

APENDICE C

UTILIZACION Y MANEJO DEL RECURSO HIDRICO

APENDICE C

UTILIZACION Y MANEJO DEL RECURSO HIDRICO

Tabla de Contenido

CAPITULO I	UTILIZACION ACTUAL DEL AGUA.....	C-1
1.1	Terrenos y Cultivos del Area de Estudio.....	C-1
1.1.1	Distribución de Tierras.....	C-1
1.1.2	Cultivos.....	C-2
1.2	Utilización del Agua de Irrigación.....	C-2
1.2.1	Area Irrigada y Patrón de Cultivos.....	C-2
1.2.2	Sistema de Irrigación.....	C-4
1.2.3	Requerimiento de Agua en Terrenos.....	C-6
1.2.4	Utilización del Agua Superficial.....	C-6
1.3	Utilización del Agua para Ganadería.....	C-8
1.4	Utilización del Agua Municipal.....	C-8
1.4.1	Fuente de Agua y Sistema de Tratamiento.....	C-8
1.4.2	Uso del Agua.....	C-8
CAPITULO II	USO DEL AGUA PROYECTADO	C-11
2.1	Uso del Agua para Irrigación.....	C-11
2.1.1	Area Irrigada y Cosechas más Importantes.....	C-11
2.1.2	Utilización del Agua Superficial.....	C-12
2.2	Utilización del Agua para Ganadería.....	C-13
2.3	Utilización del Agua Municipal.....	C-14
CAPITULO III	SIMULACION EN CONDICIONES ACTUALES.....	C-15
3.1	Almacenamiento del Agua y Sistema de Bocatoma del Agua.....	C-15
3.2	Reglas Actuales de Operación de Embalses y Compuertas.....	C-16
3.3	Construcción del Modelo de Simulación de Balance del Agua.....	C-18
3.4	Análisis del Balance del Agua.....	C-21
3.5	Regla de Operación Óptima.....	C-22
3.5.1	Embalse del Hato.....	C-22
3.5.2	Laguna de Fúquene.....	C-24
3.6	Problema de Cavitación en la Estación de Bombeo de Chiquinquirá.....	C-27

CAPITULO	IV	SIMULACION BAJO CONDICIONES FUTURAS	C-28
	4.1	Sistema de Irrigación Propuesto.....	C-28
	4.2	Construcción del Modelo de Simulación del Balance Hídrico	C-30
	4.3	Análisis del Balance Hídrico.....	C-31
	4.4	Regla Optima de Operación	C-32
		4.4.1 Embalse del Hato.....	C-32
		4.4.2 Laguna de Fúquene	C-34
	4.5	Problema de Cavitación en la Estación de Bombeo de Chiquinquirá.....	C-35
CAPITULO	V	MEJORAMIENTO DEL SISTEMA CAR.....	C-36
	5.1	Contenido del Mejoramiento.....	C-36
	5.2	Efectos del Mejoramiento	C-36
	5.3	Cuantificación del Mejoramiento.....	C-38
	5.4	Estimativo de Costos.....	C-38
	5.5	Costo de Operación y Mantenimiento.....	C-39
	5.6	Programa de Implementación.....	C-40
CAPITULO	VI	MEJORAMIENTO EN EL SUMINISTRO DEL AGUA DE CHIQUINQUIRA.....	C-41
	6.1	Estación de Bombeo.....	C-41
	6.2	Planta de Purificación del Agua	C-42
		6.2.1 General	C-42
		6.2.2 Normas Nacionales.....	C-42
		6.2.3 Inventario.....	C-42
		6.2.4 Proyección Futura.....	C-44
		6.2.5 Plan de Mejoramiento	C-45
	6.3	Programa de Implementación.....	C-49
REFERENCIAS		C-50

Lista de Tablas

Tabla C.1.1	Módulos de Consumo de Irrigación para la Cuenca de la Laguna de Fúquene	C-T1
Tabla C.1.2	Módulos de Consumo de Irrigación para la Cuenca del Rio Susa	C-T2
Tabla C.1.3	Módulos de Consumo de Irrigación para la Cuenca del Rio Simijaca.....	C-T3
Tabla C.1.4	Módulos de Consumo de Irrigación para la Cuenca del Rio Chiquinquirá.....	C-T4
Tabla C.1.5	Módulos de Consumo de Irrigación para la Cuenca del Rio Suárez..	C-T5
Tabla C.1.6	Resultados de la Encuesta sobre el Sistema de Suministro de Agua .	C-T6
Tabla C.1.7	Cálculo de la Demanda Actual de Agua Doméstica	C-T7
Tabla C.2.1	Proyección de la Demanda de Agua Doméstica	C-T8
Tabla C.2.2	Demanda Actual y Proyectada de Agua en los Mataderos	C-T9
Tabla C.2.3	Demanda Actual y Proyectada de Agua en la Fabricación de Derivados Lácteos.....	C-T10
Tabla C.3.1	Resultado del Análisis del Balance del Agua en Condiciones Actuales.....	C-T11
Tabla C.3.2	Suministro de Agua del Embalse del Hato en Condiciones Actuales.....	C-T12
Tabla C.3.3	Resultados de la Simulación de Optimización de la Laguna de Fúquene (Condiciones Actuales: Caso-1).....	C-T13
Tabla C.3.4	Resultados de la Simulación de Optimización de la Laguna de Fúquene (Condiciones Actuales: Caso-2).....	C-T14
Tabla C.3.5	Resultados de la Simulación de Optimización de la Laguna de Fúquene (Condiciones Actuales: Caso-3).....	C-T15
Tabla C.3.6	Resultados de la Simulación de Optimización de la Laguna de Fúquene (Condiciones Actuales: Caso-4).....	C-T16
Tabla C.4.1	Resultado del Análisis del Balance del Agua en Condiciones Futuras.....	C-T17
Tabla C.4.2	Suministro de Agua del Embalse del Hato en Condiciones Futuras.....	C-T18
Tabla C.4.3	Resultados de la Simulación de Optimización de la Laguna de Fúquene (Condiciones Futuras: Caso-1)	C-T19
Tabla C.4.4	Resultados de la Simulación de Optimización de la Laguna de Fúquene (Condiciones Futuras: Caso-2)	C-T20
Tabla C.4.5	Resultados de la Simulación de Optimización de la Laguna de Fúquene (Condiciones Futuras: Caso-3)	C-T21
Tabla C.4.6	Resultados de la Simulación de Optimización de la Laguna de Fúquene (Condiciones Futuras: Caso-4)	C-T22
Tabla C.5.1	Estimación de Costo para el Mejoramiento del Sistema de Irrigación	C-T23

Tabla C.5.2	Programa de Implementación para el Mejoramiento del Sistema de Irrigación y Drenaje.....	C-T27
Tabla C.6.1	Criterios de la Calidad del Agua Potable en la Republica de Colombia.....	C-T28
Tabla C.6.2	Resultados de los Análisis de Calidad de Agua en el Punto de Entrada al Rio Suárez.....	C-T29
Tabla C.6.3	Total de Agua Tratada, Dosificaciones Promedio y Consumo de Quimicos en el mes de Setiembre, 1999	C-T30
Tabla C.6.4	Resultados de Los Análisis de Calidad de Agua en el mes de Setiembre, 1999	C-T31
Tabla C.6.5	Programa de Implementación para el Mejoramiento del Suministro de Agua.....	C-T32

Lista de Figuras

Fig. C.1.1	División de Bloques de Irrigación	C-F1
Fig. C.3.1	Curvas Area - Capacidad	C-F2
Fig. C.3.2	Modelo de Simulación del Balance de Agua en Condiciones Actuales.....	C-F3
Fig. C.3.3	Comparación del Nivel de Agua Observado y Calculado en la Laguna de Fúquene	C-F4
Fig. C.3.4	Nivel de Agua del Embalse del Hato en Condiciones Actuales	C-F5
Fig. C.3.5	Simulación del Nivel de Agua del Embalse del Hato con la Regla Optima de Operación (Condiciones Actuales)	C-F6
Fig. C.3.6	Nivel de Agua Simulado en la Laguna de Fúquene (Condiciones Actuales: Caso-1).....	C-F7
Fig. C.3.7	Nivel de Agua Simulado en la Laguna de Fúquene (Condiciones Actuales: Caso-2).....	C-F8
Fig. C.3.8	Nivel de Agua Simulado en la Laguna de Fúquene (Condiciones Actuales: Caso-3).....	C-F9
Fig. C.3.9	Nivel de Agua Simulado en la Laguna de Fúquene (Condiciones Actuales: Caso-4).....	C-F10
Fig. C.4.1	Localización de las Instalaciones de la Toma Propuesta	C-F11
Fig. C.4.2	Principales Características de las Instalaciones de la Toma Propuesta	C-F12
Fig. C.4.3	Modelo de Simulación del Balance de Agua en Condiciones Futuras.....	C-F13
Fig. C.4.4	Nivel de Agua del Embalse del Hato en Condiciones Futuras	C-F14
Fig. C.4.5	Simulación del Nivel de Agua del Embalse del Hato con la Regla Optima de Operación (Condiciones Futuras)	C-F15
Fig. C.4.6	Nivel de Agua Simulado en la Laguna de Fúquene (Condiciones Futuras: Caso-1)	C-F16
Fig. C.4.7	Nivel de Agua Simulado en la Laguna de Fúquene (Condiciones Futuras: Caso-2)	C-F17
Fig. C.4.8	Nivel de Agua Simulado en la Laguna de Fúquene (Condiciones Futuras: Caso-3)	C-F18
Fig. C.4.9	Nivel de Agua Simulado en la Laguna de Fúquene (Condiciones Futuras: Caso-4)	C-F19
Fig. C.6.1	Planta de Purificación de Chiquinquirá	C-F20

APENDICE C UTILIZACION Y MANEJO DEL RECURSO HIDRICO

CAPITULO I UTILIZACION ACTUAL DEL AGUA

1.1 Terrenos y Cultivos del Area de Estudio

En el Area de Estudio la tierra es utilizada principalmente para la agricultura. Estos campos se extienden sobre planicies así como sobre áreas montañosas. Casi todas las tierras sobre áreas montañosas tienen precipitaciones. Por otro lado, el sistema de irrigación y de drenaje de la CAR está localizado sobre planicies.

Los pastos son aptos para la cría de ganado es la actividad predominante en el Area de Estudio. Además, para la crianza de animales se utilizan pastos naturales que crecen en las áreas montañosas.

1.1.1 Distribución de Tierras

La forma más eficiente de analizar la distribución de las tierras es ubicar las tierras no utilizadas en agricultura. Entre las que no se usan para agricultura están los bosques primitivos, áreas de reforestación, arbustos naturales y áreas de páramo. Por lo tanto, las otras áreas caen dentro de la clasificación de terrenos. Terrenos en este contexto significa el área que está total y/o parcialmente utilizada para la agricultura incluyendo tierras de pastos naturales utilizado por el ganado. Los lugares con mayores tierras que no se utilizan para la agricultura son los siguientes:

(1) Bosques Primitivos

Los bosques primitivos están localizados a lo largo de los límites de la cuenca del Río Suárez, corriente abajo de la compuerta de Tolón. Otros bosques primitivos pequeños están repartidos en el área montañosa.

(2) Areas de Reforestación

Las zonas de Reforestación están cubiertas por eucaliptos y pinos en el Area de Estudio. Una de estas zonas está localizada a lo largo de los límites de la cuenca norte del Río Susa, al noreste del área urbana de Susa. Las otras se ubican en los alrededores del área urbana de Sutatausa.

(3) Arbustos Naturales

Hay áreas esporádicas de arbustos naturales en las áreas montañosas. Es muy notoria la que queda en la cuenca de la Laguna de Cucunubá.

(4) Areas de Páramo

El área de páramo más grande se extiende por el este de la cuenca del Río Lenguaque. Sin embargo, parte de esta área produce papa y pasto poa (pastura). Los otros se localizan en las cuencas de los Ríos Suta, Ubaté, Susa y Simijaca.

1.1.2 Cultivos

Las actuales cultivos en el Area de Estudio son pastos (mejorados, kikuyo, poa, gramíneos), trigo, cebada, maíz, papa, tomate, habichuelas, etc. De estos cultivos, los predominantes son los pastos, tanto en áreas irrigadas como en áreas de precipitaciones naturales.

1.2 Utilización del Agua de Irrigación

En esta sección, la utilización del agua para irrigación significa que el sistema de irrigación y drenaje de la CAR., es el único sistema de irrigación en el Area de Estudio.

1.2.1 Area Irrigada y Patrón de Cultivos

El sistema de la CAR se extiende en la planicie del Area de Estudio. Esta planicie se localiza a lo largo de los sistemas de ríos- lagunas. El sistema de ríos- lagunas más importante son: lagunas de Palacio, Cucunubá y Fúquene y los ríos de Ubaté, Lenguazaque y Suárez.

(1) Area Irrigada

El sistema de irrigación y drenaje de la CAR cubre 19,444.3638 has (el número de puntos registrados es 4,186) hasta octubre de 1999 basados en la lista de tarifas de la CAR (*“factores que intervienen en la liquidación de la cuota de reembolso en los distritos de riego”*). Esta cifra registrada no incluye las áreas de lotes pequeños (menos de 6,400 m²) que están cubiertas por el sistema (aunque las tarifas se cobran a estos lotes pequeños). Sin embargo, se juzga que esta cifra representa el área actual irrigada del Area de Estudio.

La CAR divide el sistema en 12 sub-zonas teniendo en cuenta las fuentes del agua en cada zona, etc. En este Estudio, el sistema se divide en 15 bloques de irrigación teniendo en cuenta el estudio de balance del agua y la simulación de operaciones (Fig. C.1.1). El área neta actualmente irrigada (registrada por la CAR) y el área total actualmente irrigada (Area de bloque de irrigación) de cada bloque de irrigación se muestra a continuación (el área total irrigada es 21,603 has). Al calcular las áreas de bloques de irrigación, se asume el radio del área neta con área total en 0.9. Esta cifra se determina a través de la comparación del área registrada y del área medida en los mapas catastrales ($s=1/10,000$) en las diferentes áreas de muestra seleccionadas.

Bloque No.	Nombre del Bloque de Irrigación	Area Neta Irrigada (ha)	Area Total Irrigada (ha)	Comentarios
1	Suta	749	832	
2	Cap-1	571	634	
3	Cucunubá	1,703	1,892	
4	Lenguazaque	1,576	1,751	
5	Cap-2	1,424	1,582	Este bloque no está totalmente irrigado debido a que la capacidad de este sistema de irrigación no es suficiente.
6	Mariño	630	700	
7	Mariño-Ubaté	348	387	
8	Fúquene	2,283	2,537	
9	Honda	458	509	
10	Susa	507	563	
11	Suárez	7,478	8,309	
12	Simijaca	0	0	Este bloque es un área futura de extensión para irrigación. Sin embargo se da el bloque No.12 teniendo en cuenta su localización.
13	Viejo-Suárez	205	228	
14	Madrón	1,223	1,359	
15	Merchán	288	320	
	Total	19,443	21,603	

(2) Cultivos más Importantes

Las cultivos actuales en el área del estudios son los pastos (mejorados, kikuyo, gramíneos), trigo, cebada, maíz, papa, tomate, etc, el mas predominante son los pastos.

Las áreas cultivadas más importantes y necesarias para poder calcular la demanda del agua para irrigación. No está disponible por falta de la información existente, entonces se llevó a cabo una encuesta oral en cada oficina del municipio pertinente. De esta encuesta, se concluye que solamente en el municipio de Simijaca se cultivan vegetales a una escala no insignificante. Los bloques de irrigación del municipio de Simijaca son el No.11 y el No.12, por lo tanto, en los otros bloques sólo se tienen en cuenta los pastos. La siguiente tabla muestra las áreas de cultivos más importantes en el Bloque No.11.

El área actual de pastos y vegetales (representado por el maíz) se calcula en 18,462 ha y 3,141 ha en el sistema de la CAR respectivamente. El área de vegetales equivale a un 15% del área actualmente irrigada.

Bloque No.	Nombre del Bloque de Irrigación	Cultivos Cultivadas	Area Actual Irrigada (Total ha)
11	Suárez	Pastos	5,168
		Maíz	3,141
		Total	8,309

(3) Patrón de Cosechas

Los módulos para consumo de irrigación (Tablas C.1.1 a C.1.5) informan los patrones de cultivo en el área irrigada. La CAR estableció estos módulos para otorgar a los usuarios de agua el caudal necesario en forma técnica y adecuada. Los patrones de los cultivos más importantes son los siguientes:

Cultivos	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Pastos	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Maíz	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Nota) ■ : Mes en que se cultivó.

1.2.2 Sistema de Irrigación

Las características sobresalientes del actual Sistema de Irrigación de cada Bloque de Irrigación son las siguientes:

(1) Bloque de Irrigación de Suta

Los recursos de agua de este bloque son el Río Suta. El agua de irrigación se toma por gravedad en la parte alta de este bloque. Para este bloque no hay embalse ni compuerta.

(2) Cap-1 Bloque de Irrigación

Los recursos de agua de este bloque son el embalse de Hato y el Río Ubaté. El agua para irrigación de este bloque se toma como vertedero de entrada, Captación No.1.

(3) Bloque de Irrigación de Cucunubá

Los recursos de agua de este Bloque son las corrientes de entrada de la Laguna de Cucunubá. Está la compuerta de Cartagena y una (1) estación de bombeo en el punto de desagüe de este Bloque. La compuerta de Cartagena controla el nivel de agua de la laguna de Cucunubá, y la estación de bombeo regresa el agua residual superficial a la laguna de Cucunubá. Así, los recursos de agua son utilizados efectivamente en este Bloque.

(4) Bloque de Irrigación de Lenguazaque

Los recursos agua de este Bloque son del Río Lenguazaque. No hay embalse ni compuerta para este Bloque.

(5) Cap-2 Bloque de Irrigación

El recurso de agua de este Bloque es el embalse de Hato y las cuencas cercanas. El vertedero de entrada, Captación No.2, localiza la corriente de la Captación No.1. Debido a la insuficiente capacidad de los canales de irrigación en este Bloque, el agua de irrigación no puede cubrir toda el área. Se calcula que el área real irrigada es alrededor de 20% del área del Bloque (área total 316 ha).

(6) Bloque de Irrigación de Mariño

El recurso agua en este Bloque es el canal de Mariño. Este Bloque no utiliza el Río Ubaté. No hay embalse ni compuerta para este bloque.

(7) Bloque de Irrigación de Mariño-Ubaté

El recurso agua en este Bloque son del canal de Mariño y del Río Ubaté. No hay embalse ni compuerta para este Bloque.

(8) Bloque de Irrigación de Fúquene

El Bloque rodea la Laguna de Fúquene. El recurso agua en este bloque, es el caudal de las cuencas vecinas y la Laguna de Fúquene.

(9) Bloque de Irrigación de Honda

El recurso hídrico de este bloque es la Laguna de Fúquene y el Río Honda, No hay ni reservorio ni compuertas en este bloque.

(10) Bloque de Irrigación de Susa

El recurso agua en este Bloque es del Río Susa. No hay embalse ni compuerta para este Bloque.

(11) Bloque de Irrigación de Suárez

El recurso agua en este Bloque son del Río Suárez y de la Laguna de Fúquene. En el punto de salida de este bloque está la compuerta de Tolón. Controla el nivel de agua en la Laguna de Fúquene.

(12) Bloque de Simijaca

Este Bloque de Irrigación aún no está irrigado.

(13) Bloque de Irrigación del Viejo-Suárez

El recurso de agua en este Bloque es del Río Suárez y el caudal de cuencas vecinas. No hay embalse ni compuerta para este Bloque. Hay un sistema de tubería (=16" de diámetro) que conecta la compuerta de Tolón con este Bloque para suministrarle agua de irrigación. Sin embargo la tubería está obstruida.

(14) Bloque de Irrigación de Madrón

El recurso agua de este Bloque es el Río Madrón. No hay embalse ni compuertas para este Bloque.

(15) Bloque de Irrigación de Merchán

El recurso agua en este Bloque son las cuencas cercanas. Había una compuerta de Merchán en el Río Suárez. Sin embargo, esta compuerta fue destruida por las crecientes repentinas del Río Chiquinquirá desde hace diez (10) años. Por lo tanto de este Bloque no puede utilizar actualmente los ríos de Suárez y Chiquinquirá.

