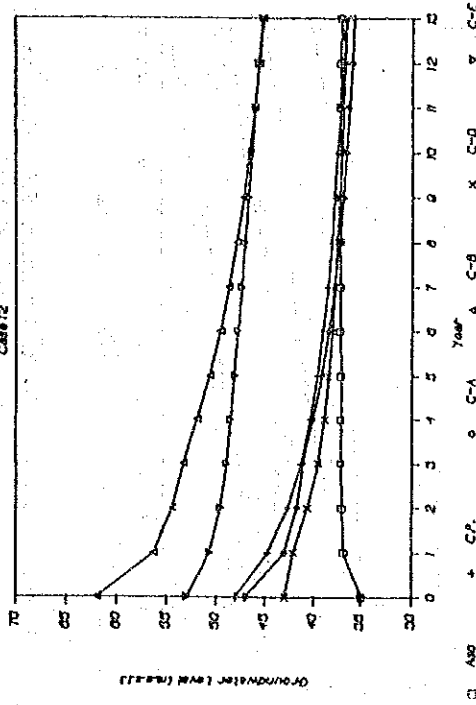


Nivel Simulado de Agua Subterranea



Nivel Simulado de Agua Subterranea

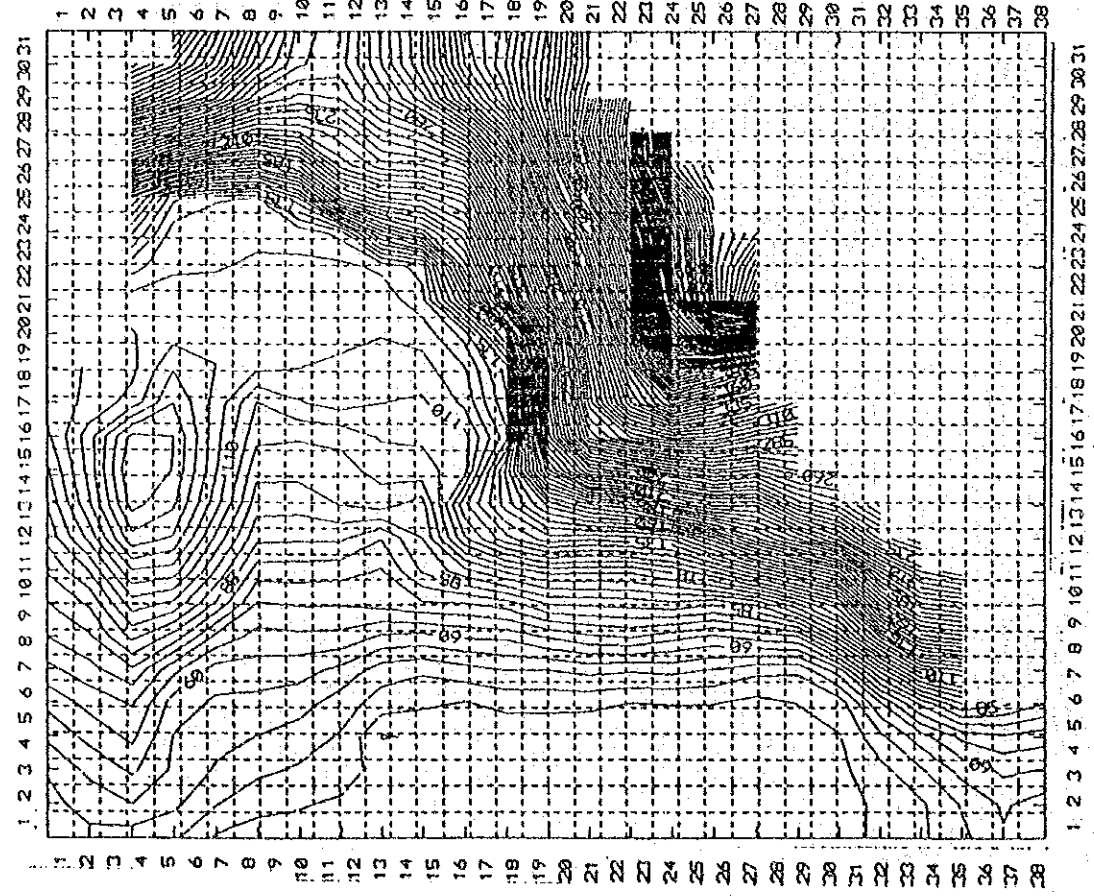
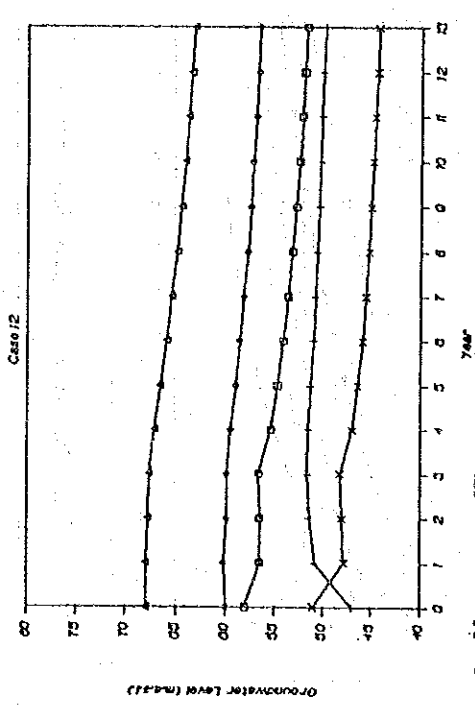


Fig. 5.2.5 Resultados Simulados (9) - CASO 9 -

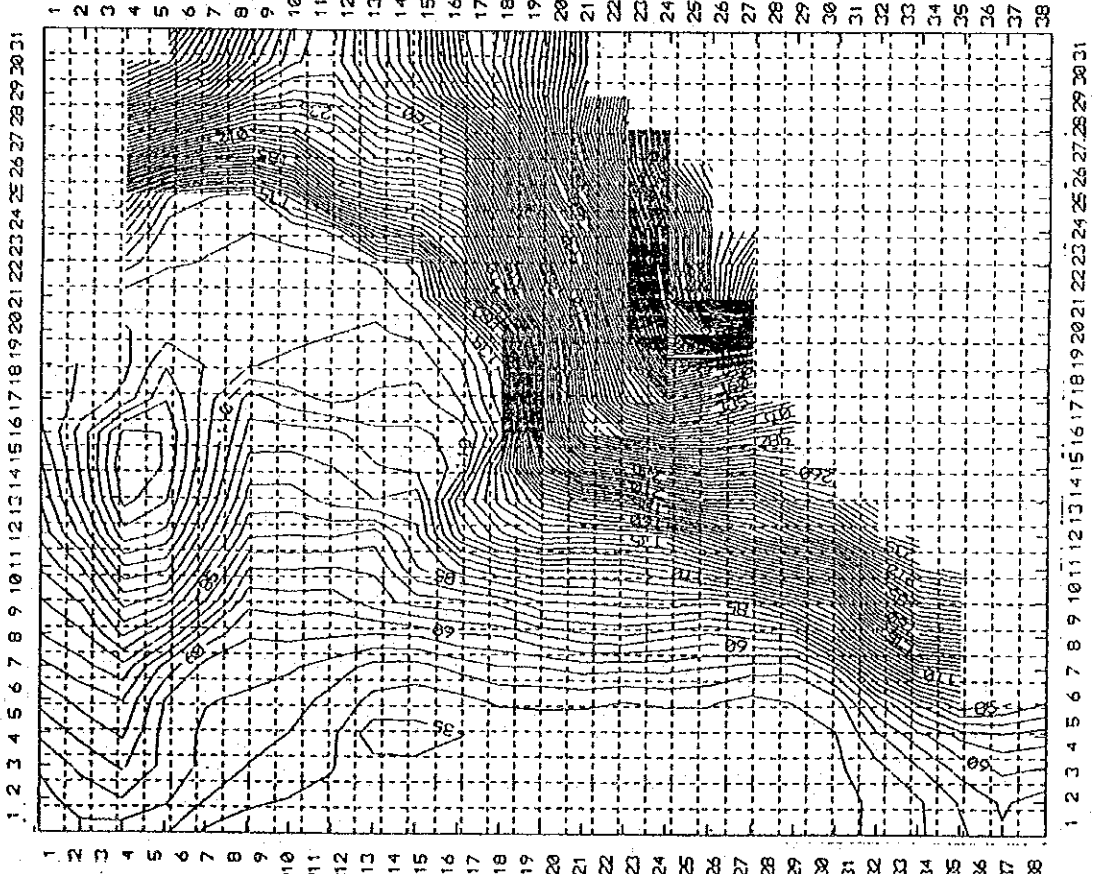
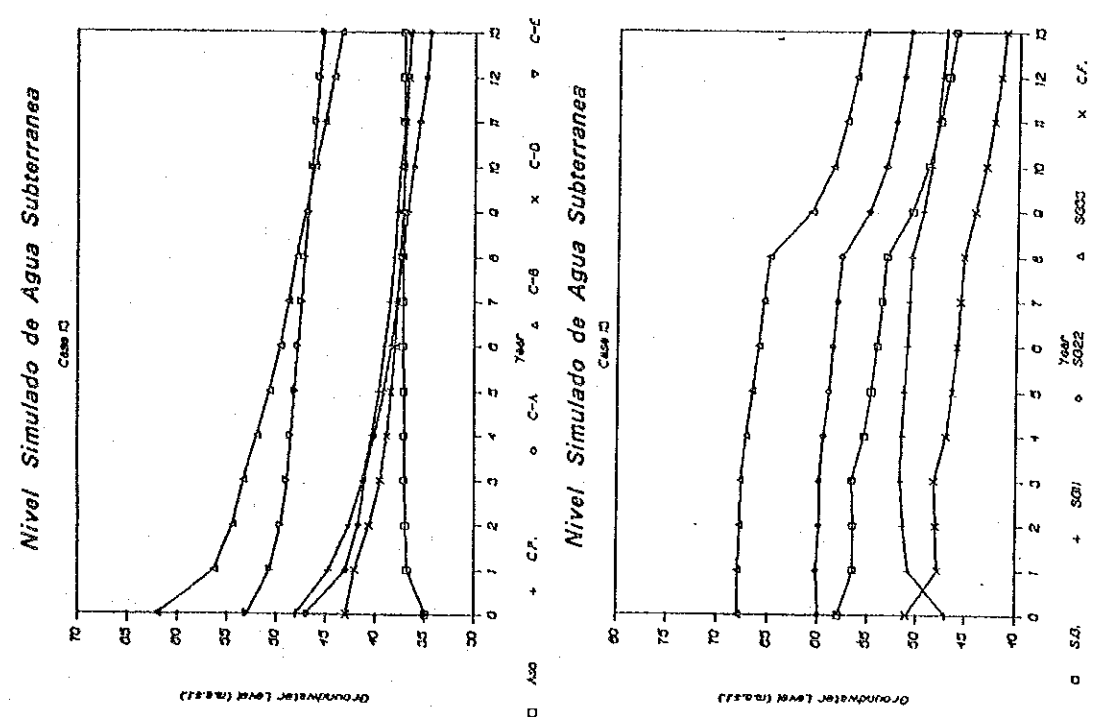


Fig. 5.2.6 Resultados Simulados (10)  
- CASO 10 -

## CAPITULO 6 EL PROYECTO

## CAPITULO VI EL PROYECTO

Basados en el estudio del abastecimiento de agua para Managua discutido en Capítulo 3, y en el potencial de desarrollo del agua subterránea dentro del área de captación de 880 km<sup>2</sup> mencionada en el Capítulo 5, se ha establecido un plan de desarrollo de agua subterránea para el abastecimiento de la ciudad de Managua como parte del Estudio.

### 6.1 Concepto Básico

El proyecto de desarrollo de aguas subterráneas se realizó bajo los siguientes conceptos básicos:

- a) La meta es el año 2000.
- b) El área a ser abastecida es toda la ciudad de Managua la que está dividida en siete distritos, pero el proyecto deberá cubrir los Distritos 2 y 6 sin incluir el área con abastecimiento independiente que corresponde al Distrito 1, y el nivel de servicio no será uniforme. El Distrito 7 está ubicado en el nivel de servicio rural, mientras que el Distrito 2 y 6 están en el nivel de servicio urbano.
- c) La población a ser abastecida en el año 2000 será estimada con la población total de los Distritos 2 y 6 en el año 2000.
- d) Se estima que la demanda de agua para el año 2000 no podrá ser alcanzada con la producción total esperada en el Area de Estudio. Sin embargo, el nivel de servicio de abastecimiento planificado no disminuirá porque se espera que este pueda ser beneficiado con el desarrollo adicional del agua subterránea en otras áreas fuera del Area de Estudio.
- e) El proyecto se implementará en 3 fases.

Fase I se centrará en el plan de abastecimiento urgente para minimizar al menos las actuales inconveniencias tales como el corte de agua periódico y el escaso abastecimiento en las áreas altas. La fase II se centrará en el desarrollo del agua subterránea a gran escala por medio de

la prudente extracción de agua de las áreas con mayor potencial dentro del Area de Estudio con el objetivo de alcanzar la demanda del año 2000 todo lo posible. El desarrollo de nuevas fuentes de suministro fuera del Area de Estudio para enfrentar la demanda del año 2000 se discutirá en la fase 3 del proyecto.

- f) El alcance del proyecto comprende el desarrollo del agua subterránea y la construcción de instalaciones de conducción hacia los depósitos de agua existentes. El mejoramiento de las instalaciones de distribución existentes le corresponderá a otros proyectos.

## 6.2 Área Servida

El área con servicio de abastecimiento comprende los siete Distritos de Managua, como se muestra en la Fig. 6-1. Las características de los Distritos de acuerdo con el sistema de abastecimiento o con el nivel de servicio se resumen de la siguiente manera:

Los distritos del 2 al 6 comprenden las principales áreas urbanas de Managua. El distrito 2,4,6 se extiende desde la zona baja a lo largo de la costa sur del lago de Managua hasta la zona alta (elevación 35-135m).

Los distritos 3 y 5 están ubicados en la zona más alta con elevación de 50 a 300m.

A excepción de la parte oriental de los distritos 5 y 6 que pertenecen a la misma sub-área, la mayor parte de los distritos arriba mencionados están incluidos en la sub-área central de la cuenca hidrogeológica.

La proyección de la demanda de agua y la tasa de consumo per cápita diaria se planeó en todos los Distritos, de acuerdo con el nivel de suministro urbano.

