

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON (JICA)
CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA (CAR)
LA REPUBLICA DE COLOMBIA

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

INFORME FINAL

Vol. 2 : INFORME PRINCIPAL

MAYO 2000

CTI ENGINEERING INTERNATIONAL CO., LTD.

SSS

JR

00 - 112

No.

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON (JICA)
CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA (CAR)
LA REPUBLICA DE COLOMBIA

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

INFORME FINAL

Vol. 2 : INFORME PRINCIPAL

MAYO 2000

CTI ENGINEERING INTERNATIONAL CO., LTD.

S S S

J R

00 - 095

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON (JICA)
CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA (CAR)
LA REPUBLICA DE COLOMBIA

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

INFORME FINAL

Vol. 2 : INFORME PRINCIPAL

MAYO 2000

CTI ENGINEERING INTERNATIONAL CO., LTD.

TASAS DE CAMBIO

Las Tasas de Cambio Utilizados en este Estudio son:

1.00 Dolar Americano (US\$) = Yen Japonés (¥) 106

= Peso Colombiano (Col\$) 1,920

En octubre 1999

Nota: las cifras están expresados en sistema americano

PREFACIO

En respuesta a una solicitud del Gobierno de la República de Colombia, el Gobierno del Japón ha decidido realizar el Estudio sobre el Programa de Mejoramiento Ambiental de la Cuenca de la Laguna de Fúquene y ha encargado el Estudio a la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA).

JICA selecciono y despacho un equipo de estudio encabezado por el señor Naohito Murata, de CTI Engineering International Co., Ltd. a la Republica de Colombia tres veces entre febrero de 1999 y mayo de 2000. Adicionalmente, JICA dispuso un comite asesor encabezado por el Dr. Hiroshi Kidono, consultor sénior de JICA, entre febrero de 1999 y mayo de 2000, el cual examino el estudio desde puntos de vista tecnicos y especiales.

El equipo ha intercambiado opiniones con las autoridades respectivas del Gobierno de la República de Colombia, y ha realizado estudios de campo en el área de estudio. Luego de retornar a Japón, el equipo ha realizado estudios adicionales y ha preparado el presente informe final.

Espero que el presente informe contribuya a la promoción del proyecto y a aumentar las relaciones amistosas entre nuestros dos países.

Finalmente, deseo expresar mis sinceros agradecimientos a las autoridades respectivas del Gobierno de la República de Colombia por la estrecha cooperación brindada al equipo de estudio.

Mayo 2000



Kimio Fujita
Presidente
Agencia de Cooperación
Internacional del Japón

Mayo, 2000

Señor Kimio Fujita
Presidente
Agencia de Cooperación
Internacional del Japón
Tokio, Japón

Señor:


CARTA DE TRANSMISION

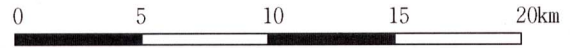
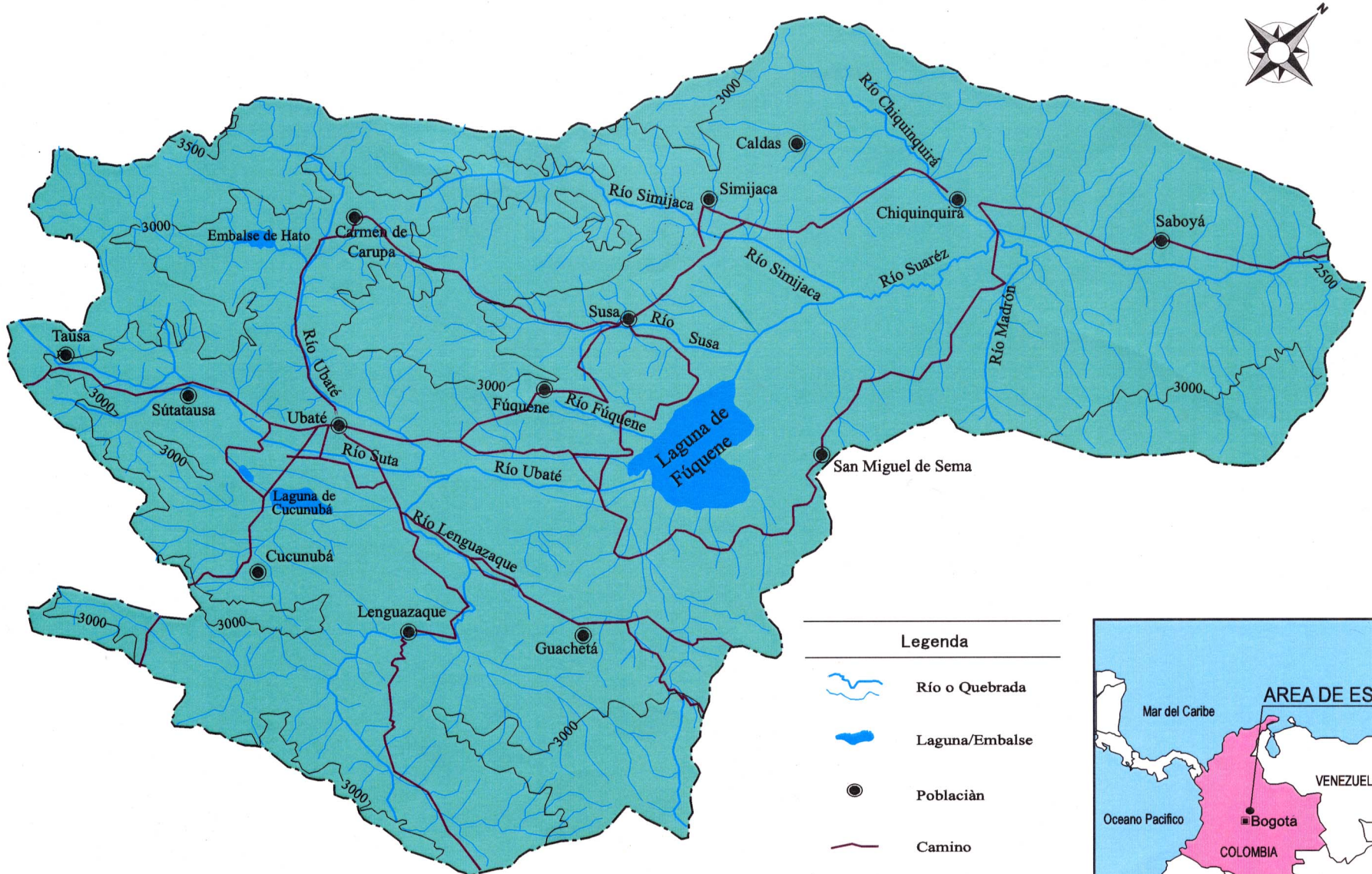
Tenemos el agrado de entregar el Informe Final sobre el Estudio del Programa de Mejoramiento Ambiental de la Cuenca de la Laguna de Fúquene, la República de Colombia. El informe contiene las recomendaciones y sugerencias de las autoridades involucradas del Gobierno del Japón y de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), así como también la formulación del programa de mejoramiento ambiental para la cuenca. También están incluidos los comentarios realizados por las autoridades respectivas del Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), la República de Colombia en ocasión de las discusiones técnicas sobre el Borrador del Informe Final.

El Informe Final presenta el Plan Maestro del Programa de Mejoramiento Ambiental de la Cuenca de la Laguna de Fúquene. En vista de la urgencia y de la necesidad de mejorar la condición ambiental en la cuenca, se recomienda que el Gobierno de la República de Colombia promueva todos los proyectos prioritarios a la siguiente fase de implementación de proyecto en la mayor brevedad posible.

Finalmente, queremos aprovechar esta oportunidad para expresar nuestra sincera gratitud al Gobierno del Japón, y en forma particular, a la JICA, al Ministerio de Relaciones Exteriores, al Ministerio de Construcción y otras oficinas involucradas. También queremos expresar nuestro profundo aprecio a la CAR, el Ministerio del Medio Ambiente y otras oficinas involucradas de los Recursos Naturales, La Agencia de Cooperación de Colombia por la estrecha cooperación y asistencia brindada al Equipo de Estudio del JICA durante el Estudio.

Sinceramente,


Naohito Murata
Lider del Equipo
Equipo de Estudio del JICA



Escala

AREA DE ESTUDIO

| Legenda | |
|---------|-------------------|
| | Río o Quebrada |
| | Laguna/Embalse |
| | Poblaciòn |
| | Camino |
| | Curve de Nivel(m) |



COMPOSICION DEL INFORME FINAL

Vol. 1 RESUMEN EJECUTIVO

Vol. 2 INFORME PRINCIPAL

Vol. 3 INFORME DE SOPORTE (APENDICE A a K)

APENDICE A Condición Socio-económica

APENDICE B Hidrología

APENDICE C Utilización y Manejo del Recurso Hídrico

APENDICE D Uso de Tierra y Manejo de la Cuenca

APENDICE E Calidad del Agua y Mecanismos de Polución

APENDICE F Tratamiento de Aguas Residuales

APENDICE G Control de Planta Acuática de la Laguna

APENDICE H Sistema de Monitoreo

APENDICE I Educación Ambiental

APENDICE J Aspectos Institucionales

APENDICE K Evaluación del Proyecto

ABSTRACTO

1. INTRODUCCIÓN

El Area de Estudio corresponde al valle Ubaté-Chiquinquirá localizado a 100 km al noreste de la Ciudad de Bogotá, capital de Colombia. La Laguna de Fúquene está situada en el centro del valle. La población existente en el Area de Estudio es 181,000. La mayor actividad económica es la ganadería, alcanzando las 171,000 cabezas para la producción de leche y carne.

Los recursos hídricos en el valle no son utilizados de manera satisfactoria debido al insuficiente sistema de captación y distribución. Las aguas residuales provenientes de la ganadería, de las viviendas e industrias, causan la contaminación de las aguas superficiales. La Laguna de Fúquene tiene excesiva cantidad de plantas acuáticas, reduciendo su capacidad de almacenamiento de agua y el espejo de agua superficial a más de dañar la calidad del agua y la vida acuática. Para el desarrollo económico sostenible del valle es esencial que disminuyan éstos problemas ambientales.

En respuesta a la solicitud del Gobierno de Colombia, la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) realizó el “Estudio sobre el Plan de Mejoramiento Ambiental Regional para la Cuenca de la Laguna de Fúquene” (el Estudio) desde febrero de 1999 hasta mayo de 2000. Los objetivos del Estudio fueron:

- (1) Formular un plan maestro para el mejoramiento ambiental regional de la Cuenca de la Laguna, con año meta el 2010 y,
- (2) Transmitir la tecnología al personal contraparte en el transcurso del Estudio.

2. UTILIZACIÓN Y MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO

2.1 Demanda de Agua y Balance en su Suministro

El mayor uso del agua en el Area de Estudio es la Irrigación. Los otros usos tales como el agua municipal y el agua de ganadería son pequeños en cantidad comparados con el agua de irrigación. Las áreas actuales de irrigación suman 20,337 ha, se extienden a lo largo de la parte plana del valle y son mayormente usadas para pastoreo. Para su localización, vea la Fig.1. El área de irrigación se extenderá a 24,849 ha en el 2010.

Hay un (1) embalse, tres (3) lagunas y tres (3) compuertas en el Area de Estudio. Estas operan para el suministro de agua municipal, para irrigación y para el control de inundación. Para su localización, vea la Fig. 1.

Al presente, el servicio de irrigación sufre de déficit hídrico en algunas áreas debido, no solamente a la falta de recurso hídrico, sino a la carencia de medios para irrigación. De hecho, el Embalse del Hato no está plenamente usado debido a la carencia de estructuras de irrigación en las áreas aguas abajo de este. La completa operación del Embalse del Hato y la construcción adicional de estructuras de irrigación en los sitios adecuados, maximizaría el agua superficial disponible y mitigaría el déficit hídrico. La demanda de agua actual y futura y los balances hídricos, con periodos de retorno de 5 años, se comparan en la siguiente tabla..

| Item | Presente (1999) | Futuro (2010) |
|---|-----------------|---------------|
| Area de Irrigación(ha) | 20,337 | 24,849 |
| Demanda Actual de Agua (millones m ³ /año) | 97.76 | 125.77 |
| Déficit Anual de Agua(millones m ³ /año) | 15.85 | 14.07 |
| (Proporción del Déficit) | (16.2) | (11.2) |

2.2 Operación Óptima del Embalse del Hato y de la Laguna de Fúquene

Las reglas de operación óptima del Embalse del Hato y la Laguna de Fúquene se proponen como se describe abajo para las condiciones actuales y futuras del uso del agua en el Area de Estudio.

(1) Embalse del Hato

La descarga óptima mensual de agua del embalse bajo de las condiciones de uso del agua actual y futura es como se muestra abajo:

| Mes | (unid: m ³ /s) | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | Mayo | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
| Descarga Actual | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.00 | 0.05 | 0.05 | 0.10 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.10 |
| Descarga Futura | 1.50 | 0.95 | 0.50 | 0.00 | 0.05 | 0.05 | 0.50 | 0.80 | 0.35 | 0.00 | 0.00 | 0.60 |

La curva propuesta de descarga óptima de agua de inundación vs. nivel de agua, bajo la regla óptima de operación actual y futura para Irrigación se muestra a continuación:

| Nivel de Agua del Embalse (m)* | 42.7 | 42.8 | 42.9 | 43.0 | 43.1 | 43.2 | 43.3 | 43.4 | 43.5 | 43.6 | 43.7 |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Descarga Actual (m ³ /s) | 0.00 | 0.30 | 0.60 | 0.90 | 1.20 | 1.50 | 1.80 | 2.10 | 2.40 | 2.70 | 3.00 |
| Descarga Futura (m ³ /s) | 0.00 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 | 1.25 | 1.50 | 1.75 | 2.00 | 2.25 | 2.50 |

*: La base del nivel de agua es 2,800 m

(2) Laguna de Fúquene

Las compuertas de Tolón deberán abrirse inmediatamente cuando el nivel de agua de la laguna exceda el nivel de agua de operación y deberán cerrarse, sin demora, cuando el nivel de agua de la laguna baje de su nivel de operación. El nivel de agua objetivo y el nivel de operación bajo las condiciones actuales y futuras del uso del recurso hídrico con la operación óptima del Embalse del Hato, se propone como se muestra abajo.

| Nivel de Agua | Condición Actual (m) | Condición Futura (m) |
|---|----------------------|----------------------|
| Nivel Alto de Agua (Periodo de Retorno: 2-años) | 2,539.46 | 2,539.41 |
| Nivel Bajo de Agua (Periodo de Retorno: 2-años) | 2,538.52 | 2,538.56 |
| Nivel de Agua de Operación (Epoca Seca) | 2,539.1 | 2,539.1 |
| Nivel de Agua de Operación (Epoca de Lluvia) | 2,538.9 | 2,538.9 |

2.3 Mejoramiento de la Utilización y Manejo de los Recursos Hídricos

Para hacer frente al déficit hídrico en las aproximadamente 7,000 ha de área de irrigación, las

estructuras de irrigación tales como canales (152 km), compuertas (14 lugares), etc., se deberían construir a lo largo de esta área en conjunto con la operación óptima del Embalse del Hato y de la Laguna de Fúquene.

Las pasturas localizadas en los lugares bajos alrededor de la Laguna de Fúquene son habitualmente inundadas. Este problema de inundación será mitigado mediante la limpieza del Río Suárez y la operación óptima de la Laguna.

Las bombas de captación existentes y la planta de purificación del sistema de acueducto de Chiquinquirá serán mejorados para suministrar agua potable establemente

Los costos de inversión y O&M para los proyectos propuestos se estiman como se muestra abajo.

| Item | Costo de Inversión (millones de Col\$) | Costo Anual de O&M (millones de Col\$/año) |
|--|---|---|
| Irrigación | 15,049.0 | 162.3 |
| Drenaje | - | 38.5 |
| Abastecimiento de Agua Municipal* | 780.1 | 0.0 |
| Total | 15,829.1 | 200.8 |
| Total (millones de US\$ o millones de US\$/año) | (8.25) | (0.10) |

3. CONTROL DE CONTAMINACION Y CALIDAD DE AGUA

3.1 Calidad Actual de Agua de la Laguna

La calidad actual del agua de la Laguna se caracteriza abajo.

- (1) La temperatura del agua es moderada (alrededor de 17 °C) variando muy poco en todo el año.
- (2) El OD es bajo debido a que la descomposición de las plantas acuáticas marchitadas consume gran cantidad de OD. Además, una amplia zona de la Laguna donde crecen densamente las plantas acuáticas se tiñe de negro, emitiendo una sustancia tóxica altamente concentrada (H₂S).
- (3) La Laguna de Fúquene es considerada altamente eutrofizada, juzgando por la concentración de T-N, T-P, DQO, NH₄ y Coliformes. Sin embargo, la población de plácton es pequeña en todo el año.
- (4) Se indica una alta condición anaerobia de los depósitos en la Laguna. No se identificaron Bentos.
- (5) Ni pesticidas ni metales pesados se identifican en las aguas del Río y/o la Laguna.

3.2 Escorrentía de la Carga Contaminante

- (1) Carga Contaminante

Hay 15 sistemas de alcantarillado en 14 municipios, sirviendo prácticamente toda la población urbana (75,800) del Área de Estudio. Sin embargo, solo cinco (5) sistemas de alcantarillado tienen planta de tratamiento.

Hay 14 mataderos y 50 fábricas de productos lácteos en el Area de Estudio. Entre estas, todos los mataderos tienen planta de tratamiento mientras que solamente ocho (8) industrias lácteas poseen plantas de tratamiento.

La carga contaminante No-Puntual es generada de la ganadería, terrenos y descargas domésticas rurales. La carga proveniente de la ganadería es extremadamente más grande que las otras cargas no-puntuales y puntuales juntas.

(2) Carga Contaminante en la Laguna

Una porción considerable de la carga contaminante, generada por las fuentes anteriormente enumeradas, corre a la Laguna de Fúquene. La ganadería es la mayor fuente de la carga contaminante de la escorrentía seguida por el alcantarillado. Su participación dentro de la carga total contaminante de la escorrentía bajo las condiciones actuales se presenta abajo.

| Parámetro | DBO | DQO | T-N | T-P |
|---------------------------------------|-------|--------|-------|------|
| Escorrentía Carga Contaminante (kg/d) | 2,899 | 11,472 | 1,036 | 131 |
| Rata de Fuente (%) | | | | |
| Puntual (Alcantarillado) | 29.2 | 12.3 | 22.9 | 21.4 |
| Puntual (Industrial) | 1.1 | 0.4 | 0.8 | 1.5 |
| No-Puntual (Ganadería) | 65.2 | 80.6 | 60.5 | 75.5 |
| No-puntual (Suelo) | 4.2 | 6.5 | 15.7 | 1.6 |
| No-puntual (Doméstico Rural) | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.0 |

(3) Nivel de Tratamiento Objetivo del Agua Residual

La CAR estipuló la calidad objetivo de agua en los ríos en el Area de Estudio mediante su categorización en cuatro (4) clases. Para satisfacer esta calidad de agua objetivo, toda agua residual de alcantarillado deberá tratarse a 40 mg/l en DBO y, toda el agua residual industrial (mataderos, industrias lácteas) deberán ser tratadas en cumplimiento con las normas de la CAR.

(4) Simulación de la Calidad de Agua del Río y de la Laguna

La calidad de agua de los ríos en las principales estaciones de estos se simuló para las condiciones actuales y futuras, sin y con proyecto al 2010. Para la localización de las principales estaciones, vea la Fig. 1.

| Río | Lugar | DBO (mg/l) | | | Norma de la CAR |
|--------|-----------------------|------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| | | Actual | Futuro sin Proyecto | Futuro con Proyecto | |
| Ubaté | Colorado | 5.3 | 7.9 | 3.9 | < 5.0 |
| Suárez | Tolón | 3.2 | 3.5 | 2.8 | < 5.0 |
| Suárez | Luego de Chiquinquirá | 17.7 | 20.6 | 5.3 | < 10.0 |

La calidad de agua futura simulada para la condición futura sin proyecto y con proyecto se presenta abajo, comparada con la calidad existente.

| Item | Actual | Futuro sin Proyecto | Futuro con Proyecto |
|------------|--------|---------------------|---------------------|
| DQO (mg/l) | 31.40 | 33.40 | 31.97 |
| T-N (mg/l) | 1.83 | 2.02 | 1.79 |
| T-P (mg/l) | 0.07 | 0.09 | 0.07 |

3.3 Mejoramiento del Sistema de Tratamiento de Agua Residual

Entre las cinco (5) plantas de tratamiento, cuatro (4) plantas serán mejoradas y las nuevas plantas de tratamiento serán instaladas en los diez (10) sistemas de alcantarillado que, al presente, no poseen planta de tratamiento.

Entre las catorce (14) plantas de tratamiento de los mataderos, dos (2) serán mejoradas. Las nuevas plantas de tratamiento serán construidas para las cuarenta y dos (42) fabricas que no tienen planta de tratamiento en la actualidad.

Los costos de inversión y O&M para los proyectos propuestos se estiman como se muestra abajo.

| Item | Costo de Inversión (millones de Col\$) | Costo Anual de O&M (millones de Col\$/año) |
|--|---|---|
| Tratamiento del alcantarillado | 7,561.0 | 831.0 |
| Tratamiento de Aguas Residuales Industriales | 231.0 | 27.0 |
| Total | 7,792.0 | 858.0 |
| Total (millones de US\$/año) | (4.06) | (0.45) |

4. CONTROL DE PLANTAS ACUÁTICAS DE LA LAGUNA

4.1 Area de Plantas Acuáticas

Las plantas acuáticas más prevalecientes en la Laguna de Fúquene son: La *Egeria densa* (Elodea Brasilera) de las plantas sumergidas, La *Eichornia crassipes* (Buchón) de las plantas flotantes y La *Scirpus californicus* (Junco) y *Typha angustifolia* (Catleya) de las plantas emergentes.

El área de plantas acuáticas se propaga a una gran velocidad. Se espera que esta se incremente como se muestra abajo, si no se toman medidas de control.

| Clasificación | 1999 | | 2010 | | 2020 | |
|-------------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | Area (ha) | (%) | Area (ha) | (%) | Area (ha) | (%) |
| Planta Emergente | 899 | 30.4 | 1,284 | 43.4 | 1,596 | 53.9 |
| Planta Flotante | 697 | 23.6 | 867 | 29.3 | 1,058 | 35.8 |
| Planta Submergida | 1,204 | 40.7 | 649 | 21.9 | 146 | 4.9 |
| Espejo de Agua | 159 | 5.3 | 159 | 5.4 | 159 | 5.4 |
| Total | 2,959 | 100.0 | 2,959 | 100.0 | 2,959 | 100.0 |

4.2 Problemas Causados por el Exceso de Plantas Acuáticas

Los siguientes problemas principales se causarían por el anterior crecimiento excesivo de plantas acuáticas en el futuro.

- (1) Reducción de la Capacidad de Embalse de la Laguna: Las plantas acuáticas reducen la capacidad de embalse de la laguna. La capacidad efectiva de reducción de su capacidad de embalse se estima en 0.74 millones de m³ en el presente y 0.98 millones de m³ en el futuro (2020).
- (2) Deterioro de la Calidad de Agua de la Laguna: El exceso de plantas acuáticas hacen al agua de la laguna anaerobia, resultando en la emisión de sustancias tóxicas (H₂S). Tal deterioro del agua no permite la presencia de Bentos, peces y otra vida acuática; también, la recarga de agua subterránea desde la laguna puede dañar los pastos alrededor de la laguna.
- (3) Bloqueo del Flujo del Agua: El exceso de plantas acuáticas en la laguna, bloquean la salida de la laguna. Este bloqueo puede resultar en daños por inundación de las áreas bajas aledañas a la laguna y daños en el uso del agua, corriente abajo del Río Suárez.

4.3 Control de Plantas Acuáticas

- (1) Plan de Control Propuesto
 - (a) Dragado del Lecho de la Laguna: Se propone el dragado de la zona frontal de los Juncos para detener la expansión del área de juncos hacia el centro de la laguna. El volumen requerido de dragado se estima en 480,000 m³. Se deberá ejecutar un proyecto piloto previa la implementación a gran escala para confirmar la efectividad del dragado.
 - (b) Cosecha, Remoción y Compostaje de Plantas Acuáticas: La Elodea sería controlada mediante la combinación de cosecha mecánica y alimentación de Carpa Herbívora. Aproximadamente el 20% de la biomasa existente, 38,000 ton (en peso húmedo) sería cosechada por máquinas y, la restante biomasa, sería controlada por la carpa herbívora cada año.

El buchón, disminuirá a, aproximadamente, el 50% del actual alrededor del año 2010 y, llegará prácticamente a cero en el 2015. Para este propósito, se removerán anualmente 75,000 ton (en peso húmedo).

Anualmente, 16,100 ton de compost se producirán a partir de la Elodea cosechada y el buchón removido para usarse en los cultivos de flores. Se debe implementar un proyecto piloto, previo a la implementación a gran escala, para confirmar la efectividad del uso del compost en los cultivos de flores.

- (c) Control por la Carpa Herbívora: Para el control de la Elodea, junto con la cosecha mecánica, se deben liberar alrededor de 44,000 alevinos de carpa herbívora triploide en la laguna.
- (2) Area Controlada de Plantas Acuáticas

El área de plantas acuáticas en la laguna será controlada por los proyectos propuestos como se describe abajo.

| Planta Acuática | 1999 | 2010 | 2020 |
|-------------------|--------------|----------------|--------------|
| Junco (ha) | 899 | 1,284 | 1,284 |
| Buchón (ha) | 697 | 376 | 0 |
| Elodea (ha) | 1,204 | Insignificante | 272 |
| Total (ha) | 2,800 | 1,660 | 1,556 |

(3) Costo del Proyecto

Los costos de inversión y O&M anual para los proyectos propuestos se estiman como sigue.

| Item | Costo de Inversión (millones de Col\$) | Costo de O&M Anual (millones de Col\$/año) |
|--|---|---|
| Dragado del Lecho de la Laguna | 17,196.1 | - |
| Cosecha/Remoción y Compostaje | 11,688.2 | 1,009.6 |
| Control por Carpa Hervibora | 2,054.0 | 50.0 |
| Total | 30,938.3 | 1,059.6 |
| Total (millones de US\$ o millones de US\$/año) | (16.11) | (0.55) |

5. EVALUACIÓN DEL PROYECTO

5.1 Evaluación Económica

El plan maestro propuesto, generará los siguientes beneficios económicos principales.

| Proyecto | Beneficio |
|------------------------------|--|
| Irrigación y Drenaje | Incremento en la producción lechera de las ganaderías en las tierras de pastoreo beneficiadas. |
| Suministro de Agua Municipal | Mejoramiento de la salud pública de los usuarios en la ciudad de Chiquinquirá. |
| Tratamiento de Agua Residual | Mejoramiento del medio ambiente de los cuerpos de agua públicos y conservación del recurso hídrico. |
| Control de Plantas Acuáticas | Producción de Compost, Reducción de la contaminación del agua y los daños por inundación sobre las tierras de pastoreo alrededor de la laguna, Reducción de los daños por la contaminación del agua en el suministro de agua de Chiquinquirá, Conservación de la capacidad de embalse, mejoramiento de las tierras, mejoramiento del habitat de vida acuática. |

La eficiencia económica de los proyectos propuestos se evalúa en términos de la tasa interna económica de retorno (TIER) como sigue.

| Proyecto | TIER (%) |
|---|-----------|
| Recurso Hídrico y Manejo del Uso | 26 |
| Tratamiento de Aguas Residuales (Tratamiento de Alcantarillado) | - |
| Control de Plantas Acuáticas | 5 |
| Plan Maestro (Proyecto Total) | 10 |

5.2 Análisis Financiero

(1) Irrigación

El sistema actual de tarifas de agua puede cubrir la totalidad del costo de O&M pero no puede cubrir la totalidad del costo de construcción. Las tarifas actuales del agua deberán incrementarse para cubrir alguna porción del costo de inversión.

(2) Tratamiento del Alcantarillado

La tarifa de alcantarillado que los pobladores en el Area de Estudio están dispuestos a pagar en la actualidad, se estima en, aproximadamente, el 0.12% del ingreso promedio familiar. La tarifa de alcantarillado debería incrementarse al 0.25% del ingreso familiar para cubrir al menos el costo de O&M.

(3) Producción de Compost

El costo deberá ser soportado por el gobierno y el sector privado en una adecuada asignación. Este proyecto puede ser atractivo para la participación del sector privado siempre y cuando el gobierno soporte una parte considerable del costo de inversión.

5.3 Evaluación del Impacto Ambiental

En una evaluación general, los impactos positivos del proyecto superan los negativos. El mayor impacto positivo es la recuperación de la laguna. Los posibles impactos negativos se podran prevenir o minimizar por las medidas de control propuestas. Así, los proyectos propuestas se podran implementar con impactos adversos NO significativos para el medio ambiente.

6. RECOMENDACIONES

6.1 Implementación de los Proyectos

- (1) Las áreas de irrigación para ser servidas por el Embalse del Hato, deberán ser implementadas en corto tiempo.
- (2) La toma de agua y las estructuras de purificación del sistema de acueducto de Chiquinquirá, serán inmediatamente mejoradas para suministrar agua limpia y estable.
- (3) El mejoramiento del sistema de tratamiento del alcantarillado de Chiquinquirá y Ubate deberá iniciarse en corto tiempo.
- (4) El exceso de plantas acuáticas será controlado por un método integral: Dragado, cosecha/compostaje y Carpa herbívora. Las plantas acuáticas cosechadas deberán ser reutilizadas al máximo para sostener el proyecto de control de plantas acuáticas propuesto. Así, la cosecha, la producción de compost y el mercadeo se implementarán como un paquete bajo la operación conjunta del sector público y privado.
- (5) La efectividad del dragado y la aplicabilidad del compost producido se deberán confirmar mediante un proyecto piloto previo a la implementación a plena escala. Los proyectos piloto se deberán iniciar en corto tiempo.
- (6) Los experimentos que se están llevando a cabo, carpa herbívora y rata de crecimiento de la Elodea, deberán continuarse para alcanzar una conclusión definitiva.
- (7) El uso racional del agua para irrigación se hace necesario, junto con el mejoramiento

propuesto del sistema de irrigación para mitigar los problemas de sequía en las áreas de servicio de irrigación. Para este propósito, se conducirán investigaciones sobre formas más eficientes de irrigación.

6.2 Monitoreo y Operación Óptima del Embalse/Laguna

- (1) Para una exitosa implementación de los proyectos propuestos, el sistema de monitoreo actual de hidrología y calidad de agua deberá ser mejorado. Además, los efectos del proyecto de control de plantas acuáticas deberá ser monitoreado.
- (2) El Embalse del Hato y la Laguna de Fúquene se deberán operar en concordancia con las reglas de operación óptimas propuestas. Las plantas acuáticas en la salida de la Laguna y en el Río Suárez deberán ser bien controladas a fin de obtener los resultados esperados de la regla de operación propuesta para la Laguna de Fúquene.

6.3 Educación Ambiental

El significado de la conservación del medio ambiente del Area de Estudio deberá ser bien entendido por la gente para lograr una implementación fluida de los proyectos propuestos. Para este propósito, la CAR deberá promover la educación ambiental en varios niveles.

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

INFORME PRINCIPAL

Tabla de Contenido

PREFACIO

CARTA DE TRANSMISION

Area de Estudio

Composición del Informe Final

Abstracto

Tabla de Contenido

Lista de Tablas

Lista de Figuras

Abreviaturas y Acronimos

| | | |
|---------------------|--|-----------|
| CAPITULO I | INTRODUCCION | 1 |
| | 1.1 Antecedentes del Estudio..... | 1 |
| | 1.2 Objetivos y Area del Estudio..... | 1 |
| | 1.2.1 Objetivos del Estudio | 1 |
| | 1.2.2 Area del Estudio | 1 |
| | 1.2.3 Año Meta | 2 |
| | 1.3 Implementación del Estudio | 2 |
| | 1.3.1 Organización del Estudio | 2 |
| | 1.3.2 Programación del Estudio..... | 2 |
| | 1.3.3 Transferencia de Tecnología..... | 3 |
| | 1.4 Conformación del Informe | 3 |
| CAPITULO II | AREA DE ESTUDIO..... | 6 |
| | 2.1 Cuenca y Clima | 6 |
| | 2.1.1 Cuenca..... | 6 |
| | 2.1.2 Clima | 6 |
| | 2.2 Condición Socio-económica | 7 |
| | 2.2.1 Socio-economía Existente..... | 7 |
| | 2.2.2 Proyección de la Futura Socioe-conomía | 10 |
| CAPITULO III | UTILIZACION Y MANEJO DEL RECURSO HIDRICO..... | 12 |
| | 3.1 Sistema de Monitoreo Hidrológico y Registros | 12 |
| | 3.1.1 Precipitación..... | 12 |

| | | | |
|-----------------|-----------|---|-----------|
| | 3.1.2 | Caudal del Río y Nivel de Agua de la Laguna | 12 |
| | 3.1.3 | Nivel de Agua Subterránea | 13 |
| 3.2 | | Uso Existente del Agua..... | 13 |
| | 3.2.1 | Uso del Agua en Irrigación | 13 |
| | 3.2.2 | Uso del Agua en la Ganadería | 16 |
| | 3.2.3 | Uso del Agua Municipal | 16 |
| 3.3 | | Uso Futuro del Agua..... | 18 |
| | 3.3.1 | Uso del Agua en Irrigación | 18 |
| | 3.3.2 | Uso del Agua en la Ganadería | 19 |
| | 3.3.3 | Uso del Agua Municipal | 19 |
| 3.4 | | Almacenamiento Actual de Agua y Sistemas de Captación..... | 20 |
| | 3.4.1 | Características Principales de las Estructuras | 20 |
| | 3.4.2. | Reglas de Operación Existentes | 21 |
| 3.5 | | Simulación del Balance de Agua bajo Condiciones Actuales | 22 |
| | 3.5.1 | Construcción del Modelo de Simulación..... | 22 |
| | 3.5.2 | Simulación del Balance de Agua..... | 24 |
| | 3.5.3 | Reglas Optimas de Operación bajo las Condiciones Existentes | 25 |
| 3.6 | | Balance del Agua en Condiciones Futuras..... | 29 |
| | 3.6.1 | Simulación del Balance de Agua..... | 29 |
| | 3.6.2 | Reglas Optimas de Operación en Condiciones Futuras.. | 31 |
| 3.7 | | Mejoramiento del Sistema de Utilización y Manejo de los Recursos Hídricos | 34 |
| | 3.7.1 | Sistema de Irrigación..... | 34 |
| | 3.7.2 | Drenaje | 34 |
| | 3.7.3 | Abastecimiento de Agua Municipal..... | 35 |
| 3.8 | | Costo del Proyecto para el Mejoramiento del Sistema de Utilización y Manejo de los Recursos Hídricos | 36 |
| | 3.8.1 | Costo de Inversión | 36 |
| | 3.8.2 | Costo de O&M | 37 |
| CAPITULO | IV | MANEJO DE CUENCA Y ESCORRENTIA DE SEDIMENTOS | 38 |
| | 4.1 | Geología..... | 38 |
| | 4.2 | Uso de Tierra | 38 |
| | 4.3 | Area de Reserva..... | 39 |
| | 4.4 | Control de Erosión para el Area de Estudio | 40 |

| | | | |
|-----------------|----------|---|-----------|
| | 4.5 | Estimación de la Escorrentía de Sedimentos a la Laguna de Fúquene..... | 40 |
| CAPITULO | V | CONTROL DE CONTAMINACIÓN Y CALIDAD DE AGUA | 42 |
| | 5.1 | Calidad Actual de Aguas de Río y de Laguna | 42 |
| | 5.1.1 | Datos Disponibles de Calidad de Agua | 42 |
| | 5.1.2 | Medición Suplementaria de Calidad de Agua..... | 43 |
| | 5.1.3 | Evaluación de los Resultados de Mediciones Suplementarias | 45 |
| | 5.1.4 | Estándares de Calidad de Agua Superficial y de Efluentes | 51 |
| | 5.2 | Cargas y Fuentes de Contaminación Puntual..... | 51 |
| | 5.2.1 | Inventario de Fuentes Existentes de Contaminación Puntual..... | 51 |
| | 5.2.2 | Carga Generada y Carga Contaminante del Efluente Actual | 53 |
| | 5.2.3 | Futura Carga Generada y Futura Carga Contaminante del Efluente | 56 |
| | 5.3 | Estimación de la Generación de Carga Contaminante en la Cuenca | 57 |
| | 5.3.1 | Actual Generación de la Carga Contaminante | 57 |
| | 5.3.2 | Generación Futura de la Carga Contaminante..... | 59 |
| | 5.4 | Cálculo de la Escorrentía de la Carga Contaminante en la Cuenca | 60 |
| | 5.4.1 | Actual Escorrentía de la Carga Contaminante..... | 60 |
| | 5.4.2 | Escorrentía Futura de la Carga Contaminante..... | 62 |
| | 5.5. | Simulación de Calidad de Agua..... | 64 |
| | 5.5.1 | Metodología..... | 64 |
| | 5.5.2 | Simulación de la Calidad de Agua del Río..... | 65 |
| | 5.5.3 | Simulación de la Calidad del Agua de la Laguna y Balance de la Carga de Contaminante..... | 66 |
| | 5.5.4 | Meta de Calidad de Agua del Río y del Nivel de Tratamiento del Alcantarillado | 69 |
| | 5.6 | Mejoramiento del Sistema de Tratamiento de Agua Residual..... | 70 |
| | 5.6.1 | Sistema Actual de Tratamiento de Agua Residual..... | 70 |
| | 5.6.2 | Mejoramiento del Tratamiento de Aguas Residuales | 71 |
| | 5.6.3 | Tratamiento de Aguas Residuales Industriales..... | 74 |
| | 5.7 | Estimación de Costo para el Mejoramiento del Tratamiento de Aguas Residuales | 75 |
| | 5.7.1 | Costo de Inversión..... | 75 |

| | | | |
|---------------------|-------|--|------------|
| | 5.7.2 | Costo de O&M | 76 |
| CAPITULO VI | | CONTROL DE PLANTAS ACUATICAS DE LA LAGUNA..... | 77 |
| | 6.1 | Propagación Histórica de Plantas Acuáticas | 77 |
| | 6.1.1 | Disminución del Area de Superficie del Agua..... | 77 |
| | 6.1.2 | Propagación Histórica de Juncos..... | 77 |
| | 6.2 | Plantas Acuáticas Existentes..... | 78 |
| | 6.2.1 | Especies y Distribución de Plantas Acuáticas | 78 |
| | 6.2.2 | Características de las Plantas Acuáticas | 79 |
| | 6.2.3 | Biomasa de las Plantas Acuáticas..... | 80 |
| | 6.2.4 | Prueba de Reproducción de la Elodea Brasileira..... | 82 |
| | 6.3 | Peces Existentes..... | 83 |
| | 6.4 | Control de Plantas Acuáticas..... | 84 |
| | 6.4.1 | Necesidad del Control de las Plantas Acuáticas..... | 84 |
| | 6.4.2 | Posibles Medidas de Control | 87 |
| | 6.4.3 | Experimento sobre Uso de las Plantas Acuáticas y la Carpa Hervívora | 89 |
| | 6.4.4 | Selección del Uso Optimo de las Plantas Acuáticas | 95 |
| | 6.5 | Plan Propuesto para el Control de las Plantas Acuáticas | 99 |
| | 6.5.1 | Dragado del Lecho de la Laguna..... | 99 |
| | 6.5.2 | Cosecha/Remoción y Compostaje de Plantas Acuáticas | 100 |
| | 6.5.3 | Control por la Carpa Hervívora | 102 |
| | 6.5.4 | Area Controlada de Plantas Acuáticas | 102 |
| | 6.6 | Costo del Proyecto para el Control de la Planta Acuática | 103 |
| | 6.6.1 | Costo de Inversión..... | 103 |
| | 6.6.2 | Costo de O&M | 104 |
| CAPITULO VII | | SISTEMA DE MONITOREO | 106 |
| | 7.1 | Monitoreo Meteorológico é Hidrológico..... | 106 |
| | 7.1.1 | Mejoramiento del Sistema de Monitoreo | 106 |
| | 7.1.2 | Costo para el Mejoramiento del Sistema de Monitoreo . | 106 |
| | 7.2 | Monitoreo de Calidad de Agua | 106 |
| | 7.2.1 | Mejoramiento del Sistema de Monitoreo | 106 |
| | 7.2.2 | Costo para el Mejoramiento del Sistema de Monitoreo . | 107 |
| | 7.3 | Monitoreo para el Control de Plantas Acuáticas | 108 |
| | 7.3.1 | Plan de Monitoreo | 108 |
| | 7.3.2 | Costo del Monitoreo..... | 109 |

| | | | |
|-----------------|-------------|--|------------|
| | 7.4 | Sistema de Información Geográfica (SIG) | 109 |
| | 7.4.1 | Sistema de Información Geográfica Existente de la CAR | 109 |
| | 7.4.2 | Ingreso de Información al SIG y su Aplicación | 110 |
| CAPITULO | VIII | EDUCACION AMBIENTAL..... | 111 |
| | 8.1 | Situación Actual de la Educación Ambiental | 111 |
| | 8.1.1 | Educación Ambiental a Nivel Municipal | 111 |
| | 8.1.2 | Educación Ambiental a Nivel de CAR..... | 111 |
| | 8.1.3 | Educación Ambiental a Nivel Departamental | 111 |
| | 8.1.4 | Educación Ambiental a Nivel de ONGs..... | 112 |
| | 8.2 | Conciencia Pública sobre el Medio Ambiente en el Area de Estudio | 112 |
| | 8.2.1 | General | 112 |
| | 8.2.2 | Evaluación de la Conciencia Pública Actual sobre el Medio Ambiente..... | 112 |
| | 8.3 | Promoción de la Educación Ambiental | 115 |
| | 8.3.1 | Programa Necesario | 115 |
| | 8.3.2 | Costo Requerido | 116 |
| CAPITULO | IX | ASPECTOS INSTITUCIONALES | 118 |
| | 9.1 | Leyes y Reglamentos Relacionados | 118 |
| | 9.2 | Organización Actual de las Agencias Relacionadas | 119 |
| CAPITULO | X | PROGRAMA DE IMPLEMENTACION Y EVALUACION DEL PROYECTO..... | 125 |
| | 10.1 | Programa de Implementación y Desembolso del Costo | 125 |
| | 10.1.1 | Programa de Implementación..... | 125 |
| | 10.1.2 | Programa sobre Desembolso del Costo | 127 |
| | 10.2 | Análisis Económico | 127 |
| | 10.2.1 | General | 127 |
| | 10.2.2 | Utilización y Manejo de los Recursos Hídricos | 127 |
| | 10.2.3 | Tratamiento de Aguas Residuales (Tratamiento Alcantarillado) | 129 |
| | 10.2.4 | Control de Planta Acuática | 129 |
| | 10.2.5 | Plan Maestro (Proyecto Total)..... | 131 |
| | 10.3 | Análisis Financiero..... | 131 |
| | 10.3.1 | Irrigación | 132 |
| | 10.3.2 | Tratamiento de Aguas Residuales (Alcantarillado)..... | 132 |

| | | | |
|--------------------|--------|---|------------|
| | 10.3.3 | Producción de Compost..... | 133 |
| 10.4 | | Evaluación del Impacto Ambiental..... | 135 |
| | 10.4.1 | Impactos sobre la Tierra y Suelo..... | 135 |
| | 10.4.2 | Impactos sobre el Agua..... | 135 |
| | 10.4.3 | Impactos sobre la Flora..... | 136 |
| | 10.4.4 | Impactos sobre la Fauna..... | 136 |
| | 10.4.5 | Impactos Socio-culturales..... | 137 |
| | 10.4.6 | Conclusión..... | 138 |
| CAPITULO XI | | RECOMENDACIONES..... | 139 |
| | 11.1 | Utilización y Manejo del Recurso Hídrico..... | 139 |
| | 11.2 | Tratamiento de Aguas Residuales..... | 139 |
| | 11.3 | Control de Plantas Acuáticas..... | 139 |
| | 11.4 | Monitoreo..... | 140 |
| | 11.5 | Educación Ambiental..... | 140 |

Lista de Tablas

| | | |
|------------|--|------|
| Tabla 3.1 | Balance Hidrico Anual en cada Bloque de Irrigación (Condición Actual)..... | T-1 |
| Tabla 3.2 | Balance Hidrico Anual en cada Bloque de Irrigación (Condición Futura)..... | T-1 |
| Tabla 3.3 | Instalaciones Propuestas de Irrigación y Areas Beneficiadas | T-2 |
| Tabla 5.1 | Efluente Existente Carga Contaminante Puntual que Fluye a los Ríos | T-3 |
| Tabla 5.2 | Efluente Futura de Carga Contaminante Puntual que Fluye a los Ríos sin Proyecto | T-4 |
| Tabla 5.3 | Efluente Futura de Carga Contaminante Puntual que Fluye a los Ríos con Proyecto | T-5 |
| Tabla 5.4 | Fuentes Existentes de Contaminación No Puntual por Subcuenca | T-6 |
| Tabla 5.5 | Generación de Carga Contaminante Unitaria por cada Categoría de Fuente | T-6 |
| Tabla 5.6 | Generación Existente de Carga Contaminante por cada Fuente..... | T-7 |
| Tabla 5.7 | Generación Futura de Carga Contaminante por cada Fuente (Sin Proyecto)..... | T-8 |
| Tabla 5.8 | Generación Futura de Carga Contaminante por cada Fuente (Con Proyecto) | T-8 |
| Tabla 5.9 | Escorrentía Existente de Carga Contaminante para cada Fuente..... | T-9 |
| Tabla 5.10 | Escorrentía Futura de Carga Contaminante para cada Fuente (Sin Proyecto)..... | T-10 |
| Tabla 5.11 | Escorrentía Futura de Carga Contaminante para cada Fuente (Con Proyecto) | T-10 |
| Tabla 9.1 | Leyes Relevantes sobre el Medio Ambiente en Colombia | T-11 |
| Tabla 9.2 | Presupuesto Municipal y Monto Asignado a Proyectos Ambientales y Servicios Públicos en el Area de Estudio | T-12 |
| Tabla 10.1 | Programa de Implementación y Desembolso del Costo de los Proyectos Propuestos..... | T-13 |

Lista de Figuras

| | | |
|-----------|---|------|
| Fig. 2.1 | Sistema Hídrico de Ubaté-Fúquene-Suárez | F-1 |
| Fig. 2.2 | Municipalidades en el Area del Estudio | F-2 |
| Fig. 3.1 | Cambios Históricos del Nivel de Agua de la Laguna de Fúquene... | F-3 |
| Fig. 3.2 | Localitación de Bloques de Irrigación Existentes..... | F-4 |
| Fig. 3.3 | Localización de Bloques de Irrigación Futuras..... | F-5 |
| Fig. 3.4 | Perfil de Ríos y Compuertas de Control | F-6 |
| Fig. 3.5 | Modelo de Simulación del Balance de Agua en Condiciones Actuales | F-7 |
| Fig. 3.6 | Curvas Area-Capacidad..... | F-8 |
| Fig. 3.7 | Comparación del Nivel de Agua Observado y Calculado en la Laguna de Fúquene..... | F-9 |
| Fig. 3.8 | Simulación del Nivel de Agua del Embalse del la Regla Optima de Operación..... | F-10 |
| Fig. 3.9 | Simulación del Nivel de Agua la Laguna de Fúquene con la Regla Optima de Operación..... | F-11 |
| Fig. 3.10 | Modelo de Simulación del Balance de Agua en Condiciones Futuras..... | F-12 |
| Fig. 4.1 | Actual Uso de la Tierra en la Cuenca de la Laguna de Fúquene | F-13 |
| Fig. 4.2 | Areas Protegidas..... | F-14 |
| Fig. 5.1 | Curva de Calidad de Agua y Transparencia según Profundidad | F-15 |
| Fig. 5.2 | Clasificación de Calidad del Agua de la Sección del Río en el Area de Estudio | F-16 |
| Fig. 5.3 | Cuenca Objetivo de la Simulación de la Escorrentía de Carga Contaminante | F-17 |
| Fig. 5.4 | Diagrama Esquemático para la Simulación de la Escorrentía de Carga de Polución y de la Calidad del Agua..... | F-18 |
| Fig. 5.5 | Proceso Metabolico in la Laguna de Fúquene | F-19 |
| Fig. 6.1 | Propagación Histórica de Plantas Acuáticas en la Laguna de Fúquene..... | F-20 |
| Fig. 6.2 | Tasa de Disminución del Agua Superficial en la Laguna de Fúquene..... | F-21 |
| Fig. 6.3 | Plantas Acuáticas Existentes y Agua Superficial (Mayo 1999)..... | F-22 |
| Fig. 6.4 | Resultados del Estudio sobre Biomasa..... | F-23 |
| Fig. 6.5 | Ubicación del Dragado de la Laguna..... | F-24 |
| Fig. 9.1 | Organigrama de la CAR-Oficina Central..... | F-25 |

Fig. 9.2

Organigrama del Departamento de Servicios
Públicos-Municipalidad de Ubaté..... F-26

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

INFORME PRINCIPAL

ABREVIATURAS Y ACRONIMOS

AGENCIAS/ORGANIZACIONES

| | | |
|----------|---|---|
| CAR | : | Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca |
| DANE | : | Departamento Administrativo Nacional de Estadística |
| FAO | : | Organización para la Agricultura y Alimentos de las Naciones Unidas |
| GTZ | : | Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit |
| IDEAM | : | Instituto de Estudios Hidrológicos, Meteorológicos y Ambientales |
| IGAC | : | Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" |
| INPA | : | Instituto Nacional de Planificación Agropecuaria |
| JICA | : | Agencia de Cooperación Internacional del Japón |
| KfW | : | Kreditanstalt für Wiederaufbau |
| MINERCOL | : | Minerales de Colombia el cual pertenece al Ministerio de Minas |
| SENA | : | Servicio Nacional de Aprendizaje |
| SINA | : | Sistema Nacional Ambiental |
| UMATA | : | Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria |
| URPA | : | Unidad Regional de Planeación Agropecuaria |
| USA | : | Estados Unidos de América |

ACRONIMOS

| | | |
|------|---|-------------------------------|
| A | : | Ancho |
| Ave. | : | Promedio |
| B/C | : | Relación de Costo-Beneficio |
| CAD | : | Diseño por computadora |
| DBO | : | Demanda Bioquímica de Oxígeno |
| D/D | : | Diseño de Detalles |
| DQO | : | Demanda Química de Oxígeno |
| EC | : | Electroconductividad |
| EL. | : | Elevación |
| Fig. | : | Figura |
| GNP | : | Producto Nacional Bruto |
| GoC | : | Gobierno de Colombia |
| GoJ | : | Gobierno del Japón |
| Ha | : | Hectárea |
| Hr | : | Hora |
| IVA | : | Impuesto al Valor Agregado |
| L | : | Longitud |

| | | |
|--------|---|-------------------------------------|
| max. | : | Máximo |
| min. | : | Mínimo |
| MPN | : | Número Más Probable |
| N° | : | Número |
| N.D. | : | No Detectado |
| O&M | : | Operación y Mantenimiento |
| OD | : | Oxígeno Disuelto |
| ONG(S) | : | Organización(es) NO-Gubernamentales |
| P | : | Profundidad |
| PIB | : | Producto Interno Bruto |
| S.T. | : | Grupo de Estudio |
| SIG | : | Sistema de Información Geográfica |
| SS | : | Sólidos Suspendidos |
| TIER | : | Tasa Interna Económica de Retorno |
| TIFR | : | Tasa Interna Financiera de Retorno |
| VPN | : | Valor Presente Neto |

MEDIDAS/SIMBOLOS

| | | |
|----------------------|---|--|
| % | : | Porcentaje |
| | : | Celsius |
| cal | : | Caloría |
| Cel/ml | : | Células por Mililitro |
| cm | : | Centímetro |
| cm ² | : | Centímetro Cuadrado |
| g/m ² .d | : | Gramos por Metro Cuadrado por Día |
| ha | : | Hectárea(100m x 100m) |
| kg/d | : | Kilogramos por Día |
| kg/m ² | : | Kilogramos por Metro Cuadrado |
| km | : | Kilometro |
| km ² | : | Kilometro Cuadrado |
| L/c/d | : | Litro Per Capita por Día |
| Lbs/día | : | Libras por Día |
| lt/d | : | Litros por Día |
| m | : | Metro |
| m.s.n.m | : | Metros Sobre el Nivel del Mar |
| m/s | : | Metros por Segundo |
| m/seg | : | Metros por Segundo |
| m ³ | : | Metro Cúbico |
| m ³ /s | : | Metros Cúbicos por Segundo |
| mg/l | : | Miligramos por Litro |
| mg/m ² /d | : | Miligramos por Metro Cúbico |
| mg/m ³ | : | Miligramos por Metro Cúbico |
| mm | : | Milímetro |
| MP | : | Millones de Pesos |
| MPN/100ml | : | Número más Probable por 100 Mililitros |

| | | |
|------------|---|------------------------------|
| P/kWh | : | Pesos por Kilovatio-Hora |
| T/año | : | Toneladas por Año |
| US\$ | : | Dólar Americano |
| μ S/cm | : | Micro Siemens por Centímetro |

CAPITULO I INTRODUCCION

1.1 Antecedentes del Estudio

El Area de Estudio corresponde al valle de Ubaté-Chiquinquirá localizado a 100 km al nor-este de la Ciudad de Bogotá, capital de Colombia, a una altitud de aproximadamente 2,500 m sobre el nivel del mar. La Laguna de Fúquene, con una superficie de 3,000 has, está situada en el centro del valle. En el valle predomina la explotación ganadera para la producción de leche. La mayor parte de la tierra es utilizada para pastura y para cultivos.

