filtro + residuo seco mg
B= peso del filtro mg

5.7 TAMICES

El empleo de tamices en la retirada de sólidos en suspensión es uno de los tratamientos más antiguos del agua residual. En el origen se emplearon tamices de apertura grande para eliminar los sólidos de peor aspecto, y posteriormente, se convirtió en algo mas importante para la protección que dispensaba al equipo mecánico situado corriente abajo. En la actualidad se emplean también tamices de apertura pequeña para eliminar cantidades significativas de sólidos en suspensión. Esto es particularmente cierto en aplicaciones industriales.[8]

Tamices de apertura grande. El tipo más común es la reja de barras. En plantas pequeñas se emplean frecuentemente los dilaceradores. Otros equipos que pueden emplearse son los tamices estacionarios y de tambor, bien en alambre o en otro tipo de material.

[8] Corbitt R. Tamices. En: Manual de referencia de la Ingeniería Ambiental (Madrid-2003);p.6.76

Rejas de barra. Pueden emplearse rejas tanto de limpieza automática como manual para interceptar los desechos que arrastra el agua residual, demasiado grande para pasar a través de las bombas y canales situados aguas abajo. Se atrapan objetos como rocas, tablones, trapos que luego se retiran mediante rastrillos. El material se seca rápidamente, para su eliminación ***in situ*** o transporte a vertedero.

Una reja de barras es un conjunto de barras de acero inoxidable que se dispone perpendicularmente a la dirección de la corriente, de forma vertical o con una pequeña pendiente (entre 30 y 45º, a partir de la horizontal). Cuanto más plana sea la dispocision más sencilla será la limpieza. Las rejas de pendiente elevada se limpian de forma automática.

Cuando el objetivo de una reja de barras es, simplemente, proteger el sistema de bombeo del agua residual en el sistema de alcantarillado o en afluente de una planta de tratamiento, el espaciado de las barras oscila entre 2 y 6 pulgadas (50 a 150 mm).

En una planta de tratamiento se requiere mayor protección del equipo, por lo que la luz entre barrote disminuye a una o dos pulgadas (25 a 50 mm) Los criterios de distancia entre barrote para los equipos de limpieza determinados por los organismos oficiales correspondiente deben tenerse en cuenta.

El diseño de las rejas de barra incluye el diseño del propio canal por donde circula el agua, bajo condiciones normales de caudal, la velocidad de llegada a la reja debe ser entre 2 y 4 $^{pies}/_{S}$ (60-120 $^{cm}./_{S}$) esta velocidad impide tanto la sedimentación en el canal como el arrastre a través del tamiz.

Otras consideraciones de diseño pueden ser:

1. El tamiz debe limpiarse con frecuencia suficiente para evitar embalsamiento y pérdidas significativas de carga hidráulica. Esto hace que

se prefieran las rejas de limpieza mecánica por consideraciones tanto de diseño como de operación, salvo en sistema de pequeño tamaño o en aplicaciones industriales.

2. Deben emplearse dos o mas canales, para tener la posibilidad de dejar en seco el equipo para reparaciones o mantenimientos.
3. Cuando varias rejas trabajan de forma simultanea, debe diseñarse la entrada del canal para que se vierta un caudal proporcional a cada unidad.
4. Deben realizarse las previsiones necesarias para realizar la correcta retirada de los residuos y su eliminación. En algunas aplicaciones puede preferirse triturar los residuos y retornarlos. Esto elimina la necesidad de tratamiento separado del residuo tamizado, pero obliga a que se vuelvan a retirar los sólidos en un proceso posterior.
5. El canal situado detrás de este dispositivo debe situarse entre 3 y 6 pulgadas (75 a 150 mm) por debajo para compensar la perdida de carga hidráulica.

Los equipos de limpieza mecánica vienen equipados con rastrillos que periódicamente ascienden por la reja gracias a poleas sin fin. El residuo se deposita en la parte superior de la unidad, desde donde se transporta hasta un depósito hasta su eliminación posterior. Las unidades pueden ser de limpieza frontal o trasera.[9]

Dilaceradores: *C*uando no se quiere que los sólidos de gran tamaño penetren en el caudal del agua residual a tratar, u otras condiciones favorecen su retención, pueden emplearse dilaceradores (denominados también trituradores) en vez de rejas de barras. Estos dispositivos machacan los sólidos hasta tamaños comprendidos entre 0.25 y 0.75 pulgadas (6 a 9 m), que no resultan perjudiciales para el resto de los equipos de tratamiento.

[9] Corbitt R. Tamices. En: Manual de referencia de la Ingeniería Ambiental (Madrid-2003);p.6.77

Mecanismos de corte en Dilaceradores

- El material grueso se corta mediante dientes cortantes y barras de cizalladura en un tambor rotatorio, pasando a través de un peine cortante estacionario.
- Cortadores en un brazo oscilante, junto con cortadores dispuestos en un tambor semicircular.
- Una reja estacionaria intercepta los sólidos de mayor tamaño, mientras que los de menor tamaño pasan a través, hasta llegar al dispositivo de dientes cortantes montados sobre discos rotatorios. Los dientes cortantes también pueden disponerse en la propia reja.
- Un cortador rotatorio atraviesa el espacio entre dos barras, hacia delante y hacia atrás, cortando los sólidos retenidos y permitiendo su paso a través de la reja.

Además de los datos que proporcionan los fabricantes, el diseño base de un dilacerador debe contemplar:

- Debe determinarse el mayor tamaño de partícula que debe poder pasar a través de la unidad, considerando tanto las conducciones como el equipo situado aguas abajo.
- Deben determinarse las características de las partículas sólidas, especialmente las de origen industrial, junto con la fiabilidad de los mecanismos de corte.
- La unidad debe tener capacidad suficiente para trabajar a caudal punta.
- Debe diseñarse una conducción de by-pass, con una reja de barras, para aislar el dilacerador en casos de mantenimiento y/o reparación.

- Si es posible, el dilacerador debe colocarse por detrás de una reja o, al menos, de algún sistema para retirar rocas y material pétreo antes de llegar a la unidad y así, evitar un desgaste excesivo del equipo.
- En algunas aplicaciones, una reja de barras de luz grande, como la que se emplea en las estaciones de bombeo, puede situarse aguas arriba par proteger la integridad del equipo mecánico.

Tamices de malla de alambre. Pueden emplearse tamices estáticos y rotatorios, de malla de alambre, para el tamizado grueso y fino del agua residual. Estas unidades pueden emplearse en la industria como pretratamiento o en una planta de tratamiento de agua residual para la eliminación de sólidos, de tamaños grande y pequeño.

Los datos de diseño para el tamizado grueso del agua residual mediante tamices construidos en malla de alambre son:

Tabla 5-3 Datos de diseño de tamices de malla de alambre

Parámetro	Tamiz estático	Tamiz rotatorio
Eliminación de sólidos en suspensión, %	5 - 25	5 – 25
Velocidad de carga	4 a 16 gal/min/pulgada (860 a 3.400 m^3/día/m), por anchura del tamiz.	15 a 112 gal/min/pie^2(880 a 6.575 m^3/día/m^2), por área de tamiz.
Apertura de tamiz	0.01 0.6 pulgadas 0.25 a 1.05m	0.01 0.6 pulgadas 0.25 a 1.5 m
Perdida de carga	4-7 pies(1.2-2.1m)	2.5-4.5 pies (0.8-1.4m)
Tamaño del motor	-	0.5 a 3 CV(0.4-2.2 Kwh.)
Sólidos en peso, %	12-15	16-25

Se dispone de tamices de apertura pequeña para usar en aplicaciones que requieran la retirada de partículas de pequeño diámetro; el resto de los datos de diseño deben cambiar como resultado de esta modificación.

Tamices de desplazamiento. Para el tamizado grueso se emplean tamices de desplazamiento fabricados con acero inoxidable u otro material resistente a la corrosión. Se trata, esencialmente, de una cinta sin fin que se mantiene casi perpendicular al agua residual. De manera similar a los rastrillos limpiadoras de las rejas de barras operan unas bandejas que recogen y eliminan los sólidos que captura el tamiz. Dependiendo de la apertura de este pueden emplearse para el tamizado de afluentes o para el afinado de afluentes.

Tamices vibradores. Se fabrican tamices vibradores de forma circular, rectangular o cuadrada, que se emplean para el tamizado, tanto grueso como fino, del agua residual. La aplicación normal es el pretratamiento de las corrientes, pero también pueden emplearse par la recuperación de subproductos, como sucede en la industria alimentaría y en otras. Para que estos equipos sean una alternativa a los tamices de malla de alambre rotatorios o estáticos, el agua residual no debe contener grasa, o muy poca.

Tamices finos. Para llevar a cabo la eliminación de los sólidos de pequeño tamaño, se aplican los mismos principios de los tamices estáticos y rotatorios. El material del tamiz puede ser acero inoxidable, tela u otro material con aperturas de tan solo 0.01 hasta 0.06 mm.

El microtamiz rotatorio puede usarse para la retirada de los sólidos en suspensión que queda tras un tratamiento biológico. Para mejorar su efectividad es necesario

homogeneizar el caudal y así asegurar una calidad y cantidad constante en la entrada del microtamiz.[10]

[10] Corbitt R. Tamices. En: Manual de referencia de la Ingeniería Ambiental (Madrid-2003);p.6.79

6 METODOLOGIA

La evaluación de la remoción de sólidos suspendidos en el sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Arauca, se realizó mediante la metodología de investigación asistida: Consta de una parte teórica o de información literaria que sirve de soporte para el diseño del método experimental.
Seguidamente se encuentra la parte práctica, la cual incluye los muestreos o trabajo de campo y los análisis de laboratorios. Estos arrojan unos resultados que permitirán obtener conclusiones.

El método experimental, consistió en realizar muestreos en los sitios definidos. Se recolectaron las muestras de aguas residuales domesticas, para los análisis de laboratorio, también se realizaron en campo pruebas como:

- Temperatura ambiente
- Temperatura de las muestras
- pH

Dicho trabajo de campo se llevó a cabo en el mes de abril de 2005, siguiendo una estructura metodológica dada por el asesor de dicho estudio.

6.1 DISEÑO METODOLOGICO OPERACIONAL

Para la evaluación de remoción de sólidos suspendidos del sistema de tratamiento se tuvo en cuenta las siguientes actividades:

6.1.1 Reconocimiento del área de trabajo

Se realizó un recorrido por toda la zona que comprende las lagunas estudiadas, para corroborar la información obtenida a través de la cartografía existente. La cartografía fue suministrada por la Secretaria de Obras Públicas Municipal. Esto permitió mejorar aspectos planeados previamente para la fase de campo.

6.1.2 Revisión de Información Existente

Para determinar la remoción de sólidos suspendidos en el sistema de tratamiento de aguas residuales, fue necesario primero recaudar la información disponible. Las fuentes de información más importantes fueron:

Información histórica sobre el alcantarillado del Municipio de Arauca. (Secretaría de Obras Públicas Municipal).

Información cartográfica y planos (EMSERPA)

Reportes publicados, estudios y datos (EMSERPA)

Consulta de la diferente literatura citada.

6.1.3 Selección de los Puntos de Monitoreo

Para obtener los resultados esperados en este estudio, se definieron dos puntos de muestreo:

- Entrada del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Arauca.
- Salida del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Arauca.

6.2 MONITOREO

El monitoreo fue llevado a cabo por las dos personas responsables de este estudio, capacitadas en las técnicas de recolección de muestras de aguas y en las técnicas analíticas de campo y de laboratorio, con conocimiento de la normatividad ambiental vigente; y con el apoyo del laboratorio ambiental ANTEK S.A. para realizar los análisis correspondientes.

La toma de muestras, en las lagunas, se efectuó en forma "manual" por medio de un dispositivo de inmersión, utilizando recipientes plásticos, teniendo en cuenta los requerimientos exigidos en el "Standard Methods for the examination of water and wastewater – 20th edition". Se realizó durante 10 días consecutivos. Las muestras se tomaron a las 7:30 a.m y 12:30 p.m para cada punto de monitoreo.

6.2.1 Fechas de monitoreo

Los monitoreos se realizaron del día 18 de Abril al 27 de Abril del 2005

6.2.2 Determinaciones In Situ

En los puntos de monitoreo se tomaron los siguientes parámetros "In Situ".

pH

Temperatura de la muestra

Temperatura Ambiente

6.2.3 Recipientes utilizados para el monitoreo

Envases plásticos de polietileno, color blanco de 0,50 L de capacidad.