El distrito 7 está situado en la área más alta en el límite sur de Managua (elevación más de 300m). Aunque este Distrito está incluido administrativamente en el área de la ciudad no está en el mismo nivel de servicio de los otros Distritos. El plan de desarrollo para el año 2000 se mantiene en el nivel rural actual de servicio de abastecimiento y la tasa de crecimiento de la población y

de la demanda se mantendrá en casi la mitad de los otros Distritos, debido que no se espera un drástico desarrollo social ni industrial en este Distrito afectado por condiciones topográficas desfavorables.

### 6.3 Proyección de la Demanda de Agua

La población a ser servida en el Distrito 2-7 se estima es de 1.678.382, la población proyectada para el año 2000 basados en la población estimada en el año 1991 (1.164.103) y en las siguientes tasas de crecimiento:

| Tasa de Crecimiento | Período     | Distritos |
|---------------------|-------------|-----------|
| 5,2 %               | 1991 - 1995 | 1 - 6     |
| 5,0 %               | 1995 - 2000 |           |
| 2,5 %               | 1991 -2000  | 7         |

La población estimada por Distritos aparece en la Tabla 6.1. (1).

La demanda de agua para el año 2000 se estima será de 138,88 MGD (525.700 m<sup>3</sup>/día) como se muestra en la Tabla 6.1.(1).

La demanda de agua o sea la cantidad máxima diaria planeada de abastecimiento calculada al multiplicar la población proyectada a ser abastecida por la cantidad diaria de abastecimiento máximo per cápita difiere en los Distritos 2-6 (nivel urbano) y en el Distrito 7 (nivel rural ) como se muestra en el siguiente cuadro:

| Máximo Diario cantidad | Población en el año 2000 | Demanda en el año 2000 |
|------------------------|--------------------------|------------------------|
| Distrito 2-6           | 82,5 gal/c.d 1.557.757   | 128,52 MGD             |
| Distrito 7             | 10,0 gal/l/d 120.625     | 1,21 MGD               |
| Total                  | 1.678.328                | 129,73 MGD             |

La población servida constituye el 100 % de la población como se menciona en los conceptos básicos del plan.

El factor usado para determinar la cantidad máxima diaria de abastecimiento en el servicio urbano es el siguiente:

- (1) Tasa de consumo doméstico en 1991..... 45,83 gal/c/día
- (2) Cantidad media diaria suministrada per cápita ( (1)x 1,2)..... 55,0 gal/c/día
- (3) Razón del suministro máximo diario..... 1,2
- (4) Radio de efectividad ..... 0,8

#### 6.4 Plan de Desarrollo del Agua Subterránea

##### 6.4.1 Potencial de Agua Subterránea por Área

El potencial de desarrollo del agua subterránea de las dos sub-áreas hidrogeológicas donde están situados los Distritos 2 y 6 es el siguiente:

|                   |   |
|-------------------|---|
| Sub-área central  | 41,6 millones m <sup>3</sup> /año ( 30,11 MGD)  |
| Sub-área oriental | 108,0 millones m <sup>3</sup> /año ( 78,17 MGD) |
| Total             | 149,6 millones m <sup>3</sup> /año (108,28 MGD) |

El potencial no cambiará mientras continuen las condiciones meteorológicas similares, pero el potencial de agua subterránea como fuente de suministro para Managua disminuirá junto con el aumento de otras categorías de demanda de agua como se muestra a continuación:

|   | 1991   | 1995   | 2000   |
|---|--------|--------|--------|
| Potencial total de agua subterránea   | 108,28 | 108,28 | 108,28 |
| Potencial destinado al uso industrial agrícola y para el abastecimiento rural | 9,97   | 10,47  | 11,17  |
| Potencial destinado para fuente de suministro para Managua                    | 98,31  | 97,81  | 97,11  |

En 1991 se desarrolló un total de 68,69 MGD de agua subterránea incluyendo la laguna de Asososca como fuente para el sistema de abastecimiento de Managua, el potencial restante a desarrollarse por área se muestra en el siguiente Cuadro.

|   | 1991             |                   | 1995             |                   | 2000             |                   |
|---|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
|   | Sub-área Central | Sub-área Oriental | sub-área Central | Sub-área Oriental | Sub-área Central | Sub-área Oriental |
| capacidad restante a ser desarrollado para el abastecimiento de Managua | 25,85            | 72,46             | 25,85            | 71,96             | 25,85            | 71,26             |
|   | 98,31            |                   | 97,81            |                   | 97,11            |                   |
| Producción en 1991  | 46,01            | 22,68             |                  |                   |                  |                   |
|   | 68,69            |                   |                  |                   |                  |                   |
| Potencial de desarrollo restante  | -20,16           | 49,78             | (-20,16)         | (49,28)           | (-20,16)         | (45,58)           |
|   | (28,42)          |                   | (29,12)          |                   | (28,42)          |                   |

Nota: (-) indica extracción excesiva;  
Las cifras entre paréntesis() representan el potencial restante estimado asumiendo que no se ha desarrollado otra fuente de agua adicional después del año 1991.



#### 6.4.2 Balance del Potencial de Agua Subterránea y Demanda

Como se muestra en la siguiente Tabla la demanda de los Distritos 2-7 en el año 1995 excederá el potencial de agua subterránea de las sub-áreas Central y Oriental para el año 2000 se da la misma situación lo que demuestra la necesidad del desarrollo de fuentes suplementarias en áreas fuera de la Estudiada para alcanzar la demandad del año 2000.

Tabla 6. Balance del Potencial de Agua Subterránea y de la Demanda en la sub área Central y Oriental de Managua.

Unidad: MGD (millones m<sup>3</sup>/año)

|  | 1991              | 1995               | 2000               |
|--|-------------------|--------------------|--------------------|
| Potencial de Desarrollo de Agua Subterránea para el bastecimiento de Managua | 98.31<br>(135.83) | 97.81<br>(135.14)  | 97.11<br>(135.17)  |
| Demanda de Agua en Managua (Distrito 2-7)                                    | 83.18<br>(114.93) | 101.77<br>(140.61) | 129.73<br>(179.24) |
| Balance de la Demanda- Potencial   | 15.13<br>(20.90)  | -3.96<br>(-5.47)   | -32.62<br>(-45.07) |

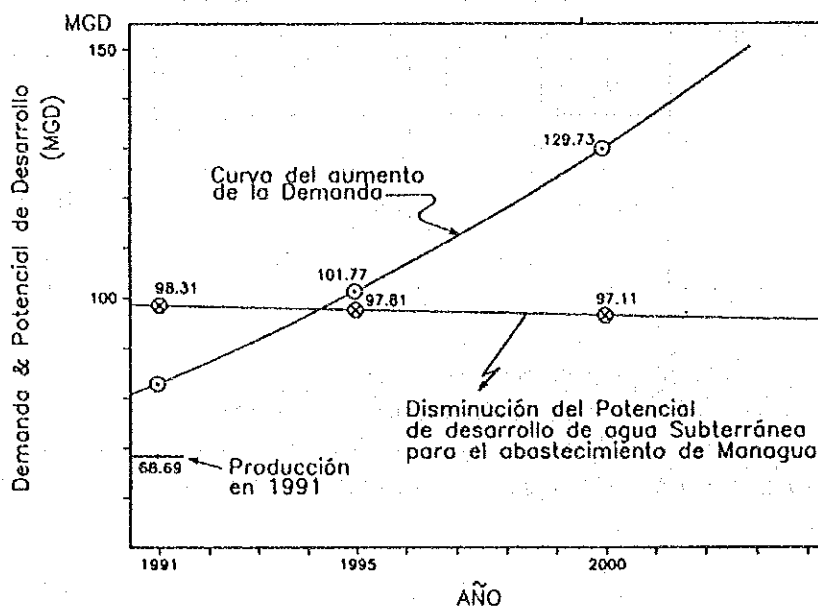


Fig. 6.4.2 Relación entre la Demanda y el pótencial de Desarrollo para el abastecimiento de Managua

#### 6.4.3 Desarrollo de Agua Subterránea en la Sub-área Oriental

El desarrollo del agua subterránea en la sub-área Oriental se logrará en las dos fases siguientes:

##### Fase I

Se ha planificado un plan de abastecimiento urgente para resolver los problemas actuales como la suspensión periódica del servicio en toda el área servida y en especial el escaso abastecimiento para la zona alta. Para el año 1996 se espera desarrollar la cantidad de 18,74 MGD de agua subterránea.

##### Fase II

Se ha planificado desarrollar todo el potencial disponible en la sub-área oriental (29,84 MGD fuera de 71,26 MGD) con el objetivo de alcanzar al demanda del año 2000 lo más que se pueda. Si se desarrolla todo el potencial disponible en la sub-área Oriental 29,84 MGD la producción total de la sub-área Central y Oriental aumentaría a 117,27 MGD, esta cantidad sería sólo 12,46 MGD menor que la demanda (129,73 MGD) estimada para el año 2000.

#### 6.4.4 Contramedidas para el problema de sobre extracción en la sub-área Central

Durante la realización del proyecto de desarrollo de agua subterránea en la sub-área Oriental, se dejará a un lado el problema de sobre extracción de la sub-área Central y se tomarán medidas para aumentar las fuentes de abastecimiento en vez de darle prioridad a la disminución del volumen de agua sobre extraído.

La sobre extracción en la sub-área Central debe contrarrestarse tarde o temprano para prevenir intrusión del agua contaminada del lago de Managua por el flujo de agua subterránea inverso. Sin embargo, debido a que algunos factores de seguridad como la falta de medición de la recarga por las fugas en la tuberías de distribución fueron empleados en el análisis del balance hídrico, la prevención de la sobre extracción no es muy urgente, especialmente si el desarrollo del agua subterránea en el área se mantiene en la misma cantidad (46,02 MGD) de 1991 o menor.

Por consiguiente, se ha planificado concretamente que el uso del agua a ser desarrollada sirva como fuente suplementaria para el abastecimiento existente y no para reponer el volumen de agua sobre extraído en la sub-área Central.

Se necesita realizar un estudio detallado sobre la reducción de la extracción. El volumen de agua sobre extraída deberá reponerse con la producción de las fuentes de suministro a ser desarrolladas fuera del Area de Estudio.

Además se debe estudiar la revisión del sistema de distribución para reponer 20,16 MGD los que se obtendrán de otra fuente.

#### 6.4.5 Meta de Desarrollo

Además del desarrollo de las fuentes de abastecimiento requeridas para alcanzar la demanda del año 2000 (129.73 MGD), en la tercera fase del Proyecto se desarrollarán otras fuentes fuera del Área de Estudio con el propósito de disminuir la sobre extracción en la sub-área Central; la cantidad oscila entre cero (no disminución) y 20,16 MGD (eliminación de la sobre extracción).

Por consiguiente, la cantidad total de agua subterránea a ser desarrollada es de la siguiente manera:

|          |                                |
|----------|--------------------------------|
| Fase I   | 18,74 MGD                      |
| Fase II  | 29,84 MGD                      |
| Fase III | 12,46 MGD más cero a 20,16 MGD |
| Total    | 61,04 a 81,2 MGD               |

Debido a que desde 1991 se han desarrollado 68,69 MGD de agua subterránea, la cantidad adicional requerida para alcanzar la demanda para el año 2000 que es de 129,73 MGD, es 61,04.

La cantidad necesaria para mitigar el problema de sobre extracción se estudiará en la tercera fase del Proyecto.

## 6.5 Campos de Pozos Seleccionados en el Area de Estudio

Se han seleccionado los dos sitios de la sub área Oriental que tienen buenas condiciones hidrogeológicas como los campos de pozos de construcción con el propósito de llevar a cabo el desarrollo efectivo del agua subterránea en el área.

Una de las áreas es en las cercanías de Sabana Grande, Veracruz y el otro es en el área entre el norte de Ticuantepe y Veracruz, como se muestra en la Fig. 6.6. Los características de los sitios son las siguientes:

**Cuadro 6.5.1 Características de los Campos de Pozos Seleccionados**

|   | Sabana Grande  | Norte de Ticuantepe   |
|---|--|---|
| Geología del acuífero                                 | Grupo Volcánico Masaya en el Grupo Medio Las Sierras       | Materiales volcánicos varios en el Grupo Medio Las Sierras  |
| Nivel de agua estático                                | 15 - 45 m BGS  | 95 - 100 m BGS  |
| Capacidad específica                                  | 600 - 1000 m <sup>3</sup> /day/m                           | Más de 1000 m <sup>3</sup> /day/m<br>(Abatamiento insignificante tasa de bombeo 1500 m <sup>3</sup> /day) |
| Calidad del agua                                      | bueno  | excelente   |
| Profundidad de perforación                            | 150 - 200 m  | 200 - 250 m   |
| Elevación del terreno                                 | 80 - 130 m   | 150 - 270 m   |
| Area de Abastecimiento apropiado                      | Zonas bajas y altas(para el almacenamiento Las Americas 4) | Zona alta (Almacenamiento de Altamira)  |
| Potencial para el desarrollo de abastecimiento urbano | 80,000 - 120,000 m <sup>3</sup> /d                         | 70,000 - 100,000 m <sup>3</sup> /d  |
|   | Total 184,000 m <sup>3</sup> /d (48.58 MGD)                |   |

## 6.6 Plan de Implementación

### 6.6.1 Esquema y Programa de Implementación del Proyecto

El Proyecto será dividido en tres fases, como se muestra en la Fig. 6.1.

La Fase 1 del Proyecto está enfocada al mejoramiento urgente del nivel insuficiente en el presente abastecimiento de agua. Se buscará producir 18,74 MGD en una de las áreas promisorias en la sub-área Oriental (Norte de Ticuantepe), con el fin de minimizar la inconveniencia de la suspensión periódica de agua, y disminuir la injusticia de suministro durante muy pocas horas por día a las áreas elevadas.

La Fase 2 del Proyecto está enfocada en completar el desarrollo de agua subterránea en la otra área promisorias de la sub-área oriental (Sabana Grande-Veracruz), con el fin de realizar el potencial de desarrollo con un máximo aproximado de 29,84 MGD, para satisfacer hasta donde sea posible la demanda de agua en el año 2000.

La cantidad faltante de agua será producida por medio del desarrollo de nuevas fuentes fuera del Area de Estudio durante la Fase 3 del Proyecto. La cantidad adicional de agua necesaria para satisfacer la demanda del año 2000 oscila entre 12,46 y 32,62 MGD, dependiendo del tratamiento del sobre-bombeo en la sub-área Central. Ya que se desconoce el potencial de desarrollo del agua subterránea fuera del Area de Estudio, se debe cumplir con los puntos siguientes antes de iniciar la etapa de construcción de la Fase 3.