1.2.3 Requerimiento de Agua en Terrenos

Los requerimientos de agua a nivel de terreno se derivan de los módulos actuales de irrigación de la CAR (Tablas C.1.1 a C.1.5). Estos módulos de irrigación de la CAR se determinan por las cuencas (Fúquene, Susa, Simijaca, Chiquinquirá y Suárez). La siguiente tabla resume el requerimiento de agua a nivel de terreno en el área irrigada:

Bloque de Irrigación	Area Total (ha)	Módulo de Irrigación Adoptado			Req. Neto de Agua ('000m ³ /año)
		Nombre de la Cuenca	Cultivo	Requerimiento de Irrigación Neta (m ³ /ha/año)	
1. Suta	832	Fúquene	Pastos	3,898	3,243
2. Cap-1	634	Fúquene	Pastos	3,898	2,471
3. Cucunubá	1,892	Fúquene	Pastos	3,898	7,374
4. Lenguazaque	1,751	Fúquene	Pastos	3,898	6,825
5. Cap-2	1,582 (316)	Fúquene	Pastos	3,898	6,166 (1,232)
6. Mariño	700	Fúquene	Pastos	3,898	2,728
7. Mariño -Ubaté	387	Fúquene	Pastos	3,898	1,508
8. Fúquene	2,537	Fúquene	Pastos	3,898	9,889
9. Honda	509	Fúquene	Pastos	3,898	1,984
10. Susa	563	Susa	Pastos	3,044	1,714
11. Suárez	5,168	Suárez	Pastos	2,757	14,248
	1,149	Suárez	Maíz	1,389	1,595
	1,992	Simijaca	Maíz	1,788	3,561
Sub Total	8,309	--	--	--	19,404
12. Simijaca	0	Simijaca	Pastos	3,385	0
	0	Simijaca	Maíz	1,788	0
Sub Total	0	--	--	--	0
13. Viejo-Suárez	228	Suárez	Pastos	2,757	629
14. Madrón	1,359	Suárez	Pastos	2,757	3,747
15. Merchán	320	Suárez	Pastos	2,757	882
Total	21,603 (20,337)	--	--	--	68,564 (63,630)

1.2.4 Utilización del Agua Superficial

Al calcular el uso del agua superficial, es necesario entender el balance de agua en grandes áreas, además de los requerimientos de agua a nivel de terreno. El agua que se necesita a nivel de terreno para pastos, que es el requerimiento de irrigación neto del cultivo más importante del sistema de la CAR, se convierte en agua subterránea, la cual sube hacia estratos superiores (profundidad de alrededor 0.4 – 0.6 m) por una acción capilar (alrededor 0.6 – 1.0 m). Dicha agua subterránea consumida se une al agua superficial que fluye/almacenada en ríos y canales en el área irrigada. Siguiendo con esta idea, la demanda de agua de irrigación se evalúa como utilización de agua superficial.

En este Estudio, el uso de agua superficial se calcula utilizando la eficiencia de irrigación,

esta eficiencia de irrigación comprende la eficiencia de conducción, la eficiencia de canal de campo y la eficiencia de aplicación de campo. En el Estudio de estas eficiencias, los valores estándar se toman de la información existente autorizada (Series de irrigación de FAO y otras). El estudio de balance de agua bajo condiciones presentes toma las siguientes eficiencias de irrigación como la posible característica:

Bloque de Irrigación	Area Total (ha)	Fuente Principal de Agua	Ec	Eb	Ea	Ep
1. Suta	832	Río Suta	1.0	0.8	0.8	0.640
2. Cap-1	634	Presa el Hato	0.9	0.8	0.8	0.576
3. Cucunubá	1,892	Laguna de Cucunubá	1.0	1.0	0.8	0.800
4. Lenguazaque	1,751	Río Lenguazaque	1.0	0.8	0.8	0.640
5. Cap-2	1,582 (316)	Presa el Hato	0.9	0.8	0.8	0.576
6. Mariño	700	Canal de Mariño	1.0	0.8	0.8	0.640
7. Mariño –Ubaté	387	Canal de Mariño, Río Ubaté	1.0	0.8	0.8	0.640
8. Fúquene	2,537	Laguna de Fúquene	1.0	0.8	0.8	0.640
9. Honda	509	Río Honda	1.0	0.8	0.8	0.640
10. Susa	563	Río Susa	1.0	0.8	0.8	0.640
11. Suárez	8,309	Laguna de Fúquene, Río Susa	1.0	0.8	0.8	0.640
12. Simijaca	0	Río Simijaca	1.0	0.8	0.8	0.640
13. Viejo-Suárez	228	Corrientes	1.0	0.8	0.8	0.640
14. Madrón	1,359	Río Madrón	1.0	0.8	0.8	0.640
15. Merchán	320	Corrientes	1.0	0.8	0.8	0.640

Nota) Ec = Eficiencia de Conducción, Eb = Eficiencia del Canal de Campo, Ea = Aficiencia de la Aplicación de Campo, Ep = Eficiencia de Irrigación (=Ea.Eb.Ec)

La siguiente tabla muestra el uso de agua superficial del área irrigada:

Bloque de Irrigación	Area Total (ha)	Req. Neto de Agua ('000m ³ /año)	Ep	Req. del Total de Agua ('000m ³ /año)
1. Suta	832	3,243	0.640	5,067
2. Cap-1	634	2,471	0.576	4,290
3. Cucunubá	1,892	7,374	0.800	9,218
4. Lenguazaque	1,751	6,825	0.640	10,664
5. Cap-2*	1,582 (316)	6,166 (1,232)	0.576	10,705 (2,138)
6. Mariño	700	2,728	0.640	4,263
7. Mariño -Ubaté	387	1,508	0.640	2,357
8. Fúquene	2,537	9,889	0.640	15,451
9. Honda	509	1,984	0.640	3,100
10. Susa	563	1,714	0.640	2,678
11. Suárez	8,309	19,404	0.640	30,319
12. Simijaca	0	0	0.640	0
13. Viejo-Suárez	228	629	0.640	982
14. Madrón	1,359	3,747	0.640	5,854
15. Merchán	320	882	0.640	1,378
Total	21,603 (20,337)	68,564 (63,630) = 2.17 (2.02) m ³ /s		106,326 (97,759) = 3.37 (3.10) m ³ /s

Nota) (Requerimiento Total de Agua) = (Requerimiento Neto de Agua)/Ep.

*La cifra en paréntesis muestra el caso del área real irrigada.

1.3 Utilización del Agua para Ganadería

La CAR preparo módulos de consumo de agua para ganadería, de la siguiente manera:

Especies	Consumo (litros/por cabeza al día)
Bovino	25
Equino	20
Ovino	15
Porcino	10
Aves (100 unidades)	15

Fuente: Ref. 1)

Al multiplicar la cantidad actual de ganado por el modulo de consumo da como resultado el siguiente uso de agua para ganadería en el Area de Estudio:

Especies	Cantidad de Cabezas (1998)	Consumo (litros/por cabeza al día)	Demanda de Fuente (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)

En el sistema de la CAR se calculan, 50,000 cabezas de ganado bovino (2.7 cabezas por has de pasto). El ganado porcino y el ovino son insignificantes en el sistema.

1.4 Utilización del Agua Municipal

1.4.1 Fuente de Agua y Sistema de Tratamiento

Una parte pequeña del uso de agua industrial para la fabricación de productos lácteos y alguna parte del suministro de agua para zonas rurales proviene del agua subterránea. El uso de agua restante (doméstico, institucional y otro tipo de demanda de agua industrial) utilizan agua superficial de los ríos y corrientes en el Area de Estudio.

Para la fuente de agua superficial, los componentes dominantes del proceso de tratamiento son la sedimentación, floculación, filtración y clorinación. El agua subterránea para la fabricación de lácteos se utiliza sin tratamiento.

1.4.2 Uso del Agua

La Tabla C.1.6 muestra los resultados de la encuesta para los sistemas de suministro de agua en el área de estudio. Estos sistemas públicos de suministro de agua cubren el uso doméstico, comercial, institucional, de mataderos y una gran cantidad de fábricas de productos lácteos. Esto es debido a que el uso del agua comparte el mismo sistema de suministro en el municipio. De estos sistemas de suministro de agua, solo los de Ubaté y Chiquinquirá tienen relación directa con la CAR. También hay sistemas de acueductos rurales (acueductos veredales) en el área de estudio. Sin embargo, estos sistemas veredales no cubren la totalidad de la población rural.

Con base en este estudio, el volumen bruto de captación de agua es de 914,704 m³/mes en el área de estudio (11.0 millones m³/año).

(1) Demanda de Agua Doméstica

La siguiente tabla muestra los módulos para consumo doméstico preparados por la CAR:

Item	Consumo (litros/per capita al día)		
[Zona Urbana]			
Tamaño de la Población	Mínimo	Mediano	Máximo
<= 5,000	130	150	180
5,001 – 10,000	150	165	185
10,001 – 20,000	170	180	190
> 20,001	185	195	205
[Zona Rural]		125	

Fuente: Ref. 1)

De este módulo de la CAR, el consumo doméstico (nivel medio) varía entre 150 y 195 litros por habitante al día de acuerdo con el tamaño de la población. Las Tablas C.1.7 muestran un cálculo de la demanda de agua doméstica para el Area de Estudio. De esta tabla, el total de demanda del cliente da como resultado 27,000 m³/día (urbano 14,000 m³/día y rural 13,000 m³/día; público 15,000 m³/día y veredal 12,000 m³/día) en el Area de Estudio (9.9 millones m³/año).

(2) Demanda de Agua Institucional

La demanda de agua institucional del Area de Estudio se calcula en 10% de la demanda de agua doméstica. Esta cifra se calcula con base en los módulos para consumo institucional preparados por la CAR. Se calcula que el resultado de demanda de agua institucional en el Area de Estudio es de 2,700 m³/día.

(3) Demanda de Agua Industrial

Las industrias predominantes en el Area de Estudio son: Sacrificio de Ganado y fabricación de productos lácteos. La siguiente tabla muestra los módulos establecidos por la CAR para consumo industrial:

[Código C.I.I.U]	Tipo de Industria	Tipo de Planta	Unidad de Producción	Módulo (litros)
[3.1.1.1]	Sacrificio de Ganado (preparación y conservación)	Mataderos	por bovino	500
			por porcino	250
			por ovino o caprice	200
			por ave	30
			Fabricas de Empaque	por tonelada de animal vivo
[3.1.1.2]	Fabricación de Productos Lácteos	Estación de Recolección de Leche	por tonelada de leche	1,500
		Producción de Leche Pasteurizada	por tonelada de leche	2,000
		Producción de Queso	por tonelada de queso	15,000
		Producción de Mantequilla	por tonelada de mantequilla	20,000

Fuente: Ref. 1)

Utilizando los módulos de la CAR la demanda actual de agua para sacrificio de animales y fabricación de productos lácteos es calculada en 250 m³/semana (público) y 2,600 m³/día (público 2,200 m³/día y veredal 400 m³/día) respectivamente (las Tablas C.2.2 y C.2.3).

(4) Proporción de Demanda de Fuente por Demanda de Cliente

El radio de demanda de fuente (demanda de agua abstraída en los puntos de entrada del río) por demanda de cliente del Area de Estudio se calcula como se muestra a continuación. La figura resultante 1.6 es un poco más alta comparada con la de los valores estándares de la CAR (1.2).

Item	Cantidad ('000 m ³ /año)
Demanda de Fuente	914,704 m ³ /mesx 12 meses= 10,976
Demanda de Cliente	
Doméstico	15,000 m ³ /díax 365.25 día= 5,479
Institucional	10% del Doméstico 548
Industrial (sacrificio de animales)	250 m ³ /semanax 52 semanas= 13
Industrial (productos lácteos)	2,200 m ³ /díax 365.25 día= 804
Sub Total	6,844
Proporción	10,976/ 6,844 = 1.6

CAPITULO II USO DEL AGUA PROYECTADO

2.1 Uso del Agua para Irrigación

Al multiplicar el área de irrigación proyectada por la CAR y el módulo de consumo para irrigación se obtiene el uso futuro de agua para irrigación (Tablas C.1.1 a C.1.5).

2.1.1 Area Irrigada y Cosechas más Importantes

(1) Area Irrigada

Al juzgar por la información de la CAR (“*Predial Actualizado A Diciembre 31/92, Contrato 086/92*”), la CAR tiene la intención de extender el área del sistema existente hacia áreas planas cercanas. Por lo tanto, el área futura irrigada del sistema de la CAR se calcula sumando estas áreas de extensión por las áreas actualmente irrigadas. El área total irrigada de cada área de extensión se determina a través de la medida de área de los mapas catastrales actuales ($s=1/10,000$). Las áreas futuras irrigadas se muestran a continuación (el área total irrigada es 24,849 ha).

Bloque No.	Nombre del Bloque de Irrigación	Area Total Irrigada Actualmente (ha)	Area Total de Extensión (ha)	Area Futura Total Irrigada (ha)
1	Suta	832	101	933
2	Cap-1	634	731	1,365
3	Cucunubá	1,892	0	1,892
4	Lenguazaque	1,751	902	2,653
5	Cap-2	1,582	0	1,582
6	Mariño	700	0	700
7	Mariño-Ubaté	387	0	387
8	Fúquene	2,537	0	2,537
9	Honda	509	349	858
10	Susa	563	426	989
11	Suárez	8,309	0	8,309
12	Simijaca	0	417	417
13	Viejo-Suárez	228	0	228
14	Madrón	1,359	0	1,359
15	Marchán	320	320	640
	Total	21,603	3,246	24,849

Se espera que la extensión anterior (3,246 ha, 15% más del área actual) será ejecutada por lo menos hasta el 2.010. Para ejecutar esta extensión de área, es necesaria la construcción /rehabilitación de canales, compuertas etc.

(2) Mayores Cultivos

Basados en la encuesta oral sobre mayores cultivos actuales, los vegetales se cultivan sólo en el municipio de Simijaca a una escala no muy significativa. Esta situación continuará hasta el 2.010. Los bloques de irrigaciones relacionados con el municipio de Simijaca son los No.11 y No.12. En los otros Bloques, sólo se tienen en cuenta los pastos. La siguiente tabla muestra las áreas futuras cultivadas, con los cultivos más importantes en los Bloques No.11 y No.12.

El área futura de pastos y vegetales (representados por el Maíz) se calcula en 21,625 has y 3,224 has (3,141+83), respectivamente. El área de vegetales es equivalente al 13% de áreas futuras irrigadas.

Bloque No.	Nombre del Bloque de Irrigación	Cultivos Cultivadas	Area Futura Irrigada (total de ha)
11	Suárez	Pastos	5,168
		Maíz	3,141
		Total	8,309
12	Simijaca	Pastos	334
		Maíz	83
		Total	417

2.1.2 Utilización del Agua Superficial

El requerimiento de agua en el futuro para las tierras es calculado de la siguiente forma:

Bloque de Irrigación	Area Bruta (ha)	Modulo de Irrigación Adoptado		Necesidad de Irrigación Neta (m ³ /ha/año)	Necesidad Neta. ('000m ³ /año)
		Nombre de la Cuenca	Cultivo		
Suta. Actual	832	Fúquene	Pastos	3,898	3,243
Suta. Extensión	101	Fúquene	Pastos	3,898	394
Cap-1. Actual	634	Fúquene	Pastos	3,898	2,471
Cap-1. Extensión	731	Fúquene	Pastos	3,898	2,849
Cucunubá. Actual	1,892	Fúquene	Pastos	3,898	7,374
Lenguazaque. Actual	1,751	Fúquene	Pastos	3,898	6,825
Lenguazaque. Extensión	902	Fúquene	Pastos	3,898	3,516
Cap-2. Actual	1,582	Fúquene	Pastos	3,898	6,166
Mariño. Actual	700	Fúquene	Pastos	3,898	2,728
Mariño -Ubaté. Actual	387	Fúquene	Pastos	3,898	1,508
Fúquene. Actual	2,537	Fúquene	Pastos	3,898	9,889
Honda. Actual	509	Fúquene	Pastos	3,898	1,984
Honda. Extensión	349	Fúquene	Pastos	3,898	1,360
Susa. Actual	563	Susa	Pastos	3,044	1,714
Susa. Extensión	426	Susa	Pastos	3,044	1,297
Suárez. Actual	5,168	Suárez	Pastos	2,757	14,248
	1,149	Suárez	Maiz	1,389	1,595
	1,992	Simijaca	Maiz	1,788	3,561
Sub Total	8,309	--	--	--	19,404
Simijaca. Extensión	334	Simijaca	Pastos	3,385	1,131
	83	Simijaca	Maiz	1,788	148
Sub Total	417	--	--	--	1,279
Viejo-Suárez. Actual	228	Suárez	Pastos	2,757	629
Madrón. Actual	1,359	Suárez	Pastos	2,757	3,747
Merchán. Actual	320	Suárez	Pastos	2,757	882
Merchán. Extensión	320	Suárez	Pastos	2,757	882
Total	24,849	--	--	--	80,141

Usando la misma idea que en las condiciones actuales, el uso de agua superficial futura se estima en 125.5 millones de m³ (3.98 m³/s) como abajo. Comparando las cifras de la condición actual (106.3 millones m³, 3.37 m³/s), el requerimiento de agua bruto se incrementará en el 18%.

Bloque de Irrigación	Area Bruta (ha)		Req. de Agua Neto. (‘000m ³ /año)		Ep	Req. de Agua Bruto (‘000m ³ /año)	
Suta.Actual*	832	(1,176)	3,243	(4,584)	0.576	5,630	(7,958)
Suta. Extensión*	101		394		0.576	683	
Cap-1. Acrual	634		2,471		0.576	4,290	
Cap-1. Extensión	731		2,849		0.576	4,947	
Cucunubá. Actual	1,892		7,374		0.800	9,218	
Lenguazaque. Actual	1,751	(1,407)	6,825	(5,484)	0.640	10,664	(8,569)
Lenguazaque. Extensión	902		3,516		0.640	5,493	
Cap-2. Actual	1,582		6,166		0.576	10,705	
Mariño. Actual	700		2,728		0.640	4,263	
Mariño –Ubaté. Actual	387		1,508		0.640	2,357	
Fúquene Actual	2,537		9,889		0.640	15,451	
Honda. Actual	509		1,984		0.640	3,100	
Honda. Extensión	349		1,360		0.640	2,125	
Susa. Actual	563		1,714		0.640	2,678	
Susa. Extensión	426		1,297		0.640	2,026	
Suárez. Actual	8,309		19,404		0.640	30,319	
Simijaca. Extensión	417		1,279		0.640	1,998	
Old-Suárez. Actual	228		629		0.640	982	
Madrón. Actual	1,359		3,747		0.640	5,854	
Merchán. Actual	320		882		0.640	1,379	
Merchán. Extensión	320		882		0.640	1,379	
Total	24,849		80,141 = 2.54 m ³ /s			125,541 (125,774) = 3.98 m ³ /s (3.99 m ³ /s)	

*) El Embalse del Hato asistirá estos bloques en el futuro.

1. Cifras en paréntesis: caso de transferencia de 344 ha del Lenguazaque. Actual a Suta. Actual.

2.2 Utilización del Agua para Ganadería

Al multiplicar el número proyectado de ganado por el módulo de consumo de ganado, los resultados antes mencionados de uso de agua para ganadería en el futuro en el Area de Estudio son:

Especies	Número Proyectado de Cabezas (2010)	Consumo (litros/por cabeza al día)	Demanda de Fuente (m ³ /día)
Bovino	195,324	25	4,883
Porcino	29,562	10	296
Ovino	69,360	15	1,040
Total	294,246	--	6,219 (0.07 m ³ /s)

2.3 Utilización del Agua Municipal

El uso de agua municipal en el futuro se calcula basados en el módulo de la CAR antes mencionado.

(1) Demanda de Agua Doméstica

La Tabla C.2.1 muestra la proyección de la demanda de agua doméstica del Area de Estudio. De esta tabla, la demanda total del cliente resulta en 31,000 m³/día (urbano 17,000 m³/día y rural 14,000 m³/día; público 19,000 m³/día y veredal 12,000 m³/día) en el Area de Estudio (11.3 millones m³/año). Basados en este resultado, la demanda de agua doméstica aumentará en 15%.

(2) Demanda de Agua Institucional

Se calcula que la demanda futura de agua institucional del Area de Estudio será 10% de la demanda de agua doméstica. Esta cifra se calcula basados en el módulo de consumo institucional preparado por la CAR. Como resultado, se calcula que la demanda de agua institucional proyectada será de 3,100 m³/día.

(3) Demanda de Agua Industrial

Utilizando el módulo de la CAR, las demandas futuras de agua para sacrificio de animales y para fabricación de productos lácteos están proyectadas en 300 m³/semana (público) y 2,700 m³/día (público 2,300 m³/día y veredal 400 m³/día), respectivamente (Tablas C.2.2 y C.2.3).

(4) Demanda de Fuente

La demanda de fuente del sistema de suministro de agua pública se calcula por el siguiente método:

$$S.D. (\text{demanda de fuente}) = C.D. (\text{demanda del cliente}) \times (R)$$

En cuanto a (R), el valor 1.2 es el valor norma de la CAR. Este valor incluye uso del agua para la plante de tratamiento y agua-incalculable. Como se describió anteriormente, este valor es 1.6 en la actualidad. En este estudio, se adopta $R = 1.2$ en la proyección futura.