Los recursos hídricos en el valle no siempre son utilizados de manera satisfactoria debido al insuficiente sistema de captación y distribución.

La deforestación y el excesivo cultivo de la tierra causan la erosión de suelos en la cuenca. Una gran cantidad de contaminantes provienen de la ganadería, contaminando los ríos receptores, además, las aguas residuales de las viviendas e industrias también son descargadas a los ríos sin ninguno o insuficiente tratamiento, resultando todo esto en la contaminación de las aguas superficiales. Además, la Laguna de Fúquene tiene excesiva cantidad de plantas acuáticas, reduciendo su capacidad de embalse y el espejo de agua a más de dañar la calidad del agua y la vida acuática. La propagación de las plantas acuáticas se ha acelerado en los años recientes debido a la invasión de especies exóticas y los pobladores están preocupados que el espejo de agua pueda extinguirse en el futuro.

Para el desarrollo económico sostenible del valle es esencial que disminuyan éstos problemas ambientales.

En respuesta a la solicitud del Gobierno de Colombia, el Gobierno del Japón ha decidido realizar el “Estudio sobre el Plan de Mejoramiento Ambiental Regional para la Cuenca de la Laguna de Fúquene” (el Estudio). En septiembre de 1998, fué acordado el alcance de trabajo para el Estudio entre la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). De acuerdo al alcance de trabajo, la JICA envió al Equipo de Estudio en marzo 1999.

1.2 Objetivos y Area del Estudio

1.2.1 Objetivos del Estudio

Los objetivos del Estudio que fueron acordados en el alcance del trabajo son:

- (1) Formular un plan maestro para el mejoramiento ambiental regional de la Cuenca de la Laguna (la Cuenca) y,
- (2) Transmitir la tecnología al personal contraparte en el transcurso del Estudio.

1.2.2 Area del Estudio

El área de estudio es de 1,752 km² incluyendo toda la cuenca de drenaje de la Laguna y la parte alta de la cuenca del Río Suárez bajo la administración de la CAR (ver, mapa de localización).

1.2.3 Año Meta

El plan maestro será preparado con el año meta de 2010.

1.3 Implementación del Estudio

1.3.1 Organización del Estudio

El Estudio fué realizado por un Equipo de Estudio comisionado por la JICA, compuesto por expertos de una consultora Japonesa , CTI Engineering International Co., Ltd. En la parte Colombiana, la CAR organizó un equipo de contrapartes para trabajar en conjunto con el equipo de estudio de JICA. Para revisar los hallazgos del estudio, JICA y la CAR establecieron comités asesores respectivos.

Los miembros del comité asesor de JICA, el Equipo de Estudio de JICA, el Comité Asesor de la CAR y el equipo de contrapartes de la CAR están listados en la tabla que siguen.

1.3.2 Programación del Estudio

El Estudio comenzó en fines de febrero de 1999 y su culminación será en fines de mayo de 2000 con la presentación del Informe Final. Los estudios realizados tanto en Colombia como en Japón, así como la presentación de informes, fueron programados como se menciona a continuación.

- (1) Fase I (Trabajo en Colombia-desde comienzos de marzo 1999 hasta comienzos de junio 1999)

Al inicio del Estudio en Colombia, el Equipo de Estudio de la JICA ha entregado a la CAR el Informe Inicial, que fué analizado con los funcionarios relacionados de la parte Colombiana. El contenido del Informe fué la metodología del estudio y la programación de las actividades.

Al final de la Fase I, se ha entregado a la CAR el Informe de Progreso (I), que fué analizado con los funcionarios relacionados de la parte Colombiana. El informe cubrió los análisis sobre la situación actual de la socio-economía, hidrología, uso del agua, uso de la tierra, manejo de la cuenca, calidad de agua de los rios y de la Laguna, fuentes de polución de agua, ecología, conciencia pública sobre el medio ambiente, y leyes/reglamentaciones relacionadas.

- (2) Fase II (Trabajo en Japón-desde mitad de julio 1999 hasta fines de agosto 1999)

El Estudio continuó en Japón para analizar y estimar la futura socio-economía, el balance hídrico, la generación/escorrentía de la carga contaminante y la propagación de plantas acuáticas.

- (3) Fase III (Trabajo en Colombia-desde mitad de agosto 1999 hasta mitad de noviembre 1999)

Al comienzo de la Fase III, se ha entregado a la CAR el Informe Intermedio el que fué analizado con los funcionarios relacionados de la parte Colombiana. El Informe presentó todos los resultados de los estudios de las Fases I y II.

Durante ésta fase, fueron realizados los estudios sobre balance de agua, operación

óptima de embalse/laguna, calidad de agua de los ríos y de laguna, tratamiento de aguas residuales, aplicación del SIG, educación ambiental y aspectos institucionales.

Al final de la Fase III, se ha entregado a la CAR el Informe de Progreso (II) el que fue analizado con los funcionarios relacionados de la parte Colombiana. El Informe cubrió todos los resultados de los estudios desde la Fase I hasta la Fase III.

- (4) Fase IV (Trabajo en Japón-desde comienzos de diciembre 1999 hasta fines de febrero 2000)

El Estudio ha continuado en Japón para preparar las propuestas de proyectos, para estimar sus costos, evaluar su viabilidad económica/financiera y finalmente formular el plan maestro de mejoramiento ambiental de la Cuenca.

- (5) Fase V (Trabajo en Colombia-desde comienzos de marzo 2000 hasta fines de marzo de 2000)

En esta Fase, se ha entregado a la CAR el Informe del Borrador Final el que fue analizado con los funcionarios relacionados de la parte Colombiana. El Informe incluyó todos los resultados del Estudio.

- (6) Fase VI (Trabajo en Japón-desde mitad de mayo 2000 hasta fines de mayo 2000)

El Informe Final fue preparado y entregado a la CAR.

1.3.3 Transferencia de Tecnología

Los conocimientos técnicos sobre gerenciamiento ambiental de aguas, fueron transferidos al personal contraparte de la CAR durante el desarrollo del estudio y en las reuniones realizadas, como se describe a continuación:

- (1) Mediante los trabajos de colaboración para la recolección de datos de estudios previos/estadísticas y entrevistas con los funcionarios del gobierno y con la ciudadanía, se han reconocido el objetivo y la importancia de la recolección de datos.
- (2) Mediante la observación conjunta ó experimento de calidad de agua, reproducción de plantas acuáticas, compostaje y la cría de carpas hervíboras, se han entendido las necesidades de estos estudios y los métodos de medición.
- (3) Mediante las reuniones de análisis de informe con los funcionarios relacionados del gobierno, se han confirmado los detalles del Proyecto.
- (4) Mediante los seminarios realizados en Bogotá y Chiquinquirá, se han impartido los conocimientos técnicos al personal relacionado tanto del gobierno como del sector privado.

1.4 Conformación del Informe

Este Informe consiste de tres (3) volúmenes en versión Inglés y Español, tal como sigue:

Volúmen I: Resumen Ejecutivo

Volúmen II: Informe Principal

Volúmen III: Informe de Soporte

El Informe Principal presenta los resultados resumidos de todos los estudios. Sin embargo, el Informe de Soporte da explicación más allá de los estudios, como sigue:

Apéndice A: Condición Socio-económica

Apéndice B: Hidrología

Apéndice C: Utilización y Manejo del Recurso Hídrico

Apéndice D: Uso de Tierra y Manejo de la Cuenca

Apéndice E: Calidad del Agua y Mecanismo de Polución

Apéndice F: Tratamiento de Aguas Residuales

Apéndice G: Control de Plantas Acuáticas de la Laguna

Apéndice H: Sistema de Monitoreo

Apéndice I: Educación Ambiental

Apéndice J: Aspectos Institucionales

Apéndice K: Evaluación del Proyecto

Miembros del Comité Asesor de la JICA

| | Nombre | Designación/Labor |
|----|---------------------|---|
| 1. | Dr. Hiroshi Kidono | Jefe/Planificación del Manejo Ambiental |
| 2. | Mr. Tokio Mochizuki | Control de Calidad de Agua |

Miembros del Equipo de Estudio de la JICA

| | Nombre | Designación/ Labor |
|-----|-------------------------------|--|
| 1. | Ing. Naohito Murata | Líder del Equipo/ Planificación del Manejo Ambiental |
| 2. | Ing. Kunio Ishikawa | Calidad del Agua/ Análisis de Eutroficación |
| 3. | Ing. Kazuo Mibayashi | Análisis Ecológico |
| 4. | Ing. Hiroko Kamata | Tratamiento de Aguas Residuales |
| 5. | Ing. Susumu Heishi | Control de Polución no puntual /Manejo de Cuenca |
| 6. | Ing. Toshihiro Goto | Análisis Hdrológico |
| 7. | Ing. Kenichiro Kondo | Recursos Hídricos/Manejo del Uso |
| 8. | Ing. Awadh Kishor Sah | Uso de Tierra/ Análisis del SIG |
| 9. | Ing. Sebastian Guillermo Jara | Socio-economía/Finanzas/ Educación Ambiental |
| 10. | Ing. Masahiro Ibayashi | Coordinación/ Diseño Estructural / Estimación de Costo |

Miembros del Comité Asesor de la CAR

| | Nombre | Designación/ Labor |
|----|-----------------------------|--------------------------|
| 1. | Dr. Diego F.Bravo Borda. | Director General CAR |
| 2. | Dr. Pablo E.Huertas Porras. | Asesor Dirección General |

Miembros del Equipo Contraparte de la CAR

| | Nombre | Designación/ Labor |
|-----|--------------------------------|---|
| 1. | Ing. Hugo A. Gomez Garavito | Lider de Contrapartes/ Planificación del Manejo Ambiental |
| 2. | Bio. Clara Ines Ortiz R. | Calidad de Agua/ Análisis de Eutroficación |
| 3. | Bio. Lydia Beatriz Chaparro R. | Análisis Ecológico |
| 4. | Dr. Fernan Castellanos | Uso de Plantas Acuáticas |
| 5. | Ing. Gustavo Pedraza | Tratamiento de Aguas Residuales |
| 6. | Ing. Alvaro Pabon | Control de Polución no puntual /Manejo de Cuenca |
| 7. | Ing. Fernando Useche | Análisis Hdrológico |
| 8. | Ing. Jairo Gomez | Recursos Hídricos/Manejo del Uso |
| 9. | Arq. Alfonso Herran Quintero | Uso de la Tierra/ Planeación |
| 10. | Ing. Javier Moncada Velandia | Uso de la Tierra/ Análisis del SIG |
| 11. | Ing. Hernan Jimenez | Socio-economía/Finanzas/ Educación Ambiental |
| 12. | Ms. Valerie Jordan | Coordinadora |

CAPITULO II AREA DE ESTUDIO

2.1 Cuenca y Clima

2.1.1 Cuenca

El Area de Estudio, con una área de 1,752 km², cubre toda el área de drenaje del sistema hídrico integrado por los ríos Ubaté, Suárez y por la Laguna de Fúquene, aguas arriba del lugar denominado Garavito (límite sur de la administración CAR). El principal río corre de sur a norte en el valle de Ubaté-Chiquinquirá.

El Río Ubaté se origina en la montaña Peña Vidriado a una altitud de 3,600 metros sobre el nivel del mar la cuál está localizado en el municipio de Carmen de Carupa. El referido río luego de reunirse con otros tributarios mayores como el Suta, Cucunubá y Lenguazaque, entra a la Laguna de Fúquene, la que está localizada en el centro del Area de Estudio.

La Laguna de Fúquene, que tiene un área superficial aproximada de 30 km², a más del Río Ubaté recibe las aguas de numerosos afluentes menores/quebradas. El área total de drenaje de la Laguna es de 992 km². La Laguna se drena solamente por un río: el Río Suárez.

El Río Suárez fluye hacia el norte, con pendiente suave, hacía Garavito. Los tributarios tales como Susa, Simijaca y Chiquinquirá se unen al Río Suárez en la margen izquierda antes de que alcance Garavito.

El sistema hídrico se muestra en la Fig. 2.1 y sus características sobresalientes se resumen a continuación.

| Río | C.A. (km ²)* | Longitud (km.) | Elevación en el Origen.(m) | Elevación en el Final.(m) | Observación |
|--------------------|--------------------------|----------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Ubaté (parte alta) | 225 | 19 | 3,550 | 2,800 | |
| Suta | 112 | 21 | 3,100 | 2,550 | |
| Cucunubá | 92 | 16 | 2,950 | 2,550 | |
| Lenguazaque | 293 | 23 | 3,400 | 2,600 | |
| Ubaté (total) | 790 | 29 | 3,550 | 2,540 | Boca del Río Ubaté |
| Laguna Fúquene | 270 | - | 2,800 | 2,540 | Incluye el Río Honda |
| Susa | 64 | 18 | 3,200 | 2,540 | |
| Simijaca | 153 | 31 | 3,300 | 2,540 | |
| Chiquinquirá | 130 | 19 | 2,800 | 2,540 | |
| Suárez | 413 | 36 | 2,540 | 2,525 | Laguna Fúquene-Garavito |
| Total | 1,752 | | | | |

* C.A.: Area de drenaje

2.1.2 Clima

La temperatura en el Area de Estudio es moderada y estable y muestra muy poca variación estacional. La temperatura mensual media varía en un rango de 12.0-13.2 C° en Ubaté (Estación Novilleros) y 12.4-13.5 °C en Chiquinquirá (Estación Compuerta Tolón). Sin embargo, la temperatura presenta una gran variación horaria. Abajo se muestra las temperaturas máximas y mínimas registradas durante 1966-1998 en Ubaté y Chiquinquirá.

| Localización | Promedio Annual (C°) | Extremo Max. (C°) | Extremo Mín. (C°) |
|--------------|-------------------------|----------------------|----------------------|
| Ubaté | 12.5 | 28.9 | - 5.2 |
| Chiquinquirá | 13.0 | 30.0 | - 3.9 |

La humedad promedio mensual presenta una ligera variación entre 70% y 80%.

El Area de Estudio está caracterizada por dos (2) estaciones secas y dos (2) estaciones húmedas las cuales ocurren alternadamente como se muestra abajo. Los meses más secos del año son enero y agosto. Los meses con mas lluvias son abril y octubre.

| Dic.-Feb. | Mar.-Mayo | Jun-Ago. | Sep.-Nov. |
|-----------|-----------|----------|-----------|
| Seco | Lluvioso | Seco | Lluvioso |

El promedio anual de lluvias se incrementa de sur a norte, teniendo un rango que va de 700 mm en el área de Ubaté y Cucunubá a 1,500 mm en el extremo norte del valle. De la cantidad de lluvia mencionada, aproximadamente los dos tercios ocurren durante la estación lluviosa. El mapa isoyético del promedio anual de lluvias para el Area de Estudio se muestra en el Apéndice B Fig. B.1.6.

La evaporación varía poco durante el año. La evaporación mensual promedio está en el rango de 66.7-98.6 mm en Ubaté y 80.0-98.1 mm en Chiquinquirá.

2.2 Condición Socio-económica

2.2.1 Socio-economía Existente

(1) Unidades Administrativas en el Area de Estudio

El Area de Estudio cubre dos (2) Departamentos e integran a 17 municipios como se lista abajo.

| Departamento | Municipios |
|--------------|---|
| Cundinamarca | Carmen de Carupa, Ubaté, Tausa, Sutatausa, Cucunubá, Suesca, Villapinzón, Lenguazaque, Guachetá, Fúquene, Susa, Simijaca, |
| Boyacá | San Miguel de Sema, Ráquira, Caldas, Chiquinquirá, Saboyá |

De los 17 municipios, una parte de los municipios de Carmen de Carupa, Tausa, Suesca, Villapinzón, Ráquira, Chiquinquirá y Saboyá caen dentro del Area de Estudio, mientras que los otros municipios son integrados totalmente al Area de Estudio. Las áreas urbanas de Carmen de Carupa, Tausa, Chiquinquirá y Saboyá están incluidas en el Area de Estudio, mientras que las de Suesca, Villapinzón y Ráquira están excluidas. La localización de los municipios se muestra en la Fig. 2.2.

El territorio de cada municipio en su mayor parte es rural mientras que la parte urbana es muy pequeña. El área urbana total en el Area de Estudio ocupa aproximadamente 9 km² o el 0.5 % del Area de Estudio (1,752 km²).

(2) Población

Los municipios del Area de Estudio no tienen datos reales sobre la población actual. Sin embargo, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) ha proyectado la población de cada municipio a nivel nacional desde 1993 hasta el 2005, basado en el último Censo de 1993.

De acuerdo a las estimaciones del DANE, la población total de los 17 municipios en 1998 es de 229,011 de la cuál 180,941 viven en el Area de Estudio. Los municipios de Ubaté y Chiquinquirá son los dos más grandes en términos de población, teniendo el primero 39,475 habitantes y el segundo 47,630 habitantes en el Area de Estudio.

Las poblaciones urbanas y rurales tanto en el Area de Estudio como en los municipios se muestran abajo. Además, se muestra la población total en la cuenca alta de la Laguna de Fúquene.

| | Municipio | Area de Estudio | Cuenca de Laguna Fúquene * |
|------------------|-----------|-----------------|----------------------------|
| Población Urbana | 86,245 | 75,844 | 27,986 |
| Población Rural | 142,766 | 105,097 | 70,435 |
| Población Total | 229,011 | 180,941 | 98,421 |

*: Incluyendo Carmen de Carupa, Ubaté, Tausa, Sutatausa, Cucunubá, Suesca, Villapinzón, Lenguazaque, Guachetá, San Miguel de Sema, Ráquira, Fúquene

Para ver en detalle por cada municipio, consultar Apéndice A Capítulo I, 1.2.2

(3) Principales Actividades Económicas

(a) Ganadería

La cría de ganado en el año 1998 en el Area de Estudio se muestra abajo. Entre ellos, la cría de ganado vacuno para carne y la producción de leche es la principal actividad económica del Area de Estudio.

| Animal | Area de Estudio | | Cuenca de la Laguna Fúquene* |
|---------|-----------------|-----------------------------|------------------------------|
| | Cabezas | Producción (millones Col\$) | Cabezas |
| Bovino | 171,402 | 165,831 | 109,592 |
| Porcino | 29,562 | 7,464 | 19,080 |
| Ovino | 64,400 | 9,660 | 55,200 |
| Total | 265,364 | 182,955 | 183,872 |

(= 128.3 millones de US\$)**

*: Incluyendo Carmen de Carupa, Ubaté, Tausa, Sutatausa, Cucunubá, Suesca, Villapinzón, Lenguazaque, Guachetá, San Miguel de Sema, Ráquira, Fúquene

** : Tasa de cambio en 1998: 1.0 US\$ = 1,426.35 Col\$ (pesos)

Para ver en detalle, por municipio, consultar el Apéndice A Tabla A.1.1.

(b) Agricultura

Los más importantes cultivos en el Area de Estudio son la papa, el trigo, la arveja y el maíz. El área total cultivada y la producción de 1998 se muestran a

continuación.

| Cultivo | Area Cultivada (ha) | Producción Anual (Ton.) | Producción Anual (millones de Col\$) |
|---------|------------------------|----------------------------|---|
| Papa | 16,933 | 280,250 | 80,637 |
| Trigo | 880 | 1,985 | 554 |
| Arveja | 1,860 | 4,045 | 3,114 |
| Maíz | 1,440 | 11,040 | 2,760 |
| Total | 21,113 | 297,320 | 87,065 |

(= 61 millones de US\$)*

*: Tasa de cambio en 1998: 1.0 US\$ = 1.426,35 Col\$ (pesos)

Para ver en detalle, por municipio, consultar el Apéndice A Tabla A 1.3.

(c) Industria

Las industrias más importantes en el Area de Estudio son las dedicadas al procesamiento de leche y a la extracción de carbón mineral.

Existen 50 fábricas procesadores de leche en el Area de Estudio de las cuales 29 están en Ubaté y 10 en Chiquinquirá. Estas fábricas producen leche, yogurt y queso. La producción total en términos monetarios del año 1998 es de 168,214 millones de Col\$ (= 117.9 millones de US\$, tasa de cambio: 1.0 US\$ = 1,426.35 Col\$).

Por otro lado existen 280 minas de carbón mineral en el Area de Estudio de las cuales 266 son pequeñas y 14 son medianas. Estas minas son distribuidas principalmente en los municipios de Cucunubá (105), Lenguazaque (68), Guachetá (51) y Sutatausa (39). La producción total en términos monetarios del año 1998 es de 13,747 millones de Col\$ (= 9.6 millones de US\$).

(4) Macroeconomía del Departamento de Cundinamarca

La población y el PIB del Departamento de Cundinamarca en 1997 fueron de 1,975,564 personas y 5,533,949 millones de Col\$ a precios corrientes (= 4,849.6 millones de US\$, tasa de cambio: 1.0 US\$ = 1,141.12 Col\$). Por lo tanto, el PIB per cápita en 1997 se estima en 2,801,200 de Col\$ (= 2,455 US\$). El PIB del departamento en 1997 participó en un 5.18 % en el PIB nacional de 106,887 billones de Col\$ (= 93.7 billones de US\$).

El sector agropecuario ocupa el mayor lugar seguido por las manufacturas y el comercio. La estructura del PIB del año 1997 se muestra abajo.

| Sector | (%) |
|--------------------------------|-------|
| Agricultura-ganadería | 44.0 |
| Manufactura | 21.5 |
| Otras Industrias de Producción | 5.8 |
| Comercio | 17.2 |
| Otros Industrias de Servicios | 11.5 |
| Total | 100.0 |

2.2.2 Proyección de la Futura Socio-economía

(1) Población

El DANE ha proyectado la población de cada municipio en el país hasta el año 2005. El Equipo de Estudio extendió ésta proyección hasta el año 2010 para cada municipio del Area de Estudio. En el cuadro de abajo se muestra la población total de los 17 municipios para el año 2010, que se estima en 262,218, cifra que se compara con la población existente con base en la población total municipal.

| Población | 1998 (1) | 2010 (2) | (2)/(1) |
|-----------|----------|----------|---------|
| Urbano | 86,245 | 110,520 | 1.28 |
| Rural | 142,766 | 151,699 | 1.06 |
| Total | 229,011 | 262,218 | 1.15 |

La población futura del Area de Estudio se estima a continuación asumiendo que tiene la misma tasa de crecimiento que la población de los municipios.

| Población | 1998 (1) | 2010 (2) | (2)/(1) |
|-----------|----------|----------|---------|
| Urbano | 75,844 | 97,080 | 1.28 |
| Rural | 105,097 | 111,403 | 1.06 |
| Total | 180,941 | 208,483 | 1.15 |

(2) Ganadería

La información histórica del sector ganadero en el Area de Estudio está disponible solamente para los tres últimos años. El número de ganado bovino ha disminuido durante los tres años, mientras que el número de cerdos se ha incrementado, como se muestra abajo.

| Ganado | 1996 | 1997 | 1998 |
|---------|---------|---------|---------|
| Bovino | 195,324 | 189,618 | 171,402 |
| Porcino | 18,324 | 23,886 | 29,562 |
| Ovino | 49,430 | 69,360 | 64,400 |
| Total | 263,078 | 282,864 | 265,364 |

En consideración a la importancia del sector ganadero en la economía del Area de Estudio, se supone que el número de ganado para el año 2010 corresponderá a los máximos registrados durante los tres años ó sea 195,324 cabezas de ganado bovino; 29,562 de ganado porcino y 69,360 cabezas de ganado ovino.

(3) Agricultura

El área cultivada en el Area de Estudio ha fluctuado anualmente desde 1990 alcanzando un máximo de 24,365 has en 1995. La variación anual histórica del área cultivada se muestra en el siguiente cuadro.

| | (unid.: has) | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Cultivo | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 |
| Total | 9,785 | 16,365 | 13,811 | 10,996 | 12,517 | 24,365 | 23,958 | 20,862 | 17,651 |
| Tasa de recimiento (%) | | 67.2 | - 15.6 | - 20.4 | 13.8 | 94.7 | - 1.7 | - 12.9 | - 15.4 |

El área de cultivo ha disminuido gradualmente desde 1995. Sin embargo, considerando el potencial de desarrollo agrícola del Area de Estudio, se asume que el sector se recuperará en el 2010 al valor alcanzado en 1995.

(4) Industria

La producción de las industrias lecheras se incrementará proporcionalmente de acuerdo al aumento del número de vacas lecheras. El número de vacas lecheras para 2010 se estima en 1.04 veces lo que fue en 1998 (ver Apéndice A, Capítulo II Sección 2.5). Por lo tanto, se estima que el sector industrial lechero se incrementará desde 1998 hasta 2010 en un 4%.

En cuanto a la industria minera se asume que para el año 2010 mantendrá su valor máximo de producción registrado en los últimos años. Para mas detalles, ver Apéndice A, Capítulo II Sección 2.5.

(5) PIB

El PIB a nivel nacional ha aumentado con un crecimiento anual de 1.76 – 5.64% de 1987 a 1997, con un promedio de 4.9%. Sin embargo, la economía nacional se ha deprimido ultimamente.

No hay actualmente información disponible para realizar la proyección del futuro PIB. Por lo tanto, el Equipo de Estudio asume que la tasa de crecimiento del PIB nacional es de 0.0% anual durante 1998-2000 y de 4% anual durante 2001-2010. Esta tasa de crecimiento también se aplica para el Area de Estudio.

CAPITULO III UTILIZACION Y MANEJO DEL RECURSO HIDRICO

3.1 Sistema de Monitoreo Hidrológico y Registros

3.1.1 Precipitación

El registro de lluvias, en 33 estaciones, ha sido realizado por la CAR durante un largo periodo de tiempo correspondiendo a los datos más antiguos los registrados en 1959. Sin embargo, para este Estudio se emplean los datos posteriores a 1966 en principio, considerando la cantidad y confiabilidad de los datos disponibles. La localización de las estaciones para registro de lluvias pueden verse en el Apéndice B Fig. B.1.3.

Como se mencionó anteriormente, el Area de Estudio se caracteriza por tener dos estaciones secas y dos estaciones lluviosas que ocurren en forma alterna. Abajo se muestra la precipitación media mensual medida en las estaciones representativas.

| | (unid: mm) | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|------------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Estación | Ene. | Feb. | Mar | Abr. | Mayo | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. | Anual |
| Novilleros | 25 | 42 | 67 | 97 | 81 | 53 | 37 | 36 | 53 | 101 | 80 | 41 | 712 |
| Isla ¹⁾ | 48 | 57 | 109 | 147 | 103 | 60 | 35 | 42 | 69 | 154 | 137 | 68 | 1,030 |
| Tolón ²⁾ | 40 | 54 | 88 | 128 | 113 | 67 | 47 | 51 | 74 | 143 | 128 | 63 | 996 |

Nota: 1): Isla del Santuario, 2): Compuerta Tolón

A continuación se muestra la precipitación de las épocas secas y lluviosas.

| | (unid: mm) | | | | |
|--------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|-------|
| Estación | Seco (Dic.-Feb.) | Lluvioso (Mar.-Mayo) | Seco (Abr.-Jun.) | Lluvioso (Jun.-Ago.) | Anual |
| Novilleros | 108 (15.2%) | 245 (34.4%) | 125 (17.5%) | 234 (32.9%) | 712 |
| Isla del Santuario | 173 (16.8%) | 360 (35.0%) | 137 (13.3%) | 361(35.0%) | 1,030 |
| Compuerta Tolón | 156 (15.7%) | 329 (33.0%) | 166 (16.7%) | 345 (34.6%) | 996 |

En las estaciones representativas de arriba se examinaron los cambios históricos de la precipitación anual durante 54 años, lo que corresponde al periodo 1945-1998. No se han detectado incrementos ó disminuciones significativas en algunas de las estaciones aunque la precipitación tiene una fluctuación anual considerable. Ver, Apéndice B Fig. B.1.7 (Nota: Las anteriores tres (3) estaciones representativas, tienen datos confiables por un largo periodo de tiempo más que las otras estaciones pluviométricas).

3.1.2 Caudal del Río y Nivel de Agua de la Laguna

(1) Caudal del Río

La CAR ha medido caudales en 51 estaciones de ríos localizadas en el Area de Estudio de las cuales 31 estaciones son seleccionadas para el análisis hidrológico. Los datos de caudal después de 1966 se usan para este Estudio, en principio, coincidiendo con el periodo de análisis de la precipitación. La localización de las estaciones de medición de nivel de agua puede verse en el Apéndice B Fig. B.2.1.

(2) Nivel de Agua de la Laguna

El nivel de agua superficial de la Laguna de Fúquene ha sido medido en la Isla Santuario desde 1966. El promedio del nivel de agua de la Laguna durante 33 años (1966-1998), fue de 2,538.97 m. Los niveles promedio anuales de agua han variado dentro de un rango de solamente 71 cm durante el mismo periodo.

Por otro lado, el nivel de agua ha fluctuado estacionalmente con considerable amplitud. En el periodo de 33 años se ha registrado un nivel máximo de 2,540.5 m y un nivel mínimo de 2,537.99 m.

El cambio histórico de los niveles anuales máximos y mínimos se muestra en la Fig. 3.1 junto con el nivel promedio anual del agua. Como se muestra en la figura, el nivel máximo del agua ha bajado, mientras que el nivel mínimo ha subido gradualmente, disminuyendo el rango de fluctuación durante los 33 años.

(3) Inundación Alrededor de la Laguna Fúquene

El aumento del nivel de agua de la Laguna inunda las áreas circundantes. Pequeños diques se encuentran a lo largo del perímetro de la Laguna. Estos diques protegen las áreas bajas de las inundaciones. Sin embargo, un área grande de terreno bajo se inunda por el efecto de vasos comunicantes del agua de la laguna (el agua de la laguna mana desde el nivel subterráneo).

La CAR, con base en mapas topográficos y registros de inundación de años anteriores, calculó una curva de área inundable vs. nivel de agua tal como se muestra abajo.

| | | | | | |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Nivel de Agua (m) | 2,539.75 | 2,540.00 | 2,540.50 | 2,540.57 | 2,541.00 |
| Area Inundada(ha) | 0 | 500 | 6,000 | 7,700 | 8,600 |

3.1.3 Nivel de Agua Subterránea

Se han analizado datos de nivel de agua subterránea de 30 años para las siguientes cuatro estaciones principales: La María (Sub-cuenca de la Laguna de Fúquene), Tichauribe (Sub-cuenca de la Laguna de Fúquene), Esmeralda III (Sub-cuenca del Río Suárez) y Sugamuxi (Sub-cuenca del Río Suárez). Los niveles de agua subterránea muestran solamente una variación estacional pequeña. El rango de variación anual promedio de las cuatro estaciones son : 33 cm en La María, 33 cm en Tichauribe, 15 cm en Esmeralda III y 50 cm en Sugamuxi.

3.2 Uso Existente del Agua

3.2.1 Uso del Agua en Irrigación

(1) Area Irrigada y Modelo de Cultivos

Las tierras agrícolas en el Area de Estudio cubren un gran área de los terrenos bajos como también de las montañas. Las tierras agrícolas de las áreas montañosas no son irrigadas. Las áreas irrigadas están en la parte baja del valle Ubaté-Chiquinquirá a lo largo del sistema hídrico integrado por la Laguna de Cucunubá-Río Ubaté-Laguna de Fúquene- Río Suárez.

El área irrigada, que cubre una superficie de 20,337 has, está dividida en 14 bloques de irrigación como se muestra abajo.

| Bloque No. | Nombre del Bloque de Irrigación | Area Neta Irrigada (ha) |
|------------|---------------------------------|-------------------------|
| 1 | Suta | 832 |
| 2 | Cap-1 | 634 |
| 3 | Cucunubá | 1,892 |
| 4 | Lenguazaque | 1,751 |
| 5 | Cap-2 | 316 |
| 6 | Mariño | 700 |
| 7 | Mariño-Ubaté | 387 |
| 8 | Fúquene | 2,537 |
| 9 | Honda | 509 |
| 10 | Susa | 563 |
| 11 | Suárez | 8,309 |
| 13 | Viejo Suárez | 228 |
| 14 | Madrón | 1,359 |
| 15 | Merchán | 320 |
| Total | | 20,337 |

El Bloque 12 no existe actualmente

La localización de las áreas irrigadas y mencionadas en el cuadro de arriba se muestra en la Fig. 3.2.

Los cultivos en el área irrigada son pastos (Mejorados, Kikuyo y Gramineous), trigo, cebada, maíz, tomate, etc., entre los cuales predominan los pastos y el maíz. A parte de los pastos y el maíz, los otros cultivos son insignificantes. Por lo tanto, sólo se consideró al pasto y al maíz en este estudio de irrigación. Sin embargo, se ha identificado que el cultivo de maíz existente solo se limita al bloque No. 11 cuya superficie irrigada es de 3,141 has y que todas las otras áreas irrigadas están cubiertas por pastos.

Los pastos se siembran durante todo el año, mientras que el maíz se siembra dos veces al año (marzo-julio y septiembre-enero).

(2) Sistema de Irrigación

El sistema de irrigación existente está compuesto por tres sistemas principales: (i) Sistema Embalse Hato-Río Ubaté, (ii) Sistema Laguna Cucunubá-Río Ubaté-Laguna Fúquene-Río Suárez y (iii) Sistema del Río Lenguazaque. Ellos están divididos en 14 bloques de irrigación como se muestra en la Fig. 3.2.

Los pastos se irrigan por medio de infiltración. Típicamente, el agua de irrigación se toma inicialmente de un río y se lleva a la red de canales de irrigación en el campo de pastura. El agua subterránea que está debajo de los campos de pastura viene por infiltración desde el canal de irrigación. El pasto, mediante acción capilar, absorbe esta agua.

(3) Demanda de Agua en los Campos de Cultivo

A fin de administrar el uso de agua en la irrigación de las fincas, la CAR ha establecido la demanda mensual de agua por cultivo en las referidas sub-cuencas. Seguidamente se muestra la demanda promedio mensual por cultivo de pasto y maíz

en el Area de Estudio.

| | | | | | | | | | | | | | (unid: m ³ /ha) |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------------------|
| Cultivo | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | Mayo | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. | Total |
| Pastos | 690 | 510 | 150 | 0 | 20 | 160 | 470 | 460 | 200 | 0 | 0 | 410 | 3.070 |
| Maíz | 600 | 0 | 0 | 0 | 20 | 160 | 390 | 0 | 0 | 0 | 0 | 410 | 1.580 |

En cuanto a la demanda mensual de agua por cultivo y por sub-cuenca, consulte el Apéndice C Tabla C.1.1-Tabla C.1.5.

Se resume a continuación la demanda de agua para los campos de cultivo por bloque irrigado.

| Bloque Irrigado | Area Irrigada (ha) | Cultivo | Demanda de Agua en los Campos (10 ³ m ³ /año) | Eficiencia del Proyecto de Irrigación | Demanda de Agua Superficial (10 ³ xm ³ /año) | Principal Fuente de Agua |
|------------------|--------------------|------------------|---|---------------------------------------|--|--------------------------|
| 1. Suta | 832 | Pastura | 3,243 | 0.64 | 5,067 | R. Suta |
| 2. Cap-1 | 634 | Pastura | 2,471 | 0.576 | 4,290 | EmbalseHato/R. Ubaté |
| 3. Cucunubá | 1,892 | Pastura | 7,374 | 0.80 | 9,218 | L. Cucunubá |
| 4. Lenguazaque | 1,751 | Pastura | 6,825 | 0.64 | 10,664 | R. Lenguazaque |
| 5. Cap-2 | 316 | Pastura | 1,232 | 0.576 | 2,138 | Embalse Hato |
| 6. Mariño | 700 | Pastura | 2,728 | 0.64 | 4,263 | Mariño Canal |
| 7. Mariño-Ubaté | 387 | Pastura | 1,508 | 0.64 | 2,357 | Mariño C/R. Ubaté |
| 8. Fúquene | 2,537 | Pastura | 9,889 | 0.64 | 15,451 | L. Fúquene |
| 9. Honda | 509 | Pastura | 1,984 | 0.64 | 3,100 | R.Honda/ L.Fúquene |
| 10. Susa | 563 | Pastura | 1,714 | 0.64 | 2,678 | R. Susa |
| 11. Suárez | 8,309 | Pastura /Maíz | 19,404 | 0.64 | 30,319 | R. Suárez/ L. Fúquene |
| 13. Viejo-Suárez | 228 | Pastura | 629 | 0.64 | 982 | R. Viejo Suárez |
| 14. Madrón | 1,359 | Pastura | 3,747 | 0.64 | 5,854 | R. Madrón |
| 15. Merchán | 320 | Pastura | 882 | 0.64 | 1,378 | Pequeño río |
| Total | 20,337 | | 63,630 (2.02 m ³ /s) | | 97,759 (3.10 m ³ /s) | |

Nota: El Bloque 12 no existe actualmente.

(4) Uso del Agua Superficial

El requerimiento de agua mencionado más arriba viene de las aguas superficiales como se ha dicho anteriormente y de éste requerimiento se estima la cantidad de agua superficial, tomando en cuenta la eficiencia integral del proyecto que incluye la eficiencia del transporte desde el canal principal, la eficiencia de los canales dentro del campo y la eficiencia de aplicación en el campo.

La cantidad total de agua superficial utilizada en la irrigación, en el Area de Estudio, se calcula en 97.8 millones m³/año (= 3.10 m³/s). En la tabla de arriba también se presenta el uso de agua superficial por cada bloque irrigado junto con los respectivos principales cursos de agua superficiales.

3.2.2 Uso del Agua en la Ganadería

La ganadería en el Area de Estudio está compuesta principalmente por ganado bovino, porcino y ovino y la cantidad de agua que consumen se estima multiplicando el número de

cabezas por el uso unitario del agua. En este cálculo, se utiliza el estándar unitario de consumo de agua propuesto por la CAR. El consumo de agua por cada tipo de ganado, se calcula como se muestra abajo. El agua proviene generalmente de los canales de irrigación y de los drenajes de los campos de pastura.

| Ganado | No. de Animales (cabezas) | Uso Unitario (l/cabeza/día) | Uso de Agua (m ³ /día) |
|---------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Bovino | 171,402 | 25 | 4,285 |
| Porcino | 29,562 | 10 | 296 |
| Ovino | 64,400 | 15 | 966 |
| Total | 265,364 | | 5,547 (0.06 m ³ /s) |

3.2.3 Uso del Agua Municipal

(1) Inventario del Sistema de Suministro de Agua Municipal

Se ha preparado un inventario de los sistemas de abastecimiento de agua existentes en el Area de Estudio por medio de entrevistas y cuestionarios. El agua de uso municipal integra al que se consume en la viviendas, en las instituciones y en las industrias. La mayoría de las aguas de uso industrial provienen del sistema municipal de abastecimiento de agua. Una pequeña cantidad de agua para uso industrial se toma en forma individual de los pozos.

El acueducto municipal sirve casi a toda la población urbana y a alguna población rural, utilizándose principalmente tratamiento convencional. El inventario de los sistemas de acueducto municipal se muestra abajo.

| Municipio | Fuente de Agua | Proceso de Tratamiento | Cobertura (%) Del Servicio | | Captación Promedio Mensual (m ³ /mes) |
|---------------|-----------------|------------------------|----------------------------|-------|--|
| | | | Urbano | Rural | |
| C. de Carupa | R. Playa | Solo Sedimentación | 100 | 0 | 15,000 |
| Ubaté | R. Ubaté | Convencional | 100 | 31 | 196,992 |
| Tausa | Q. Chapetón | Convencional | 100 | n.d. | 7,350 |
| Sutatausa | Superficial | Convencional | 98 | 1 | 18,144 |
| Cucunubá | Q. Lachorrera | Convencional | 100 | 7 | 5,068 |
| Lenguazaque | R. Lenguazaque | Convencional | 100 | 1 | 31,104 |
| Guachetá | Q. Honda | Convencional | 100 | 71 | 31,120 |
| S. M. de Sema | Q. La Cortadera | Convencional | 100 | 72 | 49,065 |
| Fúquene | Q. El Paramo | Ninguno | 100 | 0 | 9,338 |
| Susa | Q. Nutrias | Ninguno | 100 | 20 | 12,798 |
| Simijaca | R. Simijaca | Convencional | 35 | 0.5 | 7,988 |
| Caldas | Q. Ojo de Agua | Solo Sedimentación | 100 | 23 | 6,187 |
| Chiquinquirá | R. Suárez | Convencional | 94 | n.d. | 518,400 |
| Saboyá | Q. Cantoco | Solo Sedimentación | 100 | 10 | 6,150 |
| Total | | | | | 914,704 (0.35 m ³ /s) |

n.d. : sin información disponible

El resto de la población rural, que no está servida por los acueductos municipales de arriba, está toda servida por acueductos individuales con tubería de pequeña escala (llamados acueductos veredales).

(2) Demanda de Agua

(a) Demanda de Agua Doméstica

Basado en las normas de diseño de la CAR, a continuación se asume el consumo per cápita.

| Item | (l/persona/día) | | | | |
|--------------------|-----------------|--------------|---------------|----------|------------|
| | Area Urbana | | | | Area Rural |
| Población | < 5,000 | 5,001–10,000 | 10,001–20,000 | > 20,001 | |
| Consumo per Cápita | 150 | 165 | 180 | 195 | 125 |

La demanda actual de agua para el consumo doméstico en el Area de Estudio se estima como sigue.

| Municipio | (m ³ /día) | | |
|--------------|-----------------------|------------|---------------------------------|
| | Area Urbana | Area Rural | Total |
| Ubaté | 3,039 | 2,824 | 5,863 |
| Chiquinquirá | 7,999 | 826 | 8,825 |
| Otros | 2,691 | 9,490 | 12,181 |
| Total | 13,729 | 13,140 | 26,869 (0.31 m ³ /s) |

La demanda de agua de cada municipio se presenta en el Apéndice C Tabla C.1.7.

(b) Demanda Institucional de Agua

Se asume que la demanda institucional de agua es del 10% de la demanda doméstica de agua. La demanda actual de agua institucional en el Area de Estudio se calcula como sigue.

| Municipio | (m ³ /día) | | |
|--------------|-----------------------|------------|--------------------------------|
| | Area Urbana | Area Rural | Total |
| Ubaté | 304 | 282 | 586 |
| Chiquinquirá | 800 | 83 | 883 |
| Otros | 269 | 949 | 1,218 |
| Total | 1,373 | 1,314 | 2,687 (0.03 m ³ /s) |

(c) Demanda de Agua Industrial

Los mayores usos de agua industrial en el Area de Estudio son los utilizados por los mataderos y por las industrias lácteas. Basado en las normas de diseño de la CAR, se asume a continuación el consumo de agua unitario de las industrias.

| Industria | Consumo unitario de agua |
|---------------|--|
| Matadero | bovino: 500 l/cabeza, porcino: 250 l/cabeza, ovino: 200 l/cabeza |
| Fábricas | Procesamiento de Leche: 3,500 l/ton-leche, Producción de Queso: |
| Proc.de Leche | 15,000 l/ ton-queso |

La demanda actual de agua industrial en el Area de Estudio se calcula como

sigue.

| | | | (m ³ /día) |
|--------------|--------------|------------|-------------------------------------|
| Municipio | Area Urbana | Area Rural | Total |
| Ubaté | 819 | 131 | 950 |
| Chiquinquirá | 17 | 1 | 18 |
| Otros | 1,397 | 226 | 1,623 |
| Total | 2,233 | 358 | 2,591 (0.03 m³/s) |

Sobre la demanda de agua para cada municipio vea el Apéndice C Tabla C.2.2 – Tabla C.2.3.

(d) Demanda Total de Agua Municipal

La demanda total actual de agua para la parte doméstica, institucional e industrial, se resume a continuación.

| | | | (m ³ /día) |
|--------------|---------------|---------------|--------------------------------------|
| Municipio | Area Urbana | Area Rural | Total |
| Ubaté | 4,162 | 3,237 | 7,399 |
| Chiquinquirá | 8,816 | 910 | 9,726 |
| Otros | 4,357 | 10,665 | 15,022 |
| Total | 17,335 | 14,812 | 32,147 (0.37 m³/s) |

(e) Pérdida en el Abastecimiento de Agua

Los acueductos municipales del Area de Estudio sirven a casi toda la población urbana y a alguna parte de la población rural, a las instituciones (10% del uso doméstico) y a la mayoría de las industrias. La demanda total de agua para los acueductos municipales se calcula en 6.844 millones m³/año. Por otro lado, el volúmen total de captación de agua por los acueductos municipales se calcula en 10.976 millones m³/año. Por lo tanto, la tasa promedio de agua no contabilizada de los acueductos actuales se calcula en 60%. Sobre detalles vea el Apéndice C Capítulo I, Sección 1.4.

3.3 Uso Futuro del Agua

El uso futuro del agua se calcula para el año objetivo 2010.

3.3.1 Uso del Agua en Irrigación

De acuerdo con la información de la CAR, las tierras planas aledañas a los sistemas actuales de irrigación son irrigables. En este Estudio se asume que todas éstas área van a ser irrigadas en el año 2010. El área total de irrigación del Area de Estudio aumentará de 20,337 has actuales a 24,849 has en el año 2010. En este cálculo, se supone que serán desarrollados tres (3) nuevos bloques: Simijaca (No.12), Honda Arriba (No.16) y Susa Arriba (No. 17) y, una parte baja (344 has) del bloque actual de Lenguaque (No.4) será transferido al bloque de irrigación de Suta (No.1). Los bloques de irrigación futura se muestran en la Fig. 3.3.

Aún en el año 2010, el área de irrigación se utilizará principalmente para pastoreo y el cultivo (maíz) estará limitado a una parte de los bloques de irrigación del Río Suárez y Simijaca (Suárez: 3,141 has, Simijaca: 83 has).

La futura demanda de agua superficial para irrigación se calcula utilizando la misma unidad

de demanda de agua para agricultura y eficiencia de proyectos actuales. La demanda calculada de agua superficial por bloques de irrigación se muestra abajo.

| Bloque de Irrigación | Area de Irrigación Existente (ha) | Area de Irrigación Futura(ha) | Cultivo | Demanda de Agua Superficial ($10^3 \text{ m}^3/\text{año}$) | Fuente Principal de Agua |
|-----------------------|-----------------------------------|-------------------------------|--------------|---|--------------------------|
| 1. Suta | 832 | 1,277 | Pastura | 8,641 | R. Suta/Embalse Hato |
| 2. Cap-1 | 634 | 1,365 | Pastura | 9,237 | EmbalseHato /R. Ubaté |
| 3. Cucunubá | 1,892 | 1,892 | Pastura | 9,218 | L. Cucunubá |
| 4. Lenguazaque | 1,751 | 2,309 | Pastura | 14,062 | R. Lenguazaque |
| 5. Cap-2 | 316 | 1,582 | Pastura | 10,705 | EmbalseHato /R. Ubaté |
| 6. Mariño | 700 | 700 | Pastura | 4,263 | Mariño Canal/R.Ubaté |
| 7. Mariño-Ubate | 387 | 387 | Pastura | 2,357 | Mariño/R. Ubaté |
| 8. Fúquene | 2,537 | 2,537 | Pastura | 15,451 | L. Fúquene |
| 9. Honda | 509 | 509 | Pastura | 3,100 | R. Honda/L.Fúquene |
| 10. Susa | 563 | 563 | Pastura | 2,678 | R. Susa/L.Fúquene |
| 11. Suárez | 8,309 | 8,309 | Pastura/Maíz | 30,319 | R. Suárez/ L. Fúquene |
| 12. Simijaca* | - | 417 | Pastura/Maiz | 1,998 | R.Simijaca |
| 13. Viejo-Suárez | 228 | 228 | Pastura | 982 | R. Viejo Suárez/R.Suárez |
| 14. Madrón | 1,359 | 1,359 | Pastura | 5,854 | R. Madrón |
| 15. Merchán | 320 | 640 | Pastura | 2,758 | Pequeño Río/R.Suárez |
| 16. Honda-Parte alta* | - | 349 | Pastura | 2,125 | R. Honda |
| 17. Susa-Parte alta* | - | 426 | Pastura | 2,026 | R. Susa |
| Total | 20,337 | 24,849 | | 125,774 (3.99 m^3/s) | |

*: Areas de irrigación futura.

3.3.2 Uso del Agua en la Ganadería

La demanda de agua para ganadería aumentará en proporción al aumento del número de cabezas de ganado. La futura demanda de agua se calcula por el producto del número proyectado de cabezas de ganado y el consumo unitario de agua. El patrón de consumo unitario de la CAR se utiliza en este cálculo. El total de la demanda de agua futura del Area de Estudio se calcula en $6,219 \text{ m}^3/\text{día}$ ($0.07 \text{ m}^3/\text{s}$). Sobre la proyección del futuro número de cabezas de ganado, consulte el Apéndice A, Capítulo II Sección 2.3.

3.3.3 Uso del Agua Municipal

(1) Demanda de Agua Doméstica

La demanda de agua municipal aumentará en proporción al crecimiento de la población. Se calcula multiplicando la población proyectada por la unidad de consumo de agua. El patrón de consumo de agua de la CAR se emplea en este cálculo. Sobre la proyección de la población véa el Apéndice A, Capítulo II Sección 2.2.

(2) Demanda de Agua Institucional

La demanda futura de agua institucional se asume en el 10% de la demanda futura de agua doméstica.

(3) Demanda de Agua Industrial

El agua industrial se emplea principalmente en mataderos y plantas de productos lácteos. La demanda futura de agua para mataderos se calcula por el producto de la proyección de animales sacrificados y la unidad de consumo de agua. La demanda

futura de agua de plantas de productos lácteos se calcula por el producto de la proyección de producción de lácteos y el consumo unitario de agua. Los módulos de consumo de agua de la CAR se emplean en el cálculo de demanda de agua para mataderos y plantas de lácteos respectivamente.

El número de animales sacrificados se calcula que aumentará en proporción al crecimiento de la población. La producción de lácteos se calcula que aumentará en 4% de 1998 a 2010 (ver Apéndice A Capítulo II Sección 2.5).

(4) Demanda Total de Agua

La demanda total de agua municipal en el Area de Estudio se calcula en 37,342 m³/día (0.43 m³/s) de acuerdo con el siguiente desglose.

| Item | (m ³ /día) | | | |
|---------------|-----------------------|--------------|--------|--------|
| | Ubaté | Chiquinquirá | Otros | Total |
| Doméstico | 7,774 | 10,292 | 13,427 | 31,493 |
| Urbano | 4,462 | 9,431 | 3,778 | 17,671 |
| Rural | 3,312 | 861 | 9,649 | 13,822 |
| Institucional | 777 | 1,029 | 1,343 | 3,149 |
| Urbano | 446 | 943 | 378 | 1,767 |
| Rural | 331 | 86 | 965 | 1,382 |
| Industrial | 991 | 21 | 1,688 | 2,700 |
| Urbano | 855 | 19 | 1,454 | 2,328 |
| Rural | 136 | 2 | 234 | 372 |
| Total | 9,542 | 11,342 | 16,458 | 37,342 |
| Urbano | 5,763 | 10,393 | 5,610 | 21,766 |
| Rural | 3,779 | 949 | 10,848 | 15,576 |

(5) Demanda de Fuentes

El calculo de la demanda de agua de arriba es la de los usuarios. Se espera que disminuyan las pérdidas en el abastecimiento de agua, acorde con el mejoramiento en el futuro de los sistemas existentes. La demanda futura de fuentes de agua cruda se calcula sumando 20% del agua no contabilizada a la demanda futura de los usuarios, basándose en los patrones de diseño de la CAR en lo referente a la tasa de pérdida de agua.

