

119



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA: ANALISIS DE
FINANCIAMIENTO Y COMERCIALIZACION**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A :
LUIS ROMERO URIOSTEGUI

DIRECTOR: M.C. CONSTANTINO GUTIERREZ PALACIOS



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO. D. F.

JULIO 2002



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PAGINACIÓN

DISCONTINUA



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/057/00

Señor
LUIS ROMERO URIÓSTEGUI
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.C. **CONSTANTINO GUTIERREZ PALACIOS**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de

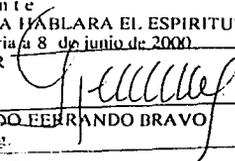
**"REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA: ANALISIS DE FINANCIAMIENTO Y
COMERCIALIZACION"**

- I. INTRODUCCION
- II. ANTECEDENTES
- III. ALTERNATIVAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA
- IV. FINANCIAMIENTO DE SISTEMAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA
- V. COMERCIALIZACION DE SISTEMAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA
- VI. EJEMPLO DE APLICACION
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA
- ANEXOS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 8 de junio de 2000
EL DIRECTOR


M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/GMP/Instg.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/057/00

M.C. CONSTANTINO GUTIERREZ PALACIOS
Presente .

El señor **LUIS ROMERO URIOSTEGUI** de la carrera de **INGENIERO CIVIL**, me ha solicitado designar al profesor que le señale Tema de Tesis para su Examen Profesional.

En atención a esa solicitud ruego a usted se sirva formular el Tema solicitado y enviarlo a esta Dirección para comunicarlo oficialmente al interesado.

Doy a usted de antemano las más cumplidas gracias por su atención y le reitero las seguridades de mi consideración más distinguida.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 8 de junio de 2000
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/GMP*mstg

**A
María Alicia González Arellano
y
Ángel Saúl Solano González
IN MEMORIAM**

AGRADECIMIENTOS

A la máxima casa de estudios, la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO y a la FACULTAD DE INGENIERÍA por la contribución en mi formación académica, desarrollo personal y profesional.

A mis profesores y amigos que han contribuido en mi formación académica durante toda mi vida.

A mi Director de Tesis, el M.C. Constantino Gutiérrez Palacios por su tiempo, dedicación y apoyo en la realización de este trabajo.

A los profesores por su apoyo para la culminación de esta obra:

*M.I. Manuel David Heredia Durán
M.I. Arturo Nava Mastache
M.I. Roberto Magaña del Toro
Lic. Rigoberto Argaez Ceballos*

A todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron para que fuese posible este trabajo, muchas gracias por su ayuda.

ÍNDICE GENERAL

**REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA:
ANÁLISIS DE FINANCIAMIENTO Y COMERCIALIZACIÓN**

INDICE GENERAL

	PAG.
INDICE GENERAL	<i>i</i>
INDICE DE TABLAS	<i>vii</i>
INDICE DE FIGURAS	<i>xi</i>
INDICE DE FOTOGRAFÍAS	<i>xv</i>
GLOSARIO	<i>xix</i>
INTRODUCCIÓN	<i>1</i>
I. ANTECEDENTES	3
I.1. Experiencias a nivel mundial en el reuso del agua residual tratada	3
I.2. Experiencias a nivel nacional en el reuso del agua residual tratada	9
I.3. Calidad requerida del agua residual tratada	26
I.3.1. Recomendaciones técnicas	26
I.3.2. Normatividad a nivel mundial	27
I.3.3. Normatividad a nivel nacional	33
I.3.3.1. Normas oficiales mexicanas	33
II. ALTERNATIVAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA	39
II.1. IRRIGACIÓN	42
II.1.1. Tratamientos recomendados	43
II.1.2. Consideraciones edafológicas	48
II.1.3. Consideraciones económicas	49
II.1.4. Obras requeridas	50
II.2. RECARGA DE MANTOS FREÁTICOS	51
II.2.1. Tratamientos recomendados	52
II.2.2. Contaminantes residuales en los mantos freáticos	52
II.2.3. Consideraciones para la recarga en los mantos freáticos	55
II.2.4. Obras requeridas	58
II.3. REUSO INDUSTRIAL	59
II.3.1. Tratamientos recomendados	60
II.3.2. Torres de enfriamiento	62
II.3.3. Agua para procesos y calderas	63
II.3.4. Plantas generadoras de energía a través del uso de vapor	65
II.3.5. Industrias de metales primarios	66
II.3.6. Industria de productos químicos	67
II.3.7. Industria del papel	68
II.3.8. Industria alimenticia	68
II.3.9. Industria textil	69
II.3.10. Obras requeridas	70

	PAG.
II.4. RECREACIÓN Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE	72
II.4.1. Tratamientos recomendados	73
II.4.2. Lagos estéticos, recreativos y embalses	79
II.4.3. Vertido a ríos y estuarios	79
II.4.4. Vertido al mar	80
II.4.5. Obras requeridas	81
II.5. ACUICULTURA	82
II.5.1. Tratamientos recomendados	83
II.5.2. Obras requeridas	84
II.6. POTABILIZACIÓN	85
II.6.1. Tratamientos recomendados	86
II.6.2. Obras requeridas	88
III. FINANCIAMIENTO DE SISTEMAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA	91
III.1. Antecedentes	91
III.2. Principios de la participación del sector privado	92
III.3. Riesgos involucrados	93
III.4. Opciones para la participación del sector privado	94
III.5. Casos de participación privada en la administración de los servicios a nivel mundial y en México	99
III.6. Participación privada en plantas de tratamiento de aguas residuales	100
III.7. Elementos en el éxito de la participación del sector privado	106
IV. COMERCIALIZACIÓN DE SISTEMAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA	109
IV.1. La empresa de agua potable, alcantarillado y saneamiento como sistema	109
IV.2. Función de las empresas de agua potable, alcantarillado y saneamiento	112
IV.3. La comercialización de los servicios	113
IV.4. El sistema comercial	114
IV.4.1. Definición y objetivos	115
IV.4.2. Funciones	116
IV.4.3. Componentes	117
IV.4.4. Políticas	119
V. EJEMPLO DE APLICACIÓN	125
V.1. Los sistemas de reuso de agua residual tratada	125
V.2. La fiabilidad del proceso de regeneración	126
V.3. La planeación de proyectos de reuso	127
V.4. Los lineamientos para la elaboración de proyectos preliminares de sistemas de reuso de agua residual tratada	132
V.4.1. Objetivos y actividades a realizar en el proyecto	132
V.4.2. Identificación y cuantificación de la demanda de agua tratada	132
V.4.3. Identificación de los terrenos para las plantas de tratamiento	133
V.4.4. Identificación de las fuentes de suministro de agua residual	134

	PAG.	
V.4.5.	Diseño preliminar de los sistemas de tratamiento	134
V.4.6.	Estimación preliminar del costo de inversión de los sistemas de tratamiento	135
V.4.7.	Estimación preliminar del costo de operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento, precio unitario y precio de venta del agua tratada	136
V.4.8.	Reportes de avance y final del proyecto, presentación y resumen ejecutivo	137
V.5.	Estimación de costos para sistemas de tratamiento de aguas residuales	138
V.5.1.	Antecedentes	138
V.5.2.	Sistemas de tratamiento	139
V.5.3.	Usos potenciales del agua residual tratada	139
V.5.4.	Estimación de costos	140
V.6.	Análisis económico y financiero de un sistema de tratamiento de aguas residuales	143
V.6.1.	Estudio Económico	153
V.6.1.1.	Costos de producción	153
V.6.1.2.	Costos de inversión	161
V.6.1.3.	Capital de trabajo	164
V.6.1.4.	Costo de capital o Tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR)	165
V.6.1.5.	Financiamiento de la empresa	178
V.6.1.6.	Estado de resultados	179
V.6.2.	Evaluación Económica	182
V.6.2.1.	Tasa Interna de rendimiento o retorno (TIR)	182
V.6.2.2.	Valor presente neto (VPN)	186
V.6.3.	Sensibilidad del Proyecto	188
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	193
VI.1.	Conclusiones	193
VI.2.	Recomendaciones	197
	REFERENCIAS	203
	BIBLIOGRAFÍA	205
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

**REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA:
ANÁLISIS DE FINANCIAMIENTO Y COMERCIALIZACIÓN**

INDICE DE TABLAS

	PAG.	
<i>Tabla I.1.a</i>	<i>Cobertura del Servicio de Agua Potable a Nivel Nacional</i>	10
<i>Tabla I.1.b</i>	<i>Cobertura del Servicio de Agua Potable en Zonas Urbanas</i>	10
<i>Tabla I.1.c</i>	<i>Cobertura del Servicio de Agua Potable en Zonas Rurales</i>	11
<i>Tabla I.2.a</i>	<i>Cobertura de los Servicios de Alcantarillado a Nivel Nacional</i>	11
<i>Tabla I.2.b</i>	<i>Cobertura de los Servicios de Alcantarillado en Zonas Urbanas</i>	12
<i>Tabla I.2.c</i>	<i>Cobertura de los Servicios de Alcantarillado en Zonas Rurales</i>	12
<i>Tabla I.3</i>	<i>Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales e Industriales por Entidad Federativa (Situación a diciembre de 2000)</i>	14
<i>Tabla I.4</i>	<i>Características del flujo de aguas residuales en el Gran Canal al salir de la Cuenca de México</i>	19
<i>Tabla I.5</i>	<i>Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el área de servicio del Distrito Federal</i>	20
<i>Tabla I.6</i>	<i>Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el área de servicio del Estado de México</i>	21
<i>Tabla I.7</i>	<i>Aplicaciones para la reutilización de aguas residuales municipales recicladas y problemas relacionados con cada uso</i>	23
<i>Tabla I.8</i>	<i>Criterios del Estado de California para la aplicación de agua residual tratada en usos recreativos y de riego</i>	29
<i>Tabla I.9</i>	<i>Limites máximos permisibles de contaminantes NOM-003-ECOL-1997</i>	36
<i>Tabla II.1</i>	<i>Categorías de reuso de aguas residuales municipales tratadas y posibles limitaciones</i>	40
<i>Tabla II.2</i>	<i>Tratamiento de agua residual y calidad del agua para irrigación</i>	43
<i>Tabla II.3</i>	<i>Concentraciones máximas de los elementos de trazas recomendadas para el agua de riego</i>	45
<i>Tabla II.4</i>	<i>Factores que hay que tener en cuenta a la hora de formular los principios de actuación en la recarga de aguas subterráneas en los Estados Unidos</i>	57
<i>Tabla II.5</i>	<i>Calidad lograda con diferentes tratamientos secundarios y avanzados</i>	60
<i>Tabla II.6</i>	<i>Calidad del agua de reuso con fines industriales y procesos de tratamiento potenciales</i>	62
<i>Tabla II.7</i>	<i>Aguas residuales como una fuente de abastecimiento de agua residual industrial</i>	62
<i>Tabla II.8</i>	<i>Requerimientos de calidad de agua para procesos industriales</i>	65
<i>Tabla II.9</i>	<i>Criterios de calidad de agua para su uso en riego de áreas verdes, contacto directo, usos recreativos con contacto e industria de enfriamiento en el Distrito Federal</i>	74
<i>Tabla II.10</i>	<i>NOM - 127 Limites Máximos Permisibles para contaminantes básicos, metales pesados y cianuros, plaguicidas y trihalometanos</i>	87