CAPITULO III SIMULACION EN CONDICIONES ACTUALES

3.1 Almacenamiento del Agua y Sistema de Bocatoma del Agua

Las características sobresalientes del mayor almacenamiento de agua y sistema de bocatoma del sistema de la CAR son las siguientes:

Nombre del Sistema	Descripción
Embalse del Hato	<ul style="list-style-type: none"> • Almacenamiento de agua para irrigación en la cuenca del Río Ubaté y suministro de agua municipal para Ubaté. • Control de inundación para la Laguna de Fúquene. • Embalse con pared central de roca (Alto de la presa 33 m) finalizado en 1992. • Curva Area-Capacidad (Fig. C.3.1), - H.H.W.L. 2847.29 m: Area 0.96 km², Volumen 14.4 millones m³ - N.H.W.L. 2842.70 m: Area 0.76 km², Volumen 9.7 millones m³ - L.W.L. 2828.00 m: Area 0.33 km², Volumen 2.0 millones m³
Laguna de Palacio	<ul style="list-style-type: none"> • Anillo perimetral funcionando como sistema de toma de agua. - W.L. 2544 m: Area 0.4 km², Volumen 290x10³ m³ - W.L. 2542.5 m: Area 0 km², Volumen 0 m³
Laguna de Cucunubá	<ul style="list-style-type: none"> • Almacenamiento de agua para el bloque de irrigación de Cucunubá. • Curva Area-Capacidad, 1984 (Fig. C.3.1), - W.L. 2544 m: Area 2.5 km², Volumen 6.8 millones m³ - W.L. 2539 m: Area 0 km², Volumen 0 millones m³
Laguna de Fúquene	<ul style="list-style-type: none"> • Almacenamiento de agua para irrigación y suministro de agua municipal para Chiquinquirá. • Curva Area-Capacidad, 1984 (Fig. C.3.1), - W.L. 2540.0 m: Area 32.6 km², Volumen 82.5 millones m³ - W.L. 2532.5 m: Area 0 km², Volumen 0 millones m³
Compuertas de Cartagena	<ul style="list-style-type: none"> • Compuerta de control para la Laguna de Cucunubá. • Compuertas deslizantes - Base de las compuertas El. 2542.90 m - Altura de las compuertas 1.74 m
Compuertas del Cubio	<ul style="list-style-type: none"> • Compuertas de control para la Laguna de Cucunubá. • Compuertas deslizantes - Base de las compuertas El. 2540.90 m - Altura de las compuertas 2.53 m
Compuertas de Tolón	<ul style="list-style-type: none"> • Compuertas de control para la Laguna de Fúquene y la estación de bombeo de Chiquinquirá. • Compuertas deslizantes - Base de las compuertas El. 2537.39 - Altura de las compuertas 2.52 m
Compuertas de Merchán	<ul style="list-style-type: none"> • Destruídas por una avenida desde el Río Chiquinquirá alrededor de 1990.

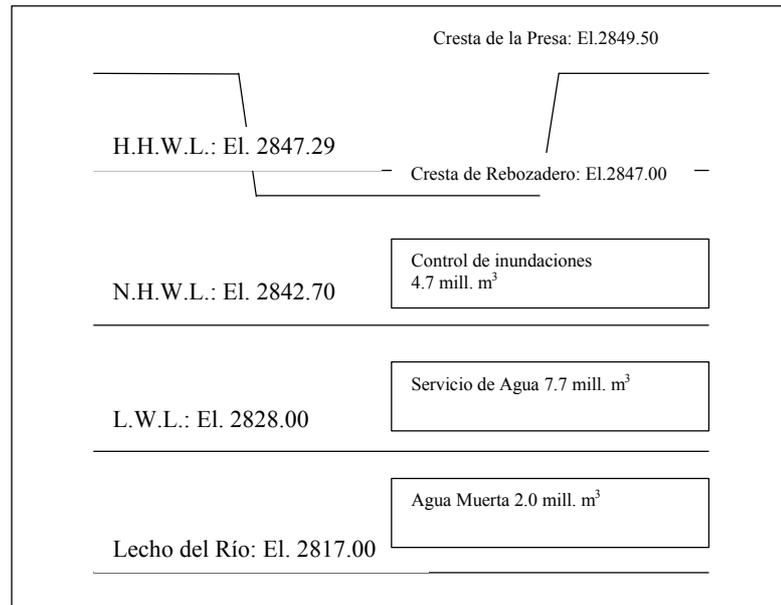
Note) H.H.W.L.: Nivel de agua más alto
 N.H.W.L.: Nivel de agua normal
 L.W.L.: Nivel de agua bajo

3.2 Reglas Actuales de Operación de Embalses y Compuertas

Las reglas de operación existentes de los embalses y compuertas son las siguientes:

(1) Embalse

El perfil siguiente muestra el concepto de operación del embalse de Hato. El embalse de Hato no experimentó su H.H.W.L. desde su construcción. El nivel de agua del embalse baja durante la temporada seca, y aumenta durante la temporada de lluvias. Cuando el nivel de agua excede N.H.W.L (El. 2842.7 m), la válvula de salida de la represa se abre para disminuir su nivel de agua.



Nota) H.H.W.L.: Altura máxima del nivel de agua
N.H.W.L.: Altura normal del nivel de agua
L.W.L.: Nivel de agua bajo

El agua almacenada en el embalse es soltada dependiendo de la solicitud del usuario. esta descarga es usualmente de 500 a 600 litro/s. Durante los períodos de sequías severas, se sueltan 800 litro/s. Como operación típica de la válvula de descarga de la represa de Hato, ésta se cierra durante abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre.

(2) Compuertas

La siguiente tabla muestra el concepto básico de las reglas actuales de operación de compuertas:

Compuertas	Regla de Operación		Comentarios
	Temporada de Lluvias	Temporada Seca	
Cartagena	Cerrada	Abierta	• El flujo de agua de la Laguna de Cucunubá hacia la Laguna de Palacio es escaso.
Cubio	Abierta	Cerrada	• Cuando la compuerta de Cartagena está cerrada, la compuerta de Cubio debe estar abierta y vice versa.
Tolón	Abierta	Cerrada	• Si la compuerta de Merchán existe, esta compuerta mantiene el nivel alto de agua de la compuerta de Merchán durante la temporada seca
Merchán	Abierta	Cerrada	• Esta era la regla de operación cuando esta compuerta existía

Los detalles de la regla de operación actual de cada compuerta son descritos a continuación:

(a) Compuerta de Cartagena

Las elevaciones máxima y mínima de esta compuerta son El.2544.64 m y El.2542.90 m respectivamente.

Durante la temporada de lluvias, la compuerta de Cartagena está cerrada y la de Cubio está abierta. Usualmente, esta operación se realiza de marzo a mayo y de agosto a octubre. Como la compuerta de Cartagena está cerrada durante la temporada de lluvias, el flujo de agua de los Ríos Lenguazaque y Ubaté no pueden entrar a la Laguna de Cucunubá. Cuando el nivel de agua de la Laguna de Cucunubá aumenta a más de El.2542.90 m y el nivel de agua de la compuerta de Cartagena (del lado de la compuerta de Cubio) es más bajo que el de la Laguna de Cucunubá, entonces se abre la compuerta de Cartagena.

Durante la temporada seca se abre la compuerta de Cartagena y se cierra la de Cubio. Con esta operación, sólo los flujos de los ríos de Lenguazaque y Ubaté entran a la Laguna de Cucunubá. Este cambio de flujo hacia la Laguna de Cucunubá usualmente ocurre durante junio, julio, febrero y enero (no es frecuente).

(b) Compuerta de Cubio

Las elevaciones máxima y mínima de esta compuerta son El.2543.43 m y El.2540.90 m respectivamente.

Durante la temporada de lluvias se abre la compuerta de Cubio. Esta operación se realiza de acuerdo con el nivel máximo de esta compuerta (usualmente no está totalmente abierta).

Por otro lado, durante la temporada seca, la compuerta de Cubio está cerrada y el nivel de agua se mantiene en 2.5 m. Esta cifra es la lectura de la escala hidrométrica instalada en la compuerta de Cubio. Sin embargo, esta cifra no está relacionada con la elevación.

(c) Compuerta de Tolón

Las elevaciones máxima y mínima de esta compuerta son El.2539.91 m y El.2537.39 m respectivamente.

Cuando el nivel de agua máximo de la compuerta de Tolón gate aumenta a El.2539.4, la compuerta de Tolón comienza a abrirse. Por otro lado, cuando este nivel de agua disminuye a El.2539.0, la compuerta de Tolón comienza a cerrarse. En una operación práctica, el nivel de agua corriente arriba, más bajo, permitido es El.2538.7 m, porque menos de esta cifra causa problemas en el bombeo para el suministro de agua municipal de Chiquinquirá. La lectura de la escala hidrométrica en la compuerta de Tolón es igual a la elevación.

En operación típica, la compuerta de Tolón está cerrada de junio a septiembre, y de la segunda mitad de diciembre a febrero.

3.3 Construcción del Modelo de Simulación de Balance del Agua

La Figure C.3.2 muestra el modelo de simulación de balance de agua del sistema de la CAR. Basados en el modelo esquemático, se construye un modelo matemático como se describe a continuación:

(1) Período de Simulación

20 años pueden ser aceptables como el período de cálculo. Los periodos unitarios del calculo son cinco (5) días para la temporada seca y un (1) día para la temporada de lluvias en principio.

(2) Bloque de Irrigación

La ecuación básica de balance de agua de cada bloque de Irrigación (incluyendo usos de agua para ganadería y agua municipal) es el siguiente:

$$\underline{\text{Déficit}} = (\text{Demanda} - (\text{Escorrentía del río}) - (\text{Descarga residual de la cuenca})) \quad 0.0$$

$$\underline{\text{Excedente}} = ((\text{Escorrentía del río}) + (\text{Descarga residual de la cuenca}) - \text{Demanda}) \quad 0.0$$

(3) Embalse el Hato

El embalse del Hato es multipropósito, teniendo funciones de control de inundación y suministro de agua. Cuando su nivel de agua alcanza los N.H.W.L. (El. 2842.7 m), CAR controla este nivel mediante la operación de una válvula. La válvula en el modelo tiene la siguiente capacidad:

Nivel de Agua (base=2800 m.s.n.m)	42.7	42.8	42.9	43.0	43.1	43.2	43.3	43.4	43.5	43.6	43.7
Descarga (m ³ /seg)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0

El modelo tiene en cuenta la evaporación de la superficie del embalse en el cálculo del nivel de agua. La siguiente tabla muestra las tasas de evaporación:

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Eva. (mm/día)	2.1	2.1	2.0	1.7	1.6	1.7	1.6	1.9	1.9	1.8	1.7	1.8

(4) Laguna de Cucunubá

El modelo tiene en cuenta la siguiente evaporación de la superficie de agua de la laguna:

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Eva. (mm/day)	2.0	2.1	2.0	1.8	1.6	1.4	1.6	1.6	1.7	1.6	1.5	1.7

(5) Compuerta de Cartagena

Esta compuerta está cerrada de marzo a mayo y de agosto a octubre. Cuando el nivel de agua de la Laguna de Cucunubá excede El.2544.0 m, el volumen correspondiente a lo excedido se descarga a la compuerta de Cubio.

(6) Compuerta de Cubio

Solamente hay descarga de inundación a la Laguna de Cucunubá cuando las compuertas del Cubio están cerradas. Estas compuertas mantienen arriba el nivel de agua. Por tanto, se introduce el parámetro (Qcc) en el modelo. La ecuación básica de estas compuertas es:

$$\text{Influyente a la laguna de Cucunubá} = Q_{cc} \text{ (designado como } 1.0 \text{ m}^3/\text{s})$$

$$\text{Descarga en las compuertas del Cubio} = (\text{Ubaté, Suta y Río Lenguazaque}) - Q_{cc} \\ 0.0$$

(7) Laguna de Fúquene

El modelo adopta la siguiente ecuación de balance de agua de la laguna:

$$S_w = (D_{wi} - D_{wo}) + P_w - E_w$$

Donde,

S_w = cambio del volumen de agua almacenado.

D_{wi} = entrada hacia la laguna

D_{wo} = desagüe de la laguna

La siguiente tabla muestra la capacidad actual de salida de la laguna cuando las compuertas de Tolón están abiertas, la cual proviene del cálculo de flujo No-uniforme del Río Suárez:

Nivel de Agua (base = 2500 m.s.n.m)	37.5	38.7	39.1	39.3	39.6	39.9	40.2
Descarga (m ³ /seg)	0.0	2.7	5.7	8.4	11.1	13.9	16.8

P_w = precipitaciones en la superficie de agua,

E_w = evaporación de la superficie de agua; la siguiente tabla indica los valores:

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Eva. (mm/día)	2.4	2.5	2.3	1.9	1.9	2.0	2.2	2.1	2.2	1.9	1.9	2.1

(8) Compuerta de Tolón

En este modelo, esta compuerta es operada de acuerdo con su nivel de agua corriente arriba de la siguiente manera:

Nivel de Agua (El. m)	Operación
Mayor a 2539.4	Abierta
2539.0 – 2539.4	Operación Parcial
Menor a 2539.0	Cerrada

En el estudio de la regla óptima de operación, sin embargo, las compuertas de Tolón se opan de acuerdo con el nivel de agua de la laguna de Fúquene.

Cuando Tolón están abierto, la descarga pasante se convierte a nivel de agua de acuerdo con la siguiente curva de proporcional. Esta curva surge del estudio hidráulico del Río Suárez y las compuertas de Tolón:

Nivel de Agua (base=2500 m.s.n.m)	37.4	38.0	38.5	39.0	39.5	40.0
Descarga (m ³ /seg)	0.0	0.2	1.2	7.0	17.5	31.0

(9) Caudal de Retorno

En la simulación, se asume el Caudal de Retorno . La fuente del Caudal de Retorno es la pérdida de irrigación. La eficiencia de irrigación (E_p) se estudia en la Sección 1.2.4, y su valor varía entre 0.576 – 0.80 por bloque de Irrigación. Esto quiere decir que hay pérdida de irrigación, y parte de esta pérdida es asumida para regresar a la corriente abajo. Los detalles del Caudal de Retorno son los siguientes:

(a) Volumen del Caudal de Retorno

Se asume que el volumen del Caudal de Retorno es cero (0) con $E_p = 0.8$. entonces, se asume que 10% de la diferencia entre (pérdida con $E_p < 0.8$) y (pérdida con $E_p = 0.8$) es el volumen del Caudal de Retorno. El Caudal de Retorno no se origina de la parte de déficit. El volumen del Caudal de Retorno se expresa de la siguiente manera:

$$(\text{Caudal de retorno}) = ((\text{Requerimiento total de agua}) - (\text{Déficit})) \times (1.0 - 1.25E_p) \times 0.1$$

(b) Lugar donde se reúne el Caudal de Retorno

Se asume que el Caudal de Retorno se reúne en lagunas o ríos que están localizados corriente abajo de cada Bloque de Irrigación.

(c) Tiempo del Caudal de Retorno

El Caudal de Retorno se origina en el período de cálculo (t_i) y se asume que se convierte en agua superficial en el siguiente período (t_{i+1}).

(10) Adecuación del Modelo

La adecuación del modelo se juzga basados en el nivel de agua de la laguna de Fúquene. La figura C.3.3 muestra los resultados de la comparación de los niveles de agua calculados y observados durante el periodo 1992 – 1997, después de la terminación del Embalse del Hato. El nivel de agua simulado de la Laguna de Fúquene se considera aceptable teniendo en cuenta la limitación de este modelo de simulación.

3.4 Análisis del Balance del Agua

La Tabla C.3.1 muestra el resultado del análisis de balance de agua en las condiciones actuales (20 años, 1978 – 1997). En este cálculo, la demanda de agua es considerada como el área total de irrigación de 20,337 ha (se adopta el área de irrigación real para el bloque Cap-2), 50,000 cabezas de bovinos y uso del agua municipal (Ubaté 196,992 m³/mes= 0.076 m³/s y Chiquinquirá 518,400 m³/mes= 0.2 m³/s basados en la encuesta).

Basados en el resultado de este análisis, la situación de balance de agua del sistema de la CAR es el siguiente:

- Existe déficit de agua en los bloques para los cuales no se suministra agua para irrigación suplementaria desde el embalse o la laguna, etc. Esto es debido a que las descargas naturales durante el periodo seco llegan a ser despreciables. Los bloques con tendencia a sequía son Suta, Lenguazaque, Mariño, Susa, Viejo-Suárez, Madrón y Merchán.
- Entre estos bloques, los de mayor tendencia a la sequía son Mariño, Viejo-Suárez, Suta y Madrón. Bajo condiciones promedio, la cantidad de déficit alcanza los 2,000 –5,000 m³/ha en estos bloques. Comparando estas cifras con sus demandas de irrigación, la proporción de déficit a su demanda se estima en más del 30%. En los otros bloques con tendencia a sequía, esta proporción llega a ser de menos del 30%.

- Con periodos de retorno de 5-años, hay déficit de agua en más del 50% en los bloques críticos y en el bloque de Merchán. Con periodos de retorno de 20-años, el déficit alcanza más del 50% de la demanda en los bloques con tendencia a sequía excepto para el bloque de Lenguazaque.
- Por otro lado, los bloques Cap-1, Cap-2, Cucunubá, Mariño-Ubaté, Fúquene, Honda y Suárez disfrutan de recursos hídricos (Embalse del Hato, Las lagunas de Cucunubá y Fúquene, el Río Ubaté y el Río Suárez), y no tienen déficit.

3.5 Regla de Operación Óptima

Para operar el sistema CAR racionalmente, se estudia de aquí en adelante la regla de operación óptima. Este estudio se lleva a cabo bajo las condiciones actuales del sistema enfocado en el embalse del Hato y la Laguna de Fúquene. El uso hídrico actual de la Laguna de Cucunubá es eficiente.

3.5.1 Embalse del Hato

Uno de los propósitos del embalse de Hato es el de suministrar irrigación y agua municipal. El otro es la mitigación de inundaciones de la Laguna de Fúquene. Para llevar a cabo estos propósitos, se espera que este embalse almacene el caudal durante la temporada de lluvias y utilice este caudal almacenado durante la temporada seca lo más que se pueda. Este es el concepto básico de la optimización de la regla de operación de la represa de Hato. La Fig. C.3.4 son los niveles de agua observados y simulados del embalse de Hato bajo condiciones actuales.

(1) Suministro de Agua

(a) Regla de Suministro

La optimización de suministro de agua quiere decir liberar agua sin déficit ni excedente en la demanda. Pero la demanda de irrigación de agua varía con las condiciones hidrológicas y meteorológicas. Sin embargo, el volumen de liberación de agua necesario (sin déficit ni excedente) prácticamente puede ser calculado para 20 años (Tabla C.3.2). El método más proporcional para establecer la regla de suministro de agua es el de utilizar esta información

Si el volumen de agua liberado en un período específico es determinado como el volumen más grande en 20 años, esta agua liberada sirve para soportar condiciones de sequías severas, y esta probabilidad se evalúa con un período de retorno de 20-años (probabilidad de excedente).

Considerando las características mostradas en la Tabla C.3.2 y la operación actual del embalse, se adopta en la regla propuesta una liberación constante con aproximadamente 100% .

Basándose en el enfoque de arriba, las descargas de provisión de agua con período de retorno de 5, 10 y 20 años están determinados así:

(unidad: superior litro/s, inferior '000 m³/month)

Período de Retorno	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1/20	400	400	400	0	400	400	400	400	0	0	0	400
	1,000	1,000	1,000	0	1,000	1,000	1,000	1,000	0	0	0	1,000
1/10	200	200	200	0	200	200	200	200	0	0	0	200
	500	500	500	0	500	500	500	500	0	0	0	500
1/5	100	100	100	0	100	100	100	100	0	0	0	100
	250	250	250	0	250	250	250	250	0	0	0	250

La siguiente tabla muestra la proporción del déficit total de agua al requerimiento de agua de irrigación bruta (bloques Cap-1 y Cap-2), y la proporción del periodo total de déficit de agua al periodo total de irrigación (excluidos abril, octubre y noviembre) en 20 años. Basados en estos resultados, el suministro de agua con periodos de retorno de 5 años se considera sin problemas.

Proporción	Periodo de Retorno (año)	
	1/5	1/10
Volumen del Déficit de Agua	Menor al 1 %	Menor al 1 %
Periodo de Déficit de Agua	Menor al 1 %	Menor al 1 %

(b) Regla de Reducción del Suministro

Cuando el nivel de agua del embalse se sospeche que baje hasta L.W.L., se hace necesario regular el suministro de agua y el uso. Bajo las condiciones actuales, el nivel de agua del embalse no caería a L.W.L. Esta regla se estudia para condiciones futuras.

(2) Regla de Inundación

La regla de inundación se estudia bajo la regla de suministro óptimo arriba mencionada. La regla de inundación se diseña con el concepto que el nivel de agua de inundación alcance los 2847.0 m (elevación de la cresta del rebosadero) en el embalse cada 20 años. El rebosadero de la presa está diseñado con MPF (Máxima Avenida Probable). Por tanto, el embalse es aún seguro con esta situación. Después de ensayo y error, la regla de inundación del embalse se determina como sigue:

Nivel de Agua (base=2800 m. s. n. m)	42.7	42.8	42.9	43.0	43.1	43.2	43.3	43.4	43.5	43.6	43.7
Óptimo (m ³ /sec)	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 /sec)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0

La Fig. C.3.5 muestra el nivel de agua calculado del embalse. El nivel de agua alcanzó los 2847.0 m en Octubre de 1979. La magnitud de esta avenida se estima con un periodo de retorno de 100 años.

3.5.2 Laguna de Fúquene

La regla de operación óptima de la Laguna de Fúquene se estudia bajo la regla de operación optimizada del embalse de Hato anes mencionada.

La optimización de la operación en la Laguna de Fúquene pretende mantener el nivel de agua de la laguna alto para poder mejorar el medio ambiente de la laguna, y para mitigar los daños por inundaciones alrededor de la laguna. Este es el concepto básico de la optimización de operaciones en la Laguna de Fúquene.