3.4 Almacenamiento Actual de Agua y Sistemas de Captación

3.4.1 Características Principales de las Estructuras.

Hay un (1) Embalse (Hato), tres (3) Lagunas (Palacio, Cucunubá y Fúquene) y tres (3) Compuertas (Cartagena, Cubio y Tolón) en el Area de Estudio. Estos se operan para Irrigación, Abastecimiento de agua municipal y para el Control de Inundación. Sus localizaciones se muestran en la Fig. 3.4.

Las principales características del Embalse, Lagunas y Compuertas se resumen en lo que sigue.

| Nombre | Principal Uso | Dimensión | Observaciones |
|-------------------------|--|--|--|
| Embalse del Hato | Irrigación para el Area de Ubaté. Suministro de agua para la ciudad de Ubaté. Control de inundación para la Laguna de Fúquene. | Altura de la Presa: 33 m Embalse total: $14.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ Embalse de suministro de agua: $7.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ Embalse de control de inundación: $4.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ | Nivel Muerto: $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ |
| Laguna de Palacio | Irrigación para el Area de Cucunubá | Superficie: 0.4 km^2 Embalse total: $290 \times 10^3 \text{ m}^3$ | Practicamente extinta por depósitos de sedimentación |
| Laguna de Cucunubá | Irrigación para el Area de Cucunubá | Superficie: 2.5 km^2 Embalse total: $6.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ | No está definido un embalse activo |
| Laguna de Fúquene | Irrigación para las áreas de la Laguna de Fúquene y las áreas ribereñas al Suárez Abastecimiento de agua para Chiquinquirá | Superficie: 29.8 km^2 a EL. 2,539 m. Embalse total: $50.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ a EL. 2,539 m. | No está definido un embalse activo |
| Compuertas de Cartagena | Control de agua de las lagunas de Palacio y Cucunubá | Altura: 1.74 m | |
| Compuertas del Cubio | Control de agua de las lagunas de Palacio y Cucunubá | Altura: 2.53 m | |
| Compuertas de Tolón | Control de agua de la Laguna de Fúquene | Altura: 2.52 m | |

El perfil longitudinal del sistema Laguna de Cucunubá - Río Ubaté – Laguna de Fúquene – Río Suárez, con sus compuertas de control se muestra en la Fig. 3.4.

3.4.2 Reglas de Operación Existentes

(1) Embalse del Hato.

Los niveles de agua de diseño son fijados como sigue:

Nivel alto de agua (máximo): Elev. 2,847.29 m
 Nivel alto de agua (normal) : Elev. 2,842.70 m
 Nivel Bajo de agua: : Elev. 2,828.00 m

Las aguas para irrigación y para uso municipal son suministradas utilizando una capacidad de almacenamiento de 7.7 millones de m^3 entre Elev. 2,828.00 m y 2,842.70 m. El agua se descarga con la operación de una válvula. Las inundaciones son controladas utilizando una capacidad de almacenamiento de 4.7 millones de m^3 entre Elev. 2,842.70 m y 2,847.29 m. En un periodo de inundación normal, el agua de inundación se descarga utilizando la misma válvula por la que se descarga el agua de abastecimiento, sin embargo, en un periodo largo de inundación, se descarga a través del rebosadero. No se tiene una compuerta especial para el control de la inundación.

(2) Compuertas de Control

La compuertas de Cubio y Cartagena son operadas integradamente como sigue, en principio. En época seca, la compuerta Cubio se cierra y la compuerta Cartagena se abre para introducir a la Laguna de Cucunubá el agua excedente de los ríos Ubaté y Lenguazaque. Por otro lado, en poca lluviosa, la compuerta Cubio se abre para descargar aguas abajo el agua excedente de los ríos Ubaté y Lenguazaque y la compuerta Cartagena se cierra para prevenir que las aguas excedentes retrocedan hacia el canal de Cucunubá.

La compuerta de Tolón se usa para controlar el nivel de agua de la Laguna de Fúquene y del Río Suárez y se opera como sigue en principio. En época seca, la

compuerta está cerrada para mantener el nivel de agua requerido para irrigación y abastecimiento municipal. Por otro lado, en época lluviosa, se abre la compuerta para descargar aguas abajo el agua excedente de la Laguna de Fúquene y de los ríos Susa y Simijaca. El nivel de agua meta de la Laguna no está oficialmente fijado y la operación de la compuerta se hace opcionalmente de acuerdo a las situaciones hidrológicas de la Laguna y de la cuenca alta.

3.5 Simulación del Balance de Agua bajo Condiciones Actuales

El balance de agua del Area de Estudio, bajo condiciones actuales del uso del agua, se simula para preparar las reglas óptimas de operación integrada del embalse y de las compuertas. El modelo de simulación propuesto se muestra en la Fig. 3.5. El balance de agua se evalúa con base en los datos hidrológicos (caudal del río y nivel de agua de la laguna) tomados en el pasado durante 20 años (1978-1997).

3.5.1 Construcción del Modelo de Simulación

(1) Condiciones para la Construcción del Modelo de Simulación

- (a) Las curvas existentes de Area superficial vs. Elevación y Embalse vs. Elevación del embalse Hato, de la Laguna de Cucunubá y de la Laguna de Fúquene, se muestran en la Fig. 3.6. La Laguna de Palacio no se toma en cuenta ya que está fuera de servicio por los problemas de deposición de sedimentos.
- (b) La evaporación superficial del embalse y de la laguna se considera y sus tasas están presentadas en el Apéndice C Capítulo III, Sección 3.3.
- (c) Las siguientes reglas existentes de operación del embalse y de las compuertas se emplean en la simulación del balance del agua.

(i) Embalse del Hato.

El Embalse del Hato descarga el agua necesaria para la irrigación de los bloques de Ubaté-1 y Ubaté-2 y para el uso del municipio de Ubaté, en tiempo normal, cuando el nivel de agua permanece entre el nivel bajo (EL. 2,828.00 m) y el nivel normal alto (EL. 2,842.70 m). Cuando el nivel de agua del embalse sobrepasa el nivel EL. 2,842.70 m (tiempo de inundación) entonces el embalse, después de que haya regulado la entrada del agua, comienza a descargar tal como se presenta abajo.

| | | | | | | |
|------------------------------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|
| Nivel de Agua (m) | 2,842.7 | 2,842.9 | 2843.1 | 2843.3 | 2,843.5 | 2,843.7 |
| Descarga (m ³ /s) | 0.0 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 |

(ii) Compuertas de Cartagena

Se cierran durante marzo – mayo y durante agosto – octubre. Cuando el nivel de agua de la Laguna de Cucunubá excede los 2,544.0 m, se descarga inmediatamente para bajar el nivel a 2,544.0 m.

(iii) Compuertas del Cubio.

Se opera para mantener el nivel de agua arriba de la compuerta a un cierto valor.

(iv) Compuertas de Tolón.

Esta opera de acuerdo con los niveles de aguas arriba como sigue.

| Nivel de Agua (m.s.n.m.) | Operación |
|--------------------------|-----------------------|
| Mayor que 2,539.4 | Completamente abierta |
| 2,539.0 – 2,539.4 | Parcialmente Abierta |
| Menor que 2,539.0 | Completamente Cerrada |

(d) Alguna parte del agua extraída para irrigación, regresa a los ríos y lagunas aguas abajo.

Este retorno también se considera en esta Simulación. Para detalles, véa el Apéndice C Capítulo III Sección 3.3.

(2) Aplicabilidad del Modelo de Simulación Propuesto.

La aplicabilidad del modelo de simulación propuesto se chequea por comparación de los niveles de agua simulados de la Laguna de Fúquene con los registrados durante seis (6) años (enero 1992 a diciembre 1997) después de la terminación del Embalse del Hato.

Los niveles de agua se calculan basados en la siguiente ecuación:

$$S = Di - Do + R - E$$

Donde, S: Cambio en el almacenamiento de agua en la laguna.

Di: Influyente a la laguna.

Do: Efluente de la laguna.

R: Precipitación en la superficie de la laguna.

E: Evaporación desde la superficie de la laguna.

La tasa de descarga de la Laguna de Fúquene varia dependiendo de su nivel de agua y se estima con base en cálculos de caudales no uniformes del Río Suárez. El cálculo fué realizado en debida consideración a las condiciones existentes del río, el cuál tiene gran cantidad de Elodea (el coeficiente de Manning se asume en $n = 0.036$) La curva de la tasa de descarga vs. nivel de agua de la laguna se muestra a continuación.

| | | | | | | |
|--------------------------------|---------|------|------|------|------|------|
| Nivel de agua de la Laguna (m) | 2,537.5 | 38.7 | 39.1 | 39.6 | 39.9 | 40.2 |
| Tasa de descarga (m^3/s) | 0.0 | 2.7 | 5.7 | 11.1 | 13.9 | 16.8 |

El nivel de agua simulado está en concordancia con los niveles registrados como se muestra en la Fig. 3.7.

3.5.2 Simulación del Balance de Agua.

El balance de agua del Area de Estudio se simula para las series hidrológicas de 20 años (1978 – 1997) bajo las condiciones presentes del uso del agua, características hidráulicas de ríos y lagunas y las reglas de operación de las compuertas.

Los siguientes usos del agua se consideran en la simulación:

- (1) Agua de irrigación para las 20,337 has ocupada por los 14 bloques de irrigación mencionados en la Sub-sección 3.2.1. El uso de agua superficial se estima en 97.76 millones de m³/año (3.1 m³/s). Ver, Sub-sección 3.2.1 (4).
- (2) Agua para la ganadería de 50,000 bovinos que estan en los mismos bloques de irrigación más arriba señalados. El uso de agua superficial se estima en 1,250 m³/día (0.01 m³/s).
- (3) Agua para los municipios de Ubaté y Chiquinquirá. El uso de agua superficial se asume en 196,992 m³/mes (0.076 m³/s) para la ciudad de Ubaté y 518,400 m³/mes (0.20 m³/s) para la ciudad de Chiquinquirá basado en los resultados de la encuesta. Ver, Sub-sección 3.2.3 (1).
- (4) Los otros usos de agua son insignificantes ya que son pequeños en número además de estar distribuidos esparcidamente en el Area de Estudio.

El balance de agua anual promedio simulado para los 14 bloques de irrigación se muestra en la Tabla 3.1. En esta tabla, las aguas utilizadas por los municipios Ubaté y Chiquinquirá están incluidas en los bloques de irrigación de Bocatoma-1 y Suárez respectivamente, y el agua utilizado en la ganadería está distribuido en todas los bloques de irrigación en proporción al tamaño del área de pastura.

Existen déficits de agua en los bloques de irrigación de Suta, Lenguazaque, Mariño, Susa, Viejo Suárez, Madrón y Merchán con un área total de 5,753 has en una sequía de 5 años de probabilidad tal como se muestra abajo. El déficit total anual de agua para tal sequía se estima en 15.85 millones de m³. Estos déficits de agua ocurren no solamente debido a la falta de fuentes de agua sino tambien a la falta de instalaciones de irrigación como son compuertas, canales, etc.

| Nombre del Bloque | Area de Irrigación (ha) | Déficit Anual (10 ³ m ³ /año) | Déficit Anual Unitario (m ³ /ha) |
|-------------------|-------------------------|---|---|
| 1. Suta | 832 | 2,442 | 2,935 |
| 4. Lenguazaque | 1,751 | 2,464 | 1,407 |
| 6. Mariño | 700 | 3,826 | 5,466 |
| 10. Susa | 563 | 972 | 1,726 |
| 13. Old-Suárez | 228 | 928 | 4,070 |
| 14. Madron | 1,359 | 4,520 | 3,326 |
| 15. Merchan | 320 | 693 | 2,166 |
| Total | 5,753 | 15,845 | |

Entre éstos, los bloques de Suta, Mariño, Viejo Suárez, Madrón y Merchán son propensos a una drástica sequía con déficits hídricos entre 2,000 - 5,000 m³/ha, considerando una sequía de 5 años de periodo de retorno.

3.5.3 Reglas Óptimas de Operación bajo las Condiciones Existentes

El Embalse del Hato y la Laguna de Fúquene son las fuentes hídricas más grandes en el Área de Estudio. Sus reglas óptimas de operación bajo las condiciones actuales de uso del agua son estudiadas a continuación para lograr un uso efectivo del recurso hídrico en el Área de Estudio.

(1) Embalse del Hato

El Embalse del Hato es un embalse multipropósito que incluye suministro de agua para irrigación, suministro de agua municipal y control de inundaciones. La política de optimización de la operación de suministro de agua es la de descargar el agua necesaria para satisfacer las necesidades aguas abajo y reservar agua tanto como sea posible dentro de la capacidad de embalse prevista. Con respecto a la operación de control de inundaciones, la política es la de minimizar la descarga de agua del embalse hacia la parte baja utilizando la capacidad prevista para el efecto. Sin embargo, la regla de operación debe ser determinada para que el embalse tenga suficiente seguridad cuando se presentan inundaciones anormales de largos periodos.

(a) Abastecimiento de Agua.

El agua es descargada para satisfacer la necesidad hídrica aguas abajo, en lo posible sin ninguna deficiencia ó exceso. La demanda actual de agua de irrigación del embalse no es constante. Siempre varía acorde con la variación de la precipitación sobre las fincas y el caudal disponible del río fuera del área de drenaje del embalse. Sin embargo, generalmente es difícil descargar el agua para satisfacer tal fluctuación de la demanda de agua sin que haya alguna deficiencia ó algún exceso.

Por consiguiente, la descarga constante de agua se determina para los periodos secos y lluviosos respectivamente, basados en los datos simulados de balance de agua usando las series hidrológicas de 20 años en el pasado. Cuando se fija una descarga de agua muy pequeña, frecuentemente no se satisface la demanda de agua. Por otro lado, cuando se fija una descarga de agua grande, se puede satisfacer la demanda de agua aún en una sequía severa. Sin embargo, se descarga una gran cantidad de agua inutilizada en años normales.

La descarga de agua esta determinada para satisfacer la demanda de agua en los años de sequía con una adecuada probabilidad. A continuación se presenta abajo los caudales de agua que se descargan mensualmente para satisfacer sequías de 5 y 10 años de periodo de retorno.

| Periodo de Retorno | (m ³ /s) | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | Mayo | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
| 5-años | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0 | 0.05 | 0.05 | 0.10 | 0.10 | 0 | 0 | 0 | 0.10 |
| 10-años | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0 | 0.10 | 0.10 | 0.20 | 0.20 | 0 | 0 | 0 | 0.20 |

La siguiente tabla muestra la relación de la escasez total de agua con el requerimiento total de agua de irrigación y la relación del periodo total de escasez de agua con el periodo total de irrigación durante 20 años bajo las reglas de descarga de agua mencionadas arriba.

| Periodo de Retorno | 5-años | 10-años |
|---------------------------------|--------------|--------------|
| Relación del Volumen de Escaséz | Menos del 1% | Menos del 1% |
| Relación del Periodo de Escaséz | Menos del 1% | Menos del 1% |

Como se muestra en la tabla de arriba, la relación de escaséz de agua durante 20 años es casi igual en ambos casos (pequeña cantidad de agua descargada para satisfacer sequías de 5-años y gran cantidad de agua descargada para satisfacer sequías de 10-años). El Embalse del Hato no necesita descargar una gran cantidad de agua para satisfacer una sequía de alta probabilidad, tomando en consideración al tipo de uso del agua (principalmente irrigación de pastos).

Por lo tanto, se propone en este Estudio operar el abastecimiento de agua para satisfacer sequías de 5-años.

(b) Control de Inundación

Cuando el nivel de agua del embalse está por debajo de los 2,842.70 m.s.n.m., toda el agua de inundación se almacena para usarse en el abastecimiento de agua. El agua de inundación se descarga cuando el nivel de agua excede los 2,842.70 m.s.n.m. y la descarga gradualmente se incrementa acorde con la elevación del nivel de agua. La curva de descarga vs. nivel de agua se determina a fin de que el nivel de agua rara vez pueda alcanzar el nivel de cresta del rebosadero (2,847.00 m.s.n.m.).

A continuación se propone la regla de descarga del agua de inundación del embalse, comparada con la actual.

| Nivel de Agua del Embalse (m)* | 42.7 | 42.8 | 42.9 | 43.0 | 43.1 | 43.2 | 43.3 | 43.4 | 43.5 | 43.6 | 43.7 |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Propuesta (m ³ /s) | 0.0 | 0.3 | 0.6 | 0.9 | 1.2 | 1.5 | 1.8 | 2.1 | 2.4 | 2.7 | 3.0 |
| Actual (m ³ /s) | 0.0 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 |

*: La base del nivel de agua es 2,800 m.

El nivel de agua del embalse simulado bajo las reglas óptimas de operación se muestra en la Fig. C.3.8.

La mayor inundación durante los pasados 20 años ocurrió en 1979 y su probabilidad se estima en aproximadamente 100 años. De acuerdo con las reglas de operación de inundación propuestas, incluso esta inundación no excede la cresta de elevación del rebosadero. Las reglas de operación propuestas son consideradas para dar suficiente seguridad al embalse.

(2) Laguna de Fúquene

La regla óptima de operación de la Laguna se estudia bajo la regla óptima de operación del Embalse del Hato de la Sub-sección anterior. La política de optimización de la regla de operación de la Laguna es mantener el nivel de agua de la laguna lo más alto posible para proteger el ambiente de la laguna durante la temporada seca y controlar el pico del nivel de agua de inundación por debajo de cierto nivel en periodos de lluvia.

(a) Control del Nivel alto del Agua

La probabilidad del nivel de agua registrado en el pasado se evalúa como sigue.

| Probabilidad | Nivel Máximo (El. m) | Nivel Mínimo (El. m) |
|--------------|----------------------|----------------------|
| 2-años | 2,539.64 | 2,538.55 |
| 5- años | 2,539.95 | 2,538.39 |
| 10- años | 2,540.15 | 2,538.32 |
| 20- años | 2,540.35 | 2,538.27 |

De acuerdo con datos del Nivel del agua Vs Area de inundación, la inundación comienza a los 2,539.75 m en las áreas aledañas a la Laguna. Como se muestra en la tabla de arriba, el nivel del agua de la Laguna alcanzó en dos (2) ocasiones los 2,539.64 m. Por lo tanto, el nivel de agua alto se controla para no exceder los 2,539.5 m en los dos años de probabilidad. Para la curva nivel del agua vs área de inundación, véa la Sección 3.1.2 (3), previa.

(b) Condición del Río Suárez

El nivel del agua de la Laguna está regido por la capacidad de descarga del Río Suárez. Por lo tanto, el control del nivel del agua de la laguna se estudia para los siguientes cuatro (4) casos de condiciones del canal del Río Suárez.

Caso-1: Condición actual

Caso-2: Se retira la Elodea del canal del río, luego la capacidad de descarga aumenta debido a la disminución del coeficiente de rugosidad de Manning (disminución de $n = 0.036$ a $n = 0.025$).

Caso 3: La capacidad de descarga aumenta por dragado (dragando a una profundidad de 0.5m contados desde el lecho existente. Volumen de dragado = 1.1 millones de m^3).

Caso 4: Combinación de los Caso-2 y Caso-3.

(c) Nivel Operativo del Agua

El nivel del agua de la laguna fluctúa, dependiendo de las condiciones climáticas. El nivel del agua baja del nivel original en temporada de sequía. Por otro lado, sube sobre su nivel original en época de inundación. Por lo tanto, es esencial establecer un nivel propio original durante las épocas seca y lluviosa respectivamente. En este Estudio, este nivel original de agua se define como el nivel operativo del agua.

Un nivel operativo del agua más alto durante la época seca puede causar un nivel de inundación más alto durante la subsecuente época lluviosa, mientras que un nivel operativo del agua más bajo durante la estación lluviosa puede producir un nivel más bajo durante la próxima época seca. Por lo tanto, se estudian diversas combinaciones de niveles operativos del agua durante las épocas seca y lluviosa para obtener la operación óptima del nivel del agua durante ambas épocas.

Aún más, estas diversas combinaciones de la operación del nivel del agua se estudian para los cuatro (4) casos mencionados del Río Suárez.

(d) Operación de la Compuerta Tolón

La Compuerta Tolón se cierra inmediatamente cuando el nivel de agua de la laguna baja más que el nivel operativo y se abre sin demora cuando el nivel de la Laguna sube por encima del nivel operativo. Esta regla se aplica en ambas épocas.

(e) Nivel Optimo Operativo del Agua

Los niveles óptimos operativos del agua durante las épocas seca y lluviosa se obtienen para los cuatro (4) casos del Río Suárez, como se muestra abajo. En la siguiente tabla, la moda indica el nivel de agua más frecuente y su porcentaje.

| Caso | Nivel de Agua Operativo (m) | | Nivel Max. de Agua (m) | | Nivel Min. de Agua (m) | | Moda (m) |
|---------|-----------------------------|----------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|---------------------------|
| | Epoca Seca | Epoca Lluviosa | Probabilidad | Nivel del Agua | Periodo de retorno | Nivel del Agua | |
| Caso -1 | 2,538.9 | 2,538.7 | 2- Años | 2,539.50 | 2- Años | 2,538.43 | 2,538.8 - 38.9 (19.4%) |
| | | | 5- Años | 2,539.83 | 5- Años | 2,538.27 | |
| Caso -2 | 2,539.1 | 2,538.9 | 2- Años | 2,539.46 | 2- Años | 2,538.52 | 2,539.0 - 39.1 (26.0%) |
| | | | 5- Años | 2,539.75 | 5- Años | 2,538.36 | |
| Caso -3 | 2,539.3 | 2,538.9 | 2- Años | 2,539.49 | 2- Años | 2,538.59 | 2,539.1 - 39.2 (16.5%) |
| | | | 5- Años | 2,539.75 | 5- Años | 2,538.40 | |
| Caso -4 | 2,539.1 | 2,539.1 | 2- Años | 2,539.44 | 2- Años | 2,538.54 | 2,539.0 - 39.1 (30.4%) |
| | | | 5- Años | 2,539.69 | 5- Años | 2,538.37 | |

(f) Efectos del Mejoramiento del Río Suárez

El mejoramiento del Río Suárez aumenta la capacidad de descarga, resultando en la disminución del nivel alto del agua de la Laguna.

La disminución del nivel alto del agua debido al mejoramiento del Río Suárez se evalúa comparando los niveles máximos del agua, con una periodo de 2 años, de los casos Caso-2, Caso-3, Caso-4 con el del Caso-1. En ésta comparación, el nivel de operación óptimo del agua del Caso-1 se aplica a todos los otros casos. Los resultados se muestran abajo.

| Caso | Nivel Max. del Agua de 2-años (El.m) | Efecto (m) |
|--|--------------------------------------|------------|
| Caso-1 (Condición Actual) | 2,539.50 | ----- |
| Caso-2 (Retiro de Plantas Acuáticas) | 2,539.39 | 0.11 |
| Caso-3 (Dragado) | 2,539.33 | 0.17 |
| Caso-4 (Retiro de Plantas Acuáticas y Dragado) | 2,539.26 | 0.24 |

(g) Conclusion

El dragado del Río Suárez no contribuirá mucho para la disminución del nivel alto del agua de la Laguna aunque el volumen a dragarse es grande (1.1 millones de m³). En consecuencia, se propone sólo la remoción de las plantas

acuáticas para el mejoramiento del Río Suárez (Caso-2).

Se resume abajo la regla de operación propuesta.

(i) El nivel de agua meta de la Laguna se propone como sigue.

| Nivel de Agua | Elevación (m) | Periodo de Retorno |
|-----------------------------|-------------------|--------------------|
| Nivel Alto del Agua | 2,539.46 | 2-años |
| Nivel Bajo del Agua | 2,538.52 | 2-años |
| Nivel de Agua mas Frecuente | 2,539.0 – 2,539.1 | |

(ii) El nivel de operación del agua es determinado como sigue: época de sequía: 2,539.1 m y época de lluvias: 2,538.9 m

(iii) La compuerta de Tolón debería ser abierta inmediatamente cuando el nivel de agua de la laguna excede el nivel de operación, y cerrarse sin demora cuando el nivel del agua de la laguna baja por debajo del nivel de operación.

(iv) El Río Suárez debería mantenerse libre de plantas acuáticas para alcanzar la meta del nivel de agua de la laguna.

La simulación del nivel del agua de la laguna, bajo las reglas óptimas de operación indicadas arriba, se presenta en la Fig. 3.9.

3.6 Balance del Agua en Condiciones Futuras

3.6.1 Simulación del Balance de Agua

(1) Sistema de Irrigación Propuesto para el Futuro

Para satisfacer la demanda de agua en el futuro, el sistema de irrigación existente en el Area de Estudio debe ser cambiado mediante la construcción de algunas nuevas instalaciones de irrigación tales como compuertas, desvios, bombas y otros.

El futuro área de irrigación está dividida en 17 bloques de irrigación en consideración a la disponibilidad de las fuentes de agua tal como se muestra en la Fig. 3.3. Tres (3) nuevos bloques de irrigación son creados. Las principales instalaciones requeridas para abastecer agua a los bloques mencionados también son presentados en la misma figura.

(2) Modelo de Simulación Propuesta

La propuesta del modelo de simulación para el sistema futuro de irrigación se muestra en la Fig. 3.10.

(3) Simulación del Balance del Agua

El balance del agua en el Area de Estudio está simulado para las series hidrológicas de 20 años del pasado (1978 – 1997).

Los siguientes usos del agua son considerados en la simulación del balance del agua.

- (a) Agua de irrigación para 24,849 has en los 17 bloques de irrigación mencionados en la Sub-section 3.3.1. El uso de agua superficial se estima en 125.77 millones de m³/año (3.99 m³/s).
- (b) Agua para la ganadería, 66,740 bovinos a ser criados en los bloques de irrigación mencionados. El uso de agua superficial se estima en 1,670 m³/día (0.02 m³/s).
- (c) Agua para uso municipal para las ciudades de Ubaté y Chiquinquirá. El uso de agua superficial se estima en 0.1 m³/s para la ciudad de Ubaté y en 0.20 m³/s para la ciudad de Chiquinquirá.
- (d) Los otros usos de agua son insignificantes por su poca cantidad además de estar distribuidos esparcidamente en el Area de Estudio.

En la Tabla 3.2. se muestra el balance anual del agua simulado para los 17 bloques de irrigación.

En la Tabla 3.2, el agua para uso municipal de las ciudades de Ubaté y Chiquinquirá está incluido en los bloques de Cap-1 y Suárez respectivamente y el agua para uso del ganado está distribuido en todos los bloques de irrigación en proporción al tamaño del área de pastura.

El déficit de agua ocurre en nueve (9) bloques de irrigación, ellos son, Suta, Lenguazaque, Cap-2, Mariño, Mariño-Ubaté, Simijaca, Madrón, Honda-parte alta y Susa- parte alta, con un área total de 8,806 has. con una sequía de 5-años de periodo de retorno como se muestra abajo. El déficit total anual del agua para tal año de sequía se estima en 14.07 millones de m³.

| Nombre del Bloque | Area de Irrigación (ha) | Déficit Anual (10 ³ m ³ /año) | Déficit Anual Unitario (m ³ /ha) |
|-------------------------------|-------------------------|---|---|
| 1. Suta | 1,277 | 218 | 171 |
| 4. Lenguazaque | 2,309 | 4,610 | 1,997 |
| 5. Cap-2 | 1,582 | 62 | 39 |
| 6. Mariño + 7. Mariño-Ubate * | 1,087 | 3,580 | 3,293 |
| 12. Simijaca | 417 | 168 | 403 |
| 14. Madrón | 1,359 | 4,522 | 3,327 |
| 16. Honda-parte alta | 349 | 321 | 920 |
| 17. Susa-parte alta | 426 | 588 | 1,380 |
| Total | 8,806 | 14,069 | |

*: Bloque No.6 Mariño y No.7 Mariño-Ubaté son integradas para maximizar la eficiencia del uso del agua.

Entre éstos, los bloques de Lenguazaque, Mariño + Mariño-Ubaté y Madrón, son propensos a una drástica sequía con déficits hídricos entre 2,000 - 3,000 m³/ha, considerando una sequía de 5 años de periodo de retorno.

El déficit de agua será mitigado ó solucionado en varios bloques de irrigación mediante el mejoramiento del sistema de irrigación, construcción de compuertas, canales, etc. y una completa operación del Embalse del Hato. Tales bloques de irrigación son Suta, Susa, Viejo-Suárez y Merchán. Sin embargo, los bloques de irrigación de Lenguazaque, Mariño + Mariño-Ubaté, Simijaca, Madrón, Honda-parte alta y Susa-parte alta todavía estarán propensos a una drástica sequía debido a la falta

de fuentes de agua (falta de embalse para almacenamiento de agua).

3.6.2 Reglas Óptimas de Operación en Condiciones Futuras

(1) Posibilidad de una Operación Integral del Embalse Hato con la Laguna de Fúquene

La operación integral del Embalse Hato con la Laguna de Fúquene no se considera efectiva debido a los siguientes hechos y consideraciones.

- (a) Una considerable porción de la capacidad de almacenamiento asignado al abastecimiento de agua está reservada en el presente ya que el sistema de irrigación planificado originalmente aún no se ha completado. Sin embargo, este almacenamiento reservado será completamente utilizado para aumentar la irrigación en el futuro de los bloques de Suta, Cap-1 y Cap-2. Por lo tanto no queda agua para descargar y mitigar el descenso del nivel de agua de la Laguna de Fúquene.
- (b) El nivel del agua alcanza los 2,845 m, ocupando la mitad de la capacidad de almacenamiento asignado al control de inundación (50% de 4.7 millones de m³) en una mediana escala de inundación. La capacidad de almacenamiento remanente puede ser utilizada para el control de inundación de la Laguna mediante la disminución de la descarga de agua de inundación del embalse. Sin embargo, el efecto sobre el descenso del agua de la Laguna es solo de 7-8 cm. Por otro lado, esta operación integral incrementará el riesgo del Embalse Hato para inundaciones grandes tal como la que ocurrió en 1979. Ver, Fig. 3.8.

Entonces, la regla de operación óptima del Embalse Hato se determina considerando solamente los efectos sobre las áreas beneficiadas aguas arriba de la Laguna de Fúquene. La regla óptima de operación de la Laguna de Fúquene se estudia en consideración a la descarga óptima de agua del Embalse del Hato.

(2) Embalse del Hato

(a) Abastecimiento de Agua

(i) Regla de Operación en Tiempo Normal

La operación óptima del abastecimiento de agua esta determinada utilizando la misma metodología aplicada para la condición actual [ver , Sub-sección 3.5.3 (1)].

La descarga del agua esta determinada para satisfacer la demanda de agua para tiempo de sequía con una adecuada probabilidad. A continuación se presentan las descargas mensuales de agua para satisfacer 5 y 10 años de sequía.

| | (m ³ /s) | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| Periodo de Retorno | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | Mayo | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov | Dic. |
| 5-años | 1.50 | 0.95 | 0.50 | 0 | 0.05 | 0.05 | 0.50 | 0.80 | 0.35 | 0 | 0 | 0.60 |
| 10-años | 1.65 | 1.10 | 0.65 | 0 | 0.10 | 0.10 | 1.00 | 1.10 | 0.50 | 0 | 0 | 0.85 |

La siguiente tabla muestra la relación la escasez total de agua al requerimiento total de agua de irrigación y la relación del periodo total de escasez al periodo total de irrigación durante 20 años bajo las reglas de descarga de agua mencionadas arriba.

| Periodo de Retorno | 5-años | 10-años |
|---------------------------------|---------------|---------------|
| Relación del Volúmen de Escaséz | Menos que 5% | Menos que 5% |
| Relación del Periodo de Escaséz | Menos que 16% | Menos que 14% |

Como se muestra en la tabla de arriba, la relación de escasez de agua durante 20 años es casi igual en ambos casos (pequeña cantidad de agua descargada para satisfacer sequías de 5-años y gran cantidad de agua descargada para satisfacer sequías de 10-años). El Embalse del Hato no necesita descargar una gran cantidad de agua para satisfacer una sequía de alta probabilidad, tomando en consideración al tipo de uso del agua (principalmente irrigación de pastos).

Por lo tanto, se propone en este Estudio operar el abastecimiento de agua para satisfacer sequías de 5-años.

(ii) Regla de Regulación para Satisfacer Sequías Anormales

La regla de operación de arriba está preparada para satisfacer sequías de 5-años. Por lo tanto, el agua baja hasta su nivel mínimo una vez en cinco (5) años. En un tiempo de sequía más severa que la de periodo de retorno de 5-años, no se puede conseguir más agua de la que está almacenada en el embalse luego de que el nivel de agua haya caído por debajo de su nivel mínimo. Por lo tanto, el abastecimiento de agua desde el embalse (demanda al embalse) debería ser gradualmente disminuido para que no haya un déficit de agua fatal incluso en las sequías más pronunciadas y registradas durante los 20 años recientes. La tasa de reducción propuesta para el abastecimiento de agua (demanda) es como sigue:

| Nivel de Agua (m) | Más alto que 2,832 | 2,832 – 2,830 | 2,830 – 2,828 |
|--|--------------------|---------------|---------------|
| Tasa de Reducción del Abastecimiento de Agua (Demanda) (%) | 0 | 40 | 50 |

(b) Control de Inundación

La regla óptima de descarga del agua de inundación se propone en debida consideración al descenso del nivel del agua debido al incremento de la descarga realizada para el abastecimiento de agua. La curva propuesta para la descarga del agua de inundación vs. nivel de agua, se muestra a continuación:

| | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Nivel de Agua del Embalse (m)* | 42.7 | 42.8 | 42.9 | 43.0 | 43.1 | 43.2 | 43.3 | 43.4 | 43.5 | 43.6 | 43.7 |
| Propuesta (m ³ /s) | 0.00 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 | 1.25 | 1.50 | 1.75 | 2.00 | 2.25 | 2.50 |

*: La base del nivel del agua es 2,800 m.

El nivel de agua del embalse simulado bajo las reglas óptimas de operación mencionadas arriba, se muestra en la Fig. 3.8.

(3) Laguna de Fúquene

La regla de operación óptima de la Laguna está determinada en consideración a las mismas políticas y metodologías aplicadas en las condiciones actuales como se describe a continuación.

- (a) La política de optimización de operación de la laguna es el de mantener el nivel del agua de la laguna tan alto como sea posible para proteger el medio ambiente de la laguna en los periodos de sequía y para controlar los picos de inundación por debajo de un cierto nivel durante los periodos de lluvia.
- (b) El nivel alto del agua esta controlado para que no exceda los 2,359.5 m en 2-años de probabilidad.
- (c) El dragado del Río Suárez no contribuirá mucho al descenso del nivel alto del agua de la Laguna. Por lo tanto, se considera solo la remoción de plantas acuáticas para el mejoramiento del río.
- (d) La compuerta de Tolón se opera para mantener el nivel operativo del agua tan largo como sea posible.
- (e) Los niveles óptimos de operación de la Laguna para los periodos secos y de lluvia son determinados por medio de varias combinaciones de niveles de operación del agua durante ambos periodos.

Abajo se muestran los niveles óptimos de operación de agua obtenidos durante los periodos secos y de lluvia junto con los niveles máximo y mínimo probables.

| Nivel de Agua de Operación (m) | | Nivel Max. De Agua (m) | | Nivel Min. De Agua (m) | | Moda (m) |
|--------------------------------|----------------|------------------------|---------------|------------------------|---------------|---------------------------|
| Epoca Seca | Epoca Lluviosa | Probabilidad | Nivel de Agua | Probabilidad | Nivel de Agua | |
| 2,539.1 | 2,538.9 | 2-años | 2,539.41 | 2-años | 2,538.56 | 2,539.0 – 39.1 (26.5%) |
| | | 5-años | 2,539.67 | 5-años | 2,538.36 | |

La regla de operación propuesta se resume como sigue.

- (a) Se propone a continuación el nivel meta del agua de la Laguna.

| Nivel del Agua | Elevación (m) | Periodo de Retorno |
|-----------------------------|-------------------|--------------------|
| Nivel Alto de Agua | 2,539.41 | 2-años |
| Nivel Bajo de Agua | 2,538.56 | 2-años |
| Nivel de Agua Mas Frecuente | 2,539.0 – 2,539.1 | |

- (b) El nivel de operación del agua se determina como sigue: época seca: 2,539.1 m y época lluviosa: 2,538.9 m.
- (c) La compuerta de Tolón debería ser abierta inmediatamente cuando el nivel de

agua de la laguna excede el nivel de operación, y cerrarse sin demora cuando el nivel del agua de la laguna baja por debajo del nivel de operación.

- (d) El Río Suárez debería mantenerse libre de plantas acuáticas para alcanzar la meta del nivel de agua de la laguna.

La simulación del nivel del agua de la laguna, bajo las reglas óptimas de operación indicadas arriba, se presenta en la Fig. 3.9.

3.7 Mejoramiento del Sistema de Utilización y Manejo de los Recursos Hídricos

3.7.1 Sistema de Irrigación

El área de irrigación en el Area de Estudio será expandida de 20,337 has en 1999 a 24,849 has en 2010. En consecuencia, el requerimiento de agua superficial aumentará de 3.10 m³/s en 1999 a 3.99 m³/s en 2010. Para satisfacer el futuro requerimiento de agua, serán construidas algunas instalaciones de irrigación para los 11 bloques de irrigación y se operarán óptimamente el Embalse del Hato y la Laguna de Fúquene.

El número total de las instalaciones de irrigación propuesta y el área beneficiada en el Area de Estudio son como sigue.

| Area Total de Irrigación en el Futuro (ha) | Instalaciones Propuestas | | | | Area Total Beneficiada (ha) |
|--|--------------------------|---------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| | Canales (km) | Compuerta (nos.) | Bomba (nos.) | Estructura de Desvio (nos.) | |
| 24,849 | 152.0 | 14 | 1 | 2 | 6,971 |

Las instalaciones de irrigación propuestas y el área beneficiada de cada bloque de irrigación se muestran en la Tabla 3.3. Para su localización, vea la Fig. 3.3.

3.7.2 Drenaje

Las zonas de pastoreo localizadas en los lugares bajos alrededor de la Laguna de Fúquene son habitualmente inundadas. Este problema de inundación será mitigado mediante la limpieza del Río Suárez (remoción de plantas acuáticas) y la operación óptima de la Laguna. Abajo se muestra la curva nivel de agua de la laguna vs. Area de inundación y probabilidad de exceso del nivel de agua de la laguna, las que fueron calculadas para los casos con proyecto y sin proyecto.

| Nivel de Agua de la Laguna (m) | 2,539.75 | 2,540.00 | 2,540.25 | 2,540.50 | 2,540.75 |
|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Area de Inundación (ha) | 0 | 500 | 3,250 | 6,000 | 8,000 |
| Probabilidad de Exceso s/ Proyecto | 0.400 | 0.140 | 0.045 | 0.011 | 0.002 |
| Probabilidad de Exceso c/ Proyecto | 0.145 | 0.050 | 0.010 | 0.002 | 0.0002 |

De la tabla anterior se calcula el área promedio anual de inundación que se puede esperar sin el proyecto y con el proyecto en 228 has y 58 has respectivamente. Entonces, el área promedio anual de inundación de 170 has será reducido con el proyecto propuesto.

3.7.3 Abastecimiento de Agua Municipal

Existen 14 sistemas municipales de abastecimiento de agua en el Area de Estudio. No hay mayores problemas en cuanto a la cantidad y calidad de agua captada en los 14 sistemas exepcto la ciudad de Chiquinquirá. Entonces, en este estudio se propone el mejoramiento de las instalaciones de captación y de la planta de purificación del sistema de abastecimiento de agua para Chiquinquirá. La poblacion servida, de diseño, se asume en 45,500 para el 2010.

(1) Mejoramiento de las Instalaciones de Captación

El agua cruda para el abastecimiento municipal de agua de la ciudad de Chiquinquirá se bombea inmediatamente aguas arriba de la compuerta de Tolón. El agua es bombeada a una altura de 90 m. a la planta de purificación localizada a 1800 m del lugar de captación.

Sin embargo, en algunas ocasiones las bombas han pasado por problemas de cavitación cuando el nivel del agua de la laguna ha bajado a niveles críticos en la época de sequía.

Por lo tanto, se propone la reposición de las tres (3) bombas incluyendo los motores.

(2) Mejoramiento de la Planta de Purificación

La planta existente consiste de 1 aireador, 2 tanques de coagulación, 5 tanques de floculación, 3 tanques de sedimentación y 6 tanques de filtración.

Sin embargo, la planta no trata satisfactoriamente el agua cruda para satisfacer el estándar nacional estipulado en 1998. Los principales parámetros de calidad del agua tratada en setiembre de 1999, se muestran a continuación, y son comparadas con los estándares nacionales.

| Parámetro | Unidad | Rango (Promedio) | Estándard | Tasa de cumplimiento con el Estándard (%) |
|-----------------|--------|--------------------------|-----------|---|
| Turbidez | UNT | 3 – 14 (6.7) | 5 | 33 |
| NO ₂ | mg/l | 0.0132 – 0.0484 (0.0285) | 0.1 | 100 |
| PH | - | 4.0 – 6.0 (5.3) | 6.5 – 9.0 | 0 |
| Fe | mg/l | 0.21 – 0.47 (0.33) | 0.3 | 33 |
| Cl ⁻ | mg/l | 7.8 – 15.8 (9.9) | 250 | 100 |

El agua tratada cumple con el estándar solamente en un 30% en los parámetros de turbidez y Fe. El pH no cumple con el estándar en ningun caso.

La planta de tratamiento existente necesita ser mejorada para cumplir con los estándares. Los mejoramientos propuestos son como sigue.

- (a) Instalación de un aireador (1) adicional para reducir la concentración del Fe.
- (b) Mejoramiento del tanque de sedimentación existente y la instalación de un tanque adicional de filtración para reducir la turbidez.
- (c) Controlar satisfactoriamente el pH actual de los procesos.

3.8 Costo del Proyecto para el Mejoramiento del Sistema de Utilización y Manejo de los Recursos Hídricos

3.8.1 Costo de Inversión

El costo de inversión para los proyectos propuestos se estiman con base en los siguientes supuestos:

- (1) El costo de inversión envuelve el costo de construcción directa, adquisición de tierra/compensación, costo de servicio de ingeniería, administración y contingencia física.
- (2) El costo está estimado con base en los precios unitarios de material, equipamiento y mano de obra del mes de octubre de 1999.
- (3) El Impuesto al Valor Agregado (IVA) no está incluido y la tasa de cambio monetaria se estima en 1 US\$ = 106 ¥ = 1,920 Col\$ (octubre 1999).

El costo total de inversión se estima en 15,829 millones de Col\$ (8.25 millones de US\$) con el siguiente desglose.

(unid: millones de Col\$)

| Item | Irrigación | Drenaje* | Abastecimiento | Total |
|--|-----------------|----------|---------------------------|-----------------|
| | | | Municipal de Agua Potable | |
| Construcción Directa | 9,181.0 | - | 600.1 | 9,781.1 |
| Captación | 5,690.0 | - | 130.1 | 5,820.1 |
| Canales | 3,491.0 | - | - | 3,491.0 |
| Planta de purificación | - | - | 470.0 | 470.0 |
| Adquisición de tierra | 2,395.0 | - | - | 2,395.0 |
| Servicios de Ingeniería / Administración | 2,315.0 | - | 120.0 | 2,435.0 |
| Contingencia física | 1,158.0 | - | 60.0 | 1,218.0 |
| Total | 15,049.0 | - | 780.1 | 15,829.1 |
| Total (millones de US\$) | (7.84) | - | (0.41) | (8.25) |

*: No necesita de inversión.

El costo de inversión para el mejoramiento de los bloques de irrigación es como sigue.

(millones de Col\$)

| Bloque de Irrigación | Costo de inversión | Bloque de Irrigación | Costo de inversión |
|-----------------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| 1. Suta | 1,573 | 11. Suárez | - |
| 2. Cap-1 | 1,582 | 12. Simijaca | 1,113 |
| 3. Cucunubá | - | 13. Viejo Suárez | 293 |
| 4. Lenguazaque | 2,735 | 14. Madrón | - |
| 5. Cap-2 | 1,861 | 15. Merchán | 2,290 |
| 6. Mariño + 7. Mariño-Ubaté | 651 | 16. Honda-parte alta | 1,027 |
| 7. Fúquene | - | 17. Susa-parte alta | 999 |
| 9. Honda | - | Total | 15,049 |
| 10. Susa | 925 | | |

Para los detalles, ver Apéndice C Capítulo V Sección 5.4 y Capítulo VI Sección 6.1 y 6.2.

3.8.2 Costo de O&M

El costo anual estimado de O&M incluye mano de obra, combustible, reparaciones, administración y otros costos pero no incluye la reposición de equipos.

El costo total anual de O&M se estima en 200.8 millones de Col\$/año (0.10 millones de US\$/año) con el siguiente desglose.

| Item | Costo de Anual O&M Cost (millones de Col\$/año) | Observaciones |
|-----------------------------------|--|---|
| Irrigación | 162.3 | Para las instalaciones de irrigación propuestas |
| Drenaje | 38.5 | Para la limpieza del Río Suárez |
| Abastecimiento Municipal de Agua* | 0.0 | Para el proyecto propuesto de Chiquinquirá |
| Total | 200.8 | |
| Total (millones US\$/año) | (0.10) | |

*: Costo adicional de O&M por el proyecto propuesto es insignificante.

CAPITULO IV MANEJO DE CUENCA Y ESCORRENTIA DE SEDIMENTOS

4.1 Geología

El Area de Estudio está conformado principalmente de rocas sedimentarias de la formación Cretácea sinclinal y anticlinal con orientacion NE-SO. Las rocas más antiguas se pueden encontrar en la parte Este del Area de Estudio, alrededor de Cucunubá. El Area de Estudio tiene 18 formaciones geológicas principales como se describen a continuación.

| Formación | Composición de la Formación |
|---|--|
| (1) Formación Simiti | Lutitas y limolitas negras, con intercalaciones de areniscas y calizas de pocos metros de espesor |
| (2) Formación Chiquinquirá | Areniscas de grano finos y lutitas negras |
| (3) Formación Simijaca | Lutitas y limolitas con capas finas de areniscas |
| (4) Formación La Frontera | Limolitas grises o negras intercaladas con lutitas negras |
| (5) Formación Conejo | Lodolita negro o gris con intercalacion de limolitas micaceas y areniscas |
| (6) Formación Arenisca Dura | Areniscas cuarzosas de grano fino a medio con capas de limonites lodolites |
| (7) Formación Plaeners | Limolitas silíceas grises intercalados con capas de arcillolitas |
| (8) Formación La Regadera | Cuarzos, de grano fino a medio, comunmente conglomerado con estratificación cruzada. |
| (9) Formación Bogotá | Lodolita abigarrada y arcillita limosa con lentes de arenisca, generalmente friable, abigarrada, de grano fino a medio; a rara veces lentes de conglomerado arenoso y capas delgadas de carbón de baja calidad |
| (10) Formación Guaduas | Arcillita limosa y arcillas, abigarradas, intercaladas con arenisca |
| (11) Formación Guadalupe Superior | Cuarzosa, dura a friable, de grano medio a grueso, limolita cuarzosa con silicea en capas delgadas; y arenisca cuarzosa, generalmente maciza, de grano medio, gris claro |
| (12) Formación Chipaque | Arcillolitas grises claros a oscuros con capas delgadas de areniscas de grano fino |
| (13) Formación Guadalupe Inferior | Arcillita limosa y limolita arcillosa, gris clara a gris oscura; silícea, caolínica, gris claro, con capas delgadas de limolita; y arenisca cuarzosa, gris claro |
| (14) Arenisca de El Cacho | Arenisca cuarzosa, de grano grueso a conglomerado, con intercalaciones de arcillolitas rojizas |
| (15) Miembro Arenisca Tierna | Areniscas cuarzosas, blancas, macizas, con intercalaciones de lutitas grises |
| (16) Miembros Arenisca de Labor y Los Pinos | Lutitas y limolitas negras con intercalaciones de areniscas de pocos centímetros de espesor |
| (17) Formación Tilata | Arenisca y arena, de grano fino a grueso, blanuzco a rojizo; conglomerado macizo, arenisca conglomerado y grava |
| (18) Aluvión y Coluvión | Arcilla limosa lacustre y fluvial; depósitos glaciales y terraza de material no consolidada |

Para ver la distribución en el Area de Estudio de las formaciones geológicas arriba presentadas, ver Apéndice D Fig. D.1.1.

4.2 Uso de Tierra

Dos mapas de uso de tierra estan disponibles para el Area de Estudio. La primera es de escala 1:250,000 que cubre todo el área de administración de la CAR y publicado en 1985. El uso de tierra del mapa está clasificado en siete (7) categorías.

El segundo mapa de uso de tierra es el preparado por el Proyecto Checua en 1990 y 1993. El uso de tierra de éste mapa está clasificado en detalles (12 categorías), considerando las condiciones de erosión de los suelos. El mapa cubre la parte central del Area de Estudio (que

equivale a aproximadamente al 60% del Area de Estudio).

El segundo mapa es comparativamente nuevo y no se han identificado diferencias significativas entre el mapa y el uso de tierra actual. Se considera que éste mapa muestra la actual condición del uso de tierra. Sin embargo, el primer mapa es viejo y algunos usos de tierra ya son diferentes en la actualidad. Entonces, éste mapa fué actualizado en las partes no cubiertas por el segundo mapa tanto en la parte superior (sur) e inferior (norte) del Area de Estudio utilizando las más recientes fotos aéreas e impresiones satelitarias y através de reconocimiento de campo.

Finalmente, fué preparado un mapa actual de uso de tierra integrado para el Area de Estudio combinando el primer mapa actualizado y el segundo mapa. El uso de tierra actualizado por área y por categoría en el Area de Estudio se muestra abajo.

| Categoría | Area (km ²) | (%) |
|---|-------------------------|-------|
| Bosque Primario/Secundario | 97 | 5.6 |
| Matorrales | 72 | 4.1 |
| Pastos en Terreno Plano | 301 | 17.2 |
| Pastos en Laderas | 314 | 17.9 |
| Terreno con Pastos/Agricultura Rotativa | 929 | 53.0 |
| Laguna | 30 | 1.7 |
| Area Urbana | 9 | 0.5 |
| Total | 1,752 | 100.0 |

El uso de tierra por cuenca está en el Apéndice D Tabla D.1.1.

El mapa actualizado de uso de tierra para el Area de Estudio es presentado en la Fig. 4.1.

4.3 Area de Reserva

El área de reserva está compuesta por bosque de reserva y por el distrito de administración integrado. El bosque de reserva a su vez está clasificado en zona de protección boscosa y zona de protección-producción boscosa.

En ambas zonas boscosas son prohibidas actividades agropecuarias, industriales, urbanizaciones, minerías, tala de árboles, quema, caza y pesca. En el distrito de administración integrado son prohibidas las actividades agrícolas mecanizadas, la ganadería, la recreación en gran escala, viviendas, minerías y extracción de materiales de construcción.

En el Area de Estudio, se han designado cuatro áreas de reserva y una está en trámite. Estas son mostrados a continuación.

| Nombre | Cuenca | Municipio | Area (ha) | Categoría |
|-----------------------------------|-----------------------------|--|-----------|---------------------------------------|
| El Robledal | Laguna de Fúquene | Guachetá y Ráquira | 400 | Zona de protección boscosa |
| Páramo de Rabanal | Laguna de Fúquene | Guachetá-Ráquira y Lenguazaque | 2,681 | Zona de protección boscosa |
| Juaitoque | Laguna Cucunubá | Cucunubá | 400 | Districto de Administración Integrado |
| Páramo de Telecóm y Merchán | Río Suárez | Saboyá | 1,857 | Zona de protección boscosa |
| Páramo de Guerrero y Laguna Verde | Río Bogotá y Laguna Fúquene | Tausa, Carmen de Carupa, Cogua y Zipaquirá | 23,573 | (en trámite) |

Las localizaciones pueden ser vistas en la Fig. 4.2.

4.4 Control de Erosión para el Area de Estudio

En 1982, la CAR ha empezado un proyecto llamado Checua (Proyecto Checua I) con el objetivo de controlar la erosión de suelos en la cuenca alta del Río Checua (un tributario de la parte alta del Río Bogotá). El proyecto se ha extendido al Area de Estudio para las cuencas del Río Suta (11,200 has), Río Ubaté (22,800 has) y la Laguna de Cucunubá (9,200 has) con un área total de 43,200 has en 1989. El Proyecto Checua I, incluyendo la parte que se ha extendido, se ha completado en 1995. Los trabajos implementados por el Proyecto Checua I en el Area de Estudio es resumido como sigue.

