PN-ACA-700
94170

Informe de Campo WASH No. 400

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD RELATIVO AL SUMINISTRO, TRATAMIENTO Y DISTRIBUCION DE AGUA PARA MACHALA, ECUADOR

Preparado para la Misión de la USAID en Ecuador
bajo la Tarea WASH No. 452

por
Elio F. Arniella, P.E.

Julio de 1993

El Proyecto de Agua y Saneamiento para la Salud,
Contrato No. DPE-5973-Z-00-8081-00, Proyecto No. 936-5973,
es patrocinado por la Oficina de Salud
de la División de Investigación y Desarrollo
de la Agencia de los Estados Unidos

1

INFORMES AFINES DE WASH

Water Quality Assesment in Ecuador. Field Report No. 390. Prepared by John Paul Chudy, Elio Arniella, and Enrique Gil.

Machala Integrated Cholera and Prevention Program Preparation Visit, March 22-26,1993. Trip Report under Task 462.

Machala Finance Management and Cost Recovery Technical Assistance. Trip Report under Task 462. (Available in August 1993, in Spanish only).

Machala Cholera Control and Prevention Workshop. Trip Report under Task 448. Prepared by Mercedes Torres Barreiro, Enrique Gil-Bellorin, and Jose Ignacio Mata.

Machala Latrine Design Workshop, Trip report under Task 461. Prepared by Mercedes Torres Barreiro, Enrique Gil-Bellorin, and John Gavin.

CONTENIDO

página

NOTAS SOBRE EL AUTOR v
RECONOCIMIENTOS vii
SIGLAS ix
RESUMEN EJECUTIVO xi

1. EVALUACION DE LA SITUACION ACTUAL 1

1.1 Antecedentes del Proyecto 1
1.2 Descripción del Area del Estudio 1
1.3 Datos Demográficos y Económicos 3
1.3.1 Datos Demográficos 3
1.3.2 Datos Económicos 3
1.4 Evaluación de los Sistemas Existentes 4
1.4.1 Suministro de Agua 4
1.4.2 Tratamiento del Agua 5
1.4.3 Almacenamiento 5
1.4.4 Sistema de Distribución 6
1.4.5 Medición 6
1.4.6 Pérdidas a través del Sistema 6
1.5 Cantidad y Demanda de Agua 6
1.6 Calidad del Agua 7

2. NECESIDADES CON RELACION AL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA 15

2.1 Balance del Suministro de Agua Basado en la Alternativa de "Cero Acción" 15
2.2 Balance del Suministro de Agua para Satisfacer la Demanda Proyectada 15
2.3 Necesidades del Sistema de Agua 15

3. DESARROLLO Y EVALUACION DE ALTERNATIVAS 21

3.1 Sistema de Distribución para Machala 21
3.1.1 Criterios de Diseño Básicos 22
3.1.2 Costos de Construcción del Sistema de Distribución de Agua 22
3.2 Pozos Nuevos 24
3.3 Alternativas para el Tratamiento del Agua de Pozo 25

3

3.3.1 Suavización por el Método de Cal-Ceniza de Soda 25
3.3.2 Filtro de Arenisca Verde 28
3.4 Ampliación de la Capacidad Regional de Transmisión y Tratamiento del Suministro de Agua 29
3.5 Resumen de Alternativas 31
3.6 Recomendaciones 34

4. OPCIONES PROPUESTAS A NIVEL DE PREFACTIBILIDAD 37

4.1 Descripción de los Sistemas Propuestos 37
4.2 Estimaciones de los Costos de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento a Nivel de Prefactibilidad 38
4.3 Opciones Relativas al Financiamiento y a la Recuperación de Costos 38
4.3.1 Opciones Relativas al Financiamiento 39
4.3.2 Opciones Relativas a la Recuperación de Costos - Cargos a Usuarios 40

5. INTERROGANTES RELATIVOS A LA PUESTA EN MARCHA 45

5.1 Requisitos Institucionales 45
5.2 Enfoque por Etapas 45
5.3 Requisitos Preliminares Relativos a las Operaciones y el Mantenimiento 45

APENDICES
A. Sistema de Distribucion de Agua de Machala 47
B. Personas Contactadas 53

CUADROS

1. Resumen de Costos xvi
2. Proyección de la Población de Machala y Otros Cantones Servidos por el Sistema de Agua Regional 3
3. Características del Agua Potable para Machala y el Sistema Regional 9
4. Tamaño y Longitud de los Acueductos Principales 21
5. Estimación de los Costos del Sistema de Distribución de Agua de Machala 23
6. Costo Estimado del Campo de Pozos Nuevo 24
7. Elaboración de una Estimación de los Costos de Operación y Mantenimiento para una Planta de Suavización de Agua de Pozo 27

4

8. Elaboración de una Estimación de los Costos de Operación y Mantenimiento de una Planta de Filtración con Arenisca Verde 30
9. Elaboración de una Estimación de los Costos de Operación y Mantenimiento para la PTA Regional 32
10. Resumen de Costos 39
11. Ejemplos de Gastos de Operación y Mantenimiento—Factores de Ajuste Aplicables a los Costos Variables de una PTA 43
12. Ejemplo de Gastos de Operación y Mantenimiento—Factores de Ajuste Anual para Renglones de Tipo General 43
13. Resumen de la Tuberia para la Red 49

DIAGRAMAS

1. Mapa de Ubicación 2
2. Población Actual y Proyectada de Machala y Puerto Bolívar, y Otras Zonas Servidas por el Sistema Regional 4
3. Demanda de Agua para Machala y Puerto Bolívar 7
4. Balance del Suministro de Agua para Machala y Puerto Bolívar, Análisis Basal — Cero Acción 16
5. Déficit Proyectado de Agua para Machala y Puerto Bolívar, Análisis Basal — Cero Acción 17
6. Balance del Suministro de Agua para Machala y Puerto Bolívar, Tramos Nuevos/Modificaciones a la Red y Fuentes Nuevas 17
7. Pérdidas Estimadas de Agua, Suponiendo la Ejecución de un Programa de Rehabilitación/Expansión de la Red 18
8. Diagrama Esquemático del Sistema Basado en una PTA de Suavización 26
9. Diagrama Esquemático del Sistema de Filtración a Presión 29
10. Calendario Preliminar para la Fase I del Proyecto Propuesto 46
11. Trazado de las Redes de Distribucion de Agua Potable de Machala 51
12. Tubieras Alimentadoras Trazado Definitivo 52

6

NOTAS SOBRE EL AUTOR

Elio F. Arniella, P.E., D.E.E., ingeniero sanitario, ha ejercido la profesión de ingeniero ambiental durante más de 18 años y ha participado como director de proyecto, gerente de proyecto, o ingeniero de proyecto en numerosos proyectos realizados para dependencias gubernamentales, municipalidades y la industria privada. Ha prestado servicios de consultoría a nivel internacional en Argentina, Colombia, Chile, República Dominicana, Ecuador, Italia, Hungría, México, Arabia Saudita, Polonia, Puerto Rico, España, Turquía y Venezuela. Tiene un título de maestro en ingeniería ambiental. Se especializa en estudios de factibilidad, trabajos de investigación y desarrollo, diseño, y supervisión de la construcción de instalaciones para el suministro de agua y el tratamiento de aguas residuales.

El Ing. Arniella ha sido presidente de la **Envirosoft-Engineering & Science, Inc.** desde 1990 y un diplomado de la Academia Americana de Ingenieros Ambientales desde 1985.

RECONOCIMIENTOS

El equipo del Proyecto WASH desea expresar su agradecimiento a varias personas que brindaron asistencia y orientación de mucho valor durante la preparación y realización de este trabajo. Se agradece en particular a las siguientes personas:

Dr. Ken Yamashita, Oficial de Salud, USAID/Ecuador
Ing. Adalid Arratia, Coordinador de Programas, USAID-IEOS
Sr. Sonny Low, Subdirector, RHUDO/SA
Ing. Jorge Zurita Barona, Director Nacional de Empréstitos Externos, IEOS
Ing. Francisco Vera Domínguez, Director Provincial, IEOS
Ing. Richard Añasco Dávila, Municipalidad de Machala
Ing. Wilmer Encalada, Municipalidad de Machala
Sr. Joffre Vega, Químico, Municipalidad de Machala

SIGLAS

A.I.D.	*U.S. Agency for International Development* (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional — Washington)
ASCAM	Asociación de Consultores Sanitarios y Ambientales
CAF	Corporación Andina de Fomento
HD	hierro dúctil
IDI	Infilco Degremont, Inc.
IEOS	Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias
km(s)	kilómetro(s)
l/s	litros por segundo
mg/l	miligramos por litro
MSP	Ministerio de Salud Pública
OMS	Organización Mundial de la Salud
PTA	Planta de Tratamiento de Agua
PVC	cloruro de polivinilo
SDT	Sólidos Disueltos Totales

RESUMEN EJECUTIVO

1. Introducción

Para la realización de este estudio de prefactibilidad, fue necesario evaluar la situación actual, determinar las necesidades actuales y futuras, y desarrollar y evaluar alternativas para satisfacer esas necesidades. Además, el estudio de prefactibilidad evalúa las posibles fuentes de financiamiento para el proyecto y las opciones en términos de recuperación de costos para la amortización de los préstamos con los cuales se financiaría el proyecto.

La ciudad de Machala es la ciudad más grande de la provincia de El Oro y es la ciudad cuarta más grande de Ecuador. La provincia de El Oro tiene una extensión de 5,850 kilómetros (kms) cuadrados y su población en 1990 era de 412,572. La población de 1990, registrada en el censo realizado para el área del estudio, se desglosa de la siguiente manera:

Machala	157,572
El Guabo	28,058
Pasaje	51,406
Total	237,036

Fuente: CEPAR, Ecuador, septiembre de 1992

2. Evaluación de los Sistemas Existentes

Actualmente, el agua suministrada a los habitantes de la ciudad de Machala proviene de tres fuentes principales con una capacidad combinada de unos 490 litros por segundo (l/s). La única agua tratada viene de la Planta de Tratamiento de Agua (PTA) La Lucha, que representa aproximadamente el 25 por ciento del agua suministrada, o sea, 120 l/s. Las pérdidas en el suministro de agua atribuidas a fugas y conexiones ilegales se calculan en un 60 por ciento.

La PTA regional forma parte de un proyecto de abastecimiento de agua que lleva en construcción más de 12 años. La Fase I de esta PTA tiene una capacidad de 1,000 l/s. La planta ha sido construida pero aún no ha entrado en funcionamiento. La planta y los acueductos principales se encuentran actualmente en la fase final de pruebas. Se contempla que todos los componentes del sistema estarán en plena operación para el primer trimestre de 1994. La actual capacidad total de almacenamiento del sistema regional es de unos 8,500 metros cúbicos.

En la ciudad de Machala se ha logrado una cobertura de aproximadamente un 35 a un 40 por ciento de la población a través de la red de distribución. En general, la red se encuentra en muy malas condiciones. El sistema existente no cuenta con medidores individuales para medir el uso del agua por los clientes. La demanda de agua sobrepasa la capacidad actual del sistema y las

pérdidas de agua causadas por fugas en la tubería disminuyen de una manera significativa el agua disponible a los usuarios.

2.1 Calidad del Agua

A fin de evaluar la calidad actual del agua en el área del estudio, se estudiaron diversos parámetros bacteriológicos y físicos/químicos de la calidad del agua en los sistemas regional y municipal. Todos los parámetros físicos/químicos probados estaban dentro de las pautas recomendadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Las características bacteriológicas de las fuentes de agua superficial para Machala, Pasaje y la PTA regional contenían coliformes fecales entre 46 y 2,300/100 ml. El agua tratada clorinada proveniente de la PTA La Lucha no registró bacterias coliformes, a pesar de haber registrado el índice más alto en la muestra de agua cruda.

2.2 Cantidad de Agua

El sistema existente tiene problemas significativos para atender la demanda de agua de la población de Machala. El déficit actual de agua se calcula en 305 l/s. Una vez que la planta regional se encuentre en plena operación en 1994, se considera que el déficit será de aproximadamente 116 l/s, aumentando progresivamente hasta alcanzar un nivel de aproximadamente 750 l/s en 2015. El principal factor contribuidor al déficit son las pérdidas de agua. Por consiguiente, la rehabilitación de la red existente y la instalación de nuevas líneas de distribución de agua constituyen prioridades altas para atender la demanda de agua en Machala.

Con base en el balance del suministro de agua y los requisitos en términos de la calidad del agua para Machala, la lista que a continuación se presenta muestra las mejoras que será necesario efectuar al sistema a fin de satisfacer la demanda y garantizar la calidad del agua, tanto actualmente como en el futuro.

- Instalar una nueva red de distribución de agua para Machala y Puerto Bolívar a más tardar en 1996. Agregar 21,600 metros cúbicos de capacidad de almacenamiento.
- Reparar la red de agua existente.
- Eliminar las conexiones ilegales o deficientes para 1996. Promulgar leyes nuevas orientadas a sancionar las conexiones ilegales.
- Establecer como meta una reducción de las pérdidas de agua a través del sistema a menos del 20 por ciento para 1999.
- Instalar medidores de agua para el 50 por ciento de los usuarios para 1996. Instalar medidores de agua para más del 85 por ciento de los usuarios para 1999.
- Instalar de tres a cuatro pozos con una capacidad de 200 l/s para 1994.

10

- Diseñar y construir para 1996 una nueva PTA con una capacidad de 500 l/s, con el propósito de eliminar el hierro y el manganeso y desinfectar el agua proveniente de los pozos.
- Instalar una capacidad adicional de abastecimiento de agua de 250 l/s para el año 2005 y duplicar esa capacidad para el año 2010. Esto podría lograrse a través de una expansión del sistema regional o una expansión de los campos de pozos y los sistemas de tratamiento.

3. Desarrollo y Evaluación de Alternativas

En esta sección se hace una evaluación del sistema de suministro, almacenamiento y distribución de agua para la zona de Machala-Puerto Bolívar. La estimación preliminar de los costos de construcción del sistema de distribución de agua de Machala se basa en el diseño realizado por la Asociación de Consultores Sanitarios y Ambientales (ASCAM), más un 15 por ciento para cubrir tubería adicional para las zonas de desarrollo futuro y reparaciones al sistema existente. Los componentes del diseño relacionados con el balance del suministro de agua y con la distribución de la misma necesitan revisarse con base en las nuevas tendencias del crecimiento demográfico y los nuevos proyectos de desarrollo en el área. No obstante, el diseño es funcional y probablemente aún sea utilizable después de efectuarse ciertos ajustes menores. Los componentes del sistema de distribución incluyen los siguientes:

- 24,700 metros lineales de tuberías de hierro dúctil,
- 140,900 metros lineales de tuberías de cloruro de polivinilo (PVC) para la distribución de agua,
- 30,000 medidores de agua nuevos,
- 10,000 conexiones residenciales nuevas,
- 30 hidrantes, y
- 30 válvulas aisladoras/de control.

La estimación de los costos de construcción del sistema de distribución de agua asciende a unos US$12 millones.

Deben instalarse de tres a cuatro pozos nuevos para suministrar 200 l/s adicionales de agua. Los pozos nuevos se instalarían cerca del campo de pozos existente a unos seis kms de Machala. El costo estimado del campo de pozos nuevo es de US$1.11 millones.

El Capítulo 3 contiene una evaluación y discusión de dos alternativas de tratamiento — la suavización por el método cal-ceniza de soda y la filtración a presión utilizando un material filtrante a base de arenisca verde. El primer sistema contempla la suavización (a fin de evitar la formación de precipitados en las tuberías), la filtración y la clorinación del agua. El segundo proceso es el método acostumbrado para eliminar el hierro y el manganeso del agua de pozo en ausencia de un tratamiento de suavización.

11

El costo de construcción estimado de una planta de suavización con una capacidad de 500 l/s es de US$2.92 millones. El costo estimado de operar y mantener un sistema de este tipo asciende a aproximadamente US$0.5 millones.

La primera prioridad para Machala es el sistema de distribución de agua. Las únicas variaciones en el diseño del sistema de distribución de agua se observan en la disposición de las tuberías, en los materiales utilizados para las tuberías, y en los métodos de construcción. Estos son detalles que deberán tomarse en consideración durante el proceso de diseñar el sistema.

La fuente inmediata para el suministro de agua a Machala-Puerto Bolívar será la planta regional y los pozos nuevos. Si bien esto disminuirá de una manera significativa el déficit actual en el suministro de agua, a menos que se repare la planta existente y se instale el sistema de distribución nuevo, más del 40 por ciento del agua suministrada se perderá a través de las fugas.