Para mantener el nivel de agua alto y para mitigar los daños por inundaciones, se comparan los puntos de vista en términos de evaluación del nivel alto de agua de la laguna de Fúquene. Por otro lado, el nivel bajo de la laguna también es importante en su operación. Por lo tanto, una regla de operación debe ser evaluada utilizando los niveles de agua alto y bajo de la laguna al mismo tiempo.

(1) Condiciones de Optimización

(a) Control del Nivel de Agua

En la actualidad la Laguna de Fúquene se controla por las compuertas de Tolón basados en el nivel de agua en las compuertas. El lago y las compuertas están conectados por el Río Suárez (longitud 17.5 km) y, cuando las compuertas se abren, existe una diferencia del nivel de agua entre la laguna y las compuertas. Este sistema de operación es complicado hidráulicamente. Por tanto, en este estudio, se adopta el nivel de agua de la Laguna de Fúquene como el nivel de control.

La inundación alrededor de la laguna de Fúquene ocurre de W.L. 2539.75 m. En este Estudio, W.L. 2539.5 m está diseñado para un período de retorno de 2 años con probabilidad de excederse en términos de nivel de agua máximo anual. En relación con la siguiente tabla, la probabilidad 1/2 de un nivel de agua máximo anual fue El. 2539.64 m en el pasado.

Probabilidad de Nivel de Agua Registrado en la Laguna de Fúquene	
Máximo Anual Probable W.L. (El. m)	
1/2	2539.64
1/5	2539.95
1/10	2540.15
1/20	2540.35
Mínimo Anual Probable W.L. (El. m)	
1/2	2538.55
1/5	2538.39
1/10	2538.32
1/20	2538.27
Distribución (Modo)	2539.1-2539.2 (16 %)

(b) Casos de Optimización

La optimización de operación de la laguna se estudia en cuatro (4) casos con base en la condición del Río Suárez, de la siguiente manera (para detalles hidráulicos vea el Apéndice B):

- (Caso-1) Condición actual,
- (Caso-2) Disminución del coeficiente de agitación (0.036 a 0.025) con remoción de plantas acuáticas,
- (Caso-3) Dragado del lecho del río (0.5 m de profundidad del lecho del río actual), y
- (Caso-4) Combinación del Caso 2 y del Caso 3.

La capacidad de descarga correspondiente de la Laguna de Fúquene hacia el Río Suárez se prepara para cada caso respectivamente.

(c) Patrón Básico para la Regla de Operación

En condiciones actuales, las compuertas de Tolón están usualmente cerradas de junio a septiembre y de la segunda mitad de diciembre a febrero (operación en periodo seco). Por otro lado, las compuertas usualmente están abiertas de marzo a mayo y de octubre a la segunda mitad de diciembre (operación en periodo lluvioso).

En este estudio, en relación con el patrón anual antes mencionado, los periodos de junio a septiembre y de diciembre a febrero están descritos como el periodo de operación de la temporada seca. Los otros meses se describirán como el periodo de operación en periodo lluvioso.

(2) Simulación de Optimización

(a) Método de Optimización

La optimización se lleva a cabo usando el modelo de simulación. El método de optimización es como sigue:

- (i) El nivel de agua de la Laguna de Fúquene se determina por la combinación de los niveles de operación durante los periodos seco y lluvioso.
- (ii) Las compuertas de Tolón se abren cuando el nivel de agua de la Laguna es más alto que los niveles de operación y estas se cierran cuando el nivel de agua es más bajo que los mismos.
- (iii) El nivel de agua de la Laguna se simula para 20 años para varias combinaciones de los niveles de agua de operación (para cada caso simulado, se calculan los niveles de agua máximos y mínimos anuales probables y la distribución de nivel de agua, usando el nivel de agua de la Laguna simulado).
- (iv) La regla de operación óptima, una combinación de niveles de agua de operación, se escoge de los casos de simulación cuyos valores sean menores a 2539.5m (nivel de agua máximo anual probable para periodos de retorno de 2 años).

(b) Resultados de los Cálculos

Las Tablas C.3.3 a C.3.6 muestran los niveles de agua máximos y mínimos anuales probables (usando el método de Gumbel) y la moda de la distribución de niveles de agua para cada caso simulado.

(c) Efecto del Mejoramiento del Río Suárez

El efecto del mejoramiento del Río Suárez se evalúa como la diferencia entre el Caso-1 y los otros casos bajo la misma regla de operación, usando el nivel de agua máxima anual probable de probabilidad 1/2, como sigue:

Caso de Optimización	Regla (Nivel de Agua Seco – Lluvioso : El. m)	Valor Máx. Prob.1/2 (m)	Efecto (m)
Caso-1 (Condición Actual)	2538.9 – 2538.7*	2539.50	----
Caso-2 (Remoción de Plantas Acuáticas)	Igual al Caso-1	2539.39	0.11
Caso-3 (Dragado)	Igual al Caso-1	2539.33	0.17
Caso-4 (Plantas Acuáticas y Dragado)	Igual al Caso-1	2539.26	0.24

Nota) * Regla de Operación Óptima.

(3) Regla de Operación Óptima

Basados en los resultados de la simulación, se estudia la regla de operación óptima como sigue (Figs. C.3.6 a C.3.9):

(a) Caso-1 (Condición Actual)

La regla de operación óptima es 2538.9 m como el nivel de agua de operación en periodo seco y, 2538.7 m como el nivel de agua de operación en periodo lluvioso. Con esta regla, se calcula el nivel máximo de agua de probabilidad 1/2 en 2539.5 m, y la moda de la distribución del nivel de agua en 2538.8 – 38.9 m (19 %).

(b) Caso-2 (Remoción de Plantas Acuáticas)

La regla de operación óptima es: 2539.1 m como el nivel de agua de operación en periodo seco y, 2538.9 m como el nivel de agua de operación en periodo lluvioso. Con esta regla, se calcula el nivel máximo de agua de probabilidad 1/2 en 2539.46 m, y la moda de la distribución del nivel de agua en 2539.0 – 39.1 m (14 %).

(c) Caso-3 (Dragado)

La regla de operación óptima es 2539.3 m como nivel de agua de operación en periodo seco y, 2538.9 m como nivel de agua de operación en periodo lluvioso. Con esta regla, se calcula el nivel máximo de agua de probabilidad 1/2 en 2539.49 m y, la moda de la distribución del nivel de agua en 2539.1 – 39.2 m (17 %).

(d) Caso-4 (Remoción de Plantas Acuáticas y Dragado)

La regla de operación óptima es 2539.1 m como el nivel de agua de operación en periodo seco. Con esta regla, se calcula el nivel de agua máximo de probabilidad 1/2 en 2539.44 m, y la moda de la distribución del nivel de agua en 2539.0 – 39.1 m (30 %).

3.6 Problema de Cavitación en la Estación de Bombeo de Chiquinquirá

En general, la fuente de agua para abastecimiento municipal deberá ser segura en más del 95% en términos de servicio.

Por otro lado, la cavitación ocurre en la estación de bombeo de Chiquinquirá cuando su nivel de agua es menor que 2538.7 m. Durante el periodo de cavitación, las bombas no pueden elevar el agua satisfactoriamente. De acuerdo con esto, la proporción del periodo de cavitación se adopta como un indicador para la seguridad del suministro de agua al Municipio de Chiquinquirá.

Basados sobre los resultados de simulación para cada regla de operación, se espera que ocurran problemas de cavitación en la estación de bombeo con una frecuencia mayor al 5% (Tablas C.3.3 a C.3.6)

Por tanto, es necesario desarrollar contramedidas para presentar la regla de operación óptima.

CAPITULO IV SIMULACION BAJO CONDICIONES FUTURAS

4.1 Sistema de Irrigación Propuesto

Basados en los análisis del balance de agua bajo las condiciones actuales, se identificaron bloques propensos a sequía. Por otro lado, el sistema se extenderá en el futuro. Así, es necesario cambiar el sistema de irrigación actual para reducir los cortes forzosos de agua. En otras palabras, los recursos hídricos actuales serán utilizados tanto como sea posible bajo las condiciones futuras. En relación con esta idea, se formula un sistema de irrigación futuro como sigue (localizaciones y características sobresalientes de los medios de toma se muestran en las Figs. C.4.1. y C.4.2.):

(1) Suta. (Bloque Actual)

Dos (2) compuertas (G-ST1 y G-ST2) se construirían a lo largo del Río Suta. El agua de irrigación del Embalse del Hato entraría aguas arriba de estas compuertas y, se conducirían a este bloque. Una parte del bloque de Lenguazaque (344 ha), entre los Ríos Suta y Lenguazaque, se irrigaría bajo este sistema.

(2) Suta. (Bloque de Extensión)

Una (1) compuerta (G-ST3) se construiría a lo largo del Río Suta. El agua para irrigación se complementarían desde el Embalse del Hato.

(3) Cap-1. (Bloque Actual)

Igual al sistema actual.

(4) Cap-1. (Bloque de Extensión)

Se construiría un sistema de diques extensivo y, el agua para irrigación desde el Embalse del Hato se conduciría a este bloque a través de este sistema de diques.

(5) Cucunubá. (Bloque Actual)

Igual al sistema actual.

(6) Lenguazaque. (Bloque Actual)

Una parte de este bloque (344 ha) se irrigaría a través del sistema de Suta (Bloque Actual).

(7) Lenguazaque. (Bloque de Extensión)

Tres (3) compuertas (G-LG1, G-LG2 y G-LG3) se construirían a lo largo del Río Lenguazaque.

(8) Cap-2. (Bloque Actual)

Los canales existentes se excavarían para incrementar su capacidad de flujo. A través de su rehabilitación, el agua suministrada desde el Embalse del Hato irrigaría toda el área.

(9) Mariño. (Bloque Actual)

Una (1) desviación (T-MA1) se construiría a lo largo del Río Ubaté, aguas arriba de las compuertas del Cubio. Adicional a esto, una (1) pequeña compuerta (G-MA1) se construiría en la banca derecha del canal Mariño.

(10) Mariño-Ubaté. (Bloque Actual)

Igual al sistema actual.

(11) Fúquene. (Bloque Actual)

Igual al sistema actual.

(12) Honda. (Bloque Actual)

Igual al sistema actual.

(13) Honda. (Bloque de Extensión)

Una (1) compuerta (G-HO1) se construiría a lo largo del Río Honda.

(14) Susa. (Bloque Actual)

Una (1) estación de bombeo (P-SS1) se construiría al lado de la Laguna de Fúquene para irrigar este bloque. Adicional a esto, se construiría una (1) compuerta (G-SS1) a lo largo del Río Susa. El agua elevada por la nueva estación de bombeo entrará aguas arriba de esta compuerta y sería conducida en este bloque.

(15) Susa. (Bloque de Extensión)

Una (1) compuerta (G-SS2) se construiría a lo largo del Río Susa. Adicional a esto, otra compuerta (G-SS3) se construiría en el área norte de este bloque. Estas dos (2) compuertas estarían conectadas.

(16) Suárez. (Bloque Actual)

Igual al sistema actual.

(17) Simijaca. (Bloque de Extensión)

Two (2) gates (G-SI1 and G-SI2) will be constructed along Simijaca river.

(18) Viejo-Suárez. (Bloque Actual)

Una (1) desviación (T-OS1) se construiría a lo largo del Río Suárez, después de la confluencia del Río Chiquinquirá. El nivel de agua de esta desviación sería mantenido por la compuerta de La Copetona descrita abajo.

(19) Madrón. (Bloque Actual)

Igual al sistema actual.

(20) Merchán. (Bloque Actual)

Este bloque se irrigaría con la construcción de la compuerta de La Copetona descrita abajo.

(21) Merchán. (Bloque de Extensión)

Se construiría una (1) compuerta, Compuerta de La Copetona (G-ME1), a lo largo del Río Suárez. Los recursos hídricos del Río Chiquinquirá y de la Laguna de Fúquene podrían utilizarse mediante esta compuerta.

En este estudio, no se considera la construcción de las compuertas de Merchán, basados en el estudio: “Estudio Hidraulico, Topografico e Hidrologico del Canal Paris-Río Suárez y Diseño de las Estructuras de Control, CAR, 1992”

4.2 Construcción del Modelo de Simulación del Balance Hídrico

Basados en el sistema de irrigación propuesto, se construyó un nuevo modelo de simulación del balance hídrico (Fig. C.4.3). En ese modelo se utilizan los siguientes nombres de los bloques (Fig. C.4.1):

Número de Bloque y Nombre En el Modelo Futuro	Area Bruta (ha)	Composición del bloque de irrigación
1. Suta	1,277	Suta. Actual + Suta. Extensión + Lenguazaque 344 ha
2. Cap-1	1,365	Cap-1. Actual + Cap-1. Extensión
3. Cucunubá	1,892	Cucunubá. Actual
4. Lenguazaque	2,309	Lenguazaque. Actual + Lenguazaque. Extensión – 344 ha
5. Cap-2	1,582	Cap-2. Actual
6. Mariño	700	Mariño. Actual
7. Mariño-Ubaté	387	Mariño-Ubaté. Actual
8. Fúquene	2,537	Fúquene. Actual
9. Honda	509	Honda. Actual
10. Susa	563	Susa. Actual
11. Suárez	8,309	Suárez. Actual
12. Simijaca	417	Simijaca. Extensión
13. Viejo-Suárez	228	Viejo-Suárez. Actual
14. Madrón	1,359	Madrón. Actual
15. Merchán	640	Merchán . Actual + Merchán. Extensión
16. Honda. Ext.	349	Honda. Extensión
17. Susa. Ext.	426	Susa. Extensión
Total	24,849	----

4.3 Análisis del Balance Hídrico

La Tabla C.4.1 y la Fig. C.4.4 muestran el resultado del análisis del balance hídrico bajo condiciones futuras (20 años, 1978 – 1997). En este cálculo, la demanda de agua contabilizada consiste del área de irrigación bruta , 24,849 ha, 66,740 cabezas de bovinos (aproximadamente 3 cabezas de ganado por hectárea de pastos), y agua para uso municipal (Ubaté 0.1 m³/s y Chiquinquirá 0.2 m³/s). Estos usos de agua municipal y de ganadería se estiman basados en los resultados de las proyecciones del uso del agua. De acuerdo con este análisis, la situación del balance hídrico del sistema futuro de la CAR es como sigue:

Bloques de irrigación del Embalse del Hato

Suta, Cap-1 y Cap-2 se planean como bloques de irrigación del Embalse del Hato. El Embalse experimentaría déficit de agua cuatro (4) años en 20. Sin embargo, la cantidad de déficit hídrico en tres (3) años son despreciables y, para el mayor déficit hídrico, su proporción en relación a la demanda de irrigación anual sería menor al 10%. Este nivel de sub-irrigación es aceptable.

Bloque de Irrigación de la Laguna de Cucunubá

En el bloque de irrigación de Cucunubá, el déficit hídrico ocurriría una vez en 20 años pero sería despreciable.

Bloques de Irrigación de la Laguna de Fúquene y el Río Suárez

Los bloques Fúquene, Honda, Susa, Suárez, Viejo-Suárez y Merchán se planean como bloques de irrigación de la Laguna de Fúquene y el Río Suárez. En estos bloques no ocurriría déficit de agua.

Bloques de Irrigación en la parte alta de la Laguna de Fúquene

Los bloques Lenguazaque, Mariño, Mariño-Ubaté y Honda (Extensión) se ubican en esta cuenca.

En cuanto al bloque de Extensión Honda, su déficit hídrico promedio se estima en el 10 % de la demanda de irrigación, y 20 % y 15 % en años de sequía de 10 y 5 años de periodicidad, respectivamente. En el Bloque de Lenguazaque, su condición de sequía se agravarían ligeramente. Esto es debido a que su área de extensión comienza a tomar agua aguas arriba.

En el banco derecho de la parte baja del Río Ubaté, existen los bloques de Mariño y Mariño-Ubaté, y serían áreas propensas a la sequía. Bajo las condiciones futuras, su recurso hídrico sería el mismo (Canal Mariño y Río Ubaté), y, como un todo, las condiciones de sequía futura de estos bloques serían ligeramente mejores en comparación con el presente.

El desarrollo del recurso hídrico en el Río Lenguazaque es una (1) solución para hacer frente a los problemas de sequía en los bloques Lenguazaque, Mariño y Mariño-Ubaté.

Bloques de Irrigación en la Parte baja de la Cuenca de la Laguna de Fúquene

Los bloques de Simijaca, Madrón y la extensión de Susa se localizan en esta cuenca.

En cuanto al bloque de Simijaca, sus déficits hídricos en periodicidades de 10 y 5 años se estiman en 20 % y 10 % de la demanda de irrigación, respectivamente. El bloque Madrón sería una área propensa a la sequía como en las condiciones actuales. En cuanto al bloque de extensión de Susa, su déficit de agua con periodicidad de 10 y 5 años se estiman en más del 30 % de su demanda de irrigación.

4.4 Regla Optima de Operación

El concepto básico de formulación de reglas bajo condiciones futuras es el mismo que bajo condiciones actuales. Se adoptan aquí el mismo método y aproximación descrito en el capítulo III.

4.4.1 Embalse del Hato

(1) Suministro de Agua

(a) Regla de Suministro

El suministro necesario del embalse (sin déficit o excedentes) se muestra en la Tabla C.4.2. Bajo condiciones futuras, se espera que el nivel del embalse del Hato disminuya a nivel bajo L.W.L. (2828.0 m). Por tanto, no se considera razón para reglas de suministro bajo condiciones futuras. Con base en esta idea, las descargas de suministro de agua con periodicidad de retorno de 5, 10 y 20 años se determinan como sigue:

(unidad: arribalitros/s, abajo '000 m³/mes)

Periodicidad de Retorno	Ene.	Feb.	Mar.	Abr	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1/20	1,750	1,300	800	0	100	100	1,000	1,100	550	0	0	1,100
	4,600	3,050	2,050	0	200	250	2,600	2,900	1,350	0	0	3,050
1/10	1,650	1,100	650	0	100	100	1,000	1,100	500	0	0	850
	4,400	2,700	1,700	0	150	150	2,550	2,850	1,250	0	0	2,200
1/5	1,500	950	500	0	50	50	500	800	350	0	0	600
	3,950	2,250	1,350	0	50	100	1,300	2,100	900	0	0	1,600

La siguiente tabla muestra la relación entre déficit de agua total de agua total a la demanda de agua de irrigación bruta total (Bloques de irrigación Suta, Cap-1 y Cap-2), y la relación del periodo de déficit de agua total al periodo de irrigación total (excluidos abril, octubre y noviembre) en 20 años. Basados en estos resultados, el suministro de agua con periodicidad de retorno de 5 años se juzga como aceptable.

Relación	Periodicidad de Retorno (año)	
	1/5	1/10
Volumen de Déficit de Agua	Menor que el 5 %	5 %
Periodo de Déficit de Agua	16 %	14 %

(b) Regla de Reducción del Suministro

Bajo las condiciones futuras el nivel de agua del Embalse del Hato caerá a su nivel bajo L.W.L. Así, es necesario elaborar reglas de déficit para la operación futura. El suministro de agua desde el embalse y la demanda de agua al embalse se reducirán de acuerdo la regla de déficit.

La siguiente es la regla de déficit propuesta, la cual se designa con la idea que el nivel de agua cae cerca al nivel bajo de agua L.W.L una vez en 20 años bajo la siguiente regla de suministro:

Nivel de Agua (base=2800 m. s. n. m)	Más alto que 32	32 – 30	30 - 28
Rata de Reducción del Suministro de Agua y de la Demanda (%)	0	40	50

(2) Regla de Inundación

La regla de inundación del embalse se estudia bajo las reglas de operación óptimas anteriormente mencionadas. La regla de inundación se muestra abajo y los niveles de agua simulados del embalse se muestran en la Fig. C.4.5.

Nivel de Agua (base=2800 m.s.n.m)	42.7	42.8	42.9	43.0	43.1	43.2	43.3	43.4	43.5	43.6	43.7
Optimo (m ³ /seg)	0.0	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50

(3) Efectividad de la Operación Integral del Embalse del Hato y la Laguna de Fúquene

La operación integral del embalse del Hato y la Laguna de Fúquene no se considera efectiva desde los siguientes hechos y consideraciones:

(a) Suministro de Agua Suplementario a la Laguna de Fúquene

El Embalse del Hato está diseñado para tener una capacidad de almacenamiento de 7.7 millones de m³ para suministro de agua, desde su nivel bajo L.W.L. 2828.0 m a su N.H.W.L. 2842.7 m. Sin embargo, como se describió arriba, esta capacidad de almacenamiento será usada completamente para suministrar agua para irrigación en el futuro. Por tanto, la operación integral, suministro de agua complementaria a la laguna para alcanzar su nivel de agua durante periodos secos, será difícil en el futuro.

(b) Reducción de la Liberación de Avenidas desde el Embalse del Hato

El embalse del Hato está diseñado para que tenga capacidad de control de avenidas de 4.7 millones de m³, desde N.H.W.L. 2842.70 m al H.H.W.L. 2847.29 m. Cuando ocurre una avenida de mediana escala, el nivel de agua del embalse alcanza los 2,845.0 m (Fig. C.4.5), llenando la mitad de la capacidad de almacenamiento (50 % of 4.7 millones m³). La capacidad restante puede usarse para control de inundación de la Laguna mediante la reducción de la liberación de avenidas desde el embalse. Sin embargo, el efecto sobre la laguna es reducir su nivel de agua en 7-8 cm. Por otro lado, esta operación integral incrementaría el riesgo del embalse a inundación como en 1979.