	PAG.
<i>Tabla V.1 Principales aspectos a tener en cuenta para definir las instalaciones de un proyecto de tratamiento y reuso de agua residual tratada (Asano y Mills, 1990)</i>	130
<i>Tabla V.2 Estudio del mercado de aguas residuales tratadas: información básica y estudio</i>	131
<i>Tabla V.3 Clientes potenciales en el consumo de agua residual tratada</i>	145
<i>Tabla V.4 Número de empleados en la planta y su trabajo</i>	153
<i>Tabla V.5 Empleados administrativos</i>	154
<i>Tabla V.6 Costo anual de electricidad</i>	154
<i>Tabla V.7 Costo anual de mantenimiento</i>	155
<i>Tabla V.8 Elementos considerados para su depreciación</i>	155
<i>Tabla V.9 Propuesta del costo de producción para el periodo de la concesión</i>	157
<i>Tabla V.10 Propuesta del costo total de operación + inversión para el periodo de la concesión</i>	159
<i>Tabla V.11 Elementos considerados como activo fijo</i>	161
<i>Tabla V.12 Elementos considerados como activos intangibles</i>	163
<i>Tabla V.13 Presupuesto del capital de trabajo inicial</i>	164
<i>Tabla V.14 Clientes con toma en el inmueble</i>	166
<i>Tabla V.15 Clientes con suministro por pipa</i>	171
<i>Tabla V.16 Clientes con suministro por válvula cuello de garza</i>	173
<i>Tabla V.17 Resumen de volumen de venta de agua residual tratada</i>	174
<i>Tabla V.18 Tabla de pago de la deuda</i>	179
<i>Tabla V.19 Estado de Resultados</i>	180

ÍNDICE DE FIGURAS

**REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA:
ANÁLISIS DE FINANCIAMIENTO Y COMERCIALIZACIÓN**

INDICE DE FIGURAS

	PAG.	
<i>Fig. I.1</i>	<i>Inventario de los Procesos de Tratamiento en Efluentes Municipales</i>	13
<i>Fig. II.1</i>	<i>Diagrama esquemático de los procesos de tratamiento empleados en Water Factory 21, Orange County Water District, California</i>	53
<i>Fig. II.2</i>	<i>Procesos de recuperación de aguas residuales de múltiples etapas utilizadas en El Paso, Texas, para la inyección directa de aguas residuales municipales</i>	54
<i>Fig. II.3</i>	<i>Esquema de Tren de Tratamiento Convencional de Aguas Residuales</i>	61
<i>Fig. II.4</i>	<i>Diagrama de flujo conceptual de un sistema de tratamiento avanzado capaz de producir agua potable</i>	86
<i>Fig. II.5</i>	<i>Diagrama de flujo de la Denver Potable Water Reuse Demonstration Plant para el Health Effects Study</i>	86
<i>Fig. III.1</i>	<i>Modalidades de participación privada con propiedad pública</i>	94
<i>Fig. III.2</i>	<i>Participación privada en plantas de tratamiento de aguas residuales, 1997</i>	101
<i>Fig. IV.1</i>	<i>Esquema del Sistema Comercial</i>	115
<i>Fig. V</i>	<i>Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Lodos Activados modalidad Convencional</i>	143
<i>Fig. V.1</i>	<i>Usuarios por tipo de suministro</i>	149
<i>Fig. V.2</i>	<i>Usuarios por tipo de reuso del agua residual tratada</i>	149
<i>Fig. V.3</i>	<i>Usuarios por giro comercial</i>	150
<i>Fig. V.4</i>	<i>Usuarios por tipo de reuso. Riego</i>	150
<i>Fig. V.5</i>	<i>Usuarios por tipo de reuso. Servicios</i>	151
<i>Fig. V.6</i>	<i>Usuarios por tipo de reuso. Industrial</i>	151
<i>Fig. V.7</i>	<i>Usuarios por tipo de reuso. Riego – Servicios</i>	152
<i>Fig. V.8</i>	<i>Usuarios por tipo de reuso. Riego – Servicios – Industrial</i>	152
<i>Fig. V.9</i>	<i>Giro comercial de usuarios por toma</i>	175
<i>Fig. V.10</i>	<i>Giro comercial de usuarios por pipa</i>	175
<i>Fig. V.11</i>	<i>Giro comercial de usuarios por válvula cuello de garza</i>	176
<i>Fig. V.12</i>	<i>Consumo mensual de usuarios por toma</i>	176
<i>Fig. V.13</i>	<i>Consumo mensual de usuarios por pipa</i>	177
<i>Fig. V.14</i>	<i>Consumo mensual de usuarios por válvula cuello de garza</i>	177

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

**REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA:
ANÁLISIS DE FINANCIAMIENTO Y COMERCIALIZACIÓN**

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

		PAG.
<i>Fotog. II.1</i>	<i>Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en riego de cultivos</i>	42
<i>Fotog. II.2</i>	<i>Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en riego de cultivos</i>	47
<i>Fotog. II.3</i>	<i>Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en riego de cultivos</i>	48
<i>Fotog. II.4</i>	<i>Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en riego de cultivos</i>	49
<i>Fotog. II.5</i>	<i>Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en riego de cultivos</i>	50
<i>Fotog. II.6</i>	<i>Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en recarga de mantos freáticos</i>	52
<i>Fotog. II.7</i>	<i>Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en recarga de mantos freáticos</i>	54
<i>Fotog. II.8</i>	<i>Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en recarga de mantos freáticos</i>	55
<i>Fotog. II.9</i>	<i>Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en recarga de mantos freáticos</i>	56
<i>Fotog. II.10</i>	<i>Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en recarga de mantos freáticos</i>	58
<i>Fotog. II.11</i>	<i>Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en torres de enfriamiento</i>	63
<i>Fotog. II.12</i>	<i>Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso procesos y calderas</i>	64
<i>Fotog. II.13</i>	<i>Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en industrias de metales primarios</i>	66
<i>Fotog. II.14</i>	<i>Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en industrias de productos químicos</i>	67
<i>Fotog. II.15</i>	<i>Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en industrias del papel</i>	68
<i>Fotog. II.16</i>	<i>Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en industrias del papel</i>	69
<i>Fotog. II.17</i>	<i>Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en industria textil</i>	70
<i>Fotog. II.18</i>	<i>Tendido de una línea de agua residual tratada para el reuso en industrias</i>	71
<i>Fotog. II.19</i>	<i>Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en lagos recreativos</i>	72

	PAG.
<i>Fotog. II.20</i> Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en lagos recreativos	73
<i>Fotog. II.21</i> Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en riego de áreas verdes	76
<i>Fotog. II.22</i> Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en riego de áreas verdes	76
<i>Fotog. II.23</i> Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en riego de áreas verdes	77
<i>Fotog. II.24</i> Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en riego de áreas verdes	77
<i>Fotog. II.25</i> Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en lagos recreativos	78
<i>Fotog. II.26</i> Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en lagos recreativos	79
<i>Fotog. II.27</i> Planta de tratamiento de aguas residuales para su vertido en estuarios	80
<i>Fotog. II.28</i> Planta de tratamiento de aguas residuales para su vertido en el mar	81
<i>Fotog. II.29</i> Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en la acuicultura	82
<i>Fotog. II.30</i> Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en la acuicultura	83
<i>Fotog. II.31</i> Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en la acuicultura	84
<i>Fotog. II.32</i> Planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso como agua potable	88

1 hm³, un hectómetro cúbico equivale a un millón de metros cúbicos.

1 km³, un kilómetro cúbico equivale a mil millones de metros cúbicos.

Aforo, el volumen del líquido que fluye por un conducto o caudal en la unidad de tiempo.

Aguas nacionales, las aguas propiedad de la Nación, en los términos del párrafo quinto del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

Agua pluvial, la generada por la precipitación de los condensados de vapor atmosférico.

Agua potable, aquella cuya ingestión no causa efectos nocivos a la salud.

Aguas residuales, las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Aguas residuales tratadas, son aquellas que mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reuso en servicios al público.

Alberca, depósito de agua con fines deportivos, terapéuticos o de recreación construido con muros de concreto reforzado o cualquier otro material estructural.

Alcantarillado, la red o sistema de conductos y dispositivos para recolectar y conducir las aguas residuales y pluviales al desagüe o drenaje.

Canal o cauce abierto, conducto superficial natural o artificial que recoge, conduce, transporta o evacua agua.