La instalación para el tratamiento del agua de pozo se requiere para impedir la formación de precipitados en el futuro sistema de distribución y en los medidores de agua, así como también para desinfectar el agua. Se evaluaron dos alternativas relacionadas con el tratamiento del agua de pozo: 1) una PTA de suavización, y 2) un sistema de filtración a presión utilizando materiales filtrantes a base de arenisca verde. De las dos alternativas, la segunda opción resultó más eficaz en función de costos. Sus costos de inversión y sus costos de operación y mantenimiento se han proyectado en US$2.92 y US$0.56 millones, respectivamente. Las siguientes son las ventajas del sistema de filtración a presión:

- es de operación fácil,
- elimina el hierro y el manganeso,
- atrapa la arena y otros particulados que pueden interferir con la medición,
- tiene costos de inversión y de operación y mantenimiento más bajos que la PTA de suavización,
- no requiere una estación de rebombeo (aunque pueden ser necesarias bombas reforzadoras), y
- es fácil de ampliar.

La principal desventaja de este sistema de filtración a presión es que no suaviza el agua; por consiguiente, existe el potencial para la formación de precipitados en las tuberías. Esta desventaja puede resolverse mezclando el agua de pozo tratada con el agua proveniente de la PTA regional. La dureza resultante debería ser de menos de 100 miligramos por litro (mg/l) en la forma de $CaCO_3$.

Por otro lado, a fin de satisfacer la demanda, se necesitará una nueva fuente de agua con una capacidad de 250 l/s para el año 2005, y se requerirá la misma medida de capacidad adicional cinco años más tarde. Esta capacidad adicional puede suplirse por medio de agua de pozo tratada o una expansión de la PTA regional.

12

3.1 Recomendaciones

Con base en el análisis de los componentes del sistema, se formulan las siguientes recomendaciones:

- Establecer un nuevo Fondo Pro Empresa Municipal de Agua para administrar las mejoras al sistema de agua.
- Diseñar e instalar unos 120 kms de nuevas líneas de distribución de agua en la zona de Machala-Puerto Bolívar para 1996. Lo anterior incluiría aproximadamente 10,000 conexiones nuevas a la red y 30,000 medidores de agua nuevos.
- Diseñar e instalar pozos nuevos con una capacidad de 200 l/s.
- Diseñar e instalar una planta de filtración a presión para el agua de pozo con una capacidad para tratar 500 l/s de agua. La PTA debería situarse cerca del campo de pozos existente o cerca de la Planta de Tratamiento de Agua La Lucha.
- Atrasar hasta el año 2000 la decisión respecto a la instalación de la capacidad adicional que se requiere para el año 2005. Actualizar el estudio de factibilidad en el año 2000, con base en las tendencias del crecimiento demográfico, a fin de determinar la fuente de agua suplementaria más eficaz en función de costos para el período posterior al año 2005.

4. Descripción de los Sistemas Propuestos

Los siguientes sistemas propuestos de suministro de agua requieren acción inmediata:

- El diseño e instalación de una red de distribución de agua para Machala y Puerto Bolívar,
- El diseño e instalación de cuatro pozos nuevos, y
- La PTA de filtración a presión que se situaría en la Planta La Lucha o cerca de la misma. La planta eliminará el hierro y el manganeso del agua de pozo, disminuirá la cantidad de arena y particulados presentes en el agua de pozo, y clorinará el efluente. El agua tratada se mezclará en el sistema de distribución con el agua proveniente de la PTA regional. Esto servirá para disminuir la dureza del agua que se distribuye a los clientes de Machala.

Después del año 2000, se requeriría una capacidad adicional de 500 l/s para suplir la demanda de agua por un período de 20 años. Esta planta nueva puede construirse en dos etapas, con una capacidad de 250 l/s cada una. De acuerdo con las proyecciones actuales de la demanda de agua, la primera etapa debería entra en operación para el año 2005. Con base en las mismas proyecciones, la siguiente fase debería entrar en operación para el año 2010. La factibilidad y

capacidad de los sistemas futuros deberían reevaluarse a través de una revisión del estudio de factibilidad actualizado en el año 2000.

4.1 Estimación de los Costos de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento a Nivel de Prefactibilidad

La estimación del costo de diseñar, construir, operar y mantener las mejoras propuestas al sistema del agua para la zona de Machala-Puerto Bolívar se presenta en forma sintetizada en el Cuadro 1. Este cuadro presenta además el costo de la amortización anualizada del préstamo que se obtendría para poner en marcha estas instalaciones.

Cuadro 1
Resumen de Costos

Componentes del Sistema de Agua	Diseño y Administración	Total de los Costos de Construcción, US$	Costos Anuales de Operación y Mantenimiento, US$	Costos de Inversión Anualizados, US$	Total de los Costos Anuales, US$
Acueducto Principal y Distribución	962,440	12,030,500	247,590	1,048,870	1,296,460
Tanques de Almacenamiento de 21,600 m^3	150,000	1,800,000	20,000	156,930	176,930
Campo de Pozos Nuevo y Acueducto Principal	88,710	1,108,850	491,290	96,670	587,960
Planta de Filtración a Presión	312,510	2,916,740	557,490	254,300	811,790
Total	1,513,660	17,856,100	1,316,370	1,556,770	2,873,140

El costo total estimado de la construcción de las modificaciones propuestas al sistema de agua es de unos US$17.86 millones. La amortización anualizada del préstamo que se obtendría para financiar las mejoras a los bienes de capital es de aproximadamente US$2.87 millones al año, basado en un interés anual del 6 por ciento.

14

4.2 Opciones Relativas al Financiamiento

Debido a la situación económica que impera actualmente en Machala y el aumento en el costo de las instalaciones requeridas, la ciudad no se encuentra en condiciones de financiar este proyecto con fondos propios. A continuación se presentan las posibles opciones externas:

- Préstamo del Banco del Estado de Ecuador,
- Préstamo de instituciones financieras internacionales a través del Banco del Estado,
- Préstamo del Eximbank de los Estados Unidos para la compra de equipo y suministros elaborados en los Estados Unidos (este préstamo sería administrado en Ecuador por la Corporación Andina de Fomento),
- Inversiones particulares,
- Una combinación de opciones.

4.3 Opciones Relativas a la Recuperación de Costos — Cargos a Usuarios

Existen dos métodos comúnmente aceptados para determinar los requisitos del sistema en términos de ingresos:

- Método Basado en el Registro de Caja — Sobre una base anual, este método proporciona el dinero en efectivo necesario para proporcionar servicios a los clientes existentes y a los clientes nuevos proyectados. Se incluyen aquí los gastos de operación y mantenimiento, así como también las necesidades anuales de dinero en activo relacionadas con las inversiones de capital (servicio de la deuda, financiamiento con cargo a los ingresos corrientes, y aportes a reservas).

- Método Basado en las Empresas de Servicio Público — El método basado en las empresas de servicio público utilizado para determinar los requisitos en términos de ingresos es aplicable cuando existe un "dueño" identificable del sistema y diferentes clases de usuarios que no son dueños. En el caso de la municipalidad de Machala, se esperaría que los usuarios ubicados dentro de la periferia urbana compartieran los beneficios de ser propietarios. Los clientes ubicados fuera de la periferia urbana (o zona marginales) servidas por la municipalidad deberían ser considerados como no dueños, o sea, como "arrendatarios" del sistema.

5. Interrogantes Relativos a la Puesta en Marcha

Es esencial contar con una empresa municipal de agua concentrada totalmente en la puesta en marcha y ejecución del proyecto a fin de asegurar que éste se lleve a cabo de acuerdo con el cronograma y el presupuesto previstos. Es el criterio del autor que sería un error de grandes proporciones tratar de manejar un proyecto de esta magnitud exclusivamente con los recursos existentes, o sencillamente "agregando" componentes uno por uno. Se recomienda

enérgicamente que se forme una nueva empresa de agua, con la participación del gobierno municipal y otras organizaciones privadas y públicas pertinentes.

Otra necesidad institucional que existe en relación con este proyecto tiene que ver con acciones orientadas a hacer cumplir la ley existente con respecto a las conexiones ilegales dentro del sistema de agua. Deben revisarse y modificarse las leyes existentes a fin de incluir sanciones civiles más estrictas, así como también posibles penas criminales.

5.1 Enfoque por Etapas

El proyecto puede verse en dos etapas características. La Etapa I es la etapa inmediata o "urgente" que requiere que se construya desde ya la red de distribución, con una capacidad adicional de suministro de agua de 200 l/s. Esta etapa también requiere una PTA. La Etapa II, que corresponde al período de 2000 en adelante, implica una actualización del estudio de factibilidad y fuentes adicionales para el suministro de agua, las cuales actualmente se estiman en unos 500 l/s.

5.2 Requisitos Preliminares en el Area de Operaciones y Mantenimiento

La nueva empresa de agua que se ha propuesto operaría y mantendría el sistema de suministro, tratamiento y distribución de agua. Se prevé que la municipalidad compraría el agua suministrada a Machala del sistema regional a un precio justo negociado. La municipalidad vendería el agua a sus clientes a una tarifa para usuarios calculada para recuperar el costo de la inversión y acumular ingresos para cubrir los costos de las mejoras futuras. El empresa de agua sería responsable de las siguientes actividades:

- Reparar los acueductos y las conexiones residenciales,
- Mantener las válvulas, hidrantes, medidores y equipos relacionados,
- Vigilar la presencia de cloro en el sistema de distribución,
- Vigilar la presión en el sistema,
- Ajustar las válvulas de control para equilibrar el flujo del agua dentro de la red,
- Realizar reparaciones a la PTA y a los pozos,
- Dar mantenimiento a la PTA y a los pozos,
- Mantener un inventario de los repuestos y materiales requeridos para las operaciones diarias,
- Mantener y pedir productos químicos para el tratamiento del agua,
- Revisar los dibujos y las especificaciones de las solicitudes de instalaciones nuevas, y
- Encargarse de las facturaciones y del pago de servicios.

Capítulo 1

EVALUACION DE LA SITUACION ACTUAL

1.1 Antecedentes del Proyecto

Durante el último trimestre de 1992, un equipo multidisciplinario de profesionales del Proyecto WASH realizó una Evaluación de la Calidad del Agua en Ecuador. Dicha evaluación tuvo como propósito investigar fuentes potenciales de cólera en las regiones costeras afectadas por la enfermedad. El estudio evaluó la calidad del agua, el saneamiento y las condiciones sanitarias en tres ciudades costeras de Ecuador: Machala, Guayaquil y Esmeraldas. El informe preparado por el equipo multidisciplinario del Proyecto WASH formuló varias recomendaciones orientadas a mejorar la calidad del agua en la región.

El proyecto actual es un trabajo de seguimiento a la evaluación realizada en 1992 y consiste de asistencia técnica para la municipalidad de Machala diseñada para mejorar el suministro, tratamiento y distribución de agua en la zona. Este Estudio de Prefactibilidad consiste de una evaluación de las condiciones actuales, una determinación de las necesidades actuales y futuras, y el desarrollo y evaluación de alternativas orientadas a satisfacer esas necesidades. Además, el Estudio de Prefactibilidad hace una evaluación de las posibles fuentes de financiamiento del proyecto y de una opción para la recuperación de costos con la cual se amortizaría los préstamos que se obtendrían para financiar el proyecto.

1.2 Descripción del Area del Estudio

La ciudad de Machala es la ciudad más grande de la Provincia de El Oro y la ciudad cuarta más grande de Ecuador. El cantón de Machala abarca los centros urbanos de Machala y Puerto Bolívar. La zona tiene una topografía que por lo general es plana y un clima tropical. La estación de lluvia se presenta durante los meses de diciembre a abril.

El cuerpo de agua más grande de la zona es el Río Jubones, el cual desemboca en el Océano Pacífico cerca de Puerto Bolívar. Uno de los principales tributarios del Río Jubones es el Río Casacay. Una llanura aluvial a lo largo de las orillas del Río Jubones proporciona un recurso abundante de agua subterránea. En general, el suelo subsuperficial consiste de arena o sedimentos derivados de depósitos aluviales. El Diagrama 1 muestra un mapa general de ubicación de Machala, así como también de las ciudades cercanas y las características hidrológicas.

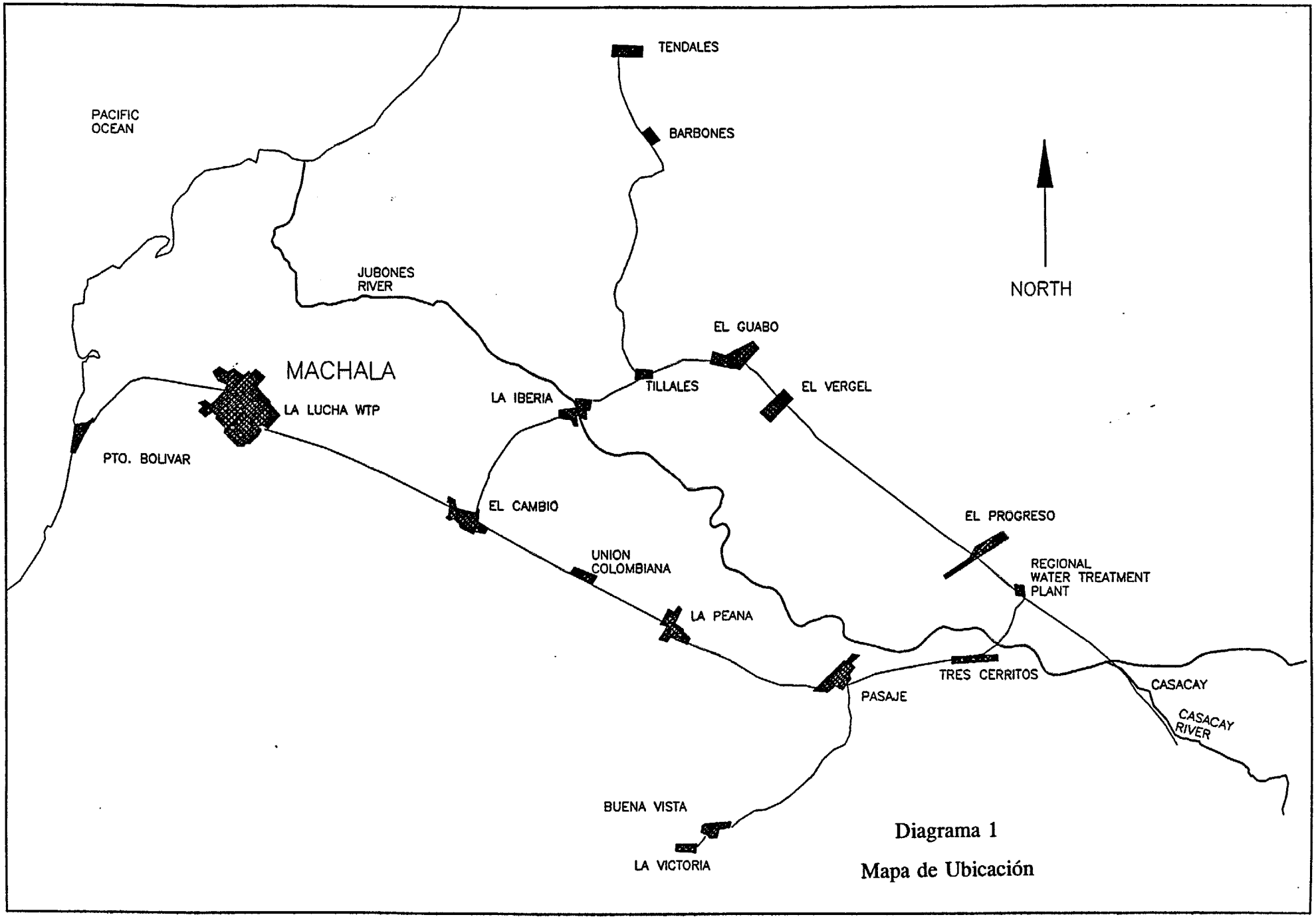


Diagrama 1

Mapa de Ubicación

1.3 Datos Demográficos y Económicos

1.3.1 Datos Demográficos

El sistema de agua regional proporciona servicio a tres cantones: Machala, El Guabo y Pasaje. El Cuadro 2 muestra la población registrada durante los censos realizados en 1982 y 1990 para estas zonas. El cantón de Machala también incluye Puerto Bolívar. Los cantones de El Guabo y Pasaje incluyen centros poblacionales más pequeños dentro de la zona.

