

# ***APENDICE F***

---

## ***TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES***

---

## APPENDICE F

### TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

#### Tabla de Contenido

<b>CAPITULO I</b>	<b>SISTEMA ACTUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....</b>	<b>F-1</b>
1.1	Tratamiento de Aguas Residuals Provenientes de Sistemas de Alcantarillado .....	F-1
1.1.1	Instalaciones Actuales .....	F-1
1.1.2	Calidad del Efluente .....	F-1
1.2	Mataderos.....	F-2
1.2.1	Características del Agua Residual .....	F-2
1.2.2	Proceso de Tratamiento .....	F-2
1.3	Agua Residual Industrial.....	F-2
1.3.1	Localización y Tamaño .....	F-2
1.3.2	Características del Agua Residual .....	F-3
1.3.3	Proceso de Tratamiento .....	F-3
1.4	Residuos Sólidos .....	F-4
1.4.1	Inventario.....	F-4
1.4.2	Disposición y Tratamiento de Lixiviado .....	F-4
<b>CAPITULO II</b>	<b>DESARROLLO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....</b>	<b>F-5</b>
2.1	Regulación del Efluente .....	F-5
2.2	Desarrollo del Tratamiento de Aguas Negras .....	F-5
2.2.1	Objetivos.....	F-5
2.2.2	Calidad Requerida del Efluente.....	F-6
2.2.3	Proceso de Tratamiento Propuesto .....	F-6
2.2.4	Planta de Tratamiento para el Sistema de Alcantarillado en Cada Municipio.....	F-12
2.2.5	Estimativo de Costos .....	F-21
2.2.6	Itinerario de Implementación .....	F-23
2.3	Matadero .....	F-24
2.3.1	Sistema de Tratamiento Propuesto.....	F-24
2.3.2	Estimativo de Costos.....	F-25
2.4	Agua Residual Industrial .....	F-25
2.4.1	Sistema de Tratamiento Propuesto .....	F-25
2.4.2	Estimativo de Costos .....	F-26
2.5	Sistema de Eliminación de Desechos Sólidos.....	F-26
2.5.1	Medidas de Mejoramiento .....	F-26
2.5.2	Estimativo de Costos.....	F-27
<b>REFERENCES</b>	<b>.....</b>	<b>F-28</b>

### **Lista de Tablas**

Tabla F.1.1	Calidad del Agua de la Planta de Tratamiento en Ubaté en 1998.....	F-T1
Tabla F.1.2	Calidad del Agua de la Planta de Tratamiento en Ubaté en 1999.....	F-T2
Tabla F.1.3	Calidad del Agua de la Planta de Tratamiento en San Miguel de Sema.....	F-T3
Tabla F.1.4	Calidad del Agua de la Planta de Tratamiento en Saboyá.....	F-T4
Tabla F.1.5	Sistema de Disposición de Residuos Sólidos en el Area de Estudio .	F-T5
Tabla F.2.1	Regulación del Efluentes .....	F-T6
Tabla F.2.2	Costo Directo de la Planta de Tratamiento en Municipio.....	F-T7
Tabla F.2.3	Costo de Adquisición de Tierra .....	F-T8
Tabla F.2.4	Etapa Programa de Carga de DBO Reducción .....	F-T8
Tabla F.2.5	Fase de Implementación de Cada Sistema de Alcantarillado .....	F-T9
Tabla F.2.6	Inversión Programa de Alcantarillado Desarrollo.....	F-T10

### **Lista de Figuras**

Fig. F.2.1	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Ubaté.....	F-F1
Fig. F.2.2	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Cucunubá .....	F-F2
Fig. F.2.3	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Lenguazaque.....	F-F3
Fig. F.2.4	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en San Miguel de Sema	F-F4
Fig. F.2.5	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Carmen de Carupa ..	F-F5
Fig. F.2.6	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Tausa.....	F-F6
Fig. F.2.7	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Sutatausa.....	F-F7
Fig. F.2.8	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Guachetá .....	F-F8
Fig. F.2.9	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Fúquene.....	F-F9
Fig. F.2.10	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Capellaniá .....	F-F10
Fig. F.2.11	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Susa.....	F-F11
Fig. F.2.12	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Simijaca .....	F-F12
Fig. F.2.13	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Caldas .....	F-F13
Fig. F.2.14	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Chiquinquirá .....	F-F14
Fig. F.2.15	Pretratamiento Aguas Residuales Matadero .....	F-F15
Fig. F.2.16	Planta de Pretratamiento Vuanzado de Aguas Residuales en Industrias Lácteas.....	F-F16
Fig. F.2.17	Sistema de Tratamiento de Lixiviados.....	F-F17

## APENDICE F TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

### CAPITULO I SISTEMA ACTUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

#### 1.1 Tratamiento de Aguas Residuales Provenientes de Sistemas de Alcantarillado

##### 1.1.1 Instalaciones Actuales

En este momento, cinco (5) municipios tienen planta de tratamiento de aguas residuales domésticas conducidas a través del sistema de alcantarillado. A continuación se presenta el plan general de cada planta de tratamiento:

Municipio	Proceso de Tratamiento	Año de Terminación	Costo ( $\times 10^3$ Col\$)	
			Construcción	Mantenimiento Anual
Ubaté	Reactor de Pistón Anaerobio	1995	419,000	90,636
Cucunubá	Laguna de Estabilización	1992	10,000	-
Lenguazaque	Lodo Activado	1998	280,000	17,964
San Miguel de Sema	Laguna de Estabilización	1995	29,000	4,200
Saboyá	Laguna de Estabilización	1992	81,000	3,300

El área y tamaño de las instalaciones principales son las siguientes:

Municipio	Área	Instalaciones	Tamaño
Ubaté	1.76ha	Reactor	L13.8m $\times$ A20m $\times$ P2.8m $\times$ 2
		Sedimentador	L13.8m $\times$ A8m $\times$ P2.4m $\times$ 2
		Total	L28.6m $\times$ A31m $\times$ P3.3m
Cucunubá	0.19ha	Laguna Facultativa	L28.3m $\times$ A19.1m $\times$ P2.5m L15.1m $\times$ A14.9m $\times$ P2.0m L40.7m $\times$ A21.9m $\times$ P2.0m
		Tanque de Aireación	L9.2m $\times$ A5m $\times$ P3.6m + L5m $\times$ A3.7m $\times$ P3.6m
		Tanque de Sedimentación	L3.6m $\times$ A1.4m $\times$ P3.6m+ L3.6m $\times$ A1.7m $\times$ P3.6m
Lenguazaque	0.89ha	Total	L11.0m $\times$ A9.9m $\times$ P4.0m
		Laguna Facultativa	L51.6m $\times$ A16.6m $\times$ P1.4m
San Miguel de Sema	3.84ha	Laguna Facultativa	L84m $\times$ A36.5m $\times$ P2.0m L79m $\times$ A43m $\times$ P2.0m

##### 1.1.2 Calidad del Efluente

A continuación se muestra la calidad promedio del efluente de Ubaté, San Miguel de Sema y Saboyá en 1999. El análisis fue realizado por la CAR. Los análisis detallados se muestran desde la Tabla F.1.1 hasta la Tabla T.1.4. La información sobre la calidad del efluente en Cucunubá y Lenguazaque no se pudo obtener.

Parámetro	Unidad	Ubaté	San Miguel de Sema	Saboyá
PH	-	7.1	7.0	8.8
DBO	mg/l	132.8	73.9	24.9
DQO	mg/l	410.5	319.2	103.4
SS	mg/l	88.7	115.8	46.2
OD	mg/l	0.0	4.4	5.7
Coliformes Totales	NMP/100ml	$33 \times 10^6$	$46 \times 10^6$	$30 \times 10^4$
Coliformes Fecales	NMP/100ml	$19 \times 10^6$	$32 \times 10^5$	$32 \times 10^3$

## 1.2 Mataderos

### 1.2.1 Características del Agua Residual

A continuación se presentan las características del agua residual generada en los mataderos:

- (1) La fluctuación de cantidad y calidad es muy grande, dependiendo del proceso del matadero. El mayor contaminante es la sangre.
- (2) El agua residual incluye bastante materia orgánica de proteínas, sangre, grasas, las que se descomponen fácilmente causando mal olor. Se necesita un tratamiento rápido. La concentración de fibra y sólidos suspendidos de la materia no digerida en el estómago, también es alta.
- (3) La sangre y otros órganos internos deben ser recogidos para cualquier otro uso como alimento o fertilizante y en la medida de lo posible no debe ser descargada en el agua residual.

A continuación se muestra la calidad promedio del efluente en los ocho (8) municipios cerca a Bogotá por la CAR y a Ubaté y Simijaca por el equipo de estudio de JICA.

Parámetro	Unidad	8 Municipios*	Ubaté	Simijaca
pH	-	7.4	7.0	8.8
DBO	mg/l	2,755.4	480	24.9
DQO	mg/l	4,667.4	1,195	103.4
SS	mg/l	661.0	398	46.2

Nota\* Chocontá, El Colegio, Cachipay, Agua de Dios, Sesquilé, Suesca, Gacancipá, Tocancipá

### 1.2.2 Proceso de Tratamiento

Todos los municipios tienen algún tipo de planta de pre-tratamiento como se menciona en el Apéndice E. 2.1.2. En la mayoría de municipios el pre-tratamiento está compuesto por colector de sangre, trampa de grasa, malla y tanque séptico. En Ubaté el tanque anaerobio es instalado después de la sedimentación. Por otro lado, en Fúquene y Caldas sólo están instalados colectores de sangre y pantallas. La calidad del agua residual depende de la limpieza diaria y la purga de cada tanque.

## 1.3 Agua Residual Industrial

### 1.3.1 Localización y Tamaño

Las fábricas procesadoras de leche están distribuidas principalmente en los municipios de Ubaté, Chiquinquirá y Simijaca. La cantidad de fábricas de leche de cada tamaño y

aquellas que tienen la planta de pre-tratamiento son las siguientes, de acuerdo con el cuestionario y observación llevado a cabo por el Equipo de Estudio. La tasa de instalación es muy baja, especialmente en fábricas pequeñas.

### 1.3.2 Características del Agua Residual

La calidad del agua residual de la fábrica depende de la operación de los equipos de procesamiento y la cantidad que se pierde de leche, subproductos del queso/yoghurt. Es necesario recuperarla en la medida de lo posible ya que estos productos serán utilizados como alimentadores etc.

Las características del agua residual de las fábricas de leche son las siguientes:

- (1) La fluctuación en calidad y cantidad es grande debido a los itinerarios de recolección de la leche.
- (2) El color del agua residual en las fábricas de enfriamiento generalmente es blanco y turbio debido a la pérdida de leche.
- (3) El solvente incluyendo el NaOH u otros alcalis, los cuales son periódicamente utilizados para limpieza de empaques y equipo de fabricación, causan un pH alto. Por otro lado, los largos períodos sin mantenimiento descomponen los sólidos en el tanque resultando en un bajo pH por formación de bacterias ácidas, bajo condiciones anaerobias.

La información de observación suplementaria presentada por el Equipo de Estudio JICA el 30 de abril y el 30 de septiembre se muestran a continuación. La fluctuación es grande, especialmente en el procesamiento de leche. El pH es más bien bajo, resultante de la condición anaerobia.

#### (1) Procesamiento de Leche

(Unidad: mgl/)

Parámetro	Influyente			Efluyente		
	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo
pH	4	5.3	6.9	4.5	5.5	7.0
DBO	560	5,495	15,000	18	854	2,520
DQO	780	14,096	34,600	24	2,026	5,720
SS	850	1,652	3,440	24	600	2,100

Nota: El número de muestra de influente y efluente es 8 y 4, respectivamente.

#### (2) Enfriamiento de Leche

(Unidad: mgl/)

Parámetro	Influyente			Efluyente		
	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo
pH	5.5	6.6	7.6	5.3	9.2	12.6
DBO	84	492	900	5	343	710
DQO	227	867	1,507	319	606	862
SS	477	499	520	236	267	325

Nota: El número de muestra de influente y efluente es 4 y 2, respectivamente.

### 1.3.3 Proceso de Tratamiento

h El Proceso de tratamiento excepto Incolácteos sólo está compuesto de desarenador,

cribado, trampa de grasa y sedimentación. Incolácteos en Simijaca tiene zanjón de oxidación y el efluente tratado es utilizado para irrigación. De 50 fábricas, cinco (5) fábricas incluyendo Incolácteos utilizan el efluente para irrigación.

## **1.4 Residuos Sólidos**

### **1.4.1 Inventario**

La mayoría de municipios excepto San Miguel de Sema y Guachetá prestan el servicio de recolección. El inventario se resume en la Tabla F.1.5. En Guachetá, el sitio de eliminación estaba en operación hasta 1996, pero actualmente el sólido es quemado en diferentes fincas privadas.

### **1.4.2 Disposición y Tratamiento de Lixiviado**

El desecho sólido recolectado es vaciado en el sitio de eliminación. La forma de realizar el vaciado generalmente es a campo abierto. En algunos municipios, como por ejemplo Simijaca, Saboyá, existe la idea de ejecutar un plan regional para el manejo de residuos sólido.

Algunas autoridades municipales están preocupados por la posibilidad de contaminar los ríos por lixiviación. La lixiviación del desecho sólido no tiene ningún tratamiento a excepción de Chiquinquirá. El proceso de tratamiento en Chiquinquirá está compuesto por el zanjón externo, planta de tratamiento y devolución de lixiviado al sitio de relleno. Sin embargo, en este momento la planta no está en funcionamiento debido al daño de la bomba.

Cucunubá recientemente construyó un sitio de relleno, aplicando membranas para evitar la infiltración. Su tiempo de vida es de 25 años. Este proyecto está co-financiado por el Departamento de Cundinamarca y por el municipio. Sutatausa también tiene el proyecto de cubrir con membrana sintética de baja permeabilidad. San Miguel de Sema quiere implementar el relleno sanitario en un futuro próximo. En Fúquene, se realiza reciclaje de botellas, carbones, plásticos y estos son vendidos en Bogotá.

## CAPITULO II DESARROLLO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

### 2.1 Regulación del Efluente

La regulación del efluente en el cuerpo de agua y/o alcantarillado fue realizada por la CAR en 1987 (Acuerdo No.58 de 1987). Cualquier descarga al alcantarillado o cuerpo de agua debe cumplir, por lo menos, con esta regulación. Las características de esta regulación son en rata de remoción de carga en vez de la concentración con respecto a DBO, SS, aceite y grasas.

Por otro lado, la CAR puede extender o restringir más la regulación de acuerdo con las características y objetivos de calidad del sistema de alcantarillado, del cuerpo receptor y del drenaje. Además, cuando los usuarios, aún cumpliendo con las regulaciones de vaciado, producen concentraciones en el cuerpo receptor, la CAR puede exigir al usuario más valores restrictivos al drenaje por el uso o usos asignados del recurso.

Al mismo tiempo, los municipios o entidades privadas en ejercicio pueden, autorizados por la CAR, incluir sustancias de interés sanitario y materiales sujetos a control especial con propósitos de protección de la red de alcantarillado.

La regulación de mayor parámetro de efluente de alcantarillado se muestra a continuación. La Tabla F.2.1 muestra la regulación detalladamente.

Parámetro	Cuerpo de Agua		Sistema de Alcantarillado	
	Usuario Actual	Nuevo Usuario	Usuario Actual	Nuevo Usuario
PH	5.0-9.0	5.0-9.0	5.0-9.0	5.0-9.0
Temperatura	40	40	40	40
Material Flotante	Ausente	Ausente	-	-
Grasas y Aceites	Remoción 80 %	Remoción 80 %	-	-
Acido, Base (Sustancias Explosivas o Flammables )	-	-	Ausente	Ausente
Asentamiento de Sólidos	-	-	10 mg/l	10 mg/l
Sustancias Sustraídas del Hexano	-	-	100 mg/l	100 mg/l
Sólido Suspendido	Doméstico	Remoción 80 %	Remoción 50 %	Remoción 80 %
	Industrial (>500mg/l)		Remoción 50 %	Remoción 80 %
DBO(>500mg/l)	Doméstico	Remoción 80 %	Remoción 30 %	Remoción 80 %
	Industrial	Remoción 80 %	Remoción 20 %	Remoción 80 %

### 2.2 Desarrollo del Tratamiento de Aguas Negras

#### 2.2.1 Objetivos

Aguas negras son el agua residual generada por una comunidad. Están compuestas principalmente por desechos humanos (heces y orina) y escoria que resulta del lavado personal, lavandería, preparación de alimentos, y limpieza de utensilios de la cocina. Algunas veces, el agua residual de las fábricas pequeñas y de otras instalaciones son descargadas conjuntamente. La descarga de agua residual cruda produce una polución masiva y disminución de oxígeno disuelto disponible en el cuerpo de agua. El sistema de



alcantarillado es instalado para reducir la carga orgánica y controlar la polución en los ríos.

### **2.2.2 Calidad Requerida del Efluente**

Es claro que la calidad del efluente de la planta de tratamiento de los caudales provenientes del sistema debe cumplir con la calidad mencionada arriba. Además, el agua del río donde se descarga el efluente no excede el criterio del agua. La calidad de cada río es clasificada en A, B, C y D. La clasificación de cada río ya se mostró en la Fig.E.1.6.

Los efluentes de los municipios de Ubaté y Chiquinquirá, que son el mayor contaminante del área de estudio, son descargados a ríos Ubaté y Suárez, respetivamente. Los criterios de calidad de agua respecto a la DBO en cada río son de 5 mg y 10 mg/l, respectivamente. La calidad del efluente se debe decidir con base en la calidad del Río Ubaté debido a que el criterio de agua en el Río Ubaté es más crítico que en el Río Suárez. La calidad de agua del río después de recibir el efluente de la planta, es calculada promediando tanto la calidad como la cantidad del río y el efluente.

Luego de la confluencia de los ríos Ubaté y Suta, la baja tasa de flujo es  $0.60 \text{ m}^3/\text{seg}$ , por otro lado, la concentración de  $\text{DBO}_5$  antes de recibir el efluente es de cerca de 2 mg/l. El resultado del cálculo muestra que la calidad del agua del río cumplirá con el criterio de calidad si el efluente es menor a de  $\text{DBO}_5$  30 mg/l. Se realizó el mismo cálculo en Colorado, donde una tasa de flujo baja es de cerca de  $1.14 \text{ m}^3/\text{seg}$ , muestra que la calidad permitida es 50 mg/l.

Se propone que se exija que la calidad del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas considerando la  $\text{DBO}_5$  sea menor a 40 mg/l basados en los resultados del Promedio de ambos cálculos.

### **2.2.3 Proceso de Tratamiento Propuesto**

#### **(1) Evaluación del Tratamiento**

Se desarrollaron varios procesos de tratamiento para reducir la carga suspendida, la demanda de oxígeno del agua residual descargada y los microorganismos patógenos.

Para evaluar las alternativas, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos.

#### **(a) Aspecto Técnico**

- ✓ Limpiar el objetivo de nivel de efluente y hacer que el efluente no sea dañino.
- ✓ Poder acostumbrarse a la fluctuación de la calidad y cantidad del influente
- ✓ Operación y mantenimiento adecuado
- ✓ Eliminación adecuada del lodo generado

#### **(b) Aspecto Económico**

- ✓ Disponibilidad de terreno a precio razonable
- ✓ Bajos costos de construcción
- ✓ Bajos costos de operación y mantenimiento

#### **(c) Aspecto Higiénico**

✓ Remoción fácil y efectiva de microorganismos patogénicos

(2) Proceso de Tratamiento Alternativo

Hasta ahora se han desarrollado varios tipos de tratamiento y sus variaciones. Las características, ventajas y desventajas de cinco (5) procesos de tratamiento, especialmente, laguna de estabilización, laguna aireada, reactor anaerobio flujo por pistón, zanjón de oxidación y lodos activados se tratan en esta sección. Como se menciona arriba, cinco (5) municipios ya adoptaron el laguna de estabilización, reactor anaerobio flujo por pistón y lodos activados.

(a) Laguna de Estabilización

La laguna de estabilización está compuesta por lagunas grandes y poco profundas rodeadas por terraplenes en las que las aguas negras son tratadas a través de procesos totalmente naturales que involucran tanto algas como bacterias. las lagunas anaerobias, facultativas y de maduración son asignadas en forma individual o combinada. No son necesarias las instalaciones de tratamiento de Lodo.

Las siguientes son las ventajas de este proceso:

- (i) La DBO y los patógenos pueden ser removidos de las aguas negras al mínimo costo de operación sobria. La remoción de patógenos es considerablemente más importante que en otras plantas de tratamiento de aguas negras.
- (ii) El mantenimiento puede ser hecho por personas no calificadas y bajo supervisión mínima. Las principales tareas son cortar el pasto de los diques en forma regular y garantizar la ausencia de sólidos flotantes, puntos muertos, vegetación emergente a los lados de la laguna para prevenir la molestia de mosquitos y otros insectos.
- (iii) El manejo del lodo es mínimo. Otros procesos exigen una remoción regular de lodo, resultando en una demanda de un gran área de lechos de secado o instalaciones sofisticadas y costosas para la eliminación de lodo para deshidratación, digestión, e incineración. Por otro lado, las lagunas anaerobias necesitarán que se retire el lodo cada 2 o 3 años y las lagunas facultativas y de maduración generalmente pueden funcionar satisfactoriamente por más de 20 años antes de que la acumulación de lodo alcance un nivel que necesite ser removido.
- (iv) Pueden retirar cargas de choque tanto orgánicas como hidráulicas.
- (v) Pueden ser diseñadas fácilmente de forma que el grado de tratamiento sea alterado prontamente.

Las desventajas de este proceso son las siguientes:

- (i) Necesita espacios mucho más grandes que otros procesos de tratamiento.

La razón por la cual se necesita tiempos de retención, e instalaciones tan grandes, es que las ondas naturales y la fotosíntesis de las algas proporcionan oxígeno en los tanques reactores.

- (ii) El efluente final también puede contener sólidos bastante

suspendidos que resultan del crecimiento de las algas. Este proceso a veces requiere antes de la descarga, instalaciones para sedimentación como lagunas de maduración.

- (iii) La generación de olores y los riesgos de reproducción de insectos son un posible problema, que ocurrirá debido a la falta de mantenimiento. Es preferible instalar la planta en un sitio retirado de viviendas, especialmente en el caso de lagunas anaerobias.

(b) Laguna Aireada

Las lagunas aireadas son unidades de lodos activados operadas sin retorno de lodos. Históricamente, fueron desarrolladas de las lagunas de estabilización en climas templados donde la aireación mecánica se utilizó para complementar el suministro de oxígeno para las algas en el invierno. Este proceso ahora es usualmente diseñado como Unidades de Lodo activado mixtas sin retorno.

El oxígeno generalmente es suministrado por medio de un aireador superficial o de unidades de aire difuso para el bio-oxígeno. La turbulencia creada por los dispositivos de aireación con suficiente fuerza, se utilizan para mezclar los contenidos de las lagunas, para mantenerlos en suspensión y para mantener un nivel de oxígeno disuelto a 1-2 mg/l en todas las épocas del año. Este proceso es adecuado y eficiente en caso de que el lodo aumente, que el espacio sea estrictamente limitado y que se necesite una gran cantidad de efluente. Como el suministro de oxígeno en el tanque reactor se hace por oxidación compulsiva, el tiempo de retención es más corto que el de la laguna de estabilización. Las instalaciones de tratamiento de lodos no son necesarias.

Las ventajas de este proceso son las siguientes:

- (i) El sistema no es sensible a la carga de choque.
- (ii) Los costos de construcción son relativamente bajos comparados con el proceso de lodo activado convencional.
- (iii) La operación es fácil.
- (iv) Este proceso es aplicable para aumentar la capacidad de la planta de tratamiento de caudales residuales provenientes del sistema de alcantarillado originalmente construida como laguna de estabilización. Cuando las lagunas facultativas se sobrecargan, se podrían convertir, con un cuidadoso diseño en lagunas de aireación instalando aireadores mecánicos.

(c) Reactor Anaerobio Flujo de Pistón

El tratamiento anaerobio incluyendo el reactor anaerobio flujo de pistón, consiste en degradar la materia orgánica por medio de la acción coordinada de microorganismos en ausencia de oxígeno. El gas se obtiene como un subproducto, usualmente llamado bio-gas compuesto por metano y dióxido de carbono. Tradicionalmente, el proceso anaerobio ha sido considerado como barato pero poco eficiente. El reactor anaerobio de pistón se modifica para que la superficie del agua haga contacto con la atmósfera en forma directa de forma que la baja concentración de metano en esta cause un importante gradiente dentro del agua residual, saturada

con gas y con el aire. Esto permite una evacuación física de parte del metano del agua residual y también ayuda termodinámicamente a la metanogénesis.