Carro tanque, vehículo acondicionado para el transporte de agua.

Cisterna, depósito subterráneo para almacenar agua.

Cobertura de agua potable, porcentaje de la población que cuenta con agua entubada dentro de la vivienda, dentro del terreno o de una llave pública o hidrante. Esta información se determina por medio de los censos y conteos que realiza el INEGI. Para los años en los que no existe censo ni conteo, la Gerencia de Agua Potable y Saneamiento en Zonas Rurales de la CNA estima el dato a partir de los reportes de los prestadores del servicio de agua potable.

Cobertura de alcantarillado, porcentaje de la población cuya vivienda cuenta con un desagüe conectado a la red pública de alcantarillado, a una fosa séptica, a un río, lago o mar, o a una barranca o grieta. Esta información se determina por medio de los censos y conteos que realiza el INEGI. Para los años en los que no existe censo ni conteo, la Gerencia de Agua Potable y Saneamiento en Zonas Rurales de la CNA estima el dato a partir de los reportes de los prestadores del servicio de alcantarillado.

GLOSARIO

Contaminantes, son aquellos parámetros o compuestos que, en determinadas concentraciones, pueden producir efectos negativos en la salud humana y en el medio ambiente, dañar la infraestructura hidráulica o inhibir los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

Cuerpo receptor, son las corrientes, depósitos naturales de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas cuando pueden contaminar el suelo o los acuíferos.

Descarga, las aguas residuales y pluviales que se vierten en el sistema de alcantarillado y drenaje.

Distritos de riego, áreas geográficas donde se proporciona el servicio de riego mediante obras de infraestructura hidroagrícola, tales como vaso de almacenamiento, derivaciones directas, plantas de bombeo, pozos, canales y caminos, entre otros.

Drenaje, sistema de caños o tubos de diversos diámetros para el desagüe de desechos y aguas que capta la red de alcantarillado en el Distrito Federal.

Hidrante, surtidores de agua de diferentes diámetros para servicio público.

Lago artificial recreativo, es el vaso de formación artificial alimentado con aguas residuales tratadas con acceso al público para paseos en lancha, prácticas de remo y canotaje donde el usuario tenga contacto directo con el agua.

Lago artificial no recreativo, es el vaso de formación artificial alimentado con aguas residuales tratadas que sirve únicamente de ornato, como lagos en campos de golf y parques a los que no tiene acceso el público.

Lago recreativo, depósito de agua residual, tratada o pluvial en un área de terreno, destinado a la diversión.

Laguna de infiltración, depósito de agua residual tratada o pluvial destinada a recargar los mantos freáticos.

Medidor, instrumento que sirve para cuantificar el caudal o flujo de agua que pasa por una tubería.

Norma Oficial Mexicana (NOM), la expedida por la Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial para regular la calidad y funcionamiento de los muebles y dispositivos de servicio, así como ahorradores de agua, sus accesorios y partes internas.

Normas Técnicas Ecológicas, las expedidas y las que expida la autoridad competente para regular la calidad del agua, las descargas de agua a la red de drenaje o alcantarillado en el Distrito Federal.

Planta Potabilizadora, instalación industrial compuesta de un conjunto de unidades de proceso que mejora la calidad del agua para el consumo humano.

Planta de Tratamiento, instalación industrial compuesta de un conjunto de unidades de proceso que puran las aguas residuales a fin de reutilizarse de conformidad con las normas de salud y ecológicas establecidas.

Pozo, la excavación o perforación que se hace en el terreno para extraer, inyectar agua o para otros fines.
Pozo de infiltración, instalación construida para recargar los mantos freáticos con las aguas pluviales y/o tratadas.

Rebombeo, acción para conducir y elevar el agua mediante el equipo adecuado.

Reuso en servicios al público con contacto directo, es el que se destina a actividades donde el público usuario esté expuesto directamente o en contacto físico. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes reusos: *llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines.*

Reuso en servicios al público con contacto indirecto u ocasional, es el que se destina a actividades donde el público en general esté expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes reusos: *riego de jardines y camellones en autopistas, camellones en avenidas, fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones.*

Riego, acción de esparcir agua sobre la tierra por diferentes métodos.

Tanque de almacenamiento, depósito artificial para almacenar grandes volúmenes de agua que posteriormente serán distribuidos al sistema hidráulico.

Tinaco, recipiente o depósito de diversa forma, tamaño y diferente material para almacenar pequeños volúmenes de agua.

Toma, conexión a la red secundaria para dar servicio de agua al usuario.

Toma tipo cuello de garza, conexión a la red secundaria con medidor, para llenar carros tanque y depósitos de agua.

Tratamiento primario, proceso de tratamiento de aguas residuales que remueven los sólidos sedimentables.

Tratamiento secundario, proceso de tratamiento de aguas residuales en el que la materia orgánica ha sido oxidada, y el agua resultante está clarificada y no es putrescible.

Tratamiento terciario, proceso de tratamiento de aguas residuales por el que se eliminan materiales en suspensión y solubles orgánicos e inorgánicos y contaminantes biológicos.

Universo de usuarios, número total de usuarios de las aguas nacionales y sus bienes inherentes.

Uso comercial o industrial, cuando el agua forme parte del bien o servicio industrializado o comercializado, o de su proceso de producción.

Uso doméstico, cuando el agua se destine a beber, preparar alimentos en casa, al servicio sanitario, la limpieza personal y la limpieza de bienes de los integrantes de una familia.

GLOSARIO

Uso en riego agrícola, utilización de agua destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas y su preparación para la primera enajenación, siempre que los productos no hayan sido objeto de transformación industrial.

Uso industrial, utilización de agua nacional para la industria que no se abastece a través de redes municipales. Se incluye el uso del agua en termoeléctricas.

Uso público, utilización de agua nacional para centros de población o asentamientos humanos. Se incluyen industrias, comercios y servicios conectados a las redes de abastecimiento municipal. Nota: no se utiliza el término *Uso público urbano* porque el nombre excluye a las comunidades rurales.

Usuario, a la persona física o moral que utilice los servicios públicos de agua potable o residual tratada, así como el que aproveche el drenaje.

Usuarios de aguas nacionales y sus bienes inherentes, personas físicas o morales que explotan, usan o aprovechan las aguas nacionales (aguas superficiales, subterráneas, reuso de agua y descargas a cuerpos receptores) y sus bienes públicos inherentes (zonas federales, terrenos ocupados por los cuerpos de agua, terrenos y cauces de las corrientes, islas de los cuerpos de agua, riberas, playas y las obras de infraestructura hidráulica).

Usuarios regularizados administrativamente, usuarios de aguas nacionales y sus bienes inherentes que se encuentran inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA).

INTRODUCCIÓN

Al paso del tiempo, desde el comienzo de su existencia, el hombre siempre ha mantenido gran preocupación por disponer de agua suficiente para atender sus necesidades de alimentación e higiene, así como para el desarrollo de sus medios de subsistencia y de progreso.

El hombre primitivo siempre se estableció cerca de fuentes de agua y pudo satisfacer sin gran esfuerzo sus necesidades elementales, considerando natural disfrutar de ese recurso a su voluntad. Pero luego el crecimiento, el progreso y el modo de vivir de las comunidades, originaron el aumento de los usos y la demanda de agua, hicieron cada vez más difícil el acceso a las fuentes y convirtieron el antes abundante recurso, en un bien escaso y exigente de muchos esfuerzos de todo tipo para su obtención.

Antes pudo disfrutar de agua sana tomándola de fuentes puras y caudalosas. El crecimiento de los grupos humanos y de sus medios de alimentación generaron complicaciones higiénicas y perturbaciones ecológicas, dando por resultado la contaminación de las fuentes de agua, la escasez de los caudales y el consiguiente embate de enfermedades y de perjuicios causados por el agua infectada y escasa. De ahí que el hombre, asociando intimamente su subsistencia a la disponibilidad de agua y a la necesidad de conservar su pureza, se haya preocupado tanto por encontrar medios para su obtención, ponerla a su disposición y mantener su buena condición sanitaria.

Tal preocupación dio origen al desarrollo de técnicas, instalaciones, prácticas de purificación y variados medios de captación, conducción y tratamiento de agua, que hoy se manifiestan en los sistemas de abastecimiento de agua potable y acueductos, en los de alcantarillado y otros medios de saneamiento puestos al servicio de las comunidades. Al mismo tiempo fueron desarrollándose organizaciones y dictándose reglas para manejar la provisión de agua destinada a satisfacer las necesidades de la población además de su adecuada evacuación y disposición de las aguas residuales.

Con el crecimiento de las ciudades, el aumento de los usos del agua, el costo y complejidad de los sistemas de abastecimiento y de evacuación, la contaminación de las fuentes con todo tipo de desechos y la destrucción de los bosques protectores de las fuentes de abastecimiento, el agua se ha vuelto escasa y costosa en su suministro, adquiriendo inmenso valor como recurso indispensable para la subsistencia y progreso de las comunidades.

Agua sana y en cantidad suficiente es la necesidad primordial de las grandes y de las pequeñas comunidades. Se le tiene que cuidar y proteger, para no perderla, su uso tiene que hacerse de forma racional, para no mal gastarla, su utilización debe remunerarse, para que todos puedan disfrutarla en la cantidad y calidad deseadas; la gente, las comunidades, las instituciones, los gobiernos, todos han de empeñarse en que siempre haya agua suficiente, en que se mantenga su pureza, y en que llegue a todas las viviendas y a los centros de producción para beneficio de la salud y el bienestar de sus habitantes.