Trabajos Estructurales: Banquetas (8,129 km), pozetas ($584 \times 10^3 \text{ m}^3$), Represa de Control de Ladrillo (46 m^3), Represa de Control de Bolsas de Arena ($8,147 \times 10^3 \text{ m}^3$)
 Vegetación : Semillas ($1,020 \times 10^3$ hoyos), Arboles (201×10^3)

A más de los trabajos mencionados, una asistencia integral fué dada a los agricultores tanto en el área agrícola como en lo social.

En 1995 comenzó una posterior ampliación del Proyecto Checua I con el nombre de Proyecto II para cubrir 125,000 has en el Area de Estudio y será completado en 2004. El Proyecto II cubre todas las áreas críticas existentes con problemas de erosión en el Area de Estudio incluyendo las municipios de Simijaca, Susa, Fúquene, Guachetá, Ráquira, Ubaté, San Miguel de Sema, Lenguazaque y Carmen de Carupa. Los trabajos hechos ó planeados hasta 1999 son como sigue.

Trabajos Estructurales: Banquetas (2,908 km), pozetas ($44 \times 10^3 \text{ m}^3$), Embalse ($603 \times 10^3 \text{ m}^3$)
 Vegetación : Semillas ($3,415 \times 10^3$ hoyos), Arboles (430×10^3)

Los problemas de erosión de suelos de todas las áreas críticas del Area de Estudio serán controladas en el 2004 resultando en una significativa reducción de los sedimentos que entran a la Laguna de Fúquene.

4.5 Estimación de la Escorrentía de Sedimentos a la Laguna de Fúquene

Los sedimentos que son transportados a la Laguna desde la parte alta de la cuenca son de tres tipos: sedimento de fondo ó carga de fondo, sedimento suspendido ó carga suspendida y sedimento lavado ó carga lavada.

La carga de fondo es transportada por medio de su rodamiento o deslizamiento sobre el lecho del río. Esta carga siempre está en contacto con el lecho del río y no es suspendida bajo

ningun sentido. La carga suspendida es transportada hacia abajo, flotando en el agua del río. Esta carga no está en contacto con el lecho del río en ningun momento. Por último, la carga lavada es de tamaño fino comparado con la carga suspendida y es generada por la erosión de las áreas montañosas no cubiertas por vegetación y escurre hacia la Laguna sin que sedimentara en el lecho del río.

La escorrentía de la carga de fondo y de la carga suspendida del Río Ubaté fué analizada en el lugar denominado Colorado y para ello se utilizaron ecuaciones ampliamente empleadas en Japón. Por medio de éste análisis, fuéron establecidas las relaciones de $Q-Q_B$ y $Q-Q_S$. En relación a la escorrentía de la carga lavada, la curva $Q-Q_W$ fué obtenida por medio de mediciones de campo. En estas siglas, Q es el caudal del río, Q_B es la carga de fondo, Q_S es la carga suspendida y, Q_W es la carga lavada. El método de cálculo está mostrado en el Apéndice D Capítulo II, Sección 2.3.

El promedio anual de los volúmenes de escorrentía de las cargas de fondo, suspendida y lavada en el lugar denominado Colorado del Río Ubaté (722.4 km^2) se estiman empleando las curvas de arriba $Q-Q_B$, $Q-Q_S$ y $Q-Q_W$ para la serie de caudales del río considerando los promedios hidrológicos del año. Los volúmenes anuales calculados de escorrentía de sedimentos se muestran a continuación.

| Carga | Volúmen de Escorrentía del Río Ubaté ($\text{m}^3/\text{año}$) |
|------------------|--|
| Carga del Lecho | 11 |
| Carga Suspendida | 8,048 |
| Carga Lavada | 3,640 |
| Total | 11,699 |

La escorrentía anual promedio de sedimentos a la Laguna se estima en $16,068 \text{ m}^3/\text{año}$, asumiendo la misma tasa de escorrentía para la parte remanente de la cuenca (269.8 km^2).

La deposición anual promedio de sedimentos en el lecho de la Laguna se estima en 1.6 mm/año asumiendo que el área de deposición es de $3,000 \text{ has}$ y la porosidad del depósito de 0.67 .

La escorrentía actual de sedimentos hacia la Laguna no es grande. En el futuro, ha de decrecer de manera significativa, luego que se termine el Proyecto Checua II ya que éste cubre todas las áreas con erosión severa en el Area de Estudio.

CAPITULO V CONTROL DE CONTAMINACION Y CALIDAD DE AGUA

5.1 Calidad Actual de Agua de Río y de Laguna

5.1.1 Datos Disponibles de Calidad de Agua

(1) Localización del Muestreo y Frecuencia

La CAR ha analizado la calidad del río y de la laguna en el Area de Estudio desde 1993 según sus posibilidades y bajo su directa administración. Aparte de esto, en mayo de 1997, la CAR encomendó a consultores locales el análisis de calidad de agua. Sin embargo, los lugares de muestreo y frecuencia no son suficientes y por lo tanto, son limitados los datos que se disponen en la actualidad.

Los puntos de muestreos y la frecuencia, que se han considerado en el pasado son presentados en el Apéndice E Capítulo I Subsección 1.1.1 y Fig. E 1.1.

(2) Calidad de Agua en el Pasado

Los parámetros de calidad de agua analizados son los siguientes:

Temperatura de agua, CE, pH, OD (O₂ Disuelto), DBO, DQO, SS, Metales Pesados(Cd, Pb, Cr, Zn, Hg), NH₄, NO₃, NO₂, Kje-N, T-N, PO₄, T-P, T-Fe, Mg, Dureza (CaCO₃), Coliforme fecal.

Los datos de calidad de agua en los lugares de muestreos mencionados más arriba en el periodo 1993-1999, se pueden ver en el Apéndice E Tabla E.1.1. Entre éstos lugares de muestreo, se tienen tres lugares claves para la evaluación de la calidad de agua en el Area de Estudio y ellos son Río Ubaté (tramo final), Río Suárez (antes de Compuerta Tolón) y la Laguna de Fúquene. La calidad promedio de agua en el pasado de los tres lugares claves se encuentran resumidas a continuación.

| Parámetro | Río Ubaté (Tramo final) | Río Suárez (Antes de Tolón) | Laguna de Fúquene |
|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------------|
| Temp.agua (C°) | 16.3 | 17.5 | 17.7 |
| PH | 7.1 | 6.7 | 7.2 |
| OD (O ₂) (mg/l) | 4.1 | 3.9 | 6.4 |
| DBO (mg/l) | 3.8 | 2.0 | 2.5 |
| DQO (mg/l) | 31.1 | 46.0 | 25.6 |
| NH ₄ (mg/l) | 0.76 | 0.58 | 0.52 |
| T-N (mg/l) | 3.11 | 3.68 | 1.98 |
| T-P (mg/l) | 0.18 | 0.18 | 0.10 |
| T-Fe (mg/l) | 1.45 | 2.73 | 0.75 |
| Metales Pesados (mg/l) | N.D. ó Despreciable | N.D. ó Despreciable | N.D. ó Despreciable |

N.D. : No Detectado.

Como se muestra en la tabla de arriba, la calidad de agua está caracterizada como sigue.

- (a) La temperatura del agua es moderada y varia poco durante el año.
- (b) T-Fe es considerablemente alto.

- (c) DQO es también alto.
- (d) NH_4 es muy alto. Se le considera alto debido principalmente a las aguas residuales de los campos de ganado.
- (e) La Laguna de Fúquene presenta una alta eutroficación, en consideración a que los valores del T-N y del T-P exceden mucho al criterio ordinario de eutroficación de lagunas (T-N>0.2 mg/l, T-P>0.02 mg/l).

5.1.2 Medición Suplementaria de Calidad de Agua

Con el fin de complementar los datos existentes, se han realizado, durante la época de lluvia (abril a mayo) y la época de sequía (julio a septiembre) de 1999, las siguientes mediciones: calidad de agua de los ríos y de la laguna, calidad de los depósitos en el río y en la Laguna, características biológicas de la Laguna, tasas de transparencia/liberación/producción/sedimentación en la Laguna y calidad de agua del alcantarillado y de las fábricas. Los lugares de medición, parámetros y frecuencia son descriptas a continuación.

(1) Medición de la Calidad del Agua

(a) Medición de la Calidad del Agua de la Laguna

La calidad del agua de la Laguna fué medida en 4 puntos (cerca de la boca del Río Ubaté (QL-1), cerca del puerto (QL-2), centro (QL-3) y cerca de la salida del Río Suárez (QL-4) y se han considerado 34 parámetros de calidad para el análisis en la época de lluvia y 37 parámetros de calidad para el análisis en la época de sequía. Para los lugares de muestreo, ver el Apéndice E Fig. E.1.2.

La medición fué realizada dos (2) veces en época de lluvia y una (1) vez en época de sequía.

Los parámetros medidos y los resultados se muestran en el Apéndice E Tabla E.1.2 y en la Tabla E.1.12.

(b) Medición de la Calidad del Agua en Estaciones Principales de los Ríos

La calidad del agua de los ríos fué medida en diez (10) estaciones principales, y se han considerado 36 parámetros de calidad para el análisis en la época de lluvia y 39 parámetros de calidad para el análisis en la época de sequía. Para los lugares de muestreo ver Apéndice E Capítulo I Subsección 1.2.1/1.3.1 y Fig. E.1.2.

La medición fué realizada tres (3) veces en época de lluvia y dos (2) veces en época de sequía.

Para los parámetros medidos y los resultados ver Apéndice E Tabla E.1.3. y la Tabla E.1.13.

(c) Medición de la Calidad del Agua en Estaciones Secundarias de los Ríos.

La calidad del agua de los ríos fué medida en diez (10) estaciones secundarias considerando 13 parámetros de calidad tanto para la época de lluvia como para la época de sequía. Estas mediciones se han realizado para analizar la

escorrentía de la carga contaminante de fuentes no puntuales. Para los lugares de muestreo ver Apéndice E Capítulo I Subsección 1.2.1/1.3.1 y Fig. E.1.2.

La medición fue realizada dos (2) veces en cada una de las épocas de lluvia y de sequía.

Para los parámetros observados y resultados, ver el Apéndice E Tabla E.1.4. y la Tabla E.1.14.

(d) Medición Continua de la Calidad del Agua en el Río Ubaté

La calidad del agua del Río Ubaté, en el lugar denominado Colorado, se midió continuamente durante una crecida a fin de analizar la relación entre el caudal del río y la entrada de carga contaminante a la Laguna. Los lugares de muestreo se presentan en el Apéndice E Fig. 1.2. Para los parámetros medidos y resultados, ver también Apéndice Tabla 1.5.

(e) Medición de la Calidad del Agua Subterránea

La calidad del agua subterránea se midió en época seca en dos (2) lugares considerando 39 parámetros de calidad. Para la localización de los puntos de muestreos, ver Apéndice E Capítulo I Subsección 1.3.1 y Fig. E.1.2.

La medición se hizo dos (2) veces. Para los parámetros medidos y los resultados, ver Apéndice E Tabla E.1.13.

(2) Medición de la Calidad del Depósito

La calidad del depósito en el lecho de la laguna se midió en los mismos lugares donde se hizo la medición de la calidad del agua en la época de lluvia. La calidad del depósito en el lecho de los ríos también fue medida en las principales estaciones donde se ha medido la calidad del agua en la época de lluvia. La medición se realizó una (1) vez. Los parámetros medidos son 26.

Para los parámetros medidos y los resultados, ver el Apéndice E Tabla E.1.6.

(3) Medición Biológica en la Laguna

La medición biológica fue realizada en los mismos lugares donde se realizó la medición de la calidad del agua de la Laguna en las épocas de lluvia y de sequía. La medición incluye muestreo/análisis de las características que se muestran a continuación. Se realizaron mediciones una (1) vez en la época de lluvia y una (1) en la época de sequía.

| | |
|-------------------|--|
| Muestreo/Análisis | Clorofila-a, Fitoplancton, Zooplancton, Bentos |
|-------------------|--|

Para los resultados de la medición, ver el Apéndice E Tabla E.1.7 y la Tabla E.1.15.

(4) Pruebas de Transparencia, Liberación, Producción y Sedimentación

Las siguientes pruebas y mediciones fueron realizadas en la Laguna, una (1) vez para cada una de las épocas de lluvia y sequía.

| Prueba/Medición | Localización | Observaciones |
|---------------------------|--|---|
| Medición de Transparencia | 4 lugares, las mismas utilizadas para la medición de calidad de agua | |
| Prueba de Liberación | 1 lugar cercano al puerto | Prueba de liberación de fósforo y otras sustancias desde el lecho de la laguna, una (1) vez en época de lluvia. |
| Prueba de Producción | 4 lugares, las mismas utilizadas para la medición de calidad de agua | Medición de producción primaria de fitoplancton (absorción y emisión de oxígeno) |
| Prueba de Sedimentación | 4 lugares, las mismas utilizadas para la medición de calidad de agua | Medición de la sedimentación de detritos (incluyendo partículas inorgánicas) |

Para la prueba y los resultados de la medición, ver el Apéndice E Tabla E 1.8 – E.1.10, Tabla E.1.16 – E1.17 y Fig. E.1.3 – E.1.4.

(5) **Medición de la Calidad de las Aguas Residuales del Alcantarillado y de las Fábricas**

La Calidad de las Aguas Residuales del Alcantarillado y de las Fábricas se midió en 13 lugares (alcantarillado: 4, fábricas: 9) una (1) vez para cada una de las épocas de lluvia y sequía. Los parámetros medidos son 17. Para los lugares de muestreo, ver el Apéndice E Capítulo I, Sub-sección 1.2.5.

Para los resultados de la medición, ver el Apéndice E Tabla E 1.11. y Tabla E.1.18.

5.1.3 Evaluación de los Resultados de Mediciones Suplementarias

(1) **Calidad de Agua de la Laguna y del Río**

(a) **Calidad de Agua Promedio**

Se resume a continuación la calidad de agua promedia en estaciones claves de los ríos y de la Laguna tanto para la época de lluvia como para la época de sequía:

| Parámetro | Embalse Hato (Salida) | | Río Ubaté (Colorado) | | Río Suárez (Antes de Tolón) | | Laguna Fúquene (Promedio) | |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|
| | Lluvia | Sequía | Lluvia | Sequía | Lluvia | Sequía | Lluvia | Sequía |
| Temp. Agua (C°) | 14.0 | 14.4 | 16.0 | 18.4 | 16.1 | 18.2 | 16.6 | 17.2 |
| PH | 7.0 | 7.6 | 7.0 | 6.95 | 6.9 | 6.7 | 6.7 | 6.74 |
| OD (O ₂) (mg/l) | 6.0 | 6.2 | 6.3 | 0.7 | 0.3 | 2.3 | 3.3 | 4.5 |
| DBO (mg/l) | 2.5 | 1.0 | 3.5 | 6.2 | 1.5 | 2.3 | - | - |
| DQO (mg/l) | 17.7 | 21.5 | 22.7 | 64.0 | 51.7 | 41.1 | 34.3 | 28.5 |
| T-N (mg/l) | 1.12 | 3.25 | 2.18 | 6.9 | 2.44 | 2.5 | 2.10 | 1.55 |
| T-P (mg/l) | 0.08 | 0.14 | 0.30 | 0.78 | 0.12 | 0.07 | 0.10 | 0.04 |
| NH ₄ (mg/l) | 0.77 | 0.43 | 0.68 | 2.34 | 1.24 | 0.53 | 0.88 | 0.54 |
| T-Fe (mg/l) | 1.68 | 1.46 | 3.46 | 2.84 | 18.3 | 5.89 | 1.46 | 1.72 |
| Metales | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| Pesados (mg/l) | | | | | | | | |
| Pesticidas (mg/l) | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| Total Coli. (NMP) | 70 | <20 x 10 ² | >24 x 10 ⁶ | 16 x 10 ⁴ | 15 x 10 ² | 17 x 10 ² | 37 x 10 ² | 15 x 10 ² |

N.D.: No Detectado

De la tabla de arriba se deduce que la calidad del agua tanto del río como la de la laguna están caracterizadas como sigue:

- (i) En términos generales, la calidad del agua en el Embalse del Hato es buena y muestra una pequeña diferencia entre la época de lluvia y la seca. La calidad del agua en las partes bajas del Río Ubaté se vuelve peor en la época seca por la disminución de la tasa de flujo del río. Por otro lado, aquellas en el Río Suárez (corriente arriba de la Compuerta Tolón) y la Laguna son mejores en la época seca que en la época de lluvia.
- (ii) La OD (O₂) en la Laguna y en el Río Suárez (Antes Compuerta Tolón) es bajo, especialmente en la época de lluvia y no satisface las normas de la CAR de agua cruda para consumo humano (uso con desinfectante: 6.0 mg/l, uso con tratamiento convencional: >4.0 mg/l). EL promedio de OD en la Laguna excluyendo el área central baja aún más al nivel de 2.8 mg/l en época de lluvia. Este bajo OD es considerado principalmente debido a la descomposición de las plantas acuáticas marchitadas (especialmente la Elodea) y el detritus que consumen una gran cantidad de oxígeno disuelto en el agua.

Además, un bajo OD se encuentra igualmente en las partes bajas (Colorado) del Río Ubaté en la época seca. Esto se debe definitivamente a los efluentes del alcantarillado de la ciudad de Ubaté.

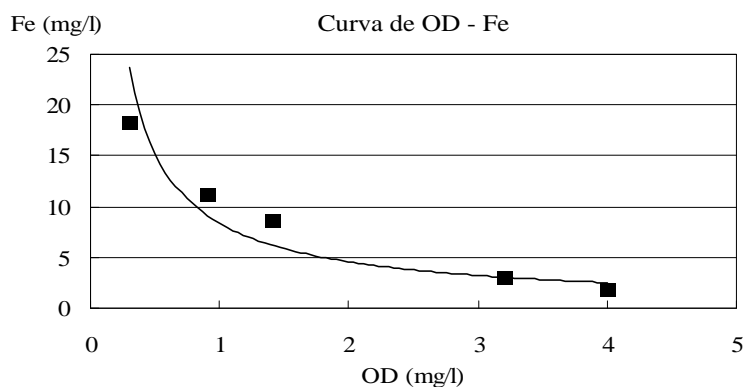
- (iii) La DBO en el río es comparativamente baja. Sin embargo, la DQO en los dos ríos y en la laguna es bastante alta. Se considera que esto se debe al alto contenido de ácido húmico en el agua. Para detalles, véa el Apéndice E, Capítulo I, Sub-sección 1.4.1.
- (iv) La concentración de Fe en el agua del río y de la laguna es igualmente alta. Se considera que es debida a que el suelo del Area de Estudio contiene un alto grado de Hierro. Esto puede ser probado del hecho que el agua subterránea del Area de Estudio muestra una alta concentración de Fe como se muestra abajo.

| No. | Ubicación | Nombre del Pozo | Fe Promedio (mg/l) |
|------|-------------------|-------------------------|--------------------|
| QU-1 | Cerca de Colorado | Albaida II (Pozo No. 4) | 94.0 |
| QU-2 | Saboyá | Pozo Sugamuxi | 66.9 |

El Fe en los Ríos de Ubaté, Lenguaque, Susa, Simijaca y Chiquinquirá muestra una variación comparativamente pequeña de 0.59 – 3.46 mg/l (promedio: 1.99 mg/l). Se considera que ésto es debido al alto nivel comparativo de OD (promedio: 5.1 mg/l) de los ríos.

Sin embargo, el Fe en el Río Suárez (salida de la Laguna – Compuerta Tolón) varía bastante de 1.75 mg/l a 18.30 mg/l (promedio: 7.50 mg/l). El valor de Fe experimenta un incremento repentino de acuerdo con el decrecimiento de OD como se muestra a continuación.

Se considera que ésto es debido a que los depósitos en el río están bajo una condición anaeróbica alta.



(v) Ni pesticidas ni metales pesados son identificados en las aguas del río ó la laguna.

(vi) Alto contenido de NH_4 y Coliformes se miden en las aguas de río y la laguna. Se considera que ésto es debido principalmente a la gran cantidad de aguas residuales de la cría de ganado en el Area de Estudio.

(vii) T-N y T-P en la Laguna exceden en gran cantidad los criterios ordinarios de eutroficación de lagunas (T-N>0.2 mg/l, T-P>0.02 mg/l).

(b) Problemas Específicos de Calidad de Agua

(i) Las aguas residuales del alcantarillado de las ciudades de Ubaté y Chiquinquirá afectan en gran medida la calidad del agua en las partes bajas de los ríos en tiempos de sequía. La calidad de agua medida en tiempos de sequía es resumida a continuación. El agua en las secciones de los ríos inmediatamente después de la descarga de efluentes del

alcantarillado de las ciudades de Ubaté y Chiquinquirá, está muy contaminada, con un color negro y un mal olor, además emite una sustancia tóxica (H₂S).

| Ubicación | Q (mg/l) | OD (mg/l) | DBO (mg/l) | DQO (mg/l) | H ₂ S (mg/l) |
|--|----------|-----------|------------|------------|-------------------------|
| Río Ubaté antes de la Confluencia del Río Suta | 0.47 | 6.3 | 2.0 | 5.8 | |
| Río Suta después del Efluente del Alcantarillado de Ubaté | 0.08 | 0.9 | 183.0 | 403.0 | 3.00 |
| Río Ubaté después de la Confluencia del Río Suta | 0.55 | 5.3 | 24.1 | 44.1 | |
| Río Ubaté después de la Confluencia del Río Lenguazaque | | 4.5 | 3.1 | 24.5 | |
| Río Suárez después del Efluente del Alcantarillado de Chiquinquirá | 0.68 | | 137.0 | 399.0 | |

- (ii) La descomposición de las plantas acuáticas marchitas y del detritus consume una gran cantidad de oxígeno en el agua de la laguna, haciendo al agua anaerobia. Una amplia zona de la laguna donde crece densamente las plantas acuáticas está bajo condición anaeróbica en la actualidad. En dicha zona, el agua de la laguna es teñida de negro, emitiendo una sustancia tóxica (H₂S) altamente concentrada. Tales condiciones fueron confirmadas en los tres (3) lugares representativos tal como se muestra a continuación.

| Ubicación | Superficie de la Laguna | | Lecho de la Laguna | |
|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|
| | OD (mg/l) | H ₂ S (mg/l) | OD (mg/l) | H ₂ S (mg/l) |
| Cerca del Puerto | 0.0 | 1.20 | | |
| Entre el Puerto y la Salida al Suárez | 0.4 | 0.40 | 0.0 | 0.50 |
| Cerca de la Salida al Suárez | 1.9 | 0.01 | 0.0 | 2.60 |

(c) Relación entre la Calidad de Agua y la Profundidad de la Laguna

Se resume a continuación la relación entre la calidad del agua y la profundidad del agua de la laguna:

- (i) La temperatura del agua de la laguna es casi constante (16-18 °C) sin importar la profundidad del agua en las épocas lluviosa y seca.

- (ii) La turbidez del agua es alta sólo en la época de lluvia, la cual alcanza 20 mg/l sin importar la profundidad del agua excepto cerca de la boca del Río Ubaté. En este lugar el Río Ubaté tiene una turbidez de 60 mg/l.

- (iii) La transparencia del agua de la laguna decrece a una alta tasa conforme aumenta la profundidad del agua. La tasa de iluminación relativa decrece en 1.0% con respecto al de la superficie a una profundidad de aproximadamente de 1.0 m en la época de lluvia. Sin embargo, la transparencia es comparativamente grande en la época seca y una iluminación relativa de 1.0% se extiende a 1.5 – 3.5 m de profundidad.

- (iv) El OD (O₂), en ciertos lugares, está afectado por la condición de

crecimiento de las plantas acuáticas. Sin embargo, generalmente hablando, en época seca, el OD (O_2) varía en pequeñas cantidades o decrece gradualmente conforme se incrementa la profundidad del agua. Mientras que, en la época de lluvia, repentinamente decrece al incrementarse la profundidad del agua.

(v) Los valores diurnos y nocturnos del OD (O_2) fueron comparados en un lugar cerca del Puerto en época de lluvia. El OD diurno fue constante sin importar la profundidad. Por otro lado, el OD nocturno ha decrecido a una alta tasa conforme al aumento de la profundidad y se vuelve cero a una profundidad de 2.5 m. Ello es debido a los efectos de respiración nocturna de la Elodea.

La Fig. 5.1 muestra la relación entre la calidad del agua y la profundidad.

(2) Calidad del Depósito en el Lecho del Río y de la Laguna

La calidad del depósito en las principales estaciones de los ríos y de la Laguna se muestra a continuación.

| Item | Laguna (Promedio) | Río Ubaté (Colorado) | Río Suárez (Compuerta Tolón) |
|--------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Color | Negro/Gris Oscuro | Marrón Oscuro | Gris Oscuro |
| DQO (mg/seco-g) | 87.1 | 208.2 | 99.4 |
| T-N (mg/seco-g) | 4.60 | 1.01 | 3.80 |
| T-P (mg/seco-g) | 0.148 | 0.454 | 0.037 |
| Pérdida por Ignición (%) | 16.4 | 45.2 | 17.8 |
| Sulfuro (mg/seco-g) | 0.98 | 0.84 | 1.24 |
| ORP* (mV) | -132.0 | -95 | -142 |

* ORP: Potencial de Reducción - Oxidación.

- (a) La pérdida por ignición es más que el 15% tanto para los depósitos del río como para las de la Laguna. Ello significa que los depósitos contienen una alta cantidad de sustancias orgánicas. También ello es confirmado por la alta concentración de DQO, T-N y T-P en los depósitos.
- (b) El Potencial de Reducción - Oxidación (ORP) de los depósitos del río y de la laguna es tan bajo como - 95 a - 100 mV. Ello indica una alta condición anaerobia de los depósitos. Los depósitos contienen mucho sulfuro (H_2S) y son de color negro ó gris oscuro.
- (c) Entre los nueve (9) principales metales pesados (As, Cd, CN, Cr^{6+} , Cu, Hg, Ni, Pb y Zn) no se han detectado la presencia de Cd, CN, Cr^{6+} y Hg en los depósitos del río y de la laguna, mientras que un cierto nivel de concentración de As, Cu, Ni, Pb y Zn fueron identificados. Sin embargo, éstos niveles de concentración son tan bajos como los que encuentran en suelos ordinarios, no causando problemas sobre el ambiente acuático.
- (d) No se han detectado pesticidas tanto en los depósitos del río como en los de la laguna.

(3) Pláncton y Bentos en la Laguna

(a) Pláncton

(i) Existe poca cantidad de fitopláncton en la Laguna durante todo el año, siendo 32 especies las encontradas con una densidad poblacional promedio (número de células) de 5,408 células/ml. La concentración promedio de Clorofila-a es tan bajo siendo su valor de 0.92 mg/m³. Estos valores bajos pueden ser atribuidos a la relativa baja temperatura de la Laguna. La temperatura del agua de la Laguna se mantiene alrededor de 17 °C a través del año y el mismo nunca alcanza los 20 °C.

(ii) En las lagunas de Japón con eutroficación típica, la población de fitopláncton usualmente tiene un incremento explosivo cuando la temperatura del agua excede los 20 °C en época de verano retornando a su población original cuando la temperatura del agua vuelve a bajar en época de invierno. La población de fitopláncton y la concentración de clorofila-a de la Laguna de Fúquene son comparadas con las de las lagunas eutroficadas típicas de Japón como se muestra abajo. La variación estacional de la población de fitopláncton en las lagunas eutroficadas típicas de Japón es mostrado en el Apéndice E.Fig. E.1.5.

| Laguna | Fitopláncton (células/ml) | Clorofila-a (mg/m ³) | Temperatura de agua (°C) | T-N promedio (mg/l) | T-P promedio (mg/l) |
|------------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|
| Fúquene | 5,408 | 0.92 | 16.9 | 1.83 | 0.07 |
| Biwa-Parte Sur (Japón) | 650-79,000 | 3.6-30.3 | 5.0-30.2 | 0.40 | 0.02 |
| Kasumigaura (Japón) | 10,000-270,000 | 56-110 | 4.5-30.2 | 0.86 | 0.08 |

(iii) La población existente de zoopláncton en la Laguna de Fúquene es también pequeña durante el año, habiendo solo cuatro (4) especies con una densidad poblacional promedio de 2.0 células/ml.

(b) Bentos

No fueron identificados bentos en los depósitos de la Laguna ya que incluso la capa superficial del lecho de la laguna tiene condición anaerobia. Esta condición anaerobia puede ser causada por la descomposición de las plantas acuáticas y detritos depositados sobre el lecho de la laguna. Generalmente, las lagunas limpias contienen oxígeno en la capa superficial del lecho donde viven los moluscos y varias especies de bentos.

(4) Tasa de Sedimentación, Liberación y Producción en la Laguna

- (a) La tasa de sedimentación promedio de las partículas en la Laguna se estima en $SS = 2.32 \text{ g/m}^2/\text{d}$ en época de lluvia y $SS = 1.09 \text{ g/m}^2/\text{d}$ en época de sequía.
- (b) Los elementos químicos depositados sobre el lecho de la laguna se disuelven de nuevo en el agua. Las tasas de liberación de DQO, T-N y T-P desde el lecho de la laguna son estimadas como sigue: $DQO = 900 \text{ mg/m}^2/\text{día}$, $T-N = 60 \text{ mg/m}^2/\text{día}$, $T-P = 0.55 \text{ mg/m}^2/\text{día}$.

- (c) La tasa promedio de producción de fitopláncton en la Laguna se estima en 2.23 Cg/m²/día.

5.1.4 Estándares de Calidad de Agua Superficial y de Efluentes

(1) Estándares Nacionales

El Gobierno de Colombia ha estipulado los estándares nacionales de calidad de agua superficial (concentración de calidad de agua permisible para usos doméstico, agrícola, de consumo animal y recreacional) y de efluentes (concentración permisible de aguas residuales que van a ser descargadas a un río y al alcantarillado) por medio del Decreto 1594, 1984. Los estándares nacionales estipulan los mínimos valores a ser cumplidos en toda la nación. Ellos se muestran en el Apéndice E Tabla E.1.19.

(2) Estándares de la CAR

La CAR promulgó el Acuerdo 58, 1987, que corresponde a los estándares sobre agua superficial, a ser aplicados en todo el área que cae bajo su administración, basado en los estándares nacionales. Ver Apéndice E, Tabla E.1.20. Además, la CAR categorizó la meta de calidad de agua en cuatro (4) clases A, B, C y D de acuerdo con el nivel de uso de agua de los ríos y designó la clase de ríos bajo su jurisdicción a través del Acuerdo 58, 1987. Los parámetros principales de la calidad de agua meta en cada clase se muestra a continuación. Las secciones de río en el Area de Estudio son clasificadas como se muestra en la Fig. 5.2.

| Parámetro | Unidad | Clase-A | Clase-B | Clase-C | Clase-D |
|----------------------|--------|---------|---------|---------|---------|
| PH | | 6.5-8.5 | 5.0-9.0 | 4.5-9.0 | 4.5-9.0 |
| OD (O ₂) | mg/l | 6.0 | 5.0 | 2.0 | - |
| DBO | mg/l | 5.0 | 10.0 | 30.0 | 100.0 |
| Total Col. | NMP | 5,000 | 5,000 | 10,000 | - |

5.2 Cargas y Fuentes de Contaminación Puntual

5.2.1 Inventario de Fuentes Existentes de Contaminación Puntual

(1) Sistema de Alcantarillado

El Area de Estudio parcialmente ó totalmente esta cubierto por 17 municipios de entre las cuales los centros urbanos de 14 municipios están localizados en el Area de Estudio. Estos 14 municipios son: Carmen de Carupa, Ubaté, Tausa, Susatausa, Cucunubá, Lenguazaque, Guachetá, San Miguel de Sema, Fúquene, Susa, Simijaca, Caldas, Chiquinquirá y Saboyá. El Municipio de Fúquene tiene dos (2) centros urbanos: Fúquene y Capellanía. Los otros municipios tiene un (1) centro urbano. Todos los 15 centros urbanos cuentan con un sistema de alcantarillado. Un inventario del sistema actual de alcantarillado fué preparado utilizando datos disponibles y a través de encuestas y entrevistas a funcionarios relacionados. El inventario es resumido a continuación:

| Municipio/ Centro Urbano | Pob.Urb | Pob.Serv | Area Serv (ha) | No. de Fábrica Serv. | Sistema Recolector | Sistema de Tratamiento | Río Receptor |
|-----------------------------|---------|----------|-------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|
| C. de Carupa | 1,511 | 1,300 | 38 | 0 | Combinado | Ninguno | Q. Suchinlaca |
| Ubaté | 16,883 | 16,750 | 158 | 88 | Combinado | R.A.P* | R. Suta |
| Tausa | 955 | 955 | 25 | 2 | Separado | Ninguno | R. Suta |
| Sutatausa | 1,104 | 582 | 35 | 0 | Combinado | Ninguno | R. Suta |
| Cucunubá | 1,226 | 1,153 | 26 | | Combinado | Laguna | R. San Isidro |
| Lenguazaque | 2,133 | 1,800 | 49 | 0 | Separado | L.A. | R. Lenguazaque |
| Guachetá | 3,621 | 3,366 | 57 | 7 | Combinado | Ninguno | Q. Gualacia |
| S. M. de Sema | 525 | 500 | 31 | 1 | | L.E. | Q.Santa Ana |
| Fúquene (Fúquene) | 348 | 500 | 15 | 0 | Separado | Ninguno | Irrigación |
| Fúquene (Capellanía) | 500 | 800 | | | Separado | Ninguno | Q.Bautista |
| Susa | 1,368 | 1,300 | 60 | 1 | Separado | Ninguno | R. Susa |
| Simijaca | 4,215 | 4,500 | 85 | 1 | Combinado | Ninguno | R. Simijaca |
| Caldas | 275 | 86 | 14 | 0 | Combinado | Ninguno | R. Chiquinquirá |
| Chiquinquirá | 41,021 | 42,000 | 458 | 12 | Combinado | Ninguno | R. Suárez |
| Saboyá | 979 | 1,098 | 40 | 0 | Separado | L.E. | Q. La Ruda |

R.A.P.: Reactor Anaerobio de Pistón, L.A.: Lodo activado, L.E.: Laguna de estabilización

Como se muestra en la tabla de arriba, cerca del 100% de la población urbana está servida con un sistema de alcantarillado. Sin embargo, solo cinco (5) municipios cuentan con un sistema de tratamiento.

Para detalles, ver Apéndice E Tabla E.2.1.

(2) Mataderos

Cada uno de los 14 centros urbanos del Area de Estudio tiene un (1) matadero. Un inventario de los mataderos existentes fué preparado utilizando para ello datos disponibles y por medio de encuestas y entrevistas a los funcionarios relacionados. Los resultados son resumidos a continuación:

| Municipio | Animal | Animal Nos. (cabeza/semanal) | Sistema de Tratamiento | Cuerpo receptor |
|---------------|---------|---------------------------------|------------------------------|------------------|
| C. de Carupa | Bovino | 15 | Tanque Séptico | Alcantarillado |
| Ubaté | Bovino | 150 | Tanque Séptico | Alcantarillado |
| | Porcino | 72 | y Tratamiento Anaeróbico | |
| | Ovino | 72 | | |
| Tausa | Bovino | 18 | Tanque Séptico | Alcantarillado |
| Sutatausa | Bovino | 11 | Tanque Séptico | Q. Chiritoque |
| Cucunubá | Bovino | 5 | Tanque Séptico | Alcantarillado |
| Lenguazaque | Bovino | 24 | Tanque Séptico | Alcantarillado |
| Guachetá | Bovino | 21 | Tanque Séptico | Alcantarillado |
| S. M. de Sema | Bovino | 2 | Tanque Séptico | Q.Los Cerezos |
| Fúquene | Bovino | 21 | Pozo de Sangre Únicamente | R. Fúquene |
| Susa | Bovino | 22 | Tanque Séptico | Alcantarillado |
| Simijaca | Bovino | 35 | Tanque Séptico | Q. El Capitodijo |
| Caldas | Bovino | 4 | Pozo de Sangre Únicamente | Q. La Raya |
| Chiquinquirá | Bovino | 115 | Pozo de Sangre Únicamente | Río Suárez |
| Saboyá | Bovino | 21 | Tanque Séptico | Q. El Cantoco |

(3) Establecimientos Industriales

Los establecimientos industriales existentes en el Area de Estudio son clasificados en cinco categorías: (i) procesadoras de leche, (ii) enfriadoras de leche, (iii) estaciones de gasolina, (iv) otras fábricas, y (v) minerías. Entre ellas, las industrias que descargan significantes cargas contaminante y que afectan la calidad de agua de los Rios son las procesadoras y enfriadoras de leche.

Existen 44 fabricas procesadoras de leche y seis (6) enfriadoras de leche en el Area de Estudio cuyos detalles se presentan mas abajo. Como se muestra en la tabla de abajo, las aguas residuales de las fábricas en su mayor parte son descargadas al sistema de alcantarillado.

| Municipio | Nos. of Fábricas | | Cuerpo receptor de aguas residuales |
|---------------|------------------|-------------|--|
| | Procesadoras | Enfriadoras | |
| Ubaté | 27 | 2 | Alcantarillado: 26, Irrigación: 3 |
| Tausa | 1 | 0 | Río: 1 |
| Guachetá | 1 | 0 | Río: 1 |
| S. M. de Sema | 0 | 1 | Alcantarillado: 1 |
| Fúquene | 2 | 0 | Irrigación: 1, Río: 1 |
| Simijaca | 4 | 2 | Alcantarillado: 4, Irrigación: 1, Río: 1 |
| Chiquinquirá | 9 | 1 | Alcantarillado: 10 |
| Total | 44 | 6 | |

Los detalles pueden ser vistos en Apéndice E Tabla E.2.2.

5.2.2 Carga Generada y Carga Contaminante del Efluente Actual

(1) General

La carga contaminante puntual incluye a las cargas de origen doméstico, de mataderos y de industrias. Todas las cargas domésticas y la mayor parte de las cargas de mataderos y de fábricas son descargadas a los ríos através del sistema de alcantarillado. Algunos mataderos y fábricas descargan directamente en los ríos.

En ésta Sub-sección, primeramente, son estimadas las cargas contaminantes generadas en las fuentes mencionadas anteriormente y luego son estimadas la carga del influente al alcantarillado, la carga del efluente del alcantarillado y la carga de la descarga directa de los mataderos y fabricas en los ríos.

Las cargas contaminantes de las fuentes puntuales, en éste estudio de simulación de carga contaminante, son estimadas utilizando los parámetros DDB, DQO, T-N y T-P.

(2) Carga Contaminante de Origen Doméstico

La carga contaminante de origen doméstico generada en cada municipio es obtenida como el producto de la población servida con alcantarillado y la carga contaminante unitaria per cápita. La carga unitaria de DBO es asumido en ser de 50 g/persona/día basado en los valores de diseño adoptados por los sistemas de alcantarillado existentes en el Area de Estudio. Las cargas unitarias contaminantes de DQO, T-N y T-P son asumidos en ser a los señalados por las normas de Japón como sigue:

| (g/persona/día) | | | |
|-----------------|-----|-----|-----|
| DBO | DQO | T-N | T-P |
| 50 | 63 | 9.5 | 1.0 |

La carga contaminante de origen doméstico, generada por cada municipio, es mostrado en el Apéndice E Tabla E.2.3.

(3) Carga Generada y Carga Contaminante de Efluentes de Mataderos

La carga contaminante generada por los mataderos de cada municipio es obtenida como el producto del número de animales sacrificados y la carga contaminante unitaria. Los animales sacrificados en su mayoría son bovinos y los otros son insignificantes. Entonces, la carga contaminante se estima para el ganado bovino.

La carga unitaria de DBO generada por el ganado bovino se asume en 7,500 g/cabeza/día (volumen de agua residual: 1,000 l/cabeza/día, concentración: 7,500 mg/l), basado en las normas de diseño de la CAR.

Por otro lado, los mataderos existentes están todos provistos con algún proceso primario de tratamiento. Así, las cargas contaminantes generadas son tratadas hasta cierto punto. La calidad del efluente en DBO, DQO, T-N y T-P se estima, con base en los análisis adelantados por la CAR en ocho (8) municipios cercanos a Bogotá y por medio de muestreos realizados por el Equipo de Estudio en el Area . La calidad estimada del efluente se muestra a continuación:

| Parámetro | DBO | DQO | T-N | T-P |
|---------------|-------|-------|-----|-----|
| Concentración | 2,500 | 4,000 | 500 | 10 |

La carga contaminante del efluente de cada matadero se presenta en el Apéndice E Tabla E. 2.6.

(4) Carga Generada y Carga Contaminante de Efluentes de Fábricas

La carga contaminante de las fábricas incluyen a las procesadoras de leche y a las enfriadoras de leche. La carga contaminante generada por cada fábrica es obtenida como el producto de la cantidad de leche procesada y la carga contaminante.

La carga unitaria de DBO generada en las fábricas procesadoras y enfriadoras de leche se asumen como sigue, basado en las normas de diseño de la CAR.

| Actividades | Volúmen de Agua Residual | DBO (mg/l) |
|------------------------|--------------------------|------------|
| Procesamiento de Leche | 5.0 l/L de Leche | 2,700 |
| Enfriamiento de Leche | 2.5 l/L de Leche | 800 |

Entre las 50 fábricas procesadoras y enfriadoras de leche, sólo ocho (8) fábricas están provistas con sistema de tratamiento cuya eficiencia de tratamiento en DBO se asume en un 40%.

Las cargas de efluentes en DQO, T-N y T-P son estimadas con base en la relación de

DBO-DQO, DBO-T-N y DBO-T-P, obtenidas de los muestreos de calidad de agua hechas por el Equipo de Estudio.

Las cargas unitarias de DBO, DQO, T-N y T-P del efluente de las fábricas procesadoras y enfriadoras de leche con ó sin proceso de tratamiento, son estimadas como sigue:

| | | (g/litro de leche/día) | | | |
|----------------------|-------------|------------------------|-------|------|------|
| | Tratamiento | DBO | DQO | T-N | T-P |
| Procesadora de Leche | Sin | 13.5 | 16.53 | 3.49 | 1.69 |
| | Con | 8.1 | 9.92 | 2.10 | 1.01 |
| Enfriadora de Leche | Sin | 2.0 | 2.45 | 0.52 | 0.25 |
| | Con | 1.2 | 1.47 | 0.31 | 0.15 |

La carga contaminante del efluente de cada fábrica es presentada en el Apéndice E Tabla E.2.7.

(5) Carga Contaminante del Efluente del Sistema de Alcantarillado

Todas las cargas contaminantes de origen doméstico entran al sistema de alcantarillado. Las cargas contaminantes de siete (7) mataderos entran al sistema de alcantarillado mientras que la de los siete (7) restantes son descargadas directamente en los ríos. Las cargas contaminantes de 41 fábricas entran al sistema de alcantarillado y de las de nueve (9) fábricas son descargadas en los Ríos ó en sistemas de irrigación.

Las cargas totales contaminantes del influente de origen doméstico, de mataderos y de fábricas, al sistema de alcantarillado, son calculadas como se muestra en el Apéndice E, Tabla E.2.8.

De entre los 15 sistemas de alcantarillado del Area de Estudio, cinco (5) sistemas (Ubaté, Cucunubá, Lenguazaque, San Miguel de Sema y Saboyá) cuentan con proceso de tratamiento. Por lo tanto, las cargas contaminantes del efluente de los cinco (5) sistemas son calculadas en consideración a los efectos del proceso de tratamiento. Por otro lado, las cargas del efluente de los nueve (9) sistemas remanentes son iguales al del influente.

Las cargas de DBO del efluente de los cinco (5) sistemas mencionados mas arriba son estimadas con base en las concentraciones de DBO medidos por el Equipo de Estudio y la CAR. Las cargas de DQO, T-N y T-P del efluente son estimadas con base en la siguiente relación de DBO-DQO, DBO-T-N y DBO-T-P obtenidas de los datos de concentraciones medidas en este Estudio.

$$DQO=2.2389 \times DBO, T-N=0.394 \times DBO, T-P=0.0498 \times DBO$$

La carga contaminante que aporta el efluente del alcantarillado a los ríos, es calculada como se muestra en la Tabla 5.1.

(6) Carga Contaminante del Efluente a los Ríos Provenientes de Mataderos y Fábricas

La carga del efluente de mataderos y fabricas descargada directamente en los ríos, también es mostrada en la Tabla 5.1.

5.2.3 Futura Carga Generada y Futura Carga Contaminante del Efluente

Las cargas generadas y las cargas contaminantes puntuales del efluente en el año 2010 se estiman para los casos con proyecto ó sin proyecto, basados en los siguientes supuestos.

(1) Carga Contaminante Generada de Origen Doméstico

- (a) El sistema de alcantarillado atenderá toda el área urbana en el 2010 ya que el sistema de alcantarillado actual ha cubierto ya casi toda el área urbana. Para la población proyectada de cada centro urbano, ver el Apéndice A Tabla A.2.1.
- (b) La cantidad de agua residual per cápita es la misma que la actual.
- (c) Las concentraciones de DBO, DQO, T-N y T-P son las mismas que las actuales.

La generación de cargas contaminantes domésticas de cada municipio, se presentan en el Apéndice E Tabla E. 2.11.

(2) Carga Generada y Carga Contaminante del Efluente de Mataderos

- (a) El número de animales en el matadero se incrementará en proporción al crecimiento de la población.
- (b) La cantidad de unidad de agua residual es la misma que la existente.
- (c) La concentración generada de DBO, DQO, T-N y T-P son las mismas que las existentes.
- (d) Todos los mataderos están provistos con procesos de pre-tratamiento en el presente. La eficiencia en el tratamiento es la misma que la existente. El punto de descarga de las aguas residuales no cambiará.

La carga contaminante del efluente del matadero por cada municipio, se presenta en el Apéndice E Tabla E. 2.12.

(3) Carga Generada y Carga Contaminante del Efluente de Fábricas

- (a) El número de fábricas no cambiará.
- (b) La cantidad de agua residual de cada fábrica de leche se incrementará en 4% desde el año 1998 al 2010 en proporción al incremento de la producción de leche. La proyección de la producción de leche se muestra en el Apéndice A Capítulo II Sección 2.5.
- (c) La concentración generada de DBO, DQO, T-N y T-P son las mismas que las existentes.
- (d) En el presente, existen algunas fábricas con planta de pre-tratamiento. Sin embargo, todas las fábricas tendrán procesos de pre-tratamiento en el 2010. La eficiencia en el tratamiento es la misma que la existente. El punto de descarga de las aguas residuales no cambiará.

La carga contaminante del efluente de cada fábrica, con ó sin implementación del

proyecto, es presentada en el Apéndice E Tabla E. 2.13.

(4) Carga Contaminante del Efluente del Sistema de Alcantarillado

Basado en la estimación de arriba, son calculadas las cargas totales contaminantes que entran al alcantarillado desde las viviendas, mataderos y fábricas. Estos cálculos se realizan para los casos con ó sin implementación del proyecto como se muestra en el Apéndice E Tabla E. 2.14.

En el presente, sólo cinco (5) sistemas de alcantarillado están provistos con sistemas de tratamiento. Sin embargo, todos los sistemas de alcantarillado en el Área de Estudio, tendrán plantas de tratamiento en el 2010. La calidad del efluente de todas las plantas de tratamiento se asume que será de 40 mg/l en DBO. Los valores de DQO, T-N y T-P del efluente tratado se estiman con base en la relación de DBO-DQO, DBO-T-N y DBO -T-P de las concentraciones existentes en las aguas residuales tratadas.

La carga contaminante del efluente del alcantarillado a los ríos, para los casos con ó sin implementación del proyecto, se calcula en la Tabla 5.2 y Tabla 5.3 respectivamente.

(5) Carga Contaminante del Efluente a los Ríos Provenientes de Mataderos y Fábricas

Se asume que todos los efluentes de los mataderos y de las fábricas de leche que se descargan directamente a los ríos son tratados para satisfacer los estándares de la CAR. Las concentraciones de DQO, T-N y T-P del efluente tratado son estimados con base en la relación de DBO – DQO, DBO – T-N y DBO- T-P de las concentraciones existentes en las aguas residuales tratadas.

Las carga del efluente de mataderos y fábricas que directamente se descarga en los Ríos para los casos con ó sin implementación del proyecto, se muestran en la Tabla 5.2 y Tabla 5.3 respectivamente.

5.3 Estimación de la Generación de Carga Contaminante en la Cuenca

5.3.1 Actual Generación de la Carga Contaminante

(1) General

Las fuentes contaminantes en el Area de Estudio están clasificadas en fuentes puntuales y no puntuales. Las fuentes puntuales integran a las aguas residuales de los alcantarillados y de las industrias (mataderos y fábricas). Las fuentes no puntuales incluyen a aguas residuales de la ganadería, de los campos (cultivos, pasturas y matorrales/bosques) y de las viviendas rurales. El área urbana es de solo 9.0 km² y el aire es limpio, por lo tanto, son considerados insignificantes los contaminantes que puedan provenir de las áreas urbanas ó a través de las lluvias.

En este Estudio, la generación de carga contaminante se estima en términos de DBO, DQO, T-N y T-P.

Para la simulación de la polución del agua en el Area de Estudio, en un área importante se estima la generación de la carga contaminante. El área objetivo cubre toda la parte alta de la cuenca de confluencia del Río Suárez con el Río Chiquinquirá

(1,462 km²). El área objetivo es dividida en nueve (9) sub-cuencas como se muestra en la Fig. 5.3.

(2) Generación de Carga Contaminante Puntual

En el presente estudio de simulación de la carga contaminante, los efluentes de alcantarillados y de industrias (consistente de efluentes de mataderos y de fábricas) que provienen de las ciudades y pueblos y que son descargados a los ríos, son definidos como las cargas contaminantes generadas en las correspondientes sub-cuencas. La generación de la carga puntual de contaminación por fuente y por sub-cuenca son estimados como se muestra en el Apéndice E Tabla E.3.3.

(3) Generación de Carga Contaminante No Puntual

En la Tabla 5.4 son estimadas las fuentes de contaminantes no puntuales por sub-cuencas provenientes de la ganadería, campos y viviendas rurales. La generación de la carga unitaria contaminante de DBO, DQO, T-N y T-P para cada categoría de fuente no puntual, son asumidas como se muestra en la Tabla 5.5, con base a varios estudios previos. La generación de las cargas unitarias contaminantes no puntuales de DBO, DQO, T-N y T-P por categoría de fuente de contaminante en cada sub-cuenca, son obtenidas mediante el producto de los valores de la Tabla 5.4 y de la Tabla 5.5. La generación de la carga contaminante no puntual de DBO, DQO, T-N y T-P por sub-cuenca y por fuente es presentada en el Apéndice E Tabla E.3.3.

(4) Generación de Carga Total Contaminante

La generación de la carga total contaminante de las fuentes puntuales y no puntuales en el Area de Estudio (área objetivo para simulación: 1,462 km²) son resumidas a continuación.

| (unid: kg/día) | | | |
|--------------------|--------------------------|-----------------------|---------|
| Parámetro de Carga | Cuenca Alta de la Laguna | Cuenca del Río Suárez | Total |
| DBO | 68,541 | 44,026 | 112,567 |
| DQO | 166,791 | 95,705 | 262,496 |
| T-N | 48,123 | 29,502 | 77,624 |
| T-P | 6,165 | 3,858 | 10,023 |

La generación de la carga de contaminación por cada fuente es presentada en la Tabla 5.6.

Como se muestra en la Tabla 5.6, las cargas contaminantes en el Area de Estudio en su mayoría son generadas de las fuentes no puntuales. La mayor fuente de generación es la ganadería el cuál ocupa un gran porcentaje de la carga total generada como se muestra abajo.

| Parámetro de Carga | Cuenca Alta de la Laguna (%) | Cuenca del Río Suárez (%) | Total (%) |
|--------------------|------------------------------|---------------------------|-----------|
| DBO | 91.7 | 88.0 | 90.3 |
| DQO | 91.5 | 89.7 | 90.8 |
| T-N | 78.8 | 80.4 | 79.4 |
| T-P | 97.0 | 95.9 | 96.6 |

5.3.2 Generación Futura de la Carga Contaminante

En esta Sub-sección, se estima la generación de la carga contaminante puntual futura en el caso de con ó sin proyecto. Aquí, con proyecto, es el caso en que son tratadas las aguas residuales del alcantarillado y las aguas residuales de las fábricas como se describe en la Sub-sección 5.2.3. La generación futura de la carga contaminante por fuente y por sub-cuenca es presentada en el Apéndice E Tabla E.3.6 y Tabla E.3.7 respectivamente.