Las ventajas de este proceso son las siguientes:

- (i) Produce menos lodo para disposición final.
- (ii) Necesita menos nutrientes.
- (iii) Los costos de operación son menores porque no necesita oxígeno y menos cantidades de lodo para ser procesado.
- (iv) Utiliza cargas altamente hidráulicas y orgánicas.
- (v) La producción de subproductos (metano) es potencialmente útil.

A continuación se presentan las desventajas de este proceso:

- (i) Su operación es difícil debido a la inestabilidad y a los procesos iniciales lentos y sensibles.
- (ii) La sedimentación y espesamineto es difícil debido a que el lodo es metanogénico.
- (iii) Es menos eficiente y generalmente requiere procesos anaerobios tales como zanjón de oxidación o laguna facultativa como proceso de tratamiento posterior.
- (iv) Tiene la posibilidad de generar olores indeseables.

(d) Zanjón de Oxidación

Esta es una adaptación especial del proceso de lodos activados. Consiste en un zanjón redondo o con forma de óvalo, equipado con dispositivos de aireación mecánica. El agua residual detectada entra al zanjón, es aireada, y circula a más o menos 0.3 m/s. Las aguas negras en el zanjón circulan junto con el lodo activado y las sustancias orgánicas dentro de este son absorbidas y asimiladas por el lodo activado.

Mientras el tanque de sedimentación primario no es necesario, los tanques de sedimentación secundarios se utilizan para la mayoría de las aplicaciones. Las instalaciones para tratamiento de lodos también son necesarias. El zanjón de oxidación es adoptado en muchos municipios debido a su alta eficiencia y al área compacta. El manejo de lodo no es tan complicado.

Las ventajas comparadas con el proceso de lodo activado son las siguientes:

- (i) Es flexible a la fluctuación de cantidad y calidad de influente por su largo tiempo de retención en el tanque reactor.
- (ii) Necesita menos equipo mecánico.
- (iii) Necesita menos demanda de operadores calificados debido a su simple operación.
- (iv) Los costos de construcción son menores.
- (v) Produce mucho menos lodo resultante de la estabilización normal o

un alto grado de mineralización en el propio zanjón.

Una desventaja es que este proceso requiere más área de terreno que el proceso de lodo activado.

(e) Lodo Activado

Este proceso está compuesto por dos etapas. La primera comprende el establecimiento físico de sólidos en el primer tanque de sedimentación. La segunda etapa, normalmente es un proceso biológico. El agua residual colocada y el lodo activado reciclado entra en la cabeza del tanque de aireación y son mezclados con aire-difusor o aireación mecánica. El flotante es descargado después de la separación en el tanque de sedimentación secundario.

El tiempo de retención en un reactor es el menor (cerca de seis (6) horas) y la carga es mayor. Entonces, el tanque de sedimentación primario es necesario para manejar la fluctuación en cantidad y calidad de aguas negras para igualar/mitigar la carga. El lodo de las etapas de tratamiento primario y secundario normalmente se estabiliza en digestores anaerobias separados y requiere una máquina deshidratadora o un lecho de secado.

El proceso de lodo activado no está disponible sino en grandes ciudades y en sitios turísticos (“resorts”) donde los costos de adquisición de la tierra son muy elevados.

Las ventajas de este proceso son las siguientes:

- (i) Requiere poco espacio de tierra.
- (ii) La escala es considerablemente económica, entonces es apropiada para flujos grandes de aguas negras.
- (iii) La eficiencia de remoción de DBO es la mayor.

Las siguientes son las desventajas:

- (i) El proceso de tratamiento es mecánico en vez de necesitar bastante mano de obra, con altos costos externos, alto consumo de energía debido a que este proceso depende de maquinaria eléctrica como bombas, extractoras de lodo, secadores, etc.,
- (ii) Estas instalaciones requieren habilidad en la instalación, operación y mantenimiento. Esto, particularmente el mantenimiento, no está disponible de inmediato.
- (iii) El proceso biológico es sensible a sustancias tóxicas en las cargas de agua residual y de choque.

(f) Características de Cada Proceso de Tratamiento

La tabla a continuación muestra algunas de las ventajas y desventajas del proceso de tratamiento de aguas negras más utilizado.

Items	L.de Estabi.	L.Aireada	RAP	Z. de Oxidación	Lodo Activado
Remoción DBO <sub>5</sub>	B	B	C	A	A
Remoción SS	C*	B	C	A	A
Costo	Construcción	A	B	B	C
	Mantenimiento	A	B	B	C
Diseño de Construcción	A	B	B	B	C
Demanda de Energía	A	B	A	C	C
Remoción de Lodo	A	A	B	B	C
Área Requerida	C	B	A	A	A

Nota: A: Bueno, B: Justo, C: Poco, \*: debido a las algas

### (3) Comparación de Cada Proceso

Para poder realizar una comparación entre cada proceso, con excepción de RAP y del Lodo activado, los costos de construcción, operación y mantenimiento y el área requerida, se calculan bajo las mismas condiciones de diseño.

A continuación se presenta la razón por la cual RAP es excluido:

- (a) Este sistema generalmente requiere un proceso posterior de tratamiento aeróbico como por ejemplo zanjón de oxidación o laguna facultativa.
- (b) La información de análisis en Ubaté muestra que la tasa de remoción es inferior al otro proceso de tratamiento.

Por otro lado, el proceso de lodo activado también se excluye porque generalmente se adopta en áreas altamente pobladas, requiere alto consumo de energía y considerable habilidad en la instalación, operación y mantenimiento como se menciona arriba.

Las condiciones de diseño son las siguientes:

- (a) La cantidad de influente es 1,000 m<sup>3</sup>/día; El DBO en el influente y el efluente es 250 mg/l y 40 mg/l, respectivamente.
- (b) Con respecto a la laguna de estabilización, se adoptan dos tipos, especialmente, la combinación de la laguna facultativa y la laguna anaerobia individualmente, porque la laguna anaerobia es muy efectiva en ahorro de tiempo de retención y área de laguna. La laguna de maduración no se tiene en cuenta porque su función principal es la de destruir patógenos, para producir un efluente con un DBO de menos de 25 mg/l y para reducir los sólidos altamente suspendidos que resultan del crecimiento de las algas.
- (c) La bomba para sacar el influente es instalada en todos los casos.
- (d) El sitio escogido es casi plano, con nivel medio de permeabilidad. Se supone que el precio unitario de los predios es aproximadamente 2,500 Col\$ /m<sup>2</sup>, que es el precio promedio de praderas en los 14 municipios.
- (e) Se adopta el costo unitario en septiembre de 1999.
- (f) El costo de construcción es sólo directo, no incluye costos indirectos como

por ejemplo costos de administración, gastos incidentales, utilidad, IVA, y gastos de intervención.

- (g) Los costos de mantenimiento y operación están compuestos por cargos de energía y gastos de personal. Para el costo de energía se adopta el precio de 151 Col\$ /kWh. No se incluyen los costos de reparaciones, suministro de repuestos o maquinaria, etc.

A continuación se resume la comparación.

Items	Laguna de Estabilización		Laguna Aireada	Zanjon de Oxidación
	LF	LA+LF		
Área Requerida (m <sup>2</sup> )	22.700	16.000	6.800	5.000
Costo de Construcción (M Col\$)	Civil	167.7	191.4	123.6
	Maquinaria	15.3	15.3	189.4
	Sub-Total	183.0	206.6	311.5
Compra de Predios (M Col\$)	56.7	39.9	16.9	12.5
Costo Total (M Col\$)	239.7	246.5	328.4	480.0
Costo Anual de O&M (M Col\$)	14.4	14.4	44.2	57.9

Nota: LF: Laguna Facultativa, LA: Laguna Anaerobia,

#### (4) Conclusiones y Recomendaciones

La Tabla anterior muestra que el proceso de tratamiento preferido es la laguna de estabilización con laguna facultativa si hay disponibilidad suficiente de terreno a un costo razonable y que esté cerca del sistema de alcantarillado. La segunda es la laguna de estabilización con combinación de laguna anaerobia y laguna facultativa porque hay reclamos de que las lagunas anaerobias algunas veces generan malos olores debido al poco mantenimiento. Sin embargo, tienen la ventaja de que ahorran área de terreno. Se adoptará otro proceso teniendo en cuenta la restricción de área o de instalaciones existentes.

### 2.2.4 Planta de Tratamiento para el Sistema de Alcantarillado en Cada Municipio

#### (1) Cantidad y Calidad del Influyente

La cantidad y calidad del influente de fuentes contaminantes importantes en la planta de tratamiento se calcula con base en la Tabla E.2.13.

Inevitablemente una cantidad de agua subterránea se infiltra en el tubo de alcantarillado. Este volumen depende de las condiciones de la tierra, el nivel del agua subterránea, los materiales de la tubería del alcantarillado, el tipo de uniones de los tubos, la habilidad en la construcción local y el método. La capacidad de tratamiento debe incluir algo de tolerancia en la aceptación de infiltración del agua subterránea.

Aunque no existe información cuantitativa para sacar conclusiones, sería razonable asumir una tolerancia de 0.1 l/ha/s, adoptada al diseñar la planta de tratamiento de Ubaté.

A continuación se resume la cantidad y calidad de cada municipio:

Nombre del Municipio	Área Atendida (ha)*	Cantidad (m <sup>3</sup> /día)	Calidad		
			Carga (kg/d)	DBO (mg/l)	
Carmen de Carupa	37	515	115.5	224	
Ubaté	158	6,212	1,995.7	321	
Tausa	11	192	60.4	314	
Sutatausa	12	234	73.8	316	
Cucunubá	21	363	104.6	288	
Lenguazaque	33	670	149.3	223	
Guachetá	41	983	238.4	242	
San Miguel de Sema	16	303	84.5	279	
Fúquene	Fúquene	15	184	30.7	167
	Capellanía	12	149	25.9	173
Susa	37	478	96.6	202	
Simijaca	75	1,551	365.9	236	
Caldas	10	141	31.1	220	
Chiquinquirá	391	12,298	2,777.9	226	
Saboyá	40	488	80.8	166	

Nota: \* Informacion Catastral de 1998, Subdireccion de Catastro, Institute Geografico 'Agustin Cozazzi', Ministerio de Hacienda y Credito Publico.

## (2) Sitio Elegido para la Planta de Tratamiento

La localización y área del sitio elegido para la planta de tratamiento son los factores más importante para diseñar la planta de tratamiento. Algunos municipios ya han adquirido un sitio, otros no tienen planes de tratamiento o área. La siguiente tabla muestra la situación al adquirir el sitio para la planta de tratamiento. El costo promedio de las tierras en cada municipio también se muestra a continuación.

Nombre del Municipio	Proceso de Tratamiento	Plan	Sitio para la Planta de Tratamiento		Costo de Terreno (Col\$/m <sup>2</sup> )
			Área(m <sup>2</sup> )	Precio (M Col\$)	
Carmen de Carupa	-	Ninguno	-	-	800
Ubaté	RAP	-	17,600	Desconocido	4,700
Tausa	-	Confirmado	-	-	1,600
Sutatausa	-	Ninguno	(12,000)	-	2,300
Cucunubá	L.E	-	1,900	-	3,100
Lenguazaque	Lodos Activado	-	8,900	Desconocido	2,800
Guachetá	-	Ninguno	-	-	3,100
San Miguel de Sema	L.E	-	38,400	78	2,300
Fúquene	Fúquene	-	Ninguno	-	3,100
	Capellanía	-	Confirmado	1,700	13.84
Susa	-	Ninguno	19,200	54	2,800
Simijaca	-	Confirmado	60,000	-	3,900
Caldas	-	Ninguno	-	-	1,300
Chiquinquirá	-	Confirmado	116,444	282	3,900
Saboyá	L.E	-	20,000	20	3,700

Nota: Las cifras en paréntesis muestran lo confirmado pero aún no comprado.



(3) Mejoramiento de la Planta de Tratamiento Actual

(a) Ubaté

Ubaté es la segunda ciudad en el Área de Estudio. La planta de tratamiento (RAP) ya ha estado operando desde 1995. El año meta de esta planta es el 2010, y hay un plan para construir una nueva planta de tratamiento cerca de la que existe actualmente.

El efluente promedio de DBO en 1998 y 1999 es 100 mg/l y 133 mg/l, respectivamente y la tasa de remoción es de cerca del 65 % (Ver Tabla F.1.1 y 1.2). Casi toda la información muestra que la concentración OD es 0 mg/l debido a que el efluente del tanque de sedimentación es descargado directamente al río. Se teme que el efluente con poco tratamiento cause la contaminación del agua del Río Ubaté. El proceso de tratamiento aeróbico es necesario, seguido por la planta existente. El personal también quiere adoptar un sistema de tratamiento diferente en caso de que se construya la planta de tratamiento nueva.

El área total del sitio de tratamiento es de cerca de 17,600 m<sup>2</sup> incluyendo la planta existente que tiene 1,000 m<sup>2</sup>. El área disponible para la nueva planta de tratamiento no es suficiente para instalar la laguna de estabilización.

Se encuentra disponible una laguna aireada o un zanjón de oxidación dentro del rango del área restante. El resultado de comparación de cada proceso es el siguiente:

Items	Laguna Aireada	Zanjón de Oxidación
	Civil	254.4
Costo de Construcción (M Col\$)	Maquinaria	407.2
	Total	586.8
		1,044.6
Costo anual de O & M (M Col\$)	89.4	144.8
Área de Tierra Requerida (m <sup>2</sup> )	15,000	11,000

Basados en la comparación anterior, se recomienda una laguna aireada. Las mayores instalaciones de la planta propuesta son las siguientes. El mapa de localización y el esquema de cada instalación se muestran en la Fig. F.2.1.

Instalaciones	Tamaño
Laguna Aireada	L55 (53)m × A32(30)m × P4.5(4)m × 1
	L68(66)m × A27(25)m × P4.5(4)m × 1
Laguna Facultativa	L77(75)m × A32(30)m × P2.5(2.0)m × 2
Aireador	5.5KW × 6, Tipo Flotante

Nota: Las cifras en paréntesis muestran la longitud de la red de cada instalación.

(b) Cucunubá

Tres lagunas han tratado el agua residual desde 1992. El municipio reconoce la necesidad de construir las lagunas adicionales en el futuro ya que la capacidad de la laguna es muy pequeña. Sin embargo, el dueño de la tierra no quiere vender la tierra cerca de la laguna. Debido a la falta de área, el volumen total es muy pequeño para tratar el influente en forma eficiente. La planta de tratamiento está rodeada por vastas praderas y el dueño utiliza el efluente para irrigación. El tiempo de irrigación se hace de noche para

evitar las quejas de los vecinos sobre malos olores ya que la calidad del efluente es muy baja.

Para salvar el terreno se recomienda la laguna de estabilización anaeróbica y la laguna facultativa. La primera laguna será dragada para que funciones como una laguna anaeróbica y el área de superficie requerida para la nueva laguna será calculada restando el área requerida de las ya existentes. La nueva laguna será instalada en un sitio adecuado entre la segunda y la tercera laguna.

A continuación se presentan las instalaciones más importantes requeridas para una nueva construcción. El mapa de localización y el esquema de cada instalación se muestra en la Fig. F.2.2.

Instalaciones	Tamaño
Laguna Anaerobia (Mejora de la Laguna Existente)	L28(27)m × A19(18)m × P4.5(4.0)m × 1
Laguna Facultativa	L58(56)m × A58(56)m × P2.5(2.0)m × 1
Área de Tierra Requerida	4,700 m <sup>2</sup>

Nota: Las cifras entre paréntesis muestran la longitud de cada una de las instalaciones.

(c) Lenguazaque

La CAR, en 1998 propuso la planta de tratamiento con laguna de estabilización, la cual tiene cuatro (4) lagunas facultativas. El año meta es el 2020, la población atendida es de 2400 y el costo total es 486 M Col\$.

Sin embargo, la planta de tratamiento con proceso de lodos activados fué terminada en octubre de 1998 financiada por la gobernación de Cundinamarca. Toda la maquinaria es fabricada en Estados Unidos. Aún no se han construido la bomba ni la tubería de alcantarillado de cerca de 1,200 m, que mandan el agua residual del área urbana a la planta de tratamiento. Recientemente, el gobernador de Cundinamarca prometió proporcionar el fondo de mejoras para instalar la estación de bombeo. En la actualidad, la planta de tratamiento trata únicamente el agua residual circulada que es descargada por la bomba temporal para proteger la pared de concreto.

Esta planta no tiene tanque primario de sedimentación y la tasa de rebosamiento del tanque secundario de sedimentación es muy grande para separar el flotante del efluente mezclado con lodo. No hay instalaciones de manejo de lodo como engrosadores y lechos de secado. No existe información sobre el efluente, pero supuestamente la tasa de remoción es de menos del 30 %. Se necesita otra planta de tratamiento para cumplir con el DBO de 40 mg/l de efluente.

El municipio tiene un área de 10,500 m<sup>2</sup> como sitio de tratamiento. En la actualidad, la planta existente ocupa cerca de 150 m<sup>2</sup> y se está construyendo en este sitio un nuevo matadero de 1,600 m<sup>2</sup>. Se dejan cerca de 9,300 m<sup>2</sup> para nuevos sitios de tratamiento.

Como es imposible instalar la laguna de estabilización dentro del rango del área antes mencionada, la siguiente selección es se sugiere la laguna aireada o el zanjón de oxidación. Se prefiere la laguna aireada teniendo en cuenta los costos de construcción, mantenimiento y fácil operación y

mantenimiento.

Las mayores instalaciones de la planta propuesta son las siguientes. El mapa de localización y el esquema de cada una de las instalaciones se muestran en la Fig. F.2.3.

Instalaciones	Tamaño
Laguna Aireada	L30(28)m × A30(28)m × P4.5(4.0)m × 1
Laguna Facultativa	L48(46)m × A30(28)m × P2.5(2.0)m × 1
Aireador	2.2kw × 4, Tipo Flotante
Área Requerida de Tierra	5,200 m <sup>2</sup>

Nota: Las cifras que aparecen en paréntesis muestran la longitud de la red de cada una de las instalaciones.

(d) San Miguel de Sema

Esta planta tiene una sola laguna, que funciona como anaeróbica y como laguna facultativa. La cantidad promedio de efluente en 1.999 es 74 mg/l, que excede 40 mg/l.

El municipio tiene un área total de 38,400 m<sup>2</sup> incluyendo la planta existente como planta de tratamiento. La laguna existente, que tiene un área de superficie de 700 m<sup>2</sup>, es utilizada como laguna facultativa debido a su profundidad de 1.4 m. Se propone una nueva laguna de estabilización para construirla sobre la laguna existente, donde los estudiantes planten vegetales.

Las mayores instalaciones de la planta propuesta son las siguientes. El mapa de localización y esquema de cada una de las instalaciones se muestran en la Fig. F.2.4.

Instalaciones	Tamaño
Laguna Facultativa	L68(66)m × A35(33)m × P2.5(2.0)m × 2
Área de Tierra Requerida	9,000 m <sup>2</sup>

Nota: Las cifras en paréntesis muestran la longitud de la red de cada una de las instalaciones.

(e) Saboyá

La planta de tratamiento está compuesta por lagunas facultativas y de maduración. Fué terminada en 1992. El dragado del lodo no se ha realizado ya que el área superficial de las dos lagunas es 6.600 m<sup>2</sup>, lo que es suficiente aún si la cantidad aumenta hasta el 2010. La cantidad promedio de efluente en 1999 es 25 mg/l, lo cual puede alcanzar 40 mg/l. No es necesario mejorar esta planta de tratamiento.

(4) Desarrollo de Plantas de Tratamiento

(a) Carmen de Carupa

Este municipio no tiene ni planes ni sitio seleccionado para la planta de tratamiento. Por encima del punto de descarga sobre el río escasamente hay un campo. Se propone instalar la laguna de estabilización en este sitio con el acuerdo previo del dueño de la tierra.

Las instalaciones de la planta propuesta son las siguientes. El mapa de

localización y esquema de cada una de las instalaciones se muestran en la Fig. F.2.5.

Instalaciones	Tamaño
Laguna Facultativa	L86(84)m × A44(42)m × P2.5(2.0)m × 2
Área de Tierra Requerida	12,500 m <sup>2</sup>

Nota: Las cifras en paréntesis muestran la longitud de la red de cada una de las instalaciones.

(b) Tausa

Este municipio ya tiene el diseño de la planta de tratamiento con proceso de lodo activado y quiere construirla el próximo año. El costo total es de aproximadamente 80 M Col\$, los cuales serán financiados por Cundicamarca. El sitio escogido se fijó cerca al punto de descarga pero no se ha comprado todavía. Esta área es muy pequeña y el espacio plano es mínimo. Sin embargo, se puede instalar una laguna de estabilización con laguna anaerobia y laguna facultativa analizando el esquema de cada una de las instalaciones.

Las mayores instalaciones de la planta propuesta son las siguientes. El mapa de localización y el esquema de cada una de las instalaciones se muestran en la Fig. F.2.6.

Instalaciones	Tamaño
Laguna Anaerobia	L15-22(14-21)m × A20(19)m × P4.5(4.0)m × 1
Laguna Facultativa	L23-25(21-23)m × A55(53)m × P2.5(2.0)m × 1
Área de Tierra Requerida	3,600 m <sup>2</sup>

Nota: Las cifras en paréntesis muestran la longitud de la red de cada una de las instalaciones.

(c) Sutatausa

Aunque ya se escogió un sitio recomendado por la CAR, aún no se ha comprado el área. La localización es a lo largo del río y la tubería de cerca de 200 m debe ser instalada debido a la corriente del punto de descarga. El dueño posee un total de 100,000 m<sup>2</sup> incluyendo el sitio seleccionado de 12,000 m<sup>2</sup>. Aún no se ha decidido el proceso de tratamiento, pero se está pensando en el RAP como en Ubaté. Los límites de 12,000 m<sup>2</sup> no son claros pero el área plana del sitio seleccionado con aproximadamente 4,800 m<sup>2</sup> es suficiente para instalar la laguna de estabilización anaeróbica y laguna facultativa. Si hay disponibles 12,000 m<sup>2</sup> es preferible la laguna facultativa individualmente.

En ambos casos las mayores instalaciones son las siguientes:

(i) Anaerobia y Laguna Facultativa

Instalaciones	Tamaño
Laguna Anaerobia	L25-15(24-14)m × A20(19)m × P4.5(4.0).m × 1
Laguna Facultativa	L35-27(33-25)m × A25(24)m × P2.5(2.0)m × 1
Área de Tierra Requerida	4,800 m <sup>2</sup>

Nota: Las cifras en paréntesis muestran la longitud de la red de cada una de las instalaciones.

(ii) Laguna Facultativa

Instalaciones	Tamaño
Laguna Facultativa	L68(66)m × A35(33)m × P2.5(2.0)m × 2
Área de Tierra Requerida	6,600 m <sup>2</sup>

Nota: Las cifras en paréntesis muestran la longitud de la red de cada una de las instalaciones.

El mapa de localización y el esquema de cada una de las instalaciones con la combinación de anaerobia y la laguna facultativa se muestran en la Fig. F.2.7.

(d) Guachetá

Este municipio no tiene ni planes ni sitio escogido para la planta de tratamiento. El sitio adyacente del punto de descarga es plano y se está utilizando como praderas. Se propone instalar la laguna de estabilización a lo largo del río con el consentimiento del dueño del terreno. Se requiere la bomba para sacar el influente a la laguna facultativa.

Las mayores instalaciones de la planta propuesta son las siguientes. El mapa de localización y el esquema de cada una de las instalaciones se muestran en la Fig. F.2.8.

Instalaciones	Tamaño
Estación de Bombeo	1.5kw × 3(más una de repuesto)
Laguna Facultativa	L122(120)m × A62(60)m × P2.5(2.0)m × 2
Área de Tierra Requerida	22,500 m <sup>2</sup>

Nota: Las cifras en paréntesis muestran la longitud de la red de cada una de las instalaciones.

(e) Fúquene

Hay dos distritos bastante poblados. La construcción de la planta de tratamiento se haría para cada distrito, es decir, el área urbana y Capellanía.