INTRODUCCIÓN

Las pequeñas comunidades, antes y aún en la época actual, establecieron organizaciones comunales para atender colectivamente la provisión del servicio de agua y cuidar de la protección de las fuentes y del uso racional del recurso. Los gobiernos de las grandes comunidades -ciudades, regiones, países- atendiendo a su responsabilidad de mantener niveles de salud y bienestar de la población suficientes para lograr su progreso social y económico, considerando que para alcanzar y mantener ese estado sería indispensable dotarlas de servicios de agua potable y saneamiento adecuados a sus necesidades, determinaron que la provisión de esos servicios sería una de sus funciones primordiales y tomaron a su cargo la responsabilidad de dar los medios físicos e institucionales para establecerlos y ponerlos al alcance de los habitantes.

En los países desarrollados el principal objetivo del tratamiento es la remoción de materia orgánica y nutrientes, pues una tifoidea o un caso de parasitismo son excepcionales. En cambio, en los países en desarrollo, el objetivo prioritario de tratamiento de las aguas residuales debe ser la remoción de parásitos, bacterias y virus patógenos que ocasionan enfermedades endémicas.

Si el único objetivo fuese descontaminar el recurso hídrico, todos los proyectos serían inviables financieramente. Sin embargo, si se aprovecha la excelente calidad bacteriológica y la riqueza en nutrientes que ofrecen las aguas residuales tratadas, es posible obtener otros beneficios como la producción agropecuaria próxima a los centros de consumo.

El uso de las aguas residuales tratadas también permite obtener otros beneficios, como el uso eficiente del agua, provisión de abonos naturales y generación de alimentos, empleo e ingresos económicos, además de incrementar la frontera agrícola en zonas desérticas, etc.

El objetivo de este trabajo de tesis es analizar el papel que el reuso planificado de aguas residuales tiene dentro de una gestión integral de los recursos hidráulicos. Los objetivos específicos del presente trabajo son: 1) describir el marco conceptual del reuso planificado, 2) analizar los beneficios y las exigencias del reuso planificado, 3) describir el proceso de planeación de un proyecto de reuso planificado, 4) examinar los sistemas de tratamiento comúnmente utilizados para la regeneración de efluentes, 5) presentar las normas y criterios de calidad internacionales para el reuso de aguas residuales tratadas y 6) analizar el interés del reuso del agua residual tratada en el país, indicando el valor aproximado de los costos de construcción, operación y mantenimiento para el sistema en estudio.

En el capítulo uno, se presenta una breve descripción de algunas de las experiencias más representativas a nivel mundial y nacional sobre el reuso del agua residual tratada, su calidad y la normatividad que la rige.

En el capítulo dos, se presentan las alternativas de reuso del agua residual tratada, abordando los casos de: irrigación, recarga de mantos freáticos, en industrias, en recreación y conservación del medio ambiente, acuicultura y potabilización, señalando el tratamiento recomendado para cada reuso además de su calidad.

En el capítulo tres, se aborda el tema del financiamiento de sistemas para el reuso del agua residual tratada, donde se presentan las principales modalidades que tiene el sector privado en conjunto con el gobierno federal para participar en ellos, con sus respectivos riesgos, tiempos y elementos para su éxito.

En el capítulo cuatro, se presentan los lineamientos para lograr la comercialización de los sistemas para el reuso del agua residual tratada, dentro de los cuales se tiene el sistema comercial que pertenece a una parte fundamental de la organización de la empresa, abordando los diversos y numerosos elementos para su ejecución, dentro de los cuales se encuentran los objetivos, las funciones, los componentes y las políticas de dicho sistema.

En el capítulo cinco se presenta el proyecto de una planta de tratamiento de aguas residuales, donde se pretende comercializar el 80% del gasto a tratar, realizando un análisis económico y financiero desde la construcción, operación y mantenimiento, para posteriormente obtener los ingresos por la venta del agua residual tratada siempre apeándose al Código Financiero del Distrito Federal 2002, se podrá ver que será un excelente negocio para los inversionistas.

En el capítulo seis, se presentan las conclusiones y recomendaciones que se rescatan de este trabajo de tesis, tocando puntos como son: el precio de producción y el precio final de venta, la comercialización y rentabilidad del reuso, beneficios, futuro en el consumo del agua, financiamiento, entre otras muchas cosas.

Al final se presentan los anexos que contienen cada uno de ellos lo siguiente: Anexo A, en donde se presentan los casos íntegros de los antecedentes; Anexo B, el reportaje de *Vallarta, planta prototipo en tratamiento de aguas negras*, Anexo C, las tarifas vigentes de los derechos por suministro de agua del Código Financiero del Distrito Federal 2002; Anexo D, el Reglamento del Servicio de Agua y Drenaje para el Distrito Federal 1993, en los rubros del uso de agua potable y reuso del agua residual tratada; Anexo E, la Ley Ambiental del Distrito Federal 2001, con respecto a los artículos en materia de agua potable y reuso del agua residual tratada; y en el Anexo F, Metodología de análisis de decisiones para seleccionar alternativas de tratamiento y uso de aguas residuales.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

El reuso de efluentes es un componente intrínseco del ciclo natural del agua. Mediante el vertido de efluentes a los cursos de agua y su dilución con el caudal circulante, las aguas residuales han venido siendo reusadas incidentalmente en puntos aguas abajo para aprovechamientos urbanos, agrícolas e industriales. El reuso directo o planificado de agua residual a gran escala tiene un origen más reciente y supone el aprovechamiento directo de efluentes, con un mayor o menor grado de tratamiento previo, mediante su transporte hasta el punto de aprovechamiento a través de un conducto específico, sin mediar para ello la existencia de un vertido o una dilución en un curso natural de agua.

El notable desarrollo alcanzado por el reuso directo de agua residual tratada, especialmente en países con recursos hidráulicos suficientes, se ha debido a la necesidad tanto de ampliar sus abastecimientos de agua como de resolver sus vertidos de agua residual. El incremento registrado por las dotaciones de agua de abastecimiento, junto con el aumento de población experimentado por numerosas zonas urbanas, han hecho que las fuentes de abastecimiento tradicionales sean insuficientes para atender las demandas actuales. Las distancias crecientes entre las nuevas fuentes de abastecimiento y los núcleos urbanos, las limitaciones ambientales para construir nuevos embalses y las sequías plurianuales han llevado a numerosas poblaciones a plantearse el uso de aguas residuales tratadas como fuente adicional de agua para aprovechamientos que no requieran una calidad de agua potable. Por otra parte, las crecientes exigencias sanitarias y ambientales sobre la calidad de las aguas continentales y marinas, junto con los requisitos de ubicación y los niveles de tratamiento cada vez más estrictos impuestos a los vertidos de aguas residuales, han hecho que el agua residual tratada se convierta en una fuente alternativa de abastecimiento, económica y segura desde el punto sanitario y ambiental.

I.1. EXPERIENCIAS A NIVEL MUNDIAL EN EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

A escala mundial, el reciclado y reutilización de las aguas residuales se calcula que representa un 15% del consumo total de agua. Localmente, esta proporción puede ser significativamente mayor (*por ejemplo, en Israel en el futuro, el 30% del agua de riego y el 19% del suministro total de agua*). En vista de la demanda creciente de todos los recursos de agua, tanto en los países industrializados como en los en desarrollo, el complementar los recursos de agua con aguas residuales recicladas es un tema que no debe seguir despreciándose y justifica el interés manifestado por el IPTS.

A continuación presento una síntesis de algunos de los casos más representativos dentro del reuso del agua residual tratada a nivel mundial (*la versión íntegra de cada caso se puede consultar en el apartado de Anexos*).

Caso A. Plan Piloto de Reciclaje de Aguas Residuales en Southwell Park (Australia)

Es una planta de reciclaje de aguas residuales situada en un barrio residencial. Los excedentes de 300,000 litros/día se utilizan para regar las 9 hectáreas de los cercanos parques públicos de recreo y de juegos. Las aguas residuales se recogen por el colector principal y son tratadas in situ para mejorar su calidad mediante un proceso a tres niveles, con desinfección posterior. Las aguas residuales se devuelven al colector para un tratamiento en una zona más alejada, corriente abajo.

La planta tiene gran capacidad y utiliza equipamientos garantizados. Cumple las normas más estrictas, siendo la planta más innovadora de Australia. Ha conseguido el prestigioso premio *ACT Engineering Excellence*, instituido por la *Institution of Engineers Australia*.

El tratamiento in situ de efluentes para conseguir agua de alta calidad destinada al riego incluye la extracción de las aguas residuales, un proceso de filtración inicial, separación de sólidos, tratamiento biológico, microfiltración y desinfección hipoclorítica.

La extracción de agua es un concepto que consiste en la recogida de aguas residuales procedentes de un colector subterráneo y el posterior tratamiento de los componentes del agua, in situ, para mejorar su calidad con vistas a una utilización del agua reciclada en el área. Los sólidos se separan de las aguas residuales y se devuelven al colector para un último tratamiento en la planta central de tratamiento de aguas residuales.

La mayor ventaja de este concepto es que no requiere costosas inversiones en grandes sistemas de conducciones subterráneas necesarios para devolver el agua desde las grandes plantas de tratamiento hasta las áreas donde se requiere el agua reciclada. El concepto es aplicable a muchas zonas de acceso público como parques, campos de juego y jardines.

El *Environment Improvement Plan (EIP)* (Plan de Mejora Ambiental) de *ACTEW* en 1993 para el *Centro de Control de Calidad de Aguas de Lower Molonglo*, su principal planta de tratamiento de aguas residuales, puso especial énfasis en la eliminación de los nutrientes nitrógeno y fósforo de los vertidos al río Molonglo, a causa del impacto negativo que tienen estos nutrientes para el frágil entorno ambiental ribereño. Para alcanzar este objetivo, el plan recomendó una reutilización sustancial de los efluentes.

El alto coste del trasvase de efluentes desde la planta de tratamiento hasta las zonas donde se demandan es un impedimento a la hora de incrementar el nivel de reutilización de los efluentes. Para superarlo, *ACTEW* propuso seguir un plan piloto de reutilización de efluentes que extrae el agua directamente de la red general de alcantarillado y la trata in situ para su posterior utilización en el riego de parques y jardines.