Cuadro 2

Proyección de la Población de Machala y Otros Cantones
Servidos por el Sistema de Agua Regional

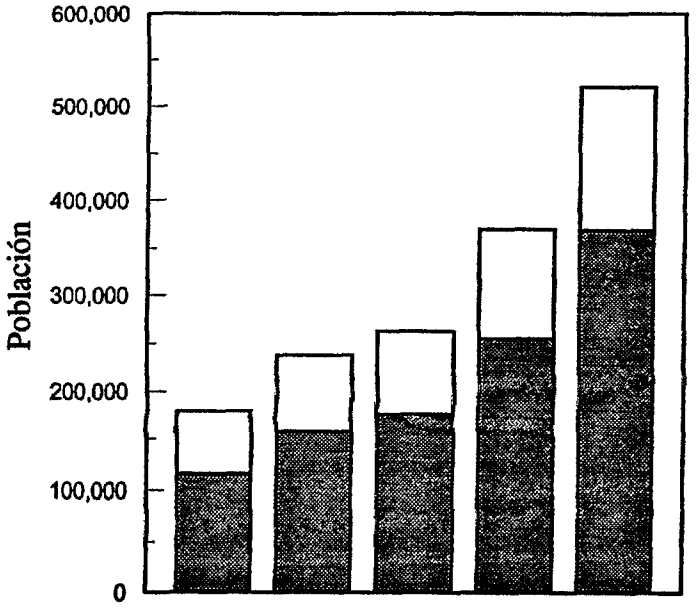
Cantón	1982	1990	Tasa de Crecimiento Anual, %
Machala	116,091	157,572	3.8
El Guabo	20,801	28,058	3.7
Pasaje	42,675	51,406	2.3
Total	179,567	237,036	3.46

Fuente: CEPAR, Ecuador, septiembre de 1992

La Provincia de El Oro tiene una extensión de 5,850 kilómetros cuadrados y su población en 1990 fue de 412,572. La población actual y proyectada se muestra en el Diagrama 2.

1.3.2 Datos Económicos

Las principales fuentes del desarrollo económico en la zona incluyen la agricultura (plantaciones bananeras), la silvicultura y la minería. Otras fuentes secundarias de empleo incluyen la industria manufacturera y la construcción.



Year	1982	1990	1993	2003	2013
Machala & Pto. Bolivar ▒	116,091	157,572	176,078	254,760	368,604
Other Areas □	63,533	79,464	86,489	114,708	152,135

Other areas include the Catónes of El Guabo and Pasaje

Diagrama 2
Población Actual y Proyectada de Machala y Puerto Bolívar,
y Otras Zonas Servidas por el Sistema Regional

1.4 Evaluación de los Sistemas Existentes

1.4.1 Suministro de Agua

Actualmente, el agua suministrada a la población de Machala proviene de tres fuentes principales:

- Canal El Macho, que suministra 120 l/s de agua superficial para ser tratada en la PTA La Lucha;
- El Río Casacay, que abastece a la PTA regional, la cual a su vez actualmente abastece a Machala con aproximadamente 90 l/s de agua no tratada; y
- Los pozos denominados Corralitos, Diez de Agosto, La Unión y Puvenza, que proporcionan una capacidad combinada de aproximadamente 280 l/s.

Otro pozo de abastecimiento de agua, el de El Naranjo, se encontraba fuera de servicio al momento de realizarse las visitas. Este pozo tiene una capacidad de 60 l/s. El pozo de El Naranjo ha experimentado problemas relacionados con la instalación o el desarrollo, produce extracción de sedimentos, y posiblemente no sea reparable. La municipalidad está considerando la instalación de un pozo nuevo contiguo al pozo de El Naranjo que podría aprovechar la bomba

26

y la tubería instaladas en el pozo existente. Además, la municipalidad está identificando posibles sitios para la perforación de pozos nuevos.

1.4.2 Tratamiento del Agua

La única instalación para el tratamiento del agua que proporciona un tratamiento siquiera marginal es la PTA La Lucha. Los demás pozos y la planta regional suministran únicamente agua cruda que no ha sido tratada ni desinfectada. La PTA La Lucha utiliza un aditivo de cal para ajustar el pH, floculación con sulfato de aluminio, sedimentación en un tanque de sedimentación de poca profundidad, y desinfección con gas de cloro. Los filtros de arena han estado fuera de operación durante más de dos años. La planta no cuenta con un laboratorio para probar la calidad del agua a fin de terminar las dosis de los diferentes productos químicos. Todas las dosis de productos químicos son alimentadas de acuerdo con las estimaciones del operador. Los aditivos químicos que típicamente se utilizan en esta planta incluyen los siguientes:

- Cal = 0.65 mg/l,
- Sulfato de aluminio = 15 mg/l, y
- Gas de cloro = 2.3 mg/l.

La PTA regional forma parte de un proyecto de suministro de agua que lleva 12 años en construcción. La Fase I de esta PTA tiene una capacidad de 1,000 l/s. La planta ha sido construida pero aún no ha entrado en funcionamiento. La planta y los acueductos principales se encuentran en la etapa final de pruebas. Se contempla que el sistema entero estará en pleno funcionamiento para el primer trimestre de 1994.

1.4.3 Almacenamiento

Las únicas instalaciones de almacenamiento funcionales del sistema son las siguientes:

- Tanque de Almacenamiento en la Planta Regional: 2,000 m^3
- El Vergel: 5,000 m^3
- Los Cerritos: 1,500 m^3
- Puerto Bolívar: 2,000 m^3

La Planta La Lucha tiene un tanque de almacenamiento elevado que fue retirado de servicio hace más de tres años. Este tanque exhibe un grado considerable de corrosión y puede no ser utilizable. El tanque fue retirado de servicio porque generaba una presión más elevada que la que las tuberías de distribución podrían aguantar sin que se produjeran fugas.

1.4.4 Sistema de Distribución

En la ciudad de Machala se ha logrado una cobertura de aproximadamente un 35 a un 40 por ciento de la población a través de la red de distribución. En general, la red se encuentra en muy malas condiciones. En 1979, el Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS) instaló unos 34 kms de líneas de distribución de agua. Este proyecto no ha sido finalizado ni entregado oficialmente a la municipalidad. Una evaluación realizada por un consultor en 1987 señaló las siguientes deficiencias en el sistema existente:

- Tuberías sin conectores (tales como bifurcaciones Y, Ts y crucetas) en muchos sectores;
- Extremos de tuberías sin tapones o bridas ciegas; y
- Conexiones ilegales de usuarios residenciales en que se emplearon métodos deficientes para hacer la conexión a la red de agua.

En 1986-87, se diseñó una nueva red de distribución para Machala con la cual se agregaría unos 122 kms de tuberías de distribución. Este proyecto nunca se construyó.

1.4.5 Medición

El sistema existente no cuenta con dispositivos de medición individuales para medir el uso del agua por los clientes.

1.4.6 Pérdidas a través del Sistema

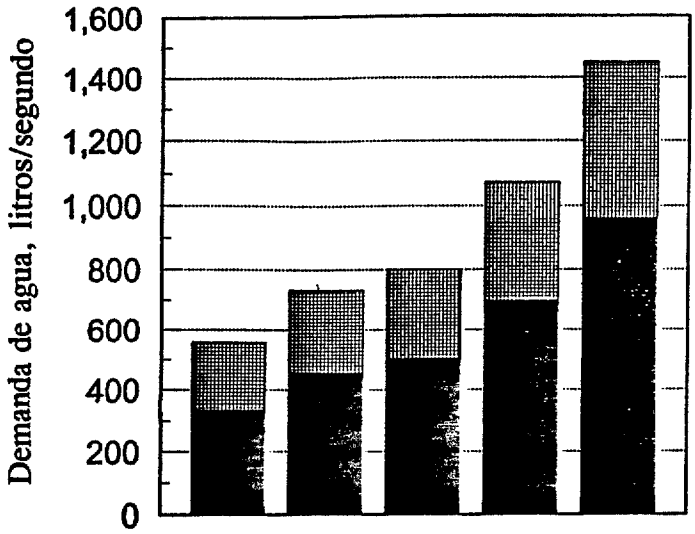
Se ha estimado que un 60 por ciento del agua en el sistema de Machala no es contabilizado; se supone que un 40 por ciento de esa cantidad es el resultado de fugas y que el 20 por ciento restante es atribuible a las conexiones ilegales.

1.5 Cantidad y Demanda de Agua

El principal suministro de agua para Machala y Puerto Bolívar proviene de las siguientes fuentes:

Fuente	Capacidad (l/s)
La Lucha	120
Pozos	280
Planta Regional	90
Total	490

Tal como lo muestra el Diagrama 3, la demanda de agua sobrepasa la capacidad actual del sistema. Además, las pérdidas de agua que se producen como resultado de fugas en las tuberías disminuyen de una manera significativa el agua disponible a los usuarios.



Year	1982	1990	1993	2003	2013
Machala & Pto. Bolivar	336	456	503	695	961
Guabo & Pasaje	221	276	297	381	488

Demand is based on 300 liters/capita per day for Machala & Puerto Bolivar and 250 liters/capita per day for Cantónes El Guabo and Pasaje.

Diagrama 3
Demanda de Agua para Machala y Puerto Bolívar

1.6 Calidad del Agua

Con el propósito de evaluar la calidad actual del agua en el área del estudio, se estudiaron varios parámetros bacteriológicos y físicos/químicos del agua en los sistemas regional y municipal. El Cuadro 3 presenta un resumen de los resultados. Las muestras se recolectaron en los siguientes lugares:

- pozos municipales en Machala,
- Río Casacay — toma de agua cruda para la PTA regional,
- agua del arranque de la PTA regional (sin tratar),

23

- agua de la llave en la ciudad de Pasaje,
- agua cruda de la PTA La Lucha, y
- agua tratada de la PTA La Lucha.

En los párrafos que siguen a continuación se describen los principales parámetros estudiados y se ofrece una breve discusión de su significación.

Alcalinidad: Las condiciones normales de la alcalinidad de las aguas naturales están asociadas con los componentes de dióxido carbónico, bicarbonato, carbonato e hidróxido. Estos factores son característicos de la fuente de agua y de los procesos naturales que ocurren en cualquier momento determinado. Para usos industriales y residenciales específicos, frecuentemente es conveniente cambiar estos factores característicos mediante tratamientos, tales como la aeración, la neutralización y la suavización. El tratamiento específico y la medida en que se utiliza dependen del uso final del agua.

Por lo general, el agua de pozo analizada para los cuatro pozos existentes contenía un alto índice de alcalinidad, de 220 a 290 mg/l en la forma de $CaCo_3$. En las aguas superficiales analizadas, la alcalinidad varió entre 24 y 72 mg/l en la forma de $CaCo_3$.

Nitrógeno Amoniacal: El nitrógeno amoniacal se encuentra presente en diversas concentraciones en muchos suministros de agua superficial y subterránea. Cualquier cambio repentino en la cantidad de amoníaco en un suministro de agua que ha exhibido una composición más o menos constante constituye motivo de sospecha. El nitrógeno amoniacal, el cual es un producto de la actividad microbiológica, a veces se acepta como evidencia química de la contaminación sanitaria cuando se encuentra presente en las aguas naturales. El amoníaco es oxidado rápidamente en los sistemas de agua naturales por grupos bacteriológicos especiales que producen nitritos y nitratos. Esta oxidación requiere la disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua.

Este parámetro arrojó niveles relativamente bajos para todas las muestras probadas. El valor más alto detectado fue de 1.5 mg/l en el pozo de La Unión.

Cuadro 3

Características del Agua Potable para Machala y el Sistema Regional

Parameters	Expression of Results	Municipal Wells that Supply Machala				Río Casacay Raw Water	Regional Plant Raw Water	Pasaje Tap Water	La Lucha Raw Water	La Lucha Finished Water *
		10 de Agosto	Corralitos	Puvenza	La Unión					
Alkalinity	mg/l CaCO3	230	220	290	244	24	24	36	72	0
Ammonia-nitrogen	mg/l	1	<1	<1	1.5	<1	<1	<1	<1	<1
Chlorides	mg/l	64	48	88	44	12	12	12	12	24
Fecal Coliform bacteria	Number/100 ml	0	0	0	3	50	46	1680	2,300	0
Hydrogen ion concentration	pH units	7.5	7.5	7	7.5	7	7	7.9	7.5	6
Iron **	mg/l	0.1	0.1	0.1	0.4	--	--	--	--	--
Nitrate	mg/l	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.1	0.1	<0.2	<0.2	<0.2
Phosphate	mg/l	0.4	0.2	<0.2	0.2	<0.2	<0.2	<0.2	--	<0.2
Silica	mg/l	50	40	50	60	35	20	20	25	25
Total dissolved solids	mg/l	230	220	290	244	20	20	40	100	110
Total hardness	mg/l CaCO3	156	124	172	128	20	20	24	64	44
Calcium hardness	mg/l CaCO3	64	56	124	108	12	12	16	40	28
Manganese hardness	mg/l CaCO3	92	68	48	20	8	8	8	24	16

* The La Lucha Water Treatment Plant effluent sample had 1.19 mg/l of free available chlorine and 1.4 mg/l of total chlorine

** Iron analyses were performed by Ingaoro Softdrinks Co. Laboratories

Cloruro: El cloruro es uno de los principales aniones presentes en el agua. Su presencia en cantidades grandes puede atribuirse a procesos naturales, tales como el flujo de agua a través de formaciones naturales de sal en la tierra, o puede ser una indicación de contaminación producida por el agua de mar o los desechos industriales y residenciales. Cualquier cambio en el contenido normal de cloruro en un cuerpo de agua natural debería ser motivo para sospechar de una contaminación proveniente de una de estas fuentes. Las normas del Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos y de la OMS relativas al agua potable recomiendan un contenido máximo de cloruro de 250 mg/l. Todas las muestras analizadas tuvieron un valor más bajo.

Bacterias Coliformes Fecales: Las bacterias coliformes fecales proporcionan una evidencia más sólida de la posible presencia de patógenos fecales que el conteo de coliformes totales. Los coliformes fecales constituyen un subgrupo de los coliformes totales, los cuales se distinguen en el laboratorio mediante pruebas realizadas a temperaturas elevadas (de 43 a 44.5°C, dependiendo de la prueba). Si bien la prueba determina los coliformes de origen fecal, no distingue entre la contaminación causada por el hombre y la causada por los animales. El índice de coliformes fecales puede ser utilizado como indicador general de la contaminación de la fuente de agua, de la eficacia del tratamiento y de la degradación o contaminación que ocurre en la etapa de post-tratamiento.

La normas del Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos y de la Organización Mundial de la Salud indican que un nivel de cero bacterias coliformes es altamente deseable en la fuente de agua.

Las muestras analizadas varían de 0 a 2,300/100 ml. El resultado más elevado se dio con el agua bruta proveniente de la PTA La Lucha. Sin embargo, no se encontraron coliformes en el agua tratada. El agua de la llave en la ciudad de Pasaje que vienen parcialmente del sistema regional y parcialmente de una bocatoma de agua cruda en el Río Casacay tenía un índice de coliformes fecales muy elevado, de 1,680/100 ml. Uno de los pozos (el de La Unión) tenía un índice de coliformes fecales de 3/100 ml. Dos muestras tomadas del agua cruda proveniente del sistema regional tenían índices de coliformes fecales de 46 y 50/100 ml, respectivamente. La PTA regional no está tratando el agua actualmente. Con la excepción de la PTA La Lucha, no se desinfecta el agua proveniente de ninguna de las fuentes de agua.

Concentración de Iones de Hidrógeno, o pH: El término pH se define correctamente como el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno. Más simplemente, el término pH puede considerarse como un "índice" de la cantidad de iones de hidrógeno que se encuentran presentes en una sustancia. Este "índice" es importante, ya que puede ser utilizado rápidamente para identificar la naturaleza ácida, neutral o alcalina (básica) de los materiales.

La mayoría de las aguas naturales tienen valores entre pH 5.0 y pH 8.5. El agua ácida de la lluvia recién caída puede tener un valor de pH 5.5 a pH 6.0. Si reacciona con suelos alcalinos que contienen materiales alcalinos de poca concentración, el concentrado de iones hidróxidos disminuirá. El agua se volverá levemente alcalina con un pH de 8.0 a 8.5. El agua de mar natural tiene un valor de pH 8.1; los cambios en este valor indican que el agua de una fuente

26

tierra adentro está penetrando el cuerpo de agua de mar. Todas las aguas analizadas tenían valores pH que estaban dentro de los límites aceptables.

Nitratos: El nitrógeno es esencial para el crecimiento de las plantas, pero la presencia de cantidades excesivas en los suministros de agua presenta un problema grande en términos de contaminación. Los compuestos de nitrógeno pueden entrar al agua en la forma de nitratos o convertirse en nitratos a partir de fertilizantes agrícolas, aguas cloacales, desechos de plantas industriales y empacadoras, escorrentía de zonas ganaderas, estiércol orgánico y leguminosos. Los nitratos en cantidades grandes pueden causar metahemoglobinemia en los niños menores de seis meses de edad. Por otra parte, es un factor importante que debe tomarse en consideración en las actividades ganaderas donde, además de causar la metahemoglobinemia, los niveles elevados en los suministros de agua pueden causar muchos otros síntomas. Los nitratos en combinación con el fosfato estimulan el crecimiento de las algas, con todas las correspondientes dificultades asociadas con el crecimiento excesivo.

Las normas del Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos y de la OMS con relación al agua potable señalan que un nivel de 10 mg/l de nitrógeno en la forma de nitratos es un límite que no debe excederse. Todas las muestras analizadas estaban por debajo de dicho límite.