4.4.2 Laguna de Fúquene

La regla de operación óptima de la Laguna de Fúquene bajo condiciones futuras se estudia bajo la regla de operación del embalse optimizada arriba mencionada. El método y la aproximación a optimización aquí son los mismos que bajo condiciones actuales. Los resultados de la simulación se muestran en las Tablas C.4.3 a C.4.6.

(1) Efecto del Mejoramiento del Río Suárez

El efecto del mejoramiento del Río Suárez se evalúa como sigue:

Caso de Optimización	Regla (Nivel) Seco – Lluvioso : El. m)	Valor Máx. Pro. 1/2 (m)	Efecto (m)
Caso-1 (Condición Actual)	2539.1 – 2538.9*	2539.49	----
Caso-2 (remoción de Plantas Acuáticas)	Igual al Caso-1	2539.41	0.08
Caso-3 (Dragado)	Igual al Caso-1	2539.37	0.12
Caso-4 (plantas acuáticas y dragado)	Igual al Caso-1	2539.34	0.15

Nota) * Regla de Operación Óptima.

(2) Regla de Operación Óptima

Basados sobre los resultados de la simulación, la regla de operación óptima se estudia como sigue (Figs. C.4.6 a C.4.9):

(a) Caso-1 (Condición Actual)

La regla de operación óptima es nivel de agua W.L. 2539.1 m como el nivel de agua de operación en periodo seco, y nivel de agua W.L. 2538.9 m como el nivel de agua de operación en periodo lluvioso. Con esta regla, el nivel de agua máximo anual de probabilidad 1/2 se calcula en W.L. 2539.49 m, y la moda de la distribución del nivel de agua en W.L. 2539.0 – 39.1 m (25 %).

(b) Caso-2 (Remoción de Plantas Acuáticas)

La regla de operación óptima es W.L. 2539.1 m como el nivel de agua de operación en periodo seco y, W.L. 2538.9 m como el nivel de agua de operación en periodo lluvioso. Con esta regla, el nivel de agua máximo anual de probabilidad 1/2 se calcula en W.L. 2539.41 m, y la moda de la distribución del nivel de agua en W.L. 2539.0 – 39.1 m (27 %).

(c) Caso-3 (Dragado)

La regla de operación óptima es W.L. 2539.3 m como el nivel de agua de operación en periodo seco y, W.L. 2538.9 m como el nivel de agua de operación en periodo lluvioso. Con esta regla, el nivel de agua máximo de probabilidad 1/2 se calcula en W.L. 2539.49 m, y la moda de la distribución del nivel de agua es W.L. 2539.2 – 39.3 m (19 %).

(d) Caso-4 (Remoción de Plantas Acuáticas y Dragado)

La regla de operación óptima es W.L. 2539.3 m como el nivel de operación en periodo seco, y W.L. 2539.1 m como el nivel de operación en periodo lluvioso. Con esta regla, el nivel de agua máximo anual de probabilidad 1/2 se calcula en W.L. 2539.50 m, y la moda de la distribución del nivel de agua en W.L. 2539.1 – 39.2 m (29 %).

4.5 Problema de Cavitación en la Estación de Bombeo de Chiquinquirá

Bajo las condiciones futuras, con las reglas de operación actuales del embalse del Hato y la Laguna de Fúquene (sin embargo, el embalse del Hato suministra agua de acuerdo con las demandas de los bloques), se espera que ocurra cavitación con una frecuencia del 13% en la estación de bombeo de Chiquinquirá para suministro de agua municipal.

Por otro lado, basados en los resultados de la simulación arriba mencionados, la cavitación ocurriría con frecuencias de más del 5% para cada condición del Río Suárez (Tablas C.4.3 a C.4.6).

Consecuentemente, es necesario elaborar contramedidas en la estación de bombeo en el futuro.

CAPITULO V MEJORAMIENTO DEL SISTEMA CAR

5.1 Contenido del Mejoramiento

(1) Irrigación

Basados en análisis del balance hídrico bajo condiciones actuales, llega a ser claro que varios bloques de irrigación son propensos a sequía debido a la carencia de medios de irrigación. Adicional a esto, el sistema se expandirá en el futuro. Por tanto, hay necesidad de mejorar el sistema para fortalecer su función de irrigación.

(2) Drenaje

Hay problemas de drenaje/inundación en el sistema. La mayoría es observada en los alrededores de la Laguna de Fúquene. Otros se observan a lo largo de algunos ríos/canales debido a la densidad de plantas acuáticas, etc. Los problemas de inundación alrededor de la laguna pueden ser mitigados con el mejoramiento del Río Suárez y la introducción de la operación óptima de la laguna.

(3) Suministro de Agua Municipal

No hay problemas severos en el suministro de agua municipal. Por otro lado, es necesario elaborar contramedidas contra la cavitación en la estación de bombeo de Chiquinquirá. Esto se trata en el capítulo siguiente.

5.2 Efectos del Mejoramiento

(1) Irrigación

El efecto del mejoramiento en la irrigación consiste en la expansión del área de irrigación y la elevación del nivel de irrigación. En el futuro, las condiciones “Sin Proyecto” se esperan que sean las mismas que las condiciones actuales, y las condiciones futuras “Con Proyecto” son de un sistema de irrigación mejorado bajo las condiciones futuras. Basados en esta idea, están identificadas y resumidas áreas benéficas.

En la tabla, las áreas benéficas se clasifican in cuatro (4) tipos, Tipo-A, Tipo-B, Tipo-C y Tipo-D. Estos tipos se establecen basados sobre niveles de irrigación, precipitación, sobre irrigación e irrigación óptima. En los niveles de irrigación óptima, la aplicación de agua se calcula basados en la información de uso consumtivo, y se suministra el agua de irrigación calculada. En el nivel de sobre-irrigación, se suministran aplicaciones mínimas debido a la no disponibilidad de medios de almacenamiento de agua. En el nivel de precipitación, solamente se usa la precipitación debido a la no existencia de medios de almacenamiento.

La sobre-irrigación es posible en la agricultura tradicional, con su variedades locales y sus niveles de entrada bajos. La agricultura mayor en el sistema es el cultivo de pastos tradicionales. Así, el mejoramiento del sistema que cae dentro del Tipo-A es significativo en el área de estudio.

Bloque de Irrigación	Area Bruta (ha)	Area Benefica (ha)				Total	Observaciones
		Tipo -A	Tipo -B	Tipo -C	Tipo -D		
Suta. Actual	1,176	0	0	1,176	0	1,176	344 ha: desde Lenguazaque
Suta. Extensión	101	0	101	0	0	101	
Cap-1.Extensión	731	0	731	0	0	731	
Lenguazaque	2,309	761	0	0	0	761	área ajustada
Cap-2. Actual	1,582	0	1,266	0	0	1,266	316 ha: ya irrigada
Mariño/ Mariño-Ubaté	1,087	0	0	0	313	313	área ajustada
Honda. Extensión	349	349	0	0	0	349	
Susa. Actual	563	0	0	563	0	563	
Susa. Extensión	426	426	0	0	0	426	
Simijaca. Extensión	417	417	0	0	0	417	
Viejo -Suárez. Actual	228	0	0	228	0	228	
Merchán. Actual	320	0	0	320	0	320	
Merchán. Extensión	320	0	320	0	0	320	
Total	9,609	1,953	2,418	2,287	313	6,971	

Nota) Tipo-A: desde precipitación a sobre-irrigación.

Tipo-B: desde precipitación a irrigación-óptima.

Tipo-C: desde sobre-irrigación a irrigación óptima.

Tipo-D: nivel mejorado dentro de sobre-irrigación.

(2) Drenaje

La reducción de las áreas de inundación alrededor de la Laguna de Fúquene, se origina del mejoramiento del Río Suárez y la introducción de la regla óptima de operación de la laguna. Esto se resume abajo. En cuanto a las condiciones futuras "Con Proyecto", se adopta el Caso-2 (operación óptima bajo remoción de plantas acuáticas del Río Suárez) en este cálculo.

Fúquene Nivel del Lago W.L. (m. s. n. m)	Inundación Area # (ha)	Condiciones Futuras w/o*			Condiciones futuras w/**		
		Probabilidad de Excedente	Probabilidad de Ocurrencia	Expectativa (ha)	Probabilidad de Excedente	Probabilidad de Ocurrencia	Expectativa (ha)
2539.75	0	0.400	0.260	0.0	0.145	0.095	0.0
2540.00	500	0.140	0.095	47.5	0.050	0.040	20.0
2540.25	3,250	0.045	0.034	110.5	0.010	0.008	26.0
2540.50	6,000	0.011	0.009	54.0	0.002	0.0018	10.8
2540.75	8,000	0.002	0.002	16.0	0.0002	0.0002	1.6
Total	----	----	----	228.0	----	----	58.4
Reducción del Area de Inundación (ha) =				169.6	170		

*) Sistema futuro con la regla de operación del embalse del Hato y con la regla de operación actual de la laguna de Fúquene,

**) Sistema futuro con la regla de operación óptima del embalse del Hato y la regla de operación óptima de la Laguna de Fúquene (Case-2)

#) Area de Inundación: Refierase a la Fig. B.2.5,

1. Probabilidad de Excedente: lecturas de las posiciones de graficadores,

2. Probabilidad de Ocurrencia: diferencia entre las probabilidades de excedentes,

3. Expectativa = (Area de Inundación) X (Probabilidad de Ocurrencia),

4. Reducción del Area de Inundación: diferencia entre la expectativa total (w/o) y la expectativa total (w/).

5.3 Cuantificación del Mejoramiento

(1) Irrigación

Los trabajos de mejoramiento comprenden la construcción y rehabilitación de las estructuras de irrigación, las cuales consisten de estructuras de captación y sistemas de diques. La cantidad y los tipos de trabajos se resumen abajo.

Irrigación Bloque	Diques (km)	Captaciones (nos.)		
		Compuerta	Bomba	Desviación
1. Suta. Actual	9.5	2	0	0
2. Suta. Extensión	1.0	1	0	0
3. Cap-1. Actual*	15.7	0	0	0
4. Cap-1.Extensión	12.3	0	0	0
5. Lenguazaque. Extensión	21.4	3	0	0
6. Cap-2. Actual	31.8	0	0	0
7. Mariño. Actual	7.6	1	0	1
8. Honda. Extensión	9.1	1	0	0
9. Susa. Actual	11.9	1	1	0
10. Susa. Extensión	8.9	2	0	0
11. Simijaca. Extensión	9.0	2	0	0
12. Old-Suárez. Present	6.2	0	0	1
13. Merchán. Present	1.0	0	0	0
14. Merchán. Extensión	6.6	1	0	0
Total	152.0	14	1	2

*: Los trabajos de diques en este bloque son necesarios para mejorar los bloques Suta.Actual y Suta.Extensión .

(2) Drenaje

El mejoramiento del Río Suárez pretende disminuir el coeficiente de rugosidad a través de la remoción de plantas acuáticas. Así, este mejoramiento requiere de actividad anual y actividades de mantenimiento del río (longitud 17.5 km).

Adicional a esto, otro factor es la introducción de la regla de operación óptima de la Laguna de Fúquene.

5.4 Estimativo de Costos

(1) Irrigación

Los costos del mejoramiento comprenden costos directos de construcción, adquisición de terrenos y compensación, costos de ingeniería y administración y contingencia física. El estimativo de costos se ejecuta con la base de contratos ejecutados, como los de octubre de 1999. El resultado de este estimativo es como sigue (Tabla C.5.1):

(unidad: millones de Pesos Colombianos)

Bloques de Irrigación	Costo Directo de Construcción			Terrenos Adquisición	Ingeniería y Administración	Físicos Contin.	Total	
	Captación	Dique	Total				(millones Col\$)	('000 US\$)
1. Suta. Actual	552	174	726	150	175	88	1,139	593
2. Suta. Extensión	276	42	318	16	67	33	434	226
3. Cap-1. Actual	0	518	518	247	153	77	995	518
4. Cap-1. Extensión	0	258	258	194	90	45	587	306
5. Lenguazaque. Ext.	1,423	344	1,767	337	421	210	2,735	1,424
6. Cap-2. Actual	0	931	931	501	286	143	1,861	969
7. Mariño. Actual	236	145	381	120	100	50	651	339
8. Honda. Extensión	435	212	647	143	158	79	1,027	535
9. Susa. Actual	312	213	525	187	142	71	925	482
10. Susa. Extensión	436	192	628	140	154	77	999	520
11. Simijaca. Extensión	552	162	714	142	171	86	1,113	580
12. Viejo-Suárez. Actual	18	109	127	98	45	23	293	153
13. Merchán. Actual	0	42	42	16	12	6	76	40
14. Merchán. Extensión	1,450	149	1,599	104	341	170	2,214	1,153
Total	5,690	3,491	9,181	2,395	2,315	1,158	15,049	7,838

(Nota) Rata de cambio: 1 US\$ = 1,920 Pesos Colombianos (octubre de 1999)

1. I.V.A no incluido.

(2) Drenaje

Los costos del mejoramiento del Río Suárez se toman en cuenta como costos anuales de mantenimiento del río. Este costo de mantenimiento anual se estima como sigue:

Costo de mantenimiento (con fecha de octubre de 1999): 17,500 m x 2,200 Col\$/m/año = 38,500,000 Col\$-

El costo para la introducción de la operación óptima de la Laguna de Fúquene es despreciable.

5.5 Costo de Operación y Mantenimiento

(1) Irrigación

El costo de operación anual y mantenimiento (O/M cost) del sistema CAR fué de 974.5 millones de pesos Colombianos en el año fiscal de 1998. Basados en esta información, el costo anual de O/M con fecha de octubre de 1999 se estima en 50,000 pesos Colombianos por hectárea bruta.

El costo de O/M comprende salarios de administración 10%, salarios de operación 50 %, materiales (repuestos y combustible, etc.) 10 %, mantenimiento del sistema (limpieza de canal/río, reparación de vías/compuertas/puentes) 20 %, otros (estudios/investigación, equipos, trabajos mecánicos, recolección de tarifas de agua, etc.) 10 %.

La área benéfica del sistema es de 6,971 ha en total. Por tanto, el incremento del costo de O/M por el mejoramiento de la irrigación se estima en 348.6 millones de Pesos Colombianos en total.

(2) Drenaje

Como se mostró antes, el incremento del costo de O/M desde su mejoramiento se estima en 38.5 millones de Pesos.

5.6 Programa de Implementación

El programa de implementación del mejoramiento del sistema consiste de dos (2) etapas, La etapa de diseño detallada (año 2002) y la etapa de construcción (año 2003 a 2010). La etapa de construcción comprende la fase I (año 2003 a 2006) y la fase II (año 2007 a 2010). El programa de implementación del mejoramiento del sistema se muestra en la Tabla C.5.2.

(1) Irrigación

Durante la fase I serían mejorados cinco (5) bloques (Suta.Actual, Suta.Extensión, Cap-1.Actual, Cap-1.Extensión y Cap-2.Actual) . Esto es debido a que estos bloques serían irrigados por el Embalse del Hato y este embalse no está completamente utilizado en la actualidad. Los otros nueve (9) bloques se implementarán durante la fase II.

La regla de operación del Embalse del Hato sería implementada desde año 2002.

(2) Drenaje

El mejoramiento del Río Suárez y la operación óptima de la Laguna de Fúquene se recomienda que comience con la operación óptima del embalse del Hato concurrentemente.

CAPITULO VI MEJORAMIENTO EN EL SUMINISTRO DEL AGUA DE CHIQUINQUIRA

6.1 Estación de Bombeo

(1) Efecto del Mejoramiento

El efecto del mejoramiento de la estación de bombeo es asegurar el suministro de agua a Chiquinquirá a través de la prevención Cavitación.

(2) Método de Mejoramiento

Hay dos (2) métodos para su mejoramiento:

1^o: Reemplazo de bombas existentes (3 nos.) por nuevas (3 nos.) usando motores existentes.

2^o: Reducción (en aproximadamente 2.9 m) de la posición de la instalación de las bombas usando las bombas y motores existentes.

A través del estudio de comparación preliminar, el primer método es el recomendado debido a su bajo costo y un abastecimiento de agua más barato durante la construcción.

(3) Estimativo de Costos

El costo del mejoramiento por el método nombrado, a fecha de octubre de 1999, se estima como sigue:

Detalle	Cantidad de Trabajo		Precio	Total	
	Cantidad	Unidad	Unitario (‘000 Col\$)	(millones Col\$)	(‘000 US\$)
1. Costo directo de Construcción					
1.1 Edificación	1	L. S.		7.5	
1.2 Bomba	3	nos.	30,000	90.0	
1.3 Trabajos Eléctricos y Mecánicos	1	L. S.		32.6	
Sub-total				130.1	67.8
2. Costo de Ingeniería y Administración					
				26.0	
3. Contingencia Física					
				13.0	
Total				169.1	88.1

Nota) Rata de Cambio: 1 US\$ = 1,920 Pesos Colombianos (octubre de 1999)

1. I.V.A no incluido.

(4) Costos de Operación y Mantenimiento

El incremento en el costo O/M agregado desde el mejoramiento es despreciable.

6.2 Planta de Purificación del Agua

6.2.1 General

Un sistema de abastecimiento de agua es necesario para abastecer una cantidad suficiente de agua potable con una adecuada calidad. Los contaminantes principales listados abajo son el parámetro objetivo en la planta de purificación.

- (1) Bacterias patógenas
- (2) Turbidez y materiales suspendidos
- (3) Color
- (4) Sabor y olor
- (5) Dureza
- (6) Compuestos orgánicos naturales y sintéticos
- (7) Constituyentes inorgánicos seleccionados tales como aluminio, arsénico, bario, cadmio, cromo, fluor, mercurio plomo, nitrato, selenio, y plata
- (8) Sólidos totales disueltos

Los procesos de purificación consisten de métodos físicos tales como tamizado y sedimentación simple, métodos químicos tales como absorción y técnicas fisicoquímicas en el cual los contaminantes son alterados químicamente mejorando su remoción por procesos físicos.

6.2.2 Normas Nacionales

El Gobierno de Colombia estipuló las normas nacionales de criterio de agua potable a través del Decreto 475 el 10 de Marzo de 1998. El valor de cada parámetro se muestra en la Tabla C.6.1.

6.2.3 Inventario

- (1) Sistema de Abastecimiento de Agua en Cada Municipio

El sistema público de suministro de agua de los 14 municipios en el área de estudio se estudió por cuestionarios y el resultado de estos se muestra en la Tabla C.1.6. La mayoría de los municipios excepto Fúquene y Susa tienen planta de purificación.

- (2) Planta de Purificación de Agua en Chiquinquirá

Los problemas de contaminación de agua tendrán poca influencia en los sistemas de abastecimiento de agua de los 14 municipios excepto Chiquinquirá. En Chiquinquirá, el punto de captación está localizado justo antes de las compuertas de Tolón en el Río Suárez. El deterioro de la calidad de agua debido a la contaminación del agua en la laguna de Fúquene influye directamente en la calidad de agua de la captación para el suministro de agua.

La planta de purificación de agua en Chiquinquirá se construyó originalmente en 1928, y se instaló una planta adicional en 1976. El agua se toma del Río Suárez, aproximadamente 1,800 m lejos de la planta de purificación. El agua es bombeada

hasta aproximadamente 90 m, aireada y repartida en las plantas nueva y vieja. En cada planta, el agua es primero coagulada con químicos en el tanque mezclador, floculada, sedimentada y filtrada. Después de la filtración, el agua es almacenada en un reservorio y luego distribuida a cada casa y establecimiento.

El tamaño de cada instalación es como sigue:

Instalación	Nueva Planta	Vieja Planta
Aerator	L4.65 m × W4.10 m × H4.20 m	
Tanque de Floculación	L13.95 m × W8.09 m × H1.23 m × 2	L4.40 m × W5.47 m × H4.75 m × 3
Tanque de Sedimentación	L12.65 m × W5.29 m × H5.00 m × 2	L6.40 m × W28.00 m × H5.00 m × 1
Tanque de Filtración	L4.39 m × W6.93 m × H4.8 m × 4	L6.95 m × W6.00 m × H3.40 m × 2

(3) Calidad del Agua

(a) Agua en el Punto de Captación

La calidad de agua en el punto de captación en el Río Suárez fué analizada en los periodos seco y lluviosos por el Equipo de Estudio de JICA en 1999. El resultado se muestra en la Tabla C.6.2. Las características de la calidad de agua en el punto de captación (antes de purificar) son como sigue:

- (i) El valor de DQO, Fe, Acido Fúmico y Turbidez son altos.
- (ii) El OD es cercano a 0 mg/l.
- (iii) No se detectaron metales pesados.
- (iv) El número de coliformes (Totales y Fecales) son altos debido a los desechos humanos y de ganadería.

$Al_2(SO_4)_3$, CaO, NACIO se agregan antes del tanque floculador para remover contaminantes y ajustar el PH. Cl_2 también se agrega después de filtración para desinfección.