En este Estudio, no es considerado ningun proyecto para la reducción de la carga generada en las fuentes no puntuales. La generación de la carga contaminante futura proveniente de la ganadería, de los suelos y de las viviendas son estimadas considerando el incremento del número de cabezas de ganado y de la población rural como se muestra en el Apéndice E Tabla E.3.6.

La generación total de la carga contaminante futura en términos de DBO, DQO, T-N y T-P para el Area de Estudio (área objetivo para simulación: 1,462 km²) es resumido abajo.

| Proyecto | Parámetro de la Carga Contaminante | Cuenca Alta de la Laguna | Cuenca del Río Suárez | (unidad: kg/día) |
|--------------|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------|
| | | | | Total |
| Sin Proyecto | DBO | 77,214 | 49,604 | 126,818 |
| | DQO | 187,970 | 117,869 | 305,838 |
| | T-N | 53,415 | 32,823 | 86,238 |
| | T-P | 6,947 | 4,315 | 11,262 |
| Con Proyecto | DBO | 76,041 | 46,958 | 122,999 |
| | DQO | 185,907 | 114,888 | 300,796 |
| | T-N | 53,065 | 32,380 | 85,445 |
| | T-P | 6,904 | 4,251 | 11,155 |

La generación de la carga contaminante futura por cada fuente para los casos con ó sin proyecto se muestran en la Tabla 5.7 y Tabla 5.8.

La ganadería es la mayor fuente de generación y ocupa un gran porcentaje de la carga total de contaminación generada como se muestra abajo.

| Proyecto | Parámetro de Carga | Cuenca Alta de la Laguna (%) | Cuenca del Río Suárez (%) | Total (%) |
|--------------|--------------------|------------------------------|---------------------------|-----------|
| Sin Proyecto | DBO | 91.8 | 88.5 | 90.6 |
| | DQO | 91.8 | 91.2 | 91.5 |
| | T-N | 80.5 | 82.1 | 81.1 |
| | T-P | 97.0 | 96.2 | 96.6 |
| Con Proyecto | DBO | 93.3 | 93.4 | 93.4 |
| | DQO | 92.8 | 93.5 | 93.1 |
| | T-N | 81.1 | 83.2 | 81.9 |
| | T-P | 97.6 | 97.6 | 97.6 |

5.4 Cálculo de la Escorrentía de la Carga Contaminante en la Cuenca

5.4.1 Actual Escorrentía de la Carga Contaminante

(1) General

Las cargas contaminantes no puntuales en el Area de Estudio se escurren sobre los campos ó por medio de pequeños canales/banquetas a los tributarios. Por otro lado, las cargas contaminantes puntuales son descargadas directamente a los tributarios ó ríos principales con ó sin tratamiento. De ahí, ambas cargas puntual y no puntual se escurren por medio de los tributarios para entrar al río principal. Finalmente, fluyen aguas abajo siguiendo el curso del río principal.

En la primera fase de la escorrentía, la carga contaminante no puntual decrece en gran proporción por los efectos de purificación natural de los campos y canales pequeños. El coeficiente de escorrentía (R_1) es generalmente constante para cada categoría de uso de tierra. En la segunda fase de escorrentía, las cargas puntuales y no puntuales son reducidas por los efectos de purificación natural de los tributarios. El coeficiente de escorrentía (R_2) varia de acuerdo a la longitud del tributario.

En este Estudio, la escorrentía de la carga contaminante, se define como la carga contaminante que entra al río principal o la Laguna. La escorrentía de la carga contaminante en el río principal ó en la Laguna se estima multiplicando la carga contaminante generada y señalada mas arriba por los coeficientes de escorrentía R_1 y R_2 . Aquí, R_1 es la tasa de escorrentía de contaminantes generados en cada sub-cuenca y descargados en su tributario. R_2 es la tasa de autopurificación de contaminantes en el tributario.

Entre los cuatro (4) parámetros de medición de la contaminación (DBO, DQO, T-N y T-P) , la DBO decrece en los cursos de agua a un valor considerable debido a los efectos de autopurificación. Por otro lado, la reducción de DQO, T-N y T-P, en los ordinarios cursos de agua, no son significantes. Por lo tanto, la tasa de autopurificación en el tributario es evaluada solo por su DBO.

Entre las nueve (9) sub-cuencas, siete (7) sub-cuencas son descargadas al río principal a través de sus tributarios. Esos tributarios son los Ríos Ubaté (parte alta), Suta, Cucunubá, Lenguazaque, Susa, Simijaca y Chiquinquirá. Sin embargo, se asume que la sub-cuenca de la Laguna de Fúquene y la parte residual de la sub-cuenca de Suárez descargan directamente a la Laguna y al río principal de Suárez respectivamente. Por lo tanto, la tasa de autopurificación (R_2) de la DBO es evaluada solo para los siete (7) ríos mencionados arriba.

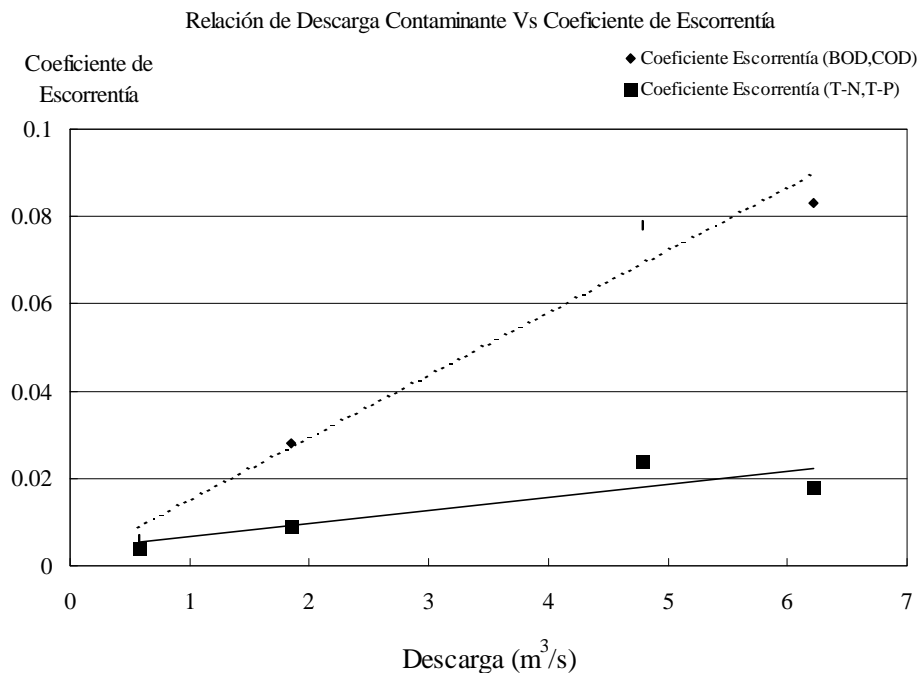
(2) Cálculo de los Coeficientes de Escorrentía

La tasa de escorrentía de las cargas contaminantes desde las sub-cuencas generalmente varía dependiendo de las condiciones topográficas, geológicas y de otras condiciones ambientales. En éste Estudio, los coeficientes de escorrentía R_1 y R_2 son determinadas para que las cargas contaminante simuladas puedan coincidir con las medidas en la estación de Colorado del Río Ubaté (después de la confluencia de los Ríos Suta, Cucunubá y Lenguazaque).

Las cargas contaminantes no puntuales generadas (DBO, DQO, T-N y T-P) en las sub-cuencas se escurren fácilmente a los tributarios en tiempo lluvioso, mientras permanecen más en la tierra en tiempo seco. Hay una cierta relación entre los coeficientes de escorrentía (R_1) de cargas contaminante no puntuales y la descarga del río. Generalmente, los coeficientes de escorrentía (R_1) proporcionalmente se incrementan de acuerdo a la descarga del río. Además, DBO y DQO se escurren con mayor facilidad que el T-N y T-P.

La relación entre los coeficientes de escorrentía (R_1) y la descarga del río en la estación Colorado del Río Ubaté se establece con base en los datos medidos por este Estudio como se muestra a continuación.

Además, se estima la autopurificación de la DBO en el curso de los tributarios mediante la formula de Streeter Helps. La tasa promedio de reducción de la DBO (coeficiente R_2) en los tributarios se estima en 3% por km.



(3) Escorrentía Estimada de la Carga Contaminante

La escorrentía de la carga total contaminante de las fuentes puntuales y no puntuales a los principales ríos y a la Laguna en el Area de Estudio (área objetivo para simulación: $1,462 \text{ km}^2$) son resumidas abajo.

(unid: kg/día)

| Parámetro de Carga | Fuente Contaminante | Parte alta de la Cuenca de la Laguna | | Cuenca del Río Suárez | | Total | |
|--------------------|---------------------|--------------------------------------|-------|-----------------------|-------|--------|-------|
| | | | (%) | | (%) | | (%) |
| DBO | Puntual | 880 | 30.4 | 2,759 | 66.2 | 3,639 | 51.5 |
| | No Puntual | 2,019 | 69.6 | 1,410 | 33.8 | 3,429 | 48.5 |
| | Total | 2,899 | 100.0 | 4,169 | 100.0 | 7,068 | 100.0 |
| DQO | Puntual | 1,456 | 12.7 | 3,480 | 36.4 | 4,770 | 22.8 |
| | No Puntual | 10,016 | 87.3 | 6,087 | 63.6 | 16,103 | 77.2 |
| | Total | 11,472 | 100.0 | 9,567 | 100.0 | 20,873 | 100.0 |
| T-N | Puntual | 246 | 23.7 | 542 | 53.7 | 788 | 38.5 |
| | No Puntual | 790 | 76.3 | 467 | 46.3 | 1,258 | 61.5 |
| | Total | 1,036 | 100.0 | 1,009 | 100.0 | 2,046 | 100.0 |
| T-P | Puntual | 30 | 22.9 | 81 | 56.4 | 110 | 40.0 |
| | No Puntual | 101 | 77.1 | 63 | 43.6 | 165 | 60.0 |
| | Total | 131 | 100.0 | 144 | 100.0 | 275 | 100.0 |

La escorrentía de la carga contaminante por cada fuente es mostrada en la Tabla 5.9.

Como se muestra en las tablas de arriba, las cargas contaminante en el Area de Estudio son descargadas en su mayor parte por las fuentes no puntuales. La ganadería es la mayor fuente de de carga contaminante de la escorrentía seguido por las aguas residuales de los alcantarillados y abajo son mostrados sus participaciones dentro de la carga total contaminante de la escorrentía.

| Parámetro de Carga | Parte alta de la Cuenca de la Laguna (%) | | | Cuenca del Río Suárez (%) | | | Total (%) | | |
|--------------------|--|------|-------|---------------------------|------|-------|-----------|------|-------|
| | Ga | Al | Otros | Ga | Al | Otros | Ga | Al | Otros |
| DBO | 65.2 | 29.2 | 5.6 | 31.5 | 62.8 | 5.7 | 45.3 | 49.0 | 5.7 |
| DQO | 80.6 | 12.3 | 7.1 | 60.0 | 34.0 | 6.0 | 71.8 | 21.7 | 6.5 |
| T-N | 60.5 | 23.0 | 16.5 | 37.8 | 50.6 | 11.6 | 49.3 | 36.6 | 14.1 |
| T-P | 75.5 | 21.4 | 3.1 | 42.4 | 50.0 | 7.6 | 58.6 | 35.6 | 5.8 |

Ga:Ganadería , Al:Alcantarillado

5.4.2 Escorrentía Futura de Carga Contaminante

La futura escorrentía de la carga contaminante se estima en forma similar a la existente para los casos con ó sin proyecto. Aquí, el caso con proyecto significa cuando las aguas residuales del alcantarillado y de las fábricas son tratadas como se describen en la Sub-sección 5.2.3.

(1) Futura Escorrentia de la Carga Contaminante sin Proyecto

Abajo es resumido, la escorrentía total anual de la carga contaminante de las fuentes puntuales y no puntuales a los principales rios y a la Laguna en el Area de Estudio (area objetivo de simulación: 1,462 km²).

(unid: kg/día)

| Parámetro de Carga | Fuente Contaminante | Parte Alta de la Cuenca de la Laguna | (%) | Cuenca del Río Suárez | (%) | Total | (%) |
|--------------------|---------------------|--------------------------------------|-------|-----------------------|-------|--------|-------|
| DBO | Puntual | 1,469 | 39.3 | 3,187 | 66.8 | 4,656 | 54.7 |
| | No Puntual | 2,269 | 60.7 | 1,582 | 33.2 | 3,851 | 45.3 |
| | Total | 3,738 | 100.0 | 4,769 | 100.0 | 8,507 | 100.0 |
| DQO | Puntual | 2,696 | 19.4 | 4,037 | 36.9 | 6,733 | 27.1 |
| | No Puntual | 11,224 | 80.6 | 6,896 | 63.1 | 18,120 | 72.9 |
| | Total | 13,919 | 100.0 | 10,933 | 100.0 | 24,853 | 100.0 |
| T-N | Puntual | 462 | 34.6 | 625 | 54.1 | 1,087 | 43.6 |
| | No Puntual | 875 | 65.4 | 531 | 45.9 | 1,406 | 56.4 |
| | Total | 1,337 | 100.0 | 1,156 | 100.0 | 2,493 | 100.0 |
| T-P | Puntual | 58 | 33.8 | 90 | 55.2 | 148 | 44.7 |
| | No Puntual | 114 | 66.2 | 70 | 44.8 | 183 | 55.3 |
| | Total | 172 | 100.0 | 160 | 100.0 | 331 | 100.0 |

La escorrentía de la carga contaminante por cada fuente es presentada en la Tabla 5.10.

La ganadería es la mayor fuente de la carga contaminante de la escorrentía seguido por el alcantarillado y sus participaciones en la escorrentía total es como sigue.

| Parámetro de Carga | Parte Alta de la Cuenca de la Laguna (%) | | | Cuenca del Río Suárez (%) | | | Total(%) | | |
|--------------------|--|------|-------|---------------------------|------|-------|----------|------|-------|
| | Ga | Al | Otros | Ga | Al | Otros | Ga | Al | Otros |
| DBO | 57.1 | 38.3 | 4.6 | 31.1 | 63.7 | 5.2 | 42.5 | 52.5 | 5.0 |
| DQO | 75.1 | 19.0 | 5.9 | 59.5 | 35.0 | 5.5 | 68.2 | 26.0 | 5.8 |
| T-N | 53.1 | 33.4 | 13.5 | 38.5 | 51.1 | 10.4 | 46.3 | 41.9 | 11.8 |
| T-P | 64.7 | 32.1 | 3.2 | 42.5 | 50.0 | 7.5 | 54.1 | 40.8 | 5.1 |

Ga: Ganadería, Al:Alcantarillado

(2) Futura Escorrentía de la Carga Contaminante con Proyecto

Abajo es resumido, la escorrentía total anual de la carga contaminante de las fuentes puntuales y no puntuales a los principales Ríos y a la Laguna en el Area de Estudio (area objetivo de simulación: 1,462 km²).

(unid: kg/día)

| Parámetro de Carga | Fuente Contaminante | Parte Alta de la Cuenca de la Laguna | (%) | Cuenca del Río Suárez | (%) | Total | (%) |
|--------------------|---------------------|--------------------------------------|-------|-----------------------|-------|--------|-------|
| DBO | Puntual | 296 | 11.5 | 541 | 25.5 | 837 | 17.8 |
| | No puntual | 2,269 | 88.5 | 1,583 | 74.5 | 3,852 | 82.2 |
| | Total | 2,565 | 100.0 | 2,124 | 100.0 | 4,689 | 100.0 |
| DQO | Puntual | 633 | 5.3 | 1,056 | 13.3 | 1,689 | 8.5 |
| | No puntual | 11,224 | 94.7 | 6,896 | 86.7 | 18,120 | 91.5 |
| | Total | 11,857 | 100.0 | 7,952 | 100.0 | 19,809 | 100.0 |
| T-N | Puntual | 112 | 11.4 | 182 | 25.5 | 294 | 17.3 |
| | No puntual | 875 | 88.6 | 531 | 74.5 | 1,406 | 82.7 |
| | Total | 987 | 100.0 | 713 | 100.0 | 1,700 | 100.0 |
| T-P | Puntual | 15 | 11.6 | 26 | 27.1 | 41 | 18.3 |
| | No puntual | 114 | 88.4 | 70 | 72.9 | 183 | 81.7 |
| | Total | 129 | 100.0 | 96 | 100.0 | 224 | 100.0 |

La escorrentía de la carga contaminante por cada fuente es presentada en la Tabla 5.11.

La ganadería es la mayor fuente de la carga contaminante de la escorrentía seguido por el alcantarillado y sus participaciones en la escorrentía total es como sigue.

| Parámetro de Carga | Parte Alta de la Cuenca de la Laguna (%) | | | Cuenca del Río Suárez (%) | | | Total (%) | | |
|--------------------|--|------|-------|---------------------------|------|-------|-----------|------|-------|
| | Ga | Al | Otros | Ga | Al | Otros | Ga | Al | Otros |
| DBO | 83.2 | 10.5 | 6.3 | 69.9 | 18.6 | 11.5 | 77.2 | 14.2 | 8.6 |
| DQO | 88.1 | 5.0 | 6.9 | 81.8 | 11.2 | 7.0 | 85.6 | 7.5 | 6.9 |
| T-N | 71.9 | 10.7 | 17.4 | 62.4 | 21.9 | 15.7 | 67.9 | 15.4 | 16.7 |
| T-P | 86.0 | 10.1 | 3.9 | 70.8 | 20.8 | 8.4 | 79.9 | 14.7 | 5.4 |

Ga: Ganadería, Al:Alcantarillado

5.5 Simulación de Calidad de Agua

5.5.1 Metodología

(1) General

Las cargas contaminante generadas en las cuatro (4) sub-cuencas de los Ríos Ubaté (parte alta), Suta, Cucunubá y Lenguazaque, se escurren a través de los respectivos tributarios hacia la estación de Colorado localizado en la corriente principal del Río Ubaté. De ahí, ellas se escurren aguas para abajo hasta entrar en la Laguna de Fúquene. Por otro lado, las cargas contaminantes de las sub-cuencas de la Laguna de Fúquene son directamente descargadas en la Laguna.

Las cargas contaminantes que han entrado en la Laguna son drenados a la corriente principal del Río Suárez luego de que ellas fueran afectadas por los efectos metabólicos de la Laguna.

La carga contaminante del efluente de la Laguna fluye por la corriente principal del Río Suárez y pasando por la Compuerta de Tolón llega aguas abajo de la ciudad de Chiquinquirá. Luego, hacia aguas abajo de la ciudad de Chiquinquirá, las cargas contaminantes generadas en las sub-cuencas de los Ríos Susa, Simijaca, Suárez (parte residual) y Chiquinquirá, son descargadas en la corriente principal del Río Suárez.

El diagrama esquemático, de la escorrentía de la carga contaminante mencionada más arriba, está presentada en la Fig. 5.4.

(2) Simulación de Calidad de Agua del Río Principal

La corriente principal del Río Ubaté (Estación Colorado-Entrada a la Laguna) tiene una longitud de solo 2 km, por lo tanto, no se asume ningún cambio en la calidad de agua en este tramo. La simulación de calidad de agua será realizada para la corriente principal del Río Suárez (Salida de la Laguna de Fúquene-Aguas abajo de la ciudad de Chiquinquirá) cuya longitud es de 20 km. La calidad de agua del río está simulado para los parámetros de DBO, DQO, T-N y T-P.

En el Río Suárez, la DBO decrece en forma considerable a medida que va fluyendo el agua hacia la parte baja y esto es debido a los efectos de autopurificación. Sin

embargo, los efectos de autopurificación para la DQO, el T-N y el T-P son considerados insignificantes ya que el tiempo de retención en el río es muy corto. La reducción de la DBO en el río es calculada por la fórmula de Streeter Helphs.

Los detalles de la metodología utilizada para la simulación está explicada en el Apéndice E Capítulo III Sub-sección 3.4.1.

(3) Simulación de Calidad de Agua de la Laguna

La calidad de agua de la laguna está simulada con los parámetros de DQO, T-N y T-P.

Las cargas de DQO, T-N y T-P entran a la Laguna desde la corriente principal del Río Ubaté y de la sub-cuenca de la Laguna de Fúquene. Ellas son drenadas a la corriente principal del Río Suárez luego de que fueran afectadas por el proceso metabólico de la Laguna que incluye descomposición, sedimentación sobre el lecho, absorción por las plantas acuáticas (transferencia a las afueras de la Laguna) y liberación desde el lecho. Tal proceso metabólico es mostrado en la Fig. 5.5.

La calidad de agua de la Laguna es simulada utilizando el Modelo Vollenweider, considerando los efectos de autopurificación de la Laguna. Se espera que la DQO, T-N y T-P disminuya en la Laguna ya que el tiempo de retención es de 3.3 meses.

En esta simulación, la variación de la calidad de agua debido a la producción y descomposición del plánton no se tiene en cuenta ya que la población existente de plánton es pequeña.

Los detalles de la metodología utilizada para la simulación está explicada en el Apéndice E Capítulo III Sub-sección 3.4.1.

5.5.2 Simulación de la Calidad de Agua del Río

(1) Caudal Estándar del Río para la Evaluación de la Calidad del Río

La calidad del agua del río se empeora de acuerdo con la disminución del caudal del río. Esta relación para la estación de Colorado del Río Ubaté es como sigue.

| | | | |
|------------------------------------|------|------|------|
| Caudal del Río (m ³ /s) | 6.22 | 4.78 | 0.58 |
| DBO (mg/l) | 3.0 | 4.0 | 7.0 |
| DQO (mg/l) | 15.0 | 27.0 | 33.2 |

Por lo tanto, la calidad del agua del río debe ser evaluada con un caudal estándar apropiada al caudal del río. Por otro lado, el flujo del río en Colorado se estima de la siguiente manera.

| Probabilidad | 26% (95 días) | 50% (185 días) | 75% (275 días) | 97% (355 días) | Promedio en época de lluvia | Promedio en época seca |
|----------------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Caudal (m ³ /s) | 4.49 | 2.05 | 1.14 | 0.23 | 6.21 | 2.27 |

En este Estudio, se propone como estándar al caudal del río con una probabilidad del 75% para la evaluación de la calidad del agua del río.

(2) Calidad Actual del Agua del Río

La calidad actual del agua de los principales ríos, en el momento de tener una probabilidad del 75% de descarga, es presenta a continuación:

| Item | Unidad | Río Ubaté | | | Río Suárez | |
|----------|-------------------|--|---------------|--------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| | | Después de la Confluencia del Río Suta | Pte. Colorado | Compuerta de Tolón | Después de la Ciudad de Chiquinquirá | Después de la Ciudad de Chiquinquirá* |
| Descarga | m ³ /s | 0.60 | 1.14 | 1.15 | 1.50 | 0.35 |
| DBO | mg/l | 13.60 | 5.27 | 3.22 | 17.70 | 69.80 |
| DQO | mg/l | 37.30 | 31.10 | 63.60 | 72.90 | 103.60 |
| T-N | mg/l | 5.50 | 4.37 | 5.26 | 7.66 | 15.60 |
| T-P | mg/l | 0.69 | 0.54 | 0.62 | 0.90 | 1.85 |

*: Cuando la Compuerta de Tolón esta cerrada.

(3) Futura Calidad de Agua del Río

La futura calidad de agua de los principales ríos en el momento de tener 75% de probabilidad de descarga es calculada para los casos con ó sin proyecto. En el caso de con proyecto, las aguas residuales del alcantarillado y de las fábricas son tratadas como se asumen en la Sub-sección 5.2.3 (las aguas residuales del alcantarillado son tratadas hasta tener 40 mg/l en DBO. Las aguas residuales de las fábricas son tratadas para satisfacer el Estándar de la CAR). La calidad de agua estimada para el río es mostrado abajo.

| Proyecto | Item | Unidad | Río Ubaté | | | Río Suárez | |
|--------------|----------|-------------------|--|---------------|--------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| | | | Después de la Confluencia del Río Suta | Pte. Colorado | Compuerta de Tolón | Después de la Ciudad de Chiquinquirá | Después de la Ciudad de Chiquinquirá* |
| Sin Proyecto | Descarga | m ³ /s | 0.60 | 1.14 | 1.15 | 1.50 | 0.35 |
| | DBO | mg/l | 20.90 | 7.89 | 3.47 | 20.60 | 82.00 |
| | DQO | mg/l | 53.20 | 44.60 | 68.50 | 81.00 | 122.00 |
| | T-N | mg/l | 8.49 | 6.59 | 5.77 | 8.67 | 18.20 |
| | T-P | mg/l | 1.07 | 0.78 | 0.69 | 1.02 | 2.10 |
| Con Proyecto | Descarga | m ³ /s | 0.60 | 1.14 | 1.15 | 1.50 | 0.35 |
| | DBO | mg/l | 9.59 | 3.94 | 2.77 | 5.31 | 16.00 |
| | DQO | mg/l | 27.40 | 27.30 | 60.80 | 56.20 | 41.10 |
| | T-N | mg/l | 4.02 | 3.58 | 4.56 | 5.01 | 6.51 |
| | T-P | mg/l | 0.52 | 0.47 | 0.42 | 0.50 | 0.77 |

*: Cuando la Compuerta de Tolón esta cerrada.

5.5.3 Simulación de la Calidad del Agua de la Laguna y Balance de la Carga Contaminante

La simulación de la calidad del agua y el balance de la carga contaminante se realizan con los parámetros de DQO, T-N y T-P bajo las siguientes condiciones hidrológicas e hidráulicas.

| Item | Valor |
|---|-------|
| Influyente Anual Promedio (millones de m ³ /año) | 183.6 |
| Volúmen de Agua en la Laguna (million de m ³ /año) | 50.0 |
| Area Superficial de la Laguna (km ²) | 29.8 |

(1) Actual Calidad del Agua y del Balance de la Carga de Contaminación

La calidad promedia actual del agua de la laguna se estima abajo, con base en los análisis de muestreos realizados durante el Estudio.

| Parámetro | Valor |
|------------|-------|
| DQO (mg/l) | 31.40 |
| T-N (mg/l) | 1.83 |
| T-P (mg/l) | 0.07 |

El balance anual de la carga de contaminación en la Laguna es calculado comparando la siguiente producción y reducción de las cargas de contaminación.

Producción: (i) carga de contaminación influyente a la laguna y (ii) carga de contaminación liberada desde el lecho de la laguna.

Reducción: (i) carga de contaminación que sale de la laguna, (ii) absorción de nutrientes por las plantas acuáticas, (iii) sedimentación primaria en la entrada del Río Ubaté (boca del río), (iv) sedimentación secundaria en la laguna y descomposición en la laguna.

El actual balance anual de la carga de contaminación en la Laguna es resumida a continuación.

| Item | | DQO (ton/año) | T-N (ton/año) | T-P (ton/año) |
|----------------------------------|---|------------------|------------------|------------------|
| Producción | Carga Influyente de Contaminación | 4,187 | 378.5 | 47.9 |
| | Carga de Contaminación Liberada | 9,789 | 652.6 | 6.0 |
| | Producción Total de Contaminantes | 13,976 | 1,031.0 | 53.9 |
| Reducción | Carga de Contaminación que Sale de la Laguna | 5,765 | 336.0 | 12.9 |
| | Absorción de Nutrientes Por plantas Acuáticas | - | 25.6 | 1.8 |
| | Sedimentación Primaria en el Río Ubaté (boca) | 619 | 179.3 | 36.0 |
| | Sedimentación Secundaria en la Laguna | 1,621 | 85.9 | 2.8 |
| | Descomposición en la Laguna | 5,928 | 367.9 | - |
| Reducción Total de Contaminantes | | 13,933 | 995.0 | 53.5 |

Los cálculos detallados están presentados en el Apéndice E Capítulo III Sub-sección 3.4.3.

(2) Futura Calidad del Agua de la Laguna y del Balance de la Carga de Contaminación

(a) Futura Calidad del Agua de la Laguna

La futura calidad del agua está simulada con base en la futura producción total de contaminantes. La futura producción total de contaminantes es mostrada abajo. En esta tabla, se asume que la carga de contaminación a ser liberada en

el futuro es igual a la existente.

| Item | Sin Proyecto | | | Con Proyecto | | |
|-----------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | DQO (ton/año) | T-N (ton/año) | T-P (ton/año) | DQO (ton/año) | T-N (ton/año) | T-P (ton/año) |
| Carga Influyente de Contaminación | 5,081 | 488.0 | 62.6 | 4,328 | 360.2 | 47.1 |
| Carga de Contaminación Liberada | 9,789 | 652.6 | 6.0 | 9,789 | 652.6 | 6.0 |
| Producción Total of Contaminantes | 14,870 | 1,141.0 | 68.6 | 14,117 | 1,013.0 | 53.1 |

La futura calidad promedia de la calidad del agua de la Laguna es calculada como sigue.

| Item | Unid | Calidad del Agua Actual | Calidad del Agua Futura (Sin Proyecto) | Calidad del Agua Futura (Con Proyecto) |
|------|------|----------------------------|--|--|
| DQO | mg/l | 31.40 | 33.40 | 31.97 |
| T-N | mg/l | 1.83 | 2.02 | 1.79 |
| T-P | mg/l | 0.07 | 0.09 | 0.07 |

En este cálculo, se asume que los coeficientes de autopurificación son las mismas que las existentes.

Como se muestra arriba, la futura calidad del agua aún estará altamente eutroficado a pesar del tratamiento de las aguas residuales de las fuentes puntuales. Ello se debe a que no son tratadas las grandes cargas de contaminación provenientes de las fuentes no puntuales.

(b) Futuro Balance de la Carga de Contaminación

Abajo se resume el balance de la futura carga anual de contaminación de la Laguna. En esta tabla, se asume que en el futuro, habrá la misma absorción de nutrientes por las plantas acuáticas y la misma sedimentación secundaria en la Laguna como la que ocurre actualmente.

(unid: ton/año)

| Item | Sin Proyecto | | | Con Proyecto | | | |
|------------|---|--------|---------|--------------|--------|---------|------|
| | DQO | T-N | T-P | DQO | T-N | T-P | |
| Producción | Carga Influyente de Contaminación | 5,081 | 488.0 | 62.6 | 4,328 | 360.2 | 47.1 |
| | Carga de Contaminación Liberada | 9,789 | 652.6 | 6.0 | 9,789 | 652.6 | 6.0 |
| | Producción total de Contaminantes | 14,870 | 1,141 | 68.6 | 14,117 | 1,013.0 | 53.1 |
| Reducción | Carga de Contaminación que Sale de la Laguna | 6,132 | 370.9 | 16.5 | 5,820 | 328.6 | 12.9 |
| | Absorción de Nutrientes por Plantas Acuáticas | - | 25.6 | 1.8 | - | 25.6 | 1.8 |
| | Sedimentación Primaria en el Río Ubaté (boca) | 762 | 236.7 | 47.7 | 649 | 174.7 | 35.9 |
| | Sedimentación Secundaria en la Laguna | 1,621 | 85.9 | 2.8 | 1,621 | 85.9 | 2.8 |
| | Descomposición en la Laguna | 6,335 | 410.8 | - | 6,014 | 364.7 | - |
| | Reducción total de Contaminantes | 14,850 | 1,130.0 | 68.8 | 14,101 | 980.0 | 53.4 |

5.5.4 Meta de Calidad de Agua del Río y del Nivel de Tratamiento del Alcantarillado

En las previas Sub-secciones, se simuló la calidad de agua en las principales estaciones de los ríos para en los momentos de tener un caudal estándar del río (75% de caudal probable). Esta simulación se realizó para el caso actual y para los casos futuro sin proyecto y futuro con proyecto tal como sigue.

| Río | Lugar | Q (m ³ /s) | DBO (mg/l) | | | Estándar de CAR | |
|--------|--------------------------------------|-----------------------|------------|---------------------|---------------------|-----------------|------------|
| | | | Actual | Futuro sin Proyecto | Futuro con Proyecto | Clase | DBO (mg/l) |
| Ubaté | Luego de confluencia con el Río Suta | 0.60 | 13.6 | 20.9 | 9.6 | A | < 5.0 |
| Ubaté | Colorado | 1.14 | 5.3 | 7.9 | 3.9 | A | < 5.0 |
| Suárez | Tolón | 1.15 | 3.2 | 3.5 | 2.8 | A | < 5.0 |
| Suárez | Despues de Chiquinquirá | 1.50 | 17.7 | 20.6 | 5.3 | B | < 10.0 |

En el caso de con proyecto de la tabla de arriba, se asume que las aguas residuales del alcantarillado de todas las areas urbanas serán tratadas hasta que la DBO sea igual a 40 mg/l. De igual forma se asume que las aguas residuales de las fábricas serán tratadas para satisfacer el estándar de la CAR.

Como se muestra en la tabla de arriba, la futura calidad del agua del río en el caso con proyecto, satisface el estándar de la CAR en todas las principales estaciones excepto en el lugar ubicado despues de la confluencia con el Río Suta. Sin embargo, no hay captación de agua entre este punto y Colorado. En consecuencia, la categoría de calidad de agua de esta sección del río puede ser razonablemente cambiado de Clase A a Clase B, tomando como meta a 10 mg/l en DBO.

De las consideraciones de arriba, se debería tratar todas las aguas residuales de los alcantarillados hasta que tengan 40 mg/l en DBO. Además se debería tratar todas las aguas residuales industriales (incluyendo mataderos y fábricas) para satisfacer el estándar de la CAR.

5.6 Mejoramiento del Sistema de Tratamiento de Agua Residual

5.6.1 Sistema Actual de Tratamiento de Agua Residual

(1) Tratamiento del Alcantarillado

En la actualidad, cinco (5) municipios tienen sus respectivos plantas de tratamiento. Sus principales características se muestran a continuación.

| Municipio | Proceso de Tratamiento | Area del luga (ha) | Instalaciones | Capacidad | Año de Terminación |
|---------------|-----------------------------|--------------------|--|------------------------------------|--------------------|
| Ubaté | Reactor de Pistón anaerobio | 1.76 | 2 Reactor 2 Tanque de Sedimentación | 2,076 m ³ | 1995 |
| Cucunubá | Laguna de Estabilización | 0.19 | 3 Laguna Facultativa | 1,657 m ² x 2.0 - 2.5 m | 1992 |
| Lenguazaque | Lodo Activado | 0.89 | 1 Tanque de aireación 1 Tanque de Sedimentación | 272 m ³ | 1998 |
| S. M. de Sema | Laguna de Estabilización | 3.84 | 1 Laguna Facultativa | 857 m ² x 1.4 m | 1995 |
| Saboyá | Laguna de Estabilización | 2.00 | 2 Laguna Facultativa | 6,463 m ² x 2.0 m | 1992 |

Se muestra a continuación la calidad promedio del agua residual tratada de Ubaté, San Miguel de Sema y Saboyá analizadas por la CAR en 1999. No hay información disponible sobre Cucunubá y Lenguazaque.

| Parámetro | Ubaté | S. M. 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 |
| DO (mg/l) | 0.0 | 4.4 | 5.7 |

(2) Mataderos

Todos los mataderos tienen su sistema de tratamiento. El sistema de tratamiento típico actual consiste en un vertedero de sangre, colector de grasa, rejilla y tanque séptico. Para mayores detalles véa el Apéndice E Capítulo II Sub-sección 2.1.2.

La cantidad y calidad del agua residual fluctúa bastante dependiendo del proceso de sacrificio de los animales. El agua residual tiene bastante materia orgánica de proteína, sangre y grasa. Se descomponen fácilmente, pero sin embargo, emiten un mal olor, por eso es necesario un tratamiento rápido.

(3) Fábricas

Entre las 50 fábricas de lácteos, sólo ocho (8) fábricas de mediano y gran tamaño tienen el proceso de tratamiento. Las restantes 42 fábricas pequeñas descargan sin ningún tipo de tratamiento en el sistema de alcantarillado (37), en ríos (4) y en sistemas de irrigación (1). El sistema típico actual para tratamiento está compuesto por una cámara de gravilla, rejilla, trampa de grasa y tanque de sedimentación.

El agua residual fluctúa mucho en cantidad y en calidad debido al horario irregular de recolección de la leche.

5.6.2 Mejoramiento del Tratamiento de Aguas Residuales

(1) Diseño de la Calidad y Cantidad del Influyente

En el Apéndice E Tabla 2.14 son estimadas la cantidad de agua residual y la carga contaminante de cada sistema de alcantarillado para el año 2010. Sin embargo, la planta de tratamiento debe ser diseñada incluyendo infiltración de aguas subterráneas en la red de aguas negras además del agua residual proveniente de fuentes domésticas, fábricas de lácteos y mataderos. En este Estudio, la infiltración de agua subterránea se calcula en 0.1 l/ha/s, refiriéndose al valor del diseño de la planta de tratamiento actual de Ubaté. El diseño de cantidad y calidad del influente a cada sistema de tratamiento de alcantarillado se resume a continuación.

| Municipio | Area atendida (ha) | Población atendida (persona) | Cantidad de Agua residual (m ³ /día) | Contenido DBO (mg/l) |
|----------------------|--------------------------|------------------------------------|---|----------------------------|
| C. de Carupa | 37 | 2,192 | 515 | 224 |
| Ubaté | 158 | 22,883 | 6,212 | 321 |
| Tausa | 11 | 1,074 | 192 | 314 |
| Sutatausa | 12 | 1,476 | 234 | 316 |
| Cucunubá | 21 | 2,048 | 363 | 288 |
| Lenguazaque | 33 | 2,800 | 670 | 223 |
| Guachetá | 41 | 4,602 | 983 | 242 |
| S. M. de Sema | 16 | 730 | 303 | 279 |
| Fúquene (Fúquene) | 15 | 615 | 184 | 167 |
| Fúquene (Capellanía) | 12 | 517 | 149 | 173 |
| Susa | 37 | 1,765 | 478 | 202 |
| Simijaca | 75 | 5,048 | 1,551 | 236 |
| Caldas | 10 | 621 | 141 | 220 |
| Chiquinquirá | 391 | 48,364 | 12,298 | 226 |
| Saboyá | 40 | 1,616 | 488 | 166 |
| Total | 909 | 96,351 | 24,761 | |

(2) Diseño de la Calidad del Agua Residual Tratada

El agua residual de todos los municipios es tratada hasta un valor de 40 mg/l en DBO, con base en la propuesta hecha en la Sub-sección 5.5.4.

(3) Selección de Procesos de Tratamiento para Estudio Alternativo

Muchos tipos de procesos de tratamiento se han desarrollado hasta ahora entre los cuáles, los más populares son los siguientes cinco (5) : (i) laguna de estabilización (SP), (ii) Laguna aireada (AL), (iii) reactor anaerobio de flujo a pistón (RAP), (iv) zanjón de oxidación (OD) y (v) lodo activado (AS).

La secuencia que se les dió a los anteriores cinco procesos son comparados a continuación en cuanto a sus aspectos técnicos, sociales y económicos.

| Parámetro | SP | AL | RAP | OD | AS |
|------------------------------------|----|----|-----|----|----|
| Remoción DBO | B | B | C | A | A |
| Remoción SS | C* | B | C | A | A |
| Costo de Construcción | A | B | B | B | C |
| Costo de Operación & Mantenimiento | A | B | B | C | C |
| Diseño para la Construcción | A | B | B | B | C |
| Demanda de Energía | A | B | A | C | C |
| Remoción de Lodo | A | A | B | B | C |
| Terreno Necesario | C | B | A | A | A |

Nota: A: bueno , B: normal , C: pobre, *: debido al contenido de alga

Entre los cinco procesos (5), SP, AL y OD son comparados cuantitativamente en términos de costos de construcción, costos de operación y mantenimiento y adquisición del terreno necesario en la siguiente Sección. RAP y AS se excluyen del estudio de comparación por las siguientes razones.

- (a) RAP usualmente requiere un proceso de tratamiento posterior aeróbico como el zanjón de oxidación ó la laguna facultativa. La información actual que se tiene de la planta de tratamiento de Ubaté da cuenta de que la eficiencia del tratamiento utilizado es inferior a la de los otros procesos de tratamiento. Ver Apéndice F Tabla F.1.1 – Tabla F.1.4.
 - (b) AS se aplica generalmente en las áreas urbanas con alta densidad de población. Requiere una gran cantidad de energía para su operación y mano de obra calificada para la instalación, operación y mantenimiento.
- (4) Estudio Alternativo de Proceso de tratamiento

- (a) Ubaté

El agua residual tratada de la actual planta de tratamiento de Ubaté (RAP) se encuentra a un nivel poco satisfactorio y se le debería agregar algún proceso de tratamiento aeróbico como se mencionó antes. Sin embargo, el terreno disponible de 16,600 m² en el lugar de la planta existente, es insuficiente para un sistema de laguna de estabilización. Por lo tanto, a continuación se comparan la laguna aireada y el zanjón de oxidación.

| Item | Laguna Aireada | Zanja de Oxidación |
|--------------------------------------|----------------|--------------------|
| Terreno necesario (m ²) | 15,000 | 11,000 |
| Costo de construcción (millón Col\$) | 586.8 | 1,044.6 |
| Costo de O & M (millones Col\$/año) | 89.4 | 144.8 |

Tasa de cambio: 1 US\$ = 106 ¥ = 1,920 Col\$ (octubre 1999).

Como se muestra arriba, el sistema de laguna aireada es el recomendable.

- (b) Lenguazaque

En el municipio de Lenguazaque se construyó una planta de tratamiento de lodo activado en octubre de 1998. Sin embargo, no tiene la capacidad suficiente para tratar todo el agua residual al nivel requerido (DBO = 40 mg/l). Se le debería dar un tratamiento adicional al existente. Sin embargo, sólo hay 9,300 m² disponibles en el lugar actual de la planta para instalar la planta adicional. Este espacio no es suficiente para aplicar el sistema de laguna de estabilización.

Entonces, se propone el sistema de laguna aireada.

(c) Saboyá

La planta de tratamiento actual de Saboyá tiene suficiente capacidad para tratar el agua residual al nivel requerido de 40 mg/l en DBO. De hecho, la calidad del agua residual tratada actual se encuentra a un nivel satisfactorio. Entonces no es necesario mejorar la planta existente.

(d) Chiquinquirá

La planta de tratamiento debería tratar una gran cantidad de agua residual, requiriendo un terreno bien amplio. El municipio ya adquirió el terreno de 116,444 m² a lo largo del Río Suárez. La planta de tratamiento debería ser diseñada para que se acomodara en este terreno. Por lo tanto, se comparan tres (3) sistemas de tratamiento de lagunas de estabilización (combinación de laguna anaerobica y facultativa), laguna aireada y zanja de oxidación. Los resultados son los siguientes.

| Item | Laguna de Estabilización | Laguna Aireada | Zanja de Oxidación |
|--------------------------------------|--------------------------|----------------|--------------------|
| Terreno Necesario (m ²) | 107,000 | 59,000 | 43,000 |
| Costo de Construcción (millón Col\$) | 826.8 | 1,734.4 | 2,824.5 |
| Costo de O & M (millones Col\$/año) | 71.0 | 272.4 | 452.7 |

Tasa de cambio: 1 US\$ = 106 ¥ = 1,920 Col\$ (octubre 1999).

Como es evidente según la tabla anterior, la laguna de estabilización es la que se recomienda.

(e) Otros Municipios

El estudio alternativo se hizo para un proyecto modelo a fin de tratar el agua residual de 1,000 m³/día, con una concentración DBO de 250 mg/l, teniendo en cuenta la escala del proyecto de los municipios objetivo. Además, se hizo el estudio con base en las siguientes suposiciones y consideraciones.

- (i) Para la laguna de estabilización, se comparan los siguientes dos (2) tipos (i) sólo la laguna de estabilización, (ii) combinación de laguna anaerobica y laguna facultativa. La laguna anaerobica puede ahorrar tiempo de retención y requerimiento de terreno. La laguna de maduración no se adjunta para los dos casos teniendo en cuenta el nivel requerido de calidad del agua en los ríos.
- (ii) El sitio del proyecto es plano y por lo tanto, se considera el bombeo para elevar el agua residual influente a la laguna/tanque.

Los resultados se resumen a continuación.

| Item | Laguna de estabilización | | Laguna | Zanja |
|--|--------------------------|---------|---------|--------------|
| | FA | AN + FA | Aireada | de oxidación |
| Terreno Necesario (m ²) | 22,700 | 16,000 | 6,800 | 5,000 |
| Costo de Construcción (millones Col\$) | 239.6 | 246.5 | 328.4 | 480.0 |
| Costo O & M (millones Col\$/año) | 14.4 | 14.4 | 44.2 | 57.9 |

FA: laguna facultativa, AN: laguna anaerobia, Tasa de cambio: 1 US\$ = 106 ¥ = 1,920 Col\$ (octubre

1999).

Como se muestra en la tabla anterior, el sistema de laguna de estabilización de FA es el más recomendable cuando hay disponible suficiente terreno, seguido por el sistema de laguna de estabilización de AN + FA. Por lo tanto, el sistema de estabilización de FA ó el de AN + FA se propone, dependiendo de la disponibilidad del terreno de cada municipio.

(5) Sistema de Tratamiento Propuesto

La población total servida, de diseño, de los 14 sistemas de tratamiento propuestos se asume en, aproximadamente, 95,000 para el 2010.

El sistema de tratamiento propuesto para cada municipio se resume a continuación. Para los cinco (5) municipios que tienen sistema de tratamiento actualmente, sólo se presenta en la siguiente tabla el sistema adicional, instalaciones y terreno requerido.

| Municipio | Sistema | Instalaciones Adicionales | Terreno Necesario (m ²) |
|----------------------|---------|---|-------------------------------------|
| C. de Carupa | SP | 2 lagunas facultativas | 12,500 |
| Ubaté | AL | 2 lagunas aireadas, 2 lagunas facultativas, 6 aireadores (33 kW) | 15,000 |
| Tausa | SP | 1 laguna anaerobica, 2 lagunas facultativas | 3,600 |
| Sutatausa | SP | 1 laguna anaerobica, 2 lagunas facultativas | 4,800 |
| Cucunubá | SP | 1 laguna anaerobica, 1 laguna facultativa | 4,700 |
| Lenguazaque | AL | 1 Lagunas aireadas, 1 laguna facultativa, 4 aireadores (8.8 kW) | 5,200 |
| Guachetá | SP | 3 bombas (4.5 kW), 2 lagunas facultativas | 22,500 |
| S. M. de Sema | SP | 2 lagunas facultativas | 9,000 |
| Fúquene (Fúquene) | SP | 2 lagunas facultativas | 5,200 |
| Fúquene (Capellania) | SP | 1 laguna anaerobia, 1 laguna facultativa | 2,800 |
| Susa | SP | 2 bombas (0.8 kW), 2 lagunas facultativas | 10,800 |
| Simijaca | SP | 4 bombas (3 kW), 2 lagunas facultativas | 41,000 |
| Caldas | SP | 2 lagunas facultativas | 5,200 |
| Chiquinquirá | SP | 4 bombas (14.8 kW), 2 lagunas anaerobicas, 4 lagunas facultativas | 107,000 |
| Saboyá | - | - | - |

SP: Laguna de Estabilización, AL: Laguna de Aireación

Para mayores detalles sobre el sistema de tratamiento propuesto, instalaciones y su disposición, vea el Apéndice F, Capítulo II Sub-sección 2.2.4.

5.6.3 Tratamiento de Aguas Residuales Industriales

(1) Mataderos

Se proponen instalar trampas de grasa y pozo séptico después de los vertederos de sangre y rejilla para el tratamiento del agua residual del matadero. La mayoría de los municipios ya tienen dichos procesos. Sin embargo, los municipios de Caldas y

Fúquene sólo tienen vertedero de sangre y rejilla. Por lo tanto, los trampas de grasa y el tanque séptico se recomiendan para estos dos (2) municipios.

(2) Fabricas de Lácteos

Como se mencionó antes, sólo ocho (8) fábricas cuentan con el proceso de tratamiento entre las 50 fábricas de lácteos. El sistema de tratamiento típico existente está compuesto por una cámara de gravilla, rejilla, trampas de grasa y tanque de sedimentación. Estos sistemas de tratamiento existentes cumplen con las regulaciones de la CAR (tasa de remoción DBO: 20%, tasa de remoción SS: 50%) de acuerdo con la observación hecha por el Equipo de Estudio (ver, Apéndice F Capítulo II Sección 2.4).

Por lo tanto, se propone instalar una planta de tratamiento que tenga cámara de gravilla, rejilla, trampa de grasa y tanque de sedimentación para las 42 fábricas que no tienen planta de tratamiento actualmente. El tamaño de planta de tratamiento varía dependiendo de la cantidad y calidad del agua residual, sin embargo, el tanque de sedimentación está diseñado para mantener un tiempo de retención de 4-6 horas en este Estudio.

5.7 Estimación de Costo para el Mejoramiento del Tratamiento de Aguas Residuales

5.7.1 Costo de Inversión

Los costos de inversión para los proyectos propuestos son estimados con base en las mismas asunciones dadas en el Capítulo III Sección 3.8 (Costo de Proyecto para el Mejoramiento del Sistema de Utilización y Manejo de los Recursos Hídricos).

El costo total de inversión para el mejoramiento del tratamiento cloacal se estima en 7,561 millones de Col\$ (3.94 millones de US\$) en octubre, 1999 con el siguiente desglose.

| Item | Alcantarillado (millones de Col\$) |
|---|---------------------------------------|
| Construcción Directa | 5,518.2 |
| Trabajos Civiles | 3,748.5 |
| Equipamiento Electro-Mecánico | 1,769.7 |
| Adquisición de Terreno | 298.0 |
| Servicios de Ingeniería/ Administración | 1,163.2 |
| Contingencia Física | 581.6 |
| Total | 7,561.0 |
| Total (millones de US\$) | (3.94) |

Tasa de cambio: 1 US\$ = 106 ¥ = 1,920 Col\$ (octubre 1999).

El costo de inversión requerido para el mejoramiento del tratamiento de las aguas residuales de origen industrial (mataderos y fábricas) es de 231 millones de Col\$ (0.12 millones de US\$).

El costo de inversión para el mejoramiento del tratamiento cloacal por municipio es como sigue.

| Municipalidad | Costo de Inversión (millones de Col\$) | Costo de O&M (millones de Col\$/año) | Municipalidad | Costo de Inversión (millones de Col\$) | Costo de O&M (millones de Col\$/año) |
|---------------|--|--------------------------------------|---------------|--|--------------------------------------|
| Ubaté | 1,564.4 | 144.1 | Fúquene | 146.4 | 35.8 |
| Cucunubá | 190.0 | 43.8 | Capellanía | 126.8 | 35.4 |
| Lenguazaque | 585.2 | 80.0 | Susa | 313.9 | 45.5 |
| S. M. de Sema | 188.1 | 43.4 | Simijaca | 939.9 | 56.7 |
| C. de Carupa | 265.2 | 44.6 | Caldas | 127.1 | 35.3 |
| Tausa | 444.0 | 35.9 | Chiquinquirá | 1,887.1 | 101.8 |
| Sutatausa | 161.0 | 36.3 | Saboyá* | - | 34.7 |
| Guachetá | 621.3 | 57.4 | Total | 7,561.0 | 831.0 |

*: La planta de tratamiento existente no se necesita ser mejorado.

Para detalles, ver Apéndice F Capítulo II Subsección 2.2.5.

5.7.2 Costo de O&M

El costo de O&M incluye mano de obra, combustible, electricidad, reparación, administración y otros costos pero excluye el costo de reposición de equipos.

El costo total anual de O&M para todas las plantas de tratamiento cloacal en el Area de Estudio se estima en 831.0 millones de Col\$/año (0.43 millones de US\$/año). El costo anual de O&M por municipio está presentado en la tabla de arriba.

El costo total anual de O&M para las plantas mejoradas de tratamiento de aguas residuales industriales (incluyendo mataderos y fábricas) se estima en 27 millones de Col\$/año (0.014 millones de US\$/año).