Fosfatos: El fósforo es un importante nutriente para las plantas acuáticas. La cantidad que se encuentra en el agua por lo general no excede de 0.1 mg/l a menos que el agua se haya contaminado por fuentes de aguas residuales o una escorrentía excesiva proveniente de zonas de explotación agrícola. Cuando el fósforo se encuentra presente en niveles superiores a las concentraciones requeridas para el crecimiento normal de las plantas acuáticas, ocurre un proceso llamado eutroficación. Esto crea un ambiente propicio para un aumento en los problemas causados por las algas y las malezas. Cuando las células de las algas mueren, el oxígeno se utiliza en el proceso de descomposición, con el resultado de que frecuentemente se mueren los peces. La descomposición rápida de densas espumas de algas, con los organismos asociados, produce olores fétidos y gas de hidrógeno sulfurado.

Sílice: El dióxido de silicio (SiO_2), conocido comúnmente como sílice, ocurre en todas las aguas naturales en diversos grados de forma reactiva. Un ciclo de silicio ocurre en muchos cuerpos de agua que contienen organismos, tales como diatomeas, que utilizan el sílice en su estructura esqueletal. El sílice eliminado del agua puede devolverse lentamente a la solución a través de la descomposición de minerales de silicato de alúmina en la cuenca de escorrentía de donde fluyen las aguas. Los valores pueden oscilar entre 0 y 75 mg/l. Todos los valores observados se encontraban dentro de estos límites.

Sólidos Disueltos Totales: Los sólidos disueltos totales (SDT) en el agua natural por lo general consisten de sulfato, bicarbonato y cloruros de calcio, magnesio y sodio. El Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos recomienda que los sólidos totales en el agua potable se limiten a 500 mg/l, pero si no se cuenta con agua de este tipo, se puede permitir un contenido de sólidos totales de hasta 1,000 mg/l. La OMS ha fijado como norma un valor máximo de 1,000 mg/l. Desde el punto de vista del riego de los cultivos agrícolas, los sólidos totales de 175 mg/l o

menos se considerarían bajos, los de 175 a 500 se considerarían de un nivel medio, los de 500 a 1500 de un nivel alto, y los superiores a 1,500 de un nivel sumamente alto. El término salinidad también se utiliza para describir el contenido de sólidos en el agua para riego. Además de los problemas que causan en el agua potable y el agua para riego, un contenido alto de sólidos es indeseable en la mayoría de las aguas utilizadas en los procesos industriales.

Los valores de SDT para los cuatro pozos municipales oscilaron entre 220 y 290 mg/l. Los valores de SDT en las aguas superficiales variaron entre 20 y 100 mg/l.

Dureza Total: Los factores relacionados con el calcio, el magnesio y la dureza total del agua se consideran como grupo, ya que la dureza del agua por lo general representa la concentración total de iones de calcio y magnesio, expresada como carbonato de calcio. Otros iones pueden contribuir a la dureza del agua, pero en las aguas naturales, todos los iones menos los de calcio y magnesio se encuentran presentes en cantidades insignificantes.

Es posible que el calcio y el magnesio se introduzcan a un sistema de agua natural cuando el agua pasa por suelos y rocas que contienen grandes cantidades de estos elementos en la forma de depósitos minerales. Las aguas que contienen concentraciones reducidas se denominan aguas "suaves", mientras que las que contienen concentraciones elevadas se denominan "duras".

Un conocimiento de la dureza del agua es de mucha importancia en los usos industriales, ya que constituye la principal fuente de la formación de precipitados en el equipo de intercambio de calor, las calderas y las tuberías. Desde el punto de vista residencial, el agua dura consume cantidades excesivas de jabón, con lo cual se forman grumos y se forma una capa hidroscópica en el pelo, en las telas y en la losa de vidrio.

Las normas del Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos en relación con la calidad del agua potable fijan límites para la dureza causada por el calcio de 200 mg/l y para la dureza causada por el magnesio de 150 mg/l. El agua que tiene una dureza total de entre 0 y 60 mg/l se denomina suave; de 60 a 120 mg/l se denomina media-dura; de 120 a 180 mg/l, dura; y superior a 180 mg/l, muy dura. Con base en este criterio, el agua de los cuatro pozos se considera dura y el agua del sistema regional se considera suave. La dureza en todas las muestras de agua de pozo analizadas osciló entre 124 y 172 mg/l en la forma de $CaCo_3$. Las fuentes de agua superficial, y especialmente el agua cruda del Río Casacay, eran suaves.

Hierro: La mayoría de las aguas naturales contienen alguna cantidad de hierro. Su presencia puede variar de la cantidad más mínima a cantidades muy elevadas en el agua contaminada por desechos ácidos de las minas. Para el uso residencial, la concentración no debería exceder de 0.2 mg/l, y para algunas aplicaciones industriales no se puede tolerar siquiera la más mínima cantidad de hierro. Se cuenta con muchos diferentes medios para eliminar o disminuir el contenido férrico del agua. Las resinas para la suavización del agua son eficaces para eliminar cantidades menores de hierro, y existen materiales especiales de intercambio de iones que eliminan el hierro en forma selectiva. Las concentraciones de hierro pueden eliminarse a través de procesos químicos, tales como la oxidación o la suavización por el método de cal-ceniza de

soda. Debido a la existencia de muchos diferentes métodos para eliminar o disminuir la cantidad de hierro en el agua, el método específico utilizado dependerá en gran medida de la forma del hierro que se encuentra presente y del uso final del agua tratada.

La concentración de hierro en el agua tomada del pozo de Puvenza se registró en 0.4 mg/l. Todos los demás pozos tenían niveles de 0.1 mg/l de hierro.

Capítulo 2

NECESIDADES CON RELACION AL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA

El sistema existente tiene problemas significativos para satisfacer la demanda de agua de la población de Machala. En esta sección del estudio, se aborda el interrogante del balance del suministro de agua para la alternativa de "cero acción", o sea, lo que sucedería si las cosas permanecieran sin cambio. Además, en esta sección se hace una evaluación de lo que se requiere para atender la demanda de agua actual y futura. Por otra parte, se presenta una discusión de las instalaciones de tratamiento necesarias para mejorar la calidad del agua.

2.1 Balance del Suministro de Agua con Base en la Alternativa de "Cero Acción"

El Diagrama 4 presenta un análisis de lo que sucedería si no se hiciera nada por mejorar el sistema de agua de Machala. El déficit de agua, tal como queda ilustrado en el Diagrama 5, se ha calculado en 306 l/s. Después de que la planta regional entre en plena operación en 1994, se contempla que el déficit alcanzará unos 116 l/s y que aumentará a un nivel de aproximadamente 750 l/s en 2015. El principal factor que contribuye al déficit son las pérdidas de agua; por consiguiente, la rehabilitación de la red existente y la instalación de nuevas líneas de distribución de agua constituyen prioridades altas para satisfacer la demanda de agua de Machala.

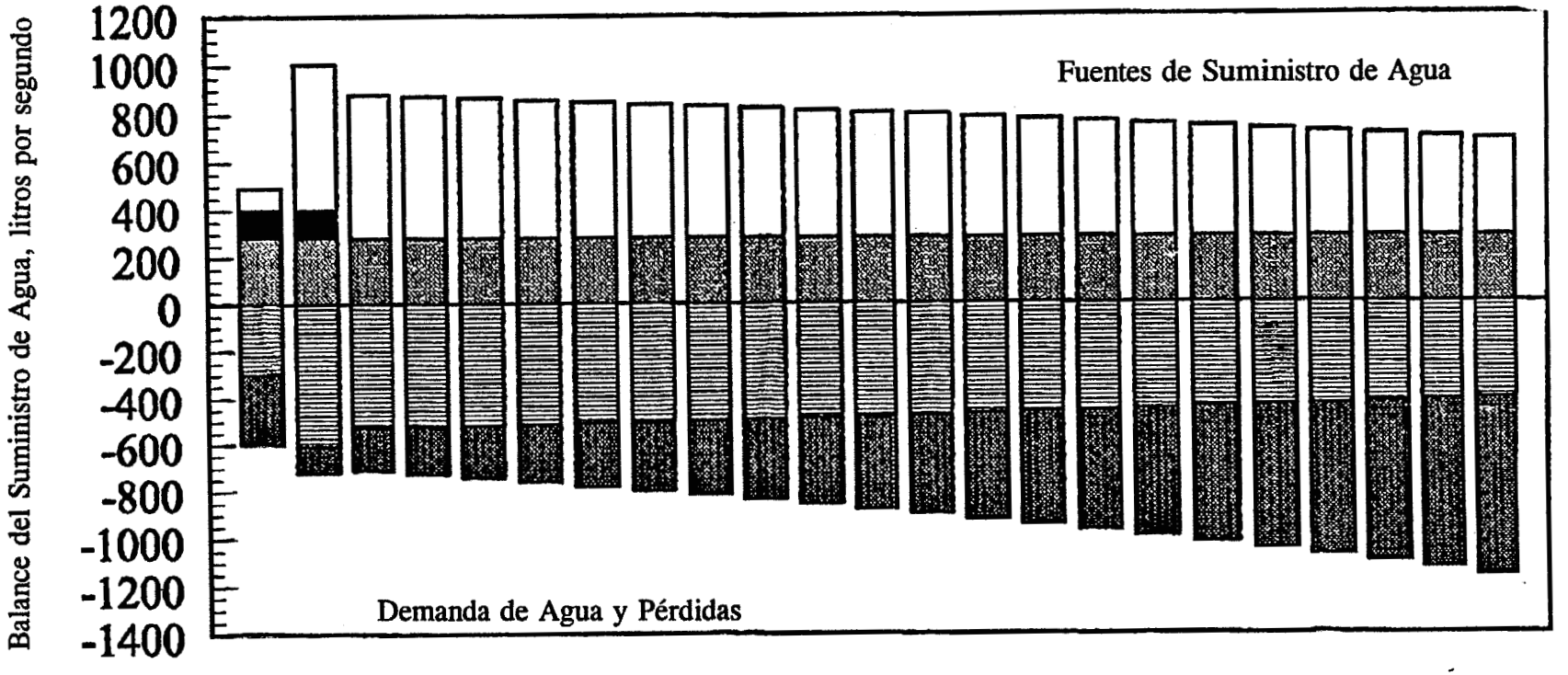
2.2 Balance del Suministro de Agua para Satisfacer la Demanda Proyectada

El objetivo de este análisis es equilibrar las necesidades proyectadas de Machala y Puerto Bolívar en términos de cantidad de agua. Este análisis supone que el suministro de agua aumentará y que las pérdidas a través del sistema disminuirán progresivamente como consecuencia de las mejoras efectuadas al sistema de distribución. La ilustración del balance del suministro de agua que satisface las demandas proyectadas se presenta en el Diagrama 6. Esto supone que las pérdidas de agua a través de sistema son de un 60 por ciento en la actualidad y que bajarán al 20 por ciento en año 1999. El análisis también supone que las pérdidas a través del sistema regional serán de un 15 por ciento durante el período de diseño del proyecto. Las pérdidas supuestas a través del sistema se ilustran en el Diagrama 7.

2.3 Necesidades del Sistema de Agua

Con base en el balance del suministro de agua y los requisitos en términos de calidad del agua para el caso de Machala, se requiere efectuar las siguientes mejoras al sistema a fin de atender la demanda actual y futura de agua y garantizar la calidad de la misma:

- Instalar unos 125 kms de nuevas líneas de distribución de agua dentro de la red de distribución de Machala y Puerto Bolívar para 1996.

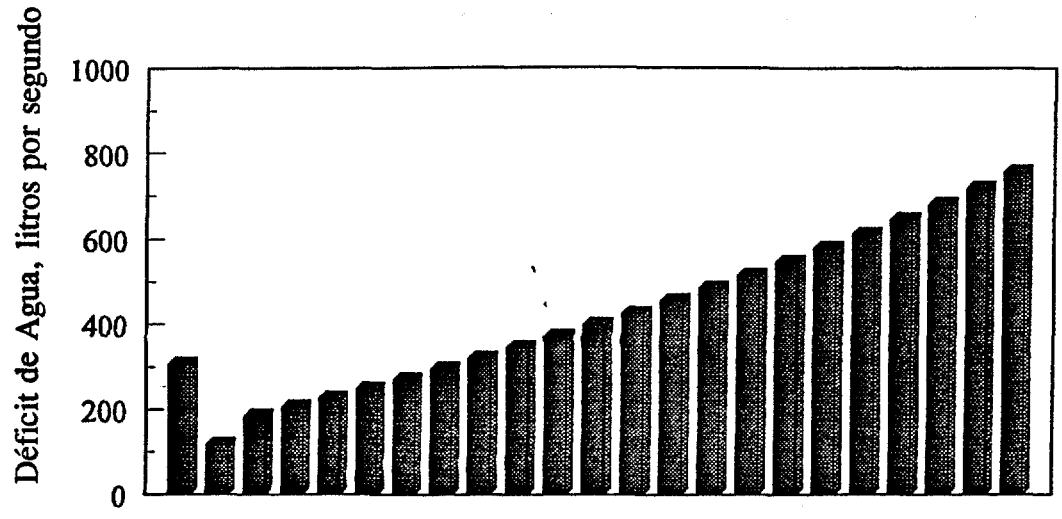


Year	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Well Water	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280
La Lucha Water	120	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Regional Plant	90	808	801	583	585	577	568	560	551	542	532	523	513	503	493	482	471	460	448	437	426	413	401
Distribution Losses	(286)	(805)	(528)	(524)	(519)	(514)	(509)	(504)	(498)	(493)	(487)	(482)	(476)	(470)	(464)	(457)	(451)	(444)	(437)	(430)	(420)	(416)	(408)
Water Demand	(305)	(116)	(194)	(206)	(228)	(248)	(271)	(295)	(319)	(344)	(370)	(397)	(424)	(453)	(482)	(512)	(543)	(576)	(609)	(643)	(679)	(715)	(753)

El análisis supone el suministro de 300 litros per cápita por día para Machala y Puerto Bolívar y 250 para el resto de la zona

Diagrama 4

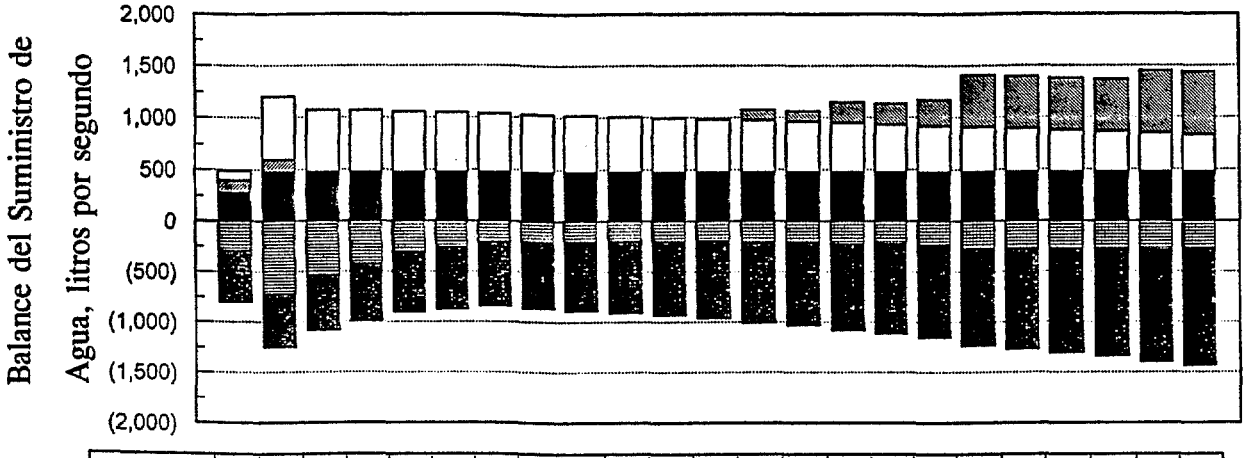
Balance del Suministro de Agua para Machala y Puerto Bolívar,
Análisis Basal — Cero Acción



Year	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Water Deficit, L/sec.	305	116	184	205	226	248	271	295	319	344	370	397	424	453	482	512	543	576	609	643	679	715	753

Diagrama 5

Déficit Proyectado de Agua para Machala y Puerto Bolívar,
Análisis Basal — Cero Acción