6.2.4 Preservación, almacenamiento y envío de las muestras

Se trabajó de acuerdo con el "Standard Methods for the examination of water and wastewater – 20th edition 1998". Una vez recolectada la muestra se procede a la identificación o rotulación del recipiente, luego es diligenciado el formato denominado cadena de custodia, donde se relaciona toda la información

relacionada con la muestra y su recolección, posteriormente se almacenan las muestras en una nevera de icopor con suficiente hielo (para este parámetro se requiere almacenamiento a 4ºC) para su preservación y envió al laboratorio en la ciudad de Bogotá.

6.3 ANÁLISIS DE LABORATORIO

En cada punto de muestreo se realizaron los análisis de sólidos suspendidos (por los 10 días de la toma de muestras). Las (40) muestras se transportaron a las instalaciones del laboratorio ANTEK en la ciudad de Bogotá para el análisis respectivo. Para la medición del pH se efectuó la calibración del equipo para evitar errores.

En la **Tabla 6.1** se presenta un resumen de los métodos analíticos aplicados en la evaluación de los distintos parámetros utilizados en el presente trabajo.

Tabla 6-1 Métodos Analíticos aplicados en el presente trabajo.

PARÁMETRO		DESCRIPCIÓN DEL METODO
Nombre: S.M. Técnica Analítica:	Temperatura 2550 B Termométrico	Se mide la temperatura ambiente y la de la muestra de agua, para lo cual se utiliza un termómetro con bulbo de mercurio convencional con escala en grados centígrados.
Nombre: S.M. Técnica Analítica:	pH 4500+B Electrométrico	Se determina introduciendo el electrodo del potenciómetro en la muestra.
Nombre: S.M. Técnica Analítica:	Sólidos suspendidos 2540 D Filtración secado 105 ºC	Una fracción de la muestra se filtra a través de un filtro de fibra de vidrio o de celulosa, el residuo retenido en el mismo se seca a peso constante a 103-105 C.

6.4 PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

Para la determinación y análisis de los resultados, se utilizan como criterios, el valor máximo, el promedio aritmético, promedio geométrico, desviación estándar, distribución normal.

Desviación estándar: Es la distribución normal de un numero finito de observaciones *n,* se denomina *s* y se calcula

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X - \overline{X})^2}{n-1}}$$

Limites de confianza: Cuando se asignan valores a los múltiplos de ± *s, es decir de la desviación estándar.*

$$LC = \overline{X} \pm \frac{ts}{\sqrt{n}}$$

Donde:

LC = Valor del límite del intervalo de confianza

$\overline{X}$ = Valor promedio de la muestra

n= Numero de observaciones de la muestra

s= Valor de la desviación estándar

t= Valor del t-student para n-1 grados de libertad y según la probabilidad deseada

Frecuencia:

$$f = \frac{(m - 0.5) * 100}{n}$$

n = numero de datos

m= orden de cada dato

6.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados que se registraron en el laboratorio, son discutidos de acuerdo a los criterios legales y a la confiabilidad del diseño experimental, comparando con el Decreto 1594/84 Art. 72 del Ministerio de Salud que presenta las normas de vertimiento a cuerpos de agua y los porcentajes de remoción para los parámetros de interés sanitario; al mismo tiempo aplicando análisis estadísticos.

Las concentraciones obtenidas permiten determinar si se genera o no impacto negativo significativo en el vertimiento al río Arauca.

6.6 CAUDAL

Para calcular el caudal se utilizaron las curvas del caudal de diseño de las bombas y los registros de bombeos de las estaciones del Barrio Meridiano 70 y el Barrio Unión respectivamente.

7 RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

7.1 PARAMETROS IN SITU

7.1.1 pH

El pH presentado en los 2 puntos de muestreo se halló dentro del rango permisible a la Entrada y Salida del sistema de tratamiento. Los valores obtenidos a la Salida del sistema de tratamiento indican que el agua puede ser descargada a un cuerpo receptor.

El comportamiento fue el siguiente:

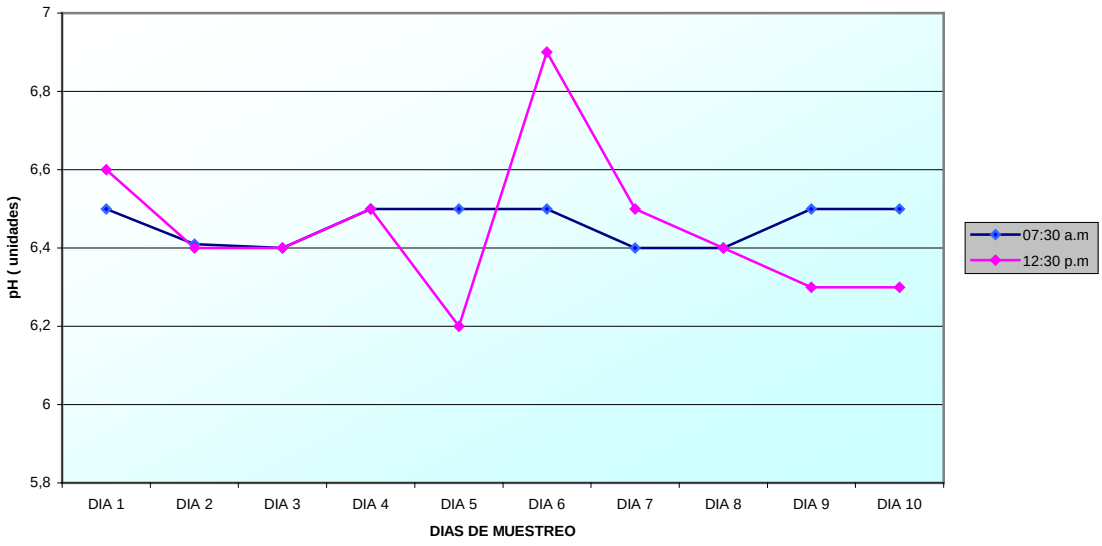
Tabla 7-1: pH entrada sistema de tratamiento

# MUESTRAS pH	FECHA D/M/A	7:30 a.m	# MUESTRAS pH	FECHA D/M/A	12:30 p.m
1	18/03/2005	6,5	1	18/03/2005	6,6
2	19/03/2005	6,4	2	19/03/2005	6,4
3	20/03/2005	6,4	3	20/03/2005	6,4
4	21/03/2005	6,5	4	21/03/2005	6,5
5	22/03/2005	6,5	5	22/03/2005	6,2
6	23/03/2005	6,5	6	23/03/2005	6,9
7	24/03/2005	6,4	7	24/03/2005	6,5
8	25/03/2005	6,4	8	25/03/2005	6,4
9	26/03/2005	6,5	9	26/03/2005	6,3
10	27/03/2005	6,5	10	27/03/2005	6,3
VALOR MINIMO		6,4	VALOR MINIMO		6,3
VALOR MAXIMO		6,5	VALOR MAXIMO		6,9
PROMEDIO		6,46	PROMEDIO		6,45
DESV. EST		0,05	DESV. EST		0,18
LIM CONFIANZA (95%)		6,31-6,61	LIM CONFIANZA (95%)		5,95-6,95

En la Tabla 7-1, se observan las probabilidades de ocurrencia de pH para las 2 horas de muestreo: 7:30a.m. y 12:30 p.m. En la Entrada del sistema de tratamiento.

En la gráfica que se presenta a continuación se muestran los datos de la Tabla 7-1, donde se observa el comportamiento del pH a la entrada del sistema de tratamiento de aguas residuales, a las 7:30 y 12:30 respectivamente.

Figura 7-1 ***Datos de pH registrados durante los monitoreos a la Entrada del Sistema de Tratamiento. 7:30 y 12:30***



En la Figura 7-1, se muestran los datos de pH registrados en los monitoreos a la entrada del sistema de tratamiento para las dos horas de toma de muestras. Se ve claramente que el valor máximo obtenido es de 6,9 unidades y el mínimo de 6,3 unidades. El Limite de confianza al 95% se encuentra entre 6,31-6,61 para las 7:30 a.m. y 5,95-6,95 para las 12:30p.m.

Tabla 7-2 ***Datos de pH registrados durante los monitoreos a la Salida del Sistema de Tratamiento. 7:30 y 12:30***

# MUESTRAS pH	FECHA D/M/A	07:30 a.m	# MUESTRAS pH	FECHA D/M/A	12:3 0 p.m
1	18/03/2005	6,7	1	18/03/2005	6,4
2	19/03/2005	6,6	2	19/03/2005	6,5
3	20/03/2005	6,6	3	20/03/2005	6,6
4	21/03/2005	6,7	4	21/03/2005	6,3
5	22/03/2005	6,6	5	22/03/2005	6,3
6	23/03/2005	6,7	6	23/03/2005	6,3
7	24/03/2005	6,7	7	24/03/2005	6,2
8	25/03/2005	6,6	8	25/03/2005	6,5
9	26/03/2005	6,6	9	26/03/2005	6,2
10	27/03/2005	6,9	10	27/03/2005	6,6
VALOR MINIMO		6,6	VALOR MINIMO		6,2
VALOR MAXIMO		6,9	VALOR MAXIMO		6,6
PROMEDIO		6,67	PROMEDIO		6,39
DESV. EST		0,09	DESV. EST		0,12
INT. CONFIANZA (95%)		6,4-6,94	INT. CONFIANZA (95%)		6,09-6,69

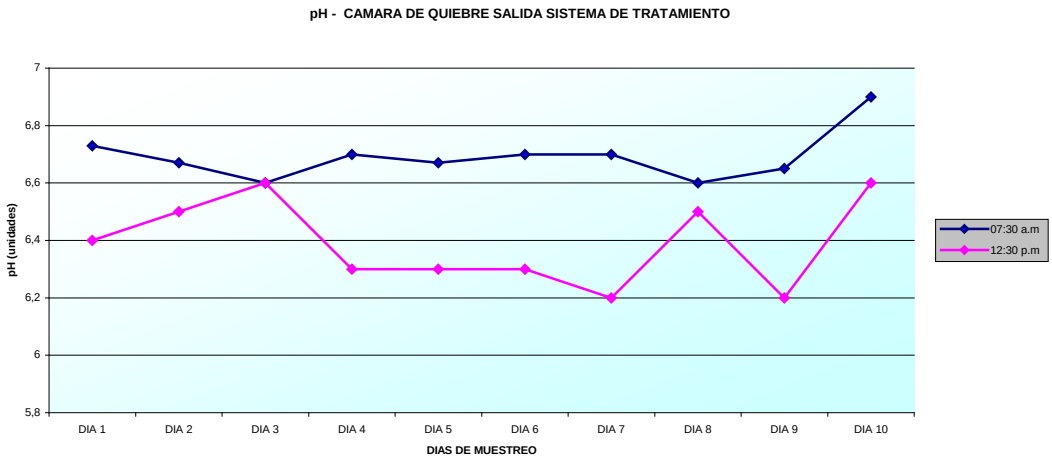
En la Tabla 7-2, se observan las probabilidades de ocurrencia de pH para las 2 horas de muestreo: 7:30a.m. y 12:30 p.m. Durante los 10 días comprendidos del 18 al 27 de abril. En la Salida del sistema de tratamiento.

El valor promedio para las 7:30 fue de 6,67 unidades y para las 12:30 de 6,39 unidades respectivamente.

En la Figura 7-2, se pueden observar los datos registrados a la Salida del sistema de tratamiento. El valor máximo obtenido para las 7:30 fue 6,9 unidades y el mínimo 6,6 unidades. Para las 12:30 el valor máximo obtenido fue de 6,6 unidades y el mínimo 6,2.

Podemos ver que no hay mucha variación en los datos registrados.

Figura 7-2 ***Datos de pH registrados durante los monitoreos en la cámara de quiebre salida sistema de tratamiento. 7:30 y 12:30***



7.1.2 Temperatura

7.1.1.1 Temperatura ambiente

La temperatura ambiente se presentó entre 26,7 ºC y 38 ºC, durante los 10 días de monitoreo. En algunos días se presentaron condiciones atmosféricas nubladas.
Ver Anexo: Resultados de campo.

