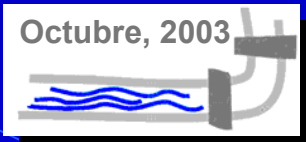


# Incremento de la eficiencia a través de distritos hidrométricos de distribución de agua potable

**17 años de desarrollo de tecnología en  
reducción integral de pérdidas de agua potable**

Nahún H. García  
Leonel Ochoa  
Victor Bourguett

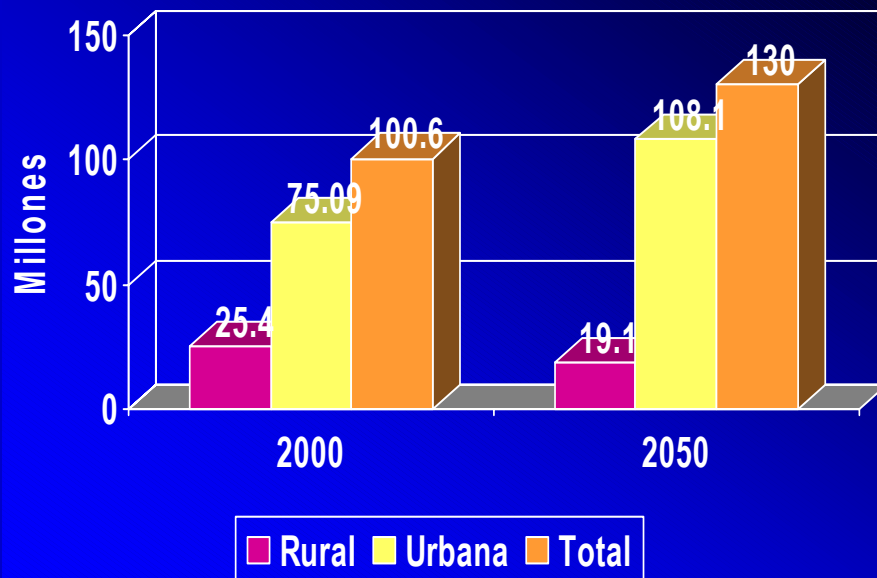
Octubre, 2003



# Problemática hídrica en zonas urbanas

- **Demanda creciente.** Se estima que para el año 2050 la población se equilibrará en 130 millones (Conapo, 2002), de los cuales el 85% se concentrará en las zonas urbanas. Por lo que se prevee un incremento del 30% en la demanda de agua potable respecto al año 2000

Crecimiento de la población en México



- **Oferta limitada.** Concentración de la población en zonas de baja disponibilidad de agua



# Indicadores

## ¿Cómo estamos y cómo deberíamos de estar?

Eficiencia Global

**44%** (84)

Eficiencia comercial

**67%** (99)

Empleados por cada  
1000 tomas

**7** (5)

Eficiencia física

**65%** (85)

Micromedición

**40%** (95)

Recaudación por  
concepto de agua  
**\$178.4/hab/año** (297)

Agua no  
contabilizada

**45%** (15)

Facturación/m<sup>3</sup>

**\$2.16** (5.5-7)

Gasto por servicio  
de agua por familia  
**\$56.8/mes** (115)

Cobertura de agua  
potable

**88%** (97)

Recaudación/m<sup>3</sup>

**\$1.45** (5.5-7)

Costo unitario de  
producción /m<sup>3</sup>  
**\$5.5** (4.5)

Consumo

**176 l/hab/día** (150)

Relación  
ingresos/egresos

**0.56** (>1)

Tarifas  
**Varias (escalonada)**

Cobertura  
alcantarillado

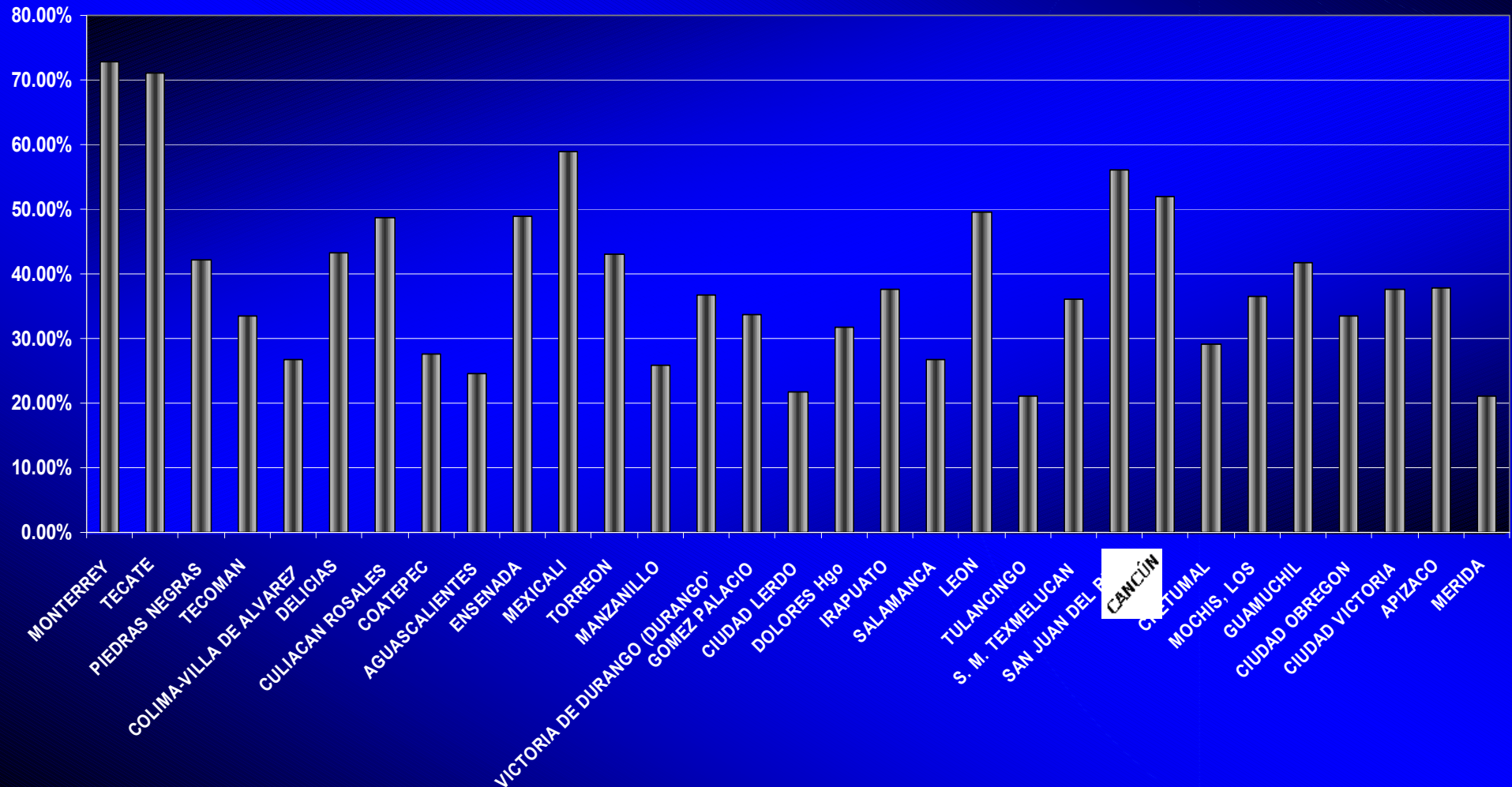
**76.0%** (97)

Tratamiento de aguas  
residuales

**25%** (90)

Porcentaje del ingreso  
para el pago de agua  
**13.5%** (<15)