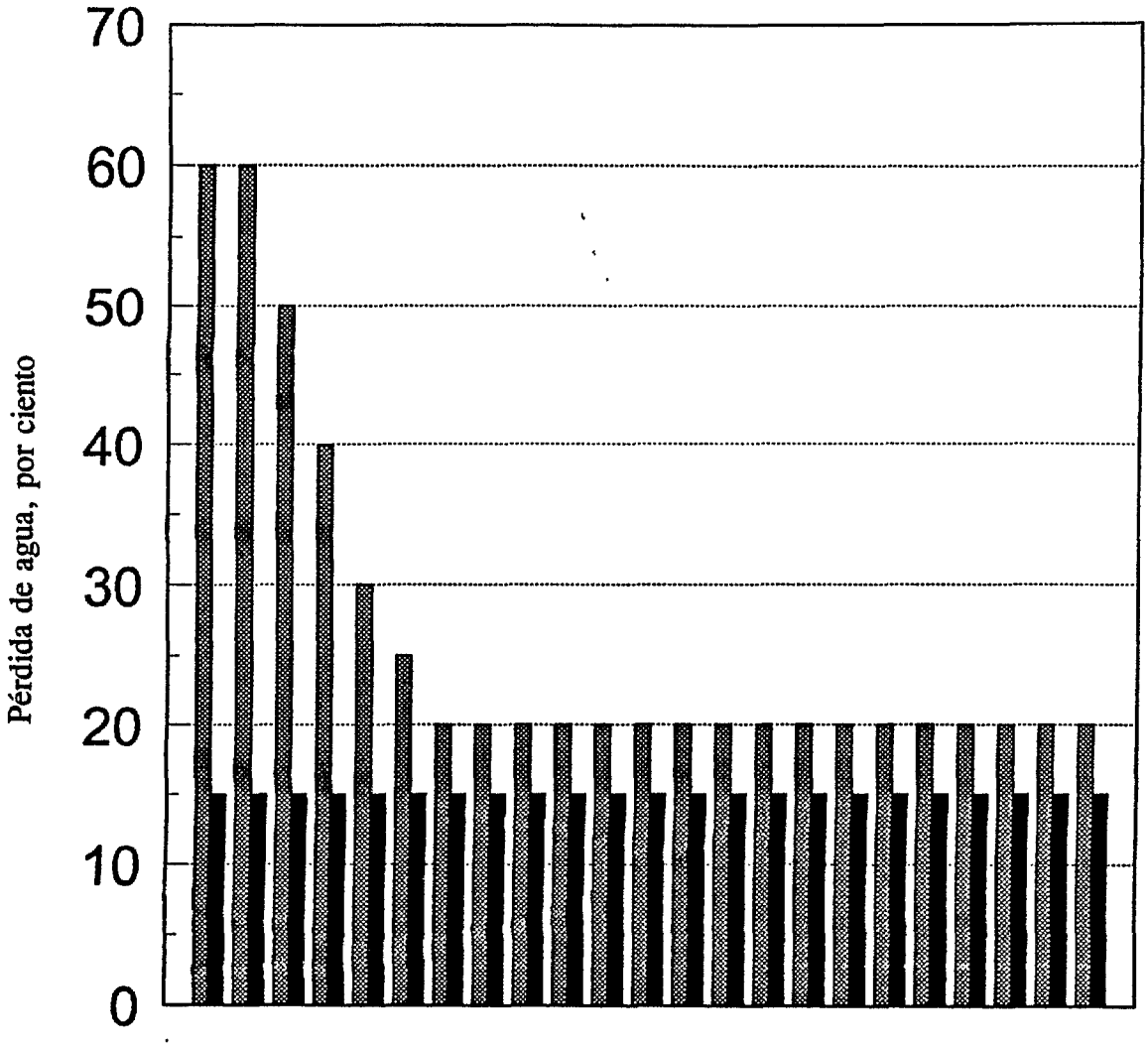
Year	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Well Water	280	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
La Lucha	120	120																					
Regional Plant	90	904	595	586	577	567	557	547	537	526	515	503	492	480	467	454	441	428	414	400	385	370	354
New Sources	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	200	200	250	300	300	300	300	300	301
Loss in System	(295)	(722)	(538)	(425)	(317)	(262)	(207)	(205)	(203)	(201)	(199)	(197)	(214)	(212)	(229)	(227)	(234)	(282)	(279)	(276)	(273)	(290)	(287)
Water Demand	(509)	(529)	(549)	(563)	(591)	(613)	(636)	(660)	(685)	(710)	(737)	(765)	(794)	(824)	(855)	(887)	(920)	(955)	(991)	(1,028)	(1,067)	(1,107)	(1,148)

The analysis assumes 300 liters/per day for Machala and Pto. Bolivar and 250 for the rest.

Diagrama 6

Balance del Suministro de Agua para Machala y Puerto Bolívar,
Tramos Nuevos/Modificaciones a la Red y Fuentes Nuevas

32



Year	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Machala & Pto. Bolivar	60	60	50	40	30	25	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Regional System	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Diagrama 7

Pérdidas Estimadas de Agua
Suponiendo la Ejecución de un Programa de Rehabilitación/Expansión de la Red

33

- Reparar la red de agua existente y prohibir y eliminar las conexiones ilegales o deficientes para 1996.

- Fijar como meta la disminución de las pérdidas a través del sistema a menos del 20 por ciento para 1999.

- Instalar medidores de agua para el 50 por ciento de los usuarios para 1996; instalar medidores de agua para más del 85 por ciento de los usuarios para 1999.

- Instalar de tres a cuatro pozos con una capacidad de 200 l/s para 1994.

- Diseñar y construir, para 1996, una nueva planta de suavización del agua, con una capacidad de 500 l/s, para el tratamiento y desinfección del agua de pozo. Una alternativa para esta opción consistiría en instalar un sistema central para la eliminación del hierro y el manganeso, con desinfección, o un sistema similar en cada pozo. La eficacia de estos sistemas en función de costos es evaluada en la Sección 3 de este informe.

- Instalar una capacidad adicional de abastecimiento de agua de 250 l/s para el año 2005 y duplicar esa capacidad para el año de 2010. Esto podría hacerse a través de una expansión del sistema regional o una expansión de los campos de pozos y sistemas de tratamiento. Estas opciones son evaluadas en la siguiente sección de este informe.

Capítulo 3

DESARROLLO Y EVALUACION DE ALTERNATIVAS

3.1 Sistema de Distribución para Machala

Un nuevo sistema de distribución para la zona de Machala-Puerto Bolívar fue diseñado en 1987 por ASCAM. El sistema diseñado abarca una extensión total de unas 2,370 hectáreas. Esta área cubre cuatro distritos que integran una red de agua con 27 circuitos. El diseño se basó en un programa de computadora desarrollado por ASCAM que utiliza una variante del método Hardy Cross. El programa equilibra el flujo y la presión del agua para los 27 circuitos individuales.

El sistema cubre 21,490 metros lineales de acueductos principales y 122,510 metros lineales de tuberías de distribución de agua. El Cuadro 5 presenta en forma sintetizada el tamaño y la longitud de los acueductos principales. El tamaño y la longitud de las tuberías de distribución se presentan en el Apéndice A.

Cuadro 4

Tamaño y Longitud de los Acueductos Principales

Diámetro, metros	Longitud, metros
0.25	260
0.30	2,370
0.40	11,630
0.50	2,660
0.70	2,250
0.90	800
1.00	1,440

El Apéndice A contiene planos reducidos de los acueductos principales y de los circuitos individuales de la red.

3.1.1 Criterios de Diseño Básicos

El diseño existente (1987) se basa en los siguientes parámetros:

- Año del diseño: 2010
- Período del diseño: 24 años
- Población actual: 125,000*
- Población futura: 275,910
- Area servida por el proyecto: 2,370 hectáreas
- Demanda futura de agua: 300 litros per cápita/día
- Un hidrante por circuito:
- Nueva capacidad de almacenamiento para el año 2010: 29,877 m^3
- Flujo para controlar incendios: 12 ó 24 l/s por hidrante
- Velocidad máxima del agua: 1.76 m/s

* Población estimada utilizada por ASCAM en 1987.

3.1.2 Costos de Construcción del Sistema de Distribución de Agua

La estimación preliminar de los costos de construcción del sistema de distribución de agua de Machala se basa en el diseño de ASCAM (1987), más un 15 por ciento de tubería adicional para cubrir áreas nuevas de desarrollo y reparaciones al sistema existente. Este diseño necesita verificarse con base en las tendencias del crecimiento demográfico y proyectos de desarrollo en la zona. No obstante, se considera que es un diseño funcional que probablemente aún sea utilizable después de efectuar algunos ajustes menores. Los diferentes componentes de los costos de construcción incluyen los siguientes:

- 24,700 metros lineales de HD
- 140,900 metros lineales de tuberías de PVC para la distribución del agua,
- 30,000 medidores de agua nuevos,
- 10,000 conexiones residenciales nuevas,
- 30 hidrantes, y
- 30 válvulas separadoras/de control.

La estimación de los costos de construcción del sistema de distribución de agua se presenta en forma resumida en el Cuadro 5. Esta estimación de los costos de construcción se basa en los costos actuales de los materiales para tuberías y en los costos actuales aplicables a la instalación de tubería en Ecuador, suministrados por el IEOS.

Cuadro 5

Estimación de los Costos del Sistema de Distribución de Agua de Machala

Descripción	Cantidad	Costo Unitario US$	Costo Total US$
Acueductos principales de HD, metros	24,710	*	22,434,724
Tubería de PVC, metros	140,829	*	2,309,824
Medidores de agua, unidades			2,100,000
Conexiones nuevas, unidades	30,000	70	650,000
Excavación, relleno y repavimentación, metros cúbicos	10,000	65	1,324,312
Hidrantes, unidades	165,539	8	36,000
Válvulas, unidades	30	1,200	66,000
Accesorios (uno para cada 200 m)	30	1,200	703,541
Subtotal	828	850	9,624,400
Ingeniería y administración, al 15 por ciento			962,440
Contingencias, al 15 por ciento			1,443,660
Total de los costos de construcción			US$12,030,500

* Para una presentación de los Costos Unitarios Detallados, refiérase al Apéndice A.

3.2 Pozos Nuevos

Para poder suministrar 200 l/s de agua, deben instalarse cuatro pozos nuevos. Los pozos nuevos se instalarían en las cercanías del campo de pozos existente, a unos 6 km de Machala. El agua de pozo de mejor calidad se obtiene del pozo de Corralitos. Los parámetros de diseño utilizados son los siguientes:

- Número = 4
- Profundidad = 70 metros
- Diámetro = 300 mm
- Altura de descarga = 55 metros
- Tamaño de la bomba = 250 mm
- Tamaño del motor = 100 Kw
- Capacidad = de 65 a 70 l/s cada uno

Los pozos nuevos requerirán un nuevo acueducto principal de HD que conduzca del campo de pozos a Machala, con una capacidad de 200 l/s y un diámetro de 500 mm. El costo estimado del campo de pozos nuevo es de US$1.11 millones. El Cuadro 6 contiene un desglose de los costos del campo de pozos nuevo.

Cuadro 6

Costo Estimado del Campo de Pozos Nuevo

Descripción	Cantidad	Costo Unitario, US$	Costo Total, US$
Instalación de pozos	4	2,800	11,200
Bomba y controles	4	35,000	140,000
Válvulas y accesorios	4	5,000	20,000
Equipo eléctrico y controles	4	17,120	68,480
Tubería del pozo al acueducto	1,200	52	62,400
Acueducto principal a Machala	6,500	90	585,000
Subtotal			887,080
Ingeniería y administración Contingencias			88,710 133,060
Total de los costos de construcción			1,108,850

3.3 Alternativas para el Tratamiento del Agua de Pozo

El agua subterránea es una fuente abundante en el área del estudio y su calidad es relativamente buena, particularmente desde el punto de vista bacteriológico. Sin embargo, existen varios problemas potenciales asociados con el agua de pozo. Estos problemas se resumen a continuación:

- Las sales de calcio y de magnesio que se encuentran presentes en el agua a la larga dará lugar a un proceso de formación de depósitos, la cual se define como un depósito costroso y duro en el interior de las tuberías, válvulas, medidores, filtros y calentadores. Los precipitados pueden disminuir la superficie efectiva de la tubería o los orificios en los medidores de agua y hacer que sean ineficientes o inservibles.

- La presencia de hierro y manganeso a los niveles detectados en los pozos del área del estudio reaccionaría con la clorinación del agua, creando una alta demanda de cloro y un precipitado.

La eliminación de las sales de calcio y de magnesio puede lograrse a través de un proceso de suavización del agua. Este tipo de proceso también puede eliminar el hierro y el manganeso. El efluente creado por este proceso puede clorinarse para efectos de distribución del agua. Una alternativa para la suavización del agua sería instalar un proceso para eliminar el hierro y el manganeso sin suavización. Una vez que estos dos parámetros sean reducidos por medio de este proceso, el agua podría desinfectarse adecuadamente. El proceso utilizado para eliminar el hierro y el manganeso implicaría un procedimiento de oxidación química a base de manganato de potasio y la filtración a través de dos diferentes materiales filtrantes (la antracita y la arenisca verde). Después de filtrada, el agua tratada podría desinfectarse con cloro. La desventaja de la segunda opción es que no se elimina la dureza y existe el potencial para la formación de precipitados en el sistema. Sin embargo, si el agua se mezcla con el agua tratada proveniente de la planta regional (la cual es una agua sumamente suave), el producto resultante probablemente no cause problemas con la formación de precipitados en el sistema. Las dos alternativas de tratamiento se discuten en más detalle en los párrafos que siguen a continuación.

3.3.1 Suavización por el Método Cal-Ceniza de Soda

La suavización por el método cal-ceniza de soda elimina la dureza (calcio y magnesio) y elimina además el hierro y el manganeso. Este proceso implica lo siguiente:

- Aditivos químicos,
- Sedimentación,
- Filtración,
- Clorinación, y
- Rebombeo al acueducto principal.

Un diagrama esquemático del proceso correspondiente a este sistema se ilustra en el Diagrama 8.

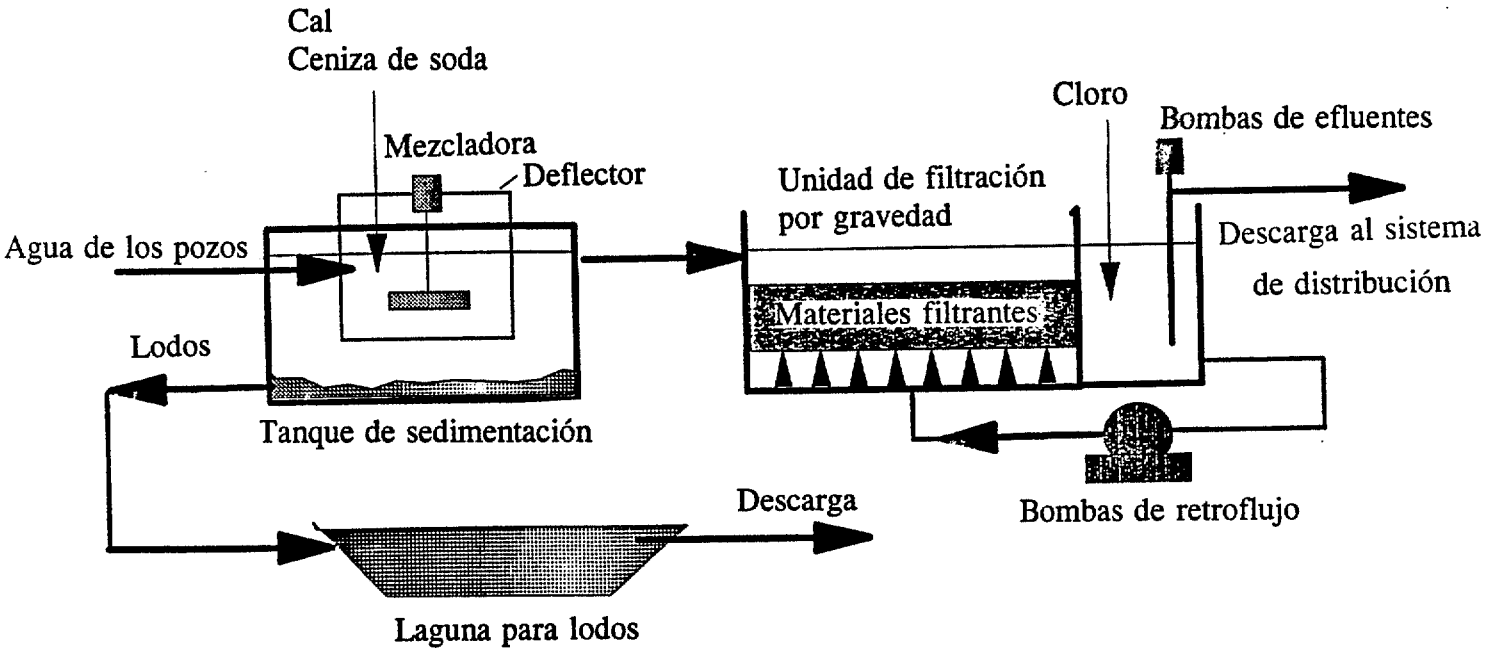


Diagrama 8

Diagrama Esquemático del Sistema Basado en una PTA de Suavización

Los costos de inversión de un sistema de este tipo se calculan en US$4.63 millones. Los costos anuales de operación y mantenimiento se calculan en US$0.72 millones. El Cuadro 7 presenta los costos de construcción y de operación y mantenimiento para este sistema. Los componentes del sistema que se evaluaron incluyen los siguientes:

- Dos mecanismos de aceleración de la Infilco Degremont, Inc. (IDI), con muros de concreto y un diámetro de 18.3 m. Esta unidad puede utilizarse para mezclar ciertos productos químicos, así como también para la circulación y la sedimentación. Incluye todos los mecanismos y controles necesarios.