Con respecto al área urbana, la CAR propuso una planta de tratamiento con la laguna de estabilización compuesta, por dos lagunas facultativas y de maduración en 1997. el año meta es el 2016, el número de personas atendidas es de 284 y el costo total es 141 M Col\$. Sin embargo, no hay perspectiva de construcción ni de adquisición de terrenos.

Hay cuatro (4) puntos de descarga, y el sitio vecino en la parte baja del río tiene una pendiente suave. Actualmente el terreno es privado y no se está utilizando con ningún propósito.

Se propone instalar la laguna de estabilización a lo largo del río con el consentimiento previo del dueño del terreno. A continuación se presentan las instalaciones de planta propuestas:

Instalaciones	Tamaño
Laguna Facultativa	L46(44)m × A24(22)m × P2.5(2.0)m × 2
Área de Tierra Requerida	5,200 m <sup>2</sup>

Nota: Las cifras en paréntesis muestran la longitud de la red de cada una de las instalaciones.

El mapa de localización y el esquema de cada una de las instalaciones se

muestra en la Fig. F.2.9.

Con respecto a Capellanía, el terreno de casi 1,700 m<sup>2</sup> fue comprado hace seis meses como sitio para la planta de tratamiento. La CAR también propuso la planta de tratamiento por lagunas de estabilización compuesta por una laguna facultativa y laguna de maduración. El año meta es el 2016, se atienden 557 personas y el costo total es 225M Col\$. Sin embargo, el 24 de agosto de 1999, el municipio de Fúquene presentó una solicitud de inversión para la planta de tratamiento al gobernador del departamento de Cundinamarca. En este documento, la planta de tratamiento está proyectada para 240 familias y se adopta el proceso de lodo activado. El costo total de construcción es de 504 M Col\$.

En época seca, los vecinos cercanos al punto de descarga han presentado al municipio algunas quejas por generación de malos olores. El área que se compró no es suficiente para instalar la laguna de estabilización. Aunque es posible instalar una laguna aireada o zanjón de oxidación dentro del rango del área comprada, se requieren mayores costos de construcción y consumo de energía y una mayor habilidad para operación y mantenimiento luego de que se haya terminado. Se recomienda instalar la laguna de estabilización comprando el área cercana de 1,100 m<sup>2</sup>.

Las mayores instalaciones de la planta propuesta son las siguientes. El mapa de localización y el esquema de cada una de las instalaciones se muestran en la Fig. F.2.10.

Instalaciones	Tamaño
Laguna Anaerobia	L21(20)m × A21(20)m × F4.5(4.0)m × 1
Laguna Facultativa	L37(35)m × A22(20)m × F2.5(2.0)m × 1
Área de Tierra Requerida	2,800 m <sup>2</sup>

Nota: Las cifras en paréntesis muestran la longitud de la red de cada una de las instalaciones.

(f) Susa

El municipio tiene el plan de construir un terreno deportivo, un matadero y otras instalaciones y el sitio seleccionado también está incluido en este plan. El municipio ya compró el terreno y asignó 19,200 m<sup>2</sup> como planta de tratamiento aunque el límite exacto no es claro. El sitio seleccionado es casi plano y está siendo utilizado como praderas.

El área de 19,200 m<sup>2</sup> es suficiente para construir la laguna de estabilización. Se necesita la bomba para sacar el influente debido a la elevación de la entrada y del punto de descarga.

Las mayores instalaciones de la planta propuesta son las siguientes. El mapa de localización y el esquema de cada una de las instalaciones se muestran en la Fig. F.2.11.

Instalaciones	Tamaño
Estación de Bombeo	0.4kw × 2 (más una de repuesto)
Laguna Facultativa	L56(54)m × A56(54)m × P2.5(2.0)m × 2
Área de Tierra Requerida	10,800 m <sup>2</sup>

Nota: Las cifras en paréntesis muestran la longitud de la red de cada una de las instalaciones.

(g) Simijaca

La CAR propuso el diseño de la planta de tratamiento con la combinación de laguna facultativa y de maduración en 1998. El año objetivo es el 2010, la población servida es 2.400 y el costo total es 485 M Col\$. Este diseño requiere de un área de 60,000 m<sup>2</sup>, pero el sitio seleccionado aún es de propiedad privada.

La laguna de estabilización está disponible para ser instalada dentro del sitio seleccionado. Es necesario instalar el tubo interceptor porque hay siete (7) puntos de descarga. La bomba también es necesaria para sacar el influente hacia la laguna facultativa.

Las mayores instalaciones de la planta propuesta son las siguientes. El mapa de localización y el esquema de cada una de las instalaciones se muestran en la Fig. F.2.12.

Instalaciones	Tamaño
Estación de Bombeo	0.75 kW × 4 (más una de repuesto)
Laguna Facultativa	L135-132(133-130)m × A112-90(110-88)m × P2.5(2.0)m × 1 L154-116(152-114)m × A112-90(110-88)m × P2.5(2.0)m × 1
Área de Tierra Requerida	41,000 m <sup>2</sup>

Nota: Las cifras en paréntesis muestran la longitud de la red de cada una de las instalaciones.

(h) Caldas

No hay planes de un sitio seleccionado para la planta de tratamiento, aunque antes, en Alemania, la GTZ propuso un plan indefinido. Hay un campo grande pero con pendiente cerca al punto de descarga al río. Se propone instalar la laguna de estabilización en esta área. La laguna será terraplenada ya que el sitio tiene una pendiente suave.

Las mayores instalaciones de la planta propuesta son las siguientes. El mapa de localización y el esquema de cada una de las instalaciones se muestran en la Fig. F.2.13.

Instalaciones	Tamaño
Laguna Facultativa	L46(44)m × A24(22)m × P2.5(2.0)m × 2
Área de Tierra Requerida	5,200 m <sup>2</sup>

Nota: Las cifras en paréntesis muestran la longitud de la red de cada una de las instalaciones.

(i) Chiquinquirá

Chiquinquirá es la ciudad más grande en el Área de Estudio. Casi todo el efluente es descargado al Río Suarez sin ningún tipo de tratamiento, y esto puede causar la polución de la corriente del río. El tema más urgente es la instalación de la planta de tratamiento para poder controlar la polución del agua en el Río Suarez.

El municipio ya compró el terreno de 116,444 m<sup>2</sup> y la CAR realizó el diseño de la planta de tratamiento.

Esta área es apenas suficiente para instalar la laguna de estabilización con la combinación de laguna anaerobia y facultativa. Existe otra posibilidad de construir zanjón por oxidación o laguna aireada. A continuación se

presenta la comparación de cada tipo de planta de tratamiento:

Items		Laguna de Estabilización	Laguna Aireada	Zanjón de Oxidación
Costo de	Civil	774.6	455.3	1,095.9
Construcción	Maquinaria	52.3	1,279.7	1,728.6
(M Col\$)	Total	826.8	1,734.4	2,824.5
Costo anual de O & M (M Col\$)		71.0	272.4	452.7
Área de Tierra Requerida (m <sup>2</sup> )		107,000	59,000	43,000

Nota: Las cifras en paréntesis muestran la longitud de la red de cada una de las instalaciones.

Teniendo en cuenta la tabla anterior, la laguna de estabilización es preferida desde cualquier punto de vista.

Las mayores instalaciones de la planta propuesta son las siguientes. Es necesaria la bomba para sacar agua residual. El mapa de localización y el esquema de cada una de las instalaciones se muestran en la Fig. F.2.14.

Instalaciones	Tamaño
Estación de Bombeo	3.7kw x 4 (más una de repuesto)
Laguna Anaerobia	L72(70)m x A62(60)m x P4.5(4.0)m x 2
Laguna Facultativa	L302(300)m x A72(70)m x P2.5(2.0)m x 4

Nota: Las cifras en paréntesis muestran la longitud de la red de cada una de las instalaciones.

## 2.2.5 Estimativo de Costos

### (1) General

El plan de mejoramiento/desarrollo de de los proyectos de tratamiento de alcantarillado se planearon en la sección anterior en consideración al diseño de carga de polución a ser reducida para el año 2010.

### (2) Condición del Cálculo

Los supuestos básicos de construcción de cada instalación de tratamiento son como sigue:

- (a) Las condiciones topográficas y geológicas del sitio son aceptablemente buenas.
- (b) No hay problema de acceso desde la carretera existente.
- (c) El transporte de materiales y equipo es fácil

### (3) Costo Unitario

Todos los costos unitarios aplicados en este capítulo se basan en los precios del mercado durante el período de este estudio.

### (4) Materiales y Equipos

La mayoría de los materiales y equipo a usarse en la etapa prevista de construcción se espera que sean fabricados y/o disponibles en Colombia porque



todos los componentes de la planta del alcantarillado existente tales como la estación de bombeo y diversos equipos son productos domésticos genuinos.

(5) Costos de Construcción

Los costos de construcción se componen de costos directos, costos de adquisición de tierras, costos indirectos y contingencias físicas. Los costos indirectos se componen de servicios de ingeniería y costos de administración. La contingencia física se agrega al costo directo. El impuesto de valor agregado (IVA) no se incluye en este cálculo de costos.

La tasa de cambio se asume en 1 US \$ = 106 Yen = 1920 Col\$ (peso Colombiano) vigente en octubre de 1999.

(6) Costo de Operación y Mantenimiento

La calidad efluente depende considerablemente de la operación y el mantenimiento. Los principales trabajos de cada proceso de tratamiento ya se describieron en la Sección 2.2.3.

Es muy importante cortar la hierba de terraplenes regularmente para asegurar la ausencia de sólidos flotantes, puntos muertos y vegetación emergente en el lado del estanque en caso de estabilización del sistema del estanque. También es necesario comprobar la demanda de oxígeno disuelto para mantener su nivel en 1-2 mg/l controlando el tiempo de trabajo del aireador. Es muy necesario limpiar la pantalla y la cámara de polvo periódicamente.

El costo de operación y mantenimiento consiste principalmente de costo eléctrico y gastos de personal de vigilancia y operación de planta. El cargo eléctrico se calcula multiplicando la fuerza eléctrica de cada equipo, como bombeo y aireador por su tiempo de operación y costo unitario. Otros gastos como análisis de la calidad del agua, mantenimiento y costos de reparación, agua/combustible/cargo de teléfono, etc., se calculan basándose en los de la planta funcionando cerca de Bogotá actualmente. El costo de operación y mantenimiento en el municipio, que ya tiene planta de tratamiento, se calcula sumando los costos suplementarios al mejoramiento /desarrollo del presente.

El costo de construcción y operación/mantenimiento se muestran abajo. Los costos directos y de adquisición de tierra se desglosan abajo en la Tabla F.2.2 y F.2.3, respectivamente.

(Unidad: M Col\$)

Nombre Municipio	Costo Construcción					Costo O & M Anual					
	Costo Directo	Adq. Tierra	Cost Indirect	Contin Fisica.	Total		Carga Electri.	Gasto Person.	Otro	Total	
					M Col\$	(10 <sup>3</sup> US\$)				M Col\$	(10 <sup>3</sup> US\$)
Ubaté	1,203.4	0.0	240.7	120.3	1,564.4	(814.8)	69.8	55.0	11.7	44.6	(23.2)
Cucunubá	131.5	14.7	29.2	14.6	190.0	(99.0)	-	32.9	19.3	144.1	(75.1)
Lenguazaque	450.2	0.0	90.0	45.0	585.2	(304.8)	29.6	38.1	9.6	35.9	(18.7)
San Miguel de Sema	144.7	0.0	28.9	14.5	188.1	(98.0)	-	32.9	10.0	36.3	(18.9)
Carmen de Carupa	194.2	9.8	40.8	20.4	265.2	(138.1)	-	32.9	10.9	43.8	(22.8)
Tausa	335.9	5.6	68.3	34.2	444.0	(231.2)	-	26.3	12.3	80.0	(41.7)
Statausa	112.6	11.3	24.8	12.4	161.0	(83.9)	-	26.3	13.3	57.4	(29.9)
Guachetá	407.6	70.3	95.6	47.8	621.3	(323.6)	6.0	38.1	10.5	43.4	(22.6)
Fúquene	96.3	16.3	22.5	11.3	146.4	(76.2)	-	26.3	9.5	35.8	(18.6)
Capellanía	94.1	3.4	19.5	9.8	126.8	(66.0)	-	26.3	9.1	35.4	(18.4)
Susa	241.5	0.0	48.3	24.1	313.9	(163.5)	1.1	32.9	11.5	45.5	(23.7)
Simijaca	562.9	160.2	144.6	72.3	939.9	(490.0)	4.0	38.1	14.6	56.7	(29.5)
Caldas	91.3	6.5	19.6	9.8	127.1	(66.2)	-	26.3	9.0	35.3	(18.5)
Chiquinquirá	1,452.0	0.0	290.4	145.2	1,887.7	(983.2)	19.6	60.1	22.1	101.8	(53.0)
Saboyá	-	-	-	-	-	-	-	26.3	8.4	34.7	(18.1)
<b>Total</b>	<b>5,518.2</b>	<b>298.0</b>	<b>1,163.2</b>	<b>581.6</b>	<b>7,561.0</b>	<b>(3,938.0)</b>	<b>130.1</b>	<b>518.8</b>	<b>182.1</b>	<b>831.0</b>	<b>(432.8)</b>

Nota: calc.costo: en octubre 1999. 1US\$= 1,920 Col\$

Cost Indirecto=( Cost Directo + tierra ) × 20 %,

Contingencia fisica = (Cost Directo + tierra) × 10 %

## 2.2.6 Itinerario de Implementación

### (1) Fase del Desarrollo del Sistema de Alcantarillado

El periodo objetivo se divide en dos fases, esto es, para el año del plan de corto término (2005) como la primera fase y, el año del plan maestro (2010) como la segunda fase. Todos los planes de desarrollo del sistema de alcantarillado están priorizados como sigue, tomando en cuenta la efectividad de cada proyecto, las condiciones de cada municipio y la inversión relativamente uniforme durante las dos fases.

#### (a) Primera Fase (2001-2005)

La planta de tratamiento en Ubaté y Chiquinquirá deberá ser mejorada/ implementada por las siguientes razones.

- (i) La eficiencia del tratamiento de la planta actual en Ubaté no es suficiente y el efluente de la planta de tratamiento causa una las más serias contaminaciones al agua en el Río Ubaté y la Laguna de Fúquene.
- (ii) Chiquinquirá es el municipio más grande. Aunque el efluente de carga contaminante puntual desde este municipio que fluye al río es aproximadamente 2,167 kg/d y es el 60 % de la carga total contaminante efluente, las aguas residuales se descargan directamente sin tratamiento al río.
- (iii) El terreno para la planta de tratamiento ya está adquirido.

(iv) El costo total de construcción de las plantas de tratamiento de Ubaté y Chiquinquirá es de 3,452 M Col\$ y, aproximadamente, el 50% del total del costo de inversión.

(b) Segunda Fase (2006-2010)

Los otros proyectos aparte de los arriba mencionados, se espera que sean implementados en la segunda fase hasta el año objetivo del plan maestro (2010).

(2) Programa Fase de Reducción

Con la implementación del desarrollo del tratamiento de aguas residuales, como se mencionó arriba, se puede estimar una reducción del agua residual promedio (DBO: mg/l) en el área objetivo total por cada fase, resumida en la siguiente tabla. Los procesos de reducción comparados con el caso de “Sin Proyecto” en cada municipio se tabulan en la Tabla F.2.4.

Fase	“Sin Proyecto”		“Con Proyecto”	
	Q (m <sup>3</sup> /día)	Carga (kg/día)	Carga (kg/día)	Carga Corte (kg/día)
Existente	13,670.0	3,465.3	-	-
Primera Fase	15,402.9	2,009.6	1,310.7	698.9
Segunda Fase	16,737.7	4,472.9	666.3	3,630.5

(3) Programa de Inversión del Desarrollo del Alcantarillado

El programa de fases y de inversión para cada planta de tratamiento se resumen, como se muestra, en las Tabla F.2.5 y Tabla F.2.6, respectivamente.

## 2.3 Matadero

### 2.3.1 Sistema de Tratamiento Propuesto

Cada municipio tiene algún tipo de planta de pre-tratamiento antes de descargar en el río/alcantarillado. La regulación de la CAR sobre efluente es que la tasa de remoción de DBO<sub>5</sub> y SS debe ser mayor al 20 % y 50 %.

Debido a la falta de calidad del influente es muy difícil calcular la tasa de remoción. Generalmente, hablando de DBO<sub>5</sub>, la calidad del influente antes de la planta de tratamiento previo se supone que es DBO<sub>5</sub> de 7,500 mg/l como se muestra en la Tabla E.2.4, mientras que la calidad del efluente de DBO<sub>5</sub> es menor de 2,500 mg/l como se menciona en la Sección 1.2.1. Consecuentemente, la tasa de remoción cumple con la regulación de la CAR. Como se asume que la tasa de remoción de SS es la misma, puede que no haya necesidad de instalar la planta de tratamiento adicional con excepción de Fúquene y Caldas, que sólo tienen el colector de sangre y la malla. Puede que sea posible cumplir la regulación de la CAR.

Se propone instalar el colector de grasa y tanque séptico después del colector de sangre y la malla que usualmente se adopta en la mayoría de los municipios. La estructura de cada uno se muestra en la Fig. F.2.15.

La trampa de grasa debe ser operada apropiadamente y limpiada con regularidad para prevenir fugas de grasa considerables y generación de olores indeseables. La calidad del

influyente puede ser peor debido al largo tiempo de retención en el tanque de tratamiento previo, especialmente en poblaciones pequeñas donde la cantidad de animales a ser sacrificados es poca. Lo más importante para que el efluente cumpla la regulación es la recolección de la sangre u otros órganos internos en la medida de lo posible para evitar que ellos los descarguen y mantengan el funcionamiento del tanque en buenas condiciones removiendo el desecho, la grasa y el lodo.

Cuando se aplica una regulación más estricta al matadero, por autorización de la CAR, se requerirá tecnología más alta, como se muestra en la Fig. F.2.16.

### 2.3.2 Estimativo de Costos

La cantidad de agua residual en Fúquene y Caldas será de 3.3 m<sup>3</sup>/día y 0.6 m<sup>3</sup>/día en el 2010, respectivamente. El costo de construcción, incluyendo los costos indirectos y de contingencia física para cada municipio es de 7.8 M Col\$ y 2.6 M Col\$, respectivamente.

## 2.4 Agua Residual Industrial

### 2.4.1 Sistema de Tratamiento Propuesto

Como se mencionó en la sección 1.3.1, la tasa de instalación para la planta de tratamiento previo es de sólo 16 %, especialmente en la fábrica pequeña es sólo de 2.5 %. Casi todas las fábricas pequeñas descargan el agua residual sin ningún tipo de tratamiento directamente al río/alcantarillas.

La tasa de remoción en la actividad de procesamiento de leche y de enfriamiento de leche realizada por el equipo de estudio de JICA se muestra a continuación. Mientras la tasa de remoción de DBO en ambas actividades cumplen la regulación de la CAR de 20 %, la de SS en enfriamiento de leche excede la regulación de la CAR de 50 %. Sin embargo, con un buen mantenimiento a la planta de pre-tratamiento se podría cumplir con esta regulación.

Parámetro	Procesamiento de Leche			Enfriamiento de Leche		
	Influyente	Efluente	Tasa de Remoción	Influyente	Efluente	Tasa de Remoción
pH	5.3	5.3	-	6.6	9.2	-
DBO	5,495	854	84.5 %	492	343	30.1 %
DQO	14,096	2,026	85.6 %	867	606	30.1 %
SS	1,652	600	63.6 %	499	267	46.5 %

La regulación de DBO y SS se podrá lograr con la combinación de desarenador, cribado, trampa de grasa y tanque de sedimentación, los cuales ya fueron instalados en las principales fábricas. Cada fábrica tiene que instalar la planta de tratamiento previo antes mencionada, antes del 2010. En cuanto al pH, es necesario agregar el equipo de neutralización cuando el pH esté fuera del rango de regulación sin importar el buen mantenimiento del tanque.

El tamaño de la planta de tratamiento previo depende de la cantidad y calidad del agua residual. El tiempo de retención del tanque de sedimentación es de casi 4 - 6 horas.

Cuando se aplica regulación más estricta a la fabricación de lácteos por autorización de la CAR, la introducción de tecnología altamente desarrollada en la planta existente será necesaria. El proceso de tratamiento se muestra en la Fig. F.2.16 como referencia. .

## 2.4.2 Estimativo de Costos

42 fábricas tienen que instalar la planta de pre-tratamiento como se menciona arriba. El costo directo de construcción para instalar la planta de pre-tratamiento es de aproximadamente 170 Mcol\$. El costo total incluye 20 % de costos indirectos y 10 % de contingencia física aproximadamente 221 M Col\$.

## 2.5 Sistema de Eliminación de Desechos Sólidos

### 2.5.1 Medidas de Mejoramiento

Los desechos sólidos sólo se eliminan en carcavas o a cielo abierto en la mayoría de los municipios. La localización de disposición está alejada del área urbana y no ha habido mayor problema hasta ahora. El nivel sanitario del sistema de relleno puede ser clasificado en cuatro (4) y tabulado a continuación.

Clasificación	Componente
Nivel 1	Control de Llenado
Nivel 2	Con Límite y Cubrimiento Diario de Tierra
Nivel 3	Control Efluente de Lixiviado
Nivel 4	Sistema de Tratamiento Lixiviado

Un sistema completo de relleno requiere grandes cantidades de inversión de capital. Teniendo en cuenta el presupuesto anual y su situación financiera, se espera que resulten varios problemas. El lixiviado está compuesto por la humedad del desecho de alimentos y la lluvia después del contacto con desechos alimenticios. Tiene la posibilidad de contaminar el agua superficial y la subterránea. En cuanto al control de lixiviados, sólo Cucunubá y Chiquinquirá toman las contramedidas para evitar que el agua subterránea se contamine. Mientras que Cucunubá acaba de instalar un filtro de membrana y un tanque, Chiquinquirá opera la planta de tratamiento de mal lixiviados. El costo mensual de operación y mantenimiento es de casi 6 M Col\$ aunque el costo requerido es de cerca de 17 M Col\$.

El control de lixiviado está compuesto por instalaciones de recolección y equipo de escape de gas, que funcionan de la siguiente manera.:

- (1) Para suministrar aire en la capa de basura y así facilitar la descomposición aeróbica.
- (2) Para descargar las sustancias gaseosas en la capa de basura.
- (3) Para recolectar y sacar el lixiviado de la capa de basura hacia el embalse por la red horizontal y vertical.

Para realizar estas funciones, se instalarán al lado de la red, equipo de escape vertical y drenajes horizontales. El equipo de escape de gas y los drenajes están compuestos por materiales porosos como piedra triturada y tuberías porosas de PVC. En este caso, el equipo de escape de gas está compuesto por piedra triturada en canastas de alambre.

El municipio en Ubaté recolecta el desecho sólido de más de 16,000 personas, y lo elimina por el sistema de vaciado abierto. El área del sitio de disposición es de cerca de 5.5 ha, incluyendo la planta futura de compost de 1.5 ha. De acuerdo con los cálculos de prueba, esta área está disponible para más de 20 años.

En Ubaté, para solucionar el problema de lixiviado, se debería adoptar el mismo tratamiento de lixiviado que se adoptó en Chiquinquirá.

El Sistema de tratamiento está compuesto por tubería de escape de gas, recolección de lixiviado y planta de tratamiento de lixiviado. El lixiviado recogido en la tubería porosa, es tratado pasándolo por un tanque de sedimentación primaria, un filtro y un tanque de sedimentación secundario. El sistema de tratamiento se muestra en la Fig. F.2.17.

### 2.5.2 Estimativo de Costos

El volumen del lixiviado depende de la cantidad de desecho sólido, del área del lugar de disposición y de la diferencia entre participación y evaporación. Suponiendo que el área del sitio de eliminación de 5.5 ha y el desecho sólido per capita/la composición del desecho alimenticio son constantes hasta el 2010, se proyecta que el lixiviado de la lluvia y del desecho alimenticio sea de 2.4 m<sup>3</sup>/día y 4.3 m<sup>3</sup>/día, respectivamente. La cantidad total de lixiviado a tratar será de 6.7 m<sup>3</sup>/día. El costo de cada una de las instalaciones es el siguiente:

El costo de construcción directo de cada instalación es el siguiente: El costo total incluido el 20 % de costo indirecto y el 10 % de contingencia física es de aproximadamente 86.6 M Col\$.