# Eficiencia global en diversas ciudades del país\*



# Escenarios a mediano plazo

<b>Parámetro</b>	<b>Actual</b>	<b>Tendencial</b>	<b>Sustentable</b>
<b>Pérdidas en uso público urbano</b>	<b>44%</b>	<b>44%</b>	<b>24%</b>
<b>Pérdidas físicas en uso público urbano</b>	<b>35%</b>	<b>35%</b>	<b>15%</b>
<b>Cobertura de agua potable</b>	<b>88%</b>	<b>88%</b>	<b>97%</b>
<b>Cobertura de alcantarillado</b>	<b>76%</b>	<b>76%</b>	<b>97%</b>
<b>Porcentaje de aguas residuales tratadas</b>	<b>25%</b>	<b>60%</b>	<b>90%</b>
<b>Inversión anual del sector (miles de millones de pesos/año)</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>30</b>
<b>Inversión anual total del subsector (2002) (miles de millones de pesos/año)</b>	<b>2.3</b>	<b>3.0</b>	<b>22.0</b>

# Retos a superar en los organismos operadores

## Técnicos y operativos

- Limitada disponibilidad del agua
- Operación ineficiente
- Mantenimiento insuficiente
- Tandeo con presiones muy bajas
- Baja eficiencia física
- Ausencia de estadísticas técnicas
- Infraestructura deteriorada

## Financieros

- Altas necesidades de inversión y escasez de recursos financieros
- Competencia por el uso del recurso (disponibilidad limitada y demanda creciente)

## Políticos

- Inadecuada regulación
- Subsidio generalizado
- Movimientos de personal ligado a periodos municipales

## Comerciales o administrativos

- Eficiencia baja
- Cultura del no pago y no cobro
- Estructura tarifaria inadecuada
- Exceso de personal

## Ambientales

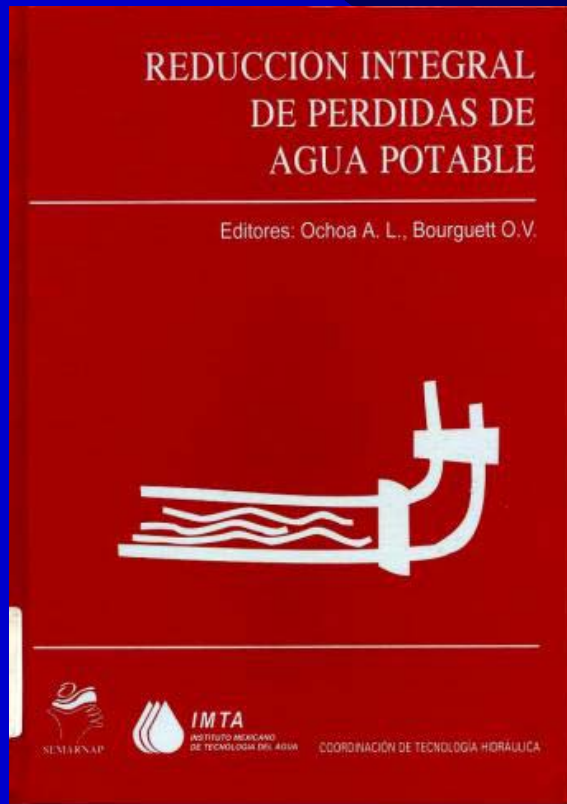
- Fuentes contaminadas
- Aguas servidas sin tratamiento
- Bajos índices de saneamiento
- Altos costos de restauración
- Sobreexplotación de acuíferos
- Contaminación de ríos y de cuerpos de agua superficial y subterránea

# Algunas acciones para mejorar los índices

**Soluciones tecnológicas incluidas en la metodología integral para el control de pérdidas y en los procedimientos de control y operación para mejorar la eficiencia**

- Realizar diagnósticos y planes de desarrollo
- Sectorización, eliminación y control
- Incrementar la eficiencia física y comercial
- Implantar programas de rehabilitación de la infraestructura
- Medir la producción del agua al 100%
- Consolidar la medición de usuarios
- Lograr la autosustentabilidad financiera
- Implantar sistema de gestión, regulación y administración

# Control de pérdidas



- El proceso de transferencia se ha llevado a cabo mediante aplicación directa, publicación de manuales y cursos de capacitación
- La metodología, en diferentes niveles, se ha aplicado, entre otras, en las ciudades de México, Chetumal, Querétaro, Reynosa, Cuernavaca, Guadalajara y León

# Clasificación y causas de las pérdidas

## CLASIFICACIÓN DE PÉRDIDAS DE AGUA

FALLA Y/O  
DETERIORO DE  
ELEMENTOS

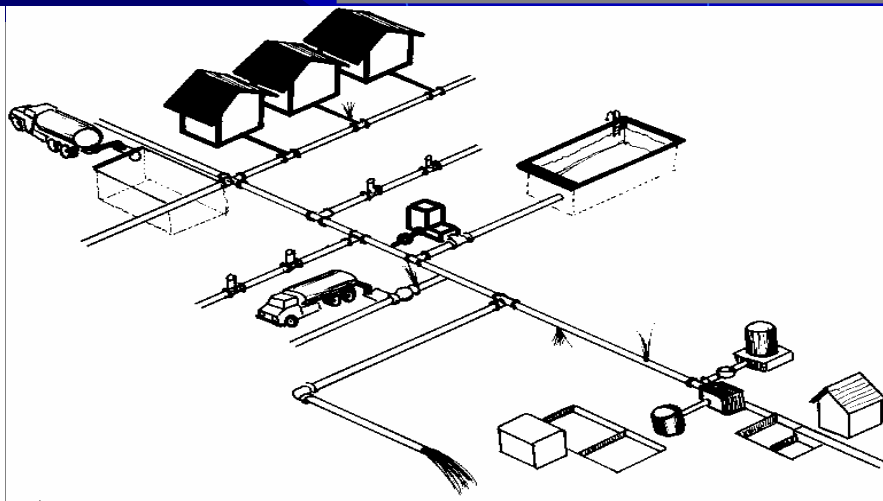
- a) Tuberías
- b) Cajas de válvulas
- c) Tanques reguladores
- d) Equipos y accesorios

FUGAS

AGUA NO

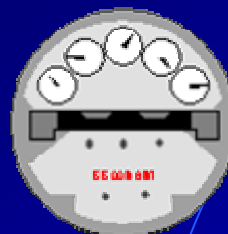
POR OPERACIONES  
MAL EJECUTADAS

- A) Derrames en tanques
- b) Vaciados accidentales y programados
- c) Falta de hermeticidad de equipos y accesorios