- (1) Estudio del potencial de desarrollo del agua subterránea en la nueva área
- (2) Determinación de cuándo y cómo reemplazar el agua sobre-bombada de la sub-área Central por el agua de las nuevas fuentes, analizando los resultados del monitoreo efectuado desde 1992

El Proyecto en sus tres fases se limita al aumento de la producción de agua mediante la construcción de pozos, y a la construcción del sistema de conducción del agua producida hasta los tanques existentes. La expansión o la rehabilitación del

sistema de distribución debe ser realizada por otros proyectos.

Uno de los principales propósitos del Proyecto es la eliminación de la injusticia en el suministro de agua a las zonas muy elevadas. Por lo tanto, el agua a ser producida en el Norte de Ticuantepe, que es relativamente elevada, será conducida al tanque de Altamira de donde se abastece de agua a las zonas muy elevadas.

El área a ser abastecida desde Altamira será expandida hacia el Oeste y hacia el Sur, de tal manera a cubrir parte del área actualmente abastecida por la laguna de Asososca, como se ilustra en la Fig. 6.2.2. Además, el aumento del caudal que llega a Altamira disminuirá las demandas ejercidas sobre los tanques de San Cristóbal y Las Américas No. 4, lo que permitiría aumentar la distribución de agua a las zonas bajas y altas. Las diferencias entre las Figuras 6.2.1 y 6.2.2 indican no solamente las variaciones en el área de servicio, sino también aumentos en la distribución de agua a toda el área de servicio, eliminando o mitigando de tal manera la suspensión periódica en el suministro de agua.

En la Fase 2 del Proyecto, el agua subterránea a ser producida en el área baja de Sabana Grande-Veracruz será conducida al tanque de Las Américas No.4. Este aumento de caudal permitirá la expansión del área de suministro de este tanque de distribución hacia el oeste, aumentando así en forma considerable el caudal de suministro a toda el área de servicio. Estos cambios se indican en las Figuras 6.2.3 y 6.2.2.

Sin embargo, la capacidad de los tanques existentes, especialmente Las Américas No.4 no parece ser suficiente para el caudal a ser producido por las nuevas fuentes. Es por eso que se considera necesaria la construcción de tanques adicionales en las proximidades de Las Américas No. 4, o en su defecto, la conexión directa entre los tanques de Altamira y Las Américas No. 4. Estas medidas son necesarias antes o durante la implementación de la Fase 3 del Proyecto, en forma separada e independiente de este Proyecto.

Debido al déficit que se presume en la capacidad de Las Américas No. 4, se planea para la Fase 2 del Proyecto un tanque que pueda acomodar 29,84 MGD de agua.

## 6.6.2 Plan de Instalaciones para las Fases 1 y 2 del Proyecto

Las Figuras 6.6.4 y 6.6.5 presentan la totalidad de las instalaciones a ser construidas en las Fases 1 y 2 del Proyecto. Los detalles esquemáticos por fase son los siguientes.

### (1) Plan de instalaciones para la Fase 1

#### a) Pozos

- Diámetro de revestimiento: 12 pulgadas o más
- Profundidad de perforación: 200-250m (nivel dinámico de agua 100-110m)
- Descarga de bombeo: 3,79 m<sup>3</sup>/min con carga total de 117 m
- Tipo de bomba: bomba sumergible a motor
- Número de pozos: 14
- Ubicación: Pozos agrupados dentro de 1 km<sup>2</sup>

#### b) Tanques de almacenaje en las proximidades de pozos

- Material: Concreto
- Capacidad: 1.500 m<sup>3</sup> (tiempo de retención de media hora)
- Nivel de la tierra: 217 m sobre el nivel del mar
- Número: 2

#### c) Estación de bombeo con clorador y control de electricidad

- Bomba de transmisión: 12,5 m<sup>3</sup>/min. con carga total de 82 m
- Número de bombas: 5 (una como reserva)
- Clorador: 1
- Caseta de bombeo con tablero de control de electricidad: 1

#### d) Tanque en Santo Domingo

- Material: Concreto pre-tensado o concreto reforzado de hierro
- Capacidad: 11.000 m<sup>3</sup> cada tanque o 7,5 horas de tiempo de retención
- Número de tanques: 2
- Nivel de la tierra: 255 m sobre el nivel del mar

#### e) Tubería de transmisión

- De pozo a tanque de almacenaje: 300 mm  
L=1300 m

- De estación de bombeo a tanque reservorio: 700 mm  
L=5500 m
- De Santo Domingo a Altamira: 500-600 mm  
L=5200 m
- Material: acero, y hierro dúctil con revestimiento de cemento

(2) Plan de instalaciones para la Fase 2

a) Pozos

- Diámetro de revestimiento: 12 pulgadas o más
- Profundidad de perforación: 150-200 m (nivel dinámico de agua 20-60m debajo de la superficie de la tierra)
- Descarga de bombeo: 4,1 m<sup>3</sup>/min con carga total de 45 m
- Tipo de bomba: vertical a turbina
- Número de pozos: 19
- Ubicación: en cuadrícula con espaciamiento de 500 m o más

b) Tanque reservorio

- Material: Concreto pre-tensado o concreto reforzado de hierro
- Capacidad: 15.000 m<sup>3</sup>
- Número de tanques: 2
- Nivel de la tierra: 84 m sobre el nivel del mar

c) Estación de bombeo con clorador y control de electricidad

- Bomba de transmisión: 19,6 m<sup>3</sup>/min. con carga total de 90 m
- Número de bombas: 5
- Clorador: 1
- Caseta de bombeo con tablero de control de electricidad: 1

d) Tubería de transmisión

- De pozo a tanque Las Américas:  
300-800 mm; L=12.900 m  
1000 mm; L=5800 m



### 6.6.3 Plan de Instalaciones para la Fase 3 del Proyecto

Se necesita producir de 12,46 a 32,62 MGD de agua fuera del Area de Estudio, probablemente más hacia el este. El caudal mínimo para satisfacer la demanda de agua del año 2000 es de 12,46 MGD, pero además se necesitan hasta 20,16 MGD de las nuevas fuentes para substituir el caudal que actualmente se sobrebombea en la sub-área Central.

El potencial de desarrollo del agua subterránea al este del Area de estudio puede no ser tan alto como en la sub-área Oriental, además de ser mayor la distancia de conducción de agua hasta Managua. Por lo tanto, el costo unitario del agua subterránea al este del área del presente Estudio puede ser de 30% a 40% superior al costo de la sub-área Oriental.

Los puntos arriba mencionados serán aclarados durante los estudios pertinentes a ser realizados durante la primera etapa de la Fase 3. Sin embargo, se puede estimar que las instalaciones para la Fase 3 son básicamente similares a las de la Fase 2, como se resume a continuación.

Pozos: 13-34

(Descarga de 2,3 m<sup>3</sup>/min por pozo)

Tanque de almacenaje: 2-4 tanques de concreto,  
1.500 m<sup>3</sup> cada tanque

Tanque reservorio: 1-2 tanques de concreto,  
11.000 m<sup>3</sup> cada tanque

Estación de bombeo: una estación principal y  
una sub-estación

Tubería de transmisión: 250-1000 mm  
L=20.000-25.000 m

### 6.6.4 Estimación de Costos del Proyecto

Los costos fueron estimados en forma separada y diferente para cada fase del Proyecto. Para la estimación de costos de la Fase 3 existen numerosos factores desconocidos concernientes al potencial de desarrollo del agua subterránea. Por lo tanto, los costos de la Fase 3 fueron estimados simplemente en base al costo unitario de la Fase 2 en el área de Sabana Grande, asumiendo un sobrecosto del 30%. Además, los costos estimados de la Fase 3 incluyen los costos para los estudios necesarios en la primera etapa de la fase.

Los costos de construcción de las Fases 1 y 2 fueron estimados en base a los siguientes puntos.

- a. Los precios utilizados son los de abril de 1993
- b. Los costos de construcción se dividen en costos a ser efectuados en moneda extranjera y moneda local. La mayoría de los costos de construcción pertenecen a la categoría de moneda extranjera.  
Los costos en moneda local incluyen gastos de adquisición de la tierra, costos de materiales de construcción disponibles en el mercado local, y gastos en recursos humanos.
- c. Las tasas de cambio que se utilizaron son los siguientes.  
1 Dólar = 6,0 Córdobas = 115 Yenes Japoneses
- d. Las contingencias físicas se estimaron como el 10% del total de la sumatoria de los componentes mencionados de (a) a (c).
- e. Los imprevistos se estimaron como 8 a 5% en el caso de gastos en moneda extranjera, y 20 a 10% en el caso de gastos en moneda local, tomando en consideración la sumatoria de los componentes mencionados de (a) a (d).

## (2) Costos estimados del Proyecto

Los costos estimados para cada fase del Proyecto son los siguientes.

Fase 1: C\$213.187.000

Fase 2: C\$349.004.000

Fase 3: C\$188.658.000 para 47.000 m<sup>3</sup>/día  
- C\$493.722.000 para 123.000 m<sup>3</sup>/día

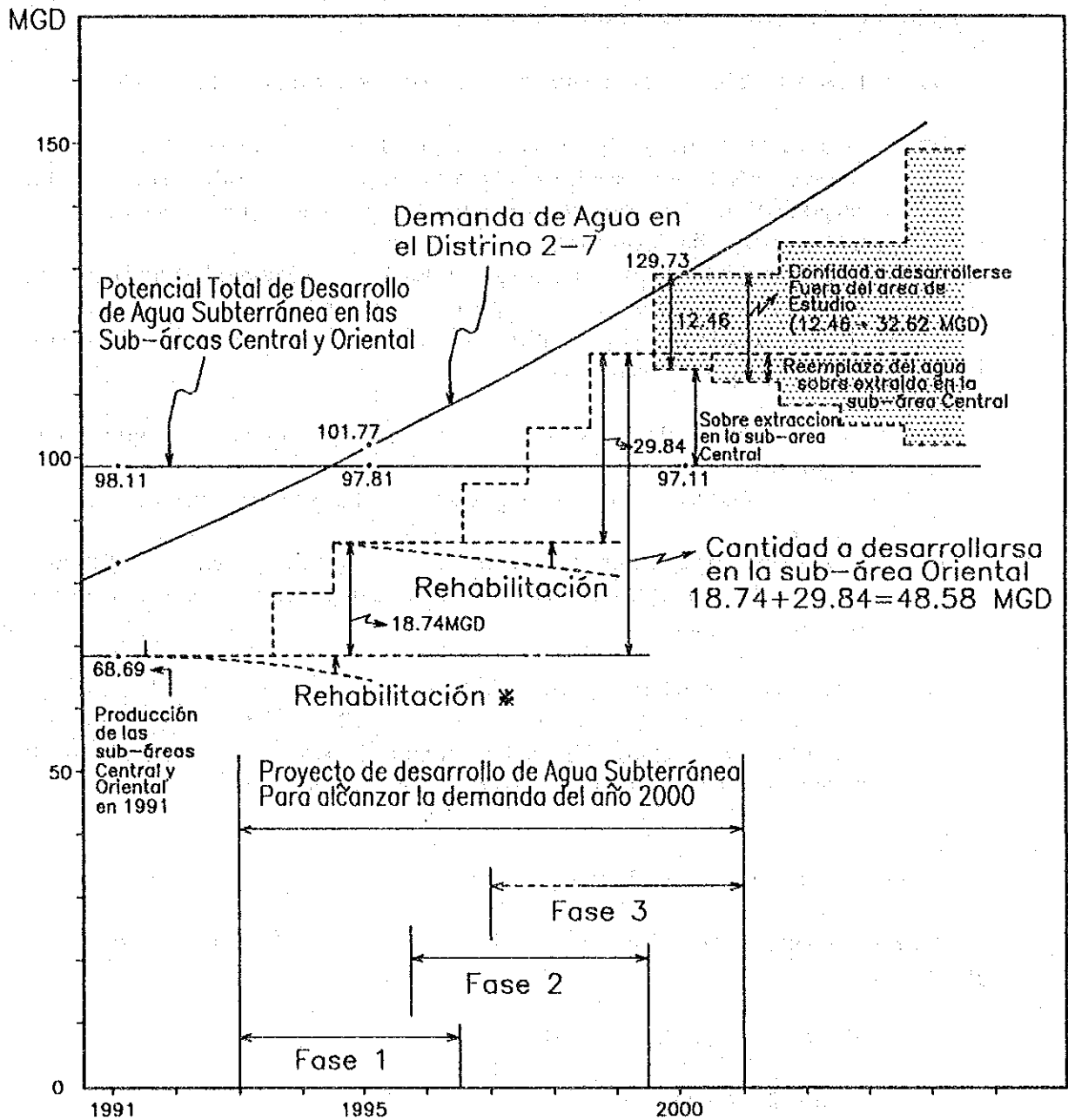
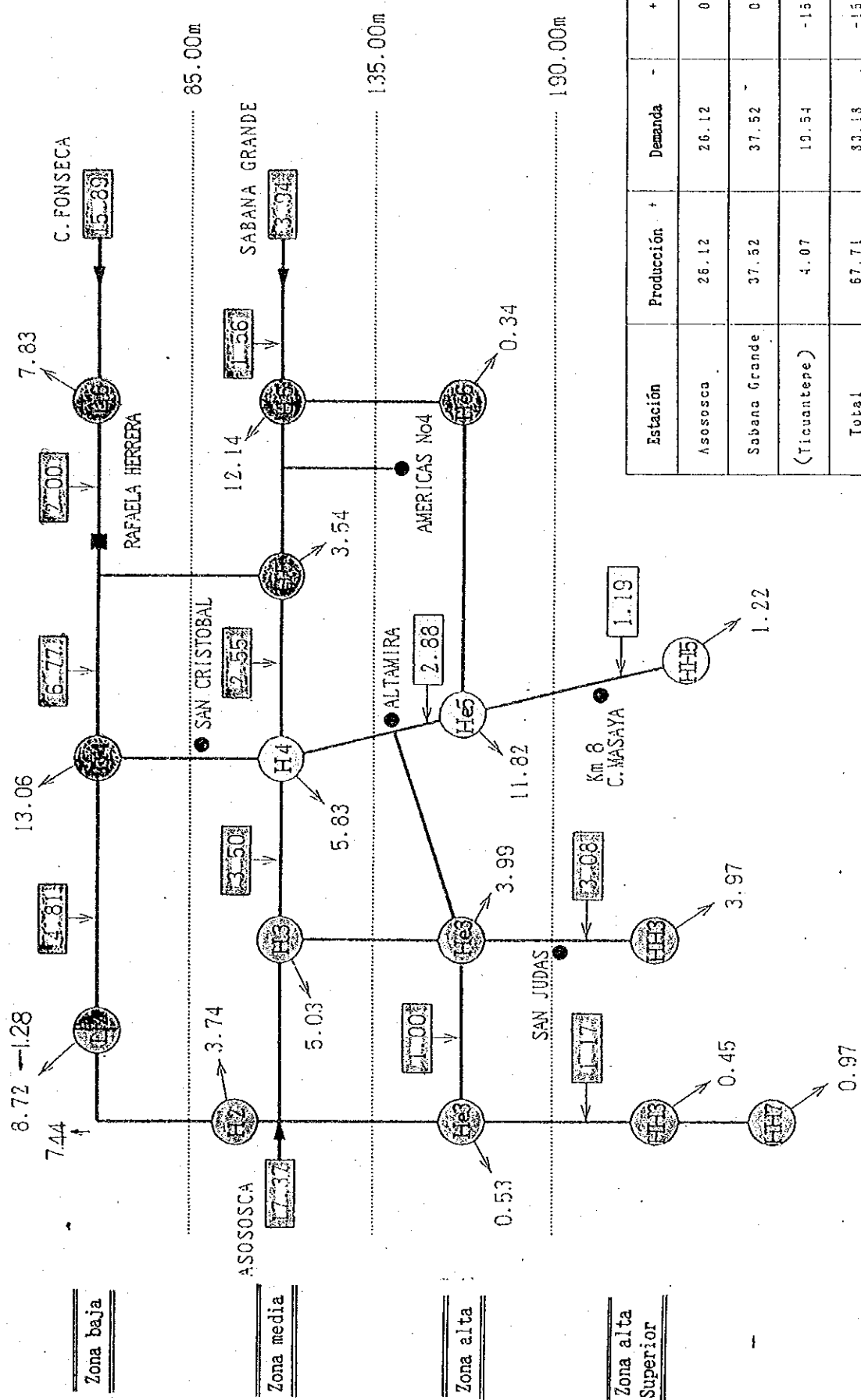