Durante el desarrollo de su estrategia para el futuro suministro de agua a Canberra entre 1993 y 1994, *ACTEW* promovió foros públicos y llevó a cabo encuestas entre los miembros de la comunidad para conocer sus puntos de vista respecto a los temas relacionados con los recursos del agua.

También se recogieron opiniones acerca de la reutilización de efluentes para el suministro de agua potable. Los resultados mostraron que el 20% de la población estaba completamente a favor del reciclaje total y más del 27% lo apoyaba sólo en parte. De todos modos, un porcentaje mayoritario de la población, cerca del 97% era partidaria de la reutilización de efluentes para el riego.

Caso B. Programa de Calidad de las Aguas Residuales y del Saneamiento en Leederville (Australia)

El proyecto de infraestructuras de saneamiento y calidad de las aguas residuales en el oeste de Australia se financia mediante el *Programa Una Nación* del gobierno federal. El proyecto está diseñado para utilizar, probar y demostrar la eficacia de la innovadora tecnología australiana para el tratamiento de las aguas residuales y la construcción de alcantarillado subterráneo en el oeste de Australia. El proyecto prestará especial atención a los problemas de la urbanización y el medio ambiente. Actualmente, el 25% del área metropolitana de Perth depende de fosas sépticas, con el consiguiente riesgo para la salud y el medio ambiente.

Todos los proyectos financiados por el Programa se incluyen en dos grupos:

- a) *Tratamiento de las aguas residuales y construcción de alcantarillado*
- b) *Obras de construcción de fosas sanitarias para el sistema de alcantarillado*

Tratamiento de las aguas residuales y construcción de alcantarillado

1. **Coogee.** Instalación de una Planta Central de Tratamiento de Aguas Residuales.
2. **Woodman Point.** Tecnología de Filtración para mejorar las Aguas Residuales.
3. **Bayswater.** Construcción de Marismas Artificiales para extraer los nutrientes de las filtraciones de efluentes.
4. **Denmark.** Planta de Tratamiento para Centros Urbanos Pequeños con Sistemas Sépticos Inadecuados.
5. **Rottnest Island.** Planta de Tratamiento de Efluentes para la descarga segura del agua en el suelo o el mar.

Obras de construcción de fosas sanitarias para el sistema de alcantarillado

1. **Willetton.** Obras de Construcción de Alcantarillado Subterráneo para servir a 152 parcelas.
2. **Belmont.** Obras de Construcción de Alcantarillado Subterráneo para servir a 440 parcelas.
3. **Balcatta.** Obras de Construcción de Alcantarillado Subterráneo para servir a 580 parcelas y reducir las infiltraciones de efluentes a las aguas subterráneas.

El *Programa de Tratamiento de las Aguas Residuales y de Alcantarillado en el oeste de Australia* es una iniciativa del gobierno federal para llevar a cabo varios proyectos en la zona. Los fondos asignados según el programa están destinados a desarrollar proyectos piloto que utilizan nuevas técnicas para el tratamiento de aguas residuales y proyectos de construcción de alcantarillado subterráneo. El programa también complementará otras iniciativas de reforma urbana financiadas por el *Programa Mejores Ciudades* del gobierno federal.

Estos importantes proyectos, repartidos por todo el área metropolitana y otras zonas, prestan especial atención a los problemas de la urbanización y del medio ambiente y suponen el uso de las más avanzadas tecnologías de Australia.

Proyectos de tratamiento de aguas residuales y alcantarillado

1. El *Proyecto Coogee* trata de evitar prácticas inaceptables como el vertido de residuos directamente al *Cockburn Sound*. El proyecto incluye la instalación de una planta central anaerobia de tratamiento de aguas residuales, en la que se tratan las aguas residuales que tienen gran concentración de residuos, lo suficiente como para que puedan reutilizarse en el lugar o puedan ser vertidas al sistema general de alcantarillado.
2. El *Proyecto Woodman Point*, que utiliza técnicas de filtración para demostrar que es posible tratar los efluentes primarios para abastecer de agua de uso industrial a la industria de la zona de *Kwinana*. La planta de tratamiento que ya existe produce efluentes primarios que se vierten en aguas profundas.
3. El *Proyecto de Marismas Artificiales de Bayswater*, diseñado para mejorar la calidad de los efluentes, incluidas las aguas subterráneas y las de lluvia de escorrentía que se vierten en el río *Swan* desde el desagüe principal de *Bayswater*. El plan incluye la construcción de una marisma artificial para extraer los nutrientes del flujo del desagüe y probar la viabilidad de utilizar el ecosistema de la marisma controlada para separar los nutrientes del agua del desagüe principal de *Bayswater*. Se está creando un terreno pantanoso artificial y se excavará el material arenoso, se reemplazará con una tierra más adecuada y luego se repoblará con vegetación acuática.
4. El *Proyecto Denmark*, cuyo sistema actual de tratamiento de aguas residuales se hace mediante fosas sépticas de oxidación. Los efluentes de esta planta originan la mayor parte de los nutrientes que entran en la ensenada de *Wilson*, y que con el tiempo podrían dar lugar al aumento de los graves problemas de eutrofización. El objetivo del proyecto es construir una planta de tratamiento que incorpore tecnología nueva e innovadora y produzca unos efluentes tratados avanzados que no tengan un impacto negativo en la ensenada.
5. El *Proyecto Rottnest Island*, está mejorando los sistemas actuales de tratamiento de aguas residuales, para poder tratar los incrementos de volumen estacionales y mejorar la calidad de los efluentes para cumplir las directrices ambientales. La tecnología avanzada permitirá que los efluentes se reciclen o se viertan al terreno o al mar.

Caso C. Proyecto de Reuso de las Aguas Residuales Tratadas en las Lagunas de San Juan, Lima, Perú

En 1964 se construyó al Sur de Lima el *Complejo de Lagunas de Estabilización de San Juan*, permitiendo la forestación de 300 ha, que actualmente constituyen parte del denominado "*Cinturón Ecológico de Lima*". Paralelamente, las áreas desérticas adyacentes al Complejo fueron invadidas por algunos agricultores, quienes rápidamente detectaron el valor de estas aguas y ahora trabajan 70 ha de cultivos agrícolas.

El crecimiento explosivo de Lima en las tres últimas décadas ha transformado más de 20,000 ha agrícolas en urbanizaciones. Algunos agricultores han luchado por mantener el uso agrícola de sus tierras, pero su abastecimiento de agua se ha visto reducido e incluso interrumpido por la destrucción de los canales de riego provenientes de los ríos Rímac y Chillón. Por tanto, la supervivencia de 3,000 ha agrícolas ha sido posible gracias a las aguas residuales.

Casos similares al anterior se han presentado en otras ciudades de la costa, tal como Trujillo, Chiclayo y Piura, en donde en forma espontánea se utilizan las aguas residuales sin tratamiento. El único caso de riego planificado se ha realizado en un área de 200 ha, aledaña a la ciudad de Tacna.

En 1988 se implementó la *Unidad Experimental de Acuicultura de San Juan*, que ocupa un área de 14,400 m² y es abastecida por un efluente del *Complejo de Lagunas de Estabilización de San Juan*. Esta unidad permitió ejecutar el *Proyecto de Investigación de Reuso en Acuicultura* y actualmente se mantiene operando con fines demostrativos.

En 1992 se ha construido una planta de tratamiento, compuestas por un reactor anaerobio de flujo ascendente y dos lagunas de estabilización, para regar un campo de golf, alternativa tecnológica que puede aplicarse en general para el riego de las áreas verdes de la ciudad.

En 1997, la Universidad Nacional de Ingeniería construyó un módulo de tratamiento de aguas residuales, que pretendía evaluar diferentes alternativas tecnológicas. Igualmente, la Universidad Nacional Agraria La Molina está implementando otro módulo de reuso de aguas residuales en agricultura, piscicultura y forestales en un campo agrícola de 23 ha.

Entre los usos específicos que se realizan en Perú se encuentran: *la agricultura* es la principal actividad desarrollada con el reuso de las aguas residuales, no se tiene referencias de que la productividad mejore por el uso de aguas residuales, pero si que se sustituye por completo la fertilización artificial; *la forestal* orientada a la formación de bosques con fines ecológicos y recreativos; *la ganadería* es una actividad complementaria a la agrícola; *la piscicultura* es una nueva alternativa que se está proponiendo dentro de las actividades de reuso de las aguas residuales; *el riego* de áreas verdes y campos deportivos; y *el uso de los lodos generados* en lagunas primarias y secundarias.

Caso D. Sistema Integrado de Tratamiento de Residuos y Aguas Residuales en las Marismas de Calcuta (India)

Las marismas situadas al este de Calcuta han sido la solución al problema de las aguas residuales y la eliminación de residuos de la ciudad de Calcuta. A principios de la década de los treinta se excavaron dos canales, uno para el tratamiento de las aguas de lluvia y otro para el caudal de la estación seca, para desaguar las aguas residuales domésticas de la ciudad, 680 millones de litros al día. La derivación de las aguas residuales urbanas y del agua de lluvia, produjo un cambio gradual en el medio acuático que era salino y dejó de serlo, de manera que se crearon las condiciones ideales para la piscicultura de agua dulce. Las piscifactorías a base de aguas residuales tratadas, junto con la agricultura aprovechando los residuos y las aguas residuales en las marismas periurbanas desempeñan un papel importante en el reciclaje de residuos y el saneamiento urbano.