- Un Filtro Greenleaf de la IDI, con una área de filtración de 195 m^2. La tasa de filtración utilizada es de 0.154 m^3 por minuto/m^2.

Cuadro 7

Elaboracíon de una Estimación de los Costos de Operación y Mantenimiento para una Planta de Suavización de Agua de Pozo

1) Costos de Construcción

Item	Units	Quantity	Unit cost, $	Total Cost, $
Mobilization	ea.	1	50,000	50,000
Excavation & backfill	M3	700	25	17,500
Reinforced concrete				0
Mixing	M3	130	120	15,600
Sedimentation	M3	800	120	96,000
Filters	M3	2,100	120	252,000
Pumping	M3	60	120	7,200
Building	M3	70	120	8,400
Silos & pumps	M3	10	120	1,200
Chlorination	M3	10	120	1,200
Formwork	M2	15,000	25	375,000
Equipment				0
Mixing	ea.	1	20,000	20,000
Sedimentation	ea.	2	230,000	460,000
Filters	ea.	1	650,000	650,000
Pumping	ea.	1	180,000	180,000
Building & Laboratory	ea.	1	86,400	86,400
Silos & pumps	ea.	1	58,000	58,000
Chlorination	ea.	1	35,000	35,000
Backwash Tank	m3	1	150,000	150,000
Piping	Lm	1,200	80	96,000
Valves & fittings	ea.	1	20,000	20,000
Instrumentation	bulk	1	188,900	188,900
Electrical	bulk	1	314,900	314,900
Stand-by generator	bulk	1	150,000	150,000
Roads	Lm	700	52	36,400
Landscaping	m2	400	20	8,000
Painting	m2	350	80	28,000
Subtotal				3,305,700
Engineering & Administration				495,855
Contingencies				826,425
Total construction cost				**$4,627,980**

2) Costo Anual de Operación y Mantenimiento

Item	Units	Quantity	Unit cost, $	Total Cost, $
Labor	hrs.	1.20	10,400	12,480
Energy	Kw-hr	0.08	978,930	78,314
Parts	ea.	1	34,000	34,000
Lime	Kg	3,153,600	0.06	189,216
Soda Ash	Kg	156,950	0.60	94,170
Chlorine	Kg	39,238	7.80	306,053
Supplies	bulk	10,500	1	10,500
Total				**$724,733**

.2 Filtro de Arenisca Verde

El pro[illegible] basado en el filtro de arenisca verde — el cual implica el uso de aditivos quí[illegible]os, filtracion y clorinación — es el método acostumbrado para eliminar el hierro y el mangan[illegible]el agua de pozo sin un tratamiento de suavización. El permanganato de potasio puede o[illegible]l hierro y el manganeso químicamente. En teoría, 1 mg/l de permanganato de potasio [illegible]á 1.06 mg/l de hierro ó 0.52 mg/l de manganeso. Sin embargo, en la práctica el permanganato necesario para oxidar el manganeso soluble es menos que el requisito teórico. Una de las principales ventajas de la oxidación a base de permanganato de potasio es la alta tasa de reacción. Además, la tasa de reacción es relativamente independiente de la concentración de iones de hidrógeno dentro de una amplitud de pH 5 a pH 9.

Después de aplicar una dosis del producto químico al agua, ésta pasa por un filtro de zeolita de manganeso a presión. La zeolita de manganeso se forma aplicando a la zeolita natural de arenisca verde (glauconita) una capa de óxidos mangánicos. El dióxido de manganeso elimina el manganeso y el hierro soluble hasta que se degenere. El filtro se regenera utilizando permanganato de potasio.

Las desventajas de este proceso son la posibilidad de la fuga de manganeso soluble cuando la capa está prácticamente degenerada y el desperdicio del excedente del permanganato de potasio necesario para regenerar la arenisca verde. El impacto de estas dos desventajas ha sido disminuido sustancialmente al alimentar una cantidad de solución de permanganato de potasio adelante del filtro doble de antracita y zeolita de manganeso. La antracita elimina la mayoría de los insolubles, disminuyendo así el problema de la obturación de la arenisca verde. Una alimentación continua de permanganato disminuye la frecuencia de la regeneración de la arenisca verde. Cuando la alimentación de permanganato es menor que los niveles reducidos de hierro y manganeso en el agua, el hierro y el manganeso excedentes son oxidados por la arenisca verde. Si se aplica un excedente, sirve para regenerar la arenisca verde.

42

Un diagrama esquemático de esta opción se presenta en el Diagrama 9.

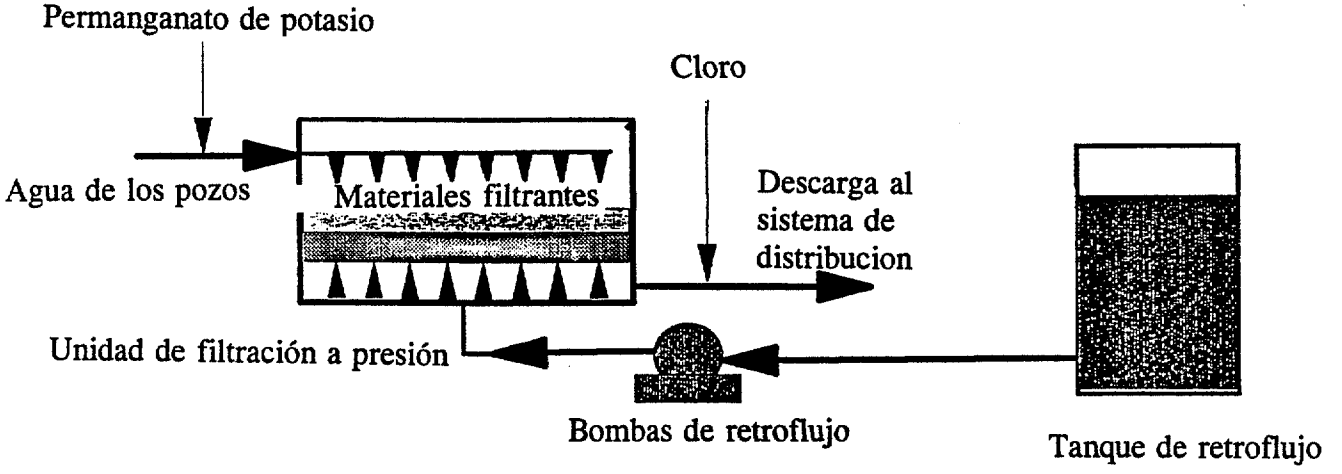


Diagrama 9

Diagrama Esquemático del Sistema de Filtración a Presión

Los costos estimados de construcción de una planta con una capacidad de 500 l/s son de aproximadamente US$2.92 millones. Los costos estimados de operación y mantenimiento de un sistema de este tipo ascienden a unos US$0.56 millones. El Cuadro 8 presenta los costos de construcción y los costos de operación y mantenimiento.

La estimación de los costos se basa en cuatro filtros a presión con todos sus componentes mecánicos y tubería. Las dimensiones de los filtros corresponden a un filtro horizontal con un diámetro de 3.05 m y una longitud de 14 m.

3.4 Ampliación de la Capacidad Regional de Transmisión y Tratamiento del Suministro de Agua

El Río Casacay es la fuente de agua para la PTA regional y, según los ingenieros nacionales, este río tiene un rendimiento seguro mínimo de unos 1,500 l/s. Sin embargo, esta información necesita verificarse con datos hidrométricos reales, que actualmente no se recolectan.

Cuadro 8

Elaboración de una Estimación de los Costos de Operación y Mantenimiento de una Planta de Filtración con Arenisca Verde

1) Costo de Construcción

Item	Units	Quantity	Unit cost, $	Total Cost, $
Mobilization	ea.	1	35,000	35,000
Excavation & backfill	M3	400	25	10,000
Reinforced concrete				0
Filters	M3	283	120	34,006
Building	M3	34	120	4,081
Permanganate Storage & pumps	M3	30	120	3,600
Chlorination	M3	10	120	1,200
Formwork	M2	1,500	25	37,500
Equipment				0
Pressure filters	ea.	2	562,500	1,125,000
Booster Pumps	ea.	100,000	1	100,000
Building & Laboratory	ea.	86,400	1	86,400
Chlorination	ea.	35,000	1	35,000
Backwash Tank	m3	1	150,000	150,000
Piping	Lm	80	1,200	96,000
Valves & fittings	ea.	75,000	1	75,000
Instrumentation	bulk	33,200	1	33,200
Electrical	bulk	35,000	1	35,000
Stand-by generator	bulk	150,000	1	150,000
Roads	Lm	700	52	36,400
Landscaping	m2	400	20	8,000
Painting	m2	350	80	28,000
Subtotal				2,083,387
Engineering & Administration				312,508
Contingencies				520,847
Total construction cost				**$2,916,742**

2) Costos Anuales de Operación y Mantenimiento

Item	Units	Quantity	Unit cost, $	Total Cost, $
Labor	hrs.	8,320	1.20	9,984
Energy	Kw-hr	652,620	0.08	52,210
Parts	ea.	25,000	1	25,000
Potassium Permanganate	Kg	3.25	47,304	153,738
Chlorine	Kg	7.80	39,238	306,053
Supplies	bulk	1	10,500	10,500
Total				**$557,484**

Esta alternativa implica una ampliación de la PTA regional hasta alcanzar una capacidad de 500 l/s. El proceso sería idéntico al proceso actual. El proceso de tratamiento incluye coagulación con alumbre, floculación, sedimentación, filtración por gravedad (antracita/arena) y clorinación.

Una evaluación preliminar de la hidráulica del sistema regional determinó que la tubería de 700 mm y 800 mm del acueducto norte (a través de El Guabo) que parte de la PTA regional tiene una capacidad de 1,350 a 1500 l/s. Por consiguiente, se supone que la expansión de la PTA regional no requeriría una expansión del acueducto para proporcionar un suministro de 500 l/s a Machala-Puerto Bolívar.

El costo estimado de la construcción de este expansión sería de unos US$3.69 millones. El costo anual de operación y mantenimiento se calcula en US$0.36 millones. El Cuadro 9 presenta en forma resumida los costos de construcción y la operación y mantenimiento, respectivamente.

3.5 Resumen de Alternativas

Esta sección proporciona el análisis de la eficacia en función de costos de las alternativas y necesidades del proyecto presentadas anteriormente. En vista de que la prioridad para Machala es el sistema de distribución de agua, estos costos no deben comprometerse. Las únicas variaciones en el diseño de sistemas de distribución de agua son la disposición de las tuberías, los materiales de tubería utilizados, y los métodos de construcción.

La fuente inmediata de agua para Machala-Puerto Bolívar será la planta regional y los pozos nuevos. Esto disminuirá de una manera significativa el déficit actual de agua. Lamentablemente, a menos que se repare la planta regional y se instale el sistema de distribución, más del 40 por ciento del agua suministrada se perderá a través de fugas.

La instalación para el tratamiento del agua de pozo se requiere para propósitos de desinfección y para impedir la formación de precipitados en el sistema de distribución futuro, así como también en los medidores de agua. Se evaluaron dos alternativas relativas al tratamiento del agua de pozo: una PTA de suavización y un sistema de filtración a presión en que el material filtrante sería la arenisca verde. La primera opción tiene las siguientes ventajas:

- suaviza el agua para impedir la formación de precipitados,
- elimina el hierro y el manganeso, y
- produce una mejor calidad de efluentes.

Su principal desventaja es que es más costosa que el sistema de filtración a presión.

Cuadro 9

Elaboracíon de una Estimación de los Costos de Operación y Mantenimiento para la PTA Regional

1) Costos de Construcción

Item	Units	Quantity	Unit cost, $	Total Cost, $
Mobilization	ea.	1	50,000	50,000
Excavation & backfill	M3	25	12,500	312,500
Reinforced concrete				
Mixing & flocculation	M3	230	120	27,600
Block masonry	M3	125	120	15,000
Sedimentation	M3	520	120	62,400
Filters	M3	2,100	120	252,000
Building Additions	M3	70	120	8,400
Chlorination	M3	10	120	1,200
Formwork	M2	17,000	25	425,000
Equipment				
Sedimentation plates	ea.	1	230,000	230,000
Filter media	ea.	1	40,000	40,000
Building modifications	ea.	1	15,000	15,000
Miscellaneous equipments & metals	ea.	1	86,400	86,400
Chlorination	ea.	1	35,000	35,000
Piping	Lm	85	800	68,000
Valves & fittings	ea.	1	10,500	10,500
Instrumentation	bulk	1	32,500	32,500
Electrical	bulk	1	40,600	40,600
Stand-by generator	bulk	1	150,000	150,000
Roads	Lm	600	52	31,200
Landscaping	m2	400	20	8,000
Raw water intake piping	Lm	6,550	65	425,750
Raw water intake structure	bulk	1	35,000	35,000
Painting	m2	3,400	80	272,000
Subtotal				2,634,050
Engineering & Administration				395,108
Contingencies				658,513
Total construction cost				**$3,687,670**

2) Costos Anuales de Operación y Mantenimiento

Item	Units	Quantity	Unit cost, $	Total Cost, $
Labor	hrs.	1.20	6,240	7,488
Energy	Kw-hr	0.08	65,262	5,221
Parts	ea.	1	10,000	10,000
Alum	Kg	236,520	0.08	17,739
Chlorine	Kg	39,238	7.80	306,053
Supplies	bulk	10,500	1	10,500
Total				**$357,000**

46

Las principales ventajas del sistema de filtración a presión son las siguientes:

- es fácil de operar,
- elimina el hierro y el manganeso,
- atrapa la arena y los particulados que pueden interferir con la medición,
- tiene costos de inversión y de operación y mantenimiento más bajos que la PTA de suavización,
- no requiere una estación de rebombeo (aunque puede requerir bombas reforzadoras), y
- es fácil de ampliar.

La principal desventaja de este sistema de filtración a presión es que no suaviza el agua; por consiguiente, existe el potencial para formación de precipitados en las tuberías. Esta desventaja puede resolverse mezclando el agua de pozo tratada con el agua proveniente de la PTA regional. La dureza resultante debería ser menos de 100 mg/l en la forma de $CaCO_3$.

Además, tal lo como muestra el balance del suministro de agua en el Diagrama 6, para poder atender la demanda, se necesitará una nueva fuente con una capacidad de 250 l/s para el año 2005, y la misma cantidad de capacidad adicional se requerirá cinco años más tarde. Esta capacidad adicional puede suplirse mediante agua de pozo tratada o una expansión de la PTA regional. Para este período, la filtración a presión utilizando arenisca verde no constituye una opción porque el agua mezclada tendría una dureza resultante que excedería de 100 mg/l en la forma de $CaCO_3$ y probablemente generaría problemas relacionados con la formación de precipitados en el sistema. Por consiguiente, la opción correspondiente a esta expansión posterior tiene que ser o bien una PTA de suavización o una ampliación de la PTA regional. En ambos casos se tendría que contar con una capacidad de 500 l/s, la cual se instalaría en dos etapas. El análisis económico correspondiente a esta opción favorece por un margen pequeño la opción de la PTA regional.

Las ventajas de la expansión de la PTA regional son las siguientes:

- genera costos de inversión y de operación y mantenimiento más bajos,
- se puede utilizar la tierra disponible,
- utiliza el flujo por gravedad (sin bombeo),
- tiene un diseño sencillo, y
- utiliza el sistema administrativo y otros sistemas existentes.

Las principales desventajas de un sistema regional serían las siguientes:

- La conducción del agua sobre una distancia de 46 km de la PTA a Machala implica que es posible que las pérdidas en el sistema regional (a través de fugas o el consumo de agua por comunidades en pleno crecimiento) disminuyan el volumen efectivo del agua tratada que se entregue a Machala.
- Es dudoso que el Río Casacay pueda proporcionar la capacidad adicional de 500 l/s sobre los próximos 20 años. Se requiere una estación hidrométrica para

determinar el rendimiento seguro del río. Además, las actividades futuras de desarrollo en el área de la cuenca fluvial pueden degradar la calidad del agua del río. Esto requeriría un tratamiento químico más costoso.

Las ventajas de una PTA de suavización serían las siguientes:

- el agua no está sujeta a pérdidas en el sistema regional, y
- la calidad del agua de la fuente es estable.

Sus principales desventajas en comparación con la PTA regional son las siguientes:

- produce costos de inversión y de operación y mantenimiento más altos,
- puede requerir la neutralización de los efluentes,
- su operación requiere destrezas levemente más técnicas,
- requiere un mayor consumo de energía, y
- es posible que sea necesario comprar tierra.