Fig. 6.6.1 Demanda y Producción de Agua en Relación a las Fases de Implementación del Proyecto

\* Se recomienda la rehabilitación solamente para recuperar la capacidad de los pozos viejos, especialmente aquellos en la sub-área Central, de tal manera a no empeorar el problema de bombeo excesivo de 20.16 MGD.



| Estación      | Producción + | Demanda - | + -    |
|---------------|--------------|-----------|--------|
| Asososca      | 26.12        | 26.12     | 0.00   |
| Sabana Grande | 37.52        | 37.52     | 0.00   |
| (Ticuantepe)  | 4.07         | 19.54     | -15.47 |
| Total         | 67.71        | 83.18     | -15.47 |

Fig.6.6.2) Sistema de Distribución General en 1991

Cuadro 6.3.1 (1) Poblacion Estimada en 1991, 1995 y 2000

| Distrito | Zona Baja |         |         | Zona Media |         |         | Zona Alta |         |         | Zona Alta Superior |         |         | Distrito I |        |         | Total                 |           |           |
|----------|-----------|---------|---------|------------|---------|---------|-----------|---------|---------|--------------------|---------|---------|------------|--------|---------|-----------------------|-----------|-----------|
|          | 1991      | 1995    | 2000    | 1991       | 1995    | 2000    | 1991      | 1995    | 2000    | 1991               | 1995    | 2000    | 1991       | 1995   | 2000    | 1991                  | 1995      | 2000      |
| 1        | -         | -       | -       | -          | -       | -       | -         | -       | -       | -                  | -       | -       | 70.986     | 86.943 | 110.964 | 70.986                | 86.943    | 110.964   |
| 2        | 105.673   | 129.434 | 165.194 | 45.348     | 55.542  | 70.887  | -         | -       | -       | -                  | -       | -       | -          | -      | -       | 151.026               | 184.976   | 236.081   |
| 3        | -         | -       | -       | 60.916     | 74.610  | 95.223  | 54.859    | 67.191  | 85.755  | 53.651             | 65.711  | 83.866  | -          | -      | -       | 169.426               | 207.512   | 264.844   |
| 4        | 158.303   | 193.889 | 247.457 | 70.704     | 86.598  | 110.523 | -         | -       | -       | -                  | -       | -       | -          | -      | -       | 229.007               | 280.487   | 357.990   |
| 5        | -         | -       | -       | 42.916     | 52.563  | 67.085  | 143.134   | 175.310 | 223.745 | 14.800             | 18.127  | 23.135  | -          | -      | -       | 200.850               | 246.000   | 313.965   |
| 6        | 94.933    | 115.273 | 148.397 | 147.156    | 180.236 | 230.032 | 4.131     | 5.060   | 6.458   | -                  | -       | -       | -          | -      | -       | 246.220               | 301.569   | 384.887   |
| 7        | -         | -       | -       | -          | -       | -       | -         | -       | -       | 96.588             | 106.615 | 120.625 | -          | -      | -       | 96.588                | 106.615   | 120.625   |
| Total    | 358.914   | 439.596 | 561.048 | 367.040    | 449.549 | 573.750 | 202.124   | 247.561 | 315.958 | 165.039            | 190.453 | 227.626 | 70.986     | 86.943 | 110.964 | 1.164.103             | 1.411.102 | 1.789.316 |
|          |           |         |         |            |         |         |           |         |         |                    |         |         |            |        |         | Total of District 2-7 |           |           |
|          |           |         |         |            |         |         |           |         |         |                    |         |         |            |        |         | 1.093.117             | 1.327.159 | 1.678.382 |

Cuadro 6.3.1 (2) Demanda de Agua Estimada en 1991, 1995 y 2000

| Distrito | Zona Baja |       |       | Zona Media |       |       | Zona Alta |       |       | Zona Alta Superior |      |       | Distrito I |      |      | Total                 |        |        |
|----------|-----------|-------|-------|------------|-------|-------|-----------|-------|-------|--------------------|------|-------|------------|------|------|-----------------------|--------|--------|
|          | 1991      | 1995  | 2000  | 1991       | 1995  | 2000  | 1991      | 1995  | 2000  | 1991               | 1995 | 2000  | 1991       | 1995 | 2000 | 1991                  | 1995   | 2000   |
| 1        | -         | -     | -     | -          | -     | -     | -         | -     | -     | -                  | -    | -     | 5.86       | 7.17 | 9.15 | 5.86                  | 7.17   | 9.15   |
| 2        | 8.72      | 10.68 | 13.63 | 3.74       | 4.58  | 5.85  | -         | -     | -     | -                  | -    | -     | -          | -    | -    | 12.46                 | 15.26  | 19.48  |
| 3        | -         | -     | -     | 5.03       | 6.16  | 7.86  | 4.52      | 5.54  | 7.07  | 4.43               | 5.42 | 6.92  | -          | -    | -    | 13.98                 | 17.12  | 21.85  |
| 4        | 13.06     | 16.00 | 20.42 | 5.83       | 7.14  | 9.12  | -         | -     | -     | -                  | -    | -     | -          | -    | -    | 18.89                 | 23.14  | 29.54  |
| 5        | -         | -     | -     | 3.54       | 4.34  | 5.53  | 11.81     | 14.46 | 18.46 | 1.22               | 1.50 | 1.91  | -          | -    | -    | 16.57                 | 20.30  | 25.90  |
| 6        | 7.83      | 9.59  | 12.24 | 12.14      | 14.37 | 18.98 | -         | -     | -     | 0.34               | 0.42 | 0.53  | -          | -    | -    | 20.31                 | 24.88  | 31.75  |
| 7        | -         | -     | -     | -          | -     | -     | -         | -     | -     | 0.97               | 1.07 | 1.21  | -          | -    | -    | 0.97                  | 1.07   | 1.21   |
| Total    | 29.61     | 36.27 | 46.29 | 30.28      | 37.09 | 47.34 | 16.33     | 20.00 | 25.53 | 6.96               | 8.41 | 10.57 | 5.86       | 7.17 | 9.15 | 89.04                 | 108.94 | 138.88 |
|          |           |       |       |            |       |       |           |       |       |                    |      |       |            |      |      | Total of District 2-7 |        |        |
|          |           |       |       |            |       |       |           |       |       |                    |      |       |            |      |      | 83.18                 | 101.77 | 129.73 |

Unite:MCD

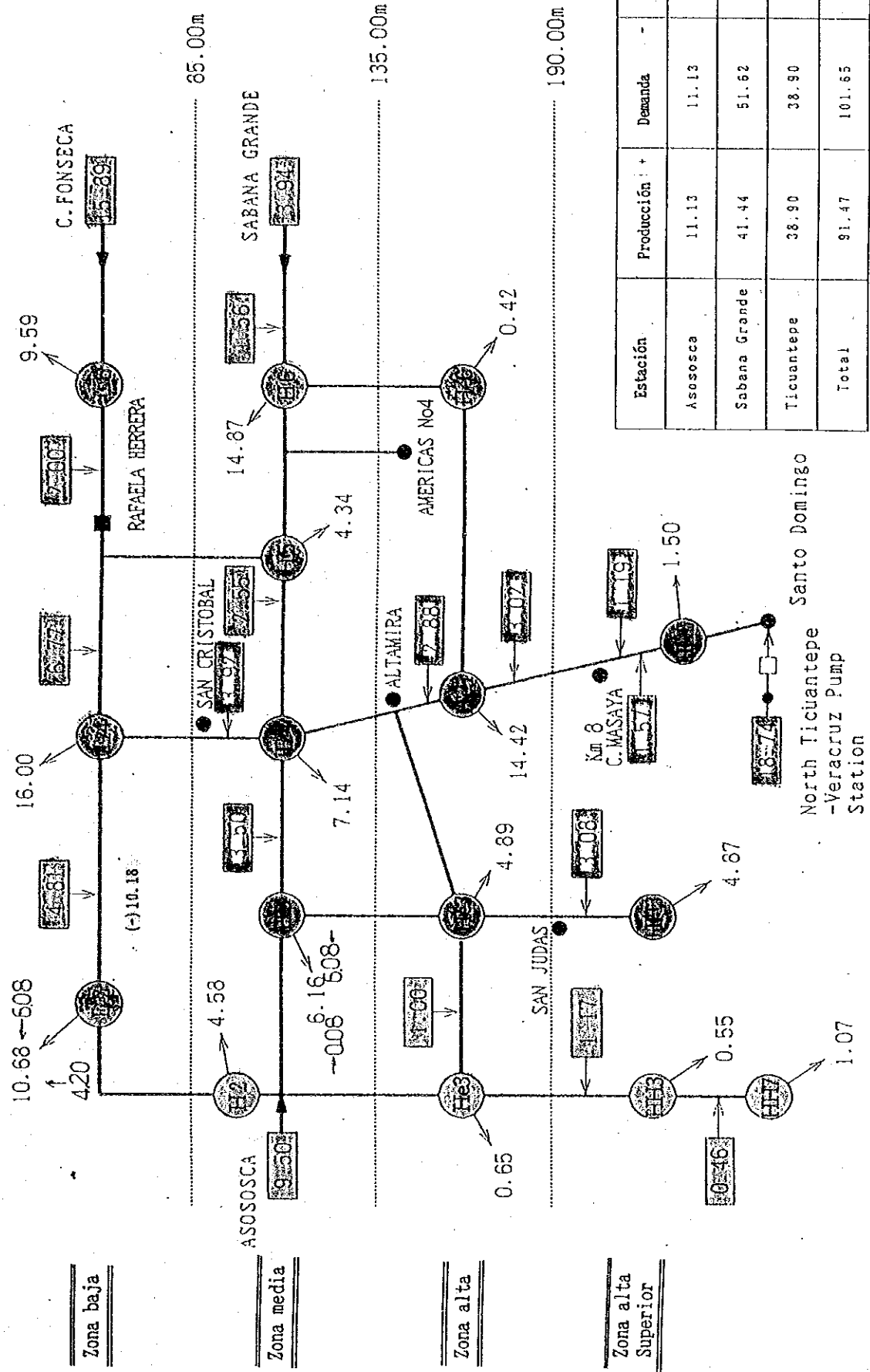
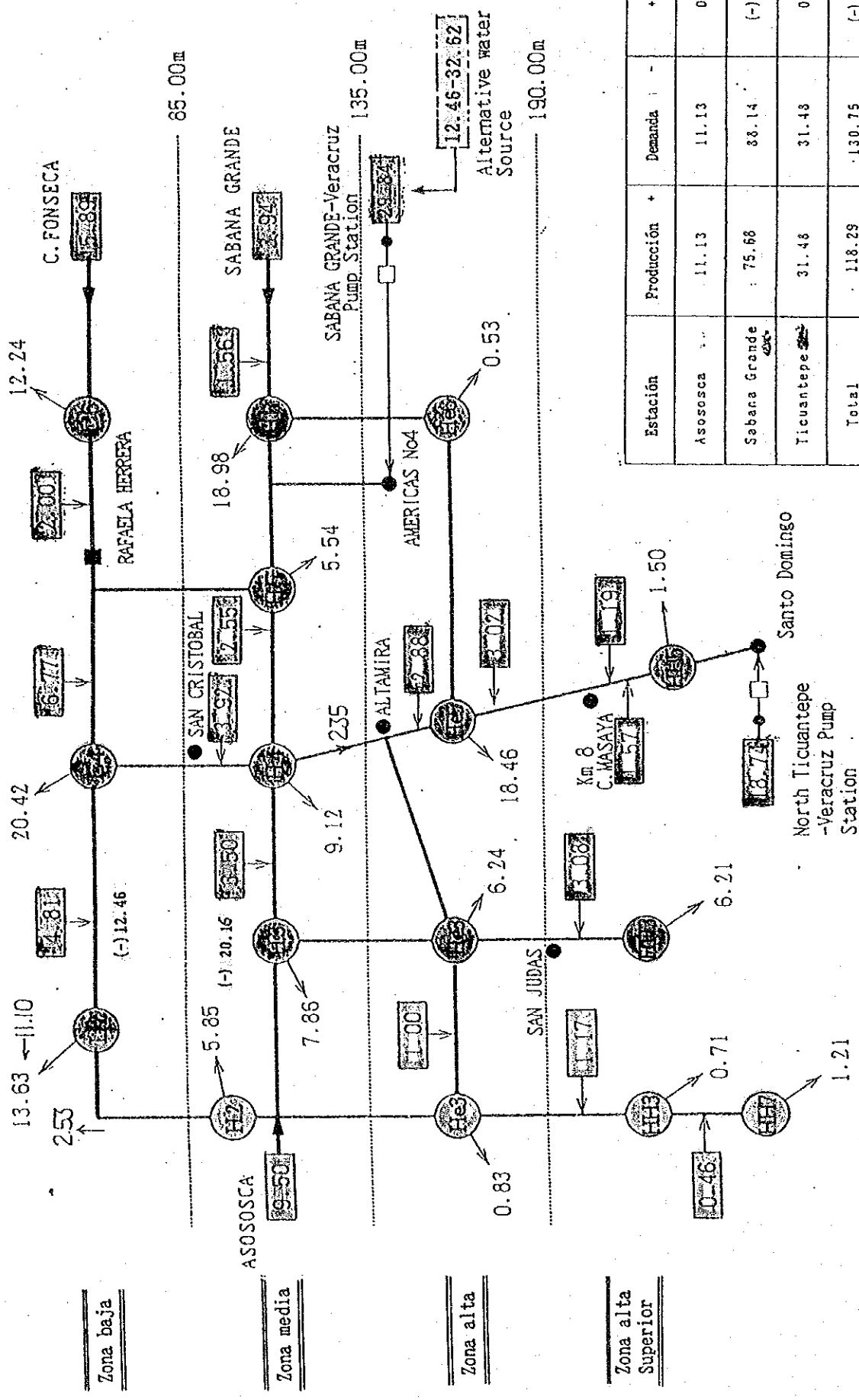