# Agua no contabilizada

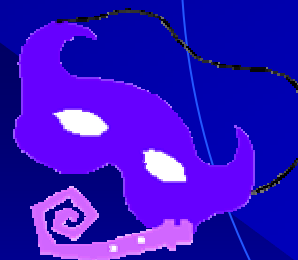
🚧 Errores de medición



🚧 Errores de facturación



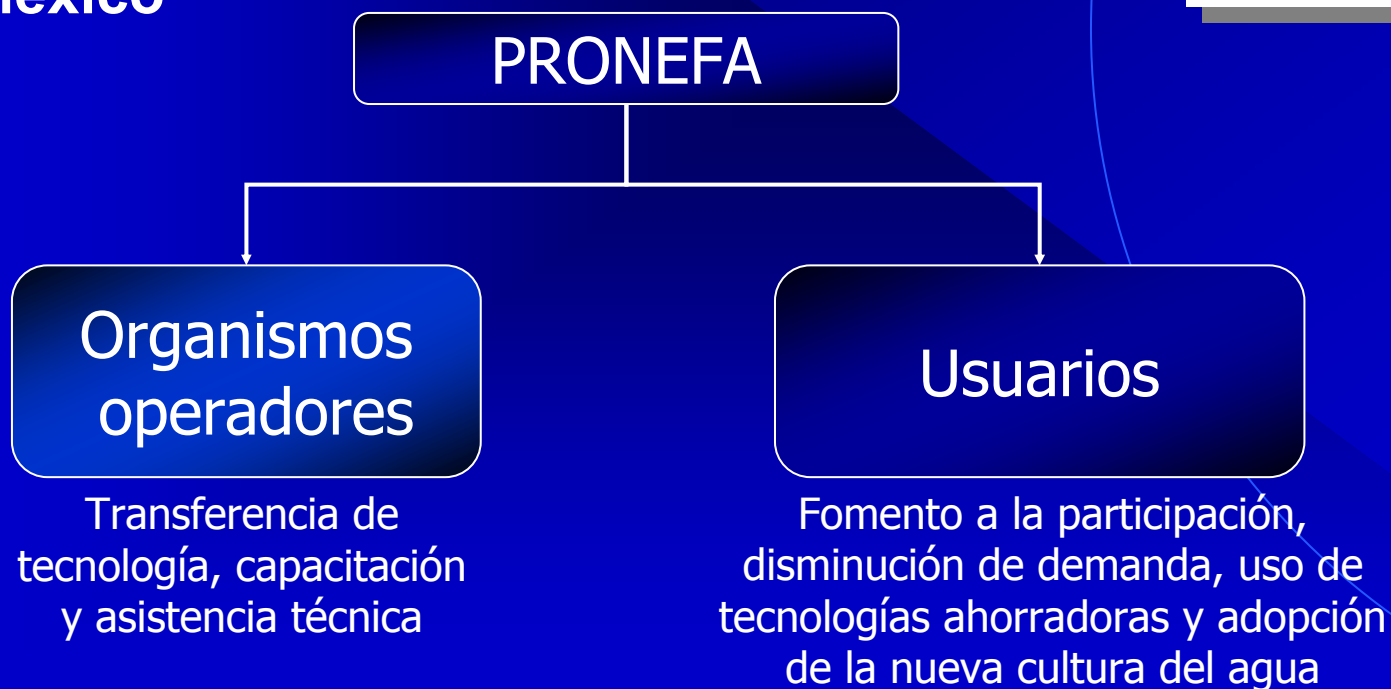
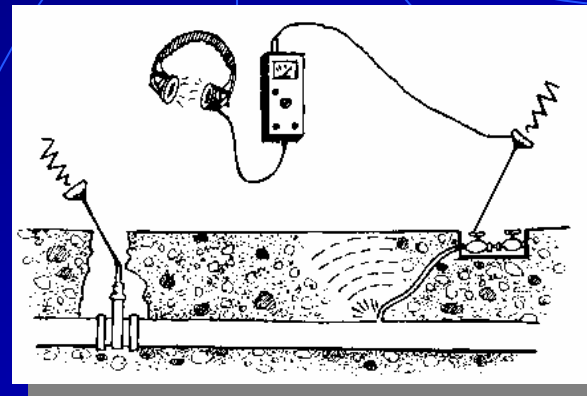
🚧 Usos no autorizados



# Antecedentes

 1986 a 1989

El IMTA establece los métodos del PRONEFA en los organismos operadores de las ciudades de Monterrey, Distrito Federal, Querétaro, La Paz, Cd. Victoria y en algunas poblaciones del estado de México



# 1990 a 1991

¿Porcentaje de fugas de agua potable?

¿ Porcentaje de fugas en tuberías y tomas domiciliarias?

Se desarrolla el método de evaluación de pérdidas por muestreo y se aplica en Guaymas, Son.

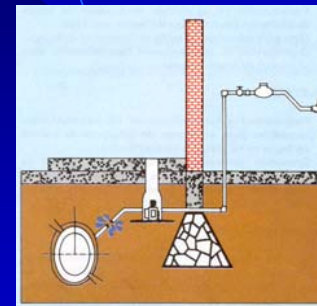
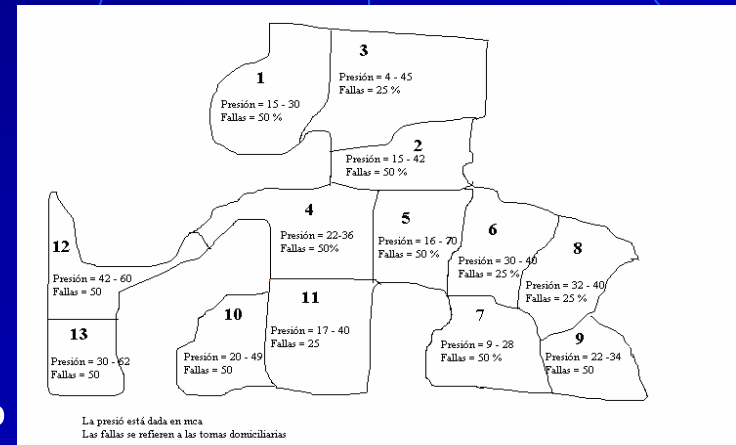
## RESULTADOS:

Volumen de fugas en tomas/suministro = 23 %

Ocurrencia de fugas en tomas = 85%

Ocurrencia de fugas en tuberías = 15 %

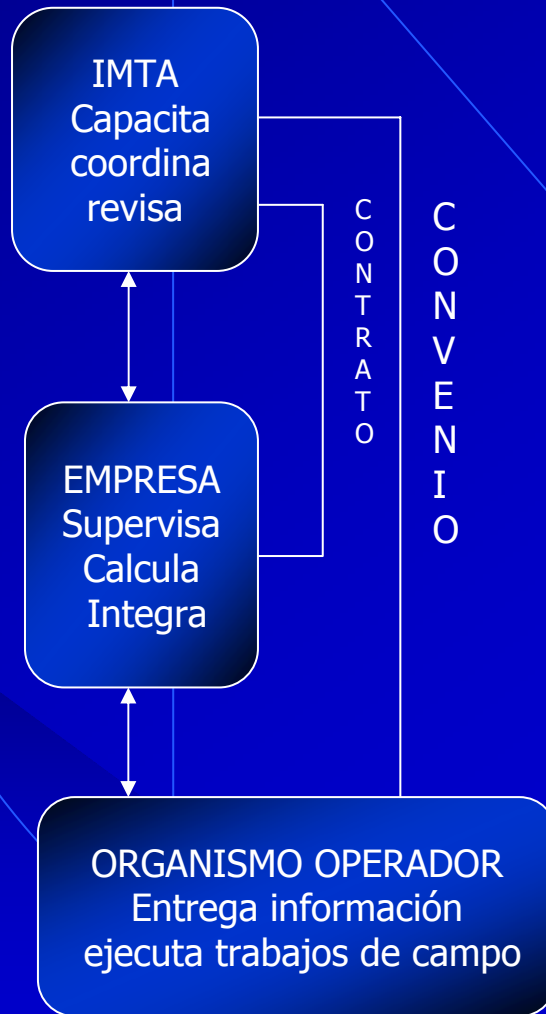
$$n_o = \frac{Z_c^2}{Nd^2} \left[ \sum N_i P_i (100 - P_i) \right]$$