(Unidad: M Col\$)

Instalaciones	Costo
Tubería de Escape de Gas y Accesorio	7.1
Drenaje pra Recoger el Lixiviado	14.6
Planta de Tratamiento de Lixiviado	32.4
Otros	12.5
<b>Total</b>	<b>66.6</b>

## Reference:

- 1): “ Titulo Tratamiento de Aguas Residuales”, Ministerio de Desarrollo Económico, Programa de las Naciones Unidas para Desarrollo, Universeidad de Los Andes, Santafé de Bogotá, 1998.
- 2): “ Estudio y Deseño Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y Obras Complementarias del Municipio de Simijaca (Cundinamarca)”, Cristobal Enrique Orozco Becerra, Santa fe de Bogota, mayo de 1998
- 3): “ Deseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y Obras Complementarias del Municipio de Lenguazaque (Cundinamarca)”, Essere LTDA; Gelver Ayala, Santafé de Bogotá. marzo de 1997
- 4): “ Deseño Planta de Tratamiento Municipio de Ubate”, Facultad de Ingenieria, Departamento de Ingenieria Civil, Universidad de los Andes, septiembre de 1990
- 5): “ Inventario de Industrias de Interes Sanitariio en la Regional Ubate”, CAR, Riginal Ubate,
- 6): “ Propuesta Technica y Economica para los Deseños de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Municipio de Chiquinquirá”, Estudios Civiles y Sanitarios –Essere LTDA. marzo de 1993
- 7): “ Chiquinquirá Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Negras”, Santiago Escallon Angel, Bogota, julio, 1980
- 8): “ Diseño del Sistema de Tratamiento de Aguas Negras para le Municipio de San Miguel de Sema (Boyaca)”, Universidad Santo Tomas, Facultad de Ingenieria Civil, Santafé de Bogotá, D.C., 1992
- 9): “ Analisis Technico y Economico de las Alternativas para el Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el Municipio de Ubate”, Universidad de Los Andes, Departamento de Ingenieria Civil, Bogota, septiembre de 1990
- 10): “ Operación y Maintenance Manual nen Augas Residuales para el Municipio de Ubate”, 1994
- 11): “Acuerdo NO.58 de 1987”, CAR, diciembre de 1987
- 12): “Provincia,Ubate 1998”, Departamento de Cundinamarca, Gerencia para la Infraestructura, Direccion de Agua Potable y Saneamiento Basico,

**Tabla F.1.1 Calidad del Agua de la Planta de Tratamiento en Ubaté en 1998**

Parametro	Unidades	1998.1.5		1998.2.12		1998.3.26		1998.6.25		1998.7.23	
		Afluencia	Efluente	Afluencia	Efluente	Afluencia	Efluente	Afluencia	Efluente	Afluencia	Efluente
Caudal	l/s	47.2	11.1	37.9	13.5	28	22.5			42	18.8
Temperatura Agua	°C	19.1	21.1	18.2	18.2	18.5	18.9	13	14	17.4	17.4
Temperatura Aire	°C	17	17	18	19	19	20	14	15	20	20
Conductividad	μ S/cm	716	724	565	445	495	300	425	495	432	425
Aceites y Grasas	mg/l	30.3	7.5	25.5	3.7	62.1	15.2	117	52.7		
DOQ	mg/l	235.2	177	709	317	538	240	540	242	588	259
DBO <sub>5</sub>	mg/l	145.8	52.5	365	135	356	95.2	233	137	368	124
SS	mg/l	172	54	228	137	265	84	410	285	100	94
Turbiedad	NTU	113	148	546	335	495	300	260	186	216	70
OD	mg/l	0	0	0.17	0	0	0	0	0	0.7	0
pH		6.03	6.63	7.2	6.5	7.5	6.8	5.97	5.79	6.1	5.9
NH <sub>4</sub> -N	mg/l	27.62	38.45	39.03	22.37	41.8	11.85	18.58	27.55		
NO <sub>3</sub> -N	mg/l	1.66	0.69	1.1	2	1.6	1.6	2	1		
NO <sub>2</sub> -N	mg/l	ND	0.01	0.003	0.006	0.001	0.001	0.003	0.001		
Orgánico N	mg/l	4.58	4.35	29.47	13.03	3.7	29.75	7.75	10.52		
Kjeldahl N	mg/l	32.2	42.8	68.5	35.4	45.5	41.6	26.33	38.07		
Orto-P	mg/l	1.33	5.25	5.26	4.04	4.2	4.65	2.46	5.14		
Orgánico P	mg/l	0.54	0.26	0.76	0.91	2.19	1.24	3.95	1.21		
T-P	mg/l	1.87	5.51	6.02	4.95	6.39	5.89	6.41	6.35		
SO <sub>4</sub> <sup>z-</sup>	mg/l	155.2	147	124	107	544	57.4	106	144		
S <sup>z-</sup>	mg/l	0.32	ND	0.21	0.37	0.77	0.29	4.57	5.67		
Hg	mg/l	0.003		0.001		0.002		ND			
Pb	mg/l	0.07		0.07		0.1		0.08			
Coliformes Totales	NMP/100ml	43×10 <sup>7</sup>	36×10 <sup>5</sup>	46×10 <sup>8</sup>	11×10 <sup>7</sup>			24×10 <sup>7</sup>	12×10 <sup>8</sup>	36×10 <sup>6</sup>	21×10 <sup>6</sup>
Coliformes Fecales	NMP/100ml	15×10 <sup>7</sup>	36×10 <sup>5</sup>	15×10 <sup>8</sup>	11×10 <sup>7</sup>			72×10 <sup>5</sup>	61×10 <sup>6</sup>	36×10 <sup>6</sup>	15×10 <sup>6</sup>

Parametro	Unidades	1998.8.27		1998.9.22		1998.10.30		1998.11.20		Promedio	
		Afluencia	Efluente	Afluencia	Efluente	Afluencia	Efluente	Afluencia	Efluente	Afluencia	Efluente
Caudal	l/s	32	12.6	39	36	52	48	37	35	39.4	24.7
Temperatura Agua	°C	17.2	17.7	17.9	18.2	16.1	16.7	17.8	18.6	17.2	17.9
Temperatura Aire	°C	18	18	22	22	16	16	17	17	17.9	18.2
Conductividad	μ S/cm	460	487	520	515	454	387	757	695	536.0	497.0
Aceites y Grasas	mg/l									58.7	19.8
DOQ	mg/l	624	197	780	264	253	146	903	312	574.5	239.3
DBO <sub>5</sub>	mg/l	249	42.6	410	99.8	111	44	334	178	285.8	100.9
SS	mg/l	230	46	387	150	120	50	265	65	241.9	107.2
Turbiedad	NTU	280	47	409	68	140	75	320	108	308.8	148.6
OD	mg/l	0	0.5	0	0	0.2	0.1	0	0	0.1	0.1
pH		6.6	6.2	6.71	6.55	7	6.8	6.8	6.8	6.7	6.4
NH <sub>4</sub> -N	mg/l									31.8	25.1
NO <sub>3</sub> -N	mg/l									1.6	1.3
NO <sub>2</sub> -N	mg/l									0.002	0.005
Orgánico N	mg/l									11.4	14.4
Kjeldahl N	mg/l									43.1	39.5
Orto-P	mg/l									3.3	4.8
Orgánico P	mg/l									1.9	0.9
T-P	mg/l									5.2	5.7
SO <sub>4</sub> <sup>z-</sup>	mg/l									232.3	113.9
S <sup>z-</sup>	mg/l									1.5	1.6
Hg	mg/l									0.002	
Pb	mg/l									0.080	
Coliformes Totales	NMP/100ml	43×10 <sup>6</sup>	15×10 <sup>6</sup>	93×10 <sup>6</sup>	11×10 <sup>7</sup>	11×10 <sup>8</sup>	29×10 <sup>6</sup>	43×10 <sup>6</sup>	15×10 <sup>6</sup>	82×10 <sup>7</sup>	19×10 <sup>7</sup>
Coliformes Fecales	NMP/100ml	43×10 <sup>6</sup>	36×10 <sup>5</sup>	93×10 <sup>6</sup>	93×10 <sup>5</sup>	24×10 <sup>7</sup>	23×10 <sup>4</sup>	43×10 <sup>6</sup>	36×10 <sup>5</sup>	26×10 <sup>7</sup>	26×10 <sup>6</sup>



**Tabla F.1.2 Calidad del Agua de la Planta de Tratamiento en Ubaté en 1999**

Parametro	Unidades	1999.1		1999.2		1999.3		1999.4	
		Afluencia	Efluente	Afluencia	Efluente	Afluencia	Efluente	Afluencia	Efluente
Caudal	l/s	63.6	60	46	39	46.5	41	46.5	46
Conductividad	$\mu$ S/cm	842	911	773	641	796	657	475	785
DQO	mg/l	1200	315	835	815	432	277	193	347
DBO	mg/l	840	110	711	134	182	124	110	195
SS	mg/l	253	89	310	117	152	100	40	46
Turbiedad	NTU	320	200	276	142	126	117	77	166
OD	mg/l	0	0	0	0	0	0	0	0
pH		6.8	7.4	6.9	7.2	7	6.9	6.5	6.8
Coliformes Totales	NMP/100ml	$46 \times 10^7$	$75 \times 10^5$	$46 \times 10^7$	$24 \times 10^4$			$43 \times 10^6$	$43 \times 10^6$
Coliformes Fecales	NMP/100ml	$43 \times 10^6$	$31 \times 10^5$					$43 \times 10^6$	$43 \times 10^6$

Parametro	Unidades	1999.6		1999.7		Promedio	
		Afluencia	Efluente	Afluencia	Efluente	Afluencia	Efluente
Caudal	l/s	26	25	26	25	42.4	39.3
Conductividad	$\mu$ S/cm	745	489	638	720	711.5	700.5
DQO	mg/l	424	396	556	313	606.7	410.5
DBO	mg/l	169	129	263	105	379.2	132.8
SS	mg/l	223	90	300	90	213.0	88.7
Turbiedad	NTU	78	150	84	138	160.2	152.2
OD	mg/l	0	0	0	0	0.0	0.0
pH		7.1	7	7	7	6.9	7.1
Coliformes Totales	NMP/100ml	$24 \times 10^6$	$43 \times 10^5$	$43 \times 10^6$	$11 \times 10^7$	$20 \times 10^7$	$33 \times 10^6$
Coliformes Fecales	NMP/100ml	$24 \times 10^6$	$91 \times 10^4$	$91 \times 10^5$	$46 \times 10^6$	$30 \times 10^6$	$19 \times 10^6$

**Tabla F.1.3 Calidad del Agua de la Planta de Tratamiento en San Miguel de Sema**

Parametro	Unidades	1999.1		1999.2		1999.3	
		Afluencia	Efluente	Afluencia	Efluente	Afluencia	Efluente
Caudal	l/s	1.5	2	1.2	0.8	1.5	2
Conductividad	$\mu$ S/cm	300	358	502	347	763	391
DQO	mg/l	277	157	212	163	1311	373
DBO	mg/l	111	44.1	66	49.1	886	104
SS	mg/l	10	43	80	71	540	35
Turbidez	NTU	39	47	57	56	49	57
OD	mg/l	3.5	1.5	1.5	4.6	1.6	5.5
pH		6.5	7.1	6.7	6.8	6.6	7
Coliformes Totales	NMP/100ml	$11 \times 10^8$	$93 \times 10^6$	$93 \times 10^8$	$43 \times 10^6$		
Coliformes Fecales	NMP/100ml	$<30 \times 10^5$	$<30 \times 10^5$	$<36 \times 10^5$	$<30 \times 10^5$		

Parametro	Unidades	1999.4		1999.6		Promedio	
		Afluencia	Efluente	Afluencia	Efluente	Afluencia	Efluente
Caudal	l/s	2.3	2.5	1.5	3	1.6	2.1
Conductividad	$\mu$ S/cm	539	385	639	518	548.6	399.8
DQO	mg/l	539	385	639	518	595.6	319.2
DBO	mg/l	216	77.3	447	95.1	345.2	73.9
SS	mg/l	145	140	356	290	226.2	115.8
Turbidez	NTU	84	42	210	76	87.8	55.6
OD	mg/l	0	5.4		4.9	1.3	4.4
pH	mg/l	7.2	7.1	6.6	7	6.7	7.0
Coliformes Totales	NMP/100ml	$46 \times 10^7$	$24 \times 10^7$	$43 \times 10^6$	$24 \times 10^6$	$27 \times 10^8$	$46 \times 10^6$
Coliformes Fecales	NMP/100ml	$39 \times 10^6$	$91 \times 10^5$	$91 \times 10^5$	$91 \times 10^4$	$10 \times 10^6$	$32 \times 10^5$

**Tabla F.1.4 Calidad del Agua de la Planta de Tratamiento en Saboyá**

Parametro	Unidades	1999.1		1999.2		1999.3		1999.4	
		Afluencia	Efluente	Afluencia	Efluente	Afluencia	Efluente	Afluencia	Efluente
Caudal	l/s	0.2	0.5	1.2	1.1	1.5	1.5	4.4	3
DQO	mg/l	229	83.1	150	67	97.8	138	256	104
DBO	mg/l	82	14.6	38	14	48.8	25.8	74.5	23.9
SS	mg/l	22	11	46	30	29	70	69	44
OD	mg/l	0	3.5	1.3	3.6	2.6	6.8	0.7	6.5
pH		6.7	6.7	6.6	6.7	6.9	10.7	6.8	10.1
Coliformes Totales	NMP/100ml	$46 \times 10^6$	$73 \times 10^3$	$93 \times 10^6$	$93 \times 10^4$			$43 \times 10^6$	$43 \times 10^4$
Coliformes Fecales	NMP/100ml	$15 \times 10^6$	$73 \times 10^3$	$93 \times 10^6$	$<30 \times 10^3$			$23 \times 10^6$	$<30 \times 10^3$

Parametro	Unidades	1999.5		1999.6		Promedio	
		Afluencia	Efluente	Afluencia	Efluente	Afluencia	Efluente
Caudal	l/s	0.8	0.5	1.3	2	1.6	1.4
DQO	mg/l	273	125	257	102	210.5	103.2
DBO	mg/l	113	52	68	19.1	70.7	24.9
SS	mg/l	60	54	110	68	56.0	46.2
OD	mg/l	0.3	6.7	2.2	6.8	1.2	5.7
pH		6.7	10.2	6.8	8.6	6.8	8.8
Coliformes Totales	NMP/100ml	$91 \times 10^5$	$<30 \times 10^3$	$23 \times 10^5$	$15 \times 10^2$	$39 \times 10^6$	$30 \times 10^4$
Coliformes Fecales	NMP/100ml	$36 \times 10^5$	$<30 \times 10^3$	$91 \times 10^4$	$<30 \times 10$	$27 \times 10^6$	$32 \times 10^3$

Tabla F.1.5 Sistema de Disposición de Residuos Sólidos en el Área de Estudio

No.	Nombre de Municipio	Servicio		Basura Doméstica	Sitio de Disposición				Tratamiento de Lixiviados	Plan Futura
		Área (ha)	Población		Localización	Área (ha)	Tipo	Año Objetivo		
1	Carmen de Carupa	43	1,300	8m <sup>3</sup> /semana	Lugar alto; lejos de los cursos de agua.	2.6	Hoyo y dique	>10	No	Cooperación con Cucunuba, Sitio no-definido
2	Ubaté			No incluye los desechos del hospital	Terreno privado, prestado por el dueño a condición de suministrar las heces del matadero.	5.5	Hoyo y dique	>20	No	OM 7M.Peso/año, Plan de Compostaje (1.5ha)
3	Tausa					0.5	Hoyo			Cooperación con Cucunubá, Chibaquirá, Sutatausa
4	Sutatausa			3.5 t/semana, 168t/año, No incluye los desechos del hospital	Terreno privado, el dueño no quiere continuar su uso.	2	Disposición a cielo abierto	No Información	No	Cobertura con membrana sintética de baja permeabilidad, Cooperación con Cucunuba o solo
5	Cucunubá	100	1,153	6 t/semana	Vereda Aposentos, 4km del centro.	1	Disposición a cielo abierto	25	Filtro de membrana y tanque	
6	Lenguazaque			6 t/semana		2	Hoyo			
7	Guachetá				No recolección					Cooperación con Ubaté
8	San Miguel de Sema				No recolección					Nuevo sitio en Veredas
9	Fúquene	19	800	3 t/semana	5km del casco urbano en la Vereda Taravita	2	Hoyo	100	No	
10	Susa	130	2,500	30 m <sup>3</sup> /semana	Terreno privado, se devolverá al dueño a finales de 1999, a 2km de la Vereda Cascada	3	Disposición a cielo abierto		No	No sitio
11	Simijaca	62	4,500	55 m <sup>3</sup> /sem (dom.) 10 m <sup>3</sup> /sem (indust.)	Lugar alto; lejos de los cursos de agua.	1.9	Hoyo	<2	No	Plan Regional
12	Caldas	4	100	3m <sup>3</sup> /semana	A 1km del casco urbano	1	Disposición a cielo abierto		No	
13	Chiquinquirá	2,000	50,000	10,000 t/año 20,000 m <sup>3</sup> /año		25	Hoyo		Tratamiento de lixiviados	Instalaciones para Biogas
14	Saboyá	400	1,200	4 t/semana	Vereda Merchan, a 4km del centro	2	Hoyo	25	No datos	Cooperación con Chiquinquirá

**Tabla F.2.1 Regulación de Efluentes**

(unidades: mg/l)

Parametro	Cuerpo de Agua		Alcantarillado	
	Usuario Existente	Usuario Nuevo	Usuario Existente	Usuario Nuevo
PH	5.0-9.0	5.0-9.0	5.0-9.0	5.0-9.0
Temperatura	≤40°C	≤40°C	≤40°C	≤40°C
Material Flotante	Ausente	Ausente	-	-
Grasas y Aceitas	Remoción ≥ 80%	Remoción ≥ 80%	-	-
Acidas o Básicas que Puedan Causar Contaminación Sustancias (explosivas o inflamables)	-	-	Ausente	Ausente
Sólidos Sedimentables	-	-	≤ 10	≤ 10
Sustancias Solubles en Hexano	-	-	≤ 100	≤ 100
Sólidos Suspendidos para Desechos Domésticos e Industriales	Domésticos	Remoción ≥ 80%	Remoción ≥ 50%	Remoción ≥ 80%
	Industriales (>500mg/l)		Remoción ≥ 50%	Remoción ≥ 80%
BOD (>500mg/l)	Domésticos	Remoción ≥ 80%	Remoción ≥ 30%	Remoción ≥ 80%
	Industriales	Remoción ≥ 80%	Remoción ≥ 20%	Remoción ≥ 80%
Caudal Máximo	-	-	1.5 veces el Caudal al Caudal Promedio Horario	
Sb		0.5		0.5
As		0.5		0.5
Ba		5.0		5.0
Be		10.0		10.0
B		10.0		10.0
Cd		0.1		0.1
Carbamatos		0.1		0.1
CN <sup>-</sup>		1.0		1.0
Cloroformo		1.0		1.0
Cu		3.0		3.0
Cr <sup>6+</sup>		0.5		0.5
Cr (Total)		5.0		5.0
Compuestos Organoclorados Cada Variedad		0.05		0.05
Compuestos Fenólicos		0.2		0.2
Compuestos Organofosforados Cada Variedad		0.1		0.1
Dichloroetileno		1.0		1.0
Difenilpoliclorados	No Detectable		No Detectable	
Fe		15.0		15.0
Hg		0.02		0.02
Mercurio Orgánico	No Detectable		No Detectable	
Ni		2.0		2.0
Pb		0.5		0.5
Ag		0.5		0.5
Se		0.5		0.5
Surfuro de Carbono		1.0		1.0
Tetrachloro de Carbono		1.0		1.0
Trichloroetileno		1.0		1.0
Zn		3.0		3.0

**Tabla F.2.2 Costo Directo de la Planta de Tratamiento en Municipio**

(Unidad: M Col\$)

Municipio	Trabajo Pública					Maquinaria				Electricas	Total		
	Prelimi- nares*1	Exca- vaciones	Rellenos	Pretrata- mientos*2	Edificio *3	Cabezales *4	Exterior*5	Sub-Total	Bombeo			Aereador	Sub-Total
Carmen de Carupa	14.7	88.6	0.0	1.9	0.8	63.6	17.9	187.5	0.0	0.0	0.0	6.7	194.2
Ubaté	17.7	133.8	64.0	8.9	0.8	86.3	20.8	332.3	0.0	544.4	544.4	326.7	1,203.4
Tausa	237.7	21.5	20.3	1.9	0.8	35.2	11.9	329.2	0.0	0.0	0.0	6.7	335.9
Statausa	5.7	22.0	22.4	1.9	0.8	39.6	13.7	105.9	0.0	0.0	0.0	6.7	112.6
Cucunubá	5.5	34.1	26.6	1.9	0.8	42.4	13.5	124.8	0.0	0.0	0.0	6.7	131.5
Lenguazaque	6.1	41.9	35.6	3.7	0.8	61.3	14.3	163.7	0.0	179.0	179.0	107.4	450.2
Guachetá	26.5	140.6	0.0	3.7	14.2	93.7	17.7	296.3	24.3	45.3	69.6	41.7	407.6
San Miguel de Sema	10.6	67.6	0.0	1.9	0.8	38.1	19.1	138.0	0.0	0.0	0.0	6.7	144.7
Fúquene	6.1	32.7	0.0	1.9	0.8	34.3	13.9	89.6	0.0	0.0	0.0	6.7	96.3
Capellaniá	3.3	16.3	23.1	1.9	0.8	30.2	11.9	87.4	0.0	0.0	0.0	6.7	94.1
Susa	12.7	73.8	0.0	1.9	14.2	60.8	17.6	181.0	9.9	27.9	37.8	22.7	241.5
Simijaca	48.3	231.2	0.0	3.7	20.9	123.2	19.5	446.7	22.0	50.5	72.6	43.5	562.9
Caldas	6.1	32.7	0.0	1.9	0.8	29.2	13.9	84.6	0.0	0.0	0.0	6.7	91.3
Chiquinquirá	126.0	392.7	162.2	12.6	27.6	426.8	33.5	1181.3	46.2	123.0	169.2	101.5	1,452.0
Total	527.0	1,329.3	354.0	49.2	85.1	1,164.8	238.9	3748.5	102.4	970.2	1,072.6	697.2	5,518.2

\*1: Descapote, Desmoontem, Limpieza, Retención Muro

\*2: Rejillas, Cribado, Trampas de Grasa, Desarenadores, Medición

\*3: Caseta de Bomba y Vigilancia

\*4: Estructuras Entrada y Salida, Emisario Final

\*5: Portal de Entrada, Via de Acceso, Valla, Cercas de Alambre.