7.1.1.2 Temperatura muestras

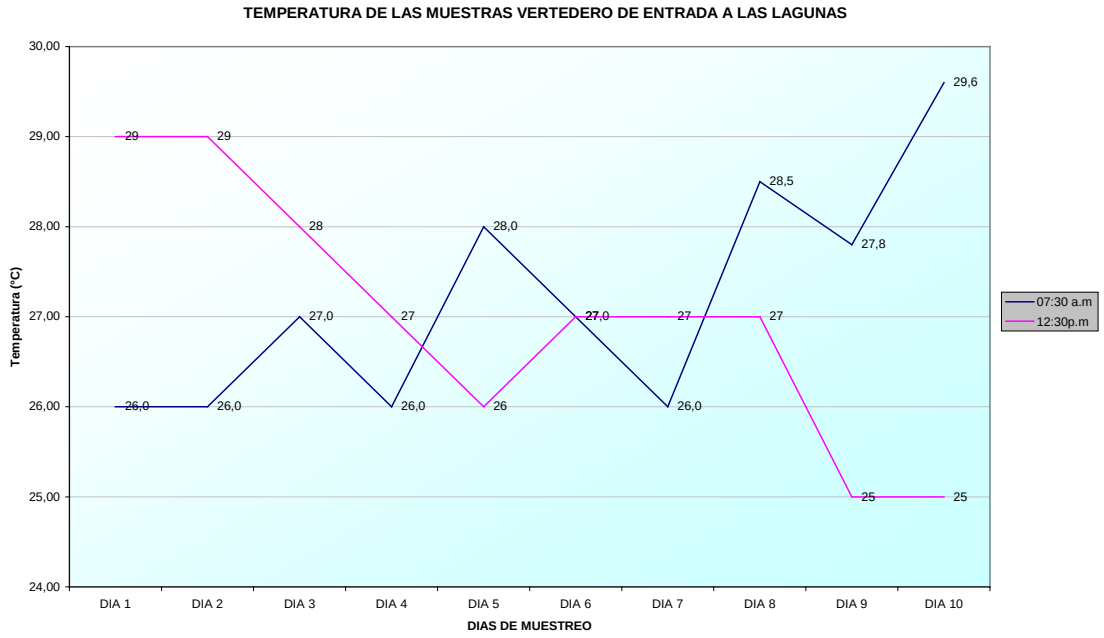
La Temperatura de las muestras recolectadas se encontraron acorde con la condición climática presente durante cada una de las jornadas de muestreo.

Se presentaron valores entre 25ºC y 37ºC, respectivamente. ***Ver tabla 7-3***

Tabla 7-3 Temperatura de las muestras vertedero de entrada a las lagunas

Tº DE LAS MUESTRAS		
	07:30 a.m	12:30p.m
DIA 1	26,0	29
DIA 2	26,0	29
DIA 3	27,0	28
DIA 4	26,0	27
DIA 5	28,0	26
DIA 6	27,0	27
DIA 7	26,0	27
DIA 8	28,5	27
DIA 9	27,8	25
DIA 10	29,6	25

Figura 7-3 ***Temperatura de las muestras a la entrada del sistema de tratamiento. 7:30 a.m. - 12:30p.m.***



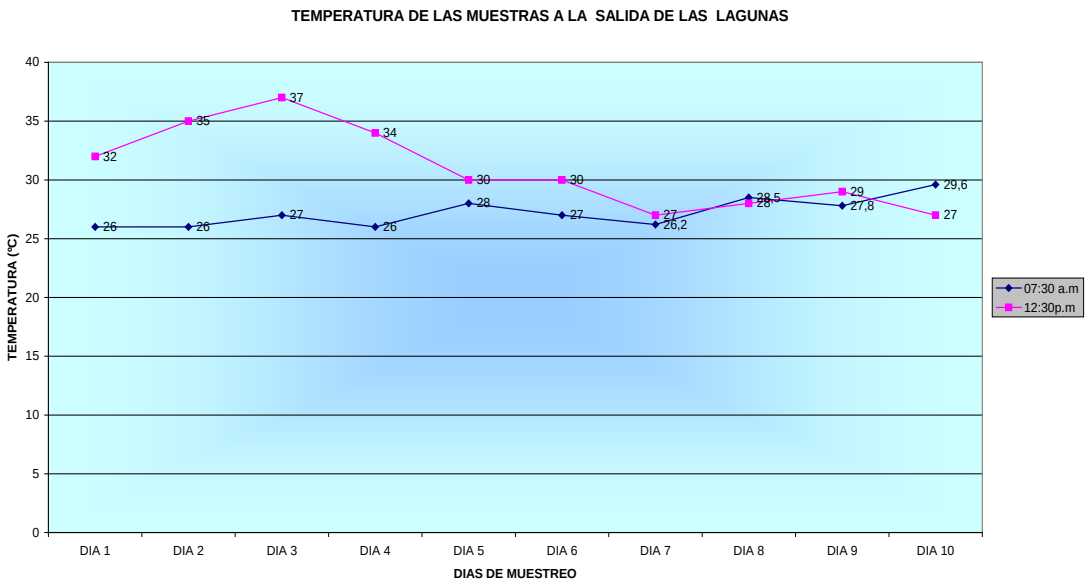
Las temperaturas registradas a la entrada del sistema de tratamiento presentan valor máximo de 29,6ºC y mínimo de 25 ºC. se puede evidenciar que los datos no varían significativamente.

Figura 7-4 Temperatura de las muestras a la salida del Sistema de tratamiento

Tº DE LAS MUESTRAS		
	07:30 a.m	12:30p.m
DIA 1	26	32
DIA 2	26	35
DIA 3	27	37
DIA 4	26	34
DIA 5	28	30
DIA 6	27	30
DIA 7	26,2	27
DIA 8	28,5	28
DIA 9	27,8	29
DIA 10	29,6	27

Para la salida del sistema de tratamiento se observa una variación mayor en la temperatura de las muestras, puesto que se presenta el valor mínimo en 26 ºC a las 7:30 a.m. y el valor máximo en 29, 6 ºC. Para las 12:30 se tiene el valor mínimo : 27 ºC y el máximo 37 ºC.

Figura 7-5 ***Temperatura de las muestras Salida sistema de tratamiento. 7:30 a.m. - 12:30p.m***



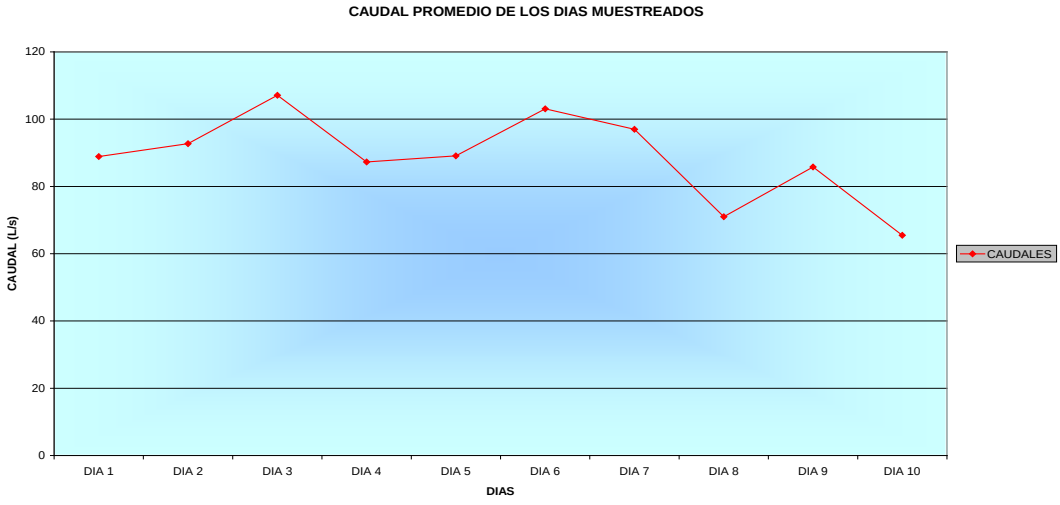
7.2 CAUDAL

Para hallar los caudales se tomaron registros de los ciclos de bombeo de Los días en que se tomaron muestras del 18 al 27 de abril, debido a que el bombeo no es permanente las 24 horas si no que se hacen ciclos de bombeo de 10 minutos y un receso de 5 minutos mientras se llena el pozo colector, lo que quiere decir que tendremos caudales constantes de un mínimo de 0 L/s y un máximo de 300 L/s.

A la Entrada del Sistema de Tratamiento no se pudo aforar en los vertederos, debido a que cuando bombean el agua en la Estación, el flujo de los vertederos sobrepasan la cresta límite de dichos dispositivos , creando incertidumbre en la medición realizada, a la salida del sistema tampoco se pudo aforar, ya que no hay facilidades para efectuar dicha medición . Por esta razón se trabajó con los registros de bombeo como ya se mencionó.

En la siguiente gráfica se muestra el comportamiento de los caudales promedios del 18 al 27 de abril de 2005.

Figura 7-6 ***Caudal promedio de los días muestreados***



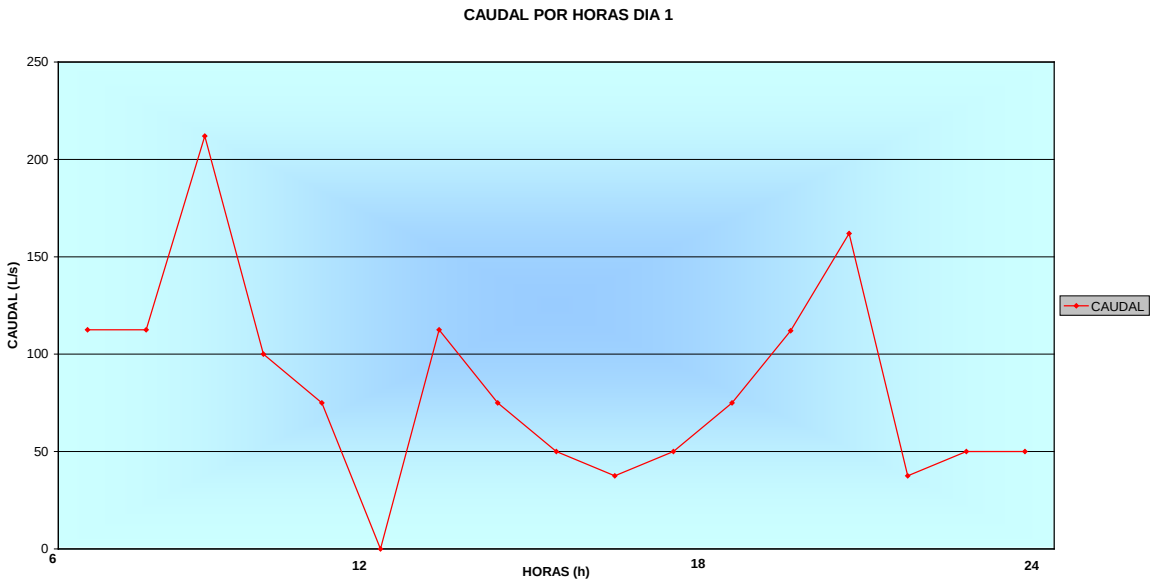
HORA	18/04/05	19/04/05	20/04/05	21/04/05	22/04/05	23/04/05	24/04/05	25/04/05	26/04/05	27/04/05
6-7	112,5	165	131,3	37,5	225	120	100	47	100	37,5
7-8	112,5	112	112	112,0	100	112	212	75	112	37,5
8-9	212	162	210	162	112,5	200	87,5	50	162	75
9-10	100	75	80	50	50	75	37,5	65	75	50
10-11	75	150	90	100	100	100	50	97	175	75
11-12	-	75	105	50	212	37,5	112	87	37.5	100
12-13	112,5	212,5	80	112,5	50	225	112	50	100	112
13-14	75	75	112,5	125	75	60	100	112	50	75
14-15	50	37.5	75	137	50	97	175	120	75	37
15-16	37,5	50	112	50	112,5	100	187,5	130	87,5	37,5
16-17	50	150	75	112	100	50	75	60	75	50
17-18	75	75	100	50	75	137	112,5	105	87,5	112,5
18-19	112	37,5	75	137	57	87	75	38,5	60	125
19-20	162	50	87	112	60	160	100	37	39	50
20-21	37,5	50	162	50	75	105	97,5	75	87	37,5
21-22	50	50	60	50	50	130	37,5	60	37,5	37,5
22-23	50	50	50	37,5	50	60	37,5	85	100	-

23-24	-	-	37,5	-	50		37,5		-	-
Valor máximo	212	212.5	210	137	225	225	187	130	175	125
Valor mínimo	37.5	37.5	37,5	37.5	50	37,5	37.5	37	37.5	37
Promedio	88.97	92.74	107,18	87.32	89.11	103,08	97.0	71,86	85.88	65.56
Desv. estándar.	48.13	54.65	41,9	41.74	52.40	49,5	51.82	28,36	38.90	31.44
Inter. Confianza 95%	52.86 – 161.14	51.74 – 174.69	64,68 - 149,68	56 – 149.91	49.81 – 167.68	52,85 - 153,31	58.12 – 174.7	43,16 – 100,56	56.69 – 144.22	61.97 – 132.05