# 1992 a 1994




## Se valida y generaliza el método de evaluación de pérdidas en 15 ciudades de la República Mexicana

Ciudad	Caudal promedio suministrado	Tomas con fuga	Pérdidas por fugas en tomas	Pérdidas por fugas en tuberías	Pérdidas por submedición	Pérdidas totales en el sistema
	L/s	%	%	%	%	%
Cancún, Q. Roo.	940	38	12.1	15.6	.3	28.0
Coatzacoalcos, Ver.	730	19	35.8	4.9	.0	40.7
Constitución, B.C.S.	165	35	31.4	1.2	.8	33.4
Chihuahua, Chih.	3489	5	15.8	25.7	.0	41.5
Durango, Dgo.	2128	21	30.5	8.3	.0	38.8
Guaymas, Son.	488	30	23.4	1.8	1.1	26.2
Juárez, Chih.	4147	19	29.9	5.8	.0	35.7
Los Cabos, B.C.S.	268	34	22.6	11.0	3.0	36.6
Oaxaca, Oax.	721	24	61.8	1.1	.0	62.9
Querétaro, Qro.	1783	14	13.5	2.8	13.6	30.0
Tapachula, Chis.	743	7	6.8	14.3	1.8	22.9
Tuxtla, Gtz., Chis.	1162	24	18.3	8.0	3.3	29.7
Veracruz, Ver.	2869	16	22.4	15.5	.0	37.9
Xalapa, Ver.	1215	9	38.3	0.6	.0	38.9
Zacatecas, Zac.	485	14	27.7	3.1	.0	30.7



## 1992 a 1994

Se inicia el desarrollo y transferencia de tecnologías para dar solución a los siguientes problemas:

-  *Falta de normatividad y respeto a la misma*
-  *Procesos constructivos deficientes*
-  *Materiales son de baja calidad*

Normas oficiales  
de medición y tomas domiciliarias

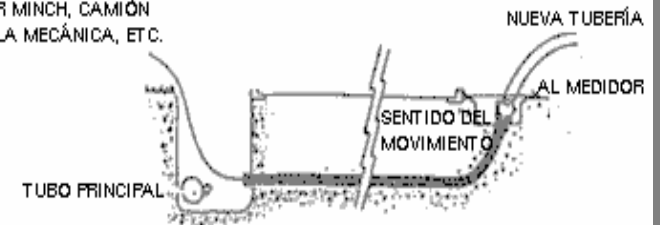
Manual de control de fugas CNA

Capacitación en el uso  
de equipos detectores

Métodos de sustitución  
de tomas domiciliarias



CABLE TENSIONADO  
POR MINCH, CAMIÓN  
PALA MECÁNICA, ETC.




## 1995 a 1997


Las experiencias de los organismos operadores, de la CNA, de las Comisiones Estatales de Agua, las del IMTA y de algunas empresas consultoras, permiten conformar un método para optimizar los recursos disponibles y reducir las pérdidas a niveles aceptables:


### *“Reducción integral de pérdidas de Agua Potable”*



 1998

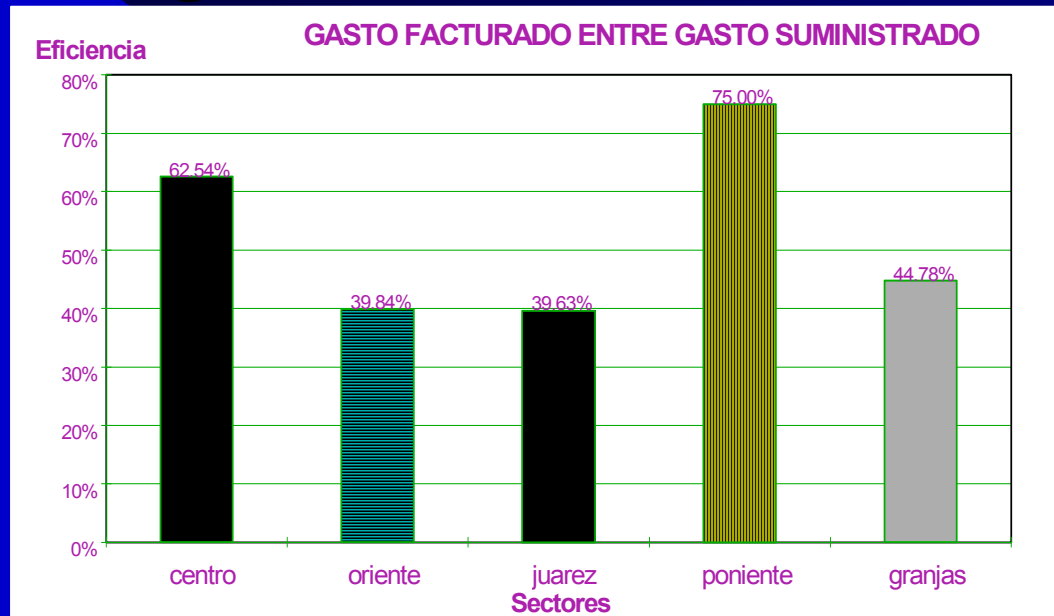
 En Reynosa, Tam., se realizó el diagnóstico y jerarquización del proceso de reducción de pérdidas

 Con base en el análisis beneficio/costo del proyecto, se aplicó la metodología integral para el control de pérdidas en el sector Granjas

 Se recuperaron 5,184 m<sup>3</sup>/día, con un beneficio económico de 3.85 millones de pesos al año, por ahorros en el proceso de producción y por la venta del agua recuperada



# Diagnóstico

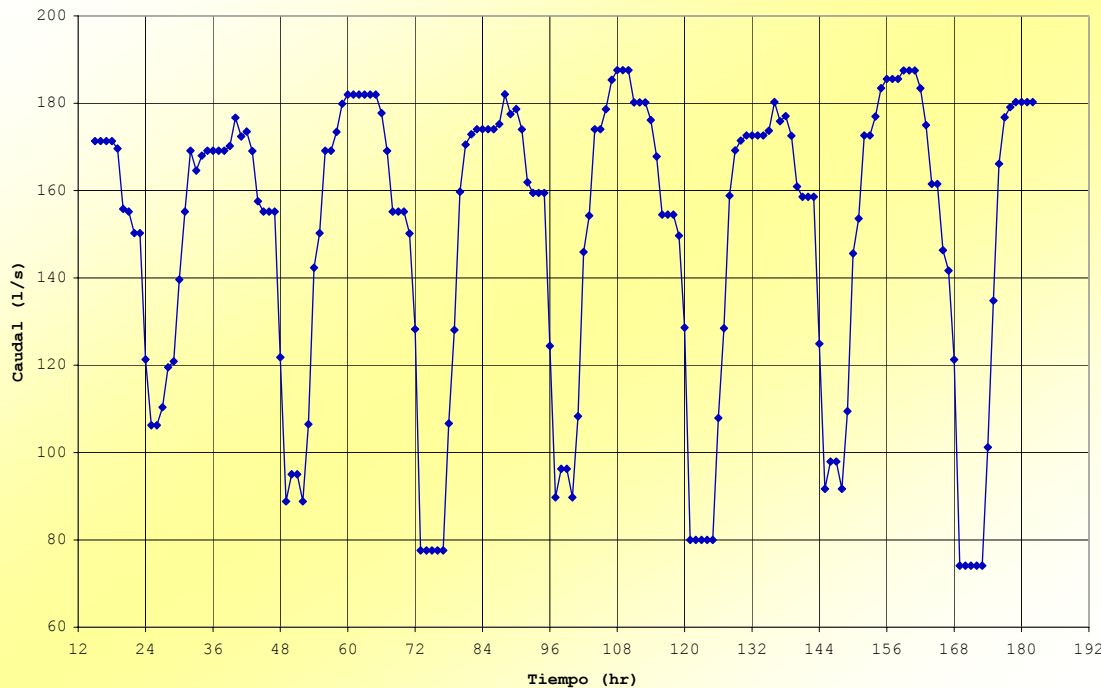


$$FP_{\text{sector}} = \left( \frac{\frac{BC_{\text{sector}}}{\sum BC} + \frac{M_{\text{sector}}}{\sum M} + \frac{EF_{\text{sector}}}{\sum EF} + \frac{FT_{\text{sector}}}{\sum FT}}{N_p} \right)$$