Fig. 6.6.3 Sistema de Distribución General después de la Fase I del Proyecto



| Estación      | Producción + | Demanda - | + -      |
|---------------|--------------|-----------|----------|
| Asososca      | 11.13        | 11.13     | 0.00     |
| Sabana Grande | 75.68        | 88.14     | (-)12.46 |
| Ticuantepe    | 31.48        | 31.48     | 0.00     |
| Total         | 118.29       | 130.75    | (-)12.46 |

Fig.6.6.4 Sistema de Distribución General después de la Fase II del Proyecto

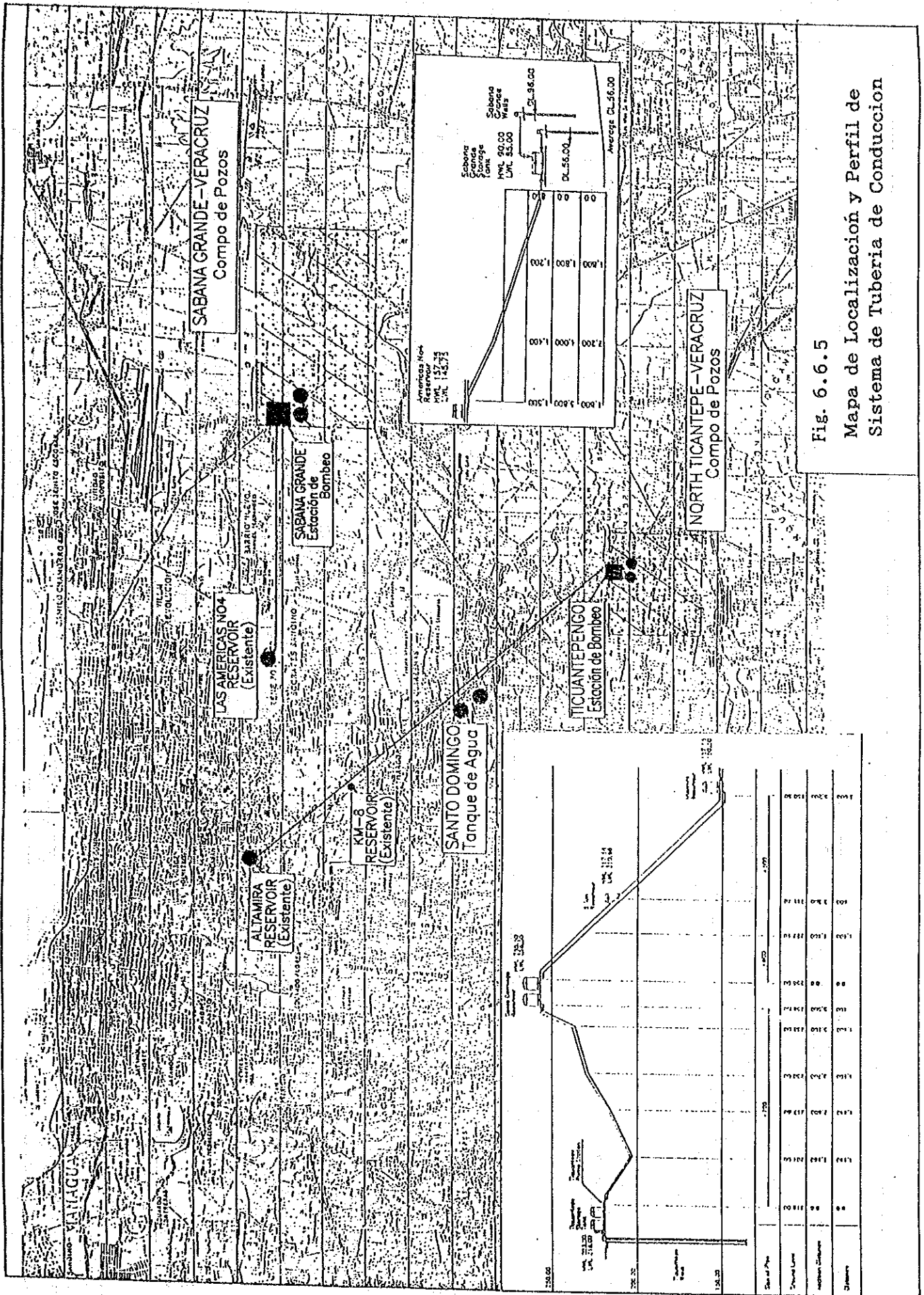


Fig. 6.6.5

Mapa de Localización y Perfil de Sistema de Tubería de Conduccion



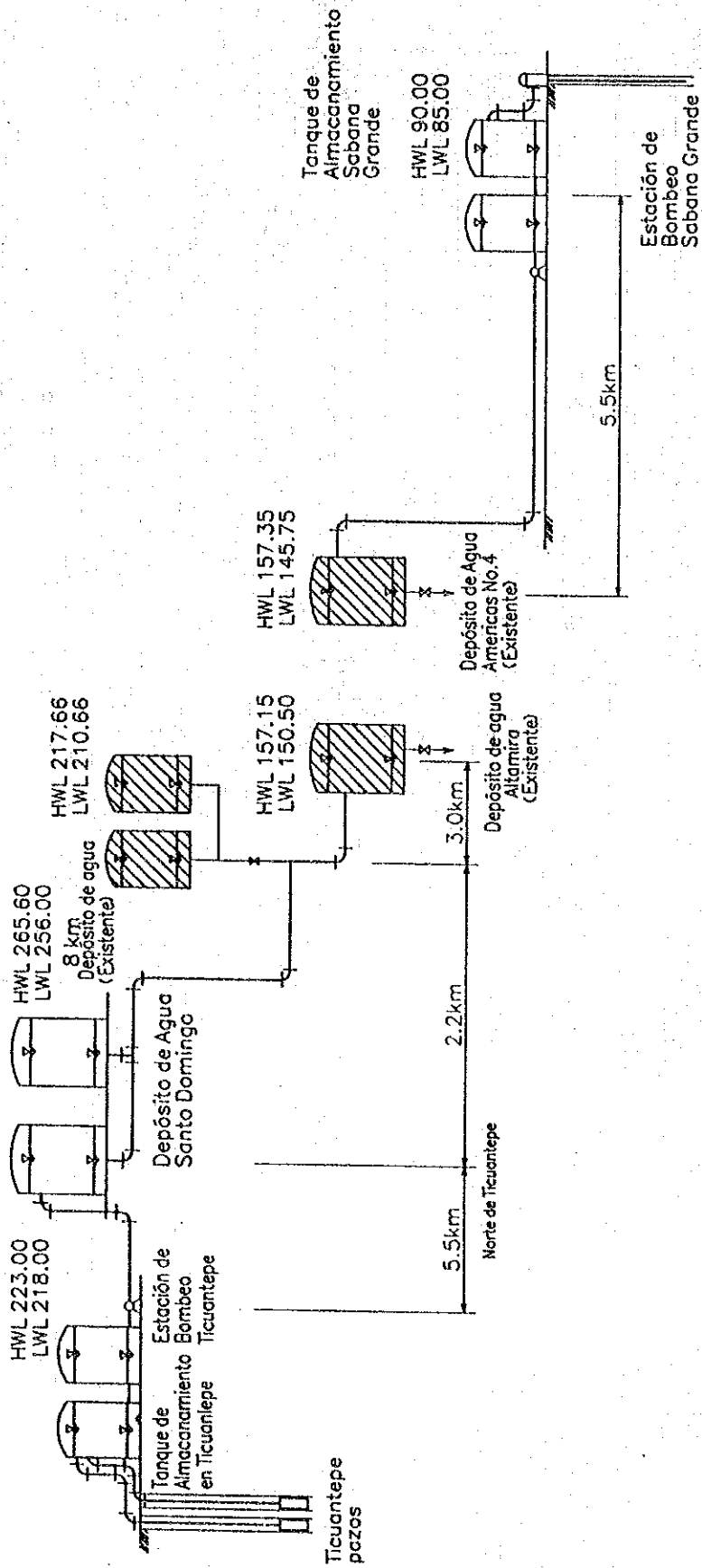


Fig. 6.6.6

Plan sobre las instalaciones

| Fase | Fuente de Agua subterránea | Capacidad Disendida | Instalación de Toma  |                         | Instalación de Transporte                       |                                 |                           |          |
|------|----------------------------|---------------------|----------------------|-------------------------|---|---------------------------------|---------------------------|----------|
|      |                            |                     | Bomba                | Pozo                    | Bomba   | Depósito                        | Tubo                      |          |
| I    | Norte de Tlaxtepec         | 18.74               | Descarga             | 3.7 m <sup>3</sup> /min | (Capacidad especial 19,464 m <sup>3</sup> /d/m) | 12.5 m <sup>3</sup> /min x 82 m | 1,500 m <sup>3</sup> x 2  | 300φ     |
|      |                            |                     | Carga                | 117.0 m                 | (Nivel dinámico EL.107 m)                       | 1800 mm x 250 m                 | 11,000 m <sup>3</sup> x 2 | 500φ     |
|      |                            |                     | diámetro de la Bomba | 8 inch                  | diámetro del Pozo 14" - 12 3/4"                 | Caseta de la Bomba              | 600φ                      | 1,400 m  |
|      |                            |                     | HP                   | 132 hp                  | Arreglo de ubicación de Pozo                    | 240 m <sup>2</sup> x 1          | 700φ                      | 5,500 m  |
|      |                            |                     | Rotación             | 3600 rpm                | Grupo de Pozos, 250 m <sup>3</sup> prof         | 40 m <sup>2</sup> x 14          | total                     | 12,000 m |
|      |                            |                     | Num. de Unidad       | 14 unit                 |   | 5 unit                          |                           |          |
| II   | Sabana Grande              | 29.84               | Descarga             | 4.1 m <sup>3</sup> /min | (Capacidad especial 687 m <sup>3</sup> /d/m)    | 19.6 m <sup>3</sup> /min x 90 m | 15,000 m <sup>3</sup> x 2 | 300φ     |
|      |                            |                     | Carga                | 45.0 m                  | (Nivel dinámico EL.56-96 m)                     | 1800 mm x 400 m                 | 450φ                      | 3,700 m  |
|      |                            |                     | diámetro de la Bomba | 8 inch                  | diámetro del Pozo 14" - 12 3/4"                 | Caseta de la Bomba              | 500φ                      | 2,000 m  |
|      |                            |                     | HP                   | 55 hp                   | arreglo de Ubicación de Pozo                    | 490 m <sup>2</sup> x 1          | 600φ                      | 1,500 m  |
|      |                            |                     | Rotación             | 1800 rpm                | 500 interval, 200 m <sup>3</sup> prof           | 40 m <sup>2</sup> x 19          | 700φ                      | 2,000 m  |
|      |                            |                     | Num. de Unidad       | 19 unit                 | 5 unit  | 1000φ                           | 5,800 m                   | total    |
|      |                            |                     |                      | 19 unit                 |   | total                           | 17,700 m                  |          |

## 6.7 Plan de operación y mantenimiento

### 6.7.1 Operación del sistema de bombeo y conducción

Será introducido en el Proyecto un sistema semiautomático de operación, el cual consiste en dispositivos automáticos combinados con la operación manual por parte de operadores. Los componentes automáticos comprenden indicadores automáticos del nivel de agua de los tanques (reservorios), y la operación automática de válvulas eléctricas (Altamira). Las informaciones sobre los componentes automáticos son intercambiados entre los operadores por medio de la radio, y la operación manual de las bombas se efectúa en base a estas informaciones. En este sistema semiautomático de operación también se incluyen indicadores automáticos de nivel de agua y sistemas de alarma para los pozos.

Un subcentro de operación será establecido en el sitio del Proyecto en cada fase, y la supervisión general de los 3 subcentros de operación será realizada por el Centro de Operaciones ubicado en las oficinas principales de INAA por medio de un sistema de radiocomunicación. La Fig. 6.7.1 representa el sistema general de operación.

### 6.7.2 Estimación de costos de operación y mantenimiento

Los costos totales de operación y mantenimiento de las construcciones de las Fases 1 y 2 se estiman en C\$14.318.400 por año. El costo unitario de operación y mantenimiento por metro cúbico de producción será de C\$0,213, cifra que se obtiene al dividir los costos de operación y mantenimiento por la producción total de 183.900 m<sup>3</sup>/día (48,58 MGD).

## 6.8 Evaluación del Proyecto

La ciudad de Managua enfrenta un déficit crítico en el abastecimiento de agua, déficit que se presume continuará hasta el futuro previsible. El problema radica en la explosión poblacional y en las limitaciones de las fuentes existentes de agua subterránea. Debido a la falta de fuentes apropiadas de aguas superficiales, la meta del Proyecto es satisfacer la demanda de agua hasta el año 2000 a través del desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea.

La selección del desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea ha sido acertada, ya que el área objetivo resultó ser rica en agua subterránea de buena calidad que requiere únicamente la cloración para su distribución a los consumidores. El desarrollo de estas nuevas fuentes de agua permitirá la gradual eliminación de la muy inconveniente práctica actual de suspender el suministro de agua a los residentes de Managua dos días por semana.