Tabla 7-5 ***: CAUDAL EFLUENTE HORARIO, REGISTRADO DURANTE LOS DIAS MUESTREADOS: 18 AL 27 DE ABRIL.***

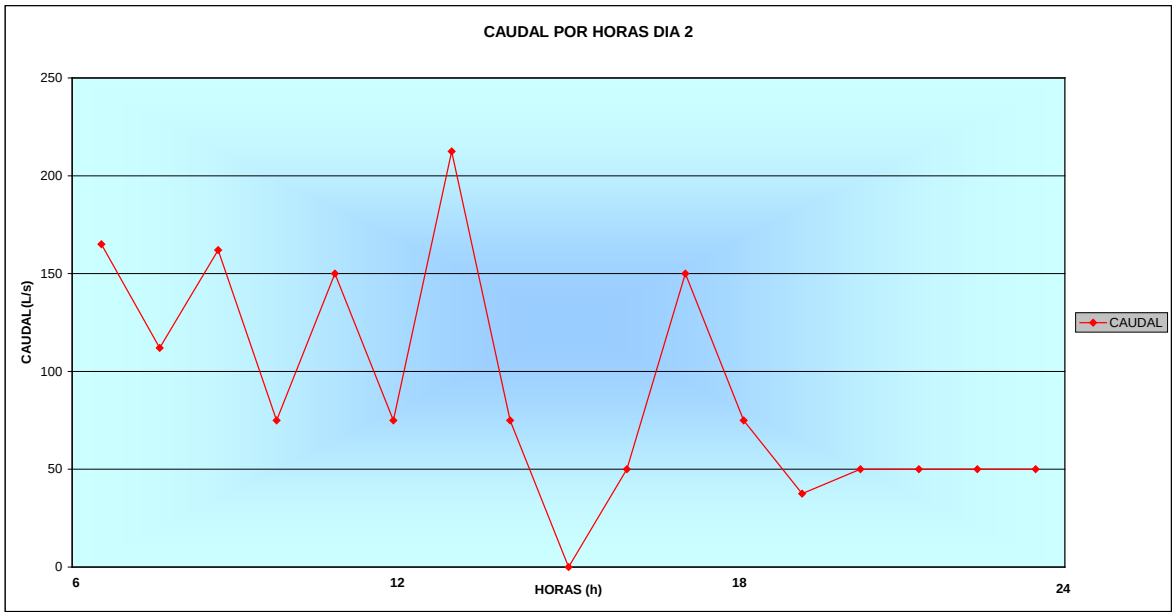
A continuación se presentan las gráficas por día de la variación del comportamiento del caudal por horas:

Figura 7-7 Registro Caudal 18/Abril/2005



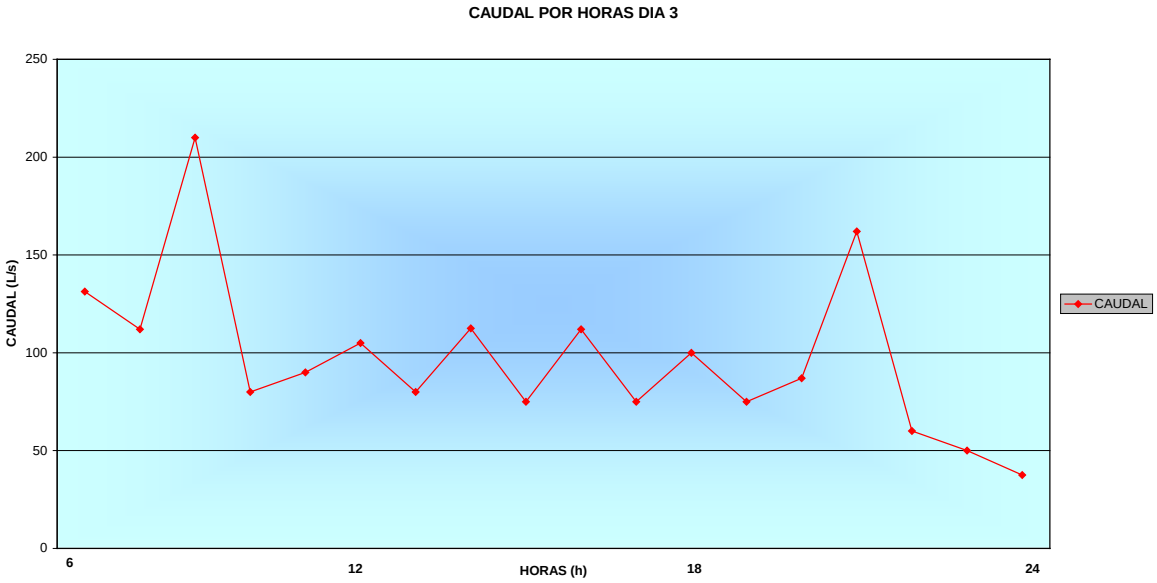
El Q promedio obtenido para el día 1 fue de 88,97 L/s . Obteniéndose un valor máximo de 212 L/s, y un mínimo de 37,5 L/s, con un limite de confianza (95%) que está entre 52,86 – 161,14.

Figura 7-8 Registro Caudal 19/Abril/2005



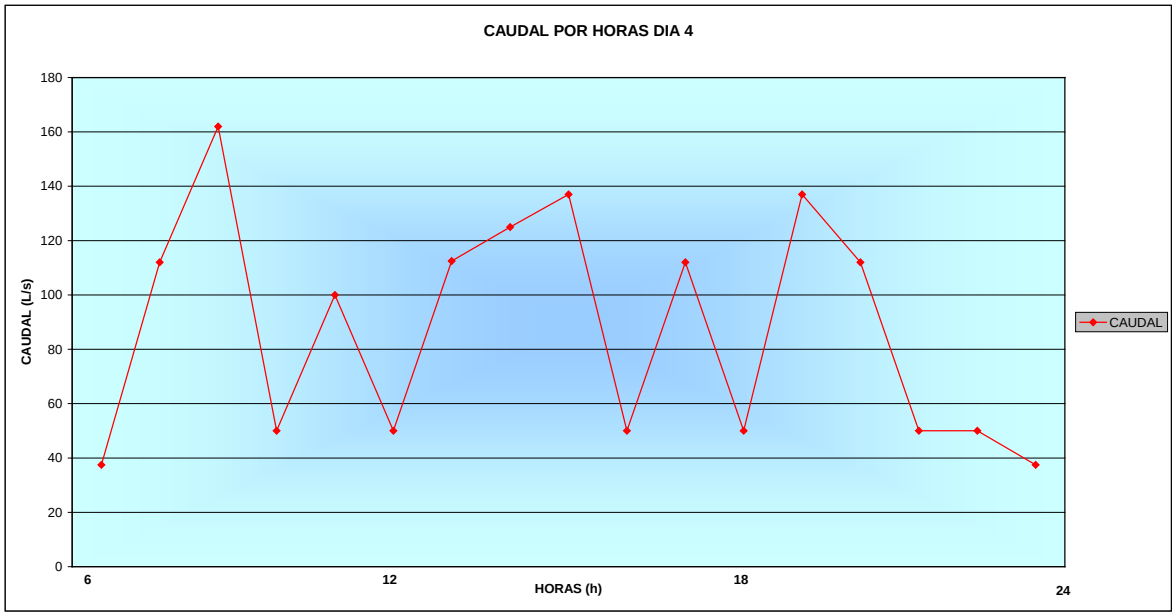
El Q promedio obtenido para el día 2 fue de 92,74 L/s . Obteniéndose un valor máximo de 212,5 L/s, y un mínimo de 37,5 L/s, con un limite de confianza (95%) que está entre 51,74 – 174,69.

Figura 7-9 Registro Caudal 20/Abril/2005



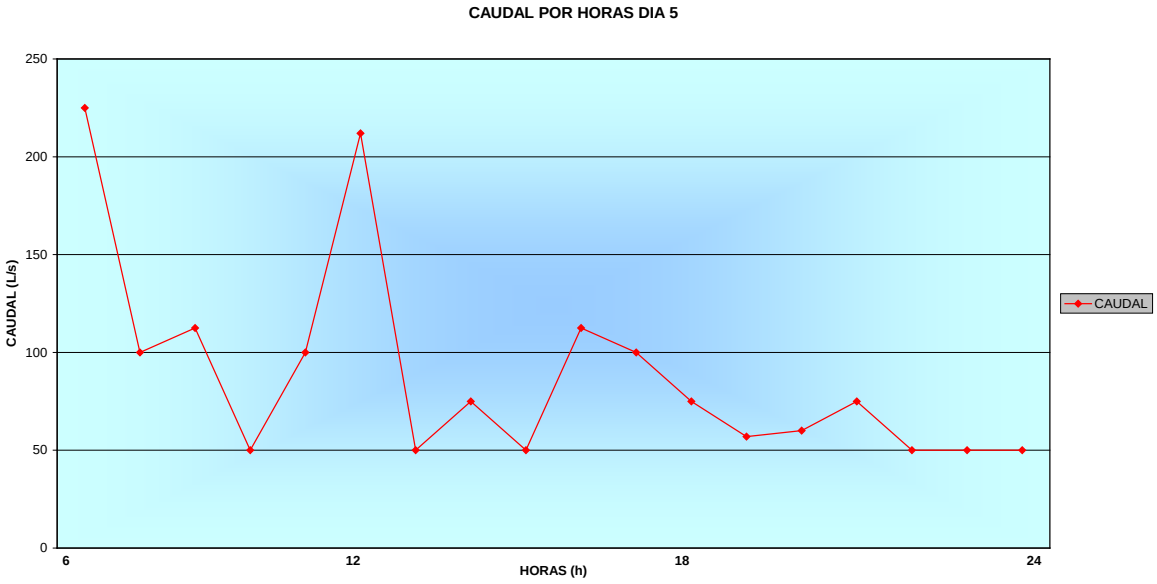
El Q promedio obtenido para el día 3 fue de 107,18 L/s . Obteniéndose un valor máximo de 210 L/s, y un mínimo de 37,5 L/s, con un limite de confianza (95%) que está entre 64,68 – 149,68.

Figura 7-10 Registro Caudal 21/Abril/2005



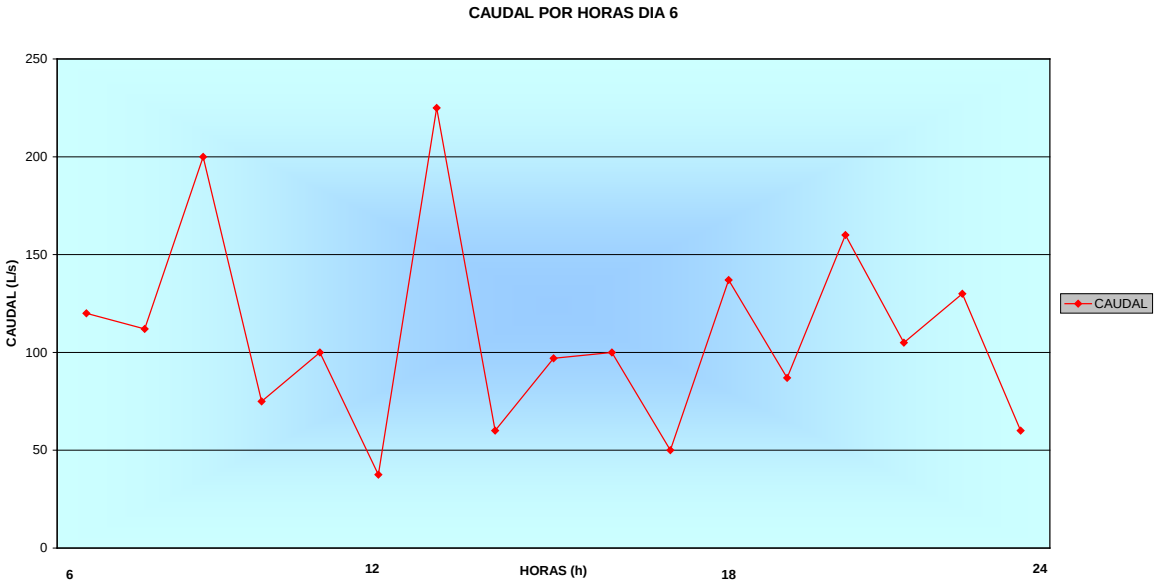
El Q promedio obtenido para el día 4 fue de 87,32 L/s . Obteniéndose un valor máximo de 137 L/s, y un mínimo de 37,5 L/s, con un limite de confianza (95%) que está entre 56 – 149,9