**Tabla F.2.3 Costo de Adquisición de Tierra**

Municipio	Área Total (m <sup>2</sup> )	Área Adquirido (m <sup>2</sup> )	Área Necesario (m <sup>2</sup> )	Costo Unidad (Pesos/m <sup>2</sup> )	Cost Total (M Col\$)
Carmen de Carupa	12,500	0	12,500	781.3	9.8
Ubaté	15,000	15,000	0	4,687.5	0.0
Tausa	3,600	0	3,600	1,562.5	5.6
Statausa	4,800	0	4,800	2,343.8	11.3
Cucumubá	4,700	0	4,700	3,125.0	14.7
Lenguazaque	5,200	5,200	0	2,812.5	0.0
Guachetá	22,500	0	22,500	3,125.0	70.3
San Miguel de Sema	9,000	9,000	0	2,343.8	0.0
Fúquene	5,200	0	5,200	3,125.0	16.3
Capellaniá	2,800	1,700	1,100	3,125.0	3.4
Susa	10,800	10,800	0	2,812.5	0.0
Simijaca	41,000	0	41,000	3,906.3	160.2
Caldas	5,200	0	5,200	1,250.0	6.5
Chiquinquirá	107,000	107,000	0	3,906.3	0.0
Total	249,300	148,700	100,600		298.0

**Tabla F.2.4 Etapa Programa de Carga de DBO Reducción**

Municipio	Existente		Etapa Primeria (2005)				Etapa Secunda (2010)			
	Q (m <sup>3</sup> /d)	Carga (kg/d)	Línea de Fond		Con Proyecto		Línea de Fond		Con Proyecto	
			Q (m <sup>3</sup> /d)	Carga (kg/d)	Carga (kg/d)	Carga Reducir	Q (m <sup>3</sup> /d)	Carga (kg/d)	Carga (kg/d)	Carga Reducir
Carmen de Carupa	116.5	70.4	170.3	101.2	101.2	-	195.3	115.5	7.8	107.7
Ubaté	3,710.6	357.5	4,379.9	449.4	175.2	274.2	4,846.9	676.4	193.9	334.0
Tausa	86.6	54.1	80.3	50.7	50.7	-	97.2	60.4	3.9	56.6
Sutatausa	51.2	29.1	116.5	66.2	66.2	-	129.9	73.8	5.2	68.6
Cucumubá	102.2	9.5	148.9	17.8	17.8	-	181.1	52.8	7.2	14.4
Lenguazaque	248.2	98.6	348.5	135.8	135.8	-	384.5	132.9	15.4	133.9
Guachetá	460.8	175.8	576.8	218.9	218.9	-	629.2	238.4	25.2	213.3
San Miguel de Sema	140.3	10.5	154.8	12.3	12.3	-	164.3	25.5	6.6	6.5
Fúquene	70.4	40.0	79.2	45.0	45.0	-	99.6	56.6	4.0	52.6
Susa	171.9	103.8	144.1	88.2	88.2	-	158.7	96.6	6.3	90.3
Simijaca	820.1	342.9	856.1	356.9	356.9	-	903.0	375.0	36.1	338.9
Caldas	7.6	4.3	40.8	23.2	23.2	-	54.6	31.1	2.2	28.9
Chiquinquirá	7,587.0	2,167.8	8,187.9	442.4	17.7	424.7	8,751.2	2,535.1	350.0	2,185.0
Saboyá	96.6	1.2	118.6	1.7	1.7	-	142.2	2.5	2.5	-
Total	13,670.0	3,465.3	15,402.9	2,009.6	1,310.7	698.9	16,737.7	4,472.9	666.3	3,630.5

**Tabla F.2.5 Fase de Implementación de Cada Sistema de Alcantarillado**

(Unidad: M Col\$)

Municipio	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	C/C Directo	Adquisición de Tierra
	Carmen de Carupa	120.3						9.8	84.2	129.5		213.6
Ubaté		601.7		601.7	601.7						1,323.7	0.0
Tausa					5.6				145.6	233.9	369.5	5.6
Statausa					11.3			48.8	75.1		123.9	11.3
Cucumbá							14.7	57.0	87.7		144.7	14.7
Lenguazaque						195.1	300.1				495.2	0.0
Guachetá					70.3	176.6	271.7				448.4	70.3
San Miguel de Sema									62.7	96.5	159.2	0.0
Fúquene								16.3	41.7	64.2	105.9	16.3
Capellamí								3.4	40.8	62.7	103.5	3.4
Susa								104.7	161.0		265.7	0.0
Simijaca						160.2	243.9	375.3			619.7	160.2
Caldas								6.5	39.6	60.9	100.4	6.5
Chiquinquirá	45.6	580.8	580.8								1,597.2	0.0
Saboyá											0.0	0.0
<b>Total</b>	555.9	580.8	580.8	601.7	688.9	531.9	840.3	696.0	783.5	508.2	6,070.0	298.1
<b>C/C Directo</b>	555.9	580.8	580.8	601.7	601.7	371.7	815.8	669.8	783.5	508.2		6,070.0
<b>Adquisición de Tierra</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	87.2	160.2	24.5	26.2	0.0	0.0		298.1
<b>Servicios de Ingeniería y Costos de Administración</b>	29.0	58.1	58.1	60.2	77.6	60.6	80.9	65.4	70.7	50.8		611.4
<b>Contingencia Física</b>	29.0	58.1	58.1	60.2	68.9	44.6	78.4	62.8	70.8	50.8		581.7
<b>Total</b>	614.0	697.0	697.0	722.0	835.4	637.2	999.5	824.3	925.0	609.8		7,561.2
<b>Instalaciones Existentes</b>	233.6	233.6	233.6	233.6	233.6	233.6	233.6	233.6	233.6	233.6		2,335.6
<b>Instalaciones Desarrollo</b>	0.0	0.0	0.0	101.8	101.8	157.4	157.4	235.0	291.7	447.4		1,492.6
<b>Total</b>	233.6	233.6	233.6	335.4	335.4	391.0	391.0	468.6	525.3	681.0		3,828.2

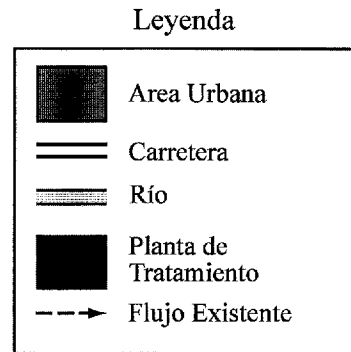
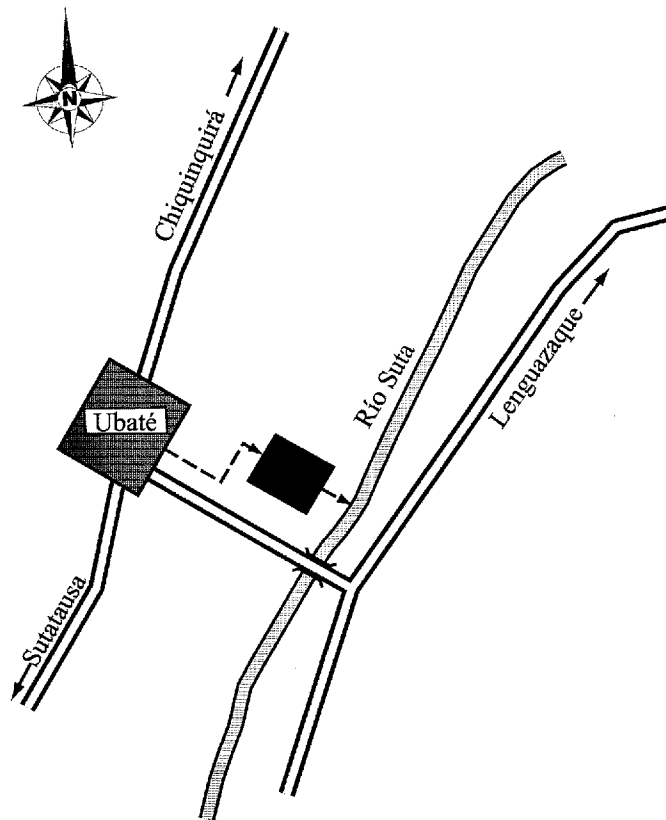
Nota:  : Diseño de Detalles  : Adquisición de Tierra  : Construcción Directo



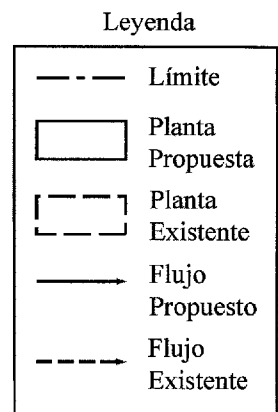
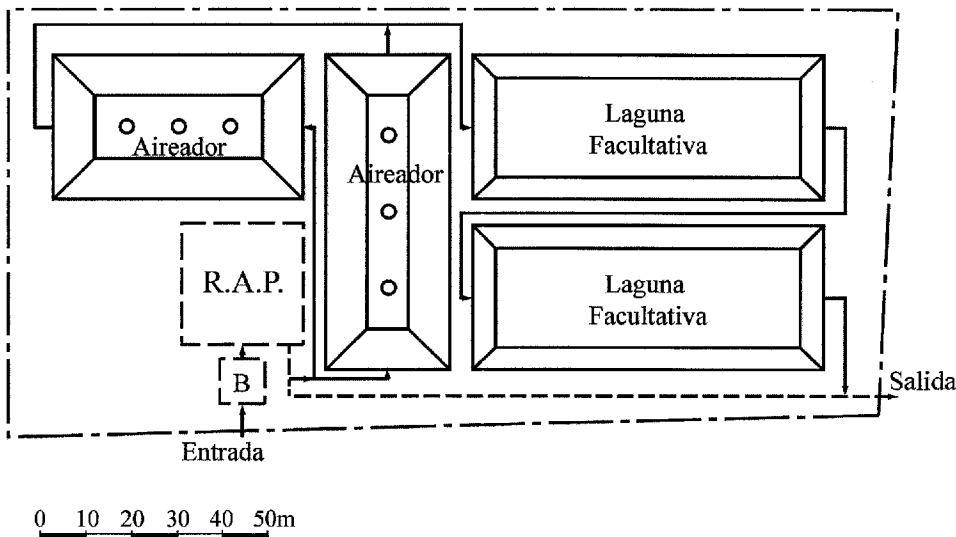
**Tabla F.2.6 Inversión Programa de Alcantarillado Desarrollo**

(Unidad: M Col\$)

Municipio	Primera Fase (2001-2005)				Segunda Fase (2006-2010)				Total				2011- Costo O & M Anual
	Costos de Construcción		Costo O & M Anual		Costos de Construcción		Costo O & M Anual		Costo O & M Anual		Total		
	Existente	Desarrollo	Total		Existente	Desarrollo	Total		Existente	Desarrollo	Total		
Carmen de Carupa	0.0	0.0	0.0	0.0	265.2	44.6	44.6	0.0	44.6	44.6	44.6	44.6	44.6
Ubaté	1,564.4	442.3	0.0	442.3	0.0	442.3	278.1	720.4	1,564.4	278.1	1,162.7	144.1	144.1
Tausa	7.3	0.0	0.0	0.0	436.7	0.0	0.0	0.0	444.0	0.0	0.0	0.0	35.9
Statausa	14.7	0.0	0.0	0.0	146.4	0.0	36.3	36.3	161.1	0.0	36.3	36.3	36.3
Cucumbá	0.0	72.8	0.0	72.8	190.1	72.3	29.3	102.1	190.1	145.6	29.3	174.9	43.8
Lenguazaque	0.0	299.3	0.0	299.3	585.3	299.3	60.6	359.9	585.3	598.6	60.6	659.2	80.0
Guachetá	91.4	0.0	0.0	0.0	529.9	0.0	172.3	172.3	621.3	0.0	172.3	172.3	57.4
San Miguel de Sema	0.0	179.9	0.0	179.9	188.1	179.9	0.0	179.9	188.1	359.8	0.0	359.8	43.4
Fúquene	0.0	0.0	0.0	0.0	146.4	0.0	0.0	0.0	146.4	0.0	0.0	0.0	35.8
Capellanía	0.0	0.0	0.0	0.0	126.8	0.0	0.0	0.0	126.8	0.0	0.0	0.0	35.4
Susa	0.0	0.0	0.0	0.0	314.0	0.0	45.5	45.5	314.0	0.0	45.5	45.5	45.5
Simijaca	0.0	0.0	0.0	0.0	940.0	0.0	113.4	113.4	940.0	0.0	113.4	113.4	56.7
Caldas	0.0	0.0	0.0	0.0	127.1	0.0	0.0	0.0	127.1	0.0	0.0	0.0	35.3
Chiquinquirá	1,887.6	0.0	203.6	203.6	0.0	0.0	509.0	509.0	1,887.6	0.0	712.6	712.6	101.8
Saboyá	0.0	173.5	0.0	0.0	0.0	173.5	0.0	173.5	0.0	347.0	0.0	347.0	34.7
<b>Total</b>	<b>3,565.4</b>	<b>1,167.8</b>	<b>203.6</b>	<b>1,371.4</b>	<b>3,995.8</b>	<b>1,167.8</b>	<b>1,289.0</b>	<b>2,456.8</b>	<b>7,561.2</b>	<b>2,335.6</b>	<b>1,492.6</b>	<b>3,828.3</b>	<b>831.0</b>



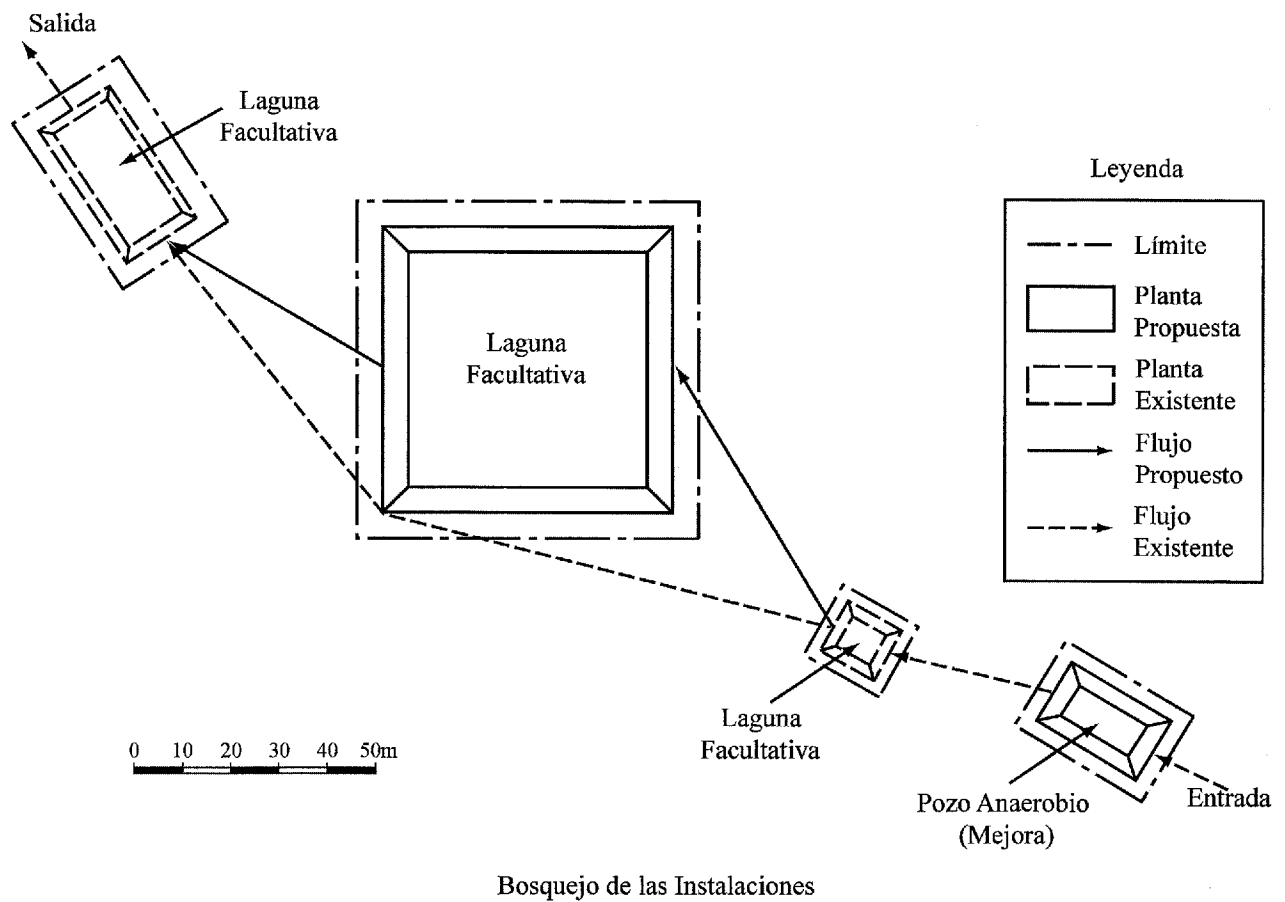
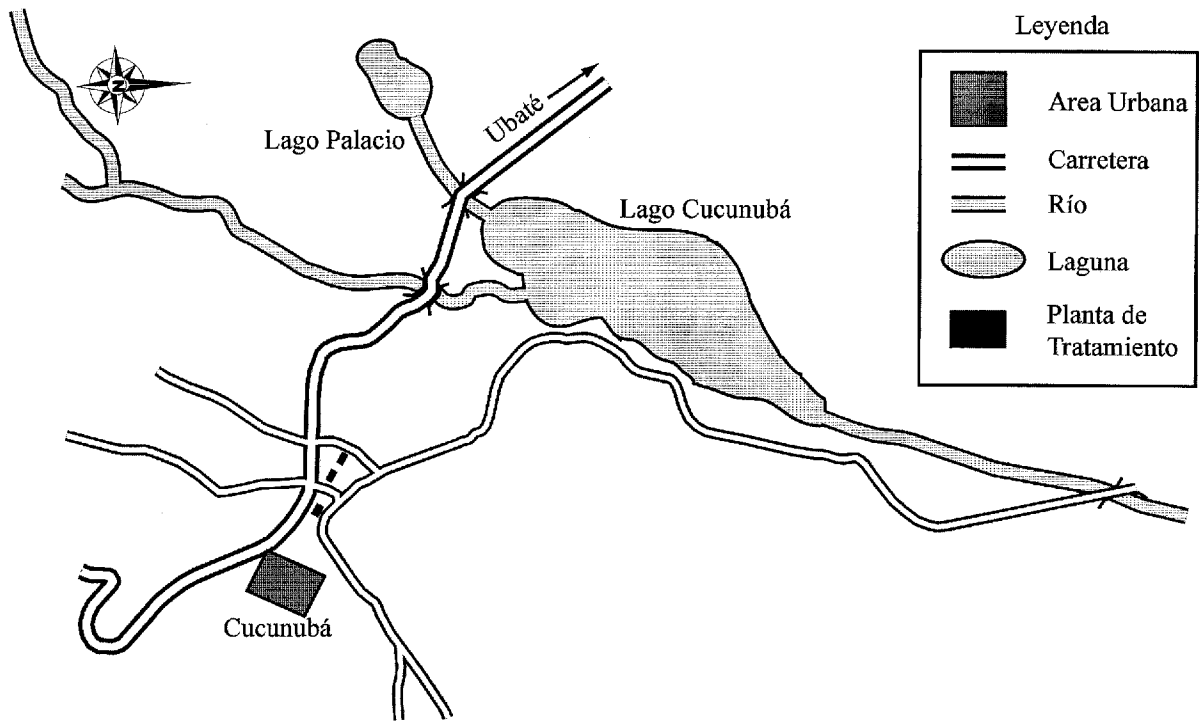
Mapa de Localización



Bosquejo de las Instalaciones

EL ESTUDIO SOBRE  
 PLAN DE MEJORAMIENTO AMBIENTAL REGIONAL  
 PARA LA CUENCA DE LA LAGUNA DE FUQUENE

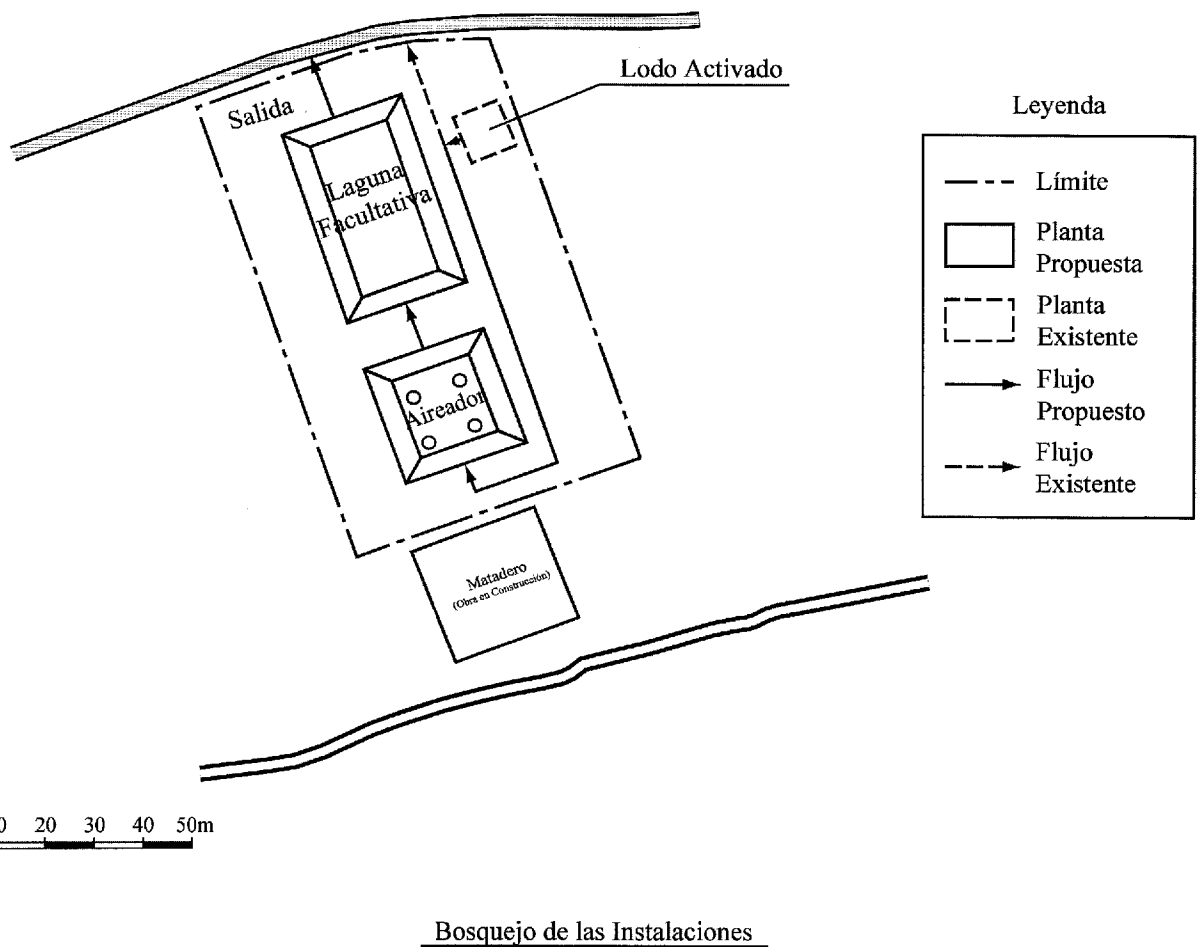
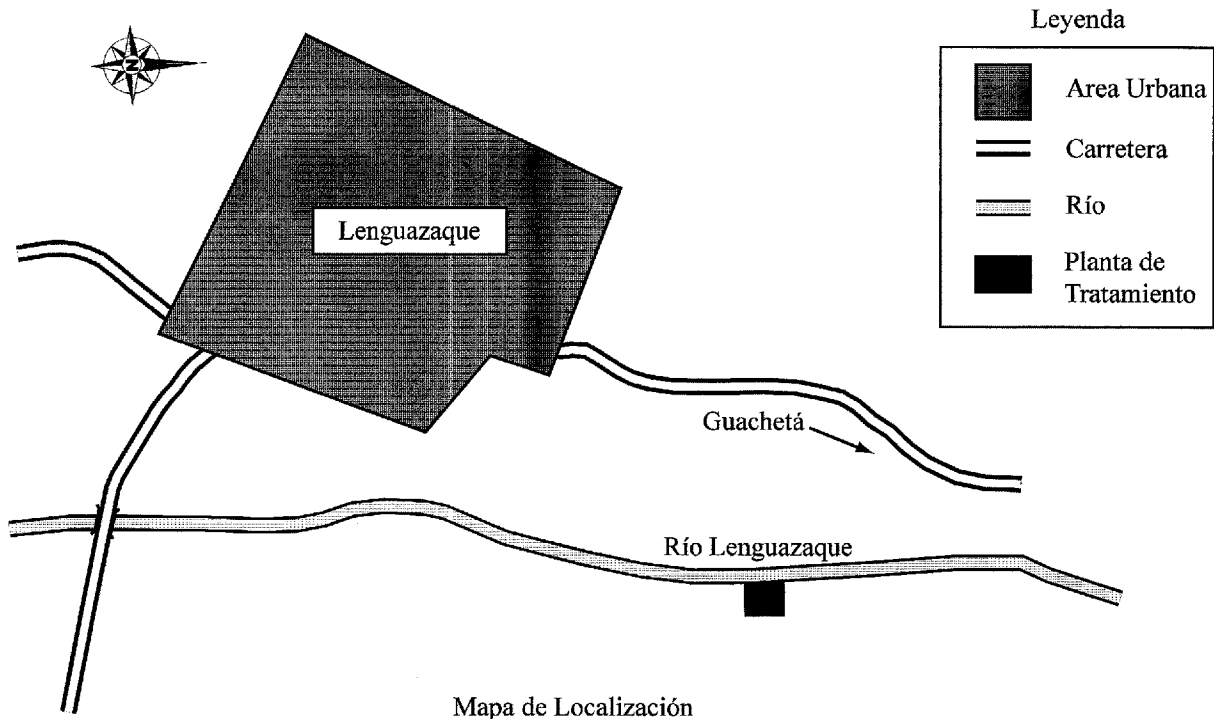
Fig. F.2.1 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Ubaté