El consumo de químicos es :

Clase de Qquímico	Cantidad de Consumo (kg/mes)
$Al_2(SO_4)_3$	20,000 – 30,000
CaO	2,000 – 2,200
NACIO	1,000 – 1,200
Cl_2	80 – 100

La rata de consumo diario y peso en septiembre de 1999 se muestra en la Tabla C.6.3.

(b) Agua Después de la Purificación

La calidad del agua diaria antes y después de la purificación en septiembre de 1999 se muestra en la Tabla C.6.4. La calidad promedio mensual de los principales parámetros, número de días y rata de cumplimiento de la norma después de la purificación se muestran abajo. El número de días donde los resultados de los análisis de calidad de agua están de acuerdo con las normas nacionales se nombran como “número de días” y la rata de cumplimiento de la norma se calcula dividiendo el número de días por 30.

Parámetro	Unidad	Promedio mensual	Norma Nacional	Número de Días	Rata de Acuerdo (%)
Turbidez	UNT	6.7	<5	11	37
NO ₂ ⁻	mg/l	0.0285	0.1	30	100
PH	-	5.3	6.5-9.0	0	0
Fe	mg/l	0.33	0.3	11	37
Cl ⁻	mg/l	9.9	250	30	100

La rata de cumplimiento de la norma nacional sobre turbidez y hierro está cerca de un tercio. El valor de PH está siempre fuera del rango permitido. Se requiere el mejoramiento en la planta de purificación para poder cumplir las normas nacionales.

6.2.4 Proyección Futura

(1) Cantidad de Agua

La cantidad de agua de captación para la planta de purificación es alrededor de 12,800 m³/día en el promedio de 1999. En el 2010, la cantidad de agua se incrementará en proporción al crecimiento de la población. Se estima que el volumen de agua será de 15,000 m³/día.

(2) Calidad del Agua

Se asume que el parámetro más serio en la calidad del agua es el hierro, la turbidez y el oxígeno disuelto. Como se mostró arriba, la concentración de hierro en el sitio de la captación es extremadamente alto, el cual algunas veces está sobre los 10 mg/l, y el oxígeno disuelto está cerca de 0 mg/l. Hay una relación muy cercana entre estos dos parámetros.

La concentración de hierro se incrementa en proporción inversa al oxígeno disuelto. El oxígeno disuelto en el Río Suárez decrece debido al proceso de decaimiento/descomposición de las plantas acuáticas. Consecuentemente la concentración de hierro llegará a ser más alta aún en el futuro.

Sin embargo, el cálculo de la concentración de hierro es muy difícil. Así, la concentración de hierro se asume en 20 mg/l en este estudio debido a que el valor más malo en el presente es 18.3 mg/l.

6.2.5 Plan de Mejoramiento

(1) Parámetro Objetivo

Como se describió arriba, los parámetros más serios son el hierro, turbidez y el oxígeno disuelto. Puesto que los problemas dispersos estarían solucionados a través del mejoramiento en el hierro y la turbidez, la remoción de hierro y turbidez se estudia en virtud de esto.

(2) Métodos de Remoción de Hierro

Puesto que el hierro es comunmente hallado en las aguas subterráneas, las aguas superficiales suelen contener cantidades significantes de hierro a la vez. Concentraciones por sobre los 0.3 mg/l, el cual es también el valor de la norma nacional, pueden producir sabor y olor detectables, aguas con coloración rojiza la cual puede manchar ropa, dañar utensilios y taponar instalaciones, producir acumulaciones de precipitaciones de hierro en los sistemas de distribución y crecimiento de *Crenothrix* (una bacteria del hierro) en las tuberías. El crecimiento bacteriano, a su vez, puede producir problemas de sabores y olores adicionales.

Aunque el hierro se remueve por la combinación de aireadores y cloro en la actualidad en Chiquinquirá, la concentración de hierro usualmente excede los criterios. El promedio de la concentración de hierro se muestra abajo. (los datos diarios se muestran en la Tabla C.6.2 y C.6.4).

Punto de Muestreo		Fecha	Valor	Norma Nacional
Río Suárez	Antes de las Compuertas de Tolón cerca a la captación	Periodo lluvioso	18.3	-
		Periodo seco	5.9	-
Planta de purificación	Entrada	Promedio 1999/9	7.3	-
	Salida	Promedio 1999/9	0.33	<0.3

Los métodos usados para la remoción de hierro son: (1) precipitación después de la oxidación por aireación, (2) adición química y sedimentación o filtración, (3) filtración a través de Zeolitas de manganeso, y (4) intercambio iónico. De los métodos mencionados anteriormente, (1) y (2) son los métodos más populares. El bosquejo de cada método es:

(a) Precipitación después de la Oxidación por Aireación

La precipitación después de la oxidación por aireación es usado muy frecuentemente. La remoción puede ser mejorada por oxidación a un estado alto de valencia en el cual su solubilidad se reduce. Las reacciones de oxidación de interés son:



Como se muestra arriba, los iones en forma ferrosa (2^+) se oxidan a hidróxido férrico insoluble (3^+), el cual puede ser removido por precipitación en el tanque de sedimentación y filtración.

La aireación también tiene los siguientes efectos en adición a la remoción de hierro puesto que esta es una forma de transferencia gaseosa.

- (i) Adición de oxígeno para oxidar el manganeso disuelto,
- (ii) Remoción de dióxido de carbono,
- (iii) Remoción de sulfuro de hidrógeno para eliminar olores y sabores,
- (iv) Remoción de aceites volátiles y olores y sabores similares, los cuales se producen por sustancias liberadas por las algas y microorganismos similares.

Las técnicas de aireación consisten de spray, cascada, difusión de aire, bandejas múltiples, sistemas de columnas “empaquetadas”. La planta de purificación de Chiquinquirá adopta el aireador de bandejas múltiples. Este proceso está compuesto de una serie de bandejas formadas de tablillas de madera, platos perforados o pantallas, las cuales están espaciadas aproximadamente 500 mm. El agua se suministra en la parte superior de la estructura a través de spray o paneles perforados. El flujo de aire a través de las bandejas proviene de respiraderos abiertos en los lados, normalmente con corrientes de aire naturales.

(b) Oxidación con Químicos

La oxidación con químicos es un proceso en el cual el estado de oxidación de la sustancia se incrementa por medio de reacciones químicas. Los agentes oxidantes más populares son el cloro, dióxido de cloro, ozono, permanganato o cualquier otro oxidante, el cual no deje residuos no deseados. La fórmula cuando se usa el cloro es:



La aplicación de agentes fuertemente oxidantes puede servir para oxidar el hierro más rápidamente y puede también modificar o destruir los materiales orgánicos presentes así que ello no interfiere con la reacción.

(c) Mejoramiento Propuesto

En Chiquinquirá, el hierro se remueve por la combinación de oxidación con aireador y cloro. Sería posible cumplir los criterios para el agua mediante la adición de más cloro. Aunque 0.635 mg de cloro se requieren para oxidar 1 mg de hierro teóricamente, se hace necesario más cloro debido a que materias orgánicas y reducibles consumen cloro en la actualidad, resultando en un gran número de consumo de cloro para remover el hierro. Este método no es recomendable por las siguientes razones.

- (i) Costo elevado

- (ii) El riesgo carcinogénico posible asociado con la cloración por hidrocarburos

Puesto que el cloro tiene el potencial de formar trihalometanos, este debe ser aplicado con cuidado. Los trihalometanos son compuestos orgánicos de carbono solo con tres de los enlaces de carbono ocupados por familias halógenas - cloro, bromo y yodo. La formación de trihalometanos ocurre cuando miembros de la familia de los halógenos reaccionan con compuestos orgánicos. Los trihalometanos son carcinogénicos, así que su presencia en los suministros de agua pública no es deseable. Los Trihalometanos se forman especialmente durante la cloración de aguas que contienen compuestos orgánicos tales como los ácidos fúmico y fúlvico.

- (iii) Captación preferencial del cloro por la DBO, resultando en una alta tasa de dosificación y desperdicio de cloro.
- (iv) El mantenimiento del sistema de dosificación y la continuidad del suministro son considerados difíciles.

Por tanto, se propone la oxidación por aireación. En vista que la eficiencia del aireador actual es insuficiente, se requiere de otro.

(3) Métodos de Remoción de Turbidez

El promedio de turbidez se muestra abajo. (Los datos diarios se muestran en las Tablas C.6.2 y C.6.4). La turbidez no siempre concuerda con la norma nacional debido a la pobre eficiencia del tanque de sedimentación y a la alta tasa de filtración.

(unidad: UNT)

Punto de Muestreo	Fecha	Valor	Norma Nacional	
Río Suárez	Antes de las compuertas de Tolón cerca del punto de captación	Periodo lluvioso	61.8	-
		Periodo seco	333.0	-
Planta de purificación	Entrada	Promedio de 1999/9	118.9	-
	Tanque de sedimentación	Promedio de 1999/9	14.0	-
	Salida	Promedio de 1999/9	6.7	<5

Se requiere mejorar el tanque de sedimentación. Al mismo tiempo, sería necesaria la instalación de un filtro más debido a que la tasa de filtración es más alta que el rango permisible.

(4) Las Estructuras Mejoradas

- (a) Se instalaría un aireador adicional. El tamaño de la estructura propuesta es el mismo que el actual.
- (b) Placas inclinadas paralelas se agregarían al tanque de sedimentación actual para mejorar la eficiencia de la sedimentación.

- (c) Otro tanque de filtración sería necesario en la nueva planta para reducir la rata de filtración para la remoción de la turbidez. La estructura del tanque de filtración sería similar al actual.

El tamaño de cada estructura sería:

Estructura	Tamaño
Aireador	L4.65 m × W4.10 m × H4.20 m × 1
Tanque de sedimentación (mejorado)	Inserción de placas inclinadas paralelas
Tanque de filtración	L14.8 m × W23.3 m × H6.2 m (el número de pozos es 2)

El diagrama de flujo y las estructuras mejoradas del tanque de sedimentación se muestran en la Fig. C.6.1.

(5) Estimativo de Costos

(a) Costo de Construcción

Los costos del mejoramiento arriba mencionado se estiman en :

Detalle	Costo Total		Observaciones
	(Millones Col\$)	(× 10 ³ US\$)	
Costo Directo	470	245	
Costo Indirecto	94	49	20 % del costo directo (servicio de ingeniería y administración)
Contingencia Física	47	24	10 % del costo directo
Total	611	318	

Nota) Estimativo del Costo: a fecha de octubre de 1999.

El costo directo de cada estructura está dividido como sigue:

Estructura	Costo total		
	(Millones Col\$)	(× 10 ³ US\$)	
Aireador	45	23	
Tanque de Sedimentación (Instalación de Placas Inclinadas Paralelas)	40	21	
Tanque de Filtración	Maquinaria	115	60
	Obra civil	210	109
	Sub-total	325	169
Instalación de Tubería, Electricidad, Complementos	60	31	
Total	470	245	

(b) Costo de Operación y Mantenimiento

El costo total de operación y mantenimiento sería alto con el incremento de la cantidad a ser purificada. Sin embargo, los costos suplementarios de operación y mantenimiento resultantes de la instalación de las estructuras arriba mencionadas son despreciables debido a que necesitan poca electricidad y no requieren de químicos.

6.3 Programa de Implementación

El programa de implementación del mejoramiento del suministro de agua para el municipio de Chiquinquirá se muestra en la Tabla C.6.5. Este programa se preparó basados en los siguientes conceptos:

(1) Estación de Bombeo

La estación de bombeo sería mejorada en el primer año de la etapa de construcción.

(2) Planta de Purificación

La planta de purificación se implementaría después del mejoramiento de la estación de bombeo. La planta se mejoraría en consideración del costo de inversión anual. Primero se instalaría un aireador adicional seguido del mejoramiento del tanque de sedimentación y la instalación de un filtro adicional.

REFERENCIAS

- 1) Estudio de Aprovechamiento Hidráulico del Sistema Cucunubá–Fúquene–Río Suárez, Informe Final, Etapa I, CAR.
- 2) Estudio Regional Integrado del Altiplano Cundiboyacense, IGAC, 1984.
- 3) Estudio de Factibilidad y Diseño de la Presa El Hato y Distrito de Riego, Contrato 093/84, Informe Final, Capítulo I–Resumen, Volumen I, CAR, Bogotá–Colombia, noviembre de 1986.
- 4) Estudios Hidrológicos e Hidráulicos en los Ríos Suta y Susa y el Diseño de Estructuras con sus Compuertas en los mismos Ríos, Informe Final, CAR, nov./1990.
- 5) Acuerdo 031 de 1991, CAR.
- 6) Contrato de Consultoría 227–CAR, Presa El Hato, Manual de Instrumentación de la Presa, Informe Técnico IT–07, Bogotá, Colombia, agosto, 1992.
- 7) Estudio Hidráulico, Topográfico e Hidrológico del Canal Paris–Río Suárez y Diseño de las Estructuras de Control, Informe Final & Anexos, CAR, Santafé de Bogotá, noviembre de 1992.
- 8) Estudio para la Determinación de Módulos de Consumo para Beneficio Hídrico, Contrato CAR–467–93, Informe Final, Volúmen II, Tomo II 2a Copia, CAR.
- 9) Revisión y Actualización del Sistema Tarifario del Distrito de Riego y Drenaje de Fúquene y Cucunubá, Contrato 086/92, Informe Final, CAR, Santafé de Bogotá, D.C. diciembre 1994.
- 10) Factores que Intervienen en la Liquidación de la Cuota de Reembolso en los Distritos de Riego, CAR.

Tabla C.1.1 Módulos de Consumo de Irrigación para la Cuenca de la Laguna de Fúquene

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Cultivos	Precipitación (mm)	29	45	67	119	84	42	38	61	119	100	42	814
	Evapotranspiración (mm)	93	89	93	86	85	83	83	81	86	85	84	1,025
	Precipitación Efectiva, PE (mm)	16	37	54	86	73	58	34	30	51	86	85	643
	Cocficiente de Cultivo (K)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Pasturas	Uso Consuntivo, UC (mm)	93	89	93	86	85	77	83	81	86	85	84	1,025
	UC-PE (mm)	77	52	39	0	12	19	49	53	30	0	51	382
	Necesidad Neta de Riego (m ³ /ha)	770	520	390	0	120	190	490	530	300	0	0	3,898
	Modulo de Irrigación (l/s/ha)	0.29	0.21	0.15	0.00	0.05	0.07	0.19	0.20	0.12	0.00	0.00	0.20
Papa	Cocficiente de Cultivo (K)	0.4		0.4	0.9	1.0	0.9	0.4		0.4	0.9	1.0	0.9
	Uso Consuntivo, UC (mm)	37		37	77	85	69	33		32	77	85	76
	UC-PE (mm)	21		(17)	(9)	12	11	(1)		(19)	(9)	0	43
	Necesidad Neta de Riego (m ³ /ha)	210				120	110					0	430
Maiz	Modulo de Irrigación (l/s/ha)	0.08				0.05	0.04				0.00	0.17	--
	Cocficiente de Cultivo (K)	0.9		0.4	0.7	1.0	1.0	0.9		0.4	0.7	1.0	1.0
	Uso Consuntivo, UC (mm)	84		37	60	85	77	75		32	60	85	84
	UC-PE (mm)	68		(17)	(26)	12	19	41		(19)	(26)	0	51
Trigo/ Cebada	Necesidad Neta de Riego (m ³ /ha)	680				120	190	410			0	510	1,910
	Modulo de Irrigación (l/s/ha)	0.26				0.05	0.07	0.16			0.00	0.20	--
	Cocficiente de Cultivo (K)	0.7		0.2	0.4	0.7	0.9	0.7		0.2	0.4	0.7	0.9
	Uso Consuntivo, UC (mm)	65		19	34	59	69	58		16	34	59	76
Trigo/ Cebada	UC-PE (mm)	49		(35)	(52)	(14)	11	24		(35)	(52)	(26)	43
	Necesidad Neta de Riego (m ³ /ha)	490					110	240				430	1,270
	Modulo de Irrigación (l/s/ha)	0.19					0.04	0.09				0.17	--

Fuente: Ref. 1)

Tabla C.1.2 Módulos de Consumo de Irrigación para la Cuenca del Río Susa

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
Cultivos	Precipitación (mm)	24	39	95	166	122	75	45	53	80	159	51	1,050	
	Evapotranspiración (mm)	89	79	82	81	80	74	82	81	80	78	82	966	
	Precipitación Efectiva, PE (mm)	15	28	78	81	80	57	32	40	60	78	78	42	669
Pasturas	Coefficiente de Cultivo (K)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
	Uso Consuntivo, UC (mm)	89	79	82	81	80	74	82	81	80	78	78	966	
	UC-PE (mm)	74	51	4	0	0	17	50	41	20	0	0	297	
	Necesidad Neta de Riego (m ³ /ha)	740	510	40	0	0	170	500	410	200	0	0	3,044	
	Modulo de Irrigación (l/s/ha)	0.28	0.21	0.02	0.00	0.00	0.07	0.19	0.16	0.08	0.00	0.00	0.15	--
Papa	Coefficiente de Cultivo (K)	0.4		0.4	0.9	1.0	0.9	0.4		0.4	0.9	1.0	0.9	
	Uso Consuntivo, UC (mm)	36		33	73	80	67	33		32	70	78	576	
	UC-PE (mm)	21		(45)	(8)	0	10	1		(28)	(8)	0	32	(25)
	Necesidad Neta de Riego (m ³ /ha)	210				0	100	10				0	320	640
	Modulo de Irrigación (l/s/ha)	0.08				0.00	0.04	0.00				0.00	0.12	--
Maiz	Coefficiente de Cultivo (K)	0.9		0.4	0.7	1.0	1.0	0.9		0.4	0.7	1.0	1.0	
	Uso Consuntivo, UC (mm)	80		33	57	80	74	74		32	55	78	645	
	UC-PE (mm)	65		(45)	(24)	0	17	42		(28)	(23)	0	44	
	Necesidad Neta de Riego (m ³ /ha)	650				0	170	420				0	1,640	
	Modulo de Irrigación (l/s/ha)	0.25				0.00	0.07	0.16				0.00	0.15	--
Trigo/ Cebada	Coefficiente de Cultivo (K)	0.7		0.2	0.4	0.7	0.9	0.7		0.2	0.4	0.7	0.9	
	Uso Consuntivo, UC (mm)	62		16	32	56	67	57		16	31	55	466	
	UC-PE (mm)	47		(62)	(49)	(24)	10	25		(44)	(47)	(23)	32	(135)
	Necesidad Neta de Riego (m ³ /ha)	470				100	250					320	1,140	
	Modulo de Irrigación (l/s/ha)	0.18				0.04	0.10					0.12	--	

Fuente: Ref. 1)

Tabla C.1.3 Módulos de Consumo de Irrigación para la Cuenca del Río Simijaca

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Ene	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Precipitación (mm)	24	38	93	164	120	73	44	52	78	157	138	51	1,032
Evapotranspiración (mm)	92	82	85	84	83	76	85	84	83	81	81	85	1,001
Precipitación Efectiva, PE (mm)	15	26	76	84	83	55	30	38	58	81	81	42	669
Coefficiente de Cultivo (K)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
Uso Consuntivo, UC (mm)	92	82	85	84	83	76	85	84	83	81	81	85	1,001
UC-PE (mm)	77	56	9	0	0	21	55	46	25	0	0	43	332
Necesidad Neta de Riego (m ³ /ha)	770	560	90	0	0	210	550	460	250	0	0	430	3,385
Modulo de Irrigación (l/s/ha)	0.29	0.23	0.03	0.00	0.00	0.08	0.21	0.18	0.10	0.00	0.00	0.17	--
Coefficiente de Cultivo (K)	0.4		0.4	0.9	1.0	0.9	0.4		0.4	0.9	1.0	0.9	
Uso Consuntivo, UC (mm)	37		34	76	83	68	34		33	73	81	77	595
UC-PE (mm)	22		(42)	(8)	0	13	4		(25)	(8)	0	35	(9)
Necesidad Neta de Riego (m ³ /ha)	220				0	130	40				0	350	740
Modulo de Irrigación (l/s/ha)	0.08				0.00	0.05	0.02				0.00	0.13	--
Coefficiente de Cultivo (K)	0.9		0.4	0.7	1.0	1.0	0.9		0.4	0.7	1.0	1.0	
Uso Consuntivo, UC (mm)	83		34	59	83	76	77		33	57	81	85	667
UC-PE (mm)	68		(42)	(25)	0	21	47		(25)	(24)	0	43	63
Necesidad Neta de Riego (m ³ /ha)	680				0	210	470				0	430	1,788
Modulo de Irrigación (l/s/ha)	0.25				0.00	0.08	0.18				0.00	0.16	--
Coefficiente de Cultivo (K)	0.7		0.2	0.4	0.7	0.9	0.7		0.2	0.4	0.7	0.9	
Uso Consuntivo, UC (mm)	64		17	34	58	68	59		17	32	57	77	483
UC-PE (mm)	49		(59)	(50)	(25)	13	29		(41)	(49)	(24)	35	(122)
Necesidad Neta de Riego (m ³ /ha)	490					130	290					350	1,260
Modulo de Irrigación (l/s/ha)	0.18					0.05	0.11					0.13	--