Adicionalmente, se presume que la creciente disponibilidad de agua para el suministro público brindará grandes beneficios en términos de mejoramiento de la salud de la población. El Proyecto incrementará el abastecimiento de agua a Managua, diseñado de tal manera a economizar el consumo de la energía eléctrica, al evitar la utilización conjunta de las bombas para los propósitos de extracción y distribución de agua.

A pesar de que son bastante bajas las tasas internas de retorno financiero bajo las diferentes situaciones supuestas, no existen dudas de que el déficit realmente crítico en el abastecimiento de agua en Managua requiere de una rápida solución. Es por eso que, en consideración a los beneficios sociales y otros efectos favorables, se recomienda la implementación inmediata del Proyecto, en especial si se logra un financiamiento lo suficientemente "blando".

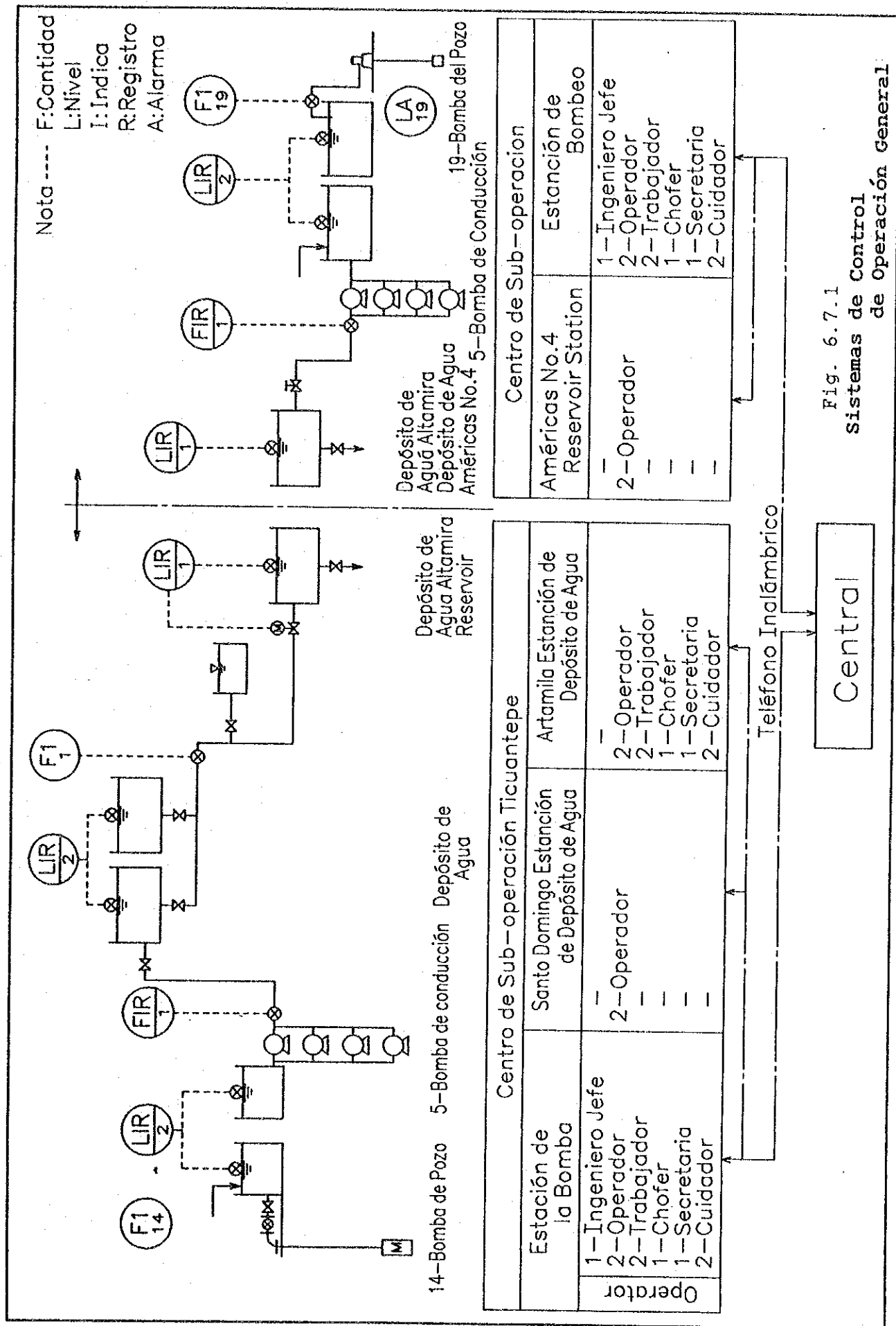


Fig. 6.7.1  
 Sistemas de Control  
 de Operación General

## CAPITULO 7 PLAN DE MANEJO DEL AGUA SUBTERRANEA

## **CAPITULO 7 PLAN DE MANEJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA**

El desarrollo del agua subterránea por medio de pozos tubulares profundos, en el Area de Estudio se inició en el año 1970 y ha aumentado rápidamente desde mediados de 1980. El agua extraída es principalmente para agua potable y parcialmente para la riego y uso industrial.

Sin embargo, el derecho al uso del agua subterránea no ha sido establecido de forma clara en Nicaragua, lo que implica que no se ha promulgado o no ha entrado en vigor una legislación general sobre el uso de los recursos de agua, ni una ley específica sobre el uso del agua subterránea. En otras palabras, el desarrollo del agua subterránea ha avanzado sin dar la consideración debida a los principios del manejo del agua subterránea.

En el Area de Estudio el agua subterránea ha sido el único recurso de agua usado, por este hecho casual en el año 1980 se llevaron a cabo demasiadas perforaciones por la rápida expansión de la ciudad; como consecuencia se presume que hay sobre extracción en algunas áreas de la ciudad, además es evidente el problema del decrecimiento de la producción de los pozos en algunas áreas.

Consecuentemente, el manejo racional de los recursos de agua subterránea basándose en el enfoque científico y en el desarrollo del agua subterránea bajo el concepto de "Rendimiento Permisible" es quizás la acción más significativa que se debe tomar hasta que se desarrollen fuentes de aguas alternativas.

El plan de manejo del agua subterránea se tiene que establecer con el objetivo de proteger y utilizar de manera efectiva este recurso vital, y con miras a satisfacer la demanda hasta el año 2000, la que según pronóstico está aumentando rápidamente, en la ciudad de Managua.

### **7.1 Política Básica**

#### **7.1.1 Conceptos Relevantes**

Como se menciona en la Sección 5.1, la descarga de bombeo disponible como "rendimiento permisible" es la cantidad

determinada por los siguientes factores.

(a) Factor Económico

Este factor refleja los aspectos desfavorables de la extracción de agua tales como; pozos secos, aumento del costo del bombeo, hundimiento del terreno, contaminación y salinización del agua subterránea por el decrecimiento de nivel.

(b) Factor de Balance Natural del Agua

Este factor se refiere a la posibilidad de la extracción continua, de acuerdo con la capacidad de recarga natural del área sin causar abatimiento adverso especial.

En el caso del Area de Estudio se recomiendan las siguientes medidas desde el punto de vista de utilización efectiva de los recursos limitados.

- (a) La capacidad de bombeo debe restringirse por el valor de recarga natural el que se puede estimar científicamente.
- (b) Aun en la condición de balance secundario bajo extracción el nivel del agua subterránea no debe ser menor que el nivel del lago de Managua, con el propósito de proteger el agua subterránea de la intrusión de agua proveniente del lago contaminado.
- (c) Los efectos adversos en los pozos tubulares existentes deben ser minimizados.
- (d) El alcance del nivel dinámico de los pozos situados en el área dentro de 2 km de distancia del Lago de Managua debe ser especialmente controlado.

#### 7.1.2 Prioridad del Uso de Agua Subterránea

De acuerdo con los resultados del balance de agua calculado de manera poco específica, la sub-cuenca hidrogeológica central enfrenta el problema de sobre extracción, la sub-cuenca hidrogeológica oriental puede desarrollarse, pero sin el potencial para satisfacer completamente la demanda hasta el año 2000. Esta evaluación es todavía tentativa porque muchas de los

supuestos usados en el modelo de simulación fueron estimaciones. Lo que significa que se necesita la revisión de los resultados del análisis del balance de agua, por medio de la introducción de datos más precisos y recientemente obtenidos con el monitoreo adicional, el cual continuará bajo el plan de manejo de agua subterránea.

Para establecer las prioridades en la utilización del recurso de agua, el concepto del derecho del agua es muy importante. Por ejemplo, en el caso de los EEUU la Conferencia Nacional de Comisionados sobre las Leyes Estatales Uniformes preparó la Ley Modelo del Uso del Agua en 1958 a través de un Comité Especial para la Ley Modelo de Conservación de los Recursos Hídricos. Esta ley modelo afirma que todos los recursos hídricos son para el uso público, y que el Comité de Conservación de los Recursos Hídricos es la autoridad a cargo del manejo y de la regulación de los recursos mencionados.

Desde el punto de vista de la utilización de los recursos de agua, el agua potable tiene la mayor prioridad. A este respecto la organización que maneja el abastecimiento público de agua potable tiene autorización de usar la cantidad necesaria de agua de todas las fuentes disponibles.

En el caso de Nicaragua la preparación y promulgación de una Ley de Recursos Hídricos incluyendo el agua subterránea se necesita urgentemente debido a que se espera un crecimiento rápido de la población alrededor de la Ciudad de Managua, mientras los recursos de agua son cada vez más escasos.

Con la ausencia de una legislación sobre los Recursos Hídricos las siguientes recomendaciones son válidas para el presente y el futuro cercano en el Area de Estudio.

- (1) El uso del agua subterránea para el riego y para la industria no debe tener un incremento mayor al del nivel existente en las sub-cuencas hidrogeológicas central y oriental de Managua. En el caso de la instalación excepcional de plantas industriales nuevas en las sub-cuencas mencionadas, se recomienda que el agua para uso industrial sea comprada a INAA, en vez de permitir la perforación de pozo particular.
- (2) El nivel de agua subterránea en la zona de los manantiales, alrededor de las hondonadas de Sabana Grande será afectada con el desarrollo de pozos nuevos en el área superior. Sin



embargo, la utilización del agua en el área es casi exclusivamente para recreación y para irrigación, por eso se justifica un poco de decrecimiento en el flujo de los manantiales.

### 7.1.3 Ahorro de Agua

Es muy importante tomar acciones prácticas para el ahorro del agua en el Area de Estudio. Estas acciones deben concentrarse en dos aspectos, uno de los cuales es disminuir las pérdidas de conducción de agua ("pérdidas físicas"), el otro es prevenir el desperdicio de agua en las casas ("pérdida no-físicas").

- (1) Las pérdidas físicas o fugas se reflejan en el aumento del costo unitario de producción. Este tipo de pérdidas será contrarrestado con el programa de rehabilitación de las líneas de conducción y de los tanques de almacenamiento, además de la instalación y reparación de contadores para medir de forma precisa la producción de agua.
- (2) Las pérdidas "no físicas" se refieren al agua consumida sin pagar, lo que se refleja en los ingresos de pérdidas. Este tipo de pérdidas se puede enfrentar con las siguientes tres acciones.
  1. Instalación o reparación de los contadores de agua apropiados a cada categoría de consumo.
  2. Educación a los consumidores para estimular la buena calidad de los trabajos de instalaciones sanitarias y para prevenir el mal uso del agua.
  3. Tarifa de agua progresiva, es decir las tarifas aumenta de acuerdo con el aumento en los bloques de consumo. Esta es la estructura de tarifa que prevalece en INAA.

### 7.1.4 Contaminación del Agua Subterránea y Fuentes de Agua Futuras

Una vez que el agua subterránea se ha contaminado su uso se debe restringir completamente; debido a los estrictos requerimientos de calidad para el agua potable, por tal razón es

importante que el acuífero este protegido contra cualquier tipo de contaminación.

Por el punto de vista, arriba mencionado, se debe poner mucha atención a las siguientes áreas.

- (1) El área de Sabana Grande y Veracruz en el presente se usa para la agricultura, por lo que la contaminación por el uso de productos químicos agrícolas es una clara posibilidad. Consecuentemente, se recomienda que en el futuro se continúe la realización periódica del análisis de calidad de agua.
- (2) El lago de Masaya es considerado como una fuente muy importante de agua para todas las áreas potenciales de la sub-cuenca hidrogeológica oriental. Por lo tanto, los desperdicios de agua deben pasar por un tratamiento antes de ser descargados al lago.
- (3) El Lago de Nicaragua se espera llegue a ser la fuente de agua dominante en el futuro. Por lo tanto, se recomienda fuertemente la regulación de los desperdicios de agua que en el presente drenan en el lago y el comienzo del monitoreo de calidad de agua.

## 7.2 Manejo del Agua Subterránea

### 7.2.1 Manejo del Agua Subterránea Area Objetivo

El área objetivo para el manejo es el Area de Estudio incluyendo las sub-cuencas hidrogeológicas central y oriental Managua y parte de la sub-cuenca occidental. La sub-cuenca hidrogeológica occidental se tiene que investigar hidrogeológicamente en el área de Los Brasiles y se recomienda la formulación de un modelo de flujo de agua subterránea separado. Cada cuenca debe ser tratada como cuenca hidrogeológica integrada, porque todas las actividades humanas tienen influencia en el acuífero.

#### (a) Sub-cuenca hidrogeológica central

Esta sub-cuenca pertenece al área donde el uso del agua subterránea debe regularse porque se presume existe sobre extracción.

(b) Sub-cuenca hidrogeológica oriental

Esta sub-cuenca pertenece al área a ser desarrollada como la nueva fuente de agua potable. La zona de recarga para esta sub-cuenca es importante y deberá ser protegida contra cualquier actividad que puede dañarla.

7.2.2 Restricciones de Extracción Tentativas

Las ideas básicas del plan de reducción de extracción fueron simuladas y discutidas en el Capítulo 5, por lo tanto, aquí se discuten sólo regulaciones tentativas.

El objetivo más importante de reducción es la extracción de la Laguna de Asososca, porque una vez que se de la intrusión de aguas de desperdicio en la laguna y ésta no se pueda utilizar como agua potable, un tercio (en 1991) de la fuente de abastecimiento de agua para la ciudad de Managua se tendrá que dar por terminado.

La descarga de extracción de la laguna se redujo de 67.000 m<sup>3</sup>/día (promedio en 1991) a 55.000 m<sup>3</sup>/día (promedio, abril 1992). Es difícil comprobar claramente los efectos de esta reducción de extracción sobre la recuperación del nivel de la laguna, debido a las sequías continuas en años recientes y por la falta de datos nuevos. Para evaluar la recuperación del nivel de la laguna se deben considerar los resultados del monitoreo futuro y los datos de la precipitación.