EL ESTUDIO SOBRE  
 PLAN DE MEJORAMIENTO AMBIENTAL REGIONAL  
 PARA LA CUENCA DE LA LAGUNA DE FUQUENE

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON (JICA)

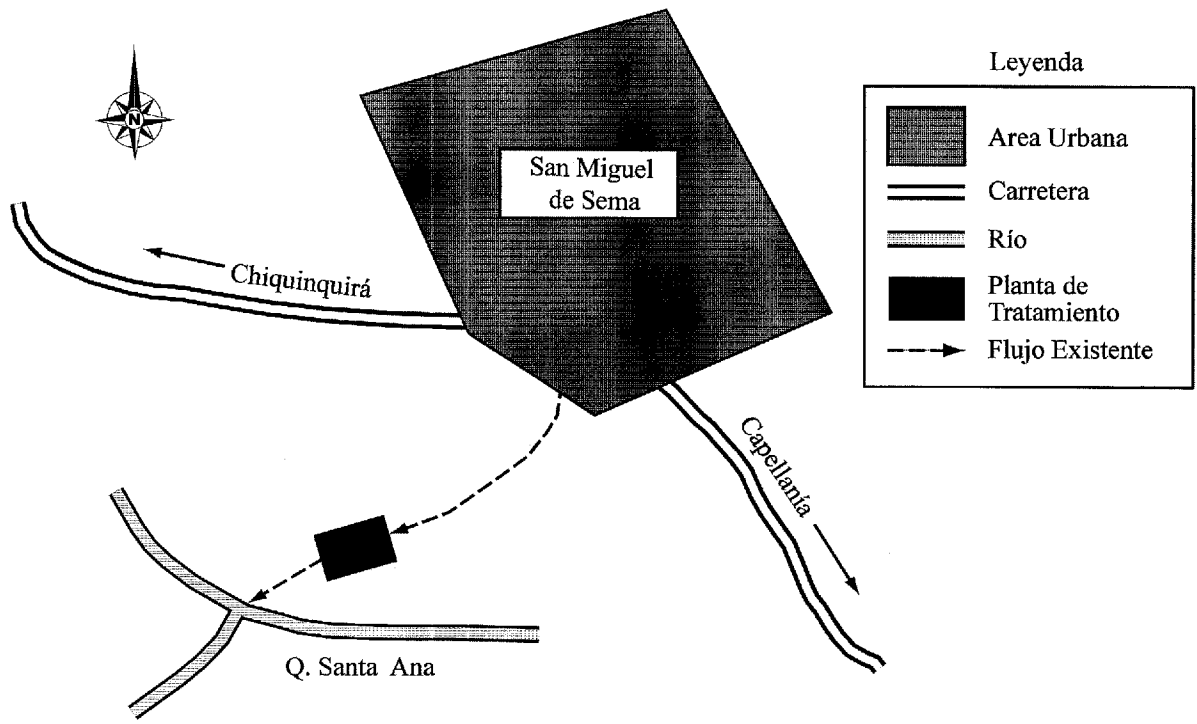
Fig. F.2.2 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Cucunubá



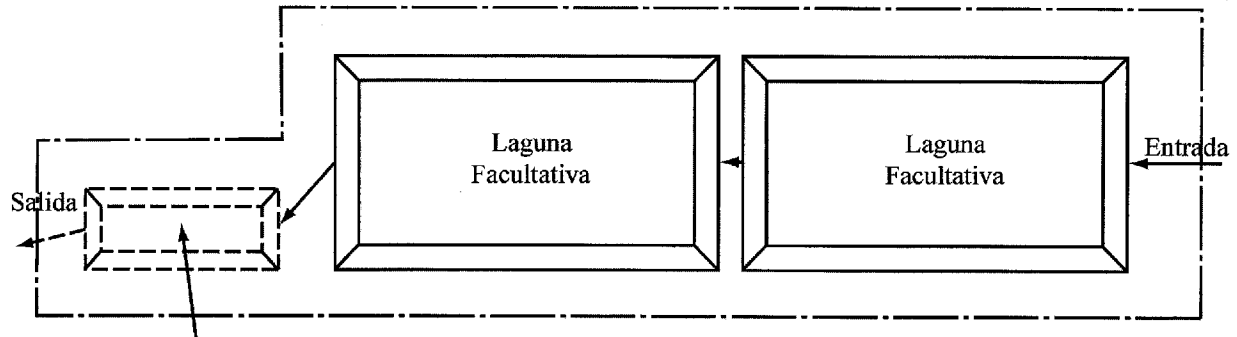
EL ESTUDIO SOBRE  
 PLAN DE MEJORAMIENTO AMBIENTAL REGIONAL  
 PARA LA CUENCA DE LA LAGUNA DE FUQUENE

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON (JICA)

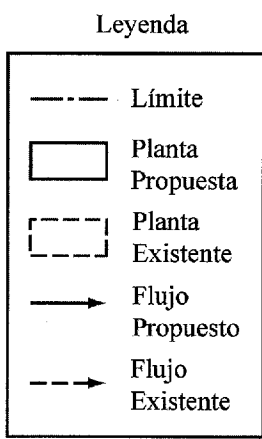
Fig. F.2.3 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Lenguaque



Mapa de Localización



Bosquejo de las Instalaciones



EL ESTUDIO SOBRE  
PLAN DE MEJORAMIENTO AMBIENTAL REGIONAL  
PARA LA CUENCA DE LA LAGUNA DE FUQUENE

Fig. F.2.4 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en San Miguel de Sema

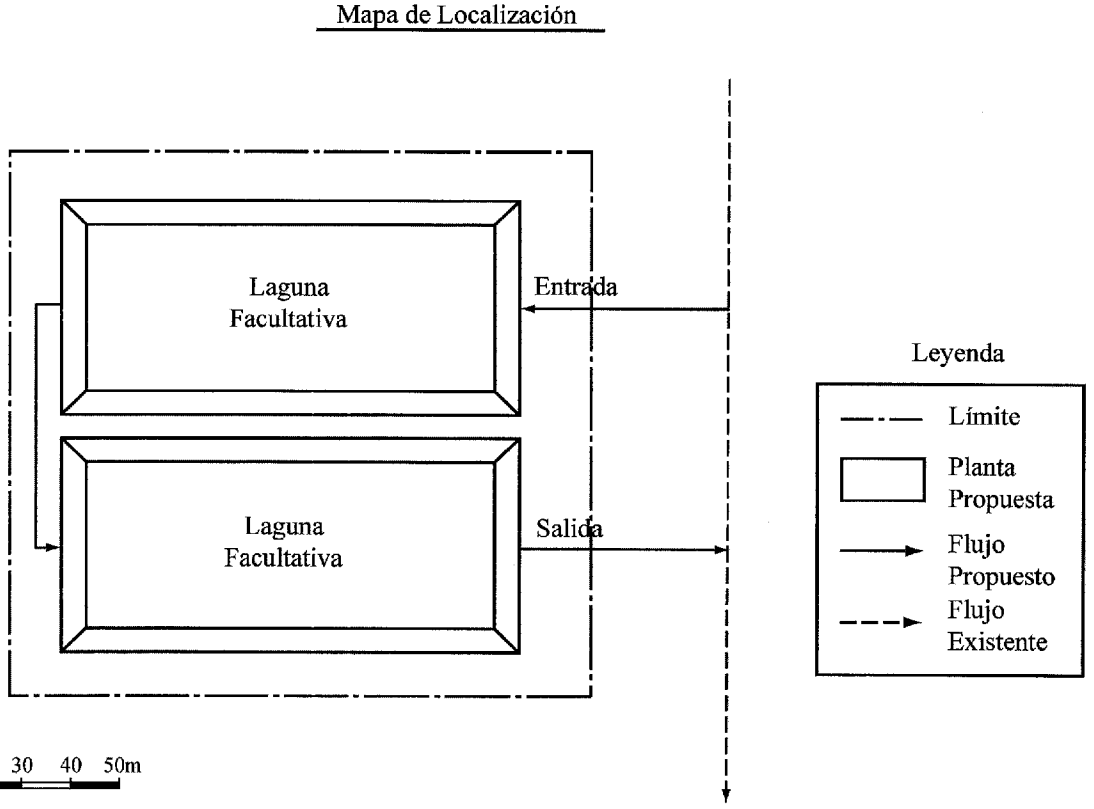
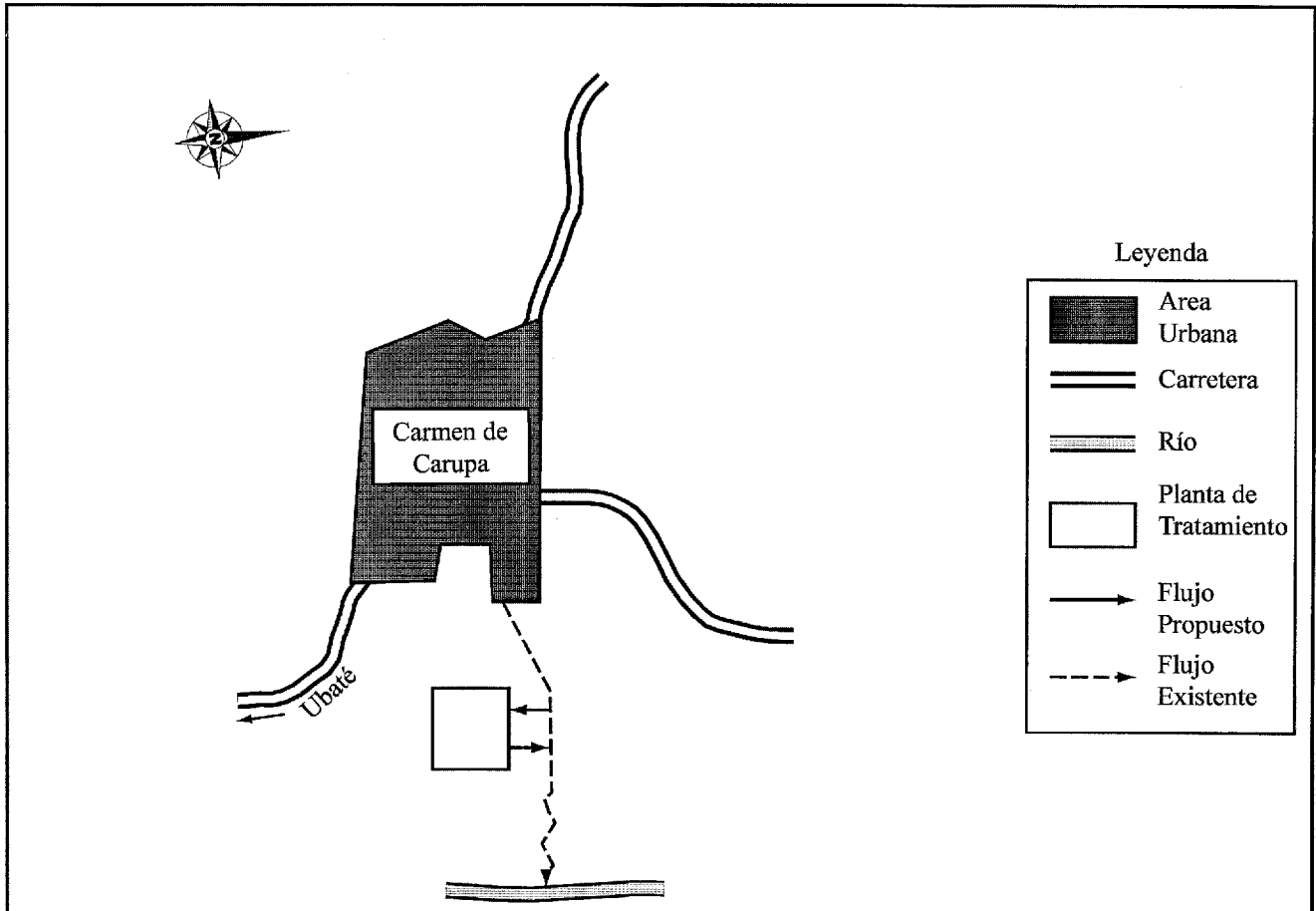
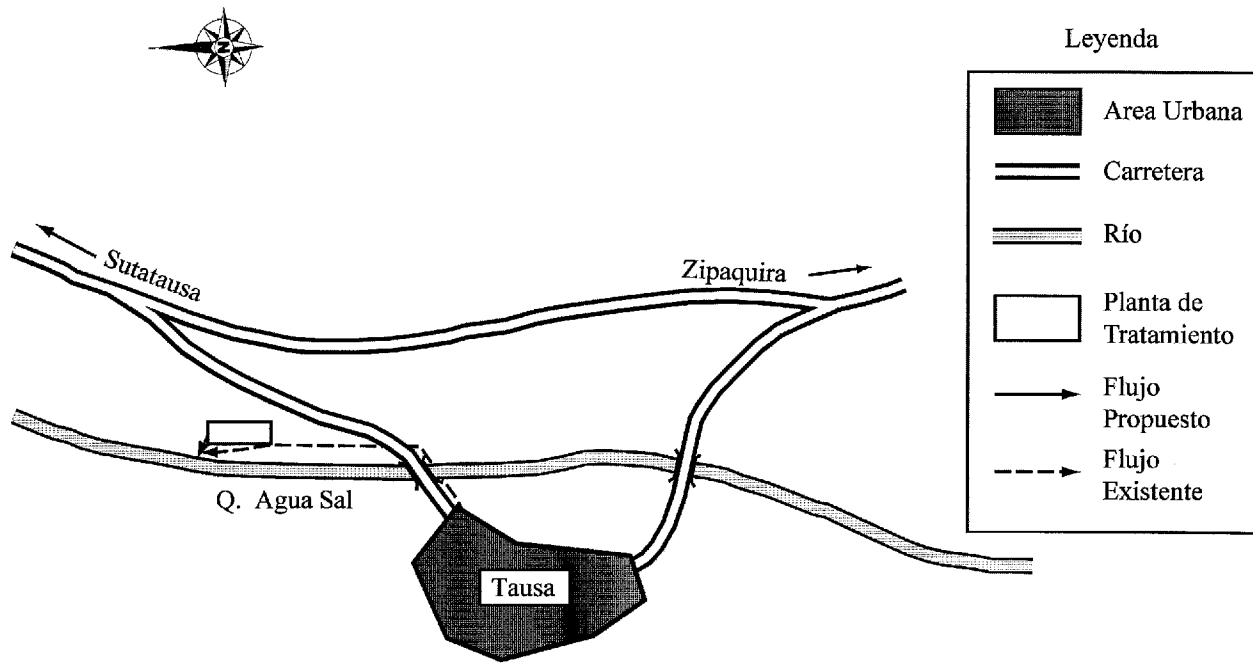
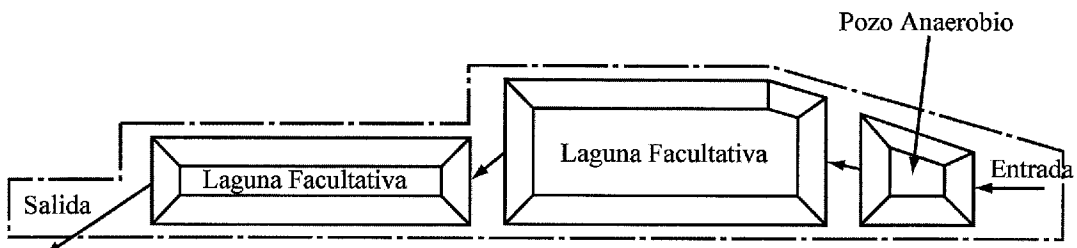


Fig. F.2.5 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Carmen de Carupa



Mapa de Localización



Bosquejo de las Instalaciones

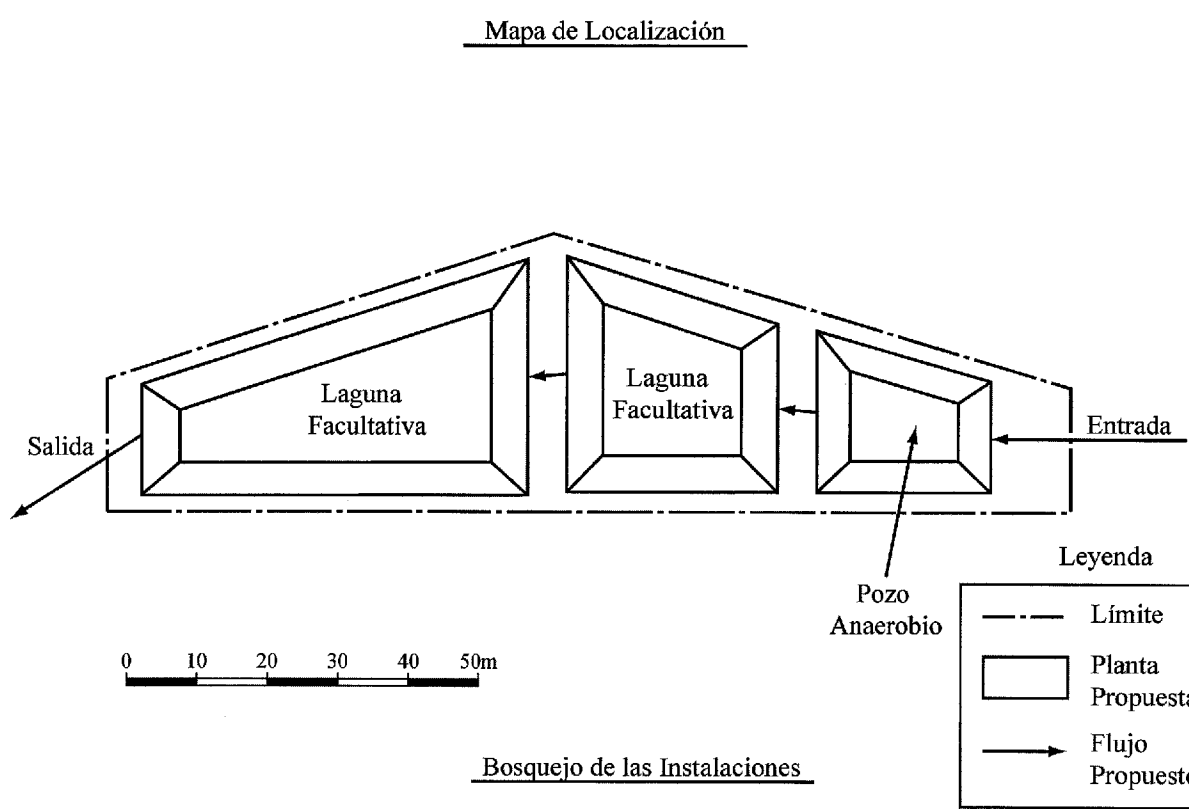
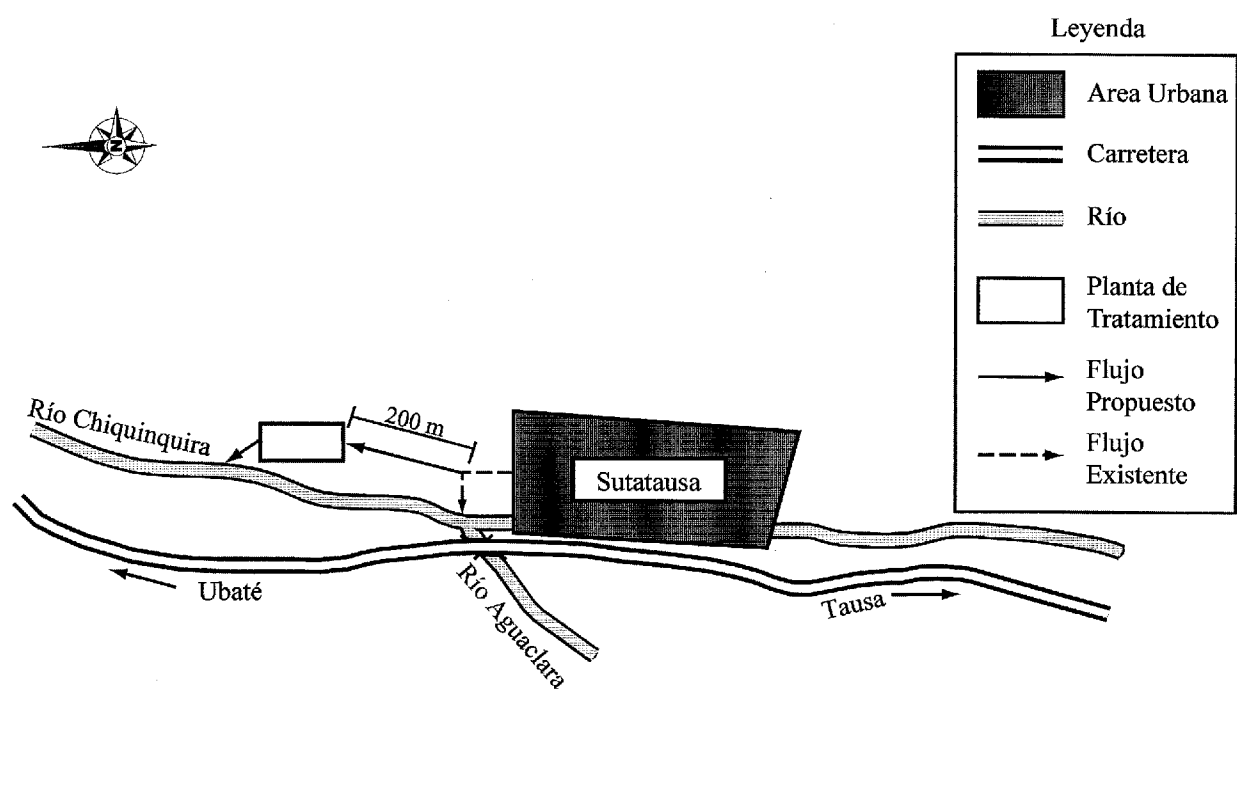
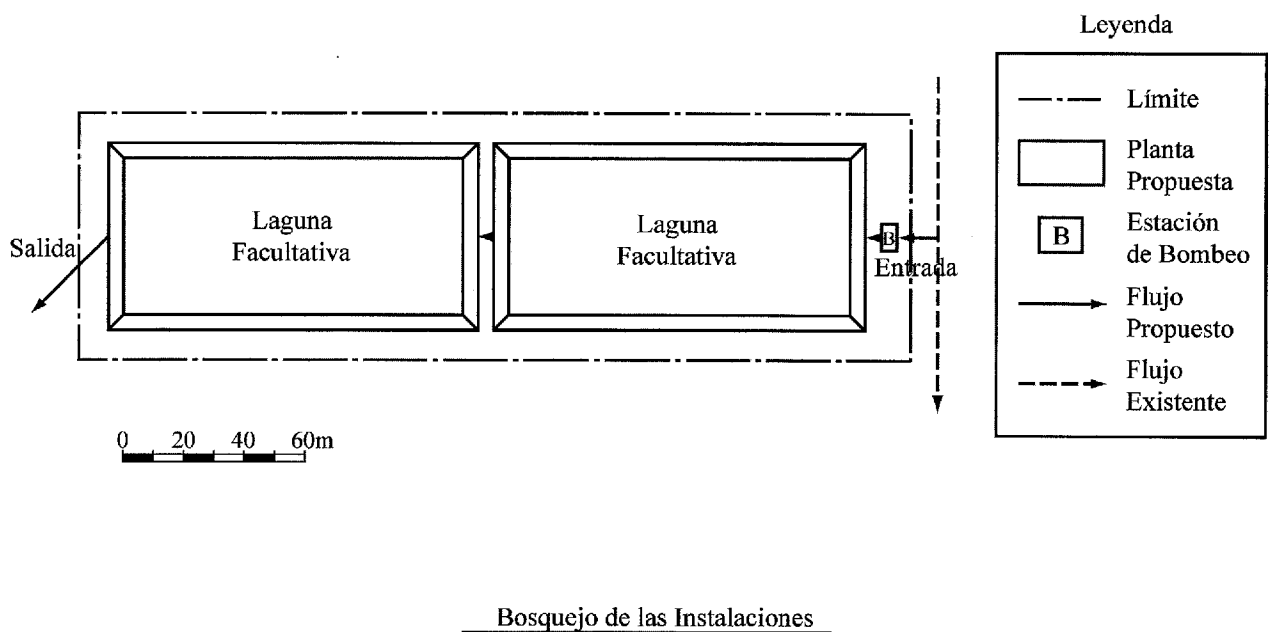
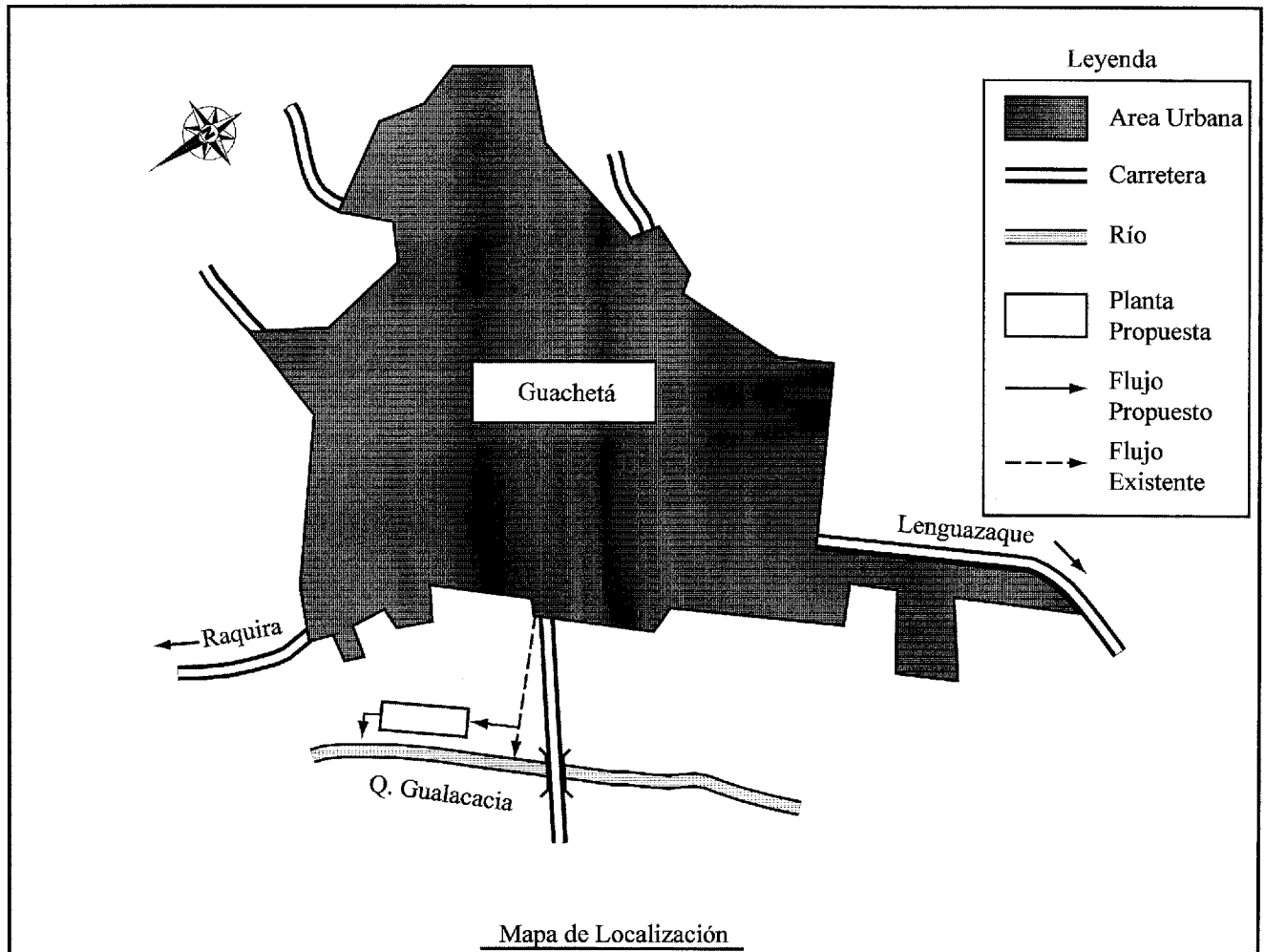