Fuente: Ref. 1)

Tabla C.1.4 Módulos de Consumo de Irrigación para la Cuenca del Río Chiquinquirá

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
Cultivos	Precipitación (mm)	38	47	93	150	113	79	57	83	141	136	60	1,047	
	Evapotranspiración (mm)	85	82	91	81	82	76	82	79	82	79	81	982	
	Precipitación Efectiva, PE (mm)	28	36	81	81	82	64	43	38	66	82	79	47	727
Pasturas	Coefficiente de Cultivo (K)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	Uso Consuntivo, UC (mm)	85	82	91	81	82	76	82	79	82	79	81	982	
	UC-PE (mm)	57	46	10	0	0	12	39	44	13	0	0	34	255
	Necesidad Neta de Riego (m ³ /ha)	570	460	100	0	0	120	390	440	130	0	0	340	2,550
	Modulo de Irrigación (l/s/ha)	0.21	0.19	0.04	0.00	0.00	0.05	0.15	0.17	0.05	0.00	0.00	0.13	--
Papa	Coefficiente de Cultivo (K)	0.4		0.4	0.9	1.0	0.9	0.4		0.4	0.9	1.0	0.9	
	Uso Consuntivo, UC (mm)	34		36	73	82	68	33		32	74	79	73	584
	UC-PE (mm)	6		(45)	(8)	0	4	(10)		(34)	(8)	0	26	(69)
	Necesidad Neta de Riego (m ³ /ha)	60				0	40					0	260	360
	Modulo de Irrigación (l/s/ha)	0.02				0.00	0.02					0.00	0.10	--
Maiz	Coefficiente de Cultivo (K)	0.9		0.4	0.7	1.0	1.0	0.9		0.4	0.7	1.0	1.0	
	Uso Consuntivo, UC (mm)	77		36	57	82	76	74		32	57	79	81	651
	UC-PE (mm)	49		(45)	(24)	0	12	31		(34)	(25)	0	34	(2)
	Necesidad Neta de Riego (m ³ /ha)	490				0	120	310				0	340	1,260
	Modulo de Irrigación (l/s/ha)	0.19				0.00	0.05	0.12				0.00	0.13	--
Trigo/ Cebada	Coefficiente de Cultivo (K)	0.7		0.2	0.4	0.7	0.9	0.7		0.2	0.4	0.7	0.9	
	Uso Consuntivo, UC (mm)	59		18	32	57	68	57		16	33	55	73	468
	UC-PE (mm)	31		(63)	(49)	(25)	4	14		(50)	(49)	(24)	26	(185)
	Necesidad Neta de Riego (m ³ /ha)	310					40	140					260	750
	Modulo de Irrigación (l/s/ha)	0.12					0.02	0.05					0.10	--

Fuente: Ref. 1)

Tabla C.1.5 Módulos de Consumo de Irrigación para la Cuenca del Río Suárez

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Precipitación (mm)	40	50	98	159	119	83	60	53	87	149	144	62	1,104
Evapotranspiración (mm)	90	87	97	85	86	79	87	86	81	86	81	85	1,030
Precipitación Efectiva, PE (mm)	29	38	85	85	86	67	43	41	70	86	81	49	760
Coefficiente de Cultivo (K)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
Uso Consuntivo, UC (mm)	90	87	97	85	86	79	87	86	81	86	81	85	1,030
UC-PE (mm)	61	49	12	0	0	12	44	45	11	0	0	36	270
Necesidad Neta de Riego (m ³ /ha)	610	490	120	0	0	120	440	450	110	0	0	360	2,757
Modulo de Irrigación (l/s/ha)	0.23	0.20	0.05	0.00	0.00	0.05	0.17	0.17	0.04	0.00	0.00	0.14	--
Coefficiente de Cultivo (K)	0.9		0.4	0.7	1.0	1.0	0.9		0.4	0.7	1.0	1.0	
Uso Consuntivo, UC (mm)	81		39	59	86	79	78		32	60	81	85	681
UC-PE (mm)	52		(46)	(26)	0	12	35		(38)	(26)	0	36	(1)
Necesidad Neta de Riego (m ³ /ha)	520				0	120	350				0	360	1,389
Modulo de Irrigación (l/s/ha)	0.19				0.00	0.05	0.14				0.00	0.14	--

Fuente: Ref. 1)

Tabla C.1.6 Resultados de la Encuesta sobre el Sistema de Suministro de Agua

Municipio (Organización)	Sistema de Captación	Fuente de Agua	Proceso de Tratamiento*	Zona Urbana		Zona Rural		Volumen Promedio de Agua Cruda	
				Población (habitantes)	Servida (%)	Población (habitantes)	Servida (%)	Volumen Captado(m ³) [lit./por persona por día]	
1. Carmen de Carupa (Oficina de Servicio Público)	Desviación	R. Playa	Se, Ar	1,500	100	6,000	0	15,000	[330]
2. Ubaté (Oficina de Servicio Público)	Desviación	R. Ubate	Se, Fl, Fi, Ch	17,500	100	4,500	31	196,992	[350]
3. Tausa (Municipio)	Desviación	Q. Chapeton	Se, Fi, Ch	700	100	n. d.	n. d.	7,350	[350]
4. Sutatausa (Oficina de Servicio Público)	Desviación	Surface	Se, Fl, Fi, Ch	1,104	98	3,438	1	18,144	[540]
5. Cucunubá (Municipio)	Desviación	Q. LachorPEra	Se, Fl, Fi, Ch	927	100	7,514**	7	5,068	[120]
6. Lenguazaque (Municipio)	Desviación	R. Lenguazaque	Se, Fl, Fi, Ch	1,780	100	8,700	1	31,104	[560]
7. Guachetá (Oficina de Planeación Municipal)	Desviación	Q. Honda	Se, Fl, Fi, Ch	3,365	100	8,463	71	31,120 (urbano)	[310]
8. San Miguel de Sema (Oficina de Planeación Municipal)	Desviación	Q. La Cortadera	Se, Fl, Fi, Ch	536	100	4,500	72	49,065	[430]
9. Fúquene (Oficina de Planeación Municipal)	Desviación	Q. El Páramo	Ninguno	495	100	5,000	0	9,338	[144]
10. Susa (Municipio)	Desviación	Q. Nutrias	Ninguno	1,368	100	4,900	20	12,798	[180]
11. Simijaca (Municipio)	Desviación	R. Simijaca	Se, Fl, Fi, Ch	4,215	35	5,600	0.5	7,988	[150]
12. Caldas (Municipio)	Desviación	Q. Ojo de Agua	Se.	285	100	5,500	23	6,187	[134]
13. Chiquinquirá (Empochiquinquirá***)	Estación de Bombeo	R. SuaPEz	Se, Fl, Fi, Ch, Ar	46,566	94	n. d.	n. d.	518,400	[400]
14. Saboyá (Municipio)	Desviación	Q. Cantoco	Se.	1,225	100	16,500	10	6,150	[74]
Total								914,704	

Nota) 1. Fecha de Estudio: Mayo & Octubre de 1999.

2. n. d.: no información.

3. *): Sedimentación, Ar: Aireación, Fl.: Floculación, Fi.: Filtrado, Ch.: Cloración/ Desinfección.

4. **): Información de 1993.

5. ***): Entidad Municipal.

Tabla C.1.7 Cálculo de la Demanda Actual de Agua Doméstica

Municipios	Area	1988 Población (personas)	Sistema Municipal de Abastecimiento de Agua			Abastecimiento de Agua Veredal			Demanda Total del Usuario (m ³ /día)
			Factor de Servicio	Consumo (l/persona-día)	Demanda del Usuario (Lt-día)	Factor de Servicio	Consumo (l/persona-día)	Demanda del Usuario (Lt-día)	
C. Carupa	Urbano	1,511	1.00	150	226,650	0.00	150	0	227
	Rural	6,130	0.00	125	0	1.00	125	766,250	766
	Sub-total	7,641			226,650			766,250	993
Ubaté	Urbano	16,883	1.00	180	3,038,940	0.00	180	0	3,039
	Rural	22,592	0.31	125	875,440	0.69	125	1,948,560	2,824
	Sub-total	39,475			3,914,380			1,948,560	5,863
Tausa	Urbano	635	1.00	150	95,250	0.00	150	0	95
	Rural	911	0.00	125	0	1.00	125	113,875	114
	Sub-total	1,546			95,250			113,875	209
Sutatausa	Urbano	1,104	0.98	150	162,288	0.02	150	3,312	166
	Rural	3,438	0.01	125	4,298	0.99	125	425,453	430
	Sub-total	4,542			166,586			428,765	596
Cucunubá	Urbano	1,226	1.00	150	183,900	0.00	150	0	184
	Rural	5,996	0.07	125	52,465	0.93	125	697,035	750
	Sub-total	7,222			236,365			697,035	934
Suesca	Urbano	0	1.00	150	0	0.00	150	0	0
	Rural	2,136	0.00	125	0	1.00	125	267,000	267
	Sub-total	2,136			0			267,000	267
Villapinzón	Urbano	0	1.00	165	0	0.00	165	0	0
	Rural	1,330	0.00	125	0	1.00	125	166,250	166
	Sub-total	1,330			0			166,250	166
Lenguazaque	Urbano	2,133	1.00	150	319,950	0.00	150	0	320
	Rural	7,764	0.01	125	9,705	0.99	125	960,795	971
	Sub-total	9,897			329,655			960,795	1,291
Guachetá	Urbano	3,621	1.00	150	543,150	0.00	150	0	543
	Rural	8,717	0.71	125	773,634	0.29	125	315,991	1,090
	Sub-total	12,338			1,316,784			315,991	1,633
S. M. de Sem.	Urbano	525	1.00	150	78,750	0.00	150	0	79
	Rural	3,967	0.72	125	357,030	0.28	125	138,845	496
	Sub-total	4,492			435,780			138,845	575
Ráquira	Urbano	0	1.00	150	0	0.00	150	0	0
	Rural	2,325	0.00	125	0	1.00	125	290,625	291
	Sub-total	2,325			0			290,625	291
Fúquene	Urbano	348	1.00	150	52,200	0.00	150	0	52
	Rural	5,129	0.00	125	0	1.00	125	641,125	641
	Sub-total	5,477			52,200			641,125	693
Susa	Urbano	1,368	1.00	150	205,200	0.00	150	0	205
	Rural	4,893	0.20	125	122,325	0.80	125	489,300	612
	Sub-total	6,261			327,525			489,300	817
Simijaca	Urbano	4,215	0.35	150	221,288	0.65	150	410,963	632
	Rural	5,556	0.005	125	3,473	0.995	125	691,028	695
	Sub-total	9,771			224,761			1,101,991	1,327
Caldas	Urbano	275	1.00	150	41,250	0.00	150	0	41
	Rural	5,501	0.23	125	158,154	0.77	125	529,471	688
	Sub-total	5,776			199,404			529,471	729
Chiquinquirá	Urbano	41,021	0.94	195	7,519,149	0.06	195	479,946	7,999
	Rural	6,609	0.00	125	0	1.00	125	826,125	826
	Sub-total	47,630			7,519,149			1,306,071	8,825
Saboyá	Urbano	979	1.00	150	146,850	0.00	150	0	147
	Rural	12,101	0.10	125	151,263	0.90	125	1,361,363	1,513
	Sub-total	13,080			298,113			1,361,363	1,660
	Urbano	75,844			12,834,815			894,221	13,729
	Rural	105,095			2,507,787			10,629,091	13,140
	Total	180,939			15,342,602			11,523,312	26,869

Tabla C.2.1 Proyección de la Demanda de Agua Doméstica

Municipios	Area	2010 Población (Personas)	Sistema Municipal de Abastecimiento de Agua			Sistema de Abastecimiento de Agua Veredal			Demanda Total del Usuario (m ³ /día)
			Factor de Servicio	Consumo (l/persona-día)	Demanda del Usuario(l/día)	Factor de Servicio	Consumo (l/persona-día)	Demanda del Usuario (l/día)	
C.Carupa	Urbano	2,192	1.00	150	328,800	0.00	150	0	329
	Rural	6,358	0.00	125	0	1.00	125	794,750	795
	Sub-total	8,550			328,800			794,750	1,124
Ubaté	Urbano	22,883	1.00	195	4,462,185	0.00	195	0	4,462
	Rural	26,499	0.31	125	1,026,836	0.69	125	2,285,539	3,312
	Sub-total	49,382			5,489,021			2,285,539	7,774
Tausa	Urbano	1,074	1.00	150	161,100	0.00	150	0	161
	Rural	911	0.00	125	0	1.00	125	113,875	114
	Sub-total	1,985			161,100			113,875	275
Sutatausa	Urbano	1,476	0.98	150	216,972	0.02	150	4,428	221
	Rural	3,646	0.01	125	4,558	0.99	125	451,193	456
	Sub-total	5,122			221,530			455,621	677
Cucunubá	Urbano	2,048	1.00	150	307,200	0.00	150	0	307
	Rural	6,822	0.07	125	59,693	0.93	125	793,058	853
	Sub-total	8,870			366,893			793,058	1,160
Suesca	Urbano	0	1.00	165	0	0.00	165	0	0
	Rural	2,660	0.00	125	0	1.00	125	332,500	333
	Sub-total	2,660			0			332,500	333
Villapinzón	Urbano	0	1.00	165	0	0.00	165	0	0
	Rural	1,346	0.00	125	0	1.00	125	168,250	168
	Sub-total	1,346			0			168,250	168
Lenguazaque	Urbano	2,800	1.00	150	420,000	0.00	150	0	420
	Rural	7,913	0.01	125	9,891	0.99	125	979,234	989
	Sub-total	10,713			429,891			979,234	1,409
Guachetá	Urbano	4,602	1.00	150	690,300	0.00	150	0	690
	Rural	9,113	0.71	125	808,779	0.29	125	330,346	1,139
	Sub-total	13,715			1,499,079			330,346	1,829
S. M. de Sema	Urbano	730	1.00	150	109,500	0.00	150	0	110
	Rural	3,936	0.72	125	354,240	0.28	125	137,760	492
	Sub-total	4,666			463,740			137,760	602
Ráquira	Urbano	0	1.00	150	0	0.00	150	0	0
	Rural	2,674	0.00	125	0	1.00	125	334,250	334
	Sub-total	2,674			0			334,250	334
Fúquene	Urbano	713	1.00	150	106,950	0.00	150	0	107
	Rural	5,308	0.00	125	0	1.00	125	663,500	664
	Sub-total	6,021			106,950			663,500	771
Susa	Urbano	1,765	1.00	150	264,750	0.00	150	0	265
	Rural	4,903	0.20	125	122,575	0.80	125	490,300	613
	Sub-total	6,668			387,325			490,300	878
Simijaca	Urbano	5,048	0.35	165	291,522	0.65	165	541,398	833
	Rural	5,761	0.005	125	3,601	0.995	125	716,524	720
	Sub-total	10,809			295,123			1,257,922	1,553
Caldas	Urbano	621	1.00	150	93,150	0.00	150	0	93
	Rural	5,351	0.23	125	153,841	0.77	125	515,034	669
	Sub-total	5,972			246,991			515,034	762
Chiquinquirá	Urbano	48,364	0.94	195	8,865,121	0.06	195	565,859	9,431
	Rural	6,887	0.00	125	0	1.00	125	860,875	861
	Sub-total	55,251			8,865,121			1,426,734	10,292
Saboyá	Urbano	1,616	1.00	150	242,400	0.00	150	0	242
	Rural	10,480	0.10	125	131,000	0.90	125	1,179,000	1,310
	Sub-total	12,096			373,400			1,179,000	1,552
Total	Urbano	95,932			16,559,950			1,111,685	17,671
	Rural	110,568			2,675,014			11,145,988	13,822
	Total	206,500			19,234,964			12,257,673	31,493

Tabla C.2.2 Demanda Actual y Proyectada de Agua en los Mataderos

Municipios	Población 1998 (personas)	Población 2010 (personas)	Rata de Crecimiento	Sistema Municipal de Abastecimiento de Agua (1999)				Sistema Municipal (2010)
				Animal	Sacrificio (cabezas/sem)	Consumo (l/cabeza)	Demanda del Usuario (l/sem.)	Demanda (m ³ /semana)
C.Carupa	7,641	8,550	1.12	Bovino	15	500	7,500	8
Ubaté	39,475	49,382	1.25	Bovino	150	500	75,000	
				Porcino	72	250	18,000	
				Ovino	72	200	14,400	
				Sub-total	294		107,400	
Tausa	1,546	1,985	1.28	--				0
Sutatausa	4,542	5,122	1.13	Bovino	11	500	5,500	6
Cucunubá	7,222	8,870	1.23	Bovino	5	500	2,500	3
Suesca	2,136	2,660	1.25	--				0
Villapinzón	1,330	1,346	1.01	--				0
Lenguazaque	9,897	10,713	1.08	Bovino	24	500	12,000	13
Guachetá	12,338	13,715	1.11	Bovino	21	500	10,500	12
S. M. de Sema	4,492	4,666	1.04	Bovino	2	500	1,000	1
Ráquira	2,325	2,674	1.15	--				0
Fúquene	5,477	6,021	1.10	Bovino	21	500	10,500	12
Susa	6,261	6,668	1.07	Bovino	22	500	11,000	12
Simijaca	9,771	10,809	1.11	Bovino	35	500	17,500	19
Caldas	5,776	5,972	1.03	Bovino	4	500	2,000	2
Chiquinquirá	47,630	55,251	1.16	Bovino	115	500	57,500	67
Saboyá	13,080	12,096	0.92	Bovino	21	500	10,500	10
Total	180,939	206,500	1.14		884		249,900	299

Tabla C.2.3 Demanda Actual y Proyectada de Agua en la Fabricación de Derivados Lácteos

Municipios	Producción (1998)		Consumo		Demanda del Usuario 1998 (m ³ /día)		Demanda del Usuario 1998 (m ³ /día)			Demanda del Usuario 2010 (m ³ /día)			
	(Unidad)	(Unidad)	(Unidad)	(Unidad)	*Sistema Municipal	**Sistema Veredal, Pozos, Ríos	Total	*Sistema Municipal	**Sistema Veredal, Pozos, Ríos	Total	*Sistema Municipal	**Sistema Veredal, Pozos, Ríos	Total
C. Carupa	--												
Ubaté		153,333 l/día	3,500 l/ton	536.7									
Queso		2,723 kg/día	15,000 l/ton	40.8									
Yogurth		14,878 l/día	24,000 l/ton	357.1									
Sub-total				934.6	803.8	130.8	934.6				836.0	136.0	972.0
Tausa		44 kg/día	15,000 l/ton	0.7									
Yogurth		15 l/día	24,000 l/ton	0.4									
Sub-total				1.1	0.9	0.2	1.1	0.9	0.2	1.1	0.9	0.2	1.1
Suitausa	--			0.0									
Cucunubá	--			0.0									
Suesca	--			0.0									
Villapinzón	--			0.0									
Lenguazaque	--			0.0									
Guachetá		44 kg/día	15,000 l/ton	0.7									
Yogurth		15 l/día	24,000 l/ton	0.4									
Sub-total				1.1	0.9	0.2	1.1	0.9	0.2	1.1	0.9	0.2	1.1
S. M. de Sema		37,750 l/día	3,500 l/ton	132.1	113.6	18.5	132.1	118.1	19.2	137.3			
Ráquira	--			0.0									
Leche		73,333 l/día	3,500 l/ton	256.7									
Queso		675 kg/día	15,000 l/ton	10.1									
Yogurth		7,208 l/día	24,000 l/ton	173.0									
Sub-total				439.8	378.2	61.6	439.8	393.3	64.1	457.4			
Susa	--			0.0									
Leche		191,083 l/día	3,500 l/ton	668.8									
Queso		1,394 kg/día	15,000 l/ton	20.9									
Yogurth		14,431 l/día	24,000 l/ton	346.3									
Sub-total				1036.0	891.0	145.0	1,036.0	926.6	150.8	1,077.4			
Caldas	--			0.0									
Queso		440 kg/día	15,000 l/ton	6.6									
Yogurth		150 l/día	24,000 l/ton	3.6									
Sub-total				10.2	8.8	1.4	10.2	9.2	1.5	10.7			
Saboyá	--			0.0									
Total				2,554.9	2,197.2	357.7	2,554.9	2,285.0	372.0	2,657.0			

Nota:

* El sistema de suministro de agua municipal sirve al 86 % del consumo de agua.