CAPITULO VI CONTROL DE PLANTAS ACUATICAS DE LA LAGUNA

6.1 Propagación Histórica de Plantas Acuáticas

6.1.1 Disminución del Area de Superficie del Agua

Se han tomado fotografías aéreas de la Laguna en 12 oportunidades desde el año 1940 y las mismas están disponibles en el Instituto Geográfico “Agusti Codazzi” siendo la más reciente la tomada en 1993. El Equipo de Estudio tomó una nueva fotografía aérea en mayo de 1999 para analizar la propagación de plantas acuáticas en los últimos años.

Una comparación de estas fotografías aéreas muestra que la línea frontal de las plantas acuáticas (emergentes, flotantes, plantas de hojas flotantes excluyendo plantas sumergidas) se han movido para adelante a una alta velocidad. Las líneas frontales de las plantas acuáticas en el pasado fueron delineadas utilizando las mencionadas fotografías aéreas.

La reducción histórica del área de la superficie del agua se calcula de la siguiente manera fijando a diciembre de 1940 como año base. La propagación histórica de las plantas acuáticas se muestra en la Fig. 6.1.

| Fecha de las Fotos | Area de la Superficie del Agua (ha) | Area de Planta Eexpandida (ha) | Area de Planta Acumulada (ha) |
|--------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Dic. 11, 1940 | 3,071 | - | - |
| Ene. 27, 1955 | 2,806 | 265 | 265 |
| Feb. 21, 1963 | 2,376 | 430 | 695 |
| Ene. 04, 1978 | 2,211 | 165 | 860 |
| Ene. 09, 1983 | 2,036 | 175 | 1,035 |
| Feb.16, 1989 | 1,881 | 155 | 1,190 |
| Dic. 25, 1993 | 1,603 | 278 | 1,468 |
| Mayo 15, 1999 | 1,363 | 240 | 1,708 |

El área de superficie de agua de la Laguna ha disminuido a una tasa constante de 24.5 has/año durante 49 años de 1940-1989, mientras que la velocidad de reducción se duplicó a 50.4 ha/año después de 1989. La reducción histórica del área de superficie del agua en la Laguna se muestra en la Fig. 6.2.

6.1.2 Propagación Histórica de Juncos

Se considera que una planta emergente, el junco (nombre científico: *Scirpus Californicus*, nombre local : Junco) juega un papel muy importante en la reducción del área de la Laguna de Fúquene. El junco hecha raíces en el lecho de la laguna en forma permanente y sus tallos aceleran la deposición de materiales orgánicos e inorgánicos resultando en la disminución de la profundidad del agua para luego convertir finalmente en humedales la zona litoral de la Laguna.

Se calcula que el área de Junco en la Laguna es de 842 has con base en un análisis de interpretación de una foto aérea tomada en 1999. Esta área se ha expandido durante 59 años de 1940-1999 a una tasa de crecimiento promedio de 14.4 ha/año. La velocidad de crecimiento del área de juncos se puede calcular en forma aproximada superponiendo el área existente de juncos con las áreas de plantas acuáticas que se han propagado históricamente tal como se muestra en la Fig. 6.1. De esta figura superpuesta, se calcula la expansión histórica

del área de Juncos, como se muestra a continuación.

| Período | Planta expandida | | Junco expandido | | (2)/(1) |
|--------------|------------------|--------------|-----------------|--------------|-------------|
| | Area (ha) (1) | (%) | Area (ha) (2) | (%) | (%) |
| 1940 – 1955 | 265 | 15.5 | 188 | 22.3 | 70.9 |
| 1955 – 1963 | 430 | 25.2 | 281 | 33.4 | 65.3 |
| 1963 – 1978 | 165 | 9.7 | 159 | 18.9 | 96.4 |
| 1978 – 1983 | 175 | 10.2 | 117 | 13.9 | 66.9 |
| 1983 – 1989 | 155 | 9.1 | 35 | 4.2 | 22.6 |
| 1989 – 1993 | 278 | 16.3 | 2 | 0.2 | 0.7 |
| 1993 – 1999 | 240 | 14.0 | 60 | 7.1 | 25.0 |
| Total | 1,708 | 100.0 | 842 | 100.0 | 49.3 |

Como se muestra en la tabla anterior, el área de planta acuática expandida (165 has) durante 1963-1978 ha sido convertido completamente en área de Juncos (96.4%). Se considera también que las áreas de plantas acuáticas durante 1940-1955 y 1955-1963 han pasado a ser área de Juncos. La foto aérea tomada en 1999 no ha identificado la presencia de juncos en algunas partes de las áreas de plantas expandidas durante 1940-1955 y 1955-1963 porque los juncos en dichas áreas ya habían sido reemplazados por pastos.

De las anteriores discusiones, se puede concluir que las islas acuáticas flotantes en 1978 han sido completamente convertidas en áreas de crecimiento de Juncos en 20 años (1978 a 1999). Por lo tanto, el tiempo de conversión de isla flotante a área de Juncos, es aproximadamente de 20 años.

6.2 Plantas Acuáticas Existentes

6.2.1 Especies y Distribución de Plantas Acuáticas

(1) Especies

Las plantas acuáticas están clasificadas en cuatro (4) tipos: sumergidas, con hojas flotantes, flotantes y emergentes. Las plantas acuáticas de la Laguna han sido estudiadas en 1979, 1986, 1997 y 1999 (este Estudio). Se resume a continuación, el número de especies identificadas en las investigaciones.

| Tipo | 1979 | 1986 | 1997 | 1999 |
|---------------|------|------|------|------|
| Sumergida | - | 1 | 1 | 1 |
| Hoja flotante | 1 | 2 | 1 | 1 |
| Flotante | 1 | 4 | 4 | 3 |
| Emergente | 6 | 10 | 7 | 12 |

Las especies de las plantas acuáticas existentes en 1999 se listan a continuación.

| Tipo de plantas | Especies |
|-----------------|---|
| Sumergida | <i>Egeria densa</i> (Elodea Brasileira), |
| Hoja Flotante | <i>Potamogeton illionensis</i> (Maleza de laguna) |
| Flotante | <i>Eichornia crassipes</i> (Buchón), <i>Lemna minor</i> (Lenteja de agua), <i>Azolla filiculoides</i> (Azolla) |
| Emergente | <i>Scirpus californicus</i> (Junco), <i>Typha angustifolia</i> (Espadaña), <i>Bidens laevis</i> , <i>Cyperus rufus</i> (Junco) , <i>Ludwigia pepilides</i> , <i>Polygonum hydropiperoides</i> , <i>Myriophyllum acuaticum</i> , <i>Juncus bogotensis</i> (Junco) , <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> , <i>Pseudoraphis sp.</i> , <i>Scirpus sp.</i> (Junco) , <i>Begonia cucullata</i> (Begonia) |

Nota: (): Nombre local

Para los nombres de las especies en los estudios previos, véa el Apéndice G Tabla G.2.3.

Entre las especies de arriba, las más predominantes en cada tipo de planta son: *Egeria densa* (Elodea Brasileira) en plantas sumergidas, *Potamogeton illionensis* (Maleza de laguna) en plantas con hojas flotantes , *Eichornia crassipes* (Buchón) en plantas flotantes y *Scirpus californicus* (Junco) y *Typha angustifolia* (Espadaña) en plantas emergentes.

La Elodea Brasileira ha sido bastante observada por la gente del lugar desde comienzos de los 90, sin embargo, ya había sido identificada en el estudio de 1986 con el nombre de *Ranunculus sp.* La Maleza de laguna, Buchón, Junco y Espadaña ya habían sido identificadas en el estudio realizado en el año 1979.

(2) Distribución

A continuación se calculan las áreas de plantas acuáticas existentes por especies más importantes con base en la interpretación de la foto aérea tomada en 1999 y en los estudios de campo.

| Plantas Acuáticas | Area (ha) | (%) |
|---|-----------|-------|
| Junco | 842.2 | 52.8 |
| Espadaña | 56.7 | 3.6 |
| Buchón Mezclado con otras Plantas Flotantes | 545.7 | 34.2 |
| Buchón Mezclado con Elodea Brasileira | 151.2 | 9.5 |
| Sub-total | 1,595.8 | 100.0 |
| Elodea Brasileira * | 804.4 | |
| Superficie del Agua | 558.8 | |
| Sub-total | 1,363.2 | |
| Total | 2,959.0 | |

En la tabla anterior, se considera solo al área visible de Elodea Brasileira* (804.4 ha) sobre la superficie del agua, la que fué identificada con la foto aérea. Además, un area adicional invisible de 399.6 has está sumergida bajo el agua.

La distribución regional de las plantas arriba mencionadas se muestran en la Fig. 6.3.

6.2.2 Características de las Plantas Acuáticas

Las plantas acuáticas más importantes en la Laguna son la Elodea Brasileira, Maleza de la Laguna, Buchón, Junco y Espadaña. Las características de las cinco principales plantas

mencionadas arriba son descritas a continuación.

(1) Elodea Brasileira (planta sumergida)

Está distribuida en áreas de la laguna con profundidades de agua menor a aproximadamente 4.0 m. Esta especie crece muy poco en áreas con profundidades mayores a 4.0 m debido a la falta de los efectos fotosintéticos. Esta especie (visible and invisible) cubre aproximadamente 90% de la superficie total del área de agua (cerca de 1,400 has) de la Laguna. Esta especie no se encuentra en el río que entra a la laguna: Río Ubaté, sin embargo, es abundante en el río de salida: Río Suárez. Esta especie se reproduce por la dispersión de los fragmentos de la planta ó crece de los tallos que han sido cortados por la máquina cosechadora.

Las ramas brotan de los “nudos dobles” localizados en intervalos a lo largo de los tallos. Las raíces, que son delgadas, se extienden desde los nudos que se encuentran en la parte inferior de los tallos con objeto de fijar la planta al fondo de la Laguna. Generalmente, ésta especie tiene una longitud de 1.0 m, sin embargo en ésta Laguna algunas veces se extienden hasta los 3.0 m.

Los tallos son provistos de brillantes hojas verdes . Las hojas tienen longitudes de varios centímetros. Pequeñas flores blancas florecen sobre la superficie del agua.

(2) Maleza de Laguna (planta de hoja flotante)

Esta planta hecha raíces en el fondo y crece hasta llegar a la superficie de agua y existe en áreas con profundidades menores a 4.0 m. No llega a conformar una gran comunidad y coexiste con la Elodea Brasileira.

(3) Buchón (planta flotante)

Esta especie flota en el agua y crece a una alta velocidad. Se propaga en las costas y en áreas de la laguna más pandas que 3.0 m, en la boca del Río Ubaté y en los canales de drenaje/irrigación que circundan a la Laguna.

(4) Junco y Espadaña (plantas emergentes)

Estas especies son plantas perennes con tallos fuertes y cilíndricos. El tallo es erigido y alcanza una altura de aproximadamente 2.5-3.0 m. Son las más predominantes en las costas ó en los humedales de la laguna, coexistiendo con otras plantas emergentes pequeñas.

6.2.3 Biomasa de las Plantas Acuáticas

(1) Plantas Sumergidas

La biomasa existente de la planta sumergida (Elodea Brasileira) se calculó por medio de una medición de muestras llevada a cabo entre fines de abril hasta comienzos de mayo en 1999. La muestras fueron tomadas de 22 puntos con aguas de diferentes profundidades.

La biomasa en cada punto se midió en dos (2) zonas: la primera desde la superficie de agua hasta 1.0m de profundidad y la segunda desde 1.0 m de profundidad hasta el fondo. La densidad de la Elodea Brasileira disminuye en proporción inversa con la

profundidad de agua como se muestra en la Fig. 6.4. La cantidad de Elodea Brasileira identificada en profundidades mayores a 4.0 m (menos de EL. 2,535.0 m) no fué significativa. A continuación se resume la densidad promedio de Elodea Brasileira por profundidad de agua. Además, no hay biomasa significativa bajo las plantas flotantes y emergentes.

| Profundidad del Agua(m) | Densidad (kg/m ²) | | |
|-------------------------|-------------------------------|--------------|-------|
| | Superior a 1.0 m | 1.0m – Lecho | Total |
| Menos de 2.0 | 14.5 | 4.4 | 18.9 |
| 2.0 – 3.0 m | 11.6 | 3.6 | 15.2 |
| 3.0 – 4.0 m | 4.3 | 7.5 | 11.8 |
| Más de 4.0 m | 0 | 0 | 0 |

El área total de superficie de agua (incluyendo la Elodea) se muestra en la Fig. 6.3. Por otro lado, el área de superficie de agua por profundidad de agua es calculado sobreponiendo ambas figuras. El mapa batimétrico de 1.984 es presentado en el Apéndice G Fig. G.2.1.

| Profundidad del Agua (m)* | Area existente de Superficie de Agua (ha) |
|---------------------------|---|
| Menos de 2.0 | 518 |
| 2.0 – 3.0 | 601 |
| 3.0 – 4.0 | 85 |
| 4.0 – 5.0 | 99 |
| Más de 5.0 | 60 |
| Total | 1,363 |

*:Se asume que el nivel del agua es 2,539.0 m.

Luego, la cantidad total de Elodea Brasileira en la Laguna se calcula en 197,300 ton (peso húmedo) con el siguiente desglose.

| Parte | Peso Húmedo (ton) |
|----------------|-------------------|
| Superior 1.0 m | 147,400 |
| 1.0 m – Lecho | 49,900 |
| Total | 197,300 |

(2) Planta Flotante

La planta flotante predominante en la Laguna es el Buchón. La mayoría de Buchón forma islas flotantes junto con varias especies de otras plantas flotantes y de plantas emergentes.

La medición de las muestras para calcular la biomasa de las plantas flotantes se realizó en 20 sitios de las islas flotantes. La biomasa del Buchón y de otras plantas mezcladas se midió en peso húmedo.

Las plantas flotantes que forman islas crecen en el área de la laguna con profundidades menores a 3 m. Se calcula que la densidad de biomasa promedio del total de plantas flotantes es de 109.11 kg/m².

Por otro lado, el área existente de plantas flotantes se calcula en 696.9 has. (véa la Sub-sección 6.2.1). De esta forma, la biomasa total actual de las plantas flotantes es calculada aproximadamente en 690,000 tons. en peso húmedo como se muestra a continuación.

| Planta | Area (ha) | Densidad (kg/m ²) | Peso humedo (ton) |
|---|-----------|-------------------------------|-------------------|
| Buchón con otras Plantas Flotantes/Emergentes | 545.7 | 109.11 | 595,400 |
| Buchón con Elodea | 151.2 | 62.75* | 94,900 |
| Total | 696.9 | | 690,300 |

*: Densidad promedio del Buchón (109.11 kg/m²) y de la Elodea (16.38 kg/m²).

Para mayores detalles sobre los resultados del estudio, véa el Apéndice G Tabla.2.4.

(3) Planta Emergente

Hay 12 especies de plantas emergentes en la Laguna de las cuales predominan dos (2) plantas altas emergentes: Junco y Espadaña. Estas dos (2) altas plantas emergentes coexisten con otras plantas emergentes pequeñas. La Espadaña usualmente crece en frente del Junco.

La medición de las muestras para calcular la biomasa se llevó a cabo en 20 sitios de juncos mezclados con otras plantas emergentes pequeñas y en 10 sitios de espadaña mezclados con otras plantas emergentes pequeñas. La biomasa se midió dividiendo las siguientes tres (3) porciones: (i) hojas/tallos sobre la superficie del agua, (ii) hojas/tallos bajo agua, (iii) raíces.

La mayoría del Junco crece en el área de la laguna con profundidades menores a 1.5 m. Por otro lado, la espadaña crece más lejos de la orilla que el Junco en profundidades de agua de 0.9 – 2.5 m.

La densidad de biomasa promedio de las dos (2) plantas emergentes (mezcladas con las otras plantas emergentes) se muestra abajo.

| Planta | Densidad de Biomasa ((kg/m ²)) | | | Total |
|----------|--|----------------------|-------|--------|
| | Hoja/Tallo sobre la Superficie del Agua | Hoja/tallo bajo Agua | Raíz | |
| Junco | 7.87 | 10.23 | 12.14 | 30.22 |
| Espadaña | 8.46 | 8.60 | 90.65 | 107.70 |

Se calcula que las áreas actuales de Junco y Espadaña son de 842.2 has. y 56.7 has. respectivamente (véa, Sub-section 6.2.1). Así, el total de biomasa existente de las plantas emergentes se calcula aproximadamente en 315,600 tons en peso húmedo correspondiendo al Junco (254,500 tons.) y a la espadaña (61,600 tons.).

Para mayores detalles sobre los resultados del estudio, véa el Apéndice G Tabla G.2.5.

6.2.4 Prueba de Reproducción de la Elodea Brasilera

La Elodea Brasilera se reproduce por la dispersión de los fragmentos de la planta en el suelo ó luego del corte de los tallos con ayuda de la máquina. La Elodea de la laguna crece a alta

velocidad. Se dice que se reproduce hasta alcanzar su altura original en un período corto, cuando es cosechada dejando sus raíces y alguna parte del tallo en el lecho de la Laguna.

Se hizo un experimento de campo con el propósito de analizar las tasas de reproducción de la Elodea después de haberse hecho la cosecha con máquina. El experimento comenzó a mitad de junio de 1999 con la cooperación de la CAR. Los resultados preliminares son descriptos abajo. El experimento continuará.

El experimento de reproducción fué realizado en los siguientes cinco (5) lugares: (A) franja norte de la Isla Santuario, (B) franja sur de la Isla Santuario, (C) cerca de la Isla Santuario, (D) cerca de la entrada de la Q.Monroy (boca) y (E) cerca de la entrada del canal de Naranjito (boca). La Elodea existente en cada lugar experimental fué cosechada a máquina a 1.5 m de profundidad desde la superficie del agua, dejando raíces y algo de tallos en el lecho de la Laguna. Los lotes experimentales no fueron aislados con protectores, permitiendo así la invasión de fragmentos de Elodea desde afuera. El experimento comenzó en junio 7, 1999 para el lugar (A), setiembre 23, 1999 para el lugar (B) y octubre 28, 1999 para los lugares (C, D, E).

Los resultados provisionales se muestra a continuación.

| Sitio | Profundidad de Agua (m) | Vol.Original (kg/m ²) | Vol.Inicial* (kg/m ²) | Tiempo Transcurrido (día) | Vol. Medido (kg/m ²) | Vol. De Reproducción (kg/m ²) |
|-------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|---|
| A | 1.90 | 11.51 | 0.46 | - | - | - |
| | | | | 78 | 0.53 | 0.07 |
| | | | | 120 | 0.70 | 0.24 |
| | | | | 199 | 2.36 | 1.90 |
| B | 2.55 | 14.29 | 0.81 | 97 | 5.44 | 4.63 |
| C | 2.50 | (16.0)** | 0.22 | - | - | - |
| | 1.90 | | | 63 | 0.22 | 0.00 |
| D | 2.54 | (16.0)** | 0.44 | - | - | - |
| | 1.91 | | | 63 | 4.00 | 3.56 |
| E | 3.10 | (16.0)** | 0.94 | - | - | - |
| | 2.60 | | | 63 | 4.44 | 3.50 |

* Volúmen remanente luego de la cosecha. **Estimado

La tasa de reproducción varía de lugar a lugar. La tasas promedias de reproducción son estimadas aproximadamente en 1.92 kg/m² (0.00 – 3.56 kg/m²) durante dos los (2) meses y 2.38 kg/m² (0.12 – 4.63 kg/m²) durante los tres (3) meses.

El experimento debería continuar para obtener la curva de la tasa de reproducción vs. tiempo.

6.3 Peces Existentes

Hay cuatro (4) especies de peces en la Laguna de las cuales dos (2) especies son nativas y las otras dos son exóticas, tal como se presenta a continuación.

| | |
|----------|---|
| Nativas | <i>Eremophilus mutisii</i> , <i>Grundulus bogotensis</i> |
| Exóticas | <i>Cyprinus carpio</i> , <i>Carassius auratus</i> (Bailarina) |

Ya no hay más *Salmo gairdneri* (trucha) en la Laguna. Estos cambiaron su hábitat original y se han dirigido a los ríos tributarios debido a la contaminación del agua y al exceso de plantas en la Laguna. Actualmente, hay criaderos de trucha en la Laguna pero limitado en las partes más profundas.

6.4 Control de Plantas Acuáticas

6.4.1 Necesidad del Control de las Plantas Acuáticas

(1) Proyección del Area Futuro de las Plantas Acuáticas

El área futuro de las plantas acuáticas en la Laguna se proyecta de la siguiente manera, con base en el análisis del Capítulo II, Sub-sección 6.1.1 y 6.1.2.

- (a) El área total de plantas acuáticas en la Laguna (cubriendo las áreas de plantas emergentes y flotantes pero excluyendo el área de plantas sumergidas) ha aumentado en 1,708 has durante 59 años de 1940 a 1999. La velocidad de expansión durante 1940-1989 fué de 24.5 has/año en promedio, sin embargo, se ha acelerado a 50.4 has/año durante los últimos 10 años de 1989-1999.
- (b) Esta expansión siempre se ha iniciado con la formación de islas acuáticas flotantes y luego, las islas flotantes han sido reemplazadas gradualmente por las plantas emergentes. De acuerdo con la interpretación de las fotografías aéreas históricas, las plantas flotantes expandidas han sido reemplazadas en su totalidad por plantas emergentes después de 20 años. Por lo tanto, se asume que todas las áreas ocupadas por las plantas flotantes existentes se convertirán en emergentes dentro de 20 años.
- (c) Por otro lado, el hábitat de las plantas emergentes se limita a las tierras húmedas ó áreas poco profundas. Generalmente crecen en las áreas de la laguna con profundidades menores a 1.5 m. De acuerdo con el mapa batimétrico de la Laguna de 1984, se calcula que el área de la laguna con profundidad menor a 1.5 m (medida desde la elevación de 2,539.0 m) es de 1,603 has. Por lo tanto, el área de plantas emergentes en el agua de la Laguna no excederá en el futuro 1,603 has.
- (d) El área total de plantas acuáticas emergentes alcanzará 2,654.2 has en el 2020 si continúa expandiéndose a una velocidad de 50.4 ha/año en el futuro. Las plantas emergentes cubrirán 1,595.8 has del área total de 2,654.2 has en el 2020 si el área actual de plantas flotantes es totalmente reemplazada por las plantas emergentes. Entonces, el remanente área de 1,058.4 has estará ocupado por plantas flotantes.
- (e) Se asume que las plantas flotantes se incrementarán a una tasa de crecimiento anual constante, de acuerdo a estudios previos (ver, Apéndice G Capítulo III Subsección 3.1.1). Las plantas flotantes de la Laguna crecen a una alta tasa, por otro lado, en algunos lugares son reemplazadas anualmente por plantas emergentes. Entonces, las plantas flotantes se incrementarán desde 696.9 has en 1999 a 1,058.4 has en el 2020 con una tasa aparente de crecimiento (tasa neta de crecimiento) del 2% por año.
- (f) El area de plantas sumergidas decrecerá de acuerdo a la propagación del área

de las plantas emergentes y flotantes.

De acuerdo a las asunciones de arriba, abajo son estimadas las distribuciones de las plantas acuáticas para el 2010 y para el 2020 en comparación con la existente.

| Clasificación | 1999 | | 2010 | | 2020 | | Observaciones |
|-------------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|--|
| | Area (ha) | (%) | Area (ha) | (%) | Area (ha) | (%) | |
| Planta Emergente | 898.9 | 30.4 | 1,284.0 | 43.4 | 1,595.8 | 53.9 | Junco, Espadaña |
| Planta Flotante | 696.9 | 23.6 | 867.0 | 29.3 | 1,058.4 | 35.8 | Buchón y otros |
| Sub-total | 1,595.8 | 54.0 | 2,151.0 | 72.7 | 2,654.2 | 89.7 | Area Total de planta acuática |
| Planta Sumergida | 1,204.0 | 40.7 | 649.0 | 21.9 | 145.6 | 4.9 | Crece en profundidad de agua < 4.0 m |
| Area de Pura Agua | 159.2 | 5.3 | 159.0 | 5.4 | 159.2 | 5.4 | Area de agua con profundidad mayor que 4.0 m |
| Sub-total | 1,363.2 | 46.0 | 808.0 | 27.3 | 304.8 | 10.3 | Area Total de agua superficial |
| Total | 2,959.0 | 100.0 | 2,959.0 | 100.0 | 2,959.0 | 100.0 | Area Total de la Laguna |

(2) Problemas causados por el Exceso de Plantas Acuáticas

Los siguientes serán problemas importantes causados por el crecimiento excesivo de plantas acuáticas en el futuro.

(a) Reducción de la Capacidad de Almacenamiento de la Laguna

Las plantas acuáticas remueven al agua, resultando en la reducción de capacidad de embalse de la Laguna y en las áreas menos profundas reducen la capacidad de almacenamiento efectiva. La reducción de la capacidad efectiva de almacenamiento de la Laguna se calcula a continuación junto con el área actual, densidad promedio y biomasa de las plantas acuáticas en la Laguna.

| Planta | Area (ha) | Densidad promedio (kg/m ²) | Biomasa Total (ton) | Biomasa bajo el Agua (ton) | Almacenamiento efectivo reducido (m ³)* |
|-----------|-----------|--|---------------------|----------------------------|---|
| Emergente | 899 | 35.11 | 315,600 | 244,700 | 244,700 |
| Flotante | 697 | 99.04 | 690,300 | 345,200 | 345,200 |
| Sumergida | 1,204 | 16.38 | 197,300 | 197,300 | 147,400 |
| Total | 2,800 | | 1,203,200 | 787,200 | 737,300 |

*: El peso específico de las plantas acuáticas se asume cercano a 1.0 ton/m³.

En la tabla anterior, la biomasa bajo el agua de las plantas emergentes se calcula por medición de campo. Se calcula que la biomasa bajo el agua de las plantas flotantes es la mitad de la biomasa total ya que la parte inferior de las plantas flotantes está sumergida en el agua.

Se calcula que la biomasa bajo el agua de las plantas emergentes reduce totalmente la capacidad efectiva de almacenamiento ya que crecen en áreas de agua poco profunda. Es evidente que la biomasa bajo el agua de las plantas flotantes reduce totalmente la capacidad efectiva de almacenamiento. En cuanto a plantas sumergidas, se calcula que la biomasa en la capa superior a 1.0 m de profundidad (75% del total de biomasa) reduce actualmente la capacidad efectiva de almacenamiento. Se muestra en la tabla anterior.

La reducción de la capacidad efectiva de almacenamiento en el futuro (2020) se calcula igual que en el presente. Esto se muestra a continuación.

| Planta | Area (ha) | Densidad Promedio (kg/m ²) | Biomasa Total (ton) | Biomasa bajo el Agua (ton) | Almacenamiento Efectivo Reducido (m ³)* |
|--------------|--------------|--|---------------------|----------------------------|---|
| Emergente | 1,596 | 35.11 | 560,400 | 435,100 | 435,100 |
| Flotante | 1,058 | 99.04 | 1,047,800 | 523,900 | 523,900 |
| Sumergida | 146 | 16.38 | 23,900 | 23,900 | 17,900 |
| Total | 2,800 | | 1,632,100 | 982,900 | 976,900 |

*: Se asume que el peso específico de las plantas es aproximadamente de 1.0 ton/m³.

Como se mencionó antes, la capacidad efectiva de almacenamiento de la Laguna disminuirá en 0.24 millones de m³ para el año 2020 debido al crecimiento de las plantas acuáticas si no se toman medidas de control.

(b) Deterioro de la Calidad del Agua de la Laguna

El crecimiento excesivo de las plantas acuáticas hace que el agua de la laguna sea anaerobica debido a los siguientes efectos:

- (i) La descomposición de las plantas acuáticas marchitas consumen el oxígeno del agua de la laguna.
- (ii) El cubrimiento de las plantas acuáticas en la superficie del agua no permite el paso del sol y esto no deja que ocurra la fotosíntesis de las plantas.
- (iii) El cubrimiento de las plantas acuáticas en la superficie del agua reduce la aireación natural del agua de la laguna (entrada de oxígeno del aire en el agua de la laguna).

El agua de la laguna ya se ha convertido en anaerobia en las áreas con crecimiento denso de plantas acuáticas, emitiendo sustancias tóxicas de H₂S, especialmente bajo las islas flotantes. En dichas áreas, el agua de la laguna es de color negra y emite un mal olor. Además, los depósitos de toda la laguna están bajo una condición anaerobia, no permitiendo la presencia de bentos, moluscos, ect. en los depósitos. Ver Capítulo V Sub-sección 5.1.3.

La calidad del agua empeorará aún más en el futuro dependiendo del crecimiento de plantas acuáticas. Esto causará daños fatales no sólo en la vida acuática de la Laguna, sino también en la utilización del agua en las áreas circundantes.

Dicha agua deteriorada de la laguna no permitirá la existencia de bentos, peces y otras vidas acuáticas. Puede que el tratamiento de ésta agua para uso humano no sea difícil, sin embargo, el agua subterránea recargada de la Laguna puede debilitar las raíces de los pastos en los alrededores de la Laguna.

(c) Bloqueo del Flujo de Agua

El exceso de plantas acuáticas en la Laguna bloquea la salida de la Laguna y las que existen en el Río Suárez también bloquean el flujo del río. Este bloqueo

puede causar daños de inundación en las áreas bajas circundantes a la Laguna y daños en los usos del agua en la parte baja del Río Suárez.

6.4.2 Posibles Medidas de Control

Las siguientes cinco (5) medidas de control se enumeran como las posibles; (i) Reducción de la entrada de nutrientes, (ii) Dragado del lecho de la Laguna, (iii) Cosecha de plantas sumergidas, (iv) Remoción de plantas flotantes y (v) Control de plantas acuáticas por la carpa herbívora.

(1) Reducción de la Entrada de Nutrientes

Las plantas acuáticas crecen absorbiendo varios tipos de nutrientes del lecho y del agua. Dicha absorción ocurre a través de las raíces, tallos y hojas. El Nitrógeno (N) y el Fósforo (P) son los nutrientes más importantes. La Laguna en la actualidad se encuentra bastante eutroficada y contiene una gran cantidad de N y P en el agua y en los depósitos del lecho como se muestra a continuación.

| Item | N | P |
|---|-------|------|
| Calidad promedia del Agua (mg/l) | 1.83 | 0.07 |
| Calidad promedia del Depósito del Lecho (mg/ kg.seco) | 4,600 | 150 |

Sin embargo, la reducción de la entrada de nutrientes (N, P) a la Laguna no se considera efectiva como se describe a continuación, aunque el corte de fuentes de nutrientes puede teóricamente frenar el crecimiento de las plantas acuáticas.

- (a) La mayoría de los nutrientes que entran (N, P) a la Laguna vienen de fuentes no puntuales incluyendo la ganadería, terrenos (cultivos, pasturas y matorrales) y viviendas en áreas rurales. Aquellas de las fuentes puntuales de alcantarillado e industrias son limitados. A continuación se muestra el porcentaje existente de la entrada anual de nutrientes por fuente (ver, Capítulo V Subsección 5.9).

| Fuente Contaminante | N (%) | P (%) |
|---------------------|-------|-------|
| Alcantarillado | 22.9 | 21.4 |
| Industria | 0.8 | 1.5 |
| Ganadería | 60.5 | 75.5 |
| Suelos | 15.7 | 1.6 |
| Vivienda | 0.1 | 0.0 |
| Total | 100.0 | 100.0 |

Actualmente, no hay una forma práctica de controlar el N y el P que proviene de la ganadería y de los suelos. El Tratamiento del N y del P en el alcantarillado y en las fábricas arriba mencionado, es técnicamente posible. Sin embargo, es muy costoso, y por lo tanto, es considerado económicamente no viable.

- (b) Los nutrientes altamente concentrados (N, P) se acumulan en los depósitos de todo el lecho de la laguna. El lecho de la laguna tiene grandes fuentes potenciales de nutrientes que pueden ser utilizados por las plantas acuáticas por un período largo.

(c) Las plantas acuáticas crecen hasta en las lagunas oligotrópicas.

(2) Dragado del Lecho de la Laguna

El dragado del lecho de la laguna disminuirá la capacidad de fotosíntesis de la Elodea. La laguna debe ser dragada para mantener la profundidad del agua a más de 4 m para controlar por completo el crecimiento de la Elodea. Los trabajos de dragado necesarios cubren 1,900 has (área de la laguna con profundidad menor a 4.0 m excluyendo el área de plantas emergentes) y un volumen de tierra de 43 millones de m³.

Así, el posible dragado estará limitado a tales áreas críticas como ser la zona frontal de los Juncos.

El dragado de la zona frontal de los Juncos puede contribuir al control de la expansión del área de Juncos ya que su hábitat se limita usualmente a tierras húmedas ó a áreas de agua con profundidades menores a 1.5 m.

(3) Cosecha de Plantas Sumergidas

Actualmente y en forma diaria, la CAR y el Departamento de Cundinamarca están cosechando mecánicamente la Elodea. La máquina sólo cosecha la parte superior de la Elodea (hasta 1.5 m desde la superficie del agua), dejando la parte inferior de los tallos y raíces en el lecho de la laguna. Como resultado, se dice que la Elodea se reproduce sola y vuelve a su tamaño original en un período corto después de su cosecha.

Esta cosecha no tiene fin. Además, la CAR y el Departamento de Cundinamarca tienen problemas con la eliminación de la Elodea cosechada. El uso de la Elodea cosechada es considerada como la clave para la implementación exitosa de las medidas de control de las plantas acuáticas.

De acuerdo con la encuesta realizada, aproximadamente el 50% del total de agricultores en el Área de Estudio están interesados en utilizar la Elodea como fertilizante. Por lo tanto, se considera como uno de los mayores posibles usos de la Elodea cosechada a su aplicación como fertilizante en los pastos que rodean la Laguna ó como compost en los cultivos.

(4) Remoción de Plantas Flotantes

El área total existente de plantas flotantes (principalmente Buchón) cubre aproximadamente 700 has. la cuál en su mayor parte forma una gran cantidad de islas flotantes. Las islas flotantes se están expandiendo a una gran velocidad.

También es urgente la remoción de estas islas flotantes. Sin embargo, se debe desarrollar un sistema de eliminación adecuado de las plantas flotantes removidas ya que la cantidad a ser eliminada es bastante. Se considera que el compostaje de las plantas flotantes removidas y su utilización en la agricultura sea uno de los sistemas de disposición más prospectivo.

(5) Control de las Plantas Acuáticas con la Carpa Herbívora

La carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idellus*) es indígena para los ríos de Vietnam

del norte, China y Rusia que fluyen al Océano Pacífico. Esta especie ha sido introducida a más de 50 países del mundo para el control de las plantas acuáticas y para el cultivo de peces.

La carpa Herbívora es polífago, sin embargo, prefiere plantas acuáticas. Puede vivir en una amplia variedad de temperaturas de (0-35 °C). Crece más rápido en agua caliente. Se dice que una carpa herbívora adulta consume diariamente el mismo peso de hierba que su peso corporal.

El control de plantas acuáticas, especialmente el control de Elodea en la Laguna de Fúquene con carpa herbívora es considerado efectivo. Sin embargo, la eficiencia del control es incierta porque la temperatura de la Laguna no es lo suficientemente caliente. Las tasas de crecimiento y de consumo de alimentos de la carpa en el agua de la Laguna se estima a través de un experimento de campo tal como se describe en la siguiente Sección.

6.4.3 Experimento sobre Uso de las Plantas Acuáticas y la Carpa Herbívora

(1) Experimento para Utilizar la Elodea como Fertilizante

(a) Metodología Experimental

Un experimento de campo fué realizado por aproximadamente ocho (8) meses entre finales de mayo, 1999 hasta mitad de enero, 2000 en cooperación con la CAR. El experimento fué realizado en los siguientes dos (2) lotes experimentales con diferentes tipos de suelos, localizados en la costa oeste plana de la Laguna, cerca del puerto.

| Lote | Condición |
|----------|---|
| Bloque-1 | Alto contenido de materia orgánica (mayor que 9%) |
| Bloque-2 | Bajo contenido de materia orgánica (menos que 2%) |

Para cada lote experimental, se tuvieron los siguientes cinco (5) casos:

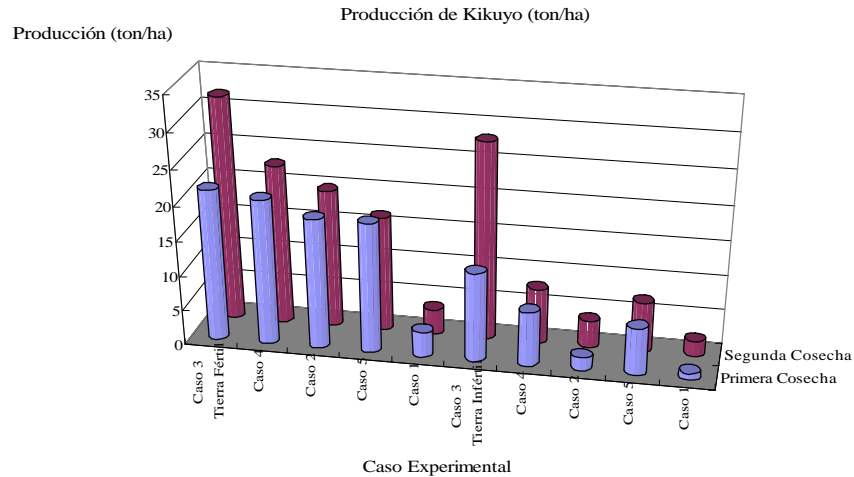
| Caso | Condición |
|------|---|
| 1 | Cubierto con 75 cm de espesor de Elodea |
| 2 | Cubierto con 50 cm de espesor de Elodea |
| 3 | Cubierto con 25 cm de espesor de Elodea |
| 4 | Sólo se utiliza fertilizante químico |
| 5 | No se utilizó ni Elodea ni fertilizante químico |

Los resultados fuéron evaluados en términos de producción de pastos (especies: Kikuyo) por unidad de tierra.

El fertilizante de Elodea se descompone, mejorando la condición del suelo lentamente por un largo periodo. La generación de los efectos como fertilizante es bajo, diferente al del fertilizante químico. Por lo tanto, los efectos de la Elodea como fertilizante fuéron confirmados en dos (2) cosechas de pastos.

(b) Resultados del Experimento

Las producciones unitarias de pastos en las dos cosechas son mostradas a continuación.



(c) Evaluación de los Resultados del Experimento

- (i) El Caso-3 fué más eficiente que el Caso-1 y el Caso-2. La producción de éstos últimos probablemente fueron retardadas debido a que sus espesores no permitieron la entrada de la luz solar.
- (ii) En tierra fértil, en la primera cosecha, el Caso-3 no produjo mucha producción de pastos comparado con el Caso-5. Sin embargo, produjo dos veces más que el Caso-5 en la segunda cosecha.
- (iii) En tierra infértil, los efectos del fertilizante fué mucho mayor que el presentado en tierra fértil. El Caso-3 produjo dos veces más que el Caso-5 en la primera cosecha y cuatro veces más en la segunda cosecha.
- (iv) El fertilizante de Elodea tiene considerables efectos sobre la producción de pastos. Los efectos son mayores en las tierras infértiles que en las tierras fértiles. Sin embargo, el uso de fertilizante de Elodea puede ser limitado a las tierras fértiles alrededor de la laguna ya que las tierras infértiles en su mayor parte están ubicadas muy lejos de la Laguna.
- (v) Se considera necesario seguir con más estudios experimentales para concluir cuantitativamente con los efectos del fertilizante de Elodea para las tierras fértiles localizadas alrededor de la Laguna.

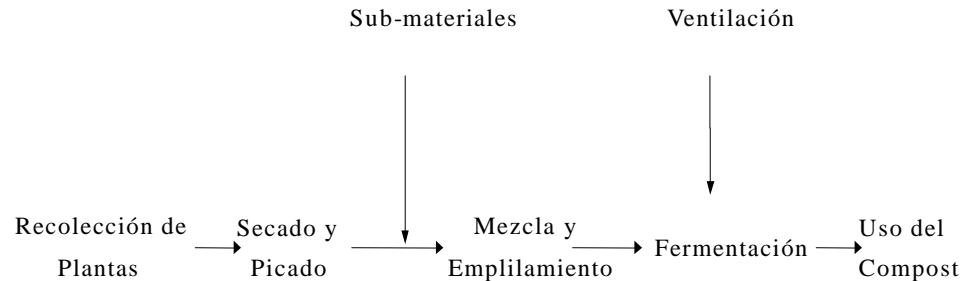
Para los detalles, ver Apéndice E Capítulo III Subsección 3.3.1.

(2) Experimento para el compostaje de Plantas Acuáticas

(a) Metodología Experimental

El compost hecho de plantas acuáticas ha sido utilizado en muchos países como fertilizante y como mejorador de suelos. Generalmente se dice que es bueno

para las flores y vegetales verdes (espinaca, lechuga,ect.) debido a su relativa baja concentración de fósforo. El compost usualmente se produce con los



siguientes procesos.

El experimento fué realizado, por tres meses y medio desde comienzos de setiembre, 1999 hasta mitad de diciembre, 1999, en un lugar cercano al puerto de la Laguna de Fúquene, en cooperación con la CAR.

El experimento fué realizado para la Elodea, Buchón y Junco mezclando con varias cantidades de submaterial. El estiercol vacuno fué utilizado como submaterial. La prueba de compostaje comenzó luego de la cosecha de plantas acuáticas que han sido secados previamente durante 10 días.

(b) Resultados del Experimento

(i) Características Químicas de las Plantas Acuáticas

Las características químicas de las plantas acuáticas son analizadas como sigue.

| Item | Unidad | (Peso Seco) | | |
|----------------------|--------|-------------|--------|-------|
| | | Elodea | Buchón | Junco |
| Contenido de Humedad | (%) | 92.2 | 91.0 | 76.9 |
| Contenido de Ceniza | (%) | 20.8 | 16.8 | 7.4 |
| N | (%) | 2.85 | 1.84 | 1.03 |
| P | (%) | 0.23 | 0.13 | 0.05 |
| Relación N/P | - | 12.4 | 14.2 | 20.6 |
| K | (%) | 2.81 | 1.91 | 0.97 |

La concentración de metales pesados son despreciables.

(ii) Tasa de Reducción del Volúmen y Peso

El volúmen y el peso de las plantas acuáticas fueron reducidos como consecuencia del proceso de compostaje tal como se muestra abajo.

| Item | Planta Acuática | Al Inicio del Compostaje (%) | Al final del ompostaje (%) |
|---------|-----------------|------------------------------|----------------------------|
| Volúmen | Elodea | 100 | 22 |
| | Buchón | 100 | 45 |
| | Junco | 100 | 78 |
| Peso | Elodea | 100 | 32 |
| | Buchón | 100 | 57 |
| | Junco | 100 | 46 |

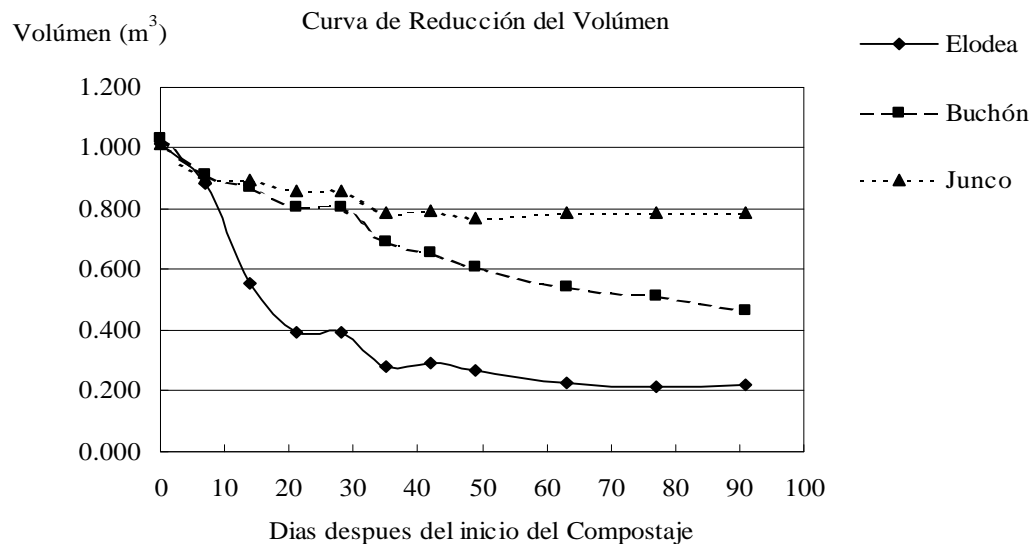
Note: Tiempo Inicial : 10 días luego de la cosecha.

(iii) Tiempo Requerido para el Compostaje

Las curvas de reducción del volúmen para las tres (3) plantas acuáticas son presentadas en la figura de abajo.

Tal como se muestra en la figura de abajo, la reducción del volúmen de la Elodea ha terminado en 70-80 días después del comienzo del proceso de compostaje. Esto significa que la descomposición de la Elodea fué casi completo durante este periodo. Sin embargo, el volúmen del Buchón aún estaba en proceso de reducción incluso en la etapa final del experimento de compostaje. Esto significa que el Buchón requerirá de un tiempo mayor para que sea descompuesto satisfactoriamente.

Por otro lado, la reducción del volúmen del Junco há terminado en 30 días luego de comenzar el proceso de compostaje. La tasa de reducción es pequeña y no se espera una mayor descomposición. Se considera de que ésto se debe a su alto contenido de fibras.



(c) Conclusión

Las siguientes conclusiones son alcanzadas tomando en cuenta el experimento y experiencias previas en Japón y en otros países.

- (i) En el Area de Estudio se puede producir compost de la Elodea y del Buchón sin importar la baja temperatura atmosférica. Sin embargo, el compostaje del Junco es difícil.
- (ii) El compostaje de la Elodea y del Buchón puede ser completado en tres y cinco meses respectivamente.
- (iii) La buena preparación de la materia prima (picado y compresión de las plantas acuáticas) antes del compostaje ayudará más aún a la reducción del volumen/peso del compost y del tiempo de compostaje. El empilamiento de una gran cantidad de materia prima para compost generará una alta temperatura interior que la generada a escala de éste experimento, y ésto ayudará aún más para la reducción del tiempo de compostaje.
- (iv) Es posible producir compost de la Elodea y del Buchón para satisfacer el estándar de calidad del Instituto Agrícola Colombiano (ICA). Sólo la concentración del fósforo es menor que el estándar, sin embargo, esta escasez puede ser corregido mediante la adición de una pequeña cantidad de fertilizante químico de alta concentración en fósforo. La concentración de metales pesados es muy pequeña en comparación con los estándares.

Para los detalles, ver Apéndice E Capítulo III Subsección 3.3.2.

(3) Experimento para el Control de Plantas Acuáticas con Carpa Herbívora

(a) Metodología Experimental

Para el experimento se importaron de los Estados Unidos carpas herbívoras estériles triploides con número de cromosoma (3N). Esto se hizo con la autorización del Ministerio del Medio Ambiente. Luego fueron puestas en cuarentena con la inspección del Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INPA), y fueron liberadas en las jaulas experimentales de la laguna de Fúquene en octubre 11 de 1999. El experimento se está realizando para los siguientes dos (2) casos con la cooperación de la CAR:

(i) Experimento en Jaula

Un (1) jaula flotante hecho de mallas fué instalada cerca de la Isla del Santuario. El área de agua del lugar tiene una profundidad de 6 m y está libre de plantas acuáticas.

El experimento está siendo realizado para analizar las características de la carpa hervíbora como ser secuencia de preferencia de hierba, tasa de crecimiento, tasa de consumo de hierba, enfermedades, ect. Las tasas de consumo y de crecimiento se incrementarán con el transcurso del tiempo. Por lo tanto, el experimento está programado continuar por un periodo de dos (2) ó tres (3) años.

(ii) Experimento bajo Condiciones Naturales

Se prepararon cuatro (4) lotes experimentales poco profundos

(profundidad del agua: 2.0 m) cerca de la Isla del Santuario donde crece densamente la Elodea Brasileira. Cada lote fué aislado con mallas.

Este experimento está siendo realizado para establecer la tasa de crecimiento de la carpa hervíboras y la tasa de consumo de la Elodea en condiciones naturales existentes. La tasa de consumo de hierba es medido por medio de la cosecha de la Elodea remanente en el lote experimental. El experimento comenzó en el primer lote y de aquí las carpas hervíboras son llevadas al segundo lote y luego al tercero y al cuarto y esta operación se hace en cada momento de medición.

Estos experimentos continuarán por más de dos (2) ó tres (3) años ya que la tasas de crecimiento y de consumo se incrementarán con el transcurso del tiempo.

(b) Registros del Experimento

(i) Experimento en Jaula

Doscientos setenta y uno (271) alevinos con tamaño promedio de 10 cm (16.0 g) fueron liberados en la jaula en octubre 11, 1999.

Luego, 49 peces murieron en el periodo de noviembre 8 a noviembre 25. Por lo tanto, los peces remanentes (excepto uno) fueron retornados al tanque de cuarentena de la Laguna del Neusa. Además, 37 peces murieron inmediatamente después del retorno a la Laguna del Neusa. Después de esto, los restantes 184 peces se retornaron a las jaulas experimentales en la laguna de Fúquene. Por otro lado, todavía están vivos los peces que se habian dejado en la Laguna de Fúquene.

(ii) Experimento bajo Condiciones Naturales

Doscientos cincuenta y nueve (259) alevinos relativamente grandes con tamaño promedio de 15.0 cm (75.0 g) fueron liberados en el primer lote en octubre 11, 1999. De los 259 peces, 62 murieron hasta diciembre 7, 1999.

En enero 11 de 2000 fueron medidas la tasa de crecimiento y la tasa de consumo de la Elodea por la carpa hervíboras. Inmediatamente después de la medición, 30 peces han muerto. Luego, en el presente se encuentran vivos 167 peces en los lotes experimentales: 98 peces en el segundo lote y 67 peces en el primer lote.

Como se menciona arriba, han muerto una considerable cantidad de peces. La causa de la muerte fué chequeada en el tanque de cuarentana de la Laguna de Neusa. Sin embargo, no se han reconocido enfermedades graves. Entonces, esto puede ser atribuido a las siguientes razones.

(i) Alta turbiedad anormal del agua de la laguna causada por la inundación ocurrida en el mes de noviembre. La inundación fué reportada como la más grande registrada últimamente

(ii) Las medidas experimentales les han ocasionado un shock a los peces debilitándolos hasta morir.

(c) Tasas Estimadas de Crecimiento y de Consumo

En enero 11 de 2000, fueron medidos el tamaño y el peso de las carpas hervíboras en el primer lote experimental. Los resultados son mostrados abajo en comparación con los registrados en el tiempo de inicio del experimento.

| Fecha | Tamaño promedio (cm) | Peso promedio (g) |
|---------------|----------------------|-------------------|
| Oct. 11, 1999 | 15.0 | 75.0 |
| Ene. 11, 2000 | 20.5 | 95.3 |

En el mismo día, la Elodea consumida se estimó en 1,248 kg mediante la cosecha de la Elodea remanente en el lote experimental.

De los datos de arriba, la tasa unitaria de consumo promedio durante tres meses (octubre 11,1999 a enero 11,2000) se estima como sigue:

$$\text{Tasa unitaria de Consumo} = 1,248 \text{ kg}/90 \text{ días}/197 \text{ peces} = 70 \text{ g/día/pez}$$

Generalmente se dice que una carpa hervívora adulta consume cada día mucha cantidad de hierbas igual a su peso si dispone de sus hierbas favoritas, mientras que los peces mas jóvenes comen más de su propio peso. La tasa de consumo del experimento se considera razonable, tomando en consideración la desventaja de la baja temperatura de la Laguna.

El experimento debe continuar hasta alcanzar la conclusión final sobre la tasa unitaria de consumo de Elodea. Sin embargo, se considera posible el control de la Elodea por medio de la carpa hervívora.

6.4.4 Selección del Uso Optimo de las Plantas Acuáticas

(1) Uso de la Planta Sumergida Cosechada (Elodea)

Se considera tres (3) alternativas para el uso de Elodea: (i) uso como fertilizante de pastos, (ii) uso como compost para el cultivo de flores y (iii) uso como compost para el cultivo de papas. A continuación se comparan estas tres alternativas:

(a) Uso como Fertilizante de Pastos

En este caso, la Elodea cosechada es utilizada como fertilizante para los pastos ubicados en áreas circundantes a la Laguna. Los trabajos requeridos incluyen cosecha mecánica, transporte por bote y descarga en la costa. Se asume que los agricultores transportarán la Elodea descargada hasta sus fincas.

El costo requerido se estima en 15,300 Col\$/ton en peso húmedo.