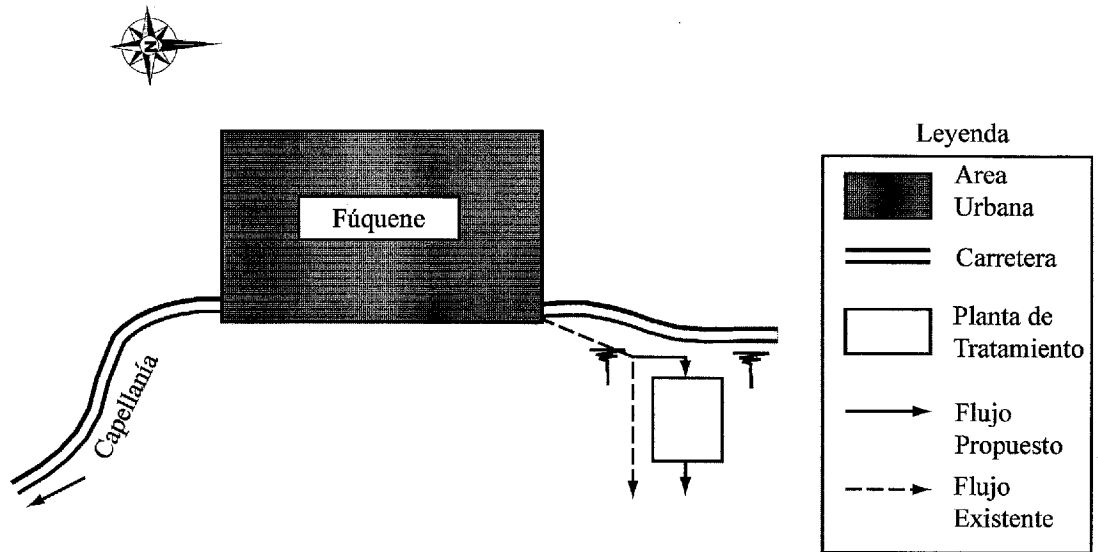
Fig. F.2.7 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Sutatausa



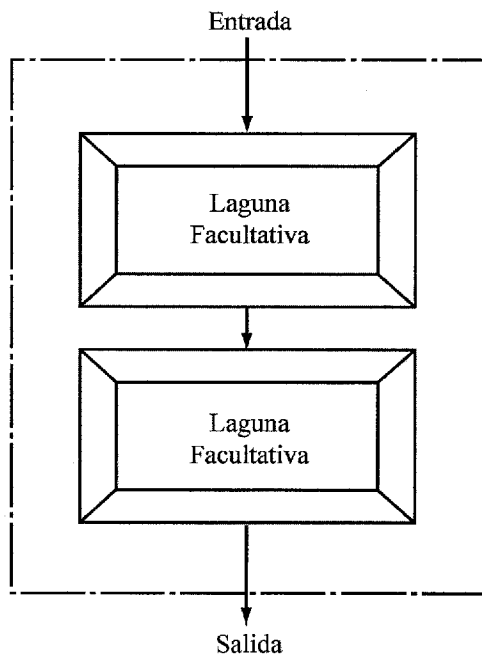


EL ESTUDIO SOBRE  
 PLAN DE MEJORAMIENTO AMBIENTAL REGIONAL  
 PARA LA CUENCA DE LA LAGUNA DE FUQUENE

Fig. F.2.8 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Guachetá

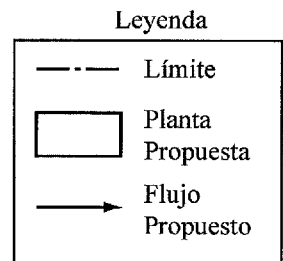


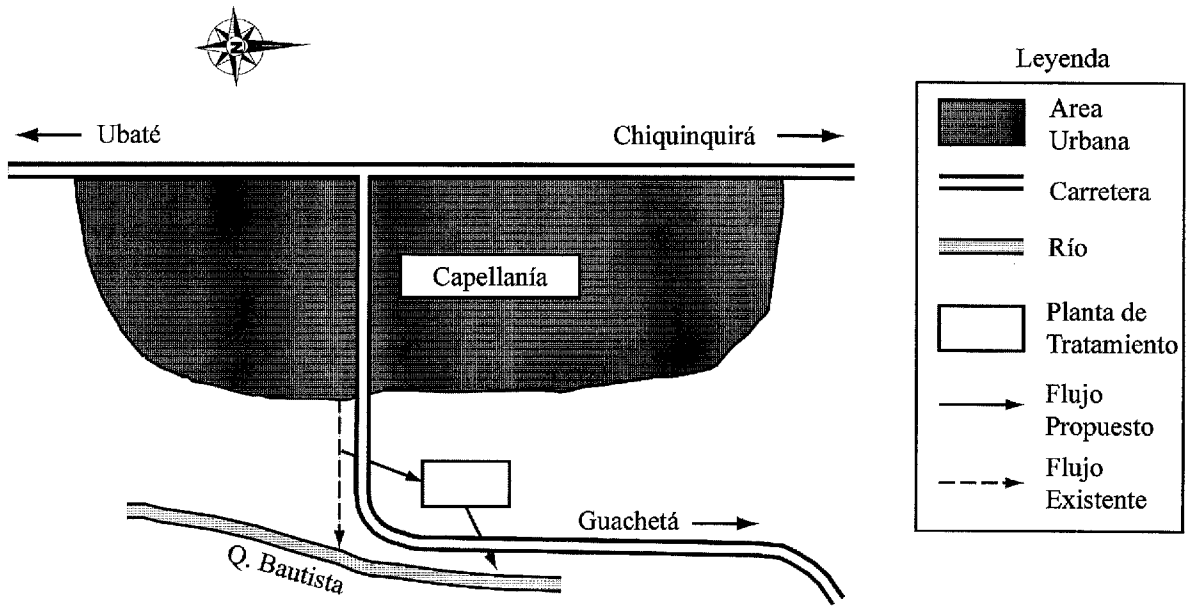
Mapa de Localización



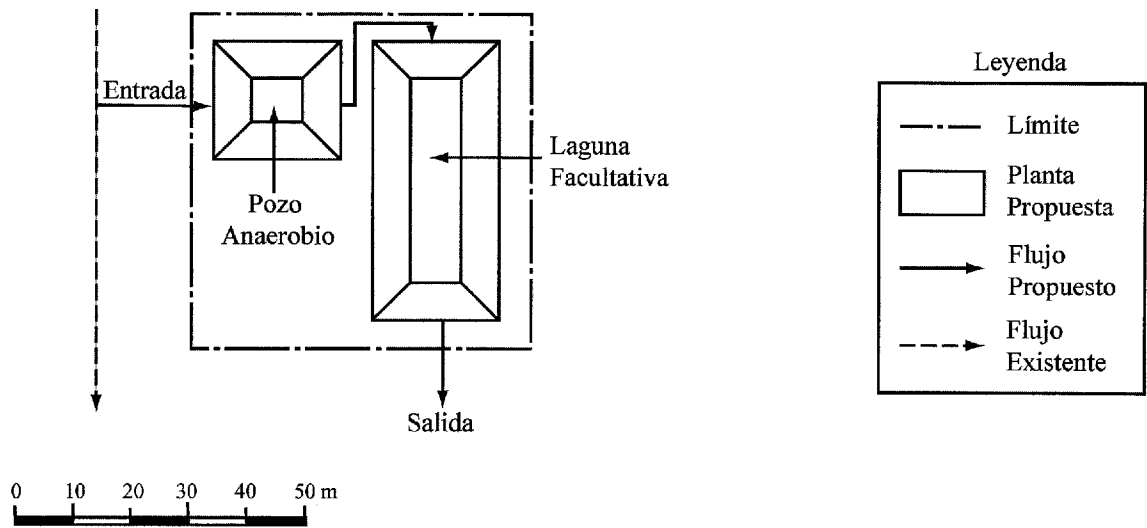
0 10 20 30 40 50m

Bosquejo de las Instalaciones





Mapa de Localización

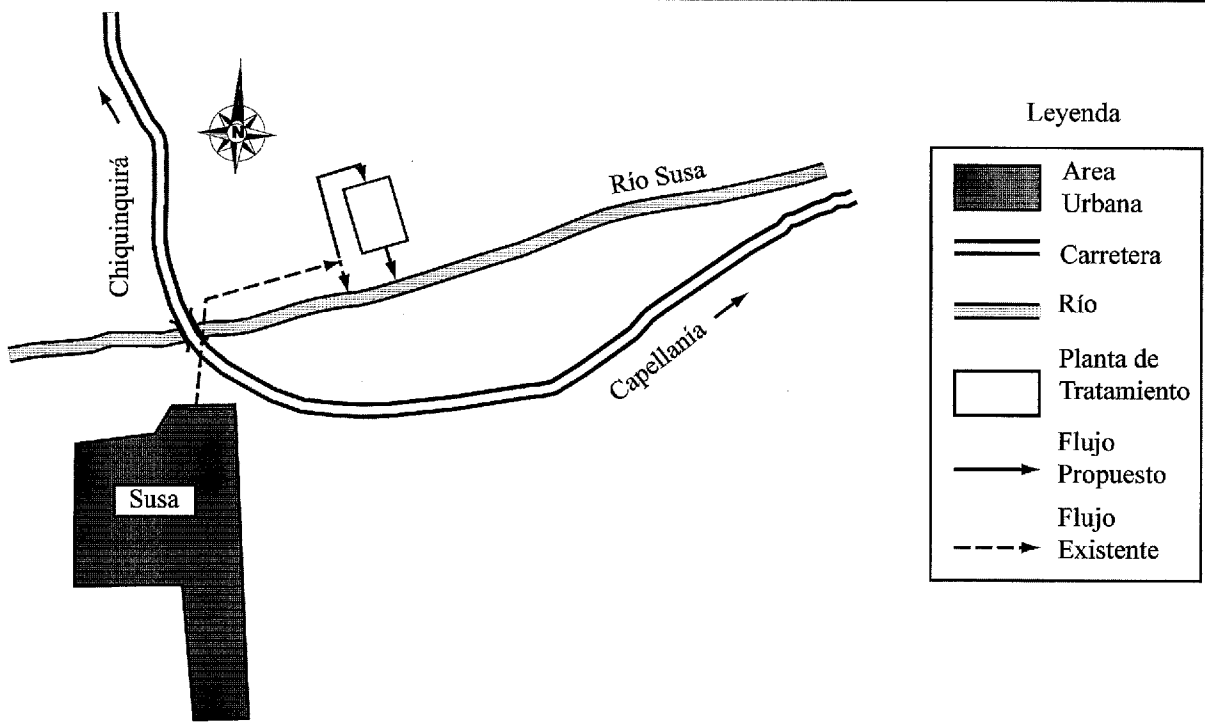


Bosquejo de las Instalaciones

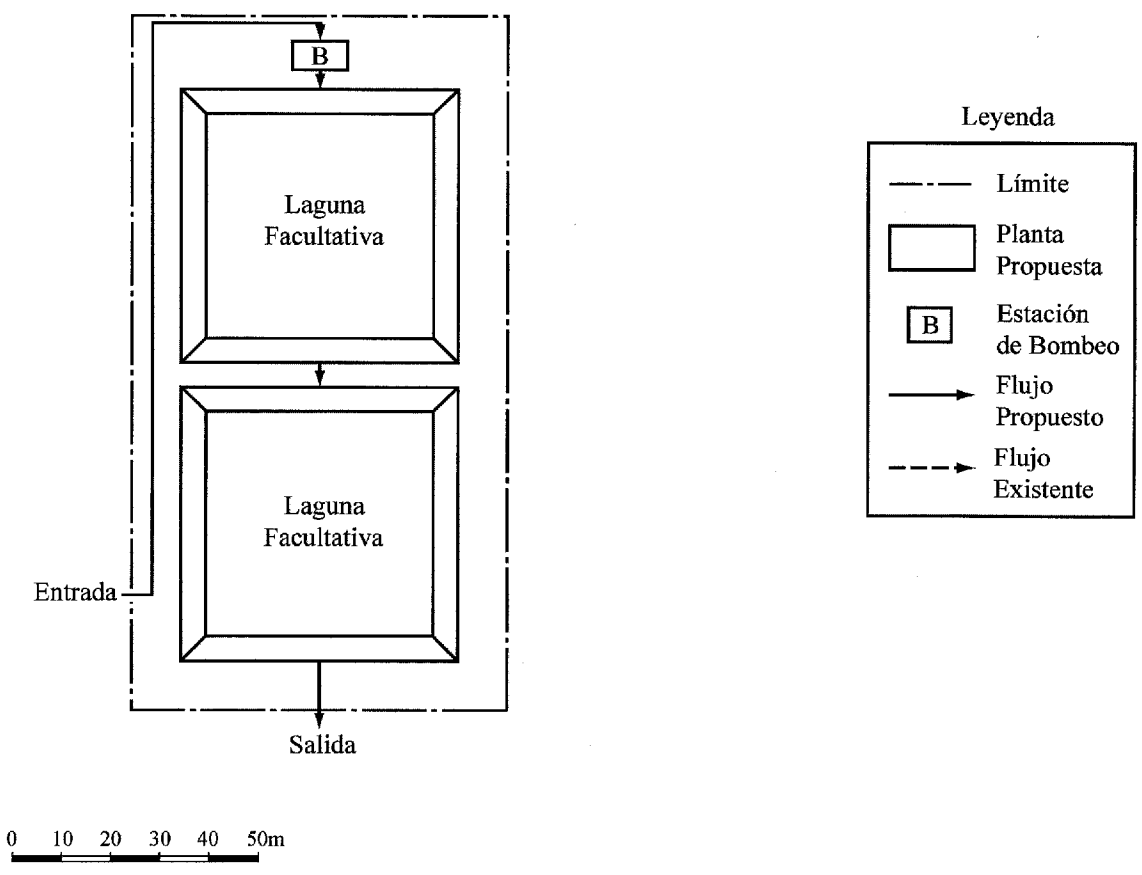
EL ESTUDIO SOBRE  
PLAN DE MEJORAMIENTO AMBIENTAL REGIONAL  
PARA LA CUENCA DE LA LAGUNA DE FUQUENE

Fig. F.2.10 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Capellanía

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON (JICA)



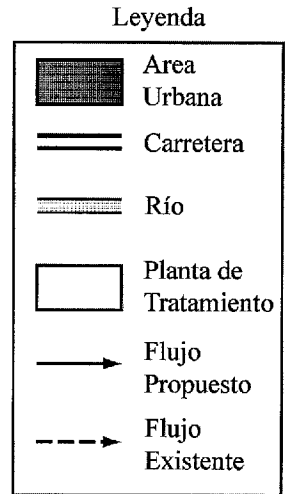
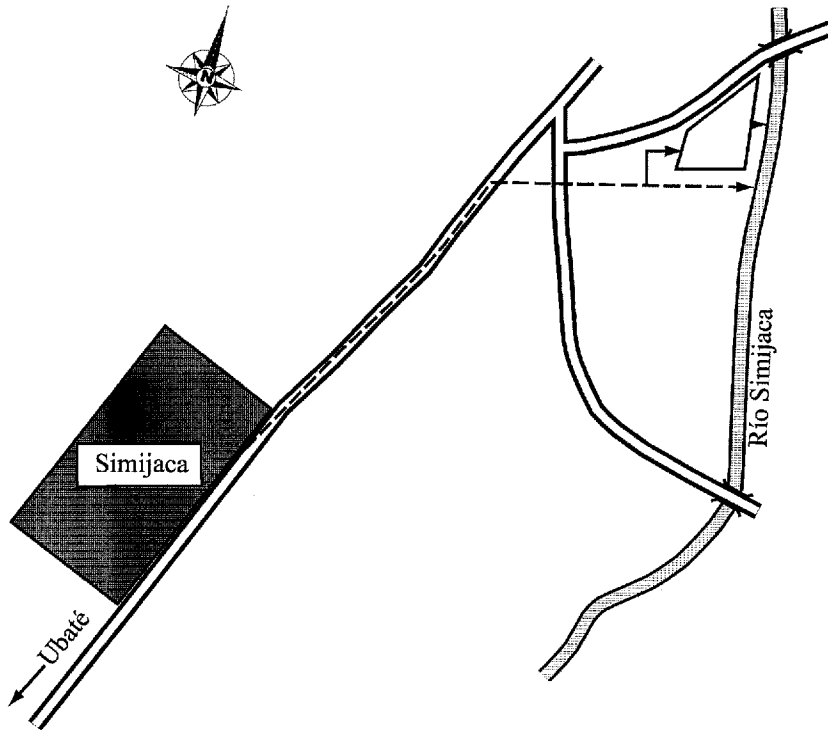
Mapa de Localización



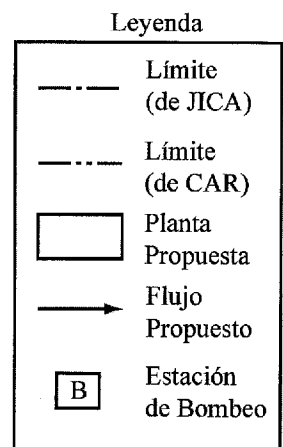
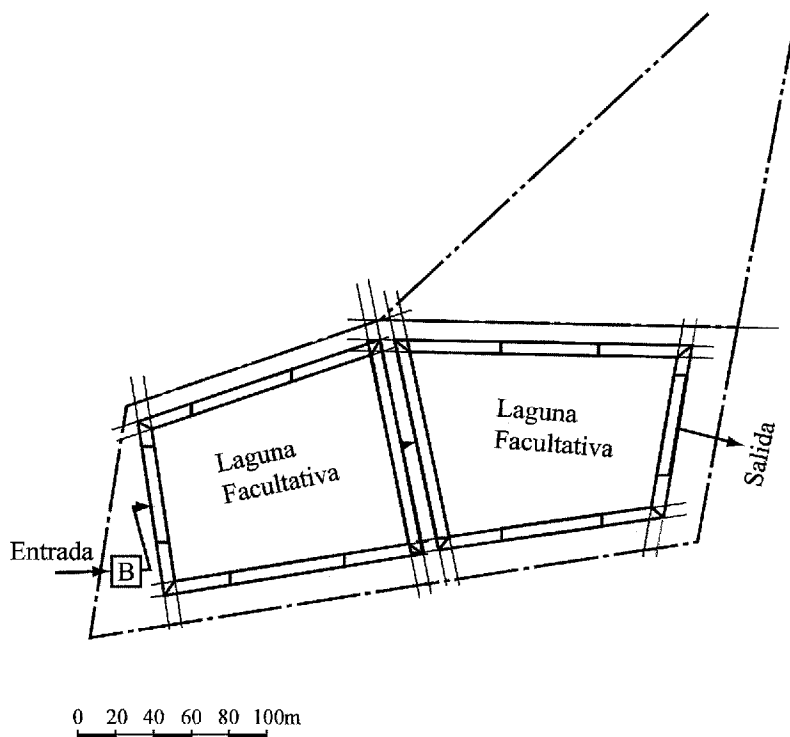
Bosquejo de las Instalaciones