** El sistema de suministro de agua veredal, pozos, ríos y corrientes, sirve al 14 % del consumo de agua.

*** El sector de Industrias Lácteas, se incrementará de 1998 al 2010 en el 4%.

Tabla C.3.1 Resultado del Análisis del Balance del Agua en Condiciones Actuales

(Unidad: '000 m³)

Nombre del Sector	Area Bruta (ha)	Promedio Anual de Fuentes de Agua		Promedio Anual de Demanda de Agua				Deficit	Superavit	Deficit Probable Anual*			
		Escorrentía	Embalse/Laguna	Total	Irrigación	Ganadería	Municipal			Total	1° (1/20)	2° (1/10)	4° (1/5)
1. Suta	832	11,552	0	11,552	5,067	21	0	5,088	2,049	8,513	3,470	2,700	2,442
		14	0	14	6	0	0	6	2	10	4	3	3
2. Cap-1**	634	39,713	42	39,755	4,290	16	2,398	6,704	0	33,051	0	0	0
		63	0	63	7	0	4	11	0	52	0	0	0
3. Cucumbá	1,892	4,463	7,332	11,795	9,218	47	0	9,265	0	2,530	0	0	0
		2	4	6	5	0	0	5	0	1	0	0	0
4. Lenguazaque	1,751	40,979	0	40,979	10,664	43	0	10,707	1,219	31,490	3,320	3,024	2,464
		23	0	23	6	0	0	6	1	18	2	2	1
5. Cap-2	316	40,457	72	40,529	2,138	39	0	2,177	0	38,351	0	0	0
		128	0	128	7	0	0	7	0	121	0	0	0
6. Mariño	700	1,344	0	1,344	4,263	17	0	4,280	3,652	716	3,953	3,942	3,826
		2	0	2	6	0	0	6	5	1	6	6	5
7. Mariño-Ubaté	387	95,937	0	95,937	2,357	10	0	2,366	0	93,570	0	0	0
		248	0	248	6	0	0	6	0	242	0	0	0
8. Fúquene	2,537	17,815	9,479	27,294	15,451	63	0	15,514	0	11,780	0	0	0
		7	4	11	6	0	0	6	0	5	0	0	0
9. Honda	509	20,163	431	20,594	3,100	13	0	3,113	0	17,482	0	0	0
		40	1	40	6	0	0	6	0	34	0	0	0
10. Susa	563	12,023	0	12,023	2,678	14	0	2,692	641	9,972	1,621	1,435	972
		21	0	21	5	0	0	5	1	18	3	3	2
11. Suárez***	8,309	160,345	21,804	182,149	30,320	128	6,312	36,760	0	145,390	0	0	0
		19	3	22	4	0	1	4	0	17	0	0	0
13. Viejo-Suárez	228	278	0	278	982	6	0	988	877	168	938	934	928
		1	0	1	4	0	0	4	4	1	4	4	4
14. Madrón	1,359	11,907	0	11,907	5,854	34	0	5,888	2,893	8,912	4,718	4,635	4,520
		9	0	9	4	0	0	4	2	7	3	3	3
15. Merchán	320	9,273	0	9,273	1,379	8	0	1,387	259	8,145	870	826	693
		29	0	29	4	0	0	4	1	25	3	3	2
Total	20,337	--	39,160	--	97,761	459	8,710	106,929	11,590	--	--	--	--

Nota: * Los 1°, 2° y 4° valores de deficit anuales en 20 años (orden descendiente) corresponden a 20, 10 y 5 años de valores probables, respectivamente.

** Municipal: Ubaté, *** Municipal: Chiquinquirá. 1. Las Cifras inferiores son medias de valor bruto por ha.

Tabla C.3.2 Suministro de Agua del Embalse del Hato en Condiciones Actuales

Mes	Descarga Necesaria de Agua del Embalse del Hato ('000 m ³ /mes)*												Intervalo de Retorno ('000 m ³)**			Descarga CAR ('000 m ³ /mes)								
	'78	'79	'80	'81	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92		'93	'94	'95	'96	'97	1/20	1/10	1/5
Ene.	0	109	0	0	564	238	24	0	173	0	65	0	0	0	42	0	0	0	0	0	564	238	109	1,300-1,600
Feb.	0	30	0	0	182	0	0	0	17	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	182	30	17	1,200-1,500
Mar.	0	0	0	0	109	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	109	6	0	1,300-1,600
Abr.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	closed
May.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49	0	49	0	0	closed
Jun.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,300-1,600
Jul.	0	0	0	0	116	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	116	0	0	1,300-1,600
Ago.	0	0	0	0	201	12	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	201	12	0	1,300-1,600
Sep.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	closed
Oct.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	closed
Nov.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	closed
Dic.	0	0	0	0	46	0	0	0	0	0	181	0	0	0	0	0	0	0	0	0	181	82	0	1,300-1,600

Nota: * Incluido irrigación y uso de agua para Ubaté. Estos valores son derivados del análisis del Balance de Agua.

** Los valores 1°, 2° y 4° en 20 años (en orden descendiente) corresponden a 20, 10 y 5 años de valores probables.

Tabla C.3.3 Resultados de la Simulación de Optimización de la Laguna de Fiquene (Condiciones Actuales: Caso-1)

Caso	Nivel de Agua de Operación en Periodo Lluvioso (El. m)																					
	2539.5			2539.3			2539.1			2538.9			2538.7			2538.5			2538.3			
2539.5	MAX	1/2	39.85	MAX	1/2	39.78	MAX	1/2	39.71	MAX	1/2	39.67	MAX	1/2	39.65	MAX	1/2	39.64	MAX	1/2	39.64	
	1/5	40.10	1/5	40.04	1/5	39.99	1/5	39.97	1/5	39.97	1/5	39.97	1/5	39.95	1/5	39.95	1/5	39.95	1/5	39.95	1/5	39.95
2539.3	1/10	40.27	1/10	40.21	1/10	40.18	1/10	40.18	1/10	40.18	1/10	40.17	1/10	40.15	1/10	40.15	1/10	40.15	1/10	40.15	1/10	40.15
	1/20	40.43	1/20	40.38	1/20	40.37	1/20	40.37	1/20	40.37	1/20	40.37	1/20	40.35	1/20	40.35	1/20	40.35	1/20	40.35	1/20	40.35
2539.1	MIN	1/2	39.06	MIN	1/2	38.98	MIN	1/2	38.85	MIN	1/2	38.75	MIN	1/2	38.68	MIN	1/2	38.64	MIN	1/2	38.64	
	1/5	38.89	1/5	38.81	1/5	38.81	1/5	38.64	1/5	38.54	1/5	38.54	1/5	38.45	1/5	38.45	1/5	38.40	1/5	38.40	1/5	38.40
2538.9	1/10	38.82	1/10	38.73	1/10	38.56	1/10	38.56	1/10	38.56	1/10	38.45	1/10	38.45	1/10	38.36	1/10	38.29	1/10	38.29	1/10	38.29
	1/20	38.76	1/20	38.68	1/20	38.49	1/20	38.49	1/20	38.49	1/20	38.38	1/20	38.22	1/20	38.22	1/20	38.22	1/20	38.22	1/20	38.22
2538.7	MODA	39.4-39.5	MODA	39.3-39.4	MODA	39.4-39.5	MODA	39.4-39.5	MODA	39.4-39.5	MODA	39.4-39.5	MODA	39.4-39.5	MODA	39.4-39.5	MODA	39.4-39.5	MODA	39.4-39.5	MODA	39.4-39.5
	CAV.	1.0	CAV.	1.1	CAV.	4.2	CAV.	4.2	CAV.	4.2	CAV.	5.4	CAV.	7.6	CAV.	9.1	CAV.	9.1	CAV.	9.1	CAV.	9.1
2538.5	MAX	1/2	39.72	MAX	1/2	39.72	MAX	1/2	39.65	MAX	1/2	39.62	MAX	1/2	39.61	MAX	1/2	39.60	MAX	1/2	39.60	
	1/5	40.00	1/5	40.00	1/5	39.95	1/5	39.95	1/5	39.92	1/5	39.92	1/5	39.92	1/5	39.91	1/5	39.91	1/5	39.91	1/5	39.91
2538.3	1/10	40.19	1/10	40.19	1/10	40.14	1/10	40.14	1/10	40.14	1/10	40.13	1/10	40.12	1/10	40.11	1/10	40.11	1/10	40.11	1/10	40.11
	1/20	40.37	1/20	40.37	1/20	40.33	1/20	40.33	1/20	40.33	1/20	40.32	1/20	40.31	1/20	40.30	1/20	40.30	1/20	40.30	1/20	40.30
2538.1	MIN	1/2	38.85	MIN	1/2	38.85	MIN	1/2	38.77	MIN	1/2	38.68	MIN	1/2	38.62	MIN	1/2	38.58	MIN	1/2	38.58	
	1/5	38.69	1/5	38.62	1/5	38.60	1/5	38.60	1/5	38.50	1/5	38.50	1/5	38.42	1/5	38.42	1/5	38.36	1/5	38.36	1/5	38.36
2538.9	1/10	38.62	1/10	38.62	1/10	38.52	1/10	38.52	1/10	38.42	1/10	38.42	1/10	38.33	1/10	38.26	1/10	38.26	1/10	38.26	1/10	38.26
	1/20	38.57	1/20	38.57	1/20	38.47	1/20	38.47	1/20	38.42	1/20	38.36	1/20	38.27	1/20	38.20	1/20	38.19	1/20	38.19	1/20	38.19
2538.7	MODA	39.2-39.3	MODA	39.2-39.3	MODA	39.2-39.3	MODA	39.2-39.3	MODA	39.2-39.3	MODA	39.2-39.3	MODA	39.2-39.3	MODA	39.2-39.3	MODA	39.2-39.3	MODA	39.2-39.3	MODA	39.2-39.3
	CAV.	27.4	CAV.	27.4	CAV.	25.1	CAV.	25.1	CAV.	21.7	CAV.	6.6	CAV.	9.1	CAV.	10.7	CAV.	10.7	CAV.	10.7	CAV.	10.7
2538.5	MAX	1/2	39.61	MAX	1/2	39.61	MAX	1/2	39.57	MAX	1/2	39.57	MAX	1/2	39.55	MAX	1/2	39.54	MAX	1/2	39.53	
	1/5	39.91	1/5	39.91	1/5	39.88	1/5	39.88	1/5	39.88	1/5	39.88	1/5	39.87	1/5	39.86	1/5	39.86	1/5	39.86	1/5	39.86
2538.3	1/10	40.12	1/10	40.12	1/10	40.12	1/10	40.12	1/10	40.08	1/10	40.08	1/10	40.08	1/10	40.08	1/10	40.08	1/10	40.08	1/10	40.08
	1/20	40.31	1/20	40.31	1/20	40.28	1/20	40.28	1/20	40.28	1/20	40.28	1/20	40.28	1/20	40.29	1/20	40.29	1/20	40.29	1/20	40.29
2538.1	MIN	1/2	38.63	MIN	1/2	38.63	MIN	1/2	38.58	MIN	1/2	38.58	MIN	1/2	38.52	MIN	1/2	38.49	MIN	1/2	38.48	
	1/5	38.46	1/5	38.46	1/5	38.46	1/5	38.46	1/5	38.41	1/5	38.41	1/5	38.35	1/5	38.30	1/5	38.29	1/5	38.29	1/5	38.29
2538.9	1/10	38.39	1/10	38.39	1/10	38.39	1/10	38.39	1/10	38.34	1/10	38.34	1/10	38.28	1/10	38.22	1/10	38.21	1/10	38.21	1/10	38.21
	1/20	38.33	1/20	38.33	1/20	38.29	1/20	38.29	1/20	38.29	1/20	38.29	1/20	38.22	1/20	38.17	1/20	38.15	1/20	38.15	1/20	38.15
2538.7	MODA	39.0-39.1	MODA	39.0-39.1	MODA	39.0-39.1	MODA	39.0-39.1	MODA	39.0-39.1	MODA	39.0-39.1	MODA	39.0-39.1	MODA	39.0-39.1	MODA	39.0-39.1	MODA	39.0-39.1	MODA	39.0-39.1
	CAV.	10.6	CAV.	10.6	CAV.	10.6	CAV.	11.6	CAV.	11.6	CAV.	13.3	CAV.	14.7	CAV.	14.7	CAV.	14.7	CAV.	14.7	CAV.	15.1
2538.5	MAX	1/2	39.53	MAX	1/2	39.53	MAX	1/2	39.53	MAX	1/2	39.53	MAX	1/2	39.50	MAX	1/2	39.50	MAX	1/2	39.49	
	1/5	39.84	1/5	39.84	1/5	39.84	1/5	39.84	1/5	39.84	1/5	39.84	1/5	39.83	1/5	39.82	1/5	39.82	1/5	39.82	1/5	39.82
2538.3	1/10	40.05	1/10	40.05	1/10	40.05	1/10	40.05	1/10	40.05	1/10	40.05	1/10	40.04	1/10	40.03	1/10	40.03	1/10	40.03	1/10	40.03
	1/20	40.25	1/20	40.25	1/20	40.25	1/20	40.25	1/20	40.25	1/20	40.25	1/20	40.24	1/20	40.24	1/20	40.24	1/20	40.24	1/20	40.24
2538.1	MIN	1/2	38.46	MIN	1/2	38.46	MIN	1/2	38.46	MIN	1/2	38.46	MIN	1/2	38.43	MIN	1/2	38.41	MIN	1/2	38.40	
	1/5	38.30	1/5	38.30	1/5	38.30	1/5	38.30	1/5	38.30	1/5	38.30	1/5	38.27	1/5	38.23	1/5	38.23	1/5	38.23	1/5	38.23
2538.9	1/10	38.23	1/10	38.23	1/10	38.23	1/10	38.23	1/10	38.23	1/10	38.23	1/10	38.20	1/10	38.16	1/10	38.16	1/10	38.16	1/10	38.16
	1/20	38.18	1/20	38.18	1/20	38.18	1/20	38.18	1/20	38.18	1/20	38.18	1/20	38.15	1/20	38.10	1/20	38.10	1/20	38.10	1/20	38.10
2538.7	MODA	38.8-38.9	MODA	38.8-38.9	MODA	38.8-38.9	MODA	38.8-38.9	MODA	38.8-38.9	MODA	38.8-38.9	MODA	38.8-38.9	MODA	38.8-38.9	MODA	38.8-38.9	MODA	38.8-38.9	MODA	38.8-38.9
	CAV.	20.7	CAV.	20.7	CAV.	20.7	CAV.	20.7	CAV.	20.7	CAV.	22.0	CAV.	22.0	CAV.	21.7	CAV.	21.7	CAV.	21.7	CAV.	22.0

Nota.: MAX: Nivel de Agua Máximo Anual Probable. MIN: Nivel de Agua Mínimo Anual Probable. Modas: Modas de la Distribución del Nivel de Agua (%).

CAV.: Tasa de periodo de cavitación en la Estación de Bombeo de Chiriquirá (%).

█ : MAX (1/2) es menor que 39.5. █ : Regla Óptima de Operación.

Tabla C.3.5 Resultados de la Simulación de Optimización de la Laguna de Fúquene (Condiciones Actuales: Caso-3)

Caso	Nivel de Agua de Operación en Periodo Lluvioso (El. m)					
	2539.5		2539.3		2539.1	
2539.5	MAX	39.78	39.69	39.61	39.56	2538.9
	1/5	39.98	39.90	39.84	39.81	1/2
2539.3	1/10	40.12	40.03	39.98	39.97	1/10
	1/20	40.25	40.16	40.12	40.13	1/20
2539.1	MIN	39.04	38.98	38.81	38.62	MIN
	1/2	38.88	38.81	38.60	38.40	1/2
2538.9	1/5	38.81	38.73	38.52	38.31	1/5
	1/10	38.76	38.68	38.45	38.24	1/10
2538.7	1/20	31.1	31.1	31.1	31.1	1/20
	CAV.	1.0	1.1	21.1	12.5	CAV.
2538.5	MODA	39.4-39.5	39.3-39.4	39.1-39.2	38.9-39.0	MODA
	CAV.	1.0	1.1	5.0	8.9	CAV.
2539.3	MAX	39.63	39.56	39.45	39.45	MAX
	1/2	39.87	39.79	39.75	39.73	1/2
2539.1	1/5	40.02	39.95	39.91	39.91	1/5
	1/10	40.17	40.10	40.08	40.09	1/10
2538.9	1/20	38.82	38.74	38.59	38.47	1/20
	MIN	38.66	38.56	38.40	38.25	MIN
2538.7	1/5	38.81	38.49	38.31	38.16	1/5
	1/10	38.60	38.49	38.31	38.16	1/10
2538.5	1/20	38.55	38.44	38.25	38.09	1/20
	MODA	39.2-39.3	39.1-39.2	39.2-39.3	39.2-39.3	MODA
2538.3	CAV.	2.4	5.6	9.6	15.6	CAV.
	MAX	39.41	39.48	39.41	39.39	MAX
2538.1	1/5	39.75	39.75	39.69	39.67	1/5
	1/10	39.93	39.93	39.88	39.86	1/10
2537.9	1/20	40.10	40.05	40.03	40.04	1/20
	MIN	38.56	38.50	38.41	38.41	MIN
2537.7	1/2	38.40	38.34	38.23	38.23	1/2
	1/5	38.40	38.34	38.23	38.23	1/5
2537.5	1/10	38.35	38.27	38.15	38.15	1/10
	1/20	38.28	38.22	38.09	38.09	1/20
2537.3	MODA	39.0-39.1	39.0-39.1	39.0-39.1	39.0-39.1	MODA
	CAV.	13.5	15.4	20.5	22.6	CAV.
2537.1	MAX	39.37	39.33	39.33	39.29	MAX
	1/5	39.66	39.62	39.62	39.60	1/5
2536.9	1/10	39.85	39.82	39.82	39.81	1/10
	1/20	40.04	40.00	40.00	40.00	1/20
2536.7	MIN	38.36	38.32	38.32	38.24	MIN
	1/2	38.21	38.16	38.16	38.06	1/2
2536.5	1/5	38.14	38.10	38.10	38.06	1/5
	1/10	38.14	38.10	38.10	38.06	1/10
2536.3	1/20	38.09	38.05	38.05	37.99	1/20
	MODA	38.8-38.9	38.7-38.8	38.7-38.8	38.8-38.9	MODA
2536.1	CAV.	23.7	25.9	31.1	31.3	CAV.
	MAX	39.41	39.48	39.41	39.39	MAX

Nota.: MAX: Nivel de Agua Máximo Anual Probable. MIN: Nivel de Agua Mínimo Anual Probable. MODA: Moda de la Distribución del Nivel de Agua (%).

CAV.: Tasa de periodo de cavitación en la Estación de Bombeo de Chiquinquirá (%).

█ : MAX (1/2) es menor que 39.5. █ : Regla Óptima de Operación.

Tabla C.3.6 Resultados de la Simulación de Optimización de la Laguna de Fúquene (Condiciones Actuales: Caso-4)

Caso	Nivel de Agua de Operación en Periodo Lluvioso (El. m)				2538.7	2538.5
	2539.5	2539.3	2539.1	2538.9		
2539.5	MAX	39.76	39.66	39.59	39.52	
	1/5	39.95	39.84	39.78	39.74	
	1/10	40.08	39.97	39.90	39.89	
	1/20	40.21	40.08	40.03	40.03	
2539.3	MIN	39.05	38.92	38.78	38.56	
	1/5	38.88	38.73	38.58	38.35	
	1/10	38.80	38.65	38.49	38.26	
	1/20	38.75	38.59	38.43	38.20	
2539.1	MODA	39.4-39.5	39.3-39.4	39.1-39.2	38.9-39.0	
	CAV.	30.5	29.5	23.6	14.3	
	1.0	1.7	5.5	11.4		
	MAX	39.59	39.51	39.45	39.48	
2538.9	1/5	39.81	39.72	39.67	39.65	
	1/10	39.95	39.86	39.82	39.81	
	1/20	40.09	40.00	39.96	39.97	
	MIN	38.81	38.73	38.56	38.43	
2539.1	1/5	38.65	38.54	38.35	38.23	
	1/10	38.58	38.47	38.27	38.13	
	1/20	38.53	38.41	38.21	38.06	
	MODA	39.2-39.3	39.1-39.2	38.9-39.0	38.7-38.8	
2539.1	CAV.	30.9	32.1	16.6	14.8	
	3.2	6.0	11.9	18.6		
	MAX	39.44	39.36	39.34	39.34	
	1/5	39.69	39.62	39.59	39.57	
2538.9	1/10	39.86	39.78	39.76	39.76	
	1/20	40.02	39.94	39.92	39.92	
	MIN	38.53	38.48	38.39	38.39	
	1/5	38.37	38.32	38.21	38.21	
2538.9	1/10	38.29	38.24	38.13	38.13	
	1/20	38.24	38.19	38.07	38.07	
	MODA	39.0-39.1	39.0-39.1	39.0-39.1	39.0-39.1	
	CAV.	30.4	34.1	17.9	16.0	
2538.9	14.7	16.4	22.9	27.1		
	MAX	39.31	39.26	39.26	39.23	
	1/5	39.59	39.54	39.52	39.52	
	1/10	39.77	39.72	39.72	39.70	
2538.9	1/20	39.95	39.90	39.90	39.88	
	MIN	38.53	38.53	38.28	38.30	
	1/5	38.17	38.11	38.11	38.01	
	1/10	38.11	38.04	38.04	37.93	
2538.9	1/20	38.06	37.98	37.98	37.87	
	MODA	38.8-38.9	38.8-38.9	38.7-38.8	38.5-38.9	
	CAV.	23.2	23.3	23.3	17.6	
	30.2	33.9	33.9	34.0		

Nota.: MAX: Nivel de Agua Máximo Anual Probable. MIN: Nivel de Agua Mínimo Anual Probable. Modas: Modas de la Distribución del Nivel de Agua (%).

CAV.: Tasa de periodo de cavitación en la Estación de Bombeo de Chiquinquira (%).

█ : MAX (1/2) es menor que 39.5. █ : Regla Óptima de Operación.