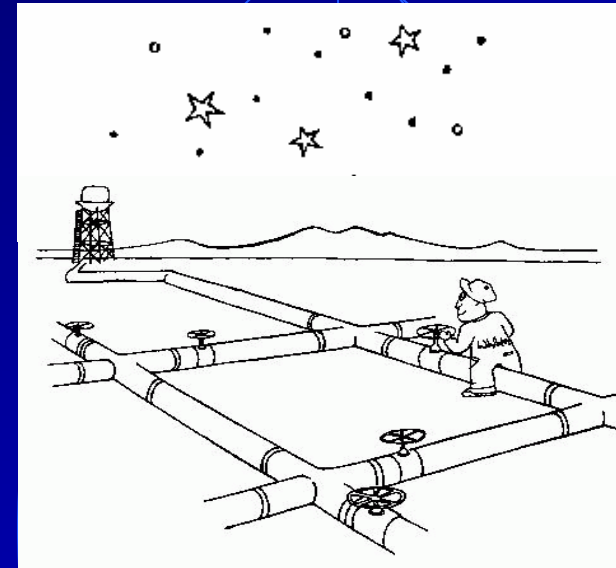
Cuadro 13 Resumen de las características técnicas de los sectores

Sector	Relación Beneficio /costo b/c	Micromedición (%)	Eficiencia de facturación (%)	Fugas en tomas (%)	FP
Centro	0.68	35.47	62.54	5.34	0.174
Oriente	0.59	29.06	39.84	2.81	0.132
Juárez	0.90	40.51	39.63	11.35	0.216
Poniente	1.25	38.70	75.00	7.95	0.238
Granjas	1.10	59.63	44.78	8.86	0.24
Suma	4.51	203.37	261.79	6.50	

1er Medición de Caudal al Sector Granjas, Oct-Nov. 97



# Indicadores de sectorización



Cuadro 16 Índices de gestión en el sector Granjas, Octubre de 1997

Día	1	2	3	4	5	6	7	Promedio
Gasto Mín. (l/s)	106,25	88,82	77,59	89,76	79,99	91,67	172,60	100,96
ICMN	70.37%	59.03%	53.81%	58.11%	55.60%	59.60%	50.76%	58.18%
ICONOD	62.40 %	48.00%	40.63%	47.16%	42.90%	48.99%	36.94%	46.71%
CHM/CMN	1.61	2.05	2.35	2.09	2.16	2.02	2.43	2.10
CEP	0.44	0.44	0.42	0.45	0.42	0.45	0.43	0.44
ICHM	1.13	1.21	1.26	1.21	1.20	1.21	1.24	1.21
CHP (l/s)	151.00	150.46	144.20	154.48	143.86	153.80	145.95	149.11

# Resultados derivados de la eliminación

- Corrección de errores de micromedición, 1116 medidores en reparación
- Se reducen las pérdidas físicas a un del 15 % del volumen producido, medido con la técnica de los distritos hidrométricos aplicados al sector
- Eliminación de 630 fugas en tomas domiciliarias
- Eliminación de 43 fugas en líneas de distribución
- Estimación de consumos y ajustes de cuotas fijas a 32 m<sup>3</sup>/mes en promedio, 9.33 % del volumen suministrado (31,103 m<sup>3</sup>/mes)
- Detección y eliminación de usuarios clandestinos, 803 (7.71 %), más 1230 usuarios en proceso de contrato
- Se traduce en 25.09 l/s recuperados



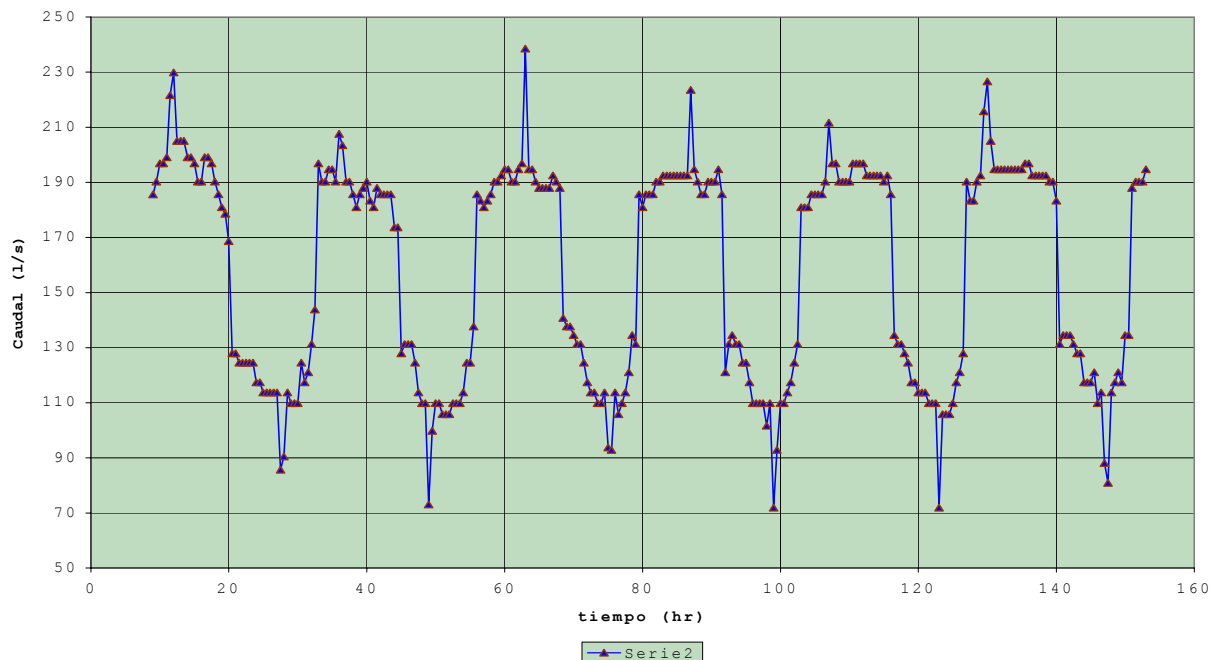
# Resultados en eliminación

Medición de indicadores nocturnos antes y después de la reducción de pérdidas:

ICONOD: pasó de 46.71 % (47.6 l/s) a 31.11 % (22.07 l/s) al término de las acciones.