También se ha predicho el decrecimiento del nivel de agua subterránea en el área central de la ciudad de Managua, si la tasa de extracción actual continúa y si la precipitación es normal. Sin embargo, el comportamiento detallado de esta área no se ha clarificado. Por consiguiente, en esta área el control de extracción debe considerarse conjuntamente con los resultados del monitoreo, lo que se discutirá luego.

7.2.3 Programa de Monitoreo

El monitoreo es un factor muy importante para el manejo del agua subterránea, porque todas las contramedidas pueden concebirse, de acuerdo con la condición más nueva revelada por los resultados del monitoreo.

Básicamente, todos los registros metereológicos mostrados en la Sección 4.3 fueron reunidos por INETER. Durante el curso del Estudio se instalaron 5 limnigrafos automáticos y una estación pluviométrica. El monitoreo con el uso de esos equipos ha sido conducido por los miembros de la contraparte de INAA, quienes periódicamente han colectado e intérpretado los datos de los análogos a los registros reales. Adicionalmente, como investigación simultánea se realizó la medición del nivel de agua en más de 40 pozos durante la época seca y la época lluviosa.

Todos los registros de descarga de extracción de INAA fueron reunidos por la Sección de Mantenimiento. La descarga de la extracción en los pozos privados se estimó basándose en las entrevistas realizadas.

Para revisar el enfoque usado para la recolección de datos en el Area de Estudio, se requerirá del siguiente programa de monitoreo.

(1) Precipitación

Se deberán colectar datos de precipitación diaria en los alrededores de la Concepción, Sabana Grande y Veracruz con el fin de obtener estimaciones más exactas de la precipitación del area.

(2) Nivel de Agua

Para el manejo del agua subterránea es muy significativo el monitoreo continuo del nivel de agua subterránea, porque los datos existentes no fueron suficientes para comprender completamente el movimiento real del agua subterránea. Por consiguiente, los resultados del monitoreo del nivel del agua subterránea permitirán la revisión y la modificación de los supuestos usados en el modelo de simulación. Además se debe modificar el plan de manejo de agua subterránea, de acuerdo con los resultados de la simulación con los supuestos revisados.

Se sugieren los siguientes sitios adicionales para el monitoreo del nivel de agua subterránea.

- (a) Cerca del lago de Managua
- (b) Entre la laguna de Asososca y la zona industrial
- (c) En las áreas donde no hay equipo de monitoreo, pero se requieren datos desde el punto de vista hidrogeológico.

La Fig. 7.2.1 muestra la localización de los sistemas de monitoreo existentes y los puntos recomendados para el monitoreo de la precipitación y del nivel de agua subterránea.

### (3) Calidad del Agua

El monitoreo de la calidad del agua en las lagunas, estaciones de bombeo y en los sitios seleccionados de los sistemas de distribución se ha realizado periódicamente desde 1990 por el Departamento O/M de INAA.

El monitoreo de la calidad del agua adquiere especial importancia con referencia a la posible intrusión de aguas de desperdicios al acuífero de agua subterránea de la laguna de Asososca. La observación periódica y los análisis semanales o mensuales de calidad de agua serán necesarios para la laguna de Asososca y para algunos pozos situados entre el área industrial y la laguna. También se recomienda analizar anualmente muestras de agua de algunos de los sitios de monitoreo usados durante el Estudio.

### (4) Investigación sobre el Uso del Agua subterránea

La falta de medidores de descarga en los pozos de producción de INAA hace que el factor básico de la investigación hidrogeológica sea incierto, o sea los datos de extracción de agua, por eso aún los resultados del análisis de la simulación son tentativos. Por tanto, los medidores de descarga acumulativa y de presión deben instalarse en todos los pozos y otros sitios necesarios en la línea de distribución, con el objetivo de captar la producción extraída.

Adicionalmente, se deben coleccionar los datos de la descarga extraída en los pozos privados o públicos, de uso industrial, agrícola y doméstico. El informe periódico sobre el consumo de agua se requerirá bajo disposición legal, en caso que el consumidor extraiga una cantidad de agua mayor a la especificada.

### 7.2.4 Sub-estudio (Sub-proyectos)

Los siguientes sub-estudios se consideran tentativamente necesarios, en base a los datos de monitoreo, arriba mencionados.

(1) Investigación sobre la Contaminación del Agua Subterránea

La investigación sobre la contaminación del agua subterránea debe comenzar lo más pronto posible en las área alrededor de la laguna de Asososca y en la parte sur de lago de Managua. Este estudio debe constar del análisis de la calidad de agua y del análisis del flujo del agua subterránea.

(2) Revisión del Análisis de Simulación

Como se describe en el Capítulo 5, el análisis de simulación se llevó a cabo basándose en muchos supuestos estimados de forma poco específica. Por eso, se recomienda fuertemente, después de 2-3 años, la revisión de todos los parámetros empleados en este análisis de simulación, agregando los datos del monitoreo, arriba mencionado.

(3) Establecimiento de Modelos Nuevos

En este Estudio se realizó el modelo de toda el Area de Estudio como una área de simulación. Cuando se cuente con registros detallados de nivel de agua subterránea y se tengan también otros datos de campo como resultado del programa de monitoreo arriba sugerido, se recomienda establecer sub-modelos que representen áreas más pequeñas, como por ejemplo, sub-modelos de la laguna de Asososca y de Sabana Grande.

(4) Análisis de la Recarga

El análisis de la recarga deberá realizarse con el uso de datos de las precipitaciones diarias y del nivel de agua subterránea diario de las sub-áreas hidrogeológicas Central y Oriental, después de haber colectado datos de monitoreo durante 2-3 años. Para el análisis se recomienda el modelo de tanque, u otro método, el cual pueda considerar el balance de agua en la condición del suelo.

### 7.2.5 Programa de Tiempo

El manejo del agua subterránea se debe implementar en las fases siguientes.

#### (a) Fase I

Todos los pozos, a excepción de los pozos someros pequeños para uso personal, deben ser registrados en el inventario de pozos junto con los datos correspondientes sobre el nivel, la calidad y la cantidad de agua. Estos datos sirven como base para estudios hidrológicos, que proporcionarán una evaluación sobre los actuales problemas.

Los resultados de la evaluación de los estudios hidrológicos serán usados para clasificar, el área de manejo de agua subterránea en sub-áreas, de las cuales a cada una se le asignarán metas tentativas en relación con el rendimiento permisible y con la calidad del agua.

#### (b) Fase II

El uso del agua subterránea, bajo la meta tentativa se reducirá a través de la racionalización de las operaciones existentes. El sistema de monitoreo se mejorará y todos los resultados se evaluarán de manera integral. Las metas de rendimiento permisible y calidad de agua se definirán claramente.

#### (c) Fase III

El monitoreo y la regulación se realizará continuamente. En esta fase los problemas originales ya casi no existirán. De otra manera, se tendrán que establecer metas nuevas y más estrictas.

Basándose en las consideraciones arriba mencionadas, el programa de manejo tentativo será de la siguiente manera, con los ajustes apropiados de acuerdo con los resultados del monitoreo.

1993-1994

Establecimiento del sistema de monitoreo

Establecimiento de los recursos de agua (agua subterránea)  
Comité de manejo

Proyecto de rehabilitación

Extracción de la laguna de Asososca en el nivel actual

Establecimiento de un plan de regulación tentativo de  
acuerdo con los resultados del monitoreo

1995-1999

Proyecto de desarrollo en Ticuantepe y Sabana Grande

Evaluación de la escala de desarrollo final en el Area de  
Estudio

Revisión del plan de regulación tentativo

Establecimiento del plan de regulación final

Regulación en algunas partes del área

2000

Desarrollo de todo el potencial de agua subterránea

Establecimiento del control a escala completa bajo el Plan  
de Manejo del Agua Subterránea  
(Regulación del Manejo del Agua Subterránea)



### 7.2.6 Organización

Se recomienda que el manejo del agua subterránea en el Area sea unificado bajo la responsabilidad de sólo un comité, cuyos miembros representen a las organizaciones concernientes. Debido a que en la ciudad de Managua y otras municipalidades cercanas, los recursos de agua son utilizados no solamente para agua potable, sino también para uso industrial y agrícola. INAA debe estar a la cabeza de este comité para la investigación, la observación, el análisis y la evaluación del agua subterránea.

INAA, INETER e IRENA son las principales instituciones gubernamentales que tienen la responsabilidad de velar por los recursos naturales en Nicaragua.

INAA está a cargo de la responsabilidad particularmente difícil como es el desarrollo las fuentes de agua y el abastecimiento de agua potable a la población de Nicaragua, a través de la utilización racional de los escasos recursos de agua. Desde este punto de vista, se recomienda que INAA este a la cabeza del Comité de Manejo Ejecutivo, el cual estará conformado por representantes de INAA, INETER e IRENA.

#### Bases Legales

|  |                      |
|--|----------------------|
| Regulación del Manejo del Agua Subterránea | Nicaragua<br>Managua |
|--|----------------------|

#### Comité Ejecutivo de Manejo

|                                       |                         |
|---------------------------------------|-------------------------|
| Comité de Manejo del Agua Subterránea | INAA<br>INETER<br>IRENA |
|---------------------------------------|-------------------------|

#### Oficina de Manejo

|                                       |      |
|---------------------------------------|------|
| Oficina de Manejo<br>Cuerpo Ejecutivo | INAA |
|---------------------------------------|------|

## Trabajos Principales

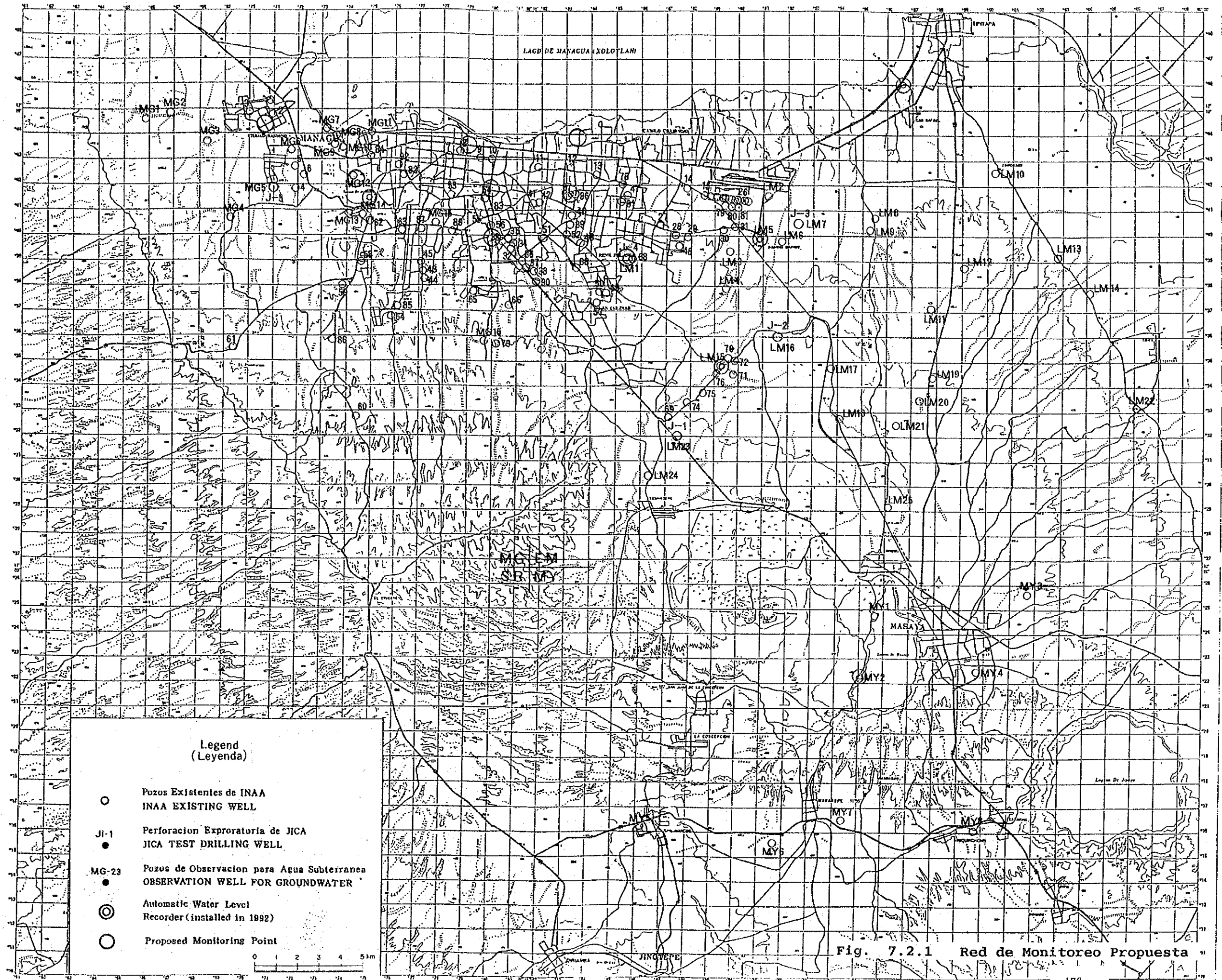
|   |
|---|
| Investigación sobre el Desarrollo del Agua Subterránea<br>Permiso y Registro de Perforación de Pozos Nuevos<br>Manejo del Sistema de Monitoreo<br>Control de la Descarga de Bombeo<br>Reservación del Area de Recarga de Agua Subterránea<br>Control de la Calidad del Agua |
|---|

### 7.3 Fuentes de Agua Alternativas

De acuerdo con los resultados del análisis del balance de agua y de la estimación de la demanda se recomienda fuertemente el desarrollo de fuentes de agua alternativas lo más pronto posible. Dos posibles fuentes de agua alternativas para la ciudad de Managua son las siguientes:

- (1) Desarrollo del agua subterránea en el área de Tisma y Granada
- (2) Proyecto de conducción de agua desde el lago de Nicaragua

El contenido detallado de estos proyectos se mencionan en el Capítulo 8. Se recomienda la realización pronta del monitoreo del nivel del agua subterránea, de la descarga de los ríos y de la precipitación, antes de comenzar las investigaciones detalladas de proyectos específicos.