El fertilizante de Elodea puede producir efectos considerables sobre el crecimiento de los pastos. Sin embargo, en este momento es dudoso que los agricultores quieran compartir el costo que implica la cosecha de la Elodea. Por consiguiente, en éste Estudio se asume la CAR se responsabilizará por todo el costo.

(b) Uso como Compost para Cultivo de Flores

El compost se está utilizando actualmente en el cultivo de flores. El área de cultivo de flores en el área metropolitana de Bogotá es de 4,000 has (principalmente en la región de Zipaquirá). Por lo tanto, la demanda potencial de compost para dicha superficie es de aproximadamente 260,000 ton/año. El actual precio de mercado de éste compost es de 140,000 Col\$/ton.

La factibilidad para el uso del compost de Elodea en el cultivo de flores es estudiado como se explica abajo:

El contenido de nutrientes en el compost arriba mencionado es presentado en la siguiente tabla comparando con el compost hecho de Elodea.

| Componente | Compost Actualmente Utilizado (%) | Elodea (%) | |
|------------|-----------------------------------|------------|-----------------|
| | Peso del Compost | Peso Seco | Peso en Compost |
| Humedad | 29.92 | 0.00 | 30.00 |
| T-N | 0.82 | 2.85 | 2.00 |
| T-P | 0.40 | 0.23 | 0.16 |
| K | 1.52 | 3.39 | 2.37 |

El compost hecho de la Elodea tiene suficiente T-N y K pero tiene poco T-P. Algo de aditivo es necesario incorporar al compost de Elodea para complementar el T-P y esto se consigue agregando 12 kg de fertilizante químico (di-fosfato de amonio) por tonelada de compost.

El costo unitario de producción de compost de la Elodea, incluyendo cosecha, compostaje, transporte por tierra (Laguna-Zipaquirá: 60 km) y aditivo, se estima en 187,200 Col\$/ton de compost. El desglose del costo está presentado en el Apéndice G Capítulo III Sección 3.4.1.

(c) Uso como Compost para Cultivo de la Papa

En este caso, la Elodea compostada es utilizada en el cultivo de papas como una alternativa del fertilizante químico. Aproximadamente 17,000 has de papa es cultivada en las áreas montañosas del Area de Estudio. Sin embargo, los agricultores en el presente generalmente usan fertilizantes químicos para el referido cultivo.

El fertilizante químico que corrientemente se usa en el cultivo de papas tiene muy alta concentración de nutrientes comparado con la que tiene la Elodea así como se muestra abajo.

| Componente | Fertilizante Químico (%) | Elodea (%) | |
|------------|--------------------------|------------|-----------------|
| | Peso Seco | Peso Seco | Peso en Compost |
| Humedad | 0.00 | 0.00 | 30.00 |
| T-N | 15.00 | 2.85 | 2.00 |
| T-P | 6.54 | 0.23 | 0.16 |
| K | 12.45 | 3.39 | 2.37 |

Como se muestra en la tabla de arriba, se necesita 7.5 toneladas de compost de Elodea para suministrar la misma cantidad de T-N que el suministrado por una tonelada de fertilizante químico. Además se necesita incorporar 267 kg de fertilizante químico (di-fosfato de amonio) para suplementar el T-P.

El costo del compost de Elodea (7.5 ton) requerido para sustituir al fertilizante químico de una (1) ton se estima en 1,456,350 Col\$. En esta estimación de costo, se asume que la distancia de transporte entre la Laguna y las áreas de mayor cultivo es de 40 km. El desglose del costo está presentado en el Apéndice G Capítulo III Sección 3.4.1.

Por otro lado, el precio de mercado para el fertilizante químico corrientemente utilizado se estima en 534,000 Col\$/ton puesto en finca.

De la comparación de los costos de arriba, se evidencia que el uso del compost de Elodea en vez del fertilizante químico es economicamente inviable. Además los agricultores necesitan trabajar 7.5 veces más para los trabajos de fertilización comparado con el fertilizante químico.

(d) Conclusión

Tal como se explicó más arriba, el uso del compost en el cultivo de papas es definitivamente inviable. En consecuencia, a continuación son comparados los costos que implica la utilización del fertilizante natural y del compost para que la CAR pueda seleccionar el uso más óptimo:

El costo unitario de la producción del compost puesto en el mercado (incluyendo costo de transporte hasta Zipaquirá) se estima en 187,200 Col\$/ton (en peso de compost). De este costo unitario, la empresa productora del compost puede asumir 112,000 Col\$/ton (en peso de compost) asumiendo que la empresa tiene un beneficio de 20% del precio de Zipaquirá (140,000 Col\$/ton en peso de compost). En este caso, la CAR debe asumir el costo remanente de 75,200 Col\$/ton (en peso de compost), equivalente a 10,700 Col\$/ton (en peso húmedo).

Por otro lado, la CAR debe asumir 15,300 Col\$/ton (en peso húmedo) en el caso de que se use la Elodea como fertilizante natural.

De la comparación anterior relativo al costo a ser asumido por la CAR, el uso de la Elodea como compost para cultivo de flores es más barato que el uso de la Elodea como fertilizante natural.

(2) Uso de Plantas Flotantes Removidas (Buchón)

Se considera difícil el uso del Buchón como fertilizante natural en las áreas

circundantes a la Laguna ya que el Buchón contiene mucha celulosa que no puede descomponerse fácilmente. Entonces tenemos dos alternativas para su uso: (i) uso como compost para el cultivo de flores y (ii) uso como compost para el cultivo de papas. Estas alternativas son comparadas a continuación:

(a) Uso del Compost para Cultivo de Flores

En la siguiente tabla se compara la cantidad de nutrientes que tiene el Buchón con el que tiene el compost que actualmente está siendo utilizado en el cultivo de flores.

| Componente | Compost Utilizado | Buchón (%) | |
|------------|-------------------|------------|-----------------|
| | Actualmente (%) | Peso seco | Peso en Compost |
| Humidity | 29.92 | 0.00 | 30.00 |
| T-N | 0.82 | 1.84 | 1.29 |
| T-P | 0.40 | 0.13 | 0.09 |
| K | 1.52 | 2.30 | 1.61 |

El compost de Buchón también es suficiente en T-N y K pero tiene bajo tenor de T-P. Por lo tanto, se necesita adicionar 15.5 kg de fertilizante químico (di-fosfato de amonio) para incrementar el T-P.

Las islas de Buchón son removidas de diferente manera que como la Elodea. Ellas son cortadas mecánicamente en varias piezas y jalados al puerto con la ayuda de un bote.

El costo unitario de producción de compost de Buchón, incluyendo remoción, compostaje, transporte por tierra (Laguna-Zipacquirá: 60 km) y aditivo, se estima en 110,100 Col\$/ton de compost. El desglose del costo está presentado en el Apéndice G Capítulo III Sección 3.4.2.

(b) Uso como Compost para Cultivo de la Papa

En este caso, el Buchón compostado es utilizado en el cultivo de papas como una alternativa del fertilizante químico.

El fertilizante químico que corrientemente se usa en el cultivo de papas tiene muy alta concentración de nutrientes comparado con la que tiene el Buchón así como se muestra abajo.

| Componente | Fertilizante Químico (%) | Buchón (%) | |
|------------|--------------------------|------------|-----------------|
| | Peso Seco | Peso Seco | Peso en Compost |
| Humedad | 0.00 | 0.00 | 30.00 |
| T-N | 15.00 | 1.84 | 1.29 |
| T-P | 6.54 | 0.13 | 0.09 |
| K | 12.45 | 2.30 | 1.61 |

Como se muestra en la tabla de arriba, se necesita 11.6 toneladas de compost de Buchón para suministrar la misma cantidad de T-N que el suministrado por una tonelada de fertilizante químico. Además, se necesita 275 kg de fertilizante

químico (di-fosfato de amonio) para suplementar el T-P. Este caso es definitivamente menos económico que el caso de la Elodea.

De las discusiones de arriba, se recomienda el uso del Buchón en la producción del compost a ser utilizado en el cultivo de las flores.

6.5 Plan Propuesto para el Control de las Plantas Acuáticas

6.5.1 Dragado del Lecho de la Laguna

El dragado de la zona frontal del Junco es propuesto para detener su expansión. Las siguientes zonas prioritarias de dragado son seleccionados con base en los análisis de la expansión histórica del área de Junco antes mencionada. Los lugares de dragado son presentados en la Fig. 6.5.

| Zona de Dragado | Distancia de Dragado (km) |
|--|---------------------------|
| (1) Area de la Costa este de la Isla del Santuario | 3 |
| (2) Area de la Bahía este-norte | 3 |
| (3) Area este-oeste de la Salida del Río Suárez | 3 |
| (4) Area este-oeste de la Entrada del Río Ubaté (boca) | 3 |

Los trabajos de dragado propuestos son como sigue.

| Item | Cantidad | Observaciones |
|--------------------------------|------------------------|---|
| Distancia a la Zona de Dragado | 12,000 m | |
| Anchura del Dragado | 20 m | |
| Profundidad del Dragado | 2.0 m | Prof.de agua: 3.0 m, Nivel de agua: 2,539 m |
| Volúmen del Dragado | 480,000 m ³ | |

En éste Estudio, se asume que el material excavado será dispuesto en los alrededores especialmente en las partes bajas propensas a inundaciones. Con esto se resolverá los problemas de inundación de ciertas áreas que son estimadas en 50 has asumiendo que la profundidad de tierra reclamada es de 0.3-0.5 m.

Sin embargo, a los efectos de confirmar la efectividad del dragado, se considera necesario hacer un proyecto piloto antes de implementar el proyecto de dragado a full escala. El proyecto piloto confirmará los siguientes aspectos: (i) efectividad en la detención de la expansión del Junco, (ii) relleno del lugar ya dragado, (iii) deformación de las tierras circundantes y (iv) recuperación del uso de tierra en los lugares donde se dispone el material extraído.

El proyecto piloto será realizado en algún lugar cercano a la entrada del Río Ubaté (boca). Los trabajos de dragado del proyecto piloto son mostrados abajo.

| Item | Cantidad | Observaciones |
|--------------------------------|-----------------------|---|
| Distancia a la Zona de Dragado | 300 m | |
| Anchura del Dragado | 20 m | |
| Profundidad del Dragado | 2.0 m | Prof.de agua: 3.0 m, Nivel de agua: 2,539 m |
| Volúmen del Dragado | 12,000 m ³ | |

6.5.2 Cosecha/Remoción y Compostaje de Plantas Acuáticas

(1) General

Las actuales plantas sumergidas (Elodea) y flotantes (Buchón) son cosechadas ó removidas además de tener la participación de las carpas hervíboras. La Elodea cosechada y el Buchón removido son compostadas para su uso en el cultivo de flores.

Para el uso completo de las plantas acuáticas, se necesitan las siguientes fases: (i) cosecha/remoción de las plantas acuáticas, (ii) compostaje de las plantas acuáticas cosechadas/removidas, (iii) transporte del compost a los lugares de cultivo (iv) aplicación del compost en los cultivos incluyendo la incorporación de aditivos. Las primeras dos fases del trabajo son incluidas en éste proyecto de control de plantas acuáticas. Sin embargo, las dos fases posteriores son excluidas de éste proyecto pudiendo ser implementados por los mismos agricultores.

La viabilidad técnica para el uso del compost de Elodea y compost de Buchón en el cultivo de flores, fué confirmada con base en experimentos de previos estudios. Sin embargo, se necesita hacer primeramente un proyecto piloto antes del proyecto a full escala para que los agricultores puedan aceptar los composts de Elodea y del Buchón en el cultivo de flores.

(2) Cosecha/Remoción de Plantas Acuáticas

(a) Remoción del Buchón

El Buchón se está expandiendo a una alta velocidad. Por otro lado, esta planta ha sido reemplazado por Junco en algunas partes. Entonces, se asume que el area del Buchón se incrementará en un 2% por año en el caso de que el proyecto no sea implementado (caso sin proyecto). Sin embargo, se asume que se incrementará en un 4.5% por año luego de que se termine el dragado propuesto debido a que ya no serán reemplazados por los Juncos. Ver, Apéndice G Capítulo IV Subsección 4.1.2.

Bajo estas circunstancias, el proyecto decrecerá el Buchón a aproximadamente 50% del existente por el año 2010 (año meta de este estudio de plan maestro) y cerca de cero en el 2015. Para éste propósito, se removerán anualmente en forma mecánica 5 has (5,000 ton en peso húmedo) y 75 has (75,000 ton en peso húmedo) de Buchón por el proyecto piloto y por el proyecto a plena escala respectivamente. El control por la carpa hervívora no es considerada ya que no les gusta mucho el Buchón.

Los trabajos de remoción consiste en el corte mecánico de las islas flotantes, su jalado y su descarga en el puerto.

(b) Cosecha de la Elodea

De acuerdo a los experimentos de campo, la tasa de reproducción de la Elodea luego de la cosecha mecánica aún era pequeña durante el periodo del experimento (2-6 meses). Sin embargo, se considera que la tasa de reproducción es más rápida luego de que la planta haya crecido hasta un cierto nivel donde dispone de suficiente iluminación solar. En este Estudio, se asume que la planta recupera su original biomasa luego de un año de haberlo cosechado

mecánicamente.

Se considera que la Elodea muere inmediatamente cuando es cubierta por el Junco ó Buchón y que se reproduce rápidamente cuando éstos últimos son removidos. Por lo tanto, el área de Elodea se incrementará ó decrecerá de acuerdo al cambio de cobertura del Junco y el Buchón en el futuro.

La Elodea talvéz pueda ser controlada solamente con la carpa hervívora si su tasa de consumo es suficientemente grande. Sin embargo en éste Estudio, para el control de la Elodea, se propone un control combinado consistente en cosecha mecánica y la utilización de la carpa hervívora ya que la tasa de consumo en la Laguna de Fúquene aún no está claro.

Aproximadamente 20% de la Elodea existente será cosechada mecánicamente y la Elodea remanente será controlada por la carpa hervívora. Para éste propósito, se cosecharán anualmente 30 has (5,000 ton en peso húmedo) y 240 has (38,000 ton en peso húmedo) con el proyecto piloto y el proyecto a plena escala respectivamente.

Los trabajos de cosecha consiste de: cosecha mecánica, transporte con bote hasta el puerto y su posterior descarga.

(3) Producción de Compost de Plantas Acuáticas

Se asume que la humedad del compost producido es del 30%. Entonces, una (1) tonelada de compost es producido de siete (7) toneladas de plantas acuáticas. Anualmente, se producirán 1,400 ton y 16,100 tons de la Elodea cortada y del Buchón removido en el proyecto piloto y en el proyecto a plena escala respectivamente, como se muestra abajo.

| Proyecto | Item | Planta Cosechada/Removida (ton/año en peso húmedo) | Compost Producido (ton/año en peso compost) |
|-------------|--------|---|--|
| Piloto | Elodea | 5,000 | 700 |
| | Buchón | 5,000 | 700 |
| | Total | 10,000 | 1,400 |
| Full Escala | Elodea | 38,000 | 5,400 |
| | Buchón | 75,000 | 10,700 |
| | Total | 113,000 | 16,100 |

El área neta del lote requerido para la Elodea y Buchón se estima en 31,700 m² con base en las siguientes supuestos.

- (a) Altura de empilamiento de materia prima: 3.0 m
- (b) Tiempo de compostaje: tres (3) meses para la Elodea y cinco (5) meses para Buchón.

Entonces, se proponen 16 parcelas para el almacenamiento y cada una tendrá las siguientes dimensiones: ancho (50m) x longitud (40 m) x altura (3 m). El área bruta del lote para el compost se estima en 45,000 m²

Las propiedades químicas y físicas del compost son asumidas como se presentan en el

6.5.3 Control por la Carpa Hervívora

(1) Consumo de la Elodea por la Carpa Hervívora

Generalmente se dice que una carpa hervívora consume cada día mucha cantidad de hierbas igual a su propio peso. Por otro lado, la tasa de crecimiento de la carpa hervívora varía dependiendo de la temperatura del agua. El Dr. Y.Sakurai ha asumido la tasa de crecimiento promedio de la carpa hervívora en Japón (ver Apéndice G Capítulo III Sub-sección 3.2.5). En éste Estudio, se asume que la tasa de crecimiento de la carpa hervívora en la Laguna de Fúquene es la mitad de lo que es en Japón, tomando en cuenta la relativa baja temperatura de la Laguna de Fúquene. La tasa de crecimiento asumida es mostrada abajo:

| | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| Edad(año) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 | 20 |
| Peso (kg) | 0.3 | 1.5 | 3.0 | 4.5 | 6.0 | 7.5 | 9.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 |

La Elodea existente será exterminada por medio de la carpa hervívora conjuntamente con la cosecha mecánica. Para éste proposito, serán liberados 44,000 alevinos de la carpa hervívora dentro de la Laguna.

(2) Construcción de Barrera para Peces

Una barrera para peces se construirá en la parte alta del Río Suárez para bloquear el paso de las carpas hervíboras desde la Laguna. Usualmente, se emplean los siguientes dos tipos de barreras: (i) barrera tipo malla provisto de pantalla para remoción de residuos sólidos y (ii) barrera eléctrica.

El primer tipo usado de red con los residuos sólidos es impracticable considerando la gran cantidad de plantas acuáticas existentes en el río. Si se quiere utilizar éste tipo se necesitaría adicionar un equipamiento para la remoción automática de los residuos sólidos y esto resultará en un costo elevado, además, éste tipo de barrera puede represar el agua del río si no se le hace el debido mantenimiento.

Por lo tanto, en éste Estudio se propone el uso de la barrera eléctrica. Este tipo consiste de un sistema de dos ó más electrodos (negativo y positivo) instalados en el agua. La corriente eléctrica pasa entre los electrodos utilizando como medio al agua produciendo un campo eléctrico en la sección del río. Este campo eléctrico produce un golpe de corriente a los peces que tratan de pasar por el mismo. Por lo tanto, los peces no se acercarán ni entrarán en éste campo eléctrico.

Esta barrera eléctrica ha sido desarrollada y aplicada en muchos paises como son Japón, Estados Unidos, Francia y otros, para impedir el paso de peces ó para guiar su movimiento direccional.

6.5.4 Area Controlada de Plantas Acuáticas

El área de plantas acuáticas en la Laguna será controlada por los proyectos propuestos en una cantidad considerable. El área futura de plantas acuáticas con ó sin implementación de los proyectos se presenta a continuación.

| | | (unid: ha) | | | | |
|--------------|-----------------|------------|-------|---------------|-------|-------|
| Caso | Planta Acuática | 1999 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 |
| Sin Proyecto | Junco | 899 | 1,113 | 1,284 | 1,446 | 1,596 |
| | Buchón | 697 | 785 | 867 | 957 | 1,058 |
| | Elodea | 1,204 | 902 | 649 | 398 | 146 |
| | Total | 2,800 | 2,800 | 2,800 | 2,800 | 2,800 |
| Con Proyecto | Junco | 899 | 1,113 | 1,284 | 1,284 | 1,284 |
| | Buchón | 697 | 694 | 376 | 58 | 0 |
| | Elodea | 1,204 | 602 | Despreciable* | 214 | 272 |
| | Total | 2,800 | 2,409 | 1,660 | 1,556 | 1,556 |

*: La Elodea se incrementará conforme al decrecimiento del Buchón. El consumo de Elodea por la carpa hervíboras se incrementará año por año. El balance de Elodea alcanzará un valor mínimo en este año.

Si los proyectos son implementados, el área de plantas acuáticas variará dependiendo del programa de implementación de cada proyecto. Entonces, el cálculo arriba mencionado se realiza con base en la siguiente programación:

- (1) El dragado será completado en el 2010.
- (2) Cosecha/Remoción y Compostaje de Plantas Acuáticas.

El proyecto piloto se implementará durante 2001-2003 y el proyecto a full escala comenzará en el 2005.

- (3) Las carpas hervíboras serán liberadas en el 2003.

Además, en el cálculo del área de la tabla anterior, la biomasa de la Elodea consumida por la carpa hervíboras se convierte en su área equivalente asumiendo que la densidad de la Elodea es de 16 kg/ m².

Para consultar detalles, ver Apéndice G Tabla G 4.1 y Tabla G 4.2.

6.6 Costo del Proyecto para el Control de la Planta Acuática

6.6.1 Costo de Inversión

El costo de inversión para los proyectos propuestos está estimado sobre las mismas asunciones dadas en el Capítulo III Sección 3.8 (Costo del Proyecto para el Mejoramiento de la Utilización y Manejo de los Recursos Hídricos).

El costo total de inversión para el control de la planta acuática se estima en 30,938.3 millones de Col\$ (16.12 millones de US\$) para octubre de 1999 con el siguiente desglose.

- (1) Dragado del Lecho de la Laguna

Los costos de inversión de los proyectos piloto y de plena escala son estimados como sigue.

(unid: millones de Col\$)

| Item | Proyecto Piloto | Proyecto a Plena Escala | Total |
|---|-----------------|-------------------------|-----------------|
| Construcción Directa | 320.4 | 12,816.0 | 13,136.4 |
| Adquisición de tierra* | 2.0 | 89.0 | 91.0 |
| Servicios de Ingeniería /Administración | 64.5 | 2,581.0 | 2,645.5 |
| Contingencia Física | 32.2 | 1,291.0 | 1,323.2 |
| Total | 419.1 | 16,777.0 | 17,196.1 |
| Total (millones de US\$) | (0.22) | (8.74) | (8.96) |

Tasa de cambio: 1 US\$ = 106 ₴ = 1,920 Col\$ (octubre 1999), *: Compensación de tierra por la disposición del material dragado.

(2) Cosecha/Remoción y Compostaje de Plantas Acuáticas

Los costos de inversión de los proyectos piloto y de plena escala se estiman como sigue.

(unid: millones de Col\$)

| Item | Proyecto Piloto | Proyecto a Plena Escala | Total |
|---|-----------------|-------------------------|-----------------|
| Construcción Directa | 1,102.0 | 8,221.3 | 9,323.3 |
| Adquisición de Equipamiento | 603.0 | 5,472.3 | 6,075.3 |
| Construcción para el Compostaje | 499.0 | 2,749.0 | 3,248.0 |
| Adquisición de terreno | 24.0 | 111.0 | 135.0 |
| Servicios de Ingeniería /Administración | 164.9 | 1,119.2 | 1,284.1 |
| Contingencia Física | 112.6 | 833.2 | 945.8 |
| Total | 1,403.5 | 10,284.7 | 11,688.2 |
| Total (million US\$) | (0.73) | (5.36) | (6.09) |

Tasa de cambio: 1 US\$ = 106 ₴ = 1,920 Col\$ (octubre 1999).

(3) Control de la Planta Acuática por la Carpa Hervíboras

Los costos de inversión del proyecto son estimados como sigue.

(unid: millones de Col\$)

| Item | Costo de Inversión |
|---|--------------------|
| Construcción Directa | 1,580.0 |
| Instalación de Barrera para Peces | 730.0 |
| Compra de las Carpas Hervíboras | 850.0 |
| Adquisición de Tierra | - |
| Servicios de Ingeniería /Administración | 316.0 |
| Contingencia Física | 158.0 |
| Total | 2,054.0 |
| Total (millones de US\$) | (1.07) |

Tasa de cambio: 1 US\$ = 106 ₴ = 1,920 Col\$ (octubre 1999).

6.6.2 Costo de O&M

El costo anual estimado de O&M incluye mano de obra, combustible, electricidad, reparación, administración y otros costos pero no incluye la reposición del equipamiento.

El costo anual total de O&M para el control de la planta acuática se estima en 1,059.6 millones de Col\$/año (0.56 millones de US\$/año) durante la operación a plena escala. Su desglose es como sigue.

(1) Dragado del Lecho de la Laguna

No se ha necesitado la O&M.

(2) Cosecha/Remoción y Compostaje de las Plantas Acuáticas

Los costos anuales de O&M de los proyectos piloto y de plena escala son estimados como sigue.

| (unid: millones de Col\$/año) | | |
|-------------------------------------|-----------------|-------------------------|
| Item | Proyecto piloto | Proyecto a Plena Escala |
| Cosecha/Remoción | 110.2 | 526.6 |
| Compostaje | 99.8 | 483.0 |
| Total | 210.0 | 1,009.6 |
| Total (millones de US\$/año) | (0.11) | (0.53) |

Tasa de cambio: 1 US\$ = 106 ¥ = 1,920 Col\$ (octubre 1999).

En el proyecto a plena escala, la producción de composts de la Elodea y del Buchón se estiman en 5,400 ton/año y 10,700 ton/año respectivamente (ver Subsección 6.5.2). Por consiguiente los costos unitarios de la O&M para la cosecha/remoción y compostaje de la Elodea y del Buchón se estiman como sigue:

| (unid: Col\$/ton en peso de compost) | | | |
|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Item | Elodea | Buchón | Promedio |
| Cosecha/Remoción | 62,637 | 17,600 | 32,706 |
| Compostaje | 30,003 | 30,003 | 30,003 |
| Total | 92,640 | 47,603 | 62,709 |
| Total (US\$/ton) | (48.3) | (24.8) | (32.7) |

Tasa de cambio: 1 US\$ = 106 ¥ = 1,920 Col\$ (octubre 1999).

(3) Control de Planta Acuática por la Carpa Hervíboras

El costo de O&M requerido es solamente para la barrera eléctrica, siendo el pago por electricidad el gasto principal. El costo anual se estima en 50.0 millones de Col\$/año (0.026 millones de US\$/año).

CAPITULO VII SISTEMA DE MONITOREO

7.1 Monitoreo Meteorológico é Hidrológico

7.1.1 Mejoramiento del Sistema de Monitoreo

(1) Monitoreo Meteorológico

La medición meteorológica es afectada por la presencia de árboles, arbustos, ect. en algunas estaciones del Area de Estudio por lo que debería mejorarse dichas condiciones para obtener datos confiables.

Existen defectos de datos en algunas estaciones del Area de Estudio, especialmente en la cuenca del Río Lenguazaque, debido a la mal funcionamiento del equipo de registro. Una inspección periódica se necesita realizar en estas estaciones.

(2) Monitoreo Hidrológico

La operación óptima del Embalse del Hato será monitoreado/ajustado con base en los datos de caudales de los ríos Ubaté y Suta. En el presente, ya existen estaciones de medición de nivel en éstos ríos. Estas estaciones serán utilizadas para la operación del Embalse del Hato.

Por otro lado, la óptima operación de la Laguna será monitoreado/ajustado con base en los datos de caudal influente y efluente de la Laguna. En este aspecto, se propone el mejoramiento del sistema de monitoreo como se señala abajo:

En la estación de Colorado (aguas abajo del Río Ubaté) existe una (1) medidor automático de nivel. Esta estación será utilizada para obtener los datos de caudal influente a la Laguna. Por lo tanto se propone que se implemente en ésta estación la medición del caudal y el establecimiento de su curva.

En el presente, no existe una (1) estación para medir el nivel de agua en el Río Suárez, cerca de la salida de la Laguna. Por lo tanto, se propone una nueva estación de medición de nivel para obtener los datos de caudal efluente de la Laguna.

7.1.2 Costo para el Mejoramiento del Sistema de Monitoreo

El costo de instalación de una nueva estación de medición de nivel en el Río Suárez se estima en 3,600 miles de Col\$ (1.9 miles de US\$) para el mes de octubre, 1999.

El costo anual de O&M requerido para las dos estaciones de medición de nivel se estima en 440 miles Col\$/año (0.23 miles US\$/año) para el mes de octubre, 1999.

7.2 Monitoreo de Calidad de Agua

7.2.1 Mejoramiento del Sistema de Monitoreo

(1) General

La CAR en el presente y en forma esporádica realiza trabajos de monitoreo para conocer la calidad de agua de los ríos/lagunas y de aguas residuales en el Area de

Estudio. El actual sistema de monitoreo debería mejorarse para el mejor manejo ambiental del Area de Estudio. El monitoreo será realizado periódicamente por la CAR y las municipalidades.

Abajo son demarcadas la jurisdicción de la CAR y las municipalidades para el monitoreo de calidad de agua:

La CAR muestreará los ríos y lagunas. Además muestreará los efluentes de los alcantarillados para comparar los resultados obtenidos con los datos medidos por cada municipalidad. Por otro lado, cada municipalidad muestreará la calidad de las aguas residuales influente y efluente del alcantarillado y de las descargas de fábricas al alcantarillado.

(2) Muestreo y Análisis

La calidad del agua superficial será muestreado por la CAR cada tres meses en 17 puntos: cuatro puntos en la Laguna y trece puntos en el río. Los lugares de muestreos propuestos pueden ser vistos en el Apéndice H Tabla H.2.3.

La calidad del agua residual será muestreada por la CAR dos veces al año en 15 plantas de tratamiento de alcantarillado y en los tres (3) puntos del efluente de las grandes industrias. Los lugares de muestreo propuestos se presentan en el Apéndice H Tabla H.2.4.

Los parámetros de calidad a ser analizados son seleccionados para adaptarlos a los estándares nacionales y de la CAR. Los parámetros selectos están mostrados en el Apéndice H Tabla H 2.5.

(3) Mejoramiento del Laboratorio

El laboratorio existente de la CAR debería ser mejorado para satisfacer los muestreos periódicos de calidad de agua arriba mencionado. El equipamiento necesario a ser adquirido está mostrado en el Apéndice H Tabla H.2.6.

7.2.2 Costo para el Mejoramiento del Sistema de Monitoreo

(1) Costo de Inversión

Los costos de adquisición de equipamiento y de construcción relacionado al laboratorio se estima como sigue.

| Item | Costo (millones de Col\$) | Observaciones |
|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Costo de Adquiciones | 544.4 | Equipo de laboratorio |
| Costo de Construcción | 875.0 | Para laboratorio y depósito |
| Total | 1,419.4 | |
| Total (millones de US\$) | (0.74) | |

Tasa de cambio: 1 US\$ = 106 ₺ = 1,920 Col\$ (octubre 1999).

Los detalles de estimación de costos están descriptos en el Apéndice H Tabla H.2.6.

(2) Costo de O&M

El costo de O&M del laboratorio incluye mano de obra y materiales consumibles. El costo anual de O&M se estima en 142,760 miles de Col\$/año (74 miles de US\$/año).

7.3 Monitoreo para el Control de Plantas Acuáticas

7.3.1 Plan de Monitoreo

Los siguientes cambios deberían ser periódicamente muestreados para conocer los efectos ó impactos de los proyectos propuestos para el control de plantas acuáticas sobre el medio ambiente de la Laguna.

(1) Cambio del Area de Planta Acuática

Las áreas de plantas acuáticas flotantes y emergentes en la Laguna pueden ser medidas por fotografías aéreas en una escala macro. La fotografía aérea será tomado regularmente cada tres (3) años. La misma será analizada por el SIG de la CAR para preparar los mapas de plantas acuáticas.

El área ocupada por la planta sumergida será analizada por medio de inspección ocular con la ayuda de la fotografía aérea cada tres (3) años.

(2) Cambio de Especies de Fauna y Flora

Las especies de fauna y flora de la Laguna hán sido investigados por la CAR y por otras organizaciones. Sin embargo, posiblemente las especies pueden cambiarse de acuerdo al progreso de los proyectos. Por consiguiente, las especies de la Laguna serán confirmadas regularmente cada tres años.

(3) Cambio de la Zona Frontal de los Juncos y Rellenado del Lecho en la Zona de Dragado de la Laguna

Se espera que con el dragado propuesto del lecho se detenga la expansión de la zona frontal del Junco. Por consiguiente, serán investigadas cada tres (3) años la localización de la zona frontal del junco para confirmar los efectos del proyecto.

En el futuro, el lecho de la laguna en la zona ya dragada posiblemente puede ser rellenado nuevamente con los sedimentos ó debido a la deformación topográfica. Por consiguiente, el nivel del lecho de la laguna de la zona ya dragada será investigada cada tres (3) años.

(4) Tasas de Crecimiento y de Consumo de la Carpa Hervíbora

La existencia de mucha cantidad de carpas hervíboras pueden sobre consumir las plantas de la Laguna. Por otro lado, muy poca cantidad de carpas hervíboras puede hacer de que no se alcance satisfactoriamente el control de la cantidad excesiva de plantas acuáticas. Por consiguiente, se debe controlar adecuadamente el número de carpas hervíboras existentes. Para éste propósito, los siguientes muestreos serán realizados:

(a) Medición del tamaño y del peso de la carpa hervíbora una vez al año.

- (b) Medición de la densidad de la Elodea para estimar la biomasa remanente una vez al año.

7.3.2 Costo del Monitoreo

El costo requerido para el monitoreo de arriba se estima como sigue.

| Item de Monitoreo | Costo (1,000 Col\$) | Observaciones |
|--|---------------------|---------------------|
| 1. Estudio del Area de Planta Acuática | 11,100 | Una vez cada 3 años |
| 2. Estudio de Fauna y Flora | 4,000 | Una vez cada 3 años |
| 3. Estudio de la Zona Frontal del Junco y del Rellenado de la Zona ya Dragada de la Laguna | 2,200 | Una vez cada 3 años |
| 4. Medición de la Carpa Hervíboras y Biomasa | 7,300 | Una vez al año |
| Total (Costo Anual Equivalente: 1,000 Col\$/año) | 13,100 | |
| Total Costo Anual Equivalente: 1,000 US\$/año) | (6.81) | |

Tasa de cambio: 1 US\$ = 106 ₴ = 1,920 Col\$ (octubre 1999).

7.4 Sistema de Información Geográfica (SIG)

7.4.1 Sistema de Información Geográfica Existente de la CAR

Las computadoras con SIG son utilizadas, por la División de Información de la Sub-dirección de Planeamiento y Desarrollo y por la División de Evaluación Técnica de la Sub-dirección Científica, principalmente para presentaciones de trabajos. En cada una de las Divisiones mencionadas más arriba, tres (3) personas están encargadas de las actividades relacionadas al SIG y una (1) persona trabaja como técnico de sistemas.

(1) Hardware y Software Disponibles en la CAR

En el presente, la CAR, tiene los siguientes hardware y software:

| | | |
|----------|-----------------------|---|
| Hardware | Computadora (PC) | 4 |
| | Unix Work Station | 2 |
| | Plotter HP 250 C | 3 |
| | Digitalizador | 2 |
| Software | Genasys Version 7.2 | 4 |
| | Map CAD | 1 |
| | ER Mapper versión 5.6 | 1 |
| | Oracle | 1 |
| | Micro Station | 1 |

(2) Información Disponible

(a) Información Digital

La CAR dispone de 220 datos digitales. Ellos incluyen información espacial que cubre toda la jurisdicción de la CAR como son: la red fluvial, áreas de reserva, estaciones meteorológicas y regiones con riesgos, datos municipales como ser uso de suelo, topografía e información de cuencas especiales. La lista de la información disponible se presenta en el Apéndice H Tabla H.4.1.

(b) Mapas y Planos

En la CAR existen mapas y planos del Area de Estudio que totalizan aproximadamente 80. Ellos incluyen: cartografía de la cuenca, información hidrológica, sistema de río/laguna, sistema de irrigación, zona de erosión, zona agrícola, clasificación de suelos, información catastral, estructuras hidráulicas, etc. Estos pueden ser utilizados para el establecimiento del SIG cuando se requiera. La lista de mapas y planos disponibles se muestran en el Apéndice H Tabla H.4.2.

(c) Datos Espaciales Recolectados/Utilizados por el Equipo de Estudio

Seguidamente se presenta en el siguiente cuadro los principales datos espaciales recolectados y utilizados por el Equipo de Estudio además de los datos mencionados más arriba.

| | |
|-------------------|---|
| Cuenca | Cuenca del río, área municipal, red vial |
| Terreno | Geología, erosión de suelos, uso de tierra, área de reserva |
| Uso de Agua | Red fluvial, bloques irrigados |
| Monitoreo de Agua | Estación hidrológica, pozo de agua, estación de calidad de agua, mapa isoyético |
| Laguna Fúquene | Area de planta acuática, mapa batimétrico |

7.4.2 Ingreso de Información al SIG y su Aplicación

A fin de exponer la capacidad del SIG para el monitoreo ambiental, algunos ejemplos de aplicación del SIG fueron desarrollados usando el software Geneasys disponible en la CAR, dando el debido énfasis a la metodología. Para ésto, la información necesaria se ingresó al software Geneasys.

La información empleada incluye: El uso de la tierra, la red de ríos/canales, datos meteorológicos, plantas acuáticas, detalles topográficos, áreas de reserva, mapa catastral, información de agua subterránea, datos batimétricos, uso del agua, etc.

Los ejercicios desarrollados incluyeron los siguientes:

- (1) Presentación de la información espacial y su enlace con las tablas de atributos.
- (2) Análisis de la información espacial.
- (3) Predicción de demanda de agua de irrigación espacial.
- (4) Análisis de Estabilidad de la Pendiente.
- (5) Extracción de información sobre la Laguna de Fúquene a partir de Fotografías Aéreas.

Sobre la metodología de los anteriores análisis, véa el Apéndice H Capítulo IV Sección 4.3.

CAPITULO VIII EDUCACION AMBIENTAL

8.1 Situación Actual de la Educación Ambiental

8.1.1 Educación Ambiental a Nivel Municipal

Las leyes ambientales de Colombia permiten que los municipios realicen programas de educación ambiental dentro de la educación formal. Sin embargo, el desarrollo de éstos programas para muchos municipios han sido un problema por la falta de preparación de los profesores y la falta de materiales didácticos.

Los esfuerzos actuales sobre educación ambiental por los municipios en el Area de Estudio son similares a los presentados por otros municipios en el país. Algunos no han desarrollado ningún programa, otros han desarrollado algunas actividades a través de la UMATA.

En el Area de Estudio, algunos colegios y universidades han desarrollado algunos programas académicos relacionados con el medio ambiente que contribuyen a incrementar la conciencia pública sobre materias ambientales.

8.1.2 Educación Ambiental a Nivel de CAR

En la Regional de Ubaté no hay un programa regular de Educación Ambiental, sólo se desarrollan actividades puntuales de acuerdo a solicitudes de los municipios y comunidades. De vez en cuando, se realizan algunos talleres y seminarios dirigidos a la comunidad con el objetivo de crear la conciencia necesaria y los cambios de actitudes de la población sobre el medio ambiente. En algunos casos, existe una cooperación entre la CAR y los municipios para un programa específico de reforestación que incluye charlas sobre la forma de plantar los árboles y normas de conservación y protección de los recursos naturales.

Adicionalmente, la CAR por medio del Proyecto Checua ha introducido también la educación ambiental en la región mediante la enseñanza a los estudiantes, funcionarios de las UMATAS y a la gente en general en el manejo de aguas, multiplicidad de cultivos, métodos de cultivo, y observaciones de campo. Además el Proyecto Checua ha capacitado a los profesores en el manejo de zonas erosionadas.

8.1.3 Educación Ambiental a Nivel Departamental

La educación formal de la región básicamente depende de la Secretaría de educación de los departamentos de Cundinamarca y Boyacá aunque en algunos casos los municipios también ayudan económicamente para el funcionamiento de varios colegios de la región.

El Departamento de Cundinamarca está exigiendo el cumplimiento del Decreto N° 1743 de 1994, por la cuál se obliga a los profesores a preparar un proyecto ambiental escolar a ser implementado por ellos mismos en sus respectivas comunidades. Para la preparación de tal Proyecto tanto el Departamento como la CAR está dando la necesaria capacitación y consultoría a los profesores.

El Departamento de Cundinamarca a través de su Secretaría de Medio Ambiente, planea conformar en este año (1999) con sede en Ubaté, la Red Ambiental para la Cuenca de la Laguna de Fúquene. Esta red será coordinada por el Departamento e integrada por la CAR, por los municipios y otras instituciones relacionadas, y el principal objetivo de esta red será la

implementación de programas de educación ambiental y la promoción de la conciencia pública sobre el medio ambiente.

8.1.4 Educación Ambiental a Nivel de ONGs

En el Area de Estudio hay una (1) sola organización no gubernamental “La fundación Laguna de Fúquene”. Esta fué fundada en 1998 por ciudadanos, principalmente de Chiquinquirá, en vista de los numerosos problemas ambientales que están afectando la Laguna de Fúquene.

Esta organización tiene como objetivo principal la promoción de campañas ó proyectos medioambientales dirigidos a la recuperación de la Laguna. Además, ésta fundación establece sus filiales en algunos municipios de la región con el ánimo de expandir sus actividades.

En una entrevista hecha al director y miembros de esta fundación, la fuente de su información técnica es, básicamente, la CAR y desean cooperar con la CAR en la implementación de proyectos tendientes a conservar el medio ambiente de la laguna.

8.2 Conciencia Pública sobre el Medio Ambiente en el Area de Estudio

8.2.1 General

Una encuesta fué realizada para evaluar el presente nivel de la conciencia pública sobre el medio ambiente en el Area de Estudio. La encuesta fué dirigida a los siguientes tres (3) grupos de personas que viven en el Area de Estudio.

- (1) Granjeros: 145 granjeros fuéron seleccionados aleatoriamente de 10 municipios representativos del Area de Estudio. Entre ellos, algunos granjeros son usuarios del distrito de riego, otros no lo son y otros granjeros viven en las partes altas de la cuenca.
- (2) Gerentes de Fábricas: la encuesta fue dirigida a 14 gerentes de fábricas procesadoras de leche y a 11 gerentes de minas de carbón, quienes fueron seleccionados de los que existen en el Area de Estudio. En la selección fue considerada varios tamaños de fábricas y minas, tomando en cuenta su distribución actual. Las fábricas procesadoras de leche seleccionadas están localizadas principalmente en los Municipios de Ubaté, Simijaca y San Miguel de Sema. Las minas de carbón seleccionadas están situadas en los municipios de Cucunubá, Lenguazaque, Guachetá y Tausa.
- (3) Ciudadanos Representativos: la encuesta fué dirigida a 112 ciudadanos distribuidos en los 14 centros urbanos del Area de Estudio. Ellos fuéron seleccionados entre las personas líderes con roles profesionales definidos de servicio a la comunidad y personas mayores vinculadas a actividades comerciales e industriales de cada localidad.

8.2.2 Evaluación de la Conciencia Pública Actual sobre el Medio Ambiente

- (1) Conciencia Pública sobre los Temas Ambientales Comunes
 - (a) Medio Ambiente de la Laguna de Fúquene

La gente que vive en el Area de Estudio tiene una alta conciencia sobre el deterioro del medio ambiente de la Laguna de Fúquene. Casi el 100% de los que respondieron al cuestionario (granjeros: 97%, gerentes de fábricas: 100% y ciudadanos: 96%) conoce que últimamente la Laguna há tenido una rápida reducción de su área superficial de agua. Todos ellos están preocupados de que

la Laguna pueda extinguirse en el futuro.

Además, ellos están preocupados sobre los daños ambientales que pueden surgir si la Laguna decrece en tamaño ó se extingue. Ellos dicen que los daños serán fatales a la economía y al medio ambiente de la región. Por otro lado, pocos encuestados (3% de granjeros y 5% de ciudadanos) han mencionado que la reducción de la Laguna va a tener un efecto benéfico en el sentido de que se ganará mas tierra.

La mayoría de los encuestados atribuye que la reducción de la Laguna tienen las siguientes causas: falta de un adecuado mantenimiento, pobre dragado, control inadecuado del nivel de agua, propagación de plantas acuáticas, sedimentación, invasión de tierras, pobre control del uso de agua, pobre administración de la cuenca, disminución de lluvias, etc.

(b) Administración de la Cuenca

La gente del Area de Estudio está muy interesada en cuanto a la administración de la cuenca. Un porcentaje significativo de encuestados conoce que la CAR está realizando un proyecto de control de erosión de suelos en las áreas montañosas del Area de Estudio (agricultores: 40%, gerentes de fábricas procesadoras de leche: 36%, gerentes de minas: 73% y ciudadanos: 54%).

El setenta y seis por ciento (76%) de los granjeros respondió que ellos estarían dispuestos a cambiar el método de cultivo actual para prevenir la erosión de suelos si es que fuera necesario, aunque pocos de ellos han recibido asistencia técnica de las entidades gubernamentales. Casi todos de los gerentes de fábricas han mostrado su interés en participar ó cooperar con la CAR en el proyecto de control de erosión si es que fuera necesario.

(c) Participación en Programas de Educación Ambiental

La gente que vive en las áreas urbanas han participado más en los programas de educación ambiental que las que viven en las áreas rurales. El porcentaje de los encuestados que ha participado en alguna clase de programa de educación ambiental se muestra a continuación:

Granjeros: 17%, Gerentes de Fábricas Procesadoras de Leche: 50%, Gerentes de Minas: 18%, Ciudadanos: 53%.

Entre los ciudadanos de arriba, 51% también ha participado en campañas ó actividades organizadas por entidades del gobierno ó por las ONGs.

La gente que vive en el Area de Estudio están muy deseosos de obtener más información y conocimiento sobre el medio ambiente. Casi todos los encuestados han contestado que ellos están dispuestos a participar en programas ó campañas de educación ambiental.

La radio y la televisión son considerados como los mejores medios de comunicación para educar a la gente sobre los temas ambientales. De acuerdo a la encuesta, la gente en el Area de Estudio recibe principalmente las informaciones ambientales a través de la radio y la televisión.

(2) Conciencia Pública de Granjeros

- (a) Aproximadamente el 30% de los encuestados han listado los siguientes problemas serios relacionados con el agua; descenso del nivel de agua de la Laguna (28%), deposición de sedimentos en río/canal (32%), excesiva cantidad de plantas acuáticas en el río/canal (34%). Ellos también están preocupados por la contaminación de los cursos de agua (32%). Sin embargo, el 34% han respondido de que no hay serios problemas con el agua.
- (b) Los granjeros también tienen problemas de sequía, inundación y erosión de suelos. El 28% ha manifestado que tienen problemas en la coordinación del uso del agua con otra gente debido a la falta de agua en el río en época de sequía. El 39% contestó de que son afectados por inundaciones en más de una vez al año. El 21% reconoce que sus campos están afectados por la erosión mientras que el 79% remanente no tiene este problema. El 57% de los que tienen problemas de erosión están tomando las necesarias medidas para proteger su campo de la erosión.
- (c) El gobierno ha decidido transferir en un futuro cercano de la CAR a la Asociación de Usuarios, los trabajos de operación y mantenimiento del distrito de riego. Solo el 26% conoce ésta decisión y el 74% no ha escuchado acerca de este tema. En la relación a la capacidad de la Asociación de Usuarios, el 33% cree que la Asociación tiene la capacidad para realizar los trabajos de operación y mantenimiento, sin embargo, el 37% duda de la capacidad debido a las limitaciones técnicas y financieras y los otros no saben sobre el tema ó no han contestado la pregunta.
- (d) El 86% considera que la erosión de suelos de las montañas causan problemas significativos de sedimentación en las partes bajas. El 84% están conscientes de que las actividades agropecuarias causan problemas de contaminación a los ríos y lagunas que están localizados más abajo.
- (e) El 48% de los encuestados están interesados en el uso de la Elodea de la Laguna de Fúquene como fertilizante, el 32% dió una respuesta negativa y el 20% no conoce nada acerca de este tema.

(3) Conciencia Pública de Gerentes de Fábricas

- (a) Una alto porcentaje de los gerentes de fábricas (procesadoras de leche: 100%, minas de carbón: 82%) están preocupados por la contaminación de aguas de los ríos y lagunas causadas por las aguas residuales descargadas sin tratamiento.
- (b) El 93% de las procesadoras de leche están conscientes de los efectos adversos que crean sus aguas residuales que contienen hidróxido de sodio (NaOH) y clorato de sodio (NaClO₃) los cuáles son usados en el proceso de lavado de botellas y tanques.
- (c) El 91% de los gerentes de minas de carbón están conscientes de que las actividades mineras contribuyen a la erosión de los suelos, además de descargar aguas residuales con hierro a los cursos de agua. El 64% considera que las actividades mineras causan problemas significativos de sedimentación en ríos y lagunas localizadas más abajo. Sin embargo, el 27% considera que éste problema de sedimentación no es significativo y el 9% no respondió a la

pregunta.

(4) Conciencia Pública de los Ciudadanos

- (a) Más del 50% de los encuestados ha mencionado a los siguientes problemas ambientales como los más preocupantes: sistema de abastecimiento de agua insuficiente (66%), sistema de alcantarillado insuficiente (65%), sistema de disposición de basuras insuficiente (73%), contaminación de ríos/canales (71%), erosión de suelos (63%) y sedimentación en ríos/canales (57%).
- (b) Los encuestados han indicado a las siguientes como las mayores deficiencias de los sistemas de abastecimiento de agua, alcantarillado y disposición de basuras.

| | |
|------------------------|---|
| Abastecimiento de Agua | : Baja calidad de agua (74%), instalaciones viejas (52%), etc. |
| Alcantarillado | : Sistema de tratamiento deficiente ó no existe (54%), instalaciones viejas (52%), etc. |
| Disposición de Basuras | : Sistema de disposición final deficiente y otros (45%), etc. |

- (c) Los encuestados han identificado a los siguientes como los mayores fuentes de contaminación de los ríos: aguas residuales domésticas (74%), basura (69%), aguas residuales industriales (46%) y residuos de mataderos (44%).
- (d) De acuerdo a una decisión del Gobierno, de ahora en adelante, las municipios deben resolver por sí mismos sus problemas ambientales. El 69% de los encuestados há manifestado que conocen esta decisión, sin embargo, lo otros no lo conocen. Solo el 28% cree que sus municipios tienen la capacidad de asumir esta responsabilidad, el 65% duda debido a las limitaciones financieras y de recursos técnicos y las personas remanentes no han dado respuesta.
- (e) El 82% de los encuestados sabe que de acuerdo a la Ley, las fábricas deben tratar sus aguas residuales antes de su descarga al sistema de alcantarillado municipal y los otros encuestados no saben acerca de esta Ley. Sin embargo, solo el 8% cree que las fábricas cumplen con la ley y el 64% piensa que ésta Ley no es respetada.

8.3 Promoción de la Educación Ambiental

8.3.1 Programa Necesario

Para la efectiva implementación de los proyectos, será realizado un programa de educación ambiental para promover la conciencia ciudadana sobre los aspectos ambientales. El programa educativo será dirigido a los siguientes cuatro niveles objetivos: (1) Escuelas, (2) Agricultores y Usuarios del Distrito de Riego, (3) Dueños de Fábricas Lecheras, y (4) Público en General.

(1) Escuelas

La CAR promoverá la educación ambiental en todas las instituciones educacionales de la región y dará constantes pautas sobre los asuntos ambientales. Esta actividad será coordinada con las Secretarías de Educación y Medio Ambiente dependientes de los Departamentos de Cundinamarca y Boyacá, con las Municipalidades y ONGs

existentes.

Los principales temas ambientales a ser desarrollados incluirán: control de contaminación de agua, excesiva cantidad de plantas acuáticas, erosión de suelos, ect. y conservación ecológica de la región.

(2) Agricultores y Usuarios del Distrito de Riego

Antes, durante y después de la implementación de los proyectos propuestos, la CAR en coordinación con las UMATAS, realizará seminarios periódicos dirigidos a los agricultores y usuarios del distrito de riego. Los materiales para el seminario incluirá una explicación general de los proyectos propuestos y su relación con el manejo de los recursos hídricos de la cuenca.

(3) Dueños de Fábricas Lecheras

La CAR en coordinación con las Municipalidades relacionadas, realizará seminarios periódicos dirigidos a los dueños de las fábricas lecheras. Esto promoverá la conciencia de los dueños sobre la significancia de cumplir con la norma de calidad de agua y a la vez promoverá la instalación de plantas de tratamiento.

(4) Publico en General

Los siguientes programas serán realizados para educar al público en general:

- (a) Se recomienda altamente el uso de la radio y la televisión para promover la conciencia pública sobre los temas ambientales de la Laguna de Fúquene y su significancia sobre toda la economía de la región.
- (b) Siempre es necesario informar a la gente lo que la CAR esta haciendo en la cuenca a los efectos de tener la comprensión y cooperación de los ciudadanos para cualquier programa ó proyecto de conservación ambiental. En este sentido, se recomienda la publicación de artículos periodísticos relacionados a la protección ambiental de la Laguna de Fúquene. Adicionalmente, la publicación de un “Boletín Informativo de la CAR” es también recomendado para hacer de público conocimiento las actividades de la CAR en la región y los principales temas ambientales.
- (c) La CAR es considerada como fuente de información sobre los temas ambientales, por lo tanto, se debería realizar seminarios ó conferencias sobre como reducir los contaminantes de los alcantarillados, industrias, ect. y que sean dirigidos a profesionales interesados en el tema.