Se traduce en 25.09 l/s recuperados

Gasto instantáneo de suministro al sector Granjas, Marzo 1998

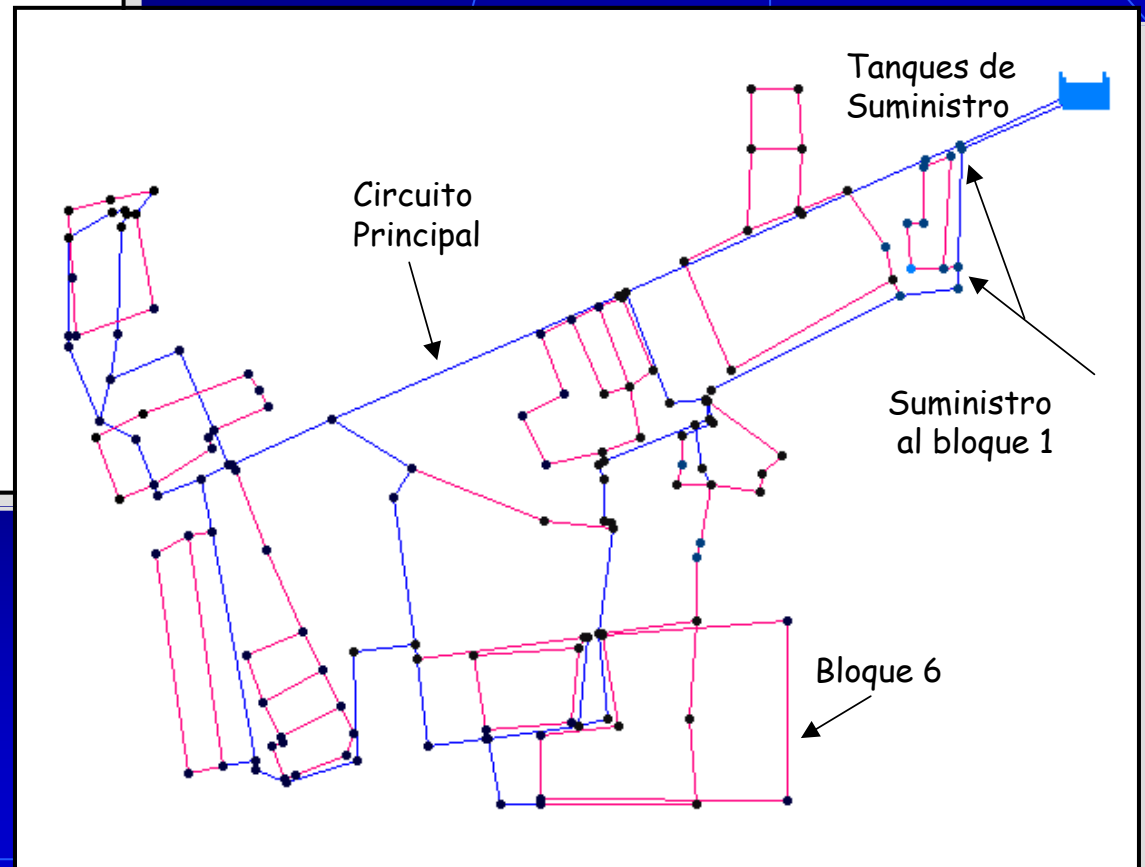
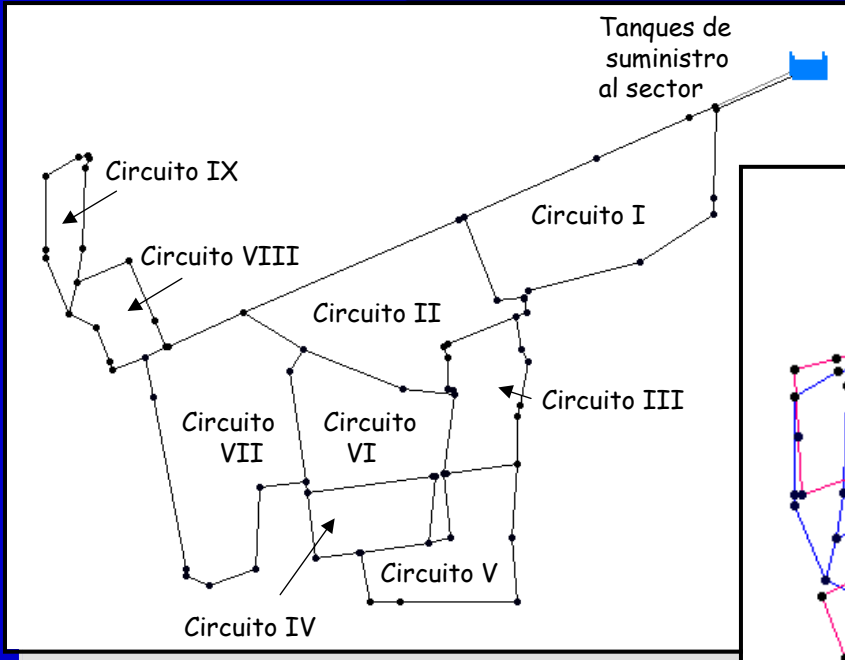


Cuadro 25 Indicadores de Gestión de la red, Marzo-Abril de 1998

	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	PROMEDIO
Gasto Mínimo	70.10	73.08	69.44	71.90	68.16	73.08	70.96
Gasto Máximo	229.87	223.52	238.50	223.52	215.71	226.63	226.29
CHP	154.78	154.80	158.72	156.76	157.18	161.44	157.28
ICMN	0.45	0.47	0.44	0.46	0.43	0.45	45.13%
ICMH	1.49	1.44	1.50	1.43	1.37	1.40	1.44
CEP	0.45	0.45	0.46	0.46	0.46	0.47	0.46
ICONOD	31.03%	33.45%	29.55%	31.98%	28.88%	31.74%	31.11%
CHM/CMN	3.28	3.06	3.43	3.11	3.16	3.10	3.19