Situación general

Las marismas de Calcuta se extienden por el borde este de la ciudad. Estas marismas periurbanas están situadas entre las coordenadas de latitud norte de 22°25' a 22°23' y de longitud este de 88°24' a 88° 35'. Estas marismas y masas de agua son el resultado de un complicado modelo de desagüe en el delta, que estaba a punto de desaparecer. Hasta el siglo XIX el río Bidyadhari, que discurre a través de la región, fue un río activo y afectado por las mareas. En la actualidad, la región se ha convertido en una cuenca de descarga en la que se han formado lagos de agua salada. Coincidiendo con el declive del río Bidyadhari, a principios de la década de los treinta, el Sr. B. N. Dey, ingeniero jefe de la *Corporación de Calcuta*, hizo excavar un canal que recogiese el agua en la estación de las lluvias (*SWF*) para desaguar las aguas residuales de la ciudad, conectando con la bahía de Bengala. Más tarde y para facilitar el buen funcionamiento del desagüe, se excavó un canal paralelo al canal *SWF* para el caudal de la estación seca.

Este cambio en la disposición del sistema de desagüe dio lugar al desarrollo de la ciudad. Todas las aguas residuales domésticas de Calcuta, que se estiman en 680 millones de litros diarios, fluyen a través de un sistema de canales principales y auxiliares que desembocan en las marismas de Calcuta. Estos caudales se utilizan en las zonas dedicadas a la piscicultura que utilizan aguas residuales tratadas (*STF*) como nutrientes. En las marismas se purifican las aguas residuales mediante un proceso natural de oxidación, radiación y descomposición biológica de los residuos orgánicos y piscicultura. La descomposición de los residuos orgánicos, la temperatura tropical y la abundante radiación solar, de 250 a 600 langley/día (unidad de medición de la radiación) y la poca profundidad del agua (inferior a un metro) han favorecido a la evolución de un ecosistema único. Estos procesos totalmente ecológicos han sido bien aprovechados por los pescadores tradicionales de esta región de marismas, que han experimentado para crear recursos y puestos de trabajo.

Evolución del sistema

Aunque la localización de Calcuta era un lugar poco idóneo para una metrópoli, la proximidad de las marismas ha sido a posteriori la solución al problema del medio ambiente de la ciudad. Calcuta ha crecido hasta ser una *metrópoli sin ninguna planta de tratamiento de aguas residuales* y todas las aguas residuales y los residuos se han vertido en las marismas. Las marismas desempeñan un papel importante en el tratamiento de las aguas residuales y a su vez las transforman en recursos. El uso de esos residuos y aguas residuales muestran tres modos distintos de aprovechamiento y transformación en riqueza evidentes, a saber:

1. la piscicultura a base de aguas residuales tratadas (*STF*),
2. la agricultura a base de residuos (*GF*) y
3. la agricultura a base de aguas residuales (*SF*).

I.2. EXPERIENCIAS A NIVEL NACIONAL EN EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

Los problemas que enfrenta México en cuanto a disponibilidad, desperdicio y contaminación del agua, pueden transformarse en verdaderas crisis; los servicios de agua potable, alcantarillado y el tratamiento de aguas residuales presentan problemas que no son exclusivamente de infraestructura, sino también sociales. Los recursos humanos y financieros de los tres niveles de gobierno no son suficientes para resolverlo. Tener agua disponible representa un costo que debe ser pagado por los usuarios directos del agua, y no a través de subsidios. Los usuarios deben conocer el valor económico del agua; sólo con la participación de la sociedad será posible evitar situaciones críticas y lograr un manejo sustentable del recurso.

Situación Actual

Agua Potable

En México, en 1965, el país contaba con una población de 42 millones de habitantes y la disponibilidad de agua per cápita anual era de 11,300 m³; había un mínimo grado de contaminación y casi nula sobreexplotación de los mantos acuíferos. El agua se consideraba un bien social y el gobierno federal era responsable absoluto de la administración y prestación de los servicios para todos los usos del recurso. La participación de la sociedad era prácticamente inexistente en el proceso de toma de decisiones y en su implementación.

Hoy tenemos una población cercana a los 100 millones de habitantes, disponibilidad de agua del orden de 4,900 m³ por habitante por año, 50% menos que en 1965, volumen que nos ubica a nivel mundial como *país con baja disponibilidad media*. Esta disminución se debe principalmente al crecimiento demográfico y a un manejo inadecuado del agua en sus diversos usos, lo que ha propiciado un desequilibrio hidrológico y en los ecosistemas.

La situación es más aguda por la desigual distribución del recurso, algunas regiones del país, como la Golfo Sur, registran hasta 24,000 m³ anuales per cápita, mientras que en la cuenca Lerma-Santiago, por ejemplo, se estiman 1,200 m³ y en el Valle de México escasos 120 m³. Con disponibilidades menores a 12,000 m³ se tienen muy serias dificultades para el desarrollo sostenido de un país.

En México, la presión sobre el recurso es creciente y el panorama es preocupante para futuras generaciones. A nivel nacional la eficiencia promedio en el manejo del agua es baja, el saneamiento está relegado a un segundo término, las inundaciones y la sequía son recurrentes, la profesionalización del sector es discontinua, la cultura del agua es incipiente, al igual que la participación de la sociedad y de la iniciativa privada.

La competencia por el agua se intensifica. Las ciudades recurren a fuentes de abastecimiento cada vez más lejanas y en el campo el volumen para riego disminuye, con los problemas sociales y económicos inherentes.

Hoy hablamos del agua como un bien económico y escaso; se trabaja en la regulación y administración de su aprovechamiento, y se promueve la participación corresponsable entre gobierno y usuarios.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

De esta forma, la cobertura de agua potable en el país crece. De los 97.4 millones de mexicanos que se estimaron para el 2000, el 88.0% de los habitantes contaron con los servicios de agua potable. En las poblaciones mayores a 2,500 habitantes, zonas urbanas, la cobertura fue del 95.2% y en poblaciones menores a 2,500 habitantes, zonas rurales, fue de 68.0%. En las *Tablas 1.1.a, 1.1.b y 1.1.c* se ilustra con más detalle esta información.

Tabla 1.1.a
Cobertura del Servicio de Agua Potable a Nivel Nacional

Año	Población Total	Habitantes (Millones)			Porcentaje de Cobertura
		Con Servicio	Sin Servicio	Beneficiados	
1990	83.50	69.40	18.60	1.80	77.70
1991	85.10	67.20	17.90	2.20	79.00
1992	86.70	69.70	17.00	2.50	80.40
1993	88.40	71.90	16.50	2.20	81.30
1994	90.00	74.00	16.00	2.10	82.20
1995	91.20	76.70	14.40	2.70	84.20
1996	92.70	78.70	13.90	2.10	85.00
1997	94.30	80.70	13.50	1.90	85.70
1998	95.80	82.80	13.00	1.90	86.40
1999	97.30	85.00	12.30	2.20	87.60
2000	97.40	83.80	13.60	1.20	88.00

Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA. Compendio Básico del Agua en México 2002, CNA.

Tabla 1.1.b
Cobertura del Servicio de Agua Potable en Zonas Urbanas

Año	Población Total	Habitantes (Millones)			Porcentaje de Cobertura
		Con Servicio	Sin Servicio	Beneficiados	
1990	59.80	52.90	6.90	1.40	88.50
1991	61.10	54.50	6.60	1.60	89.20
1992	62.40	56.30	6.10	1.80	90.20
1993	63.70	57.90	5.80	1.60	90.90
1994	65.10	59.40	5.70	1.50	91.20
1995	67.00	62.00	5.00	2.60	92.60
1996	68.20	63.50	4.60	1.50	93.20
1997	69.30	64.90	4.30	1.40	93.70
1998	70.50	66.50	4.00	1.40	94.30
1999	71.60	68.10	3.50	1.60	95.10
2000	72.70	67.30	5.40	0.80	95.20

Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA. Compendio Básico del Agua en México 2002, CNA.

Tabla I.1.c
Cobertura del Servicio de Agua Potable en Zonas Rurales

Año	Población Total	Habitantes (Millones)			Porcentaje de Cobertura
		Con Servicio	Sin Servicio	Beneficiados	
1990	23.70	12.10	11.60	0.40	51.10
1991	24.00	12.70	11.30	0.60	52.90
1992	24.30	13.40	10.90	0.70	55.10
1993	24.70	14.00	10.70	0.60	56.70
1994	24.90	14.60	10.30	0.60	58.60
1995	24.20	14.70	9.40	0.10	61.00
1996	24.60	15.30	9.30	0.50	62.20
1997	25.00	15.80	9.20	0.50	63.20
1998	25.30	16.30	9.00	0.50	64.40
1999	25.70	17.00	8.70	0.60	65.70
2000	24.70	16.50	8.20	0.50	68.00

Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA. Compendio Básico del Agua en México 2002, CNA.

Alcantarillado

En el país, la red de alcantarillado no es suficiente para captar la mayoría de las aguas residuales producidas, lo que implica que exista un gran número de descargas sin control. Para atender esta problemática es necesario construir redes, colectores y emisores.

Tabla I.2.a
Cobertura de los Servicios de Alcantarillado a Nivel Nacional

Año	Población Total	Habitantes (Millones)			Porcentaje de Cobertura
		Con Servicio	Sin Servicio	Beneficiados	
1990	83.50	51.20	32.30	1.70	61.30
1991	85.10	53.10	32.00	1.90	62.40
1992	86.70	55.30	31.40	2.20	63.80
1993	88.40	57.10	31.30	1.90	64.60
1994	90.00	59.10	30.90	1.90	65.70
1995	91.20	65.70	25.50	6.60	72.10
1996	92.70	67.20	25.60	1.50	72.40
1997	94.30	68.30	26.00	1.10	72.40
1998	95.80	69.40	26.40	1.10	72.40
1999	97.30	71.10	26.20	1.70	73.10
2000	97.40	72.70	24.70	1.60	76.00

Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA. Compendio Básico del Agua en México 2002, CNA.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

Para el servicio de alcantarillado, para el año 2000, el 76.0% de los habitantes del país contaron con el servicio de alcantarillado. En las zonas urbanas la cobertura por este servicio fue de 90.0% y en las zonas rurales, fue de 37.0%. En las Tablas 1.2.a, 1.2.b y 1.2.c se muestra la información.