Figura 7-11 Registro Caudal 22/Abril/2005



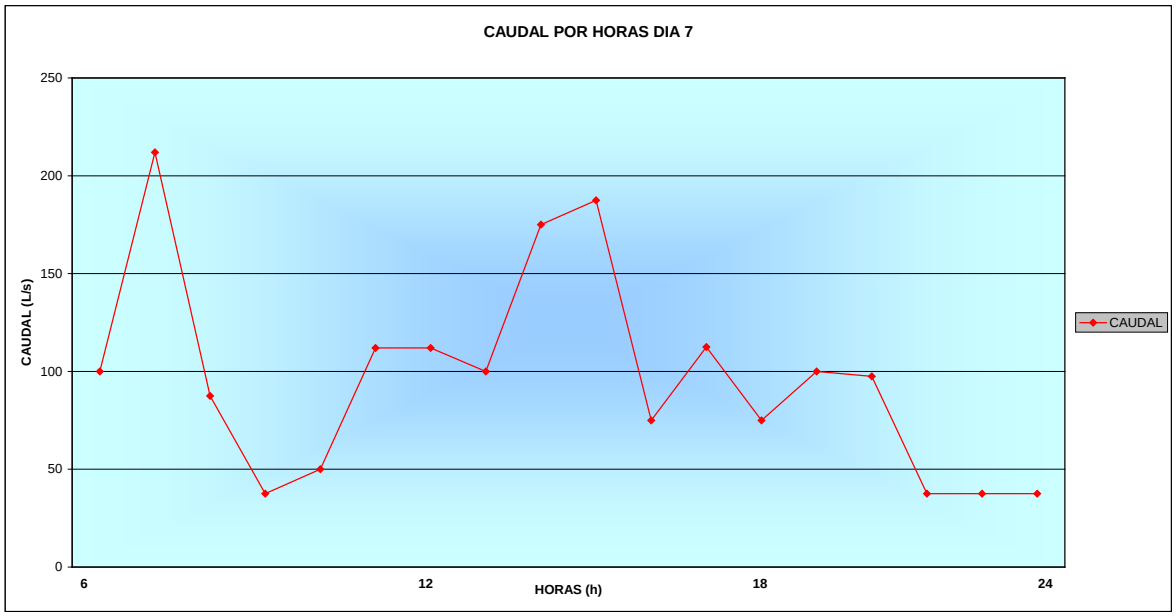
El Q promedio obtenido para el día 5 fue de 89,11 L/s . Obteniéndose un valor máximo de 225 L/s, y un mínimo de 50 L/s, con un limite de confianza (95%) que está entre 49,81 – 167,68.

Figura 7-12 Registro Caudal 23/Abril/2005



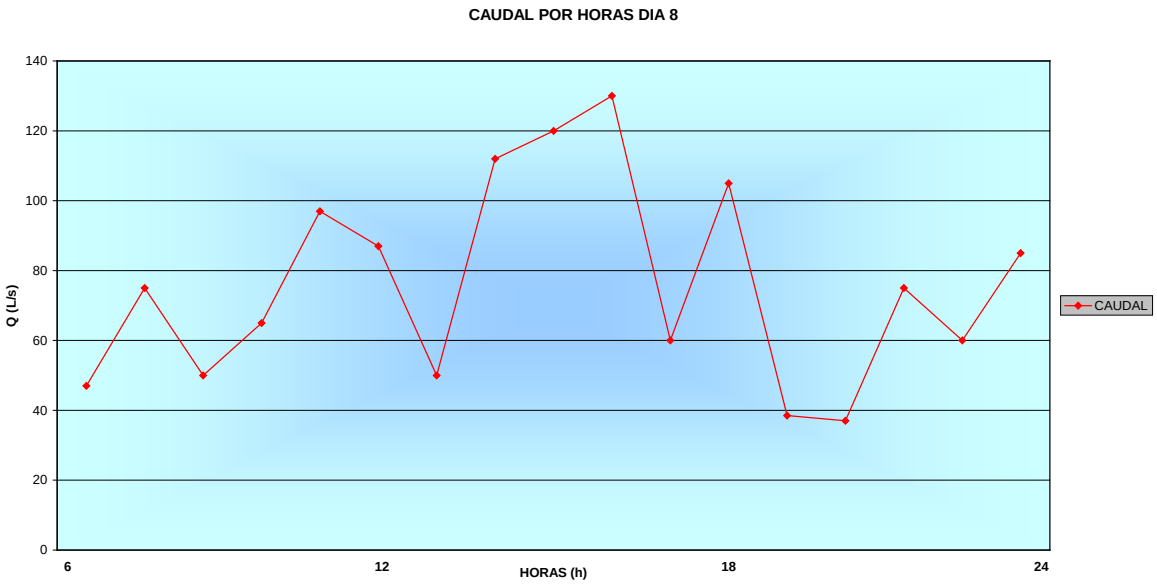
El Q promedio obtenido para el día 6 fue de 103,08 L/s . Obteniéndose un valor máximo de 225 L/s, y un mínimo de 37,5 L/s, con un limite de confianza (95%) que está entre 52,85 – 153,31.

Figura 7-13Registro Caudal 24/Abril/2005



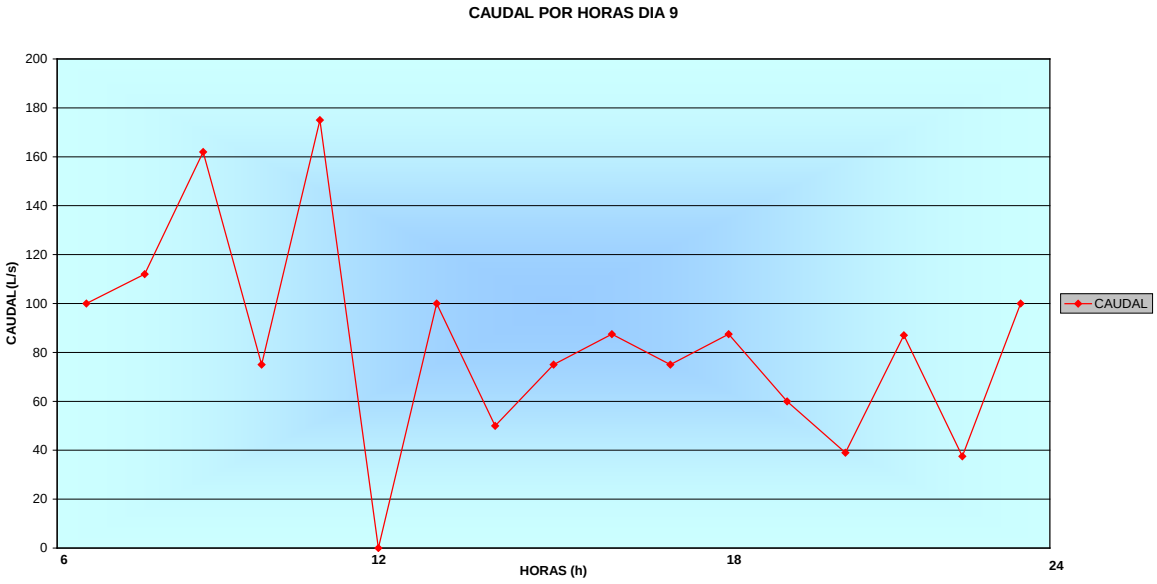
El Q promedio obtenido para el día 7 fue de 97,0 L/s . Obteniéndose un valor máximo de 187 L/s, y un mínimo de 37,5 L/s, con un limite de confianza (95%) que está entre 58,12 – 174,7.

figura 7-14 Registro Caudal 25/Abril/2005



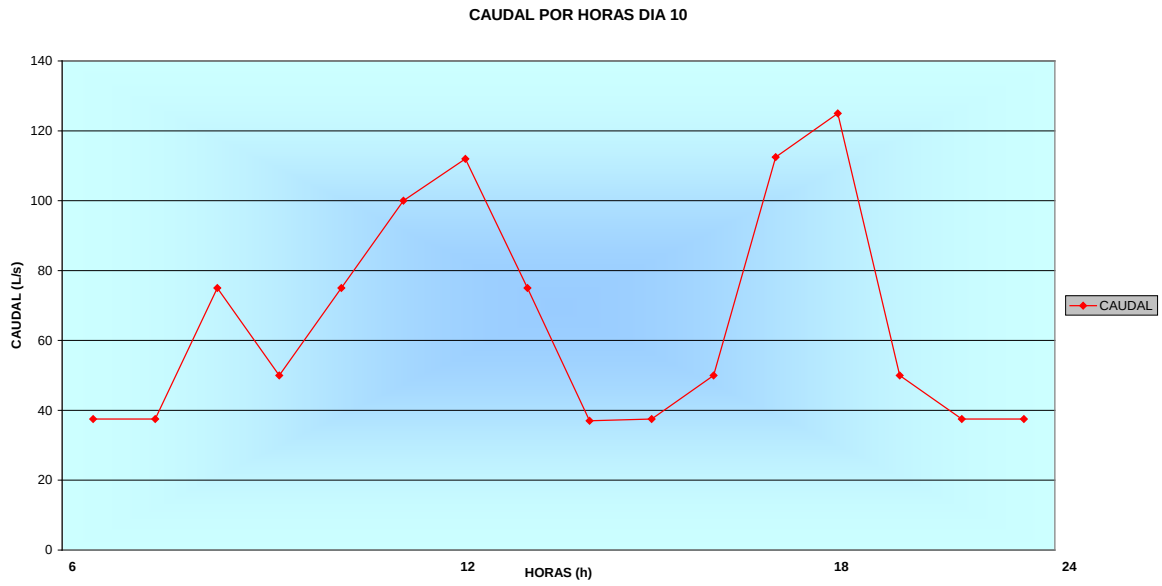
El Q promedio obtenido para el día 8 fue de 71,86 L/s . Obteniéndose un valor máximo de 130 L/s, y un mínimo de 37 L/s, con un limite de confianza (95%) que está entre 43,16 – 100,56.

Figura 7-15 Registro Caudal 26/Abril/2005



El Q promedio obtenido para el día 9 fue de 85,08 L/s . Obteniéndose un valor máximo de 175 L/s, y un mínimo de 37,5 L/s, con un limite de confianza (95%) que está entre 56,69 – 144,22.

Figura 7-16 Registro Caudal 27/Abril/2005



El Q promedio obtenido para el día 10 fue de 65,56 L/s . Obteniéndose un valor máximo de 125 L/s, y un mínimo de 37 L/s, con un limite de confianza (95%) que está entre 61,97 – 132,05.

7.3 SÓLIDOS SUSPENDIDOS

En las lagunas de oxidación se presentaron valores promedio de 208,5 mg/L a la entrada, y 32,55 mg/L en la cámara de quiebre (o salida) que equivale a una eficiencia del 84,40 % superior a lo establecido en la normatividad: 80%, y entregando al río agua con una concentración de sólidos suspendidos totales asimilables.