3.6 Recomendaciones

Con base en el análisis de los componentes del sistema, se formulan las siguientes recomendaciones:

- Establecer un nuevo Fondo Pro Empresa Municipal de Agua para administrar las mejoras al sistema de agua.

- Diseñar e instalar unos 24.7 kms de acueductos de HD y 140 kms de nuevas líneas de distribución de agua en la zona de Machala-Puerto Bolívar para 1996. Deberían incluirse aproximadamente 10,000 conexiones nuevas a la red y 30,000 medidores de agua nuevos.

- Diseñar y ubicar nuevos tanques de almacenamiento de agua con una capacidad de almacenamiento de 21,600 m^3. Esta capacidad de almacenamiento proporciona cuatro horas de flujo sostenido a 1,500 l/s. Además, el almacenamiento constituye un medio de protección contra los incendios, satisface la demanda máxima de agua, y ayuda a controlar la presión en el sistema.

- Diseñar e instalar pozos nuevos con una capacidad de 200 l/s y una nueva línea de transmisión de 500 mm.

- Diseñar e instalar una planta de filtración a presión para el agua de pozo con una capacidad para tratar 500 l/s de agua. La PTA debería situarse cerca del campo de pozos existente o cerca de la Planta de Tratamiento de Agua La Lucha. Utilizar el sistema de clorinación de esta planta para dosificar el acueducto principal de 1,000 metros que parte de la PTA regional. Esta planta debería ubicarse convenientemente cerca del acueducto principal de 1,000 mm.

98

- Atrasar hasta el año 2000 la decisión respecto a la instalación de la capacidad adicional que se requiere para el año 2005. Actualizar el estudio de factibilidad en el año 2000, con base en las tendencias del crecimiento demográfico, a fin de determinar la fuente de agua suplementaria más eficaz en función de costos para el período posterior al año 2005.

- Realizar estudios hidrométricos del Río Casacay a fin de determinar el rendimiento seguro del río. Esta información contribuiría al proceso decisorio con respecto a la expansión futura de la PTA regional.

Capítulo 4

OPCIONES PROPUESTAS A NIVEL DE PREFACTIBILIDAD

4.1 Descripción de los Sistemas Propuestos

Los sistemas de suministro de agua propuestos que requieren acción inmediata incluyen los siguientes:

- Diseñar e instalar una red de distribución de agua para Machala y Puerto Bolívar. La nueva red requiere lo siguiente:
  - Aproximadamente 24,700 metros lineales de HD,
  - Aproximadamente 140,900 metros lineales de tubería PVC para la distribución de desechos,
  - 30,000 medidores de agua nuevos,
  - 10,000 conexiones nuevas,
  - 30 hidrantes, y
  - 30 válvulas aisladoras/de control.

- Diseñar e instalar una nueva capacidad de almacenamiento de 21,600 m^3 en Machala. La ubicación y los tamaños de los tanques deben basarse en el diseño final de la red de distribución. El almacenamiento está diseñado para mantener un flujo de 1,500 l/s por un espacio de cuatro horas en el sistema de distribución.

- Diseñar e instalar cuatro pozos nuevos con las siguientes características aproximadas:

Profundidad	=	70 metros
Diámetro	=	300 mm
Acido de descarga	=	55 metros de la columna de agua
Tamaño de la bomba	=	250 mm
Tamaño del motor	=	100 Kw
Capacidad	=	de 65 a 70 l/s cada uno

  La descarga de cada pozo será conectada a un nuevo acueducto de 6,500 m que conducirá el agua de pozo bruta a una PTA nueva. El nuevo acueducto de HD tiene un diámetro de 500 mm.

- Instalar una PTA con filtración a presión, la cual se ubicaría en o cerca de la Planta La Lucha, o cerca del campo de pozos. Este proceso eliminará el hierro y el manganeso del agua de pozo, disminuirá la cantidad de arena y particulados presentes en el agua de pozo, y producirá un efluente clorinado. El proceso

consiste de cuatro filtros a presión, con un diámetro de 3.05 m y una longitud de 14.6 m. Los materiales filtrantes son la antracita y la arenisca verde. Las instalaciones para la inyección del permanganato de potasio y el cloro también constituyen componentes de este sistema. El agua tratada será mezclada en el sistema de distribución con el agua proveniente de la PTA regional. Esto disminuirá la dureza del agua entregada a los clientes en Machala y, por consiguiente, disminuirá el potencial para la formación de precipitados Las instalaciones de clorinación de esta planta nueva deberían utilizarse para dosificar el agua suministrada de la PTA regional. Una posible opción consiste en clorinar el agua de pozo tratada con una dosificación más elevada y mezclarla con el agua proveniente de la planta regional. La dosificación real se basará en la demanda de cloro requerida para mantener 1 mg/l de cloro libre disponible en el sistema.

Después del año 2000, se requeriría una capacidad adicional de 500 l/s para atender la demanda de agua sobre un período de 20 años. Esta planta nueva puede construirse en dos etapas, cada una de las cuales tendría una capacidad de 250 l/s. De acuerdo con las proyecciones actuales de la demanda de agua, la primera fase debería estar en operación para el año 2005. Con base en estas mismas proyecciones, la siguiente fase debería entrar en operación para el año 2010. Debería reevaluarse la factibilidad y la capacidad de los sistemas futuros a través de un estudio de factibilidad actualizado en el año 2000.

4.2 Estimaciones de los Costos de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento a Nivel de Prefactibilidad

Las estimaciones de los costos de diseño, construcción, operación y mantenimiento de las propuestas mejoras al sistema del agua para Machala-Puerto Bolívar se presentan en forma sintetizada en el Cuadro 10. Este cuadro también presenta el costo de la amortización anualizada en relación con el préstamo que se obtendría para la construcción y puesta en marcha de estas instalaciones.

El costo total estimado de la construcción de las propuestas modificaciones al sistema de agua asciende a unos US$16.86 millones. La amortización anualizada del préstamo para la realización de las mejoras es de unos US$2.87 millones al año, basada en una tasa de interés del 6 por ciento anual.

4.3 Opciones Relativas al Financiamiento y a la Recuperación de Costos

Una evaluación detallada de las opciones relacionadas con el financiamiento y la recuperación de costos no encaja dentro del alcance de este trabajo. Por consiguiente, estas opciones se proporcionan de una manera preliminar para una expansión a realizarse en un futuro cercano.

61

Cuadro 10

Resumen de Costos

Componentes del Sistema de Agua	Diseño y Administración	Total de los Costos de Construcción, US$	Costos Anuales de Operación y Mantenimiento, US$	Costos de Inversión Anualizados, US$	Total de los Costos Anuales, US$
Acueducto Principal y Distribución	962,440	12,030,500	247,590	1,048,870	1,296,460
Tanques de Almacenamiento de 21,600 m^3	150,000	1,800,000	20,000	156,930	176,930
Campo de Pozos Nuevo y Acueducto Principal	88,710	1,108,850	491,290	96,670	587,960
Planta de Filtración a Presión	312,510	2,916,740	557,490	254,300	811,790
Total	1,513,660	17,856,100	1,316,370	1,556,770	2,873,140

4.3.1 Opciones Relativas al Financiamiento

Considerando la situación económica que impera actualmente en Machala y el monto del financiamiento requerido ejecutar las instalaciones propuestas, la ciudad no se encuentra en condiciones para financiar este proyecto. Las opciones externas incluyen las siguientes:

- Préstamo del Banco del Estado de Ecuador,
- Préstamo de instituciones financieras internacionales a través del Banco del Estado,
- Préstamo del Eximbank de los Estados Unidos para el sector privado, con la anuencia del Gobierno de Ecuador, destinado a la compra de equipo y suministros manufacturados en los Estados Unidos (el Eximbank apoya las exportaciones a Ecuador a través de la Corporación Andina de Fomento (CAF)),
- Inversiones particulares, y
- Una combinación de opciones.

El Banco del Estado ha recibido un empréstito por US$120 millones del Banco Interamericano de Desarrollo para realizar mejoras a la infraestructura de Ecuador. Este empréstito será utilizado principalmente para caminos y carreteras y para proyectos de abastecimiento de agua y saneamiento. Es posible que el Banco del Estado pueda comprometerse a cubrir parcial o totalmente el costo de las mejoras al sistema de agua de Machala.

El Eximbank apoya las exportaciones a Ecuador, Perú, Venezuela, Bolivia y Colombia a través de la Corporación Andina de Fomento (CAF). La CAF es un banco de desarrollo dedicado

principalmente a las exportaciones relacionadas con proyectos de desarrollo. Sin embargo, ha prestado su apoyo a algunos proyectos comerciales. El Eximbank actualmente está ayudando a Bolivia y Ecuador a través de préstamos a corto plazo otorgados a entidades del sector privado.

La opción anterior será evaluada en más detalle, en combinación con otras opciones, en una futura asesoría técnica del Proyecto WASH (Tarea WASH No. 462).

4.3.2 Opciones Relativas a la Recuperación de Costos — Cargos a Usuarios

Se cuenta con dos métodos comúnmente aceptados para determinar los requisitos del sistema con relación a los ingresos: (1) el método basado en el registro de caja y (2) el método basado en las empresas de servicio público.

Método Basado en el Registro de Caja: Este método de determinar los requisitos de ingresos frecuentemente es utilizado por las empresas de servicio público de propiedad del sector público debido a su semejanza a otros elementos del proceso presupuestario municipal. Sobre una base anual, proporciona el dinero en efectivo necesario para proporcionar servicios a los clientes existentes y a los clientes nuevos proyectados. Se incluyen aquí los gastos de operación y mantenimiento, así como también las necesidades anuales de dinero en efectivo relacionadas con las inversiones de capital (servicio de la deuda, financiamiento con cargo a los ingresos corrientes, y aportes a reservas). El rendimiento del capital no se considera como un requisito de ingresos bajo el método basado en el registro de caja porque el capital accionario es aportado inicialmente por todos los clientes dentro del sistema. Los recursos financieros para las expansiones de los bienes de capital son proporcionados por los usuarios del sistema a medida que surge la necesidad. Los requisitos de ingresos, según la definición correspondiente al método basado en el registro de caja, incluyen los gastos anuales de operación y mantenimiento, el servicio de la deuda (pagos a capital e intereses sobre las deudas vigentes), aportes a las reservas de capital para ayudar a financiar instalaciones futuras (en su caso), y contribuciones anuales para la construcción de instalaciones (financiamiento con cargo a los ingresos corrientes, de acuerdo con la necesidad).

Método Basado en las Empresas de Servicio Público — El método basado en las empresas de servicio público utilizado para determinar los requisitos en materia de ingresos es aplicable cuando existe un "dueño" identificable del sistema y diferentes clases de usuarios que no son dueños. En el caso de la municipalidad de Machala, se esperaría que los usuarios ubicados dentro de la periferia urbana compartieran los beneficios de ser propietarios. Los clientes ubicados fuera de la periferia urbana (o zona marginales) servidos por la municipalidad deberían ser considerados como no dueños, o sea, como "arrendatarios" del sistema.

El concepto tras este enfoque es que a los arrendatarios del sistema se les debería aplicar una tarifa por concepto de servicio prestado que cubra los gastos de operación y mantenimiento (más los impuestos locales en su caso), la depreciación, y un rendimiento razonable de las inversiones de capital del sistema. La recuperación de capital (depreciación más el rendimiento del capital de inversiones) compensa a los propietarios (los residentes municipales que contribuyen con el

pago de su cuota) por obtener el capital inicial y por administrar y operar el sistema. No importa que este capital sea proporcionado a través de empréstitos o inversiones. Como entidad administradora del sistema, la municipalidad puede adquirir el capital necesario de una manera eficiente, dadas las limitaciones respecto a los fondos generados a través del rendimiento del capital invertido.

Diferencia entre los Dos Métodos. Claramente, la distinción significativa entre el método basado en el registro de caja y el método basado en las empresas de servicio público para determinar los requisitos de ingresos es la forma en la que se obtienen los fondos para las inversiones de capital. Los componentes de los requisitos de ingresos correspondientes a cada método se listan a continuación:

Método Basado en las Empresas de Servicio Público	Método Basado en el Registro de Caja
Gastos de operación y mantenimiento	Gastos de operación y mantenimiento
Impuestos sobre activos	Impuestos sobre activos
Depreciación	Inversión de capital a partir de ingresos corrientes
Rendimiento del capital (rendimiento de la inversión de capital más intereses sobre la deuda)	Aportes a las reservas corrientes a partir de los ingresos corrientes.
	Amortización del capital de la deuda
	Pago de intereses sobre la deuda

El método basado en las empresas de servicio público puede ser apto para determinar los requisitos a obtenerse por medio de tarifas aplicadas a clientes que no son dueños del sistema, es decir, clientes que no son responsables de aportar el capital requerido para la construcción de instalaciones. De modo converso, el método basado en el registro de caja por definición requiere la contribución de capital por los clientes existentes y los solicitantes de servicio. Por consiguiente, es lógico que el uso de cargos para el desarrollo del sistema — una contribución inicial de capital por los solicitantes nuevos de servicio — constituye un mecanismo apropiado para la fijación de precios bajo el método basado en el registro de caja.

Los cargos a usuarios normalmente se calculan estimando los gastos por concepto de operación y mantenimiento y las necesidades de dinero en efectivo con relación a los costos de inversión

para los siguientes cinco años. El total de los gastos y de las necesidades de dinero en efectivo se divide entre el número de clientes para obtener el cargo al usuario.

El párrafo que sigue a continuación describe en más detalle la forma en que se calculan los gastos y las necesidades de dinero en efectivo.

Gastos de Operación y Mantenimiento

Las necesidades de dinero en efectivo para la operación del sistema de agua pueden dividirse en dos categorías principales:

- Gastos de operación y mantenimiento, y
- Necesidades de dinero en efectivo, relacionadas con las inversiones de capital, para propósitos de operación.

Los gastos de operación y mantenimiento consisten de los gastos ordinarios anuales para la operación del sistema.

Los gastos de operación y mantenimiento se clasifican adicionalmente por función de la siguiente manera:

- Gastos relacionados con la PTA,
- Gastos relacionados con el sistema de distribución (tubería y medidores de agua),
- Gastos administrativos y generales,
- Gastos variables, por ejemplo, compra de energía eléctrica, permanganato de potasio y otros suministros (la energía eléctrica comprada se utiliza en la PTA así como también para operar la bomba del pozo; el cloro y otros productos químicos son utilizados en el proceso de tratamiento de agua en la PTA,
- El gasto de comprar agua al sistema regional.

El enfoque general utilizado para proyectar los costos de operación y mantenimiento hasta el año 2001 consiste en comenzar con el presupuesto actual y aplicar factores de ajuste apropiados para derivar costos estimados futuros. Cada componente individual de los gastos de operación y mantenimiento debe analizarse a fin de determinar un factor de ajuste apropiado que deberá aplicarse para tomar en cuenta la inflación. Además, los costos variables deben ajustarse proporcionalmente al aumento proyectado en la demanda de agua. Los Cuadros 11 y 12 proporcionan ejemplos de factores de ajuste anual que pueden utilizarse para proyectar los gastos de operación y mantenimiento.

Cuadro 11

Ejemplos de Gastos de Operacion y Mantenimiento
Factores de Ajuste Aplicables a los Costos Variables de una PTA

Descripción	Factor de Ajuste Anual, por ciento
Planta de tratamiento de agua	
Salarios	8
Combustible	12
Uniformes	8
Seguros	10
Mantenimiento, equipo motorizado	8
Mantenimiento, edificios	8
Mantenimiento, maquinaria	8
Cuotas	8
Teléfono	8
Servicios profesionales	10
Asignación para gastos de automóvil	12
Viajes	15
Pensiones	8
Seguro grupal	8
Sistema de distribución	8
Administración	8

Cuadro 12

Ejemplo de Gastos de Operacion y Mantenimiento
Factores de Ajuste Anual para Renglones de Tipo General

Descripción	Tasa de inflación, %	Aumento en el consumo, %	Factor de ajuste, %
Gastos de servicios públicos	12	0	12
Cloro	10	2	12
Otros suministros	7.4	0	7.4

56

Necesidades de Dinero en Efectivo con Relación a los Costos de Inversión

Deberían proyectarse las necesidades de dinero en efectivo con relación al capital para la operación del sistema de agua hasta el año 2000/2001. Las necesidades de dinero en efectivo con relación al capital se refieren al flujo real de efectivo requerido (adicional a los fondos necesarios para cubrir los gastos de operación y mantenimiento) para sostener la empresa de servicio de agua en una base comercial.

Los componentes de las necesidades de dinero en efectivo con relación al capital, proyectados hasta el año 2000/2001, consisten del servicio de la deuda (pagos anuales a capital e intereses) por un total de unos US$2.92 millones al año sobre un préstamo propuesto de US$18.92 millones, más un aporte a las reservas de capital estructurado de tal manera que proporciona cobertura para el servicio de la deuda que se ha propuesto. La cobertura de la deuda normalmente es exigida por los términos de disposiciones específicas de los préstamos y constituye un "factor de seguridad" para la institución financiera.