Tabla 1.2.b
Cobertura de los Servicios de Alcantarillado en Zonas Urbanas

Año	Población Total	Habitantes (Millones)			Porcentaje de Cobertura
		Con Servicio	Sin Servicio	Beneficiados	
1990	59.80	46.50	13.30	1.20	77.80
1991	61.10	47.90	13.20	1.40	78.40
1992	62.40	49.50	12.90	1.60	79.30
1993	63.70	50.80	12.90	1.30	79.70
1994	65.10	52.20	12.90	1.40	80.20
1995	67.00	58.60	8.40	6.40	87.40
1996	68.20	59.70	8.50	1.10	87.50
1997	69.30	60.50	8.80	0.80	87.30
1998	70.50	61.30	9.20	0.80	87.00
1999	71.60	62.60	9.00	1.30	87.40
2000	72.60	63.80	8.90	1.20	90.00

Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA. Compendio Básico del Agua en México 2002, CNA.

Tabla 1.2.c
Cobertura de los Servicios de Alcantarillado en Zonas Rurales

Año	Población Total	Habitantes (Millones)			Porcentaje de Cobertura
		Con Servicio	Sin Servicio	Beneficiados	
1990	23.70	4.70	19.00	0.50	19.80
1991	24.00	5.20	18.80	0.50	21.70
1992	24.30	5.80	18.50	0.60	23.90
1993	24.70	6.40	18.30	0.60	25.90
1994	24.90	6.90	18.00	0.50	27.70
1995	24.20	7.10	17.00	0.20	29.50
1996	24.60	7.50	17.00	0.40	30.60
1997	25.00	7.80	17.20	0.30	31.30
1998	25.30	8.10	17.20	0.30	32.10
1999	25.70	8.60	17.10	0.50	33.30
2000	24.70	8.90	15.80	0.30	37.00

Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA. Compendio Básico del Agua en México 2002, CNA.

Saneamiento

Se tienen en inventario 1,018 sistemas de depuración de aguas residuales municipales con una capacidad instalada de 75.9 m³/s, de los cuales 793 se encuentran en operación con un gasto tratado de 45.9 m³/s; se recolectan en alcantarillado 200 m³/s, por lo que 23.0% del total de aguas residuales procedentes de localidades urbanas a nivel nacional reciben tratamiento.

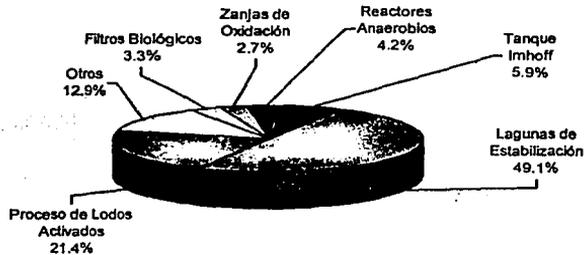


Fig. 1.1 Inventario de los Procesos de Tratamiento en Efluentes Municipales

Ante esta situación es fundamental incrementar la cobertura para el tratamiento de las aguas residuales municipales, sin perder de vista otros elementos que contribuyen a la contaminación de los cuerpos de agua, como los residuos sólidos y las descargas de aguas agrícolas e industriales.

No obstante la importancia que tiene el tratamiento de aguas residuales para evitar la contaminación de cuerpos receptores, la inversión en estas obras de infraestructura ha sido incipiente, ya que se otorga prioridad al servicio de agua potable, aún para los inversionistas privados resulta riesgosa la inversión por la dificultad para recuperarla mediante tarifas.

Existen 1,479 plantas de tratamiento industriales, de las cuales 1,399 se encuentran en operación con un caudal tratado de 25.3 m³/s, habiendo entre ellas 504 plantas que cumplen con las condiciones particulares de descarga (CPD) con un gasto de 8.8 m³/s.

Los centros urbanos generan 250 m³/s (7.88 km³/año) de aguas residuales, de los cuales 200 m³/s (6.3 km³/año) se recolectan en el alcantarillado y 45.9 m³/s (23% de lo que se colecta) recibe tratamiento.

En la *Tabla 1.3* se observa la situación actual del país para tratar aguas residuales municipales e industriales por entidad federativa.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

Tabla I.3 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales e Industriales por Entidad Federativa (Situación a diciembre de 2000)

Entidad Federativa	Municipales		Industriales	
	Número de plantas de tratamiento en operación	Caudal de agua tratada (lps)	Número de plantas de tratamiento en operación	Caudal de agua tratada (lps)
Aguascalientes	80	1,764	22	70
Baja California	13	3,768	155	912
Baja California Sur	14	599	9	190
Campeche	9	33	44	18
Coahuila	9	962	51	794
Colima	28	395	10	315
Chiapas	6	86	11	687
Chihuahua	29	3,830	21	287
Distrito Federal	18	2,760	1	23
Durango	53	2,058	18	281
Guanajuato	13	1,892	56	235
Guerrero	14	1,459	7	37
Hidalgo	5	22	43	1,000
Jalisco	51	1,748	54	371
México	42	3,592	108	380
Michoacán	10	891	33	1,239
Morelos	19	1,037	56	747
Nayarit	39	1,028	4	163
Nuevo León	40	7,123	21	2,383
Oaxaca	25	358	13	586
Puebla	20	430	96	410
Querétaro	33	664	84	441
Quintana Roo	13	1,012	2	5
San Luis Potosí	5	310	57	712
Sinaloa	13	1,071	15	311
Sonora	62	2,547	18	103
Tabasco	16	364	66	383
Tamaulipas	15	2,045	39	1,045
Tlaxcala	20	466	70	276
Veracruz	57	742	149	10,749
Yucatán	9	339	58	80
Zacatecas	13	172	8	47
Nacional	793	45,927	1,399	25,280

Fuente: Compendio Básico del Agua en México 2002, CNA.

Metas del Programa Hidráulico 1995 – 2000

El Programa Hidráulico 1995 – 2000 establece como meta proporcionar servicio de agua potable, al finalizar este periodo, al 87.5% de la población, aproximadamente 87.0 millones de habitantes; esto significa incorporar a más de 4 millones de habitantes y realizar inversiones del orden de 6,300 MDP durante los próximos dos años (1999 y 2000).

Las metas del Programa Hidráulico mencionado, establecen alcanzar la cobertura, en alcantarillado para el 76.3% de la población, aproximadamente 75.7 millones de habitantes. Para lograrla se requiere incorporar al servicio, en los próximos dos años, a 6 millones de habitantes, lo cual demandará una inversión cercana a 7,200 MDP.

El gobierno federal ha propuesto, dentro del Programa Hidráulico 1995 – 2000, que al final de este periodo se traten, de acuerdo con la normatividad, aproximadamente de 141 m³/s de aguas residuales municipales, que representan 55% del total producido en el país. Para incrementar la capacidad de tratamiento, las inversiones requeridas son del orden de 7,800 MDP.

Como se pudo ver en las rubros de agua potable y alcantarillado se cumplieron los objetivos mencionados en el Programa Hidráulico 1995 – 2000 en cuanto a las coberturas y los habitantes beneficiados, pero en materia de saneamiento no se llegó a la meta fijada.

Programa Nacional Hidráulico 2001 – 2006

El Plan Nacional de Desarrollo 2001 – 2006 (PND) constituye el instrumento base de planeación del Ejecutivo Federal con un horizonte de seis años. Es el instrumento rector de toda la acción de la administración pública federal.

El PND da origen a los programas sectoriales, institucionales, regionales y especiales, en los cuales se especifican, para cada sector, los objetivos, las metas, las estrategias y las políticas a implementar en los próximos años.

Con fundamento en lo anterior, el Programa Nacional Hidráulico 2001 – 2006, constituye el instrumento rector de la política hidráulica en México; los objetivos plasmados en él, contribuyen en forma decisiva a la consecución de los objetivos rectores del PND.

El Programa se construyó con una amplia participación de usuarios, autoridades locales, organizaciones no gubernamentales y ciudadanos en general; y está estructurado en cinco partes:

1. Introducción
2. Hacia una nueva visión (Cómo planeamos)
3. El agua: un recurso estratégico y de seguridad nacional (Dónde estamos)
4. Hacia un manejo sustentable del agua (A dónde queremos llegar)
5. Nuestro compromiso (Cómo vamos a llegar)

Dentro del **Objetivo 2. Fomentar la ampliación de la cobertura y la calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento**, se pretende lo siguiente:

La cobertura de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento es uno de los mejores indicadores del nivel de bienestar y desarrollo de los países. La carencia de estos servicios está directamente relacionada con un bajo nivel de vida y con la presencia de enfermedades que afectan el entorno social, económico y ambiental de los habitantes.

Hasta el día de hoy, la provisión de los servicios de agua potable y alcantarillado representa una de las mayores demandas sociales, junto con las acciones de saneamiento que permitan restaurar la calidad del agua en las corrientes y acuíferos del país.

Para atender esta demanda se requieren inversiones cuantiosas, por parte de las tres instancias de gobierno y de la iniciativa privada; pero sobre todo, recursos provenientes del pago que los propios usuarios hagan por los servicios que reciben. Asimismo, es necesario introducir cambios estructurales que permitan consolidar el impacto de dichas inversiones, por medio de un proceso que fortalezca a las organizaciones encargadas de prestar dichos servicios.

Conviene mencionar que la Constitución establece que los servicios de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales están a cargo de los municipios; sin embargo, también se prevé el concurso de los Estados y de la propia Federación en apoyo de los municipios.