8.3.2 Costo Requerido

Las actividades educacionales de arriba serán realizadas principalmente por la Oficina Regional de Ubaté de la CAR. Sin embargo, el equipamiento no es suficiente en esta Oficina. Por lo tanto se necesitará adquirir nuevo equipamiento para implementar los programas de educación ambiental en forma efectiva.

El costo de adquisición del equipamiento se estima como sigue.

| Adquisición de Equipo | Cantidad | Costo (1,000 Col\$) |
|-----------------------------|----------|----------------------|
| Vehículo | 1 | 38,400 |
| Equipamiento para Educación | l.s. | 27,264 |
| Total | | 65,664 |
| Total (1,000 US\$) | | (34.2) |

Tasa de cambio: 1 US\$ = 106 ¥ = 1,920 Col\$ (octubre 1999).

El desglose del costo está presentado en el Apéndice I Capítulo III Sección 3.2.

El costo anual operativo para el mencionado programa educativo se estima en 48,000 miles de Col\$/año (25 miles de US\$/año), costo calculado en el mes de octubre de 1999.

CAPITULO IX ASPECTOS INSTITUCIONALES

9.1 Leyes y Reglamentos Relacionados

Las leyes relevantes al medio ambiente en Colombia se encuentran listadas en la Tabla 9.1. Entre ellas, la Ley 3 de 1961, el Decreto 1594 de 1984, el Acuerdo 58 de 1987 de la CAR, el Acuerdo 10 de 1989 de la CAR y el Acuerdo 031 de 1991 de la CAR, son las que están directamente relacionadas a éste Estudio.

(1) Ley 3, 1961

De acuerdo al artículo 42 de ésta ley, el sistema de riego Fúquene-Cucunubá fue cedido a la CAR para su administración y manejo.

(2) Decreto 1594, 1984

Por este Decreto se establecen los criterios de calidad de agua para clasificar las aguas superficiales a nivel nacional. También éste Decreto contiene las disposiciones para el vertimiento de aguas residuales en aguas superficiales.

En el Apéndice E Tabla E.1.19 se presenta las normas de calidad de agua a nivel nacional, de igual manera se presenta la calidad permisible de las aguas residuales para ser descargadas en los ríos y en el alcantarillado municipal.

(3) Acuerdo 58, 1987 de la CAR

Por este Acuerdo se dan las normas para el manejo y el control de calidad de los recursos hídricos en el área de administración de la CAR.

El Artículo 26 de éste Acuerdo señala que los cuerpos de agua que están bajo la jurisdicción de la CAR son clasificados de acuerdo a su uso actual y potencial como sigue:

- (a) Clase A: apropiado para uso humano y doméstico con tratamiento convencional, preservación de la flora y fauna, uso agrícola y ganadero.
- (b) Clase B: apropiado para la preservación de la flora y fauna, uso agrícola y ganadero.
- (c) Clase C: apropiado para uso agrícola y ganadero.
- (d) Clase D: apropiado para uso agrícola restringido, generación de energía y uso industrial restringido.

Este Acuerdo además dicta disposiciones para la descarga de aguas residuales en aguas superficiales.

En el Apéndice E Tabla E.1.20, se muestran las normas de calidad de agua superficial.

(4) Acuerdo 10, 1989 de la CAR

Este Acuerdo dicta normas para el manejo del agua de uso público bajo la jurisdicción de la CAR.

El Artículo 8 señala que toda persona natural o jurídica, pública o privada, necesita del permiso o concesión por parte de la CAR para la utilización de las aguas públicas. Las concesiones son dadas para las aguas superficiales como para las aguas subterráneas.

El Artículo 119 señala que todas las personas interesadas en la ejecución de actividades que implican el uso, ocupación o modificación de los cursos de agua localizadas en el territorio de la CAR, deben contar con el permiso de la CAR.

(5) Acuerdo 031, 1991 de la CAR

Por medio de éste Acuerdo se adopta el reglamento general de funcionamiento del distrito de riego y drenaje compuesta por el sistema hidráulico Fúquene-Cucunubá.

9.2 Organización Actual de las Agencias Relacionadas

(1) CAR – Oficina Principal

La agencia de implementación de éste Estudio es la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR, que es una entidad pública corporativa y autónoma tanto administrativamente como financieramente.

(a) Funciones

Las principales funciones de la CAR, son las siguientes:

- (i) Ejecutar las políticas, planes y programas nacionales en materia ambiental definidos por la ley aprobatoria del Plan Nacional de Desarrollo y del Plan Nacional de Inversiones ó por el Ministerio de Medio Ambiente, así como los del orden regional que hayan sido confiados conforme a la ley, dentro del ámbito de su jurisdicción.
- (ii) Ejercer la función de máxima autoridad ambiental en el área de su jurisdicción de acuerdo con las normas de carácter superior y conforme a los criterios y directrices trazadas por el Ministerio del Medio Ambiente.
- (iii) Asesorar a las entidades territoriales en la formulación de planes de educación ambiental formal y ejecutar programas de educación ambiental no formal conforme a las directrices de la política nacional.
- (iv) Otorgar concesiones, permisos, autorizaciones y licencias ambientales requeridas por la ley para el uso, aprovechamiento ó movilización de los recursos naturales renovables ó para el desarrollo de actividades que afecten o puedan afectar el Medio Ambiente. Otorgar permisos y concesiones para aprovechamiento forestal, concesiones para el uso de aguas superficiales y subterráneas y establecer vedas para la caza y pesca deportiva.

- (v) Promover y ejecutar obras de irrigación, avenamiento, defensa contra las inundaciones, regulación de cauces y corrientes de agua, y de recuperación de tierra que sean necesarias para la defensa, protección y adecuado manejo de las cuencas hidrográficas del territorio de su jurisdicción, en coordinación con los organismos directores y ejecutores del Sistema Nacional de Adecuación de Tierras, conforme a las disposiciones legales y a las prevenciones técnicas correspondientes.
 - (vi) Ejecutar, administrar, operar y mantener en coordinación con las entidades territoriales, proyectos, programas de desarrollo sostenible y obras de infraestructura cuya realización sea necesaria para la defensa y protección ó para la descontaminación ó recuperación del medio ambiente y los recursos naturales renovables.
 - (vii) Imponer, distribuir y recaudar las valorizaciones con que haya de gravarse la propiedad inmueble, por razón de la ejecución de obras públicas por parte de la Corporación; fijar los demás derechos cuyo cobro pueda hacer conforme a la ley.
- (b) Estructura Organizacional

El Organigrama de la sede central de la CAR es mostrada en la Fig.9.1. La estructura de la CAR puede ser dividida en los siguientes componentes:

- (i) Asamblea Corporativa: es el órgano principal de la Corporación.
 - (ii) Consejo Directivo: es el órgano administrativo de la Corporación.
 - (iii) Director General: es el representante legal de la Corporación y su primera autoridad ejecutiva.
 - (iv) Estructura Interna: La estructura interna actual está compuesta por Subdirecciones y Direcciones Regionales.
- (c) Aspectos Financieros

El sistema financiero de la CAR es centralizado y el presupuesto ejecutado en el año 1998 es como sigue.

| Item | 1998 (millones de Col\$) |
|---------------------------------|--------------------------|
| 1. Gastos de Funcionamiento | 23,891.0 |
| 1.1 Personal | 16,690.9 |
| 1.2 Servicios Generales | 4,268.3 |
| 1.3 Transferencias | 2,931.8 |
| 2. Inversión | 17,126.1 |
| 3. Deuda | 2,699.4 |
| Total | 43,716.4 |
| Total (millones de US\$) | (30.66) |

Tasa de cambio: 1 US\$= 1,426 Col\$ (1998).

(2) Direcciones Regionales de la CAR

Este Estudio es realizado en la jurisdicción de las Direcciones Regionales de Ubaté y Zipaquirá cuyas funciones, estructuras y situación financiera son presentadas a continuación.

(a) Funciones

Las principales funciones de las Direcciones Regionales son:

- (i) Ejecutar los objetivos establecidos para el nivel regional de acuerdo a los programas, proyectos, productos, servicios y actividades de la Corporación y las competencias delegadas por el Director General por medio de un reglamento.
- (ii) Coordinar, supervisar, y ejecutar las actividades relacionadas a la planificación, análisis, y las proyecciones de las actividades de la Regional.
- (iii) Coordinar, supervisar y ejecutar las actividades relacionadas a la educación ambiental, comunicaciones, coordinación y participación inter-institucional y ciudadana, dentro de su jurisdicción.
- (iv) Coordinar, supervisar y ejecutar las actividades relacionadas a hacer cumplir los reglamentos dentro de su jurisdicción.
- (v) Coordinar, supervisar y ejecutar las actividades relacionadas al control de la calidad ambiental dentro de su jurisdicción.

(b) Estructura Organizacional

Las estructuras organizacionales de las Direcciones Regionales de Ubaté y Zipaquirá básicamente son las mismas y compuestas por los siguientes niveles:

- (i) Nivel Directivo: es gerenciado por el Director Regional.
- (ii) Nivel Consultivo: envuelve principalmente aspectos jurídicos.
- (iii) Nivel Operativo: está integrado por coordinadores ó grupos en quiénes está la responsabilidad de ejecutar los programas y control del medio ambiente y los recursos naturales.

En el caso de Ubaté, existen 2 grupos de empleados asignados a otras actividades, el primero es asignado al manejo del distrito de riego y de drenaje y el otro al Proyecto Checua. Estos grupos, aunque utilizan las oficinas de la Regional de Ubaté, tienen su propio Director ó Jefe.

(c) Aspectos Financieros

(i) Direcciones Regionales de Ubaté y Zipaquirá

| Item | 1998 (millones de Col\$) | |
|-----------------------------|--------------------------|-----------|
| | Ubaté | Zipaquirá |
| 1. Gastos de Funcionamiento | 1,107.7 | 1,567.3 |
| 1.1 Personal | 956.5 | 1,500.7 |
| 1.2 Servicios Generales | 151.2 | 66.5 |
| 2. Inversión | 623.0 | 769.9 |
| Total | 1,730.6 | 2,337.1 |
| Total (millones de US\$) | (1.21) | (1.64) |

Tasa de cambio: 1 US\$ = 1,426 Col\$ (1998).

(ii) Distrito de Riego y Drenaje y Proyecto Checua

| Item | 1998 (millones de Col\$) | |
|-----------------------------|--------------------------|-----------------|
| | Distrito | Proyecto Checua |
| 1. Gastos de Funcionamiento | 974.5 | 484.5 |
| 1.1 Personal | 578.1 | 477.1 |
| 1.2 Servicios Generales | 396.4 | 7.4 |
| 2. Inversión | - | 1,343.6 |
| Total | 974.5 | 1,828.1 |
| Total (millones de US\$) | (0.68) | (1.28) |

Tasa de cambio: 1 US\$ = 1,426 Col\$ (1998).

(3) Secretaría de Medio Ambiente del Departamento de Cundinamarca

(a) Funciones

Las principales funciones se presentan a continuación:

- (i) Participar en la elaboración del Plan de Desarrollo Departamental y velar porque el componente ambiental se incorpore debidamente, tanto en el capítulo ambiental, como en los demás sectores.
- (ii) Promover y gestionar la ejecución de los programas y políticas nacionales, regionales, sectoriales y departamentales relacionadas con el medio ambiente y los recursos naturales renovables que se deban desarrollar en el Departamento de Cundinamarca.
- (iii) Colaborar con las Corporaciones Autónomas Regionales de su jurisdicción, con el Distrito Capital y con los municipios de Cundinamarca, en la ejecución de programas y proyectos ambientales que se identifiquen como prioritarios, de conformidad con los acuerdos y convenios que se suscriban para este fin.
- (iv) Promover, cofinanciar ó ejecutar, en coordinación con las Corporaciones Autónomas Regionales y demás entidades competentes, obras y proyectos de recuperación de tierras, regulación de cauces o corrientes de agua, así como programas para el adecuado manejo y aprovechamiento de cuencas hidrográficas.

- (v) Adelantar programas de divulgación y educación ambiental que contribuyan a la creación de una mayor conciencia ciudadana sobre la necesidad de conservar y realizar un uso sostenible de los recursos naturales renovables y del ambiente.

(b) Estructura Organizacional

La estructura interna de la Secretaría de Medio Ambiente es como sigue:

- (i) Oficina de la Secretaría
- (ii) Oficina de Política Ambiental e Información
- (iii) Dirección de Protección Ambiental
- (iv) Dirección de Promoción Ambiental

(c) Aspectos Financieros

A continuación se muestra el presupuesto de la Secretaría de Medio Ambiente para el año 1999.

| Conceptos | Año 1999 (millones de Col\$) |
|--|------------------------------|
| 1. Gastos de Funcionamiento | 60.0 |
| 2. Inversión | 5,910.0 |
| 2.1 Protección de Ecosistemas para la Conservación de los Recursos Naturales | 4,100.0 |
| 2.2 Manejo y Disposición de Residuos Sólidos | 800.0 |
| 2.3 Educación y Conciencia Ambiental | 180.0 |
| 2.4 Planificación y Ordenamiento Ambiental del Territorio | 100.0 |
| 2.5 Programas Instrumentales | 730.0 |
| Total | 5,970.0 |
| Total (millones de US\$) | (3.11) |

Tasa de cambio: 1 US\$ = 106 ₴ = 1,920 Col\$ (octubre 1999).

(4) Departamento de Servicios Públicos de los Municipios Representativos

(a) General

Generalmente los servicios básicos en los centros urbanos del área de estudio son proporcionados por los municipios a través de sus departamentos de servicios públicos. Por otro lado, la mayoría de los municipios del área de estudio no tienen un departamento de medio ambiente por lo que algunos problemas ambientales son atendidos por el departamento de servicios públicos ó son derivados a la CAR.

(b) Funciones

Las principales funciones son:

- (i) Realizar la operación y mantenimiento de los servicios municipales de abastecimiento de agua, alcantarillado, manejo de residuos sólidos, baños públicos, mercados y mataderos.

- (ii) Supervisar la construcción del sistema de abastecimiento de agua y alcantarillado en los sectores rurales y urbanos.
 - (iii) Dirigir, coordinar y controlar el servicio de barrido de calles, parques, etc.
- (c) Estructura Organizacional

En la Fig. 9.2 se presenta la estructura Organizacional del Departamento de Servicios Públicos de Ubaté la que puede ser tomada como ejemplo representativo de las otras municipios.

- (d) Aspectos Financieros

La Tabla 9.2 muestra los presupuestos municipales en el área de estudio y su relación con los presupuestos asignados a la inversión en servicios públicos y proyectos ambientales.

CAPITULO X PROGRAMA DE IMPLEMENTACION Y EVALUACION DEL PROYECTO

10.1 Programa de Implementación y Desembolso del Costo

10.1.1 Programa de Implementación

(1) General

Los mayores componentes del proyecto propuesto para el mejoramiento ambiental del Area de Estudio son: (i) utilización y manejo de los recursos hídricos, (ii) tratamiento de aguas residuales y (iii) control de planta acuática de la Laguna de Fúquene. Estos estan compuestos por los siguientes Sub-componentes:

| Componente de Proyecto | Sub-componentes del Proyecto |
|---|--|
| Utilización y Manejo de los Recursos Hídricos | Irrigación, Drenaje y Abastecimiento Municipal de Agua |
| Tratamiento de Aguas Residuales | Tratamiento Cloacal |
| Control de Planta Acuática | Dragado del lecho de la Laguna, Cosecha/Remoción y Compostaje de Planta Acuática, y Control de Planta Acuática por la Carpa Hervíboras |

Los trabajos de construcción y la adquisición del equipamiento para los Sub-componentes del proyecto serán realizados entre el 2001-2010 de acuerdo a la prioridad secuencial. Abajo se describen los programas de implementación correspondiente:

(2) Mejoramiento del Sistema de Utilización y Manejo del Recurso Hídrico

(a) Irrigación

El futuro área de irrigación propuesta (24,849 has) es dividida en 17 bloques de irrigación de los cuales 11 bloques serán mejorados. Estos son Suta, Cap-1, Cap-2, Lenguazaque, Mariño/Mariño-Ubaté, Susa, Simijaca, Viejo-Suárez, Merchán, Honda-parte alta y Susa-parte alta.

De estos, a Suta, Cap-1 y Cao-2 se les dara prioridad. Estos bloques deberían ser irrigados por el Embalse del Hato. Sinembargo, en el presente el Embalse no es utilizado a plenitud debido a la falta de instalaciones de irrigación en los bloques de referencia.

El diseño detallado será completado en el 2002. Los trabajos de construcción de los primeros tres (3) bloques prioritarios serán hechos durante 2003-2006. Los nueve (9) bloques remanentes serán implementados durante 2007-2010.

(b) Drenaje

Se refiere al mejoramiento de canal del Río Suárez. Aqui no se propone ningún trabajo de construcción. Los trabajos de O&M de limpieza del río serán implementados cada año después del 2002.

(c) Abastecimiento de Agua

Se refiere al mejoramiento de la captación existente (bombas) y de la planta de purificación del sistema de agua corriente de Chiquinquirá. El proyecto comenzará tan pronto como se pueda considerando a que el agua tratada actual no satisface plenamente los estándares.

El diseño detallado será completado en el 2002. El periodo de construcción está programado realizarse entre el 2003-2006.

(3) Tratamiento de Aguas Residuales (Tratamiento del alcantarillado)

En éste Estudio, se propone solamente el programa de implementación para el sistema de tratamiento del alcantarillado ya que el proyecto de tratamiento de aguas residuales industriales es pequeño. El proyecto propuesto incluye el mejoramiento de cuatro (4) plantas de tratamiento existentes en las municipalidades de Ubaté, Cucunubá, Lenguaque y San Miguel de Sema, y la instalación de 10 nuevas plantas en las otras municipalidades incluyendo a Chiquinquirá.

A la ciudad de Chiquinquirá se le dará la prioridad más alta seguido por la ciudad de Ubaté en debida consideración a los siguientes: (i) la población servida de ambas ciudades ocupan el 74% de población total servida en el Area de Estudio, (ii) los respectivos ríos receptores están muy contaminados y (iii) las dos ciudades ya han adquirido sus respectivos terrenos para el tratamiento.

El diseño detallado y los trabajos de construcción de las plantas de tratamiento para ambas ciudades serán realizados durante 2001-2005. En las otras municipalidades serán implementados los trabajos en el periodo 2006-2010 de acuerdo a la secuencia prioritaria basada en el tamaño de la población servida.

(4) Control de Planta Acuática

(a) Dragado del Lecho de la Laguna

El proyecto piloto será implementado en el 2002. El diseño detallado del proyecto a plena escala será completado en 2006. Los trabajos de dragado del proyecto a plena escala serán ejecutados durante 2007-2010.

(b) Cosecha/Remoción y Compostaje de Plantas Acuáticas

El proyecto piloto durará tres años, entre el 2001-2003. A comienzos del 2001, será adquirido el equipamiento y se realizará la construcción para el compostaje del proyecto piloto. La operación del proyecto piloto comenzará inmediatamente luego de la adquisición y la construcción.

El proyecto a plena escala comenzará en el 2004. En el 2004 será adquirido el equipamiento y se realizará la construcción para el correspondiente compostaje. La operación del proyecto a plena escala comenzará en el 2005 y terminará en el 2016.

(c) Control de Plantas Acuáticas por la Carpa Hervíboras

El proyecto comenzará en el 2003 inmediatamente después de completarse el

experimento actual. La compra de las carpas hervíboras y la instalación de la barrera eléctrica será completado en el 2003. Los avelinos serán liberados inmediatamente después de completarse la instalación de la barrera eléctrica.

Los programas de implementación de los proyectos de arriba se muestran en la Tabla 10.1.

10.1.2 Programe sobre Desembolso del Costo

El costo estimado de inversión (incluido los costos de construcción y consecución) y el costo anual de O&M (en el momento de la operación a plena escala) de los proyectos propuestos se resume abajo.

| Proyecto | Costo de Inversión (millones de Col\$) | Costo de O&M Anual (millones de Col\$ /año) |
|--|---|--|
| Utilización y Manejo de los Recursos Hídricos | | |
| Irrigación | 15,049.0 | 162.3 |
| Drenaje | - | 38.5 |
| Abastecimiento Municipal de Agua | 780.1 | negligible |
| Total | 15,829.1 | 200.8 |
| | (8.25 millones de US\$) | (0.10 millones de US\$/año) |
| Tratamiento de Aguas Residuales | | |
| Treatment Cloacal | 7,561.0 | 831.0 |
| | (3.94 millones de US\$) | (0.43 millones de US\$/año) |
| Control de Plantas Acuáticas | | |
| Dragado del Lecho de la Laguna | 17,196.1 | - |
| Cosecha/Remoción and Composting | 11,688.2 | 1,009.6 |
| Carpa Hervibora | 2,054.0 | 50.0 |
| Total | 30,938.3 | 1,059.6 |
| | (16.12 millones de US\$) | (0.026 millones de US\$/año) |

Tasa de cambio: 1US\$ = 106 ¥ = 1,920 Col\$

Los programas de desembolso de inversión y costos de O&M de los proyectos arriba mencionados se muestran en la Tabla 10.1.

10.2 Análisis Económico

10.2.1 General

El costo del proyecto se convierte al costo económico aplicando un factor de conversión asumido de 0.9. Se asume que la vida del proyecto es de 30 años. El intervalo promedio de reposición de equipos se supone en 15 años.

La eficiencia económica del proyecto es evaluada en términos de tasa interna económica de retorno (TIER), relación beneficio- costo (B/C) y valor presente neto (VPN).

10.2.2 Utilización y Manejo de los Recursos Hídricos

(1) Beneficios Económicos

(a) Irrigación

El proyecto de irrigación propuesto aumentará la producción lechera del ganado en las beneficiadas tierras de pastoreo cuyo área bruta es de 6,971 has

(area neta: 6,274 has). El área beneficiada es clasificada en los siguientes cinco (5) tipos.

| Tipo | Mejoramiento de Irrigación | Area Neta (ha) | Producción de Leche (l/ha/d) | |
|------|--|-------------------|------------------------------|--------------|
| | | | sin Proyecto | con Proyecto |
| A | De no irrigación a Nivel bajo de Irrigación | 1,758 | 5.0 | 16.1 |
| B | De no irrigación a Nivel óptimo de Irrigación | 2,176 | 5.0 | 22.4 |
| C | De nivel bajo de Irrigación a Nivel óptimo de Irrigación | 2,058 | 16.1 | 22.4 |
| D | De nivel bajo de Irrigación a Nivel medio de Irrigación | 282 | 16.1 | 16.8 |

De la tabla de arriba, se estima que con el proyecto la producción de leche aumente en 70,538 l/día. Por lo tanto, se espera que el proyecto produzca un anual beneficio de 3,965 millones de Col\$/año (2.07 millones de US\$/año) asumiendo que el beneficio unitario (precio de venta neta) a nivel de finca es de 154 Col\$/l.

(b) Drenaje

Anualmente, una superficie de 170 has de tierras de pastoreo de la zona circundante a la Laguna será aliviado del problema de inundación, resultando en el incremento de la producción de leche del ganado. Sin embargo, éste efecto benéfico no ocurrirá durante todo el año y se asume que ello aparecerá durante el 25% del año.

El beneficio anual producido del proyecto se estima en 38.1 millones de Col\$/año (0.02 millones de US\$/año) asumiendo que la producción unitaria de leche del área es de 16 l/ha/d y que el beneficio unitario a nivel de finca de 154 Col\$/l.

(c) Abastecimiento Municipal de Agua

Los proyectos propuestos mejorarán la salud pública de 45,500 usuarios del agua en la ciudad de Chiquinquirá en el 2010. El costo (incluyendo la construcción y reposición de instalaciones) del proyecto para toda su vida útil se estima en 758 millones de Col\$ (0.39 millones de US\$). Se supone que éste valor es equivalente al beneficio económico que reciben los usuarios de agua.

(2) Evaluación Económica

La eficiencia económica del proyecto de utilización y manejo de los recursos hídricos se estima como sigue:

| Indice | Eficiencia Económica | Observación |
|--------|--|------------------------------------|
| TIER | 26% | |
| B/C | 2.2 | Para una tasa de descuento del 10% |
| VPN | 10,899 millones de Col\$ (5.68 millones de US\$) | Para una tasa de descuento del 10% |

10.2.3 Tratamiento de Aguas Residuales (Tratamiento del Alcantarillado)

El proyecto propuesto tratarán las aguas residuales de, aproximadamente, 95,000 personas e industrias, mejorando el medio ambiente de los cuerpos de agua públicos y conservando el recurso hídrico en el Area de Estudio. La mayoría de los beneficios del proyecto son intangibles, sin embargo, el beneficio monetario se estima desde el punto de vista de ahorro del costo. Este ahorro de costo se refiere al costo de tratamiento adicional que se debería gastar en el abastecimiento de agua de Chiquinquirá si es que el proyecto no se implementara. El beneficio se estima en 1.7 millones de Col\$/año (0.001 millones de US\$/año).

10.2.4 Control de Planta Acuática

(1) Beneficio Económico

(a) Dragado del Lecho de la Laguna

El proyecto dispondrá del material extraído en las tierras bajas de pastoreo circundantes a la Laguna. Esto creará un área libre de inundación de 50 has, resultando en el incremento de la producción de leche del ganado. El beneficio económico anual se estima en 45 millones de Col\$/año (0.02 millones de US\$/año) asumiendo que la producción unitaria de leche se incrementa en 16 l/ha/d y que el beneficio unitario a nivel de finca es de 154 Col\$/l.

Además, el proyecto contribuirá a la mitigación de la condición anaeróbica de la Laguna mediante el control de la expansión del área de Juncos.

(b) Cosecha/Remoción y Compostaje de Plantas Acuáticas

Los siguientes beneficios son esperados del proyecto junto con el control de la planta acuática por medio de la carpa hervíboras: (i) producción de compost, (ii) reducción del daño de aguas contaminadas sobre las tierras de pastoreo circundantes a la Laguna, (iii) reducción del daño de las aguas contaminadas sobre el sistema de abastecimiento municipal de agua de Chiquinquirá, (iv) conservación de la capacidad de almacenamiento de la Laguna, (v) mejoramiento paisajístico y (vi) mejoramiento de la vida acuática.

Los beneficios de (i) al (v) son tangibles, mientras que el (vi) es intangible. Los beneficios tangibles son analizados a continuación:

(i) Producción de Compost

El precio actual de mercado del compost es de 140,000 Col\$/ton en Zipaquirá (mayor área de consumo). Por lo tanto, el precio de venta en el lugar de producción del compost cerca de la Laguna de Fúquene se estima en 122,000 Col\$/ton mediante la deducción del costo de transporte entre Zipaquirá y el lugar de producción. Por otro lado, el proyecto producirá 16,100 ton de compost por año. Por lo tanto, el anual beneficio del proyecto se estima en 1,964.2 millones de Col\$/año (1.02 millones de US\$/año).

- (ii) Reducción del Daño de las Aguas Contaminadas sobre las Tierras de Pastoreo circundantes a la Laguna.

Las tierras de pastoreo circundantes a la Laguna están irrigadas por el agua de la laguna. Si el proyecto no es implementado, el agua de la laguna en el futuro estará muy contaminado con H₂S producto de la de la excesiva cantidad de plantas acuáticas. Esta agua contaminada dañará el crecimiento de los pastos en una superficie de 500 has, resultando en la reducción de producción de leche del ganado (8,000 l/d). El proyecto recuperará la referida reducción de producción de leche. El beneficio anual del proyecto se estima en 449.7 millones de Col\$/año (0.23 millones de US\$/año), asumiendo que el beneficio unitario a nivel de finca es de 154 Col\$/litro de leche.

- (iii) Reducción del Daño de las Aguas Contaminadas sobre el Sistema Municipal de Abastecimiento de Agua de Chiquinquirá

Similarmente, ésta agua contaminada dañará el abastecimiento municipal de agua de Chiquinquirá. Para recuperar este daño, se necesitará de instalaciones adicionales de purificación cuyos costos de construcción es de 235 millones de Col\$ (0.12 millones de US\$/año). Este costo será salvado por el proyecto.

- (iv) Conservación de la Capacidad de Almacenamiento de la Laguna

El proyecto conservará la capacidad de almacenamiento de la laguna en un valor de 594,400 m³ en el año 2020. Esta conservación tiene un valor económico estimado de 105 millones de Col\$ (0.05 millones de US\$/año), considerando el costo unitario de almacenamiento del Embalse del Hato (176 Col\$/m³).

- (v) Mejoramiento Paisajístico

El proyecto mejorará el paisaje de la Laguna mediante la limpieza de la excesiva cantidad de plantas acuáticas. Esto permitirá el incremento del desarrollo turístico en los alrededores de la Laguna. Aproximadamente, 100,000 turistas visitan la región anualmente. Se asume que 40,000 ó un 40% de ellos han de visitar la Laguna en el futuro. Por consiguiente, se espera que con el proyecto se produzca un beneficio anual de 800 millones de Col\$/año (0.42 millones de US\$/año), asumiendo que un (1) turista gastará 20,000 Col\$ en promedio en los alrededores de la Laguna.

- (c) Control de Planta Acuática por la Carpa Hervíboras

El proyecto producirá los siguientes beneficios conjuntamente con la cosecha/remoción y compostaje de las plantas acuáticas: (i) reducción del daño de aguas contaminadas sobre las tierras de pastoreo circundantes a la Laguna, (ii) reducción del daño de las aguas contaminadas sobre el sistema de abastecimiento municipal de agua de Chiquinquirá, (iii) conservación de la capacidad de almacenamiento de la laguna, (iv) mejoramiento paisajístico y (v) mejoramiento de la vida acuática.

(2) Evaluación Económica

La eficiencia económica del proyecto de control de planta acuática se estima como sigue.

| Indice | Eficiencia Económica | Observación |
|--------|---|------------------------------------|
| TIER | 5% | |
| B/C | 0.8 | Para una tasa de descuento del 10% |
| VPN | - 4,553 millones de Col\$ (- 2.37 millones de US\$) | Para una tasa de descuento del 10% |

10.2.5 Plan Maestro (ProyectoTotal)

El plan maestro propuesto se evalúa como sigue

(1) Beneficios Económicos

Los beneficios económicos arriba mencionado son resumidos como sigue.

| Proyecto | Beneficio Anual (millones de Col\$/año) | Beneficio Obtenido Sólo por Una Vez (millones de Col\$) |
|--|--|---|
| Utilización y Manejo de los Recursos Hídricos | 4,003.1 | 758.0 |
| Irrigación | 3,965.0 | - |
| Drenaje | 38.1 | - |
| Abastecimiento Municipal de Agua | - | 758.0 |
| Tratamiento de Aguas Residuales | 1.7 | - |
| Control de Planta Acuática | 3,258.9 | 340.0 |
| Dragado del Lecho de la Laguna | 45.0 | - |
| Cosecha/Remoción- Compostaje, y Carpa Hervibora | 3,213.9 | 340.0 |
| Total | 7,263.7 | 1,098.0 |
| Total (millones de US\$/año ó millones de US\$) | (3.78) | (0.57) |

(2) Evaluación Económica

La eficiencia económica del plan maestro se estima como sigue.

| Index | Eficiencia Económica | Observaciones |
|-------|----------------------|------------------------------------|
| TIER | 10% | |
| B/C | 1.0 | Para una tasa de descuento del 10% |
| VPN | 0.0 | Para una tasa de descuento del 10% |

El flujo del costo económico y del beneficio está presentado en el Apéndice K Capítulo I Tabla K 1.1 – Tabla K 1.4.

10.3 Análisis Financiero

El análisis financiero es realizado para los siguientes tres (3) sub-componentes del proyecto: (i) irrigación, (ii) tratamiento cloacal y (iii) producción de compost.

10.3.1 Irrigación

El análisis financiero es realizado colectivamente para todos los bloques de irrigación del Area de Estudio.

(1) Tarifa de Agua

El promedio de la tarifa de agua existente del Area de Estudio se estima en 39,537 Col\$/ha/año (El 5.5% del ingreso anual familiar actual) para el año 1999. Se asume que la futura tarifa de agua aumentará en proporción al aumento de la capacidad de pago de los usuarios, concretamente, al crecimiento del PIB per cápita. La tasa de crecimiento del PIB per cápita se proyecta como sigue: 0% hasta el 2000, 2.9% para 2001-2011 y de aquí en adelante constante.

(2) Ingreso y Desembolso

El desembolso del ingreso esperado y del costo de inversión y de O&M (incluyendo costo de reposición) es como sigue.

| Ingreso | | | Costo | | |
|---------|-------------------------|------------------------------------|-------------|--|--|
| Año | Area de Irrigación (ha) | Ingreso Anual (millones Col\$/año) | Año | Costo Total de Inversión (millones Col\$) | Costo Anual Prom. de O&M (millones Col\$ /año) |
| - 2000 | 20,337 | 804 | - 2000 | - | - |
| 2005 | 21,068 | 961 | 2001 – 2005 | 5,415 | 1,024 |
| 2010 | 23,945 | 1,260 | 2006 – 2010 | 9,634 | 1,137 |
| 2011- | 24,849 | 1,345 | 2011- | - | 1,242 |

(3) Evaluación Financiera

La tarifa actual puede cubrir todos los gastos de O&M pero no puede cubrir el costo de la construcción.

Sin embargo, alguna porción de la inversión debería cubrir los agricultores ya que las tierras son de propiedad privada. Como una alternativa, los agricultores pueden cubrir el 10 % del costo de la inversión y el 90% remanente por el gobierno. En este caso, la tarifa debe incrementarse de 39,537 Col\$/ha/año a 43,670 Col\$/ha/año (El 6.0% del ingreso anual familiar actual) para el año base 2000 para mantener el balance entre el ingreso y el costo considerando una tasa de descuento del 10%. Este incremento del 0.5% se considerará conveniente, considerando el incremento del ingreso familiar por los proyectos de irrigación propuestos.

10.3.2 Tratamiento de Aguas Residuales (Alcantarillado)

El análisis financiero es realizado colectivamente para todos los sistemas de tratamiento de alcantarillado del Area de Estudio.

(1) Tarifa de Alcantarillado

La tarifa de alcantarillado de la Ciudad de Ubaté es considerada como la representativa del Area de Estudio. La tarifa existente de alcantarillado para las viviendas es de 1,865 Col\$/mes/vivienda en 1999. Esta tarifa es para todo el sistema

de alcantarillado incluyendo los caños colectores y la planta de tratamiento y equivale al 0.26% del ingreso mensual promedio familiar (700,000 Col\$/mes/vivienda) del Area de Estudio. Por otro lado, mediante una encuesta se supo que la voluntad de pago es del 0.32% del ingreso familiar.

Entonces, la tarifa asequible actual de alcantarillado es determinado en ser del 0.29% del ingreso familiar ó 2,030 Col\$/mes/vivienda. De éste valor, la tarifa asequible para el tratamiento cloacal se estima en 812 Col\$/mes/vivienda ó 0.12% del ingreso familiar asumiendo que la tarifa de tratamiento ocupa el 40% de la tarifa total.

Por otro lado, la tarifa existente de alcantarillado para las industrias es de 13,039 Col\$/mes/fábrica. Entonces, la tarifa asequible actual para el tratamiento del alcantarillado es determinado en 5,677 Col\$/mes/fábrica considerando la relación entre las tarifas existentes de las viviendas y de las industrias en la Ciudad de Ubaté.

Se asume que la futura tarifa de tratamiento cloacal aumentará en proporción al aumento de la capacidad de pago de los beneficiarios, concretamente, al crecimiento del PIB per cápita. La tasa de crecimiento del PIB per cápita es proyectado como sigue: 0% hasta el 2000, 2.9% para 2001-2011 y de aquí para adelante constante.

(2) Ingreso y Desembolso

El desembolso del ingreso esperado y del costo de inversión y de O&M (incluyendo costo de reposición) es como sigue.

| Ingreso | | | | Costo | | |
|---------|---------------------------|----------------------------|--|-------------|---|--|
| Año | Viviendas Servidas (nos.) | Industrias Servidas (nos.) | Ingreso Prom. Anual (millones Col\$/año) | Año | Costo Total de Inversión (millones Col\$) | Costo Anual Prom. de O&M (millones Col\$ /año) |
| - 2000 | 22,305 | 49 | 221 | - 2000 | - | - |
| 2005 | 24,784 | 49 | 282 | 2001 – 2005 | 3,565 | 274 |
| 2010 | 27,539 | 49 | 362 | 2006 – 2010 | 3,996 | 491 |
| 2011 - | 28,125 | 49 | 380 | 2011 - | - | 831 |

(3) Evaluación Financiera

La tarifa de tratamiento cloacal no puede cubrir inclusive los gastos de O&M. Por lo tanto la tarifa de tratamiento cloacal de las viviendas debería incrementarse del 0.12% (812 Col\$/mes/vivienda en el 2000) al 0.25% (1,776 Col\$/mes/vivienda en el 2000) del ingreso familiar (700,000 Col\$/mes/vivienda en el 2000) por lo menos para cubrir los gastos de O&M. La tarifa de tratamiento cloacal de las industrias debe incrementarse en proporción a la tarifa de las viviendas.

10.3.3 Producción de Compost

(1) Precio de Mercado del Compost

El precio de mercado actual del compost es de 140,000 Col\$/ton en Zipaquirá (la mayor región de consumo). Este precio puede ser convertido al precio de venta en el sitio de producción (122,000 Col\$/ton) restando el costo del transporte.

Se asume que el futuro precio de venta se incrementará en proporción al aumento de

la capacidad de pago de los usuarios, concretamente, al crecimiento del PIB per cápita. La tasa de crecimiento del PIB per cápita es proyectado como sigue: 0% hasta el 2000, 2.9% para 2001-2011 y de aquí para adelante constante.

(2) Ingreso y Desembolso

El proyecto piloto será implementado durante 2001-2004. El proyecto a full escala comenzará en el 2004 y terminará en el 2016. Todos los costos del proyecto piloto serán pagados por el gobierno. Los productos serán regalados a los agricultores ya que el proyecto será realizado para experimento en cultivos.

El desembolso del ingreso esperado y del costo de inversión y de O&M (incluyendo costo de reposición) para el proyecto a plena escala es mostrado abajo. Los siguientes ingresos cubren todos los costos de cosecha/remoción y compostaje de las plantas acuáticas.

| Ingreso | | | Costo | | |
|-------------|---------------------------------------|------------------------------------|-----------|---|--|
| Año | Producción Anual de Compost (ton/año) | Ingreso Anual (millones Col\$/año) | Año | Costo Total de Inversión (millones Col\$) | Costo Anual Prom. de O&M (millones Col\$ /año) |
| 2004 | - | - | 2004 | 10,285 | - |
| 2005 | 16,100 | 2,266 | 2005-2010 | - | 1,267 |
| 2010 | 16,100 | 2,614 | 2011-2016 | - | 1,010 |
| 2011 - 2016 | 16,100 | 2,690 | | | |

(3) Evaluación Financiera

La viabilidad financiera de la producción del compost por el sector privado es evaluada en términos de la tasa interna financiera de retorno (TIFR) para los tres (3) casos de abajo.

| Caso | Participación en el Costo | | TIFR (%) |
|--------|-------------------------------------|--|----------|
| | Gobierno | Sector Privado | |
| Caso-1 | No cubre ningún costo | Costo de Inversión (100%), Costo de O&M (100%) | 8 |
| Caso-2 | Cubre el 50% del costo de inversión | Costo de Inversión (50%), Costo de O&M (100%) | 23 |
| Caso-3 | Cubre el 70% del costo de inversión | Costo de Inversión (30%), Costo de O&M (100%) | 39 |

Este proyecto contribuirá no solo para la producción del compost sino también para el mejoramiento ambiental de la Laguna. El costo requerido debería ser cubierto tanto por el gobierno como por el sector privado en un adecuado porcentaje. Este proyecto puede ser atractivo para la participación del sector privado sí el gobierno cubre una considerable porción del costo de inversión.

El flujo del ingreso y del costo está presentado en el Apéndice K Tabla K 2.1 – Tabla K 2.3.

10.4 Evaluación del Impacto Ambiental

Los potenciales impactos ambientales de los proyectos propuestos, positivos y negativos, son descritos a continuación conjuntamente con las medidas mitigatorias recomendadas.

10.4.1 Impactos sobre la Tierra y el Suelo

(1) Areas Reservadas/Páramos

Los proyectos propuestos no incluye ninguna reforma de tierra en las áreas de reserva/páramos. No se espera ningún impacto.

(2) Areas Circundantes a la Laguna

El dragado del lecho de la laguna se propone para la zona frontal de Juncos para controlar la expansión de los mismos hacia el centro de la laguna. Los lodos dragados podrán mejorar aproximadamente 50 ha de las tierras bajas de pastoreo alrededor de la laguna en una altura de 0.3–0.5 m, liberando las tierras de inundación. No se espera un impacto adverso puesto que los lodos dragados son fértiles y la escala no es grande.

10.4.2 Impactos sobre el Agua

(1) Hidráulica e Hidrológica de la Laguna

(a) Nivel del Agua

El proyecto de drenaje disminuirá el nivel alto de agua de la Laguna, resultando en la reducción del área de inundación de 170 has en los alrededores de la Laguna.

(b) Caudal del Agua de Salida

El proyecto de control de planta acuática mejorará la capacidad de descarga de la salida de la laguna, resultando en la reducción de los daños de inundación en los alrededores de la Laguna y daños sobre el uso del agua del Río Suárez.

(c) Capacidad de Almacenamiento:

El control de planta acuática salvará 590,000 m³ de la capacidad de almacenamiento de la laguna mediante la reducción de la biomasa de las plantas acuáticas.

(2) Calidad del Agua Superficial

(a) Ríos

Todo el alcantarillado del Area de Estudio será tratado para alcanzar 40 mg/l en DBO. Este proyecto mitigará la calidad de agua del río de 8 mg/l a 4 mg/l en DBO en la estación Colorado del río Ubaté y de 21 mg/l a 5 mg/l luego de la descarga del alcantarillado de Chiquiquirá en el Río Suárez.

(b) Laguna

Además, el tratamiento cloacal propuesto mejorará la calidad de agua de la Laguna como sigue: DQO: de 33 mg/l a 32 mg/l, T-N: de 2.0 mg/l a 1.8 mg/l y T-P: de 0.09 mg/l a 0.07 mg/l.

La excesiva cantidad de plantas acuáticas presentes en la Laguna permitirá la creación de condiciones anaeróbicas y la consiguiente producción de H₂S. Esto causará daños fatales sobre la vida acuática y en los usos de agua dentro y en los alrededores de la Laguna. El proyecto propuesto de control de planta acuática va a resolver estos problemas.

El dragado propuesto puede, durante la fase de construcción, volver el agua turbia. Sin embargo, la selección de un método adecuado (por ejemplo, el método de dragado de transporte neumático de lodos con cortina de control de contaminación del agua) minimizaría el impacto negativo sobre la calidad del agua en la laguna.

10.4.3 Impactos sobre la Flora

(1) Especies Potenciales en Peligro

Todos los proyectos serán ejecutados en tierras agrícolas ó en el área de la laguna. No existen especies en peligro en éstos lugares. No se espera ningún impacto.

(2) Impacto del Control de Plantas Acuáticas

El proyecto para el control de plantas acuáticas removerá completamente el Buchón cuya existencia data desde el año 1979. El proyecto también disminuirá la biomasa de la Elodea a un 20% de lo que existe actualmente utilizando un sistema combinando de cosecha mecánica y de cría de carpa hervívora. La existencia de la Elodea data desde el año 1986. La rápida expansión actual del Junco hacía el centro de la laguna será controlada con el dragado del lecho de la laguna. Así, la excesiva cantidad de plantas acuáticas existentes serán removidos hasta el nivel deseado.

Por lo tanto, no habrá impacto biológico significativo con el proyecto propuesto de control de plantas acuáticas.

10.4.4 Impactos sobre la Fauna

(1) Especies Potenciales en Peligro

No existen especies en peligro en éstos lugares. No se espera ningún impacto.

(2) Impactos del Control de Plantas Acuáticas

(a) Ecosistema de la Laguna

No hay existencia de vida en los depósitos del lecho de la laguna ya que todos ellos están bajo condición anaeróbica. Solo lombrices y sanguijuelas fueron identificadas en las raíces del Buchón.

Existen cuatro especies de peces de las cuales las especies exóticas son una clase de carpa y otra de color. El control de plantas acuáticas propuesto no dañará sus hábitats.

(b) Carpa Hervíbora

Aproximadamente 44,000 alevinos de carpa hervíbora (triploide estéril) serán liberados en la Laguna. El consumo excesivo de plantas acuáticas por parte de la carpa herbívora puede causar daño al ecosistema de la laguna. El daño puede ser prevenido controlando el número de carpas mediante el monitoreo periódico del sistema ecológico de la laguna.

La fuga de carpas herbívoras de la laguna puede causar cambios inesperados aguas abajo de la misma. Para prevenir estos cambios ecológicos, serán liberadas carpas herbívoras triploides y se construirá una barrera eléctrica a la salida de laguna.

10.4.5 Impactos Socio-culturales

(1) Agricultura

Los proyectos de irrigación y drenaje mejorarán las condiciones hídricas de 7,140 has de tierras de pastoreo, resultando en una producción adicional del ganado de 73,300 l/día de leche.

(2) Salud Pública

El mejoramiento de la captación de agua y de la planta de purificación de Chiquinquirá hará posible el suministro estable y limpio de agua para los usuarios, mejorando la salud pública de la ciudad. Además, el tratamiento del alcantarillado propuesto reducirá la contaminación en los cuerpos de agua, mejorando los servicios públicos de la región.

(3) Disposición de Lodos

Los lodos de la planta de tratamiento del alcantarillado serán secados al sol y luego serán dispuestos en las tierras de pastoreo. Sin embargo, esta operación no será frecuente, solo una vez cada dos años. El olor de la planta de tratamiento no empeorará el ambiente de la gente ya que están ubicadas lejos de las áreas residenciales.

(4) Relocalización

No habrá relocalización debido a los proyectos.

(5) Derecho de Agua

Al presente, la tarifa de agua de irrigación se determina con base en las condiciones del nivel freático, área de irrigación, distancia del canal, ect., sin considerar el volumen de agua consumida. El derecho de agua será dado a los nuevos usuarios siguiendo el actual sistema de tarifa.

En el futuro, la operación óptima propuesta del Embalse del Hato/Laguna y las instalaciones adicionales de irrigación propuestas, aumentarán la disponibilidad de agua por hectárea. Por lo tanto, no serán causados impactos adversos en los existentes usuarios de agua.

(6) Producción de Compost

El compostaje de las plantas acuáticas y su mercadeo salvará el costo requerido para el control de las plantas acuáticas por parte del gobierno. Este ahorro ayudará financieramente al gobierno para mejorar la administración ambiental.

(7) Impactos durante la Fase de Construcción

Durante la fase de construcción, los lugares de construcción serán sujetos a polución atmosférica debido a la generación de polvo, ruido y olor. Sin embargo, ello será temporal y terminará luego de la construcción.

10.4.6 Conclusión

En la evaluación global, los impactos positivos de los proyectos se impondrán a los negativos. El impacto positivo más importante es la recuperación de la Laguna. La Laguna es un legado natural del área de estudio desde el punto de vista del recurso físico, socio-cultural y biológico.

Otros impactos positivos son el incremento de aguas de irrigación, reducción de los daños por inundación, mejoramiento de la salud pública, mejoramiento de calidad de agua de los rios y de la Laguna, mejoramiento del paisaje, mejoramiento del habitat de la vida acuática, etc.

Los posibles impactos negativos son: (i) turbidez temporal en el agua de la laguna debido a los trabajos de dragado, (ii) daño en el ecosistema de la laguna debido al excesivo consumo de plantas acuáticas por la carpa herbívora y, (iii) cambios ecologicos inesperados aguas abajo de la laguna debido a fuga de carpa herbívora.

El primer impacto negativo será minimizado por el empleo de un metodo adecuado de dragado (ej. metodo de dragado con transporte neumatico de solidos con cortina de control de contaminación del agua). El segundo será controlado regulando el numero de carpas a traves del sistema de monitoreo periodico propuesto de la ecología en la laguna. El tercero, será prevenido liberando carpa herbívora triploide y construyendo una barrea eléctrica a la salida de la laguna.

Como se menciona arriba, los proyectos propuestos podran ser implementados sin impacto ambiental significativo.

CAPITULO XI RECOMENDACIONES

11.1 Utilización y Manejo del Recurso Hídrico

- (1) Originalmente está programado para que tres (3) bloques de irrigación (Suta, Cap-1 y Cap-2) puedan recibir agua del Embalse del Hato. Sin embargo, el Embalse del Hato, no ha sido utilizado plenamente debido a la falta de instalaciones de captación y distribución. Estos sistemas de irrigación deberán ser implementados en el menor plazo posible.
- (2) La limpieza del canal del Río Suárez (remoción de plantas acuáticas) contribuirá a la disminución del nivel de agua de inundación de la Laguna de Fúquene. Sin embargo, las plantas acuáticas se recuperan rápidamente. Por lo tanto, la limpieza del canal debería implementarse periódicamente.
- (3) La planta de purificación de Chiquinquirá debería mejorarse inmediatamente para satisfacer el estándar de calidad de agua potable. Al mismo tiempo se deberá mejorar la estación de bombeo existente.
- (4) El Embalse del Hato y la Laguna de Fúquene se deberán operar en concordancia con las reglas de operación óptimas propuestas. Las plantas acuáticas en la salida de la Laguna y en el Río Suárez deberán ser bien controladas a fin de obtener los resultados esperados de la regla de operación propuesta para la Laguna de Fúquene.
- (5) Un uso racional del agua de irrigación es necesario junto con el mejoramiento propuesto del sistema de irrigación para mitigar los problemas de sequía en las áreas del servicio de irrigación. Para este propósito, se deberán conducir investigaciones sobre la respuesta del consumo de agua por métodos de irrigación subterránea y superficial para obtener la forma más eficiente del uso del agua para cultivos en las áreas de irrigación con sequías.

11.2 Tratamiento de Aguas Residuales

Las aguas residuales de las áreas urbanas del Area de Estudio se originan mayoritariamente en las ciudades de Ubaté y Chiquinquirá. El mejoramiento del sistema de tratamiento del alcantarillado de ambas ciudades es importante. Ya se tiene el terreno para las plantas, por lo tanto, la construcción debería comenzar en el menor plazo posible.

11.3 Control de Plantas Acuáticas

- (1) Las excesivas plantas acuáticas deberán ser controladas por un método integral que incluya dragado, cosecha/compostaje y la carpa hervíhora.
- (2) Las plantas acuáticas cosechadas deberían ser reutilizadas a lo máximo para sostener satisfactoriamente el medio ambiente de la Laguna. Por lo tanto, la cosecha, la producción de compost y su mercadeo deberían ser implementados como un paquete bajo una operación conjunta del sector público con el sector privado.
- (3) La efectividad del dragado y la aplicabilidad del compost producido deberá ser confirmado por medio de un proyecto piloto antes de que se implemente a plena escala. El proyecto piloto debería comenzar en el menor plazo posible.

- (4) El compost hecho de plantas acuáticas puede ser efectivamente utilizado no solo como fertilizante sino también como mejorador de suelos ya que contiene bastante celulosa. Se recomiendan estudios adicionales para confirmar el mejoramiento de la condición de los suelos utilizando el referido compost.
- (5) El experimento actual sobre las carpas hervíboras deberá continuar para confirmar su efectividad en el control de la planta acuática. Además el experimento actual para conocer la tasa de crecimiento de la Elodea deberá continuar para tener una conclusión final del número necesario del equipo para la cosecha mecánica.

11.4 Monitoreo

Para la implementación exitosa de los proyectos propuestos, se debería mejorar el sistema de monitoreo existente de hidrología y de calidad de agua. Además, durante y después de la implementación del proyecto propuesto para el control de la planta acuática, se deberá monitorear periódicamente el área de plantas acuáticas (incluyendo biomasa/especies) y el crecimiento de la carpa hervívora, todo ésto para confirmar su efectividad y para detectar efectos adversos sobre el medio ambiente de la laguna.

11.5 Educación Ambiental

Para la exitosa implementación de los proyectos propuestos, la importancia de la conservación ambiental del Area de Estudio debe ser bien entendida por la gente: usuarios de agua, beneficiarios de alcantarillados, gerentes de fábricas y ciudadanos. Para este propósito, la CAR deberá promover la educación ambiental periódicamente por medio de seminarios, campañas, publicaciones, etc. utilizando en su máxima extensión la ventaja de que la CAR es la mayor fuente de información ambiental del Area de Estudio.