EL ESTUDIO SOBRE  
 PLAN DE MEJORAMIENTO AMBIENTAL REGIONAL  
 PARA LA CUENCA DE LA LAGUNA DE FUQUENE

Fig. F.2.11 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Susa



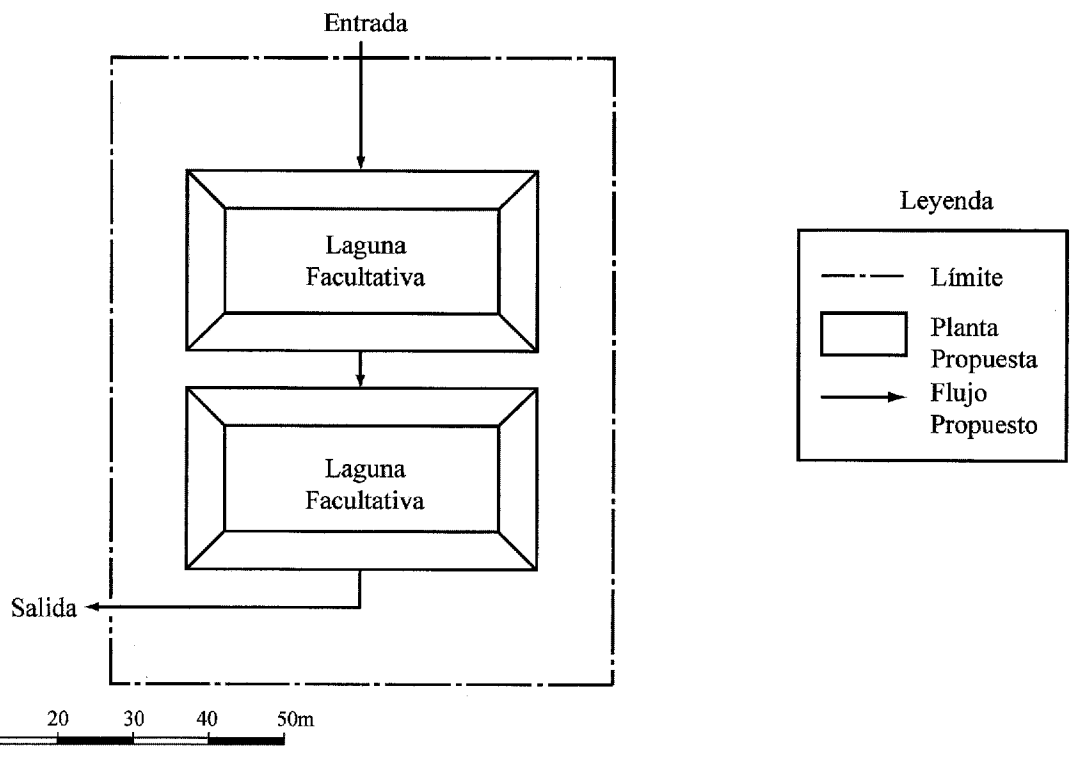
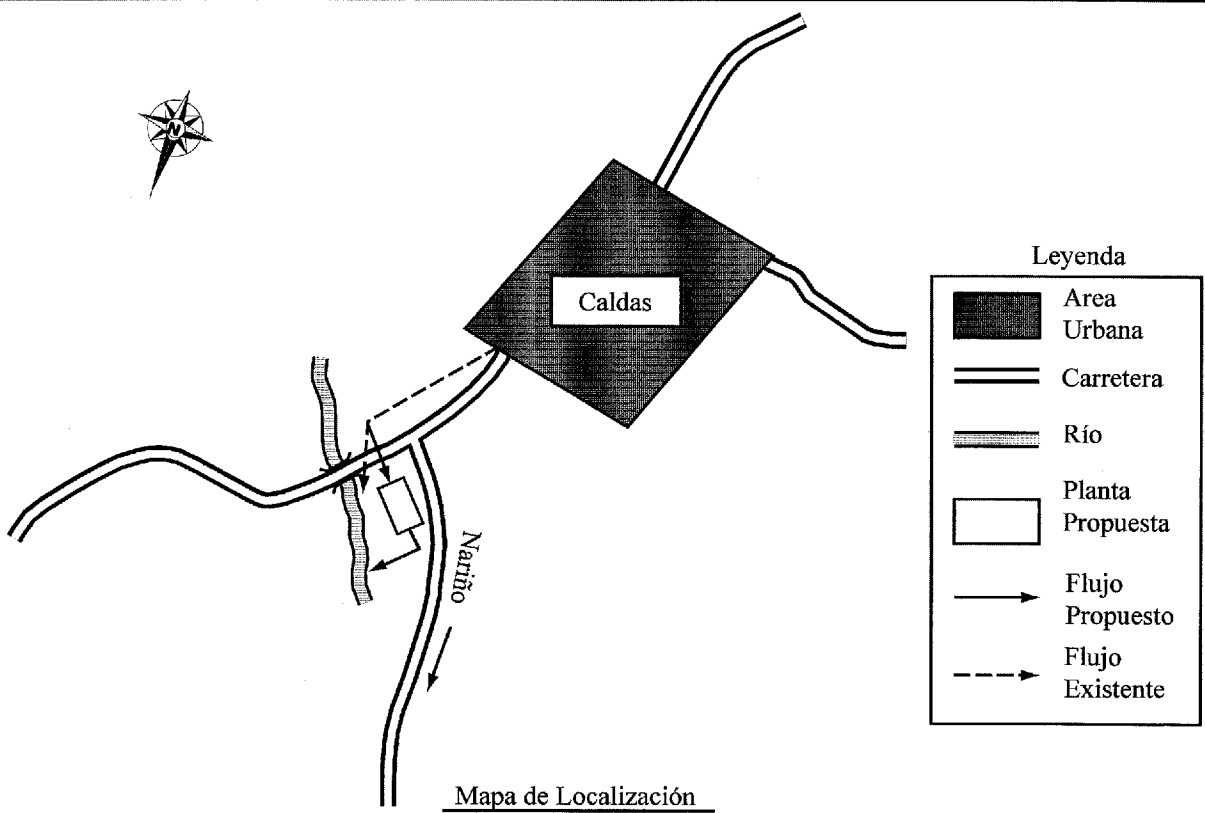
Mapa de Localización



Bosquejo de las Instalaciones

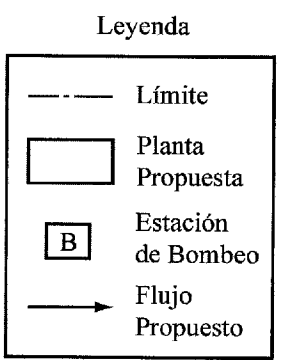
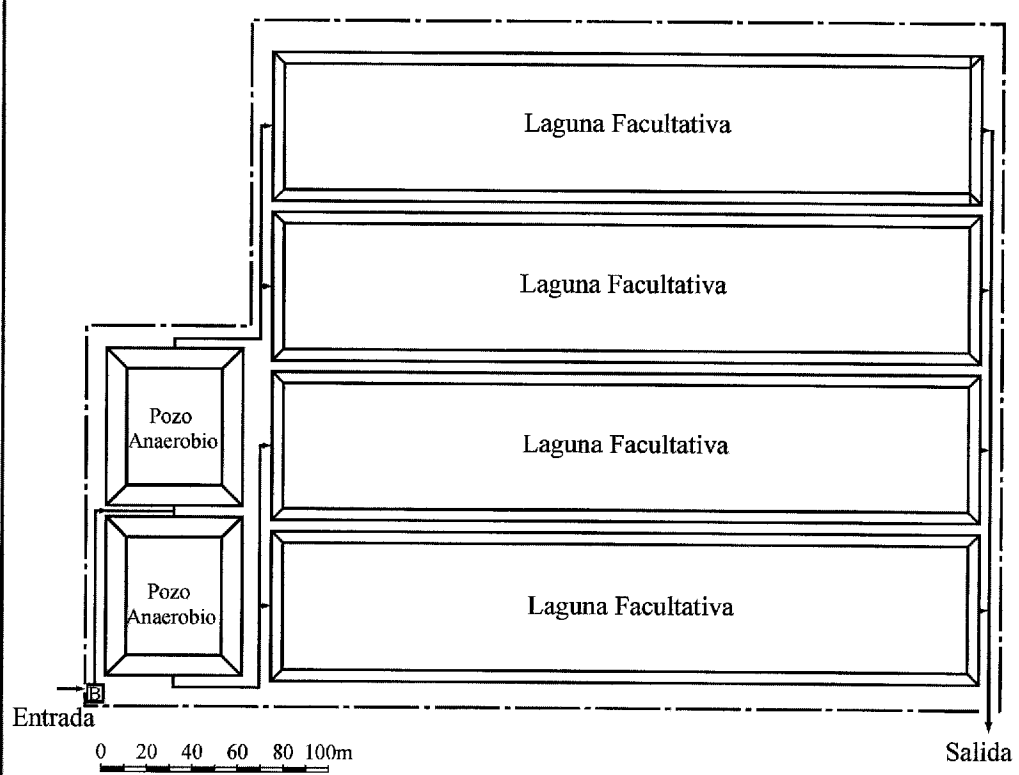
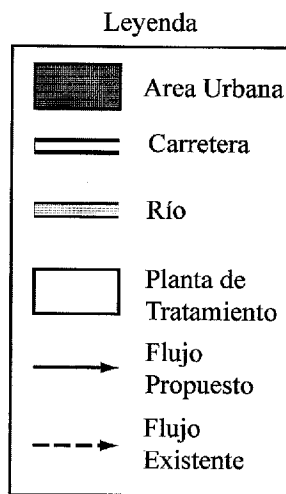
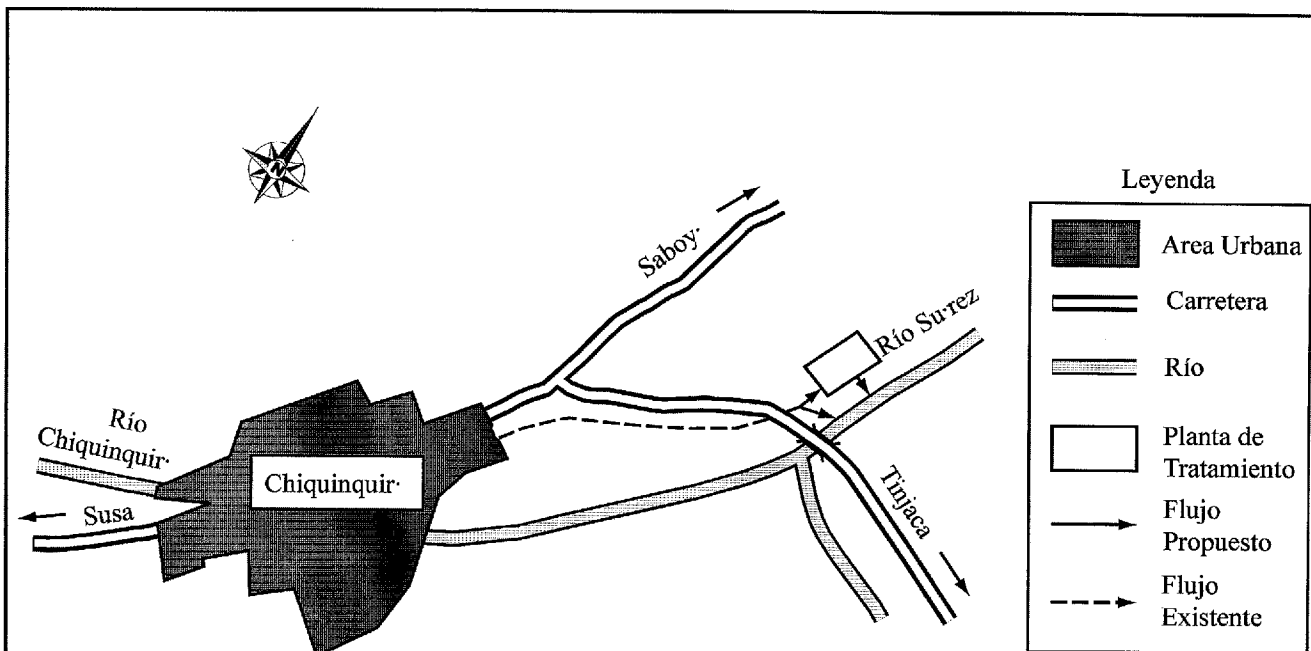
EL ESTUDIO SOBRE  
 PLAN DE MEJORAMIENTO AMBIENTAL REGIONAL  
 PARA LA CUENCA DE LA LAGUNA DE FUQUENE

Fig. F.2.12 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Simijaca



EL ESTUDIO SOBRE  
 PLAN DE MEJORAMIENTO AMBIENTAL REGIONAL  
 PARA LA CUENCA DE LA LAGUNA DE FUQUENE

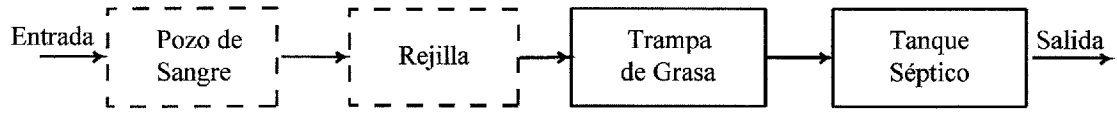
Fig. F.2.13 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Caldas



EL ESTUDIO SOBRE  
 PLAN DE MEJORAMIENTO AMBIENTAL REGIONAL  
 PARA LA CUENCA DE LA LAGUNA DE FUQUENE

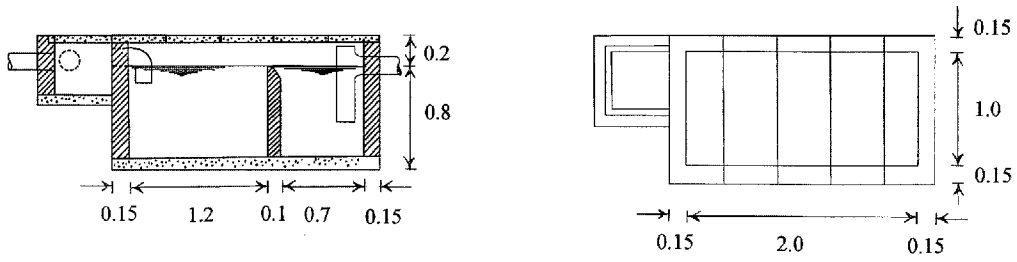
AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON (JICA)

Fig. F.2.14 Planta de tratamiento de Aguas Residuales en Chiquinquirá

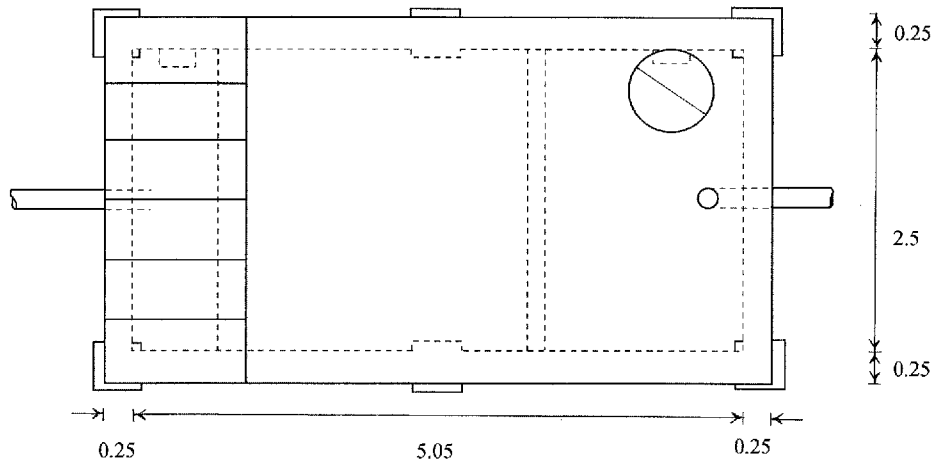
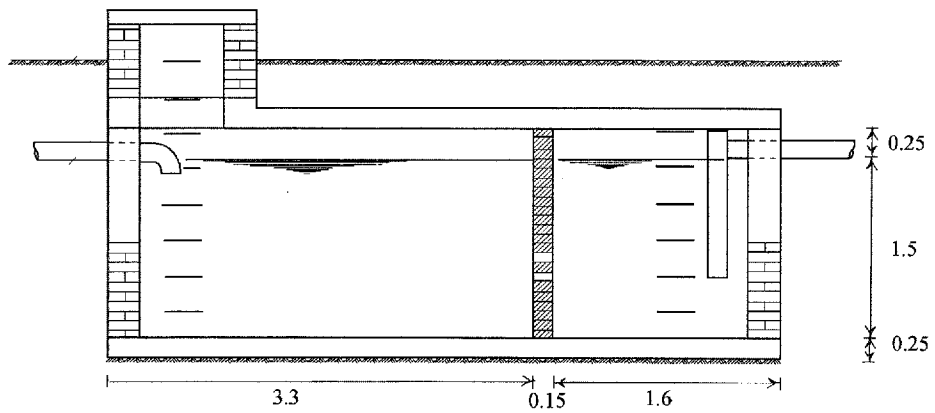


Flujo

( $Q = 5\text{m}^3/\text{dia}$ )



Trampa de Grasa  
(unidad: m)



Tanque Séptico  
(unidad: m)

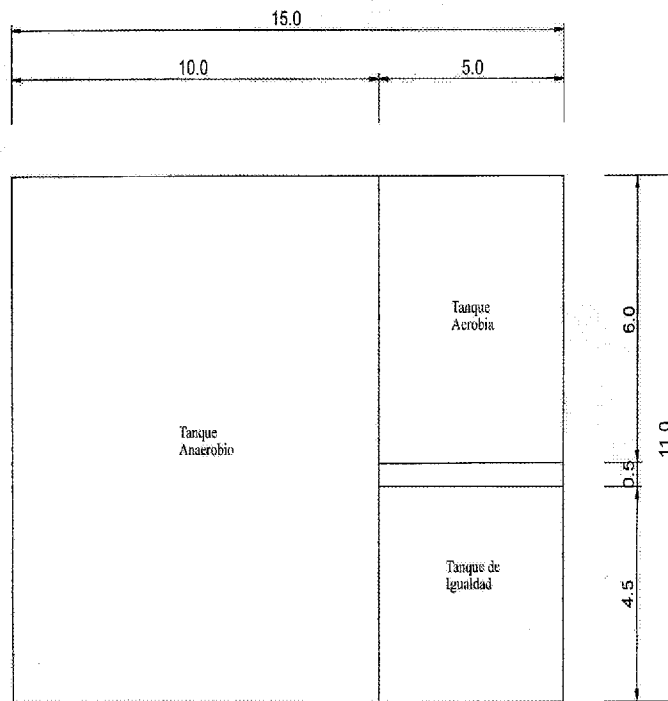
EL ESTUDIO SOBRE  
PLAN DE MEJORAMIENTO AMBIENTAL REGIONAL  
PARA LA CUENCA DE LA LAGUNA DE FUQUENE

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON (JICA)

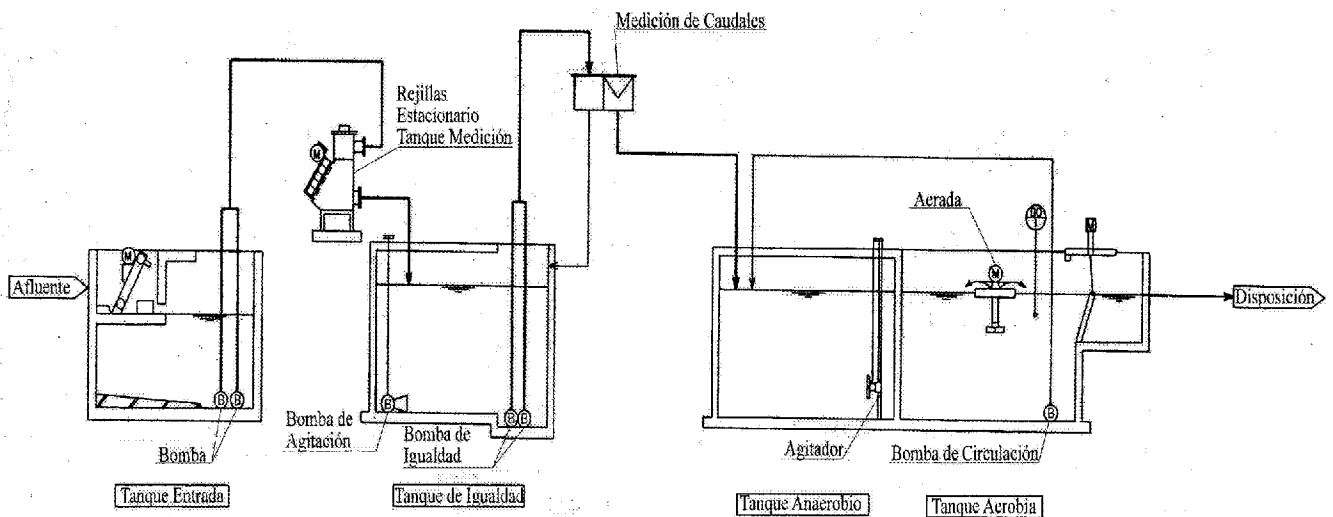
Fig. F.2.15 Pretratamiento Aguas Residuales  
Matadero



$Q=42\text{m}^3/\text{dia}$



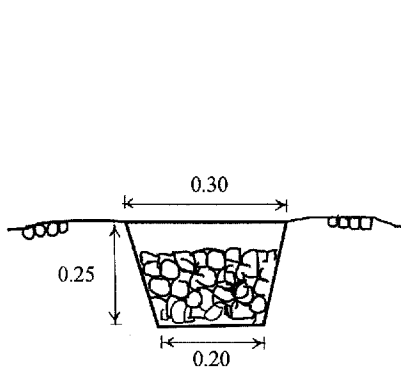
Corte Horizontal  
(unidad : m)



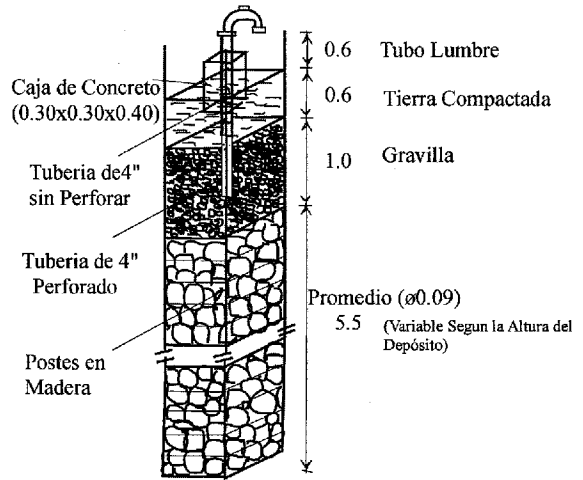
Corte Transversal

EL ESTUDIO SOBRE  
PLAN DE MEJORAMIENTO AMBIENTAL REGIONAL  
PARA LA CUENCA DE LA LAGUNA DE FUQUENE  
AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON (JICA)

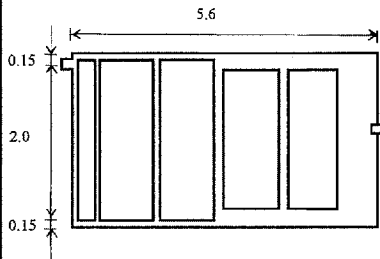
Fig. F.2.16 Planta de Pretratamiento Vuanzado de Aguas Rediduales en Industrias Lácteas



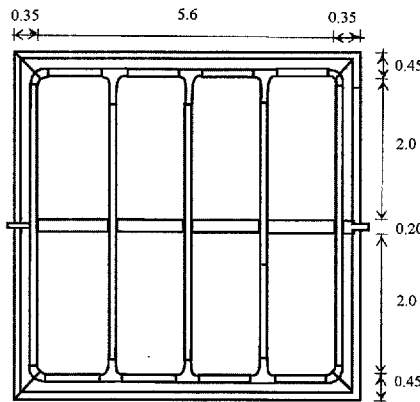
**Canal de Líquidos Lixiviados y Zanjales de Drenaje Subsuperficial**  
(unidad: m)



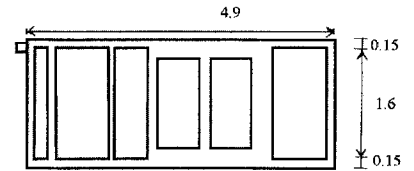
**Chimenea de Salida de Gases**  
(unidad: m)



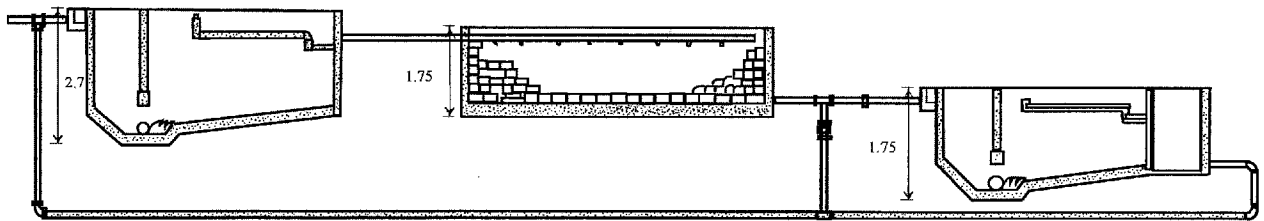
**Sedimentación Primaria - Planta**



**Planta de la Parte Superior al Filtro**



**Sedimentador Secundario - Planta**



**Planta de Tratamiento de Lixiviados**  
(unidad: m)

EL ESTUDIO SOBRE  
PLAN DE MEJORAMIENTO AMBIENTAL REGIONAL  
PARA LA CUENCA DE LA LAGUNA DE FUQUENE

Fig. F.2.17 Sistema de Tratamiento de Lixiviados

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON (JICA)