Legend  
(Leyenda)

- Pozos Existentes de INAA  
INAA EXISTING WELL
- JI-1 Perforacion Exporatoria de JICA  
JICA TEST DRILLING WELL
- MG-23 Pozos de Observacion para Agua Subterranea  
OBSERVATION WELL FOR GROUNDWATER
- ⊙ Automatic Water Level Recorder (installed in 1992)
- Proposed Monitoring Point

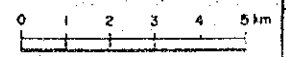


Fig. 7.2.1 Red de Monitoreo Propuesta

## CAPITULO 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## CAPÍTULO 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1 Conclusiones

#### 8.1.1 Condiciones Hidrogeológicas del Area de Estudio

El Area de Estudio cubre la cuenca "Sur del Lago Managua" y tiene una superficie total de 880 km<sup>2</sup>. Está dividido en tres cuencas hidrogeológicas, a saber, sub-área Occidental (65 km<sup>2</sup> y extensiones hacia el norte), sub-área Central (245 km<sup>2</sup>) y sub-área Oriental (570 km<sup>2</sup>). La hidrogeología de toda esta área, ubicada en el extremo suroeste de la Depresión Nicaraguense, es generalmente buena desde los puntos de vista de la topografía, geología y condiciones de recarga, ya que está cubierta por abundantes sedimentos de varios materiales volcánicos. La sub-área oriental se considera particularmente buena para el desarrollo del agua subterránea.

#### 8.1.2 Potencial de Desarrollo del Agua Subterránea

El potencial de desarrollo del agua subterránea en el Area de Estudio se estima en aproximadamente 158,5 millones de m<sup>3</sup> por año (114,72 MGD), distribuidos entre las tres sub-áreas hidrogeológicas de la manera siguiente.

| Sub-área   | Potencial de desarrollo del agua subterránea/<br>Rendimiento permisible del agua subterránea |
|------------|--|
| Occidental | 8,9 millones de m <sup>3</sup> /año (6,44 MGD)   |
| Central    | 41,6 millones de m <sup>3</sup> /año (30,11 MGD)   |
| Oriental   | 108,0 millones de m <sup>3</sup> /año (78,17 MGD)  |

### 8.1.3 Bombeo en el Area de Estudio y Balance de Agua Subterránea

La extracción total del agua subterránea del Area de Estudio en 1991, incluyendo el agua bombeada de la laguna de Asososca, fue de 111,78 millones de m<sup>3</sup>/año (80,91 MGD). El potencial de desarrollo remanente en el Area de Estudio es, por lo tanto, de 46,72 millones de m<sup>3</sup>/año (33,81 MGD). El balance de agua subterránea difiere en las tres sub-áreas, como se muestra a continuación.

| Sub-área   | Extracción en 1991                                   | Potencial de desarrollo remanente (Balance) |
|------------|--|---|
| Occidental | 3,11 millones de m <sup>3</sup> /año<br>(2,25 MGD)   | 4,19 MGD                                    |
| Central    | 69,45 millones de m <sup>3</sup> /año<br>(50,27 MGD) | -20,16 MGD                                  |
| Oriental   | 39,22 millones de m <sup>3</sup> /año<br>(28,39 MGD) | 49,78 MGD                                   |

El potencial negativo de la sub-área central indica el sobrebombeo que ha causado el descenso del nivel del agua subterránea en el área, lo que ha llegado a afectar también el nivel de agua de la laguna de Asososca. El descenso del nivel de agua de la laguna es preocupante ya que existe el temor de que provoque la intrusión de las aguas contaminadas provenientes del Lago Managua.

### 8.1.4 Producción de Agua por Categoría de Uso en 1991 y Demanda de Agua en el Año 2000

Se espera que los diferentes usos de agua observados en 1991 continúen en el futuro. El volumen de agua subterránea producida en el Area de Estudio en 1991 fue de 80,91 MGD, mientras que la demanda de agua en el año 2000 se estima en 150,05 MGD. Estas cifras indican que el volumen de agua subterránea que puede ser desarrollada en el Area de Estudio (máximo de 114,72 MGD) no

podrá satisfacer la demanda del año 2000, aun al nivel de servicio que prevalece actualmente.

Se presenta a continuación la producción del agua subterránea por categoría de uso en 1991, así como la demanda de agua estimada para el año 2000.

| Categoría de uso de agua       | Producción en 1991 | Demanda Estimada en 2000 |
|--------------------------------|--------------------|--------------------------|
| Abastecimiento Managua         | 70,94 MGD          | 138,88 MGD               |
| Abastecimiento Municipal/Rural | 4,81 MGD           | 6,01 MGD                 |
| Uso Industrial                 | 4,26 MGD           | 4,26 MGD                 |
| Uso Agrícola                   | 0,90 MGD           | 0,90 MGD                 |

#### 8.1.5 Balance entre el Potencial de Desarrollo y Demanda Estimada en Managua en el Año 2000

Asumiendo como constantes los usos de agua municipal/rural, industrial y agrícola, y substrayendo estas cifras del potencial de desarrollo del agua subterránea, el resto constituye el balance entre el potencial de desarrollo del agua subterránea y la demanda estimada en el año 2000 para Managua.

| Sub-área                | Potencial asignado a Managua en 2000 | Demanda en 2000 | Balance    |
|-------------------------|--------------------------------------|-----------------|------------|
| Occidental (Distrito 1) | 6,44 MGD                             | 9,15 MGD        | -2,71 MGD  |
| Central   Distritos 2-6 | 25,85 MGD                            | 129,73 MGD      | -32,62 MGD |
| Oriental                | 71,26 MGD                            |                 |            |

### 8.1.6 Rendimiento Permisible en el Area de Estudio

Ya que se está extrayendo agua subterránea en cada una de las sub-áreas, el potencial remanente es como sigue.

| Sub-área   | Potencial de Desarrollo | Extracción en 1991 | Potencial Remanente |
|------------|-------------------------|--------------------|---------------------|
| Occidental | 6,44 MGD                | 2,25 MGD           | 4,19 MGD            |
| Central    | 25,85 MGD               | 46,01 MGD          | -20,16 MGD          |
| Oriental   | 71,26 MGD               | 22,68 MGD          | 48,58 MGD           |

### 8.1.7 Plan de Abastecimiento de Agua a los Distritos 2-6

El potencial remanente de desarrollo del agua subterránea en el Area de Estudio no es suficiente para satisfacer la demanda del año 2000. Esto requiere el desarrollo adicional de nuevas fuentes de agua subterránea fuera del Area de Estudio.

El Proyecto está previsto ser implementado en tres Fases como se indica a continuación.

#### Fase 1

Con el desarrollo de 18,74 MGD de agua subterránea al norte de Ticuantepe en el sub-área oriental, se busca mitigar la frecuencia de la suspensión periódica en el suministro de agua así como del abastecimiento por horas limitadas a las zonas muy elevadas.

#### Fase 2

Con el desarrollo del potencial remanente de 29,84 MGD de agua subterránea en el área de Sabana Grande, el suministro diario per capita de agua para uso doméstico será aumentado de 170 l/c/d a 208 l/c/d.

#### Fase 3

Se desconoce el potencial de desarrollo del agua subterránea en el este del Area de Estudio. Es por eso que



se necesita de un estudio previo a la formulación de un plan detallado. Se requiere un mínimo de 12,46 MGD para satisfacer la demanda del año 2000, pero si se pretende eliminar el sobrebombeo en la sub-área central se requiere de 12,46 a 32,62 MGD de agua subterránea.

#### 8.1.8 Costos Estimados del Proyecto

Se estima que los costos totales del Proyecto oscilan entre C\$748 millones y C\$1.053 millones. Los costos por Fase son como se indican a continuación.

##### Fase 1

A un costo de C\$210 millones, se construirán 14 pozos al norte de Ticuantepe, juntamente con el sistema de conducción de agua al reservorio de Santo Domingo, además de la construcción de dos tanques de 11.000 m<sup>3</sup> de capacidad cada uno.

##### Fase 2

A un costo de C\$349 millones, se construirán 19 pozos en Sabana Grande, juntamente con el sistema de conducción de agua al reservorio de Las Américas No. 4, además de la construcción de dos tanques de 15.000 m<sup>3</sup> de capacidad cada uno.

##### Fase 3

Los costos de desarrollo de 12,46 MGD a 32,62 MGD fuera del Area de Estudio oscila entre C\$189 millones y C\$494 millones para la construcción de pozos, sistema de conducción de agua, tanques, incluyendo además los costos de los estudios previos. Los costos de la Fase 3 fueron estimados a grosso modo asumiendo un costo unitario que supera en 40% (1,4 veces) el costo de la Fase 2.

#### 8.1.9 Costos de Operación y Mantenimiento correspondientes a las Fases 1 y 2

Los costos anuales de operación y mantenimiento de las instalaciones correspondientes a las Fases 1 y 2 se estiman en C\$14.318.400, lo que equivale a un costo unitario de C\$0,21/m<sup>3</sup>/día.

#### 8.1.10 Evaluación del Proyecto

La evaluación financiera de las Fases 1 y 2 del Proyecto indica que el Proyecto difícilmente puede ser considerado "factible", ya que la tasa interna de retorno financiero es de solamente 4%, aun asumiendo condiciones tan favorables como ser 75% de agua vendida y 85% de cobranzas.

Sin embargo, en consideración de los grandes beneficios sociales y los efectos favorables que se esperan del Proyecto, es recomendable la implementación inmediata del Proyecto, especialmente si se logra un financiamiento lo suficientemente "blando".

## 8.2 Recomendaciones

### 8.2.1 Generalidades

El Proyecto debe ser implementado con urgencia con el fin de hacer frente al crítico déficit en el abastecimiento de agua en Managua. INAA será responsable para mejorar el sistema de abastecimiento de agua de Managua a un nivel digno de la ciudad capital de Nicaragua.

El agua subterránea es un valioso recurso natural, especialmente para el abastecimiento de agua de Managua. Ya que la población de Managua equivale a la tercera parte de la población total del país, el abastecimiento de agua a la ciudad capital debe ser reconocido como un proyecto de envergadura nacional. Por consiguiente, se deben promulgar leyes y reglamentos en materia de desarrollo y manejo del agua subterránea, con el fin de proteger las fuentes de agua dentro y en los alrededores de Managua.

En forma previa o simultánea a la implementación del Proyecto, se deben tomar medidas para mitigar el bombeo excesivo en el sub-área central, con el fin de minimizar la probabilidad de contaminación del acuífero a causa de la intrusión de las aguas contaminadas del Lago Managua. Para este propósito, no solamente se debe reducir la extracción de la laguna de Asososca, sino también se debe reducir o prevenir el incremento de bombeo de los pozos del sub-área central.

### 8.2.2 Monitoreo y Otros Estudios

#### (1) Monitoreo del agua subterránea

Con el fin de establecer un sistema de manejo del agua subterránea, se debe comenzar el monitoreo necesario a la brevedad posible. La determinación de cuándo y cómo reducir el bombeo excesivo en el sub-área central depende del monitoreo continuado de la descarga de agua subterránea, nivel de agua subterránea, calidad de agua y precipitación en el área de captación. En cada pozo se deben instalar medidores de caudal con el fin de asegurar el registro de la descarga de agua subterránea a través de pozos. Además, se deben instalar

pluviómetros adicionales con el fin de fortalecer la red de estaciones meteorológicas.

Se deben utilizar los datos recolectados por monitoreo, para efectuar la revisión periódica del modelo de simulación del agua subterránea.

(2) Estudio del agua subterránea al este del Area de Estudio

Antes de formular los detalles de la Fase 3 del Proyecto, se debe efectuar el estudio del potencial de agua subterránea en el área ubicada al este del Area de Estudio que se extiende hasta el Lago Nicaragua. Los puntos a ser incluidos en el estudio son los siguientes:

- Estudios hidrológicos e hidrogeológicos para confirmar el potencial de desarrollo del agua subterránea
- Uso agrícola del agua subterránea, ya que la agricultura constituye la actividad principal del área
- Calidad de agua, especialmente la influencia de agroquímicos

(3) Estudio del agua subterránea al norte del sub-área occidental

El Distrito 1 se considera como un área independiente desde el punto de vista del abastecimiento de agua, debido principalmente al sobrecosto que implicaría la conducción de agua desde el este. Ya que está previsto un déficit en el abastecimiento de agua en el Distrito 1 en el futuro cercano, se debe estudiar el potencial del agua subterránea en el área completa de captación, solamente cuya parte sur estaba incluida como Area de Estudio de este Proyecto.

(4) Estudio de factibilidad del Lago Nicaragua como fuente de abastecimiento de agua para Managua

Simultáneamente con el estudio arriba mencionado, se recomienda un estudio de factibilidad sobre la utilización del Lago Nicaragua como fuente de abastecimiento de agua para Managua. El área ubicada al este del Area de Estudio puede satisfacer la demanda de agua del año 2000, pero puede llegar a ser insuficiente en unos pocos años aun asumiendo un crecimiento poblacional más lento.

(5) Capacitación de personal

El desarrollo del agua subterránea requiere de una tecnología muy especializada y muy amplia, para cuya aplicación son esenciales vastos conocimientos y experiencias. Por consiguiente, se requiere que el ingeniero de agua subterránea posea y sepa aplicar conocimientos especializados sobre exploración del agua subterránea, perforación de pozos, prueba de bombeo, análisis cuantitativo y cualitativo, desarrollo de pozos y monitoreo el agua subterránea. En las etapas correspondientes al diseño detallado y la construcción del Proyecto, se espera que INAA seleccione y asigne al Proyecto el personal apropiado a fin de elevar el nivel técnico a través del entrenamiento en servicio.

8.2.3 Abastecimiento de Agua

(1) Disminución de la sobrecarga de las bombas

Con el fin de aumentar la eficiencia de las bombas, el agua extraída de los pozos debe ser almacenada en unos tanques a ser ubicados en las proximidades de los pozos. De esta manera se evitaría la sobrecarga ejercida actualmente a las bombas que están siendo utilizadas para los propósitos de extracción de agua de los pozos y para la conducción/distribución.

(2) Aumento de capacidad de los tanques reservorios

Actualmente la capacidad total es de 7,5 horas de tiempo de retención, lo que se considera muy insuficiente. Por lo tanto, el mejoramiento/rehabilitación del sistema existente de abastecimiento debe incluir la construcción de reservorios adicionales.

(3) Mejoramiento de la estación de bombeo Rafaela Herrera

La estación de bombeo Rafaela Herrera parece estar especialmente sobrecargada, y se sugiere la construcción de reservorios como una solución a este problema.

(4) Reducción de pérdidas de agua

Se deben continuar los esfuerzos para reducir las pérdidas de agua, a fin de lograr un uso eficaz del limitado recurso.





JICA