# Resultados en sectorización

## Diseño de la red secundaria con distritos hidrométricos integrados



# Resultados en control

2. LAS FUGAS OCULTAS  
NO SE REPARAN

NO SE DETECTAN  
LAS FUGAS OCULTAS

2.1 Falta equipo de  
detección de fugas  
y localización de  
tuberías enterradas

2.2 Falta información de  
macromedición para  
detectar áreas con  
fugas probables

2.3 Falta personal para  
la búsqueda de fugas  
ocultas

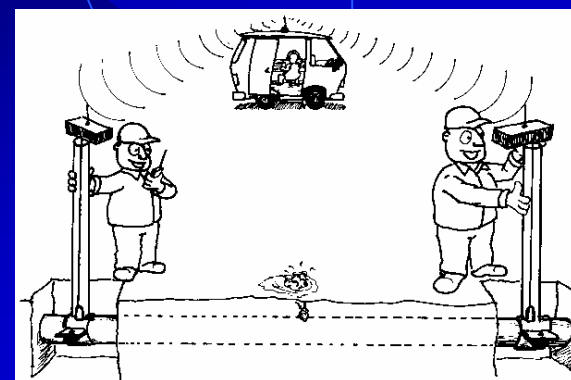
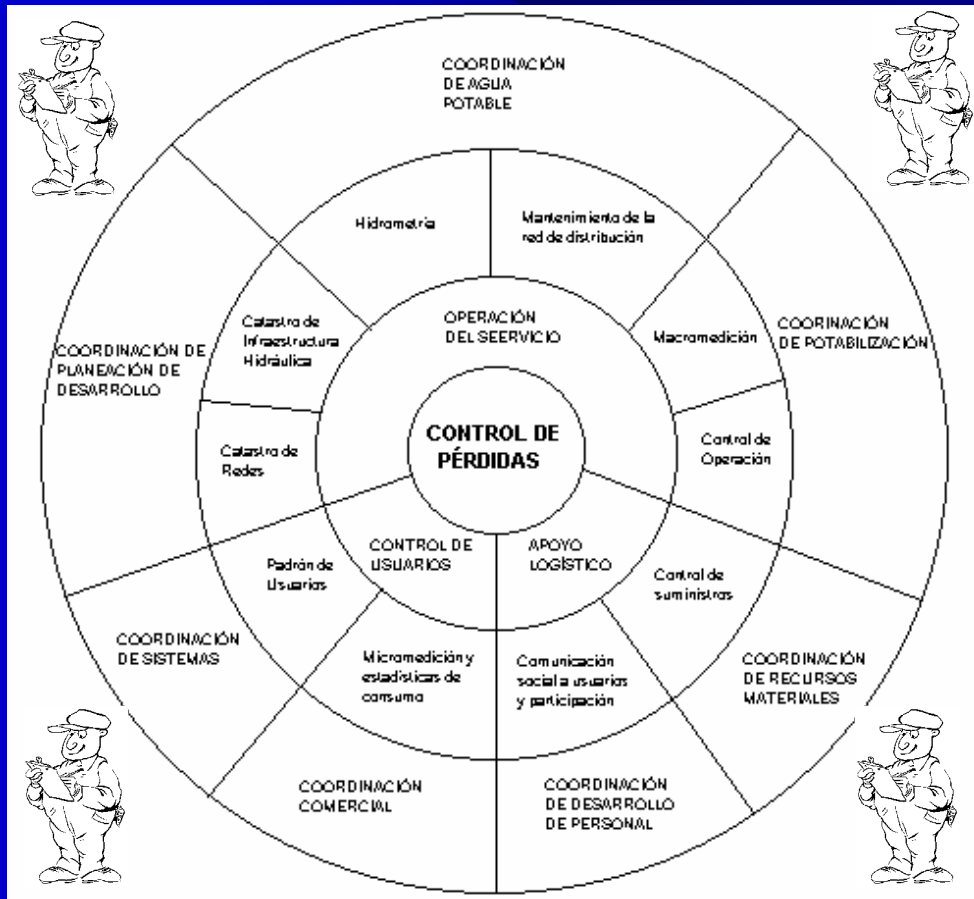
2.4 Falta soporte  
organizacional para  
implantar un programa de  
control de fugas

No existen distritos  
hidrométricos  
integrados en la red

No se tiene capacitación  
ni entrenamiento  
en el manejo  
de detectores de fugas

No hay una área  
en COMAPA  
para elevar la  
eficiencia del sistema

Conformación  
de un grupo  
de trabajo



# Área de control de pérdidas propuesta para la COMAPA

**Nombre:** “Eficiencia de operación” o “Uso eficiente del agua” o “Eficiencia del servicio”

**Misión:** Crear y adaptar técnicas eficientes al sistema de agua potable para elevar la calidad del servicio a los usuarios, mejorar los estados financieros y administrativos del organismo operador y garantizar el manejo sustentable del recurso agua

**Estructura y funciones:** Consiste en tres departamentos:

**1 Sistema de información.** Mantener el GIS, establecer estadísticas y generar modelos de decisión.

**2 Control de pérdidas.** Desarrollar balances físicos y económicos, localizar y eliminar fugas ocultas y visibles, corregir errores en agua no contabilizada, implantar mecanismos para control de fugas.

**3 Eficiencia operacional.** Implantar un telemando de control de suministro, mantener la eficiencia electromecánica, simular situaciones de emergencia y definir estrategias para mejorar la operación

**Recursos Humanos y materiales:**

Un jefe por cada departamento, dos técnicos auxiliares, dos brigadas de detección de fugas ocultas, una brigada de hidrometría y una brigada de micromedición; asimismo, se debe tener dos detectores de fugas del tipo electroacústico indirecto, un equipo de pitometría y un ultrasónico, herramientas menores para aforo de fugas y verificación de micromedidores, dos equipos de sustitución de tomas domiciliarias, libros y manuales, dos vehículos de transporte ligero (camionetas o trimotos), un espacio con muebles y equipo de oficina, tres equipos de cómputo Pentium, software GIS, materiales audiovisuales y sobretodo presupuesto fijo anual para efectuar sus programas de trabajo.

# Resultados adicionales en control

## Elaboración del programa de inversiones

CONCEPTO	INVERSIÓN TOTAL	Generación interna de caja	Recursos de la federación	Crédito	Apoyos Externos
Grupo de trabajo	75	75			
Sectorización Granjas (período de diseño 2016)	16000	1600	10400		4000
Sectorización en 4 sectores	70000		28000	28000	14000
Reducción de pérdidas en 4 sectores	9500	950	6650		1900
Subtotal	95575	2625	45050	28000	19900
Catastro técnico	910	273	637		
Macromedición	745	223,5	521,5		
Control Operacional.	1365				1365
Mant. de red y estad.	2455	736,5	1718,5		
Padrón usuarios	490	147	343		
Microm. y est. de cons.	8320			8320	
Subtotal	14285	1380	3220	8320	1365
<b>TOTAL</b>	<b>109860</b>	<b>4005</b>	<b>48270</b>	<b>36320</b>	<b>21265</b>

1999 – 2000

Se desarrollan algunos modelos de decisión para la rehabilitación de tuberías y se aplican en Saltillo para su validación

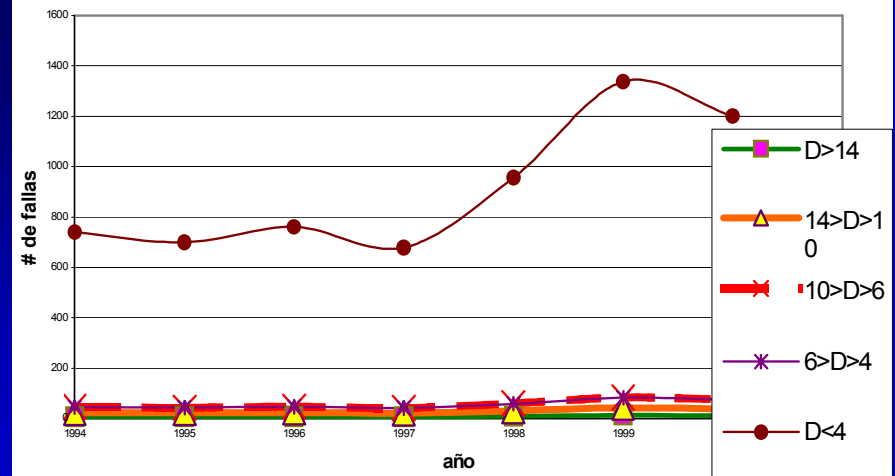


Zonificación por edad de tuberías



- DESCRIPTIVO
- PREDICTIVO
- ECONÓMICO

Falla de tubería en el tiempo, para diferentes diámetros



2001

Se desarrolla un método para encontrar el punto de equilibrio económico de incremento y control de eficiencia física en sistemas de agua potable, así como el proceso para priorizar las acciones correspondientes

Se aplica a Culiacán, Querétaro y Chetumal



## Esquema del problema

EFICIENCIA  
ACTUAL



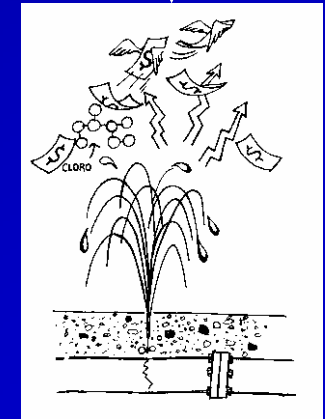
Acciones de  
mejoramiento de  
eficiencia