Los datos de la Tabla 7-6 de la medición de sólidos suspendidos de obtuvieron a partir de los resultados del análisis de Laboratorio ANTEK S.A. (Ver Anexo 1)

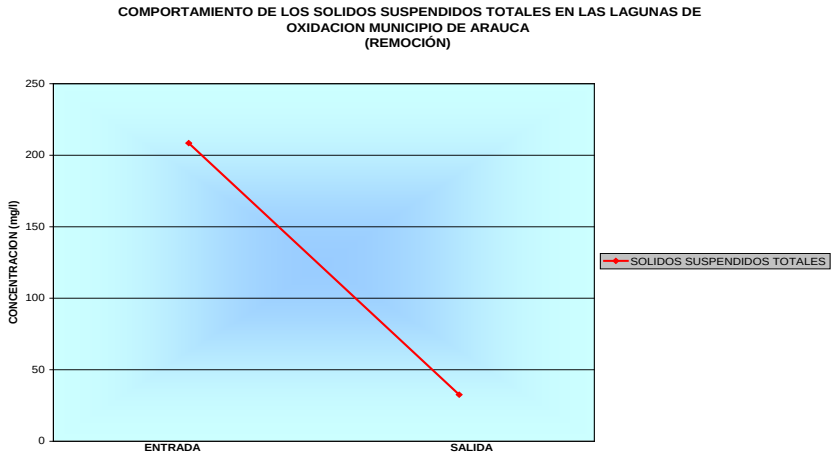
Tabla7-6: RESULTADOS: MEDICIÓN DE SÓLIDOS DE SUSPENDIDOS

FECHA EJECUCIÓN HORA	*PUNTO MUESTREO VERTEDERO DE ENTRADA A LAS LAGUNAS*		*PUNTO MUESTREO CÁMARA DE QUIEBRE SALIDA SISTEMA DE TRATAMIENTO*		*TÉCNICA ANALÍTICA*	*% DE REMOCIÓN*
18/04/05 7:30 a.m	Muestra No. **1**	**210** mg/L	Muestra No. **2**	**37** mg/L	FILTRACION* SECADO A 105 ºC	82%
18/04/05 12:30 p.m	Muestra No. **3**	**209** mg/L	Muestra No. **4**	**35** mg/L	FILTRACION SECADO A 105 ºC	83%
19/04/05 7:30 a.m	Muestra No. **5**	**210** mg/L	Muestra No. **6**	**35** mg/L	FILTRACION SECADO A 105 ºC	83%
19/04/05 12:30 p.m	Muestra No. **7**	**209** mg/L	Muestra No. **8**	**35** mg/L	FILTRACION SECADO A 105 ºC	83%
20/04/05 7:30 a.m	Muestra No. **9**	**208** mg/L	Muestra No. **10**	**35** mg/L	FILTRACION SECADO A 105 ºC	83%
20/04/05 12:30 p.m	Muestra No. **11**	**210** mg/L	Muestra No. **12**	**34** mg/L	FILTRACION SECADO A 105 ºC	84%
21/04/05 07:30 a.m	Muestra No. **13**	**207** mg/L	Muestra No. **14**	**33** mg/L	FILTRACION SECADO A 105 ºC	84%
21/04/05 12:30 p.m	Muestra No**. 15**	**209** mg/L	Muestra No. **16**	**33** mg/L	FILTRACION SECADO A 105 ºC	84%
22/04/05 07:30 a.m	Muestra No. **17**	**209** mg/L	Muestra No. **18**	**32** mg/L	FILTRACION SECADO A 105 ºC	85%
22/04/05 12:30 p.m	Muestra No.**19**	**208** mg/L	Muestra No. **20**	**31** mg/L	FILTRACION SECADO A 105 ºC	85%
23/04/05 7:30 a.m	Muestra No. **21**	**209** mg/L	Muestra No. **22**	**31** mg/L	FILTRACION SECADO A 105 ºC	85%

23/04/05 12:30 p.m	Muestra No. **23**	**210** mg/L	Muestra No. **24**	**30** mg/L	FILTRACION SECADO A 105 ºC	86%
24/04/05 7:30 a.m	Muestra No. **25**	**209** mg/L	Muestra No. **26**	**30** mg/L	FILTRACION SECADO A 105 ºC	86%
24/04/05 12:30 p.m	Muestra No. **27**	**210** mg/L	Muestra No. **28**	**32** mg/L	FILTRACION SECADO A 105 ºC	85%
25/04/05 7:30 a.m	Muestra No. **29**	**208** mg/L	Muestra No. **30**	**31** mg/L	FILTRACION SECADO A 105 ºC	85%
25/04/05 12:30 p.m	Muestra No. **31**	**207** mg/L	Muestra No. **32**	**31** mg/L	FILTRACION SECADO A 105 ºC	85%
26/04/05 07:30 a.m	Muestra No. **33**	**206** mg/L	Muestra No. **34**	**31** mg/L	FILTRACION SECADO A 105 ºC	85%
26/04/05 12:30 p.m	Muestra No. **35**	**209** mg/L	Muestra No. **36**	**32** mg/L	FILTRACION SECADO A 105 ºC	85%
27/04/05 07:30 a.m	Muestra No. **37**	**206** mg/L	Muestra No. **38**	**31** mg/L	FILTRACION SECADO A 105 ºC	85%
27/04/05 12:30 p.m	Muestra No. **39**	**208** mg/L	Muestra No. **40**	**32** mg/L	FILTRACION SECADO A 105 ºC	85%

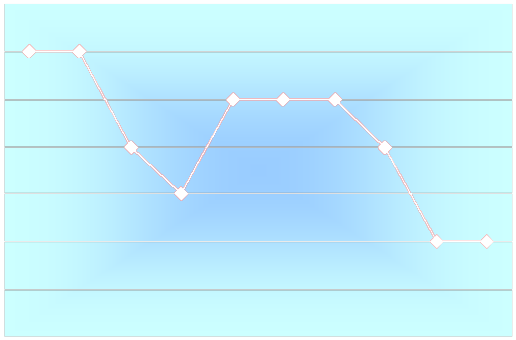
*

Figura 7-17 Comportamiento de los sólidos suspendidos totales en las lagunas de oxidación municipio de Arauca (remoción)



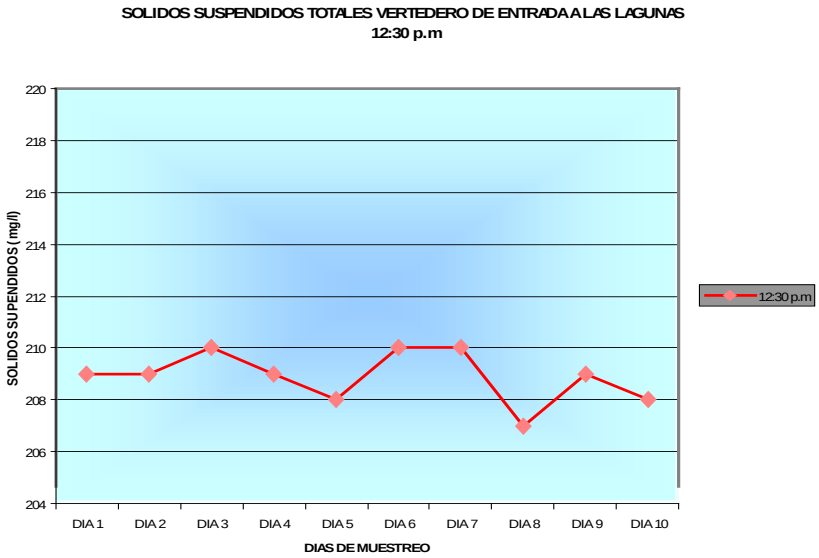
En la figura 7-17 se observa la remoción promedio de sólidos suspendidos en las Lagunas de oxidación, la cual fue del 84, 84%.

Figura 7-18 Registro Sólidos suspendidos vertedero de entrada a las lagunas 7:30 a.m



En la figura 7-18, se muestran los datos obtenidos en laboratorio para sólidos suspendidos a la entrada del sistema de tratamiento, a las 7:30a.m. los valores no fueron muy variables. Máximo:210 mg/L y mínimo: 206 mg/L

Figura 7-19 Registro Sólidos suspendidos vertedero de entrada a las lagunas 12:30 p.m



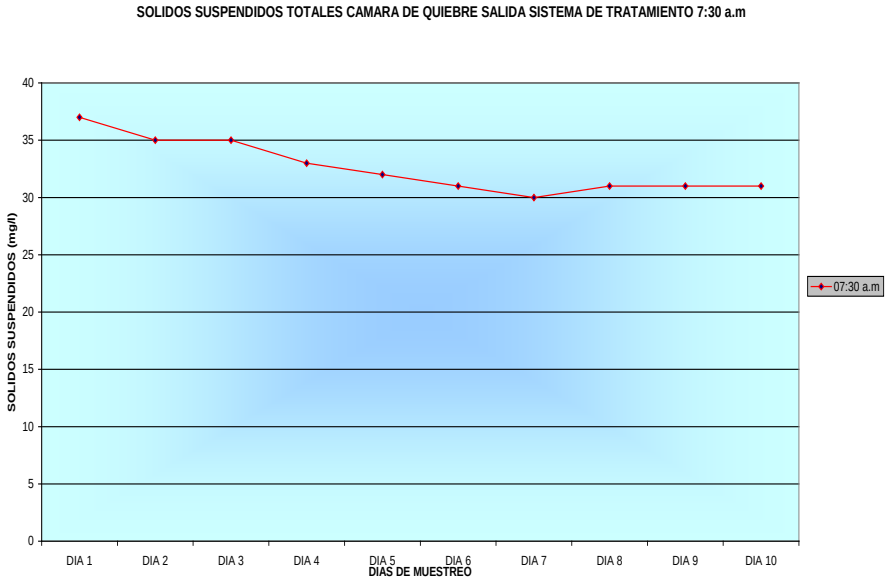
En la figura 7-19, se muestran los datos obtenidos en laboratorio para sólidos suspendidos a la entrada del sistema de tratamiento, a las 12:30p.m. Los valores no fueron muy variables. Máximo:210 mg/L y mínimo: 206 mg/L

Tabla 7-4 ***Datos de sólidos suspendidos registrados durante los monitoreos a la entrada del Sistema de Tratamiento. 7:30 a.m y 12:30 p.m***

# MUESTRAS SÓLIDOS SUSPENDIDOS	FECHA D/M/A	7:30 a.m	# MUESTRAS SÓLIDOS SUSPENDIDOS	FECHA D/M/A	12:30 p.m
1	18/03/2005	210	1	18/03/2005	209
2	19/03/2005	210	2	19/03/2005	209
3	20/03/2005	208	3	20/03/2005	210
4	21/03/2005	207	4	21/03/2005	209
5	22/03/2005	209	5	22/03/2005	208
6	23/03/2005	209	6	23/03/2005	210
7	24/03/2005	209	7	24/03/2005	210
8	25/03/2005	208	8	25/03/2005	207
9	26/03/2005	206	9	26/03/2005	209
10	27/03/2005	206	10	27/03/2005	208

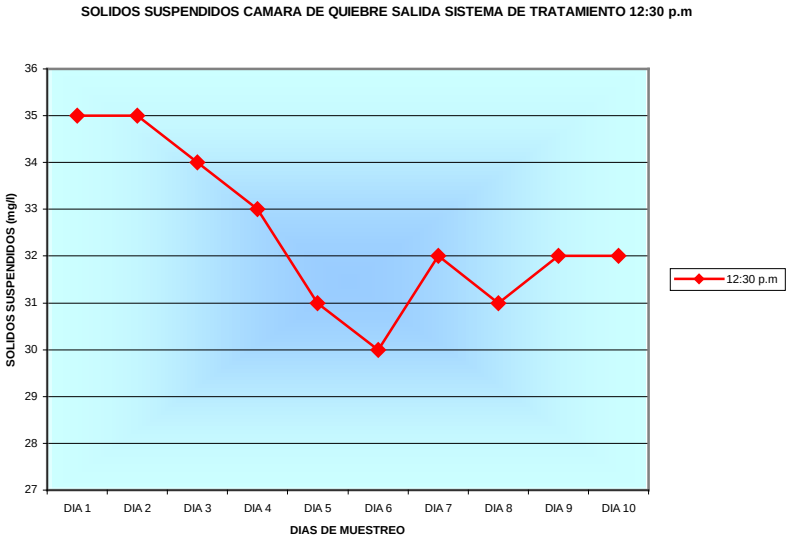
VALOR MINIMO		206	VALOR MINIMO		207
VALOR MAXIMO		210	VALOR MAXIMO		210
PROMEDIO		208,2	PROMEDIO		208,9
DESV. EST		1,46	DESV. EST		0,98
INT. CONFIANZA (95%)		206,22-210,18	INT. CONFIANZA (95%)		207,57-210,23

Figura 7-20 Registro Sólidos suspendidos vertedero de salida de las lagunas 7:30 a.m.



En la figura 7-20, se muestran los datos obtenidos en laboratorio para sólidos suspendidos a la salida del sistema de tratamiento, a las 7:30a.m. Los valores no fueron muy variables. Máximo:37 mg/L y mínimo:30 mg/L. Observándose como bajó la concentración notablemente.

Figura 7-21 Registro Sólidos suspendidos vertedero de salida de las lagunas 12:30p.m



En la figura 7-21, se muestran los datos obtenidos en laboratorio para sólidos suspendidos a la salida del sistema de tratamiento, a las 12:30p.m. Los valores no fueron muy variables. Máximo:35 mg/L y mínimo:30 mg/L. Observándose como bajó la concentración notablemente.