Capítulo 5

INTERROGANTES RELATIVOS A LA PUESTA EN MARCHA

5.1 Requisitos Institucionales

Un proyecto para el mejoramiento del sistema de agua de Machala es de una magnitud tal que sobrepasa las capacidades administrativas y financieras actuales de la municipalidad. Además, en vista de que la ejecución de un nuevo sistema de distribución es críticamente importante para impedir una severa escasez de agua, la autoridad gerencial responsable de llevar a cabo tales programas debe contar con las instalaciones y los recursos (financieros, técnicos y administrativos) precisos para manejar los aspectos de planificación, financieros, administrativos y técnicos del proyecto. Por consiguiente, la necesidad de contar con una empresa municipal de agua que concentre toda su atención en el proyecto es percibida como de una importancia vital para efectos de llevar a cabo el proyecto de acuerdo con el calendario y dentro del marco presupuestario. Es la opinión del autor que sería un error de consecuencias trascendentales procurar administrar un proyecto de esta magnitud con los recursos existentes, o sencillamente "agregando" componentes uno por uno. Se recomienda enérgicamente la creación de una nueva empresa de agua con la participación del gobierno municipal y otros organismos privados y públicos apropiados.

Otra necesidad específica de este proyecto es que se haga cumplir las disposiciones de la ley actual referida a las conexiones ilegales al sistema de agua. Deben revisarse y modificarse las leyes existentes a fin de incluir sanciones civiles más rigurosas, la posibilidad de penas criminales.

5.2 Enfoque por Etapas

El proyecto puede ejecutarse en dos etapas. La Fase I es la fase inmediata, o "urgente", que requiere que se construya desde ya la red de distribución, con una capacidad nueva de unos 200 l/s de suministro de agua. Esta fase también requiere la existencia de una PTA. La Fase II, que se requiere para el año 2000 en adelante, implica la realización de un estudio de factibilidad actualizado y fuentes adicionales de suministro de agua, las cuales se proyectan actualmente del orden de unos 500 l/s. Se supone en este análisis que, con la construcción de la nueva red de distribución, se disminuirán las pérdidas de agua y que la demanda incremental, antes del año 2000, será suplida con base en el agua recuperada (como consecuencia de la eliminación de las fugas y las conexiones ilegales). Un calendario preliminar para el proyecto se muestra en el Diagrama 10.

5.3 Requisitos Preliminares Relativos a la Operación y el Mantenimiento

La nueva empresa de agua que se propone operaría y daría mantenimiento al sistema de distribución y tratamiento del agua. Se contempla que la municipalidad compraría el agua suministrada a Machala del sistema regional a un precio justo negociado. Esto implicaría la

instalación de un medidor de agua en el punto de entrega del agua a Machala. La municipalidad vendería el agua a sus clientes a una tarifa para consumidores que se fijaría con miras a recuperar el costo de la inversión y acumular ingresos para cubrir las mejoras futuras. La empresa de agua sería responsable de las siguientes actividades de operación y mantenimiento:

- Proporcionar una administración general respecto al sistema de agua,
- Reparar los acueductos y las conexiones residenciales,
- Mantener las válvulas, hidrantes, medidores y equipos relacionados,
- Vigilar la presencia de cloro en el sistema de distribución,
- Vigilar la presión en el sistema,
- Ajustar las válvulas de control para equilibrar el flujo del agua dentro de la red,
- Efectuar reparaciones a la PTA y a los pozos,
- Dar mantenimiento a la PTA y a los pozos,
- Mantener un inventario de los repuestos y materiales requeridos para la realización de las operaciones diarias,
- Mantener y pedir productos químicos para el tratamiento del agua,
- Revisar los planos y las especificaciones de las solicitudes de instalaciones nuevas, y
- Responsabilizarse de las funciones de facturación y pago de servicios.

Activity	Time, months from start									
	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
Loan Application										
Network design										
Network Construction										
Ground Water Studies										
Well Design & Construction										
Pressure Filter WTP Design and Construction										
Water Meter Installation										

Phase II starts after the year 2000

Diagrama 10

Calendario Preliminar para la Fase I del Proyecto Propuesto

59

Apéndice A

SISTEMA DE DISTRIBUCION DE AQUA DE MACHALA

Cuadro 13

Resumen de la Tuberia para la Red

Network No.	Diameter meters	Length, m	Unit Cost,$	Cost,$
16.A	0.10	1,080	8.8	9504
10	0.10	2,909	8.8	25599.2
8	0.10	2,370	8.8	20856
17	0.10	524	8.8	4611.2
9	0.10	1,539	8.8	13543.2
19	0.10	4,874	8.8	42891.2
15	0.10	2,724	8.8	23971.2
7	0.10	707	8.8	6221.6
11	0.10	4,031	8.8	35472.8
14	0.10	4,262	8.8	37505.6
12	0.10	2,449	8.8	21551.2
18	0.10	872	8.8	7673.6
2.A	0.10	1,751	8.8	15408.8
20.A	0.10	1,932	8.8	17001.6
3	0.10	2,272	8.8	19993.6
21.A	0.10	2,766	8.8	24340.8
6.B	0.10	2,634	8.8	23179.2
20.B	0.10	782	8.8	6881.6
4	0.10	1,928	8.8	16966.4
13	0.10	2,453	8.8	21586.4
6.A	0.10	1,924	8.8	16931.2
2.B	0.10	2,016	8.8	17740.8
22	0.10	3,119	8.8	27447.2
21.B	0.10	2,390	8.8	21032
14	0.15	1,358	17.71	24050.18
19	0.15	992	17.71	17568.32
15	0.15	1,900	17.71	33649
21.A	0.15	2,334	17.71	41335.14
16.B	0.15	956	17.71	16930.76
17	0.15	1,910	17.71	33826.1
13	0.15	60	17.71	1062.6
18	0.15	3,330	17.71	58974.3
16.A	0.15	2,376	17.71	42078.96

Cuadro 13 (Continuación)

Network No.	Diameter meters	Length, m Length, m	Unit Cost,$	Cost,$
1	0.15	3,694	17.71	65420.74
8	0.15	2,188	17.71	38749.48
22	0.15	812	17.71	14380.52
2.A	0.15	1,576	17.71	27910.96
3	0.15	2,220	17.71	39316.2
4	0.15	1,324	17.71	23448.04
5	0.15	2,158	17.71	38218.18
6.B	0.15	769	17.71	13618.99
10	0.15	1,784	17.71	31594.64
7	0.15	2,462	17.71	43602.02
11	0.15	2,790	17.71	49410.9
9	0.15	629	17.71	11139.59
New	0.15	18319	17.71	324429.49
19	0.20	565	23.22	13119.3
20.A	0.20	1,695	23.22	39357.9
9	0.20	1,930	23.22	44814.6
20.B	0.20	1,388	23.22	32229.36
5	0.20	656	23.22	15232.32
7	0.20	4,694	23.22	108994.68
6.B	0.20	1,281	23.22	29744.82
16.B	0.20	4,955	23.22	115055.1
18	0.20	1,212	23.22	28142.64
17	0.20	1,532	23.22	35573.04
16.A	0.20	804	23.22	18668.88
8	0.20	396	23.22	9195.12
16.B	0.25	2,800	28.23	79044
8	0.30	669	34.25	22913.25
9	0.30	354	34.25	12124.5
19	0.30	375	34.25	12843.75
6.B	0.30	167	34.25	5719.75
5	0.30	530	34.25	18152.5
20.A	0.35	1,746	42.3	73855.8
20.B	0.35	495	42.3	20938.5
20.B	0.40	1,233	41.35	50984.55
20.A	0.45	1,015	48.4	49126
20.A	0.50	88	61	5368
		140,829		$2,309,824

62

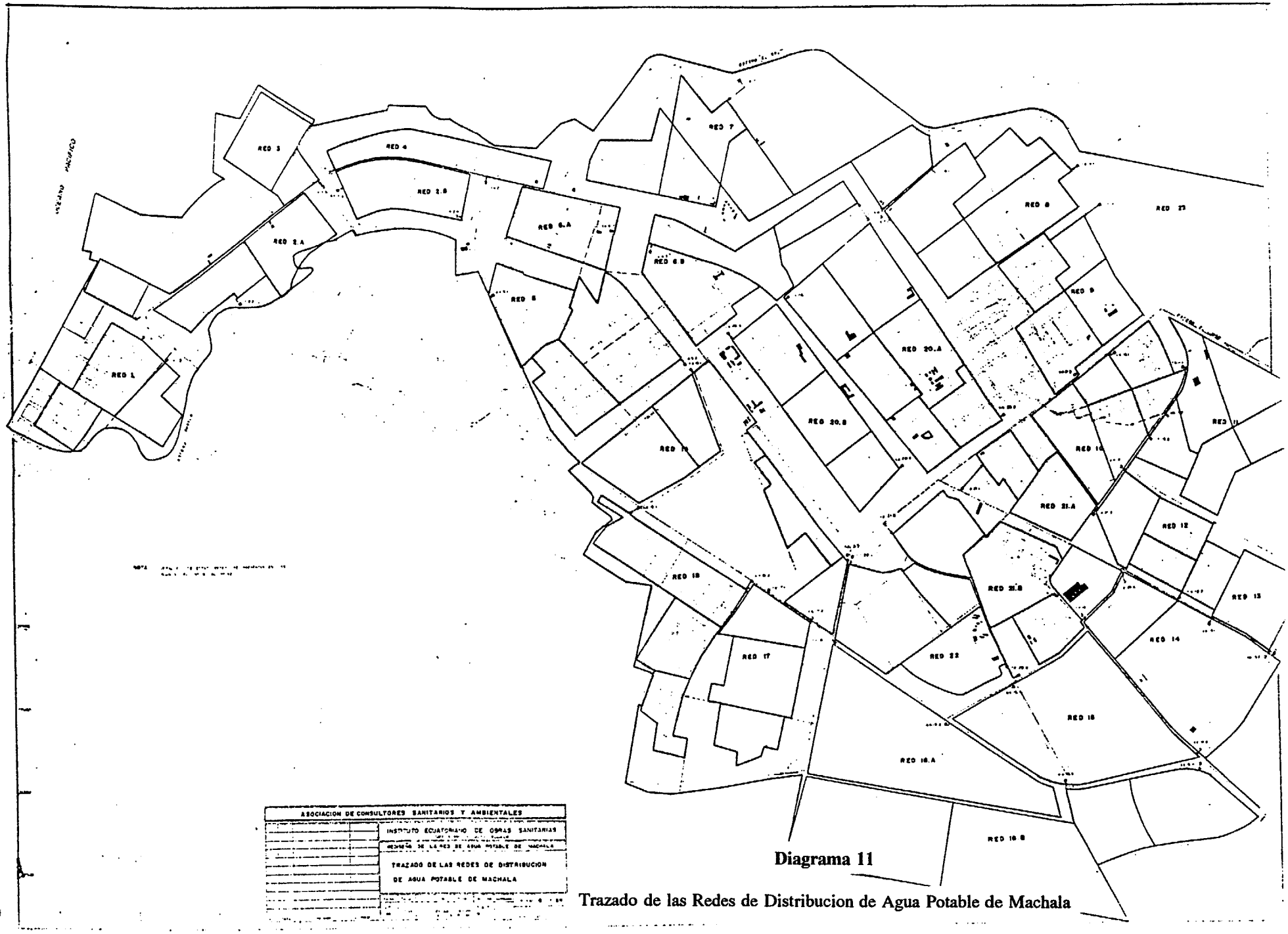


Diagrama 11

Trazado de las Redes de Distribucion de Agua Potable de Machala

BEST AVAILABLE COPY

BEST AVAILABLE COPY

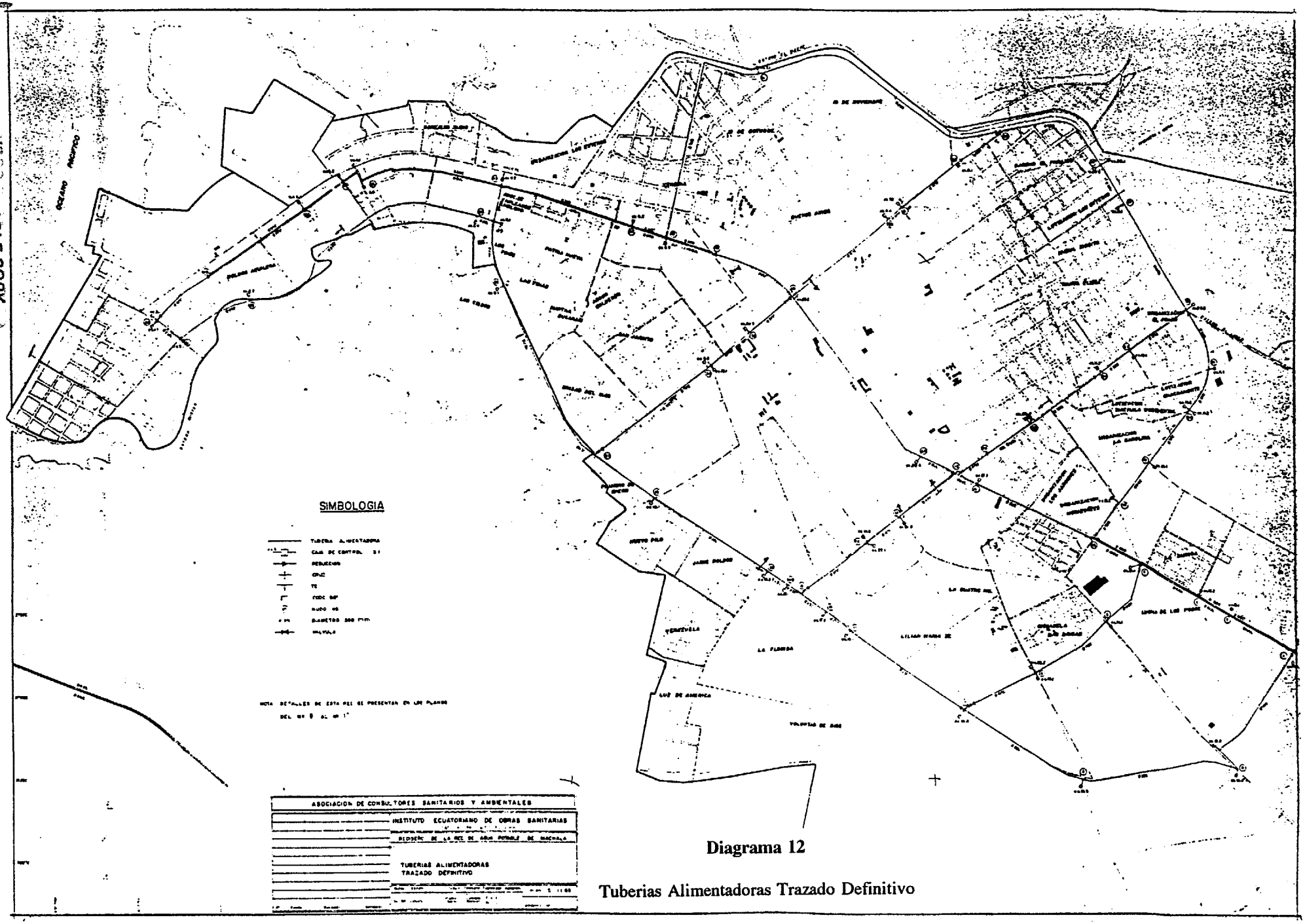


Diagrama 12

Tuberias Alimentadoras Trazado Definitivo

Apéndice B

PERSONAS CONTACTADAS

USAID/Ecuador
Dr. S. Ken Yamashita, Oficial de Salud
Sr. Sonny Low, Oficina Regional de Vivienda y Desarrollo Urbano
Ing. Adalid Arratia, Coordinador de Proyectos

IEOS, Quito
Ing. Vladimir Roura, Subsecretario del IEOS
Ing. Diego González, Jefe de Proyectos, IEOS/USAID
Ing. Jorge Zurita, Director Nacional de Empréstitos Externos
Ing. Bolívar Guerra

Machala
Ing. Francisco Vera Domínguez, Director Provincial, IEOS
Ing. Richard Añasco Dávila, Director, Departamento de Agua, Municipalidad de Machala
Ing. Wilmer Encalada, Departamento de Agua, Municipalidad de Machala
Sr. Jeoffre Vega, Químico, Municipalidad de Machala
Srta. Mariana Aguirre, Directora de la Planta, Planta de Tratamiento de Agua La Lucha

Quito
Srta. Magda Velázquez, Holanda, Ecuador Chemical Supplies

Estados Unidos
Sr. John Vincent, Infilco Degremont, Inc.
Sr. Stuart B. Marshal, Smith y Loveless, Inc.
Sr. Edward Rykowski, Eximbank