EFICIENCIA  
FUTURA

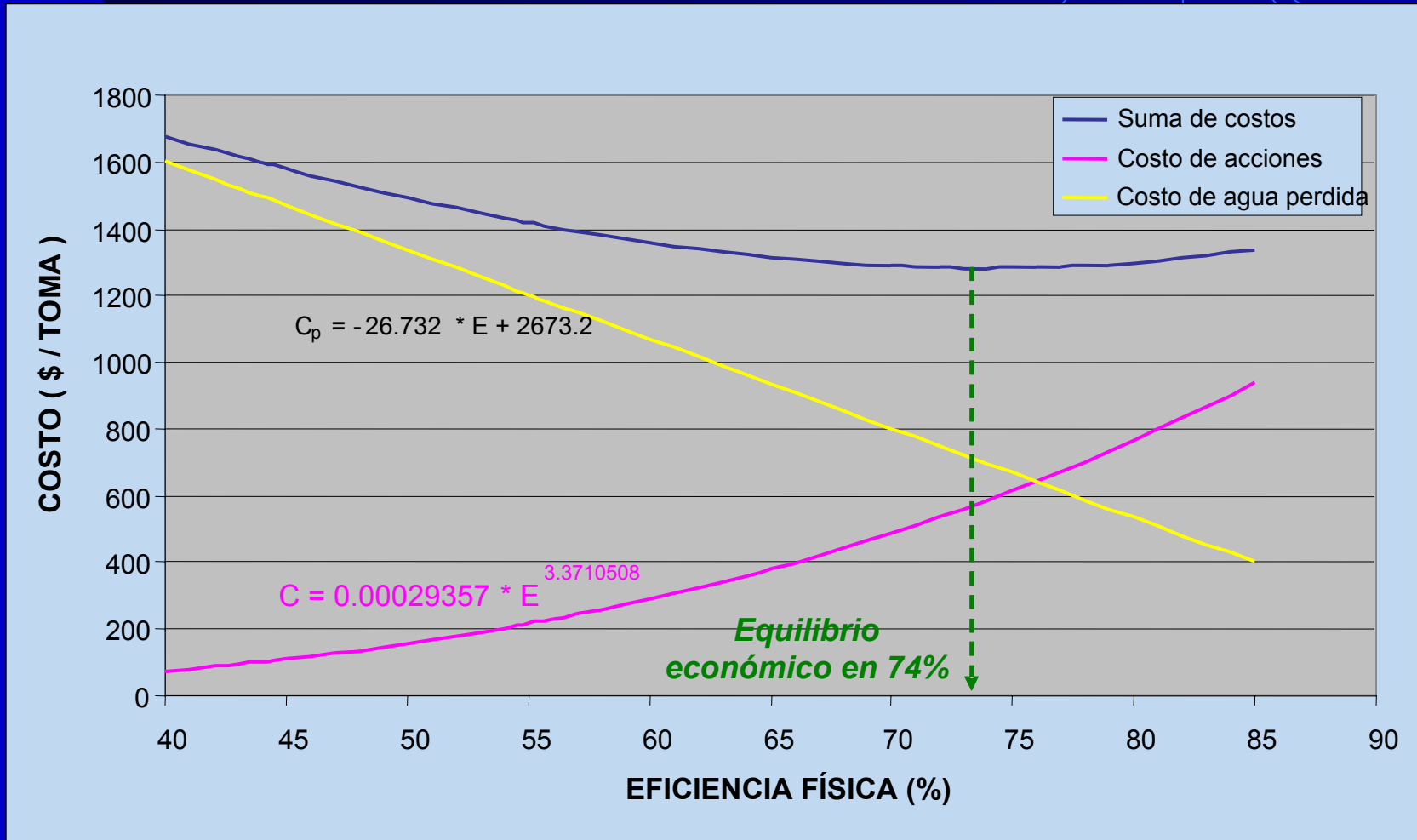
$E_{\text{actual}}$

$E_{\text{futura}}$



- ¿Qué tipo de acciones se deben realizar?
- ¿Cuál es el costo de esas acciones?
- ¿Cuánto impactan en la eficiencia las acciones?



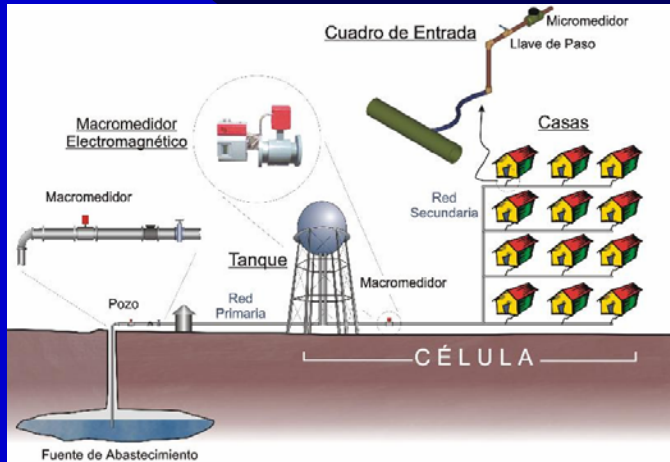
# Curva de Eficiencia vs Costos en Chetumal








-  La principal fuente de abastecimiento de la ciudad de Puebla, Pue., es el acuífero del valle de Puebla, que está sobreexplotado a razón de poco más de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ .
-  Mediante el desarrollo y aplicación de un modelo sistémico de optimización, fue posible proponerle al organismo operador acciones para reducir la sobreexplotación en aproximadamente  $400 \text{ l/s}$ , sin explotar nuevas fuentes, simplemente a través de la reducción de fugas, y el tratamiento y reúso del agua.

 2002-2003



 En Querétaro, Qro., se dirigió y supervisó el programa de mejoramiento de eficiencia física en 32 células del sistema de distribución de agua potable de la ciudad y se evaluaron los costos y beneficios derivados de su aplicación

 Derivado de estas acciones la eficiencia volumétrica se incrementó de 75% a 86.7%, se regularizaron 4,217 usuarios clandestinos y se repararon 5,341 fugas, lo cual se traduce en una recuperación de 80 l/s

 Lo anterior implicó una inversión de 8 millones de pesos y un beneficio de 26.75 millones para la Comisión Estatal de Aguas, en el curso de un año.





# Recomendaciones clave para hacer más eficiente y eficaz la reducción de pérdidas de agua potable

- ✚ Construir los sectores principales en la red de distribución y los distritos hidrométricos con las tuberías secundarias.
- ✚ Integrar un grupo técnico dentro del organigrama con capacitación activa, recursos económicos y materiales, cuya única misión sea la de reducir y controlar las pérdidas de agua y hacer más eficiente el sistema.
- ✚ Implantar prioritariamente los proyectos de macromedición, catastro de redes, padrón de usuarios, estimación de micromedición y consumos, estadísticas e índices de gestión de fugas y agua no contabilizada.
- ✚ Elaborar anualmente el diagnóstico de pérdidas de agua potable y sistematizar permanentemente el programa de inversiones basado en sus resultados de equilibrio económico.
- ✚ Elaborar las carpetas técnicas respectivas, para la obtención de financiamientos orientados a la reducción de pérdidas.

# Conclusiones

- La aplicación de la metodología propuesta por el IMTA para el control integral de pérdidas permite proveer un mejor servicio a los usuarios, garantizar la fiabilidad operativa del sistema, aumentar la rentabilidad del organismo operador, diferir inversiones a futuro y ayudar a se conserva el recurso.
- El efecto combinado de reducir las pérdidas físicas de agua de 35% a 15% y disminuir la dotación de 176 l/hab/día a 150 l/hab/día permitiría abastecer de agua a 30 millones de habitantes, sin explotar nuevas fuentes o aplicar otras medidas.
- El promedio de inversión requerido es de aproximadamente \$80/habitante