Tabla 7-5 ***Datos de sólidos suspendidos registrados durante los monitoreos a la salida del Sistema de Tratamiento. 7:30 a.m y 12:30 p.m***

# MUESTRAS SÓLIDOS SUSPENDIDOS	FECHA D/M/A	SALIDA LAGUNA 7:30 a.m	# MUESTRAS SÓLIDOS SUSPENDIDOS	FECHA D/M/A	SALIDA LAGUNA 12:30 p.m
1	18/03/2005	37	1	18/03/2005	35
2	19/03/2005	35	2	19/03/2005	35
3	20/03/2005	35	3	20/03/2005	34
4	21/03/2005	33	4	21/03/2005	33
5	22/03/2005	32	5	22/03/2005	31
6	23/03/2005	31	6	23/03/2005	30
7	24/03/2005	30	7	24/03/2005	32
8	25/03/2005	31	8	25/03/2005	31
9	26/03/2005	31	9	26/03/2005	32
10	27/03/2005	31	10	27/03/2005	32
VALOR MINIMO		30	VALOR MINIMO		30
VALOR MAXIMO		37	VALOR MAXIMO		35
PROMEDIO		32,6	PROMEDIO		32,5
DESV. EST		2,31	DESV. EST		1,7
INT. CONFIANZA (95%)		29,46-35,74	INT. CONFIANZA (95%)		30,19-34,81

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La evaluación de la remoción de sólidos suspendidos de las lagunas de oxidación del sistema de alcantarillado del municipio de Arauca, permite establecer que se da cumplimiento con los criterios de calidad establecidos en el Decreto 1594 de 1984 Art. 72, que presenta las normas de vertimiento a cuerpos de agua y los porcentajes de remoción para los parámetros de Interés sanitario; algunos de estos parámetros fueron evaluados en este estudio: Temperatura muestra: 27,4ºC, pH 6,45 unidades (entrada) y 6,53 unidades (salida),sólidos suspendidos 84,40 % de remoción.

Las concentraciones obtenidas en los diferentes muestreos en la cámara de quiebre o salida de las lagunas permiten determinar que no se genera impactos negativos significativos en el cuerpo de agua que modifiquen o alteren las características propias del río Arauca.

Los caudales reportados se tomaron de los registros de bombeo de las estaciones del Barrio Meridiano 70 y el Barrio Unión respectivamente.
Se recomienda la construcción de una caja de inspección con facilidades para aforar a la salida de las lagunas de oxidación, ya que en la existente es imposible determinarlo.

El pH presentado en las lagunas presenta valores que se encuentran dentro del intervalo permisible 5,0 a 9,0 unidades establecido en la legislación ambiental.

Durante el desarrollo de este proyecto se evidenciaron ciertas deficiencias en el sistema de tratamiento de aguas residuales, las cuales se enuncian a continuación, y para las cuales se plantean recomendaciones para darles solución:

El predio de las Lagunas de Estabilización, actualmente no presenta cerramiento natural. No obstante, se hace necesario densificar y adecuar las barreras vivas ambientales y efectuar un diseño paisajístico más completo.

En algunas partes del predio el cerramiento se encuentra con taludes bajos permitiendo la entrada de personas y animales, lo cual resulta inconveniente debido a que corren el peligro de caer y ahogarse en las lagunas y porque ayudan en determinado momento a deteriorar el estado físico del sistema de tratamiento.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales posee una caseta que en la actualidad se encuentra bastante deteriorada y fuera de servicio.

A fin de llevar un control permanente de las condiciones de operación del sistema de tratamiento y teniendo en cuenta que el sistema de Lagunas de Estabilización se encuentra retirado del casco urbano del municipio de Arauca, se recomienda **adecuar la caseta** existente para el manejo de muestras de aguas y que a la vez sirva para guardar las herramientas y demás implementos requeridos en la operación.

Los principales parámetros físicos, químicos y microbiológicos que deberían ser verificados en el sistema de lagunas de estabilización son: Temperatura, DBO_5, DQO, OD, pH, Sólidos suspendidos, Sólidos sedimentados, Sólidos totales, Sólidos fijos, Sólidos volátiles, Nitrógeno total, Fósforo total, Coliformes fecales. Estas determinaciones con una periodicidad al menos mensual.

Los monitoreos y determinaciones de estos parámetros son importantes también para realizar el seguimiento y poder cuantificar la carga para efectos de tasas retributivas.

El principio básico en el tratamiento de aguas residuales es la separación del líquido de los constituyentes indeseables, o la alteración de sus propiedades físico químicas o biológicas con el objeto de alcanzar niveles compatibles con los requisitos de descarga.
En la mayoría de los casos, los constituyentes son separados en forma de sólidos, por lo que los procesos de **tratamiento y disposición de lodos** constituyen un aspecto de importancia puesto que son parte significativa de los costos de operación del sistema.
Los **Lechos de Secado** se podrían analizar como alternativa, teniendo en cuenta que el clima de la región favorecería su funcionamiento, además los costos no son tan elevados como en otros sistemas, como la centrifugación, el espesamiento y la filtración al vacío.

El sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Arauca, presenta requerimiento de tratamiento terciario o post tratamiento encaminado especialmente a la **remoción de nutrientes.**
La presencia de nutrientes en el efluente puede llegar a propiciar procesos de eutrofización en la fuente receptora, fenómeno que se caracteriza por el crecimiento excesivo de la flora acuática hasta el punto de que se ve notablemente afectada la fuente por la ocupación progresiva de su cauce.

Este fenómeno se puede aprovechar de manera que se cuente con un sistema natural de remoción de los nutrientes de manera controlada. El empleo de humedales artificiales se encuentra bastante difundido, ya que las plantas acuáticas tienen una función muy importante en los ecosistemas de agua dulce, ya

que proveen alimento, estructura, cobertura y albergue para diferentes especies animales terrestres y acuáticas. La vegetación acuática puede mejorar la calidad de agua y servir para estabilizar riberas fuentes de agua y para mejorar la estética ambiental.

La **necesidad de personal**, es otro aspecto importante que resaltar en el actual funcionamiento de la planta. Según el RAS 2000, dependiendo del nivel en que se encuentre la planta de tratamiento variarán los requerimientos de personal.
El nivel del tratamiento de Arauca se encuentra en el nivel Medio-alto, por lo tanto requiere de un técnico especialista que debería tener a su cargo la distribución de labores en la planta.
Además del responsable, se recomienda un ayudante de laboratorio, personal de limpieza y celador.

Como ya se mencionó anteriormente, la empradización existente entorno a las Lagunas de Estabilización, se encuentra por todo el borde de la laguna. Adicionalmente, cuando se lleva a cabo la poda de los prados, el material de corte termina por caer dentro de la laguna, constituyéndose en un aporte adicional de material orgánico y afectando estéticamente la laguna. Para subsanar esta deficiencia se recomienda implementar un sistema de **corredores perimetrales** en todas las lagunas, lo cual además de proporcionar un mejor aspecto al sistema de tratamiento, garantiza el desplazamiento seguro de los operarios por el lugar sin correr el riesgo de resbalar y caer a cualquiera de las lagunas.

A pesar de que existen deficiencias en cuanto al funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, el sistema de Lagunas de Estabilización es bastante bondadoso y eficiente siempre y cuando se maneje adecuadamente. Es

por eso que aquí se hacen estas recomendaciones, con el fin de que se consiga optimizar el sistema buscando dar un mejor provecho a los procesos existentes.

Al concluir este proyecto, se puede decir que se alcanzaron totalmente los objetivos propuestos, logrando evaluar la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos en el sistema de tratamiento y al mismo tiempo proporcionando un punto de referencia para investigaciones futuras, o para nuevos sistemas de tratamiento.

BIBLIOGRAFIA

BOTERO, I. Lagunas de estabilización y el impacto de sus efluentes sobre corrientes receptoras, Universidad Nacional de Colombia, unidad académica ambiental, Santa Fe de Bogota.

CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE LAS CUENCAS DE LOS RIOS BOGOTA, UBATE Y SUAREZ (CAR). Informe sobre operación y funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales del municipio de Chia. Subdirección Técnica, División de estudios y6 diseños, Sección de infraestructura. Bogotá D. E Junio 1991.

AREVALO G Y BAZZANI L. Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Choconta (Cundinamarca), Universidad Nacional de Colombia, facultad de ingeniería – Dep. ing. Civil, unidad académica ambiental, Santa Fe de Bogotá DC 2000

Metcalf & Eddy. Tratamiento de aguas residuales, MC GRAW HILL. Volumen II 1995.

OLIVEROS U. Orlando. Evaluación operacional de las lagunas de oxidación de Valledupar. Bogotá D.E. Nov. 1989. 266p. Proyecto de grado para optar al titulo de Magíster en Ingeniería Sanitaria. Universidad Nacional de Colombia, facultad de Ingeniería Civil. Unidad Académica de Ingeniería Ambiental.

SEGURA B. Eduardo, Rediseños del Tratamiento de Aguas Negras Municipio de Chia. Car. Bogotá D.C., 1996.

YAÑEZ, F. Avances en el tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización. Lima; Perú; OPS/CEPIS. 1981 (Serie Documentos Técnicos; Nº 7)

Secretaria de Obras públicas Departamental, diseños del sistema de tratamiento de aguas residuales.

SAENZ F., Rodolfo. Predicción de la calidad del Efluentes de lagunas de Estabilización. En: Hojas de Divulgación Técnicas. OPS/CEPIS. N° 38 (abr 1987), Perú.

SARIKAYA H. and SAATCI A. Bacterial Die-Off in Waste Stabilization Ponds. En: Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE Vol. 113, EEZ, (abril 1987)

WATTER POLLUTION CONTROL FEDERATION. Wastewater Sampling For the Process and Quality Control. Washington D.C., 1980.

CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA EN LAS LAGUNAS DE OXIDACIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y RIO ARAUCA. Emserpa. Municipio de Arauca, Enero 2001

RODRIGUEZ, F. Evaluación preliminar de la remoción de coliformes fecales en la sexta laguna del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Arauca. Universidad Nacional de Colombia. 2004

CORBITT ROBERT. Manual de referencia de la Ingeniería Ambiental. España 2003

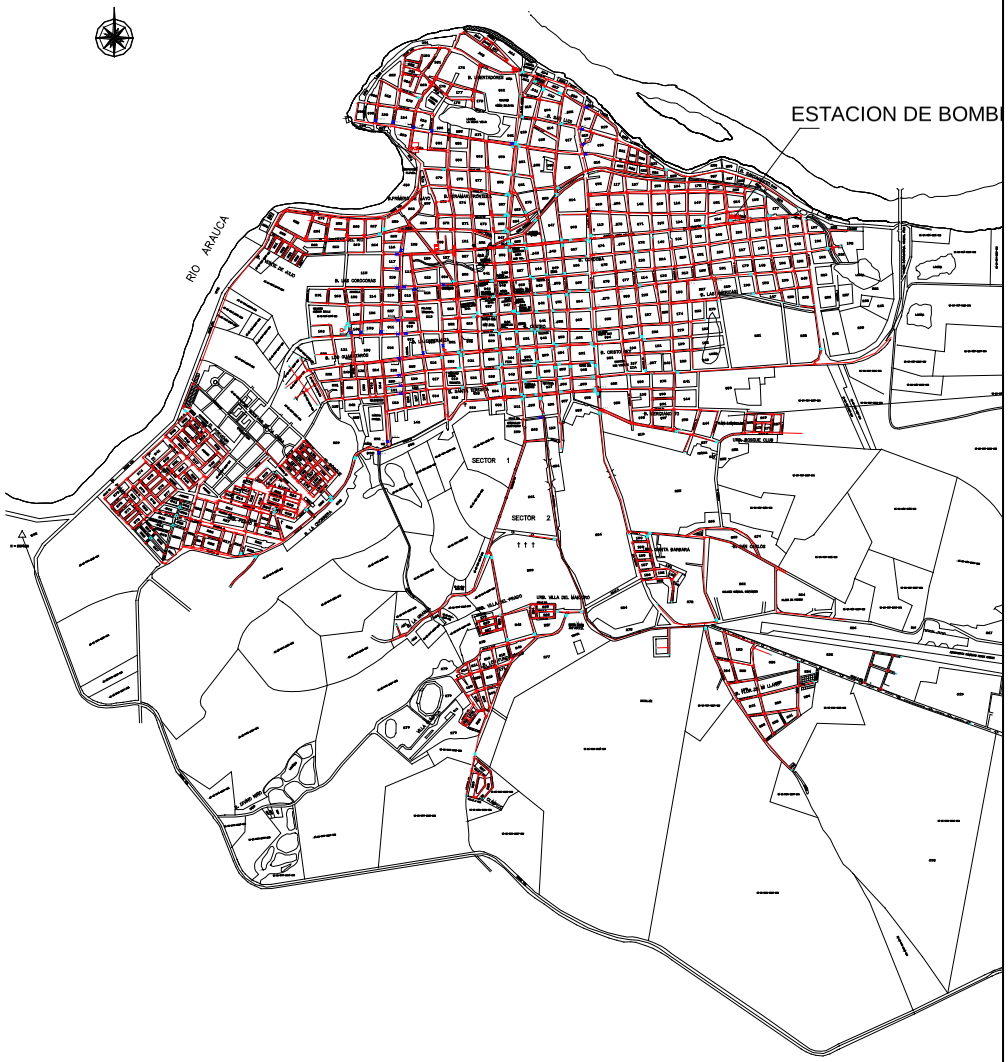
ANEXO 1:

SISTEMA DE ALCANTARILLADO

MUNICIPIO DE ARAUCA

Sistema de alcantarillado del casco urbano del municipio de Arauca

CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE ARAUCA



ANEXO 2:

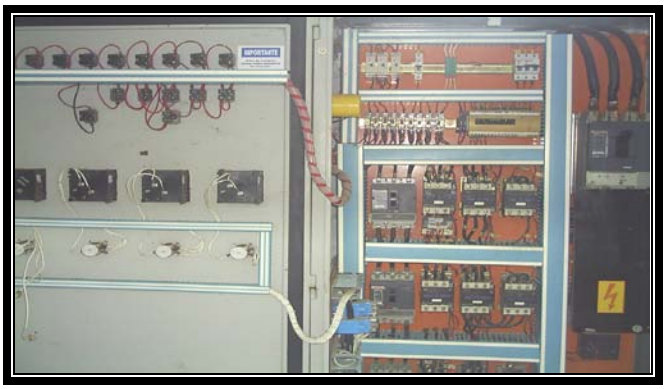
REGISTRO FOTOGRAFICO

Sistema de Tratamiento de Aguas residuales Municipio de Arauca. Vista Aérea.
Fuente: Secretaria Municipal de Planeación

Estación de Relevo Brigada XViii

Vertedero de entrada a las lagunas

Descarga de las aguas del sistema de tratamiento al efluente del Río Arauca



Sistemas de control estación de bombeo barrio unión

ANEXO 3:

REGISTROS DE CAMPO Y

DE LABORATORIO

PUNTO DE MUESTREO: ENTRADA DE AGUA RESIDUAL A LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

FECHA DE EJECUCIÓN: 18 | 4 | 2005 **RESPONSABLE: ANGELICA MOLINA**

Muestra N	Hora	T Ambiente	T de la Muestra	pH
1	07:30	26 C	26C	6,50

PUNTO DE MUESTREO: SALIDA DE AGUA RESIDUAL DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Muestra N	Hora	T Ambiente	T de la Muestra	pH
2	07:30	26	26	6,73

PUNTO DE MUESTREO: ENTRADA DE AGUA RESIDUAL A LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

FECHA DE EJECUCIÓN: 18 | 4 | 2005 **RESPONSABLE:** LILIANA TIGREROS

Muestra N	Hora	T Ambiente	T de la Muestra	pH
3	12:30	38C	29 C	6,6

PUNTO DE MUESTREO: SALIDA DE AGUA RESIDUAL DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Muestra N	Hora	T Ambiente	T de la Muestra	pH
4	12:30	38C	32 C	6,4

Observaciones

CLIMA		
Viento	Nublado	Lluvioso

Soleado X	Seco X	

EVALUACION DE LA REMOCION DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS - PTAR- ARAUCA

RESULTADOS DE CAMPO N. 1

PUNTO DE MUESTREO: ENTRADA DE AGUA RESIDUAL A LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

FECHA DE EJECUCIÓN: 19 | 4 | 2005 **RESPONSABLE: ANGELICA MOLINA**

Muestra N	Hora	T Ambiente	T de la Muestra	pH
5	07:30	27	26	6,41

PUNTO DE MUESTREO: SALIDA DE AGUA RESIDUAL DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Muestra N	Hora	T Ambiente	T de la Muestra	pH
6	07:30	27	26	6,67

PUNTO DE MUESTREO: ENTRADA DE AGUA RESIDUAL A LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

FECHA DE EJECUCIÓN: 19 | 4 | 2005 **RESPONSABLE:** LILIANA TIGREROS

Muestra N	Hora	T Ambiente	T de la Muestra	pH
7	12:30	35	29	6,4

PUNTO DE MUESTREO: SALIDA DE AGUA RESIDUAL DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Muestra N	Hora	T Ambiente	T de la Muestra	pH
8	12:30	35	35	6,5

Observaciones

CLIMA		
Viento X	Nublado	Lluvioso
Soleado	Seco	

EVALUACION DE LA REMOCION DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS - PTAR- ARAUCA

RESULTADOS DE CAMPO N. 2

PUNTO DE MUESTREO: ENTRADA DE AGUA RESIDUAL A LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

FECHA DE EJECUCIÓN: 20 | 4 | 2005 **RESPONSABLE: ANGELICA MOLINA**

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
9	07:30	27,2 C	27	6,4

PUNTO DE MUESTREO: SALIDA DE AGUA RESIDUAL DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
10	07:30	27,2 C	27	

PUNTO DE MUESTREO: ENTRADA DE AGUA RESIDUAL A LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

FECHA DE EJECUCIÓN: 20 | 4 | 2005 **RESPONSABLE:** LILIANA TIGREROS

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
11	12:30	38ºC	28ºC	6,4

PUNTO DE MUESTREO: SALIDA DE AGUA RESIDUAL DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH

12	12:30	38 ºC	37 ºC	6,6

Observaciones

CLIMA		
Viento	Nublado	Lluvioso
SoleadoX	Seco	

EVALUACION DE LA REMOCION DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS - PTAR- ARAUCA

RESULTADOS DE CAMPO N. 3

PUNTO DE MUESTREO: ENTRADA DE AGUA RESIDUAL A LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

FECHA DE EJECUCIÓN: 21 | 4 | 2005 **RESPONSABLE: ANGELICA MOLINA**

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
13	07:30	25,4	26	6,50

PUNTO DE MUESTREO: SALIDA DE AGUA RESIDUAL DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
14	07:30	25,4	26	6,70

PUNTO DE MUESTREO: ENTRADA DE AGUA RESIDUAL A LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

FECHA DE EJECUCIÓN: 21 | 4 | 2005 **RESPONSABLE:** LILIANA TIGREROS

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
15	12:30	37ºC	27ºC	6,5

PUNTO DE MUESTREO: SALIDA DE AGUA RESIDUAL DE LAS LAGUNAS

DE ESTABILIZACIÓN

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
16	12:30	37ºC	34ºC	6,3

Observaciones

CLIMA		
Viento	Nublado X	Lluvioso
Soleado	Seco X	

EVALUACION DE LA REMOCION DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS - PTAR- ARAUCA

RESULTADOS DE CAMPO N. 4

PUNTO DE MUESTREO: ENTRADA DE AGUA RESIDUAL A LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

FECHA DE EJECUCIÓN: 22 | 4 | 2005 **RESPONSABLE: ANGELICA MOLINA**

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
17	07:30	27ºC	28ºC	6,5

PUNTO DE MUESTREO: SALIDA DE AGUA RESIDUAL DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
18	07:30	27ºC	28ºC	6,67

PUNTO DE MUESTREO: ENTRADA DE AGUA RESIDUAL A LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

FECHA DE EJECUCIÓN: 22 | 4 | 2005 **RESPONSABLE:** LILIANA TIGREROS

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
19	12:30	35ºC	26ºC	6,2

PUNTO DE MUESTREO: SALIDA DE AGUA RESIDUAL DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
20	12:30	35ºC	30ºC	6,3

Observaciones

CLIMA		
Viento	Nublado X	Lluvioso
Soleado	Seco	

EVALUACION DE LA REMOCION DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS - PTAR- ARAUCA

RESULTADOS DE CAMPO N. 5

PUNTO DE MUESTREO: ENTRADA DE AGUA RESIDUAL A LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

FECHA DE EJECUCIÓN: 23 | 4 | 2005 **RESPONSABLE:** **ANGELICA MOLINA**

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
21	07:30	27ºC	27ºC	6,5

PUNTO DE MUESTREO: SALIDA DE AGUA RESIDUAL DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
22	07:30	27ºC	27ºC	6,7

PUNTO DE MUESTREO: ENTRADA DE AGUA RESIDUAL A LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

FECHA DE EJECUCIÓN: 23 | 4 | 2005 **RESPONSABLE:** LILIANA TIGREROS

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
23	12:30	30ºC	27ºC	6,9

PUNTO DE MUESTREO: SALIDA DE AGUA RESIDUAL DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
24	12:30	30ºC	30ºC	6,3

Observaciones

CLIMA		
Viento	Nublado	Lluvioso**X**
Soleado	Seco	

EVALUACION DE LA REMOCION DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS - PTAR- ARAUCA

RESULTADOS DE CAMPO N. 6

PUNTO DE MUESTREO: ENTRADA DE AGUA RESIDUAL A LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

FECHA DE EJECUCIÓN: 24 | 4 | 2005 **RESPONSABLE: ANGELICA MOLINA**

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
25	07:30	25 ºC	26ºC	6,4

PUNTO DE MUESTREO: SALIDA DE AGUA RESIDUAL DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
26	07:30	25ºC	26,2 ºC	6,7

PUNTO DE MUESTREO: ENTRADA DE AGUA RESIDUAL A LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

FECHA DE EJECUCIÓN: 24 | 4 | 2005 **RESPONSABLE:** LILIANA TIGREROS

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
27	12:30	29ºC	27ºC	6,5

PUNTO DE MUESTREO: SALIDA DE AGUA RESIDUAL DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
28	12:30	29ºC	27ºC	6,2

Observaciones

CLIMA		
Viento	Nublado X	LluviosoX
Soleado	Seco	

EVALUACION DE LA REMOCION DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS - PTAR- ARAUCA

RESULTADOS DE CAMPO N. 7

PUNTO DE MUESTREO: ENTRADA DE AGUA RESIDUAL A LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

FECHA DE EJECUCIÓN: 25 | 4 | 2005 **RESPONSABLE: ANGELICA MOLINA**

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
29	07:30	28ºC	28,5	6,4

PUNTO DE MUESTREO: SALIDA DE AGUA RESIDUAL DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
30	07:30	28ºC	28,5ºC	6,6

PUNTO DE MUESTREO: ENTRADA DE AGUA RESIDUAL A LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

FECHA DE EJECUCIÓN: 25 | 4 | 2005 **RESPONSABLE:** LILIANA TIGREROS

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
31	12:30	29 ºC	27ºC	6,4

PUNTO DE MUESTREO: SALIDA DE AGUA RESIDUAL DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
32	12:30	29ºC	28ºC	6,5

Observaciones

CLIMA		
Viento X	Nublado	Lluvioso
Soleado X	Seco	

EVALUACION DE LA REMOCION DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS - PTAR- ARAUCA

RESULTADOS DE CAMPO N. 8

PUNTO DE MUESTREO: ENTRADA DE AGUA RESIDUAL A LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

FECHA DE EJECUCIÓN: 26 | 4 | 2005 **RESPONSABLE: ANGELICA MOLINA**

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
33	07:30	27ºC	27,8ºC	6,5

PUNTO DE MUESTREO: SALIDA DE AGUA RESIDUAL DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
34	07:30	27ºC	27,8ºC	6,65

PUNTO DE MUESTREO: ENTRADA DE AGUA RESIDUAL A LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

FECHA DE EJECUCIÓN: 26 | 4 | 2005 **RESPONSABLE:** LILIANA TIGREROS

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
35	12:30	30ºC	25ºC	6,3

PUNTO DE MUESTREO: SALIDA DE AGUA RESIDUAL DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
36	12:30	30ºC	29ºC	6,2

Observaciones

CLIMA		
Viento	Nublado X	Lluvioso
Soleado	Seco	

EVALUACION DE LA REMOCION DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS - PTAR- ARAUCA

RESULTADOS DE CAMPO N. 9

PUNTO DE MUESTREO: ENTRADA DE AGUA RESIDUAL A LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

FECHA DE EJECUCIÓN: 27 | 4 | 2005 **RESPONSABLE: ANGELICA MOLINA**

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
37	07:30	29ºC	29,6ºC	6,5

PUNTO DE MUESTREO: SALIDA DE AGUA RESIDUAL DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
38	07:30	29ºC	29,6ºC	6,9

PUNTO DE MUESTREO: ENTRADA DE AGUA RESIDUAL A LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

FECHA DE EJECUCIÓN: 27 | 4 | 2005 **RESPONSABLE:** LILIANA TIGREROS

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
39	12:30	29ºC	25ºC	6,3

PUNTO DE MUESTREO: SALIDA DE AGUA RESIDUAL DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Muestra N	Hora	T Ambiente	T Muestra	pH
40	12:30	29ºC	27ºC	6,6

Observaciones

CLIMA		
Viento	Nublado X	Lluvioso
Soleado	Seco	

EVALUACION DE LA REMOCION DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS - PTAR- ARAUCA

RESULTADOS DE CAMPO N. 10