Las líneas estratégicas que normarán la acción de las distintas dependencias y entidades de la administración pública y de los usuarios organizados para avanzar coordinadamente hacia el objetivo planteado son:

1. *Propiciar la atención al rezago en la cobertura y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento básico en zonas rurales.*
2. *Sostener el incremento de las coberturas y fomentar la mejora en la calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.*
3. *Promover el tratamiento de las aguas residuales e impulsar el intercambio de agua tratada por agua de primer uso.*
4. *Fomentar la eficiencia de los organismos encargados de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.*
5. *Apoyar el desarrollo de los organismos operadores*

Para promover el tratamiento de las aguas residuales e impulsar el intercambio de agua tratada por agua de primer uso. Se han diseñado mecanismos que fomentan la rehabilitación, conservación y operación plena de las plantas de tratamiento ya construidas; así como la instalación de nuevas plantas de tratamiento municipales o industriales.

Asimismo, se busca estimular el reuso del agua residual tratada en vez de utilizar agua potable, específicamente en aquellas actividades en las que no se requieren esos niveles de calidad. En este sentido, se fomenta el desarrollo de instrumentos legales, económicos y tecnológicos que favorezcan el reuso.

Además se seguirá fomentando la participación del sector privado en la construcción, operación y financiamiento de plantas de tratamiento; se seguirá proporcionando apoyo técnico calificado e impulsando el desarrollo de tecnología de punta para mejorar la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales.

Se usarán otras técnicas en zonas de baja disponibilidad fomentando el desarrollo tecnológico en las siguientes áreas: aprovechamiento del agua de lluvia, métodos para la desalación, tratamiento avanzado de aguas residuales para reuso.

En el apoyo en el desarrollo de los organismos operadores. Con el paso del tiempo, los organismos operadores del país han acumulado deudas con la Comisión Nacional del Agua, así como rezagos en las inversiones que requieren para incrementar sus eficiencias y para tratar las aguas residuales que generan. Ante esta realidad, se han diseñado diversos mecanismos que contribuirán al desarrollo de los organismos.

En coordinación con Banobras se ha desarrollado el programa que contribuirá a incrementar la eficiencia técnica y financiera de los organismos operadores y promover el desarrollo de proyectos de infraestructura a través de la participación del sector privado. El programa, denominado Finfra 2, se integra con recursos provenientes de la Banca de Desarrollo, de la CNA y de los gobiernos estatales y municipales. Además se apoya el desarrollo administrativo de los organismos operadores y el saneamiento de sus finanzas.

Restaurar y conservar la calidad del agua.

La estrategia básica es el tratamiento de la totalidad de las aguas residuales de la región para permitir su reuso. Consistiría, igualmente, en promover nuevos proyectos tanto en zonas urbanas como rurales que ofrezcan la capacidad de tratamiento y conducción de la totalidad de agua residual generada, a efecto de cumplir con la legislación vigente en la materia, proporcionar agua adecuada para la irrigación, y propiciar una oferta que permita sustituir el agua de los pozos que actualmente extraen los usuarios agrícolas e industriales. Todo lo anterior, sin olvidar la necesaria adecuación de la infraestructura de drenaje, alcantarillado y el tratamiento de las aguas residuales y manejo adecuado de lixiviados y lodos.

Participación del sector privado

Para propiciar un mayor desarrollo en el subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento y ayudar a resolver la problemática que presentan los organismos operadores de agua, se apoyará la participación del sector privado a fin de aprovechar su experiencia técnica, acceder a tecnología de punta y utilizar su solvencia financiera. Además, con la participación del sector privado se asegura la continuidad en la gestión de los servicios, al ser ésta ajena a los cambios políticos que presentan las administraciones estatales y municipales.

Durante los últimos años se han presentado diversos casos de participación de la empresa privada en la administración de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en México, en

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

localidades urbanas medias y mayores, incluso centros turísticos, en donde existen concesiones y contratos de prestación de servicios. Como ejemplos se tienen Aguascalientes, Cancún, Distrito Federal, Puebla, Navojoa y Saltillo.

El sector privado también ha participado en el diseño y construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, principalmente bajo la modalidad de construir, operar y transferir (en inglés Build Operate Transfer) o similares, con esquemas en los que el Gobierno Federal, a través del Fondo de Inversión en Infraestructura (Finfra) ha apoyado con recursos adicionales al capital de los inversionistas, y como subsidio en aquellos casos en los que los ingresos de la población han sido insuficientes para cubrir el precio real del servicio.

Dentro de las metas del Programa Nacional Hidráulico 2001 – 2006 se tienen:

- | | |
|--|-----|
| 1. Porcentaje de habitantes del país que cuenten con servicio de agua potable | 89% |
| 2. Porcentaje de habitantes del país que cuenten con servicio de alcantarillado | 78% |
| 3. Volumen de agua residual tratada entre volumen de agua residual recolectada | 65% |
| 4. Porcentaje de habitantes del medio rural que cuenten con servicio de agua potable | 78% |

Recolección y Desecho de Aguas Residuales en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)

Un solo sistema de recolección o de drenaje funciona tanto para las áreas de servicio del Distrito Federal como para las del Estado de México en la ZMVM. Cada área de servicio tiene su propia red de drenaje; sin embargo, todos los drenajes descargan eventualmente en los interceptores generales del sistema general de drenaje, el cual conduce las aguas residuales por cuatro salidas artificiales localizadas en el extremo norte de la cuenca. En el Distrito Federal, la red del sistema abarca cerca de 10,000 kilómetros de largo, con 68 estaciones de bombeo, numerosos diques y lagunas para controlar el flujo, 111 kilómetros de canales abiertos, 42 kilómetros de ríos utilizados principalmente para drenaje y 118 kilómetros de túneles.

Según el censo de 1990 (INEGI, 1991a), el 82% de los 15 millones de habitantes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México recibe los servicios del sistema de drenaje; el 6%, aproximadamente, utiliza fosas sépticas, y alrededor del 9% no posee ningún sistema de drenaje. Sin embargo, las diferencias en el interior de las áreas de servicio son notables, y en algunas delegaciones un sistema de drenaje sirve a menos de la mitad de los residentes.

Las descargas de aguas residuales domésticas e industriales, así como el agua de lluvia, se recolectan en una red secundaria consistente en un pequeño sistema de tuberías por vecindario; después, son conducidas a través de la red principal al Sistema General de Drenaje, para ser expulsadas de la cuenca hacia el norte. El Estado de México reporta que el flujo total en tiempo de seca para la ZMVM (flujo que consiste principalmente en aguas residuales municipales sin tratar) se estima en 44.4 m³/s (Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993). En época de lluvias, la región recibe muchas tormentas de gran intensidad y corta duración. Una sola tormenta puede producir hasta 70 mm de lluvia (alrededor de 3 pulgadas), lo que representa un 10% del total de la precipitación anual. Debido al patrón de lluvias y a lo irregular del terreno, el sistema de drenaje general fue diseñado para acarrear 200 m³/s en un periodo de 45 horas (Departamento del Distrito Federal, 1969).

Tratamiento de Aguas Residuales

Por lo general, el 90% de las aguas residuales municipales de la ZMVM permanece sin tratamiento y se desvía al exterior de la Cuenca de México a través del sistema general de drenaje. Las aguas residuales sin tratar se utilizan para irrigar 80,000 hectáreas de sembradíos en el Valle del Mezquital, en el Estado de Hidalgo, hacia el norte. La corriente que regresa de la irrigación se drena hacia tributarios del río Panuco, el cual desemboca en el Golfo de México.

Aproximadamente el 10% de las aguas residuales tratadas en la ZMVM se reutiliza a nivel local en distintos proyectos, tales como la recarga de agua subterránea y la irrigación del paisaje urbano en la ciudad. Existen 13 plantas de tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal y 14 en el área de servicio del Estado de México, las cuales tratan un flujo total de 2.62 y 1.69 m³/s, respectivamente (*Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993*).

La *Tabla 1.4* explica el flujo combinado durante las temporadas de lluvia y de seca, así como las características de las aguas residuales al salir de la cuenca a través del Gran Canal (flujo en tiempo de seca), o el drenaje profundo (flujo en tiempo de lluvia). Los valores que se otorgan a los múltiples contaminantes representan la concentración promedio para 1992. El promedio de concentración de estos mismos contaminantes en un agua residual típica en los Estados Unidos, se proporciona para fines de comparación, referidos a las calidades del agua ligera, media o fuerte (*U.S. Environmental Protection Agency y U.S. Agency for International Development, 1992*).

El nivel de muchos contaminantes en las aguas residuales y el flujo combinado durante las épocas de estiaje y de lluvia, es similar y a veces mayor que el de las aguas residuales típicas en Estados Unidos. La alta concentración de sólidos totales, sólidos totales disueltos y fósforo, así como de una menor cantidad de nitritos y nitratos, podría ser resultado de la descarga de aguas residuales provenientes de zonas industriales.

Tabla 1.4 Características del flujo de aguas residuales en el Gran Canal al salir de la Cuenca de México.

Contaminantes ^a	Flujo en tiempo de estiaje	Flujo en tiempo de lluvia	Rango de concentración ^b			Promedio en Estados Unidos ^b
			Ligero	Medio	Fuerte	
Sólidos totales	1800	1800	350	720	1200	-
Sólidos totales disueltos	1611	1445	250	500	850	-
Sólidos totales	179	357	100	220	350	192
Sólidos asentados, mg/l	2.00	2.33	5	10	20	-
Nitrato, como N	0.30	0.030	0	0	0	0.60
Nitrato, como N	0.06	0.06	0	0	0	-
Total Fósforo, como P	30	30	4	8	15	6.80
DBO	240	187	110	220	400	181

^a Todos los valores en mg/l, excepto los señalados. ^b U.S. EPA y U.S. AID, 1992.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

Las Tablas 1.5 y 1.6 enlistan las plantas de tratamiento en operación para las áreas de servicio del Distrito Federal y del Estado de México, indicándose el valor de su capacidad de diseño y la capacidad a la que realmente están operando, el tipo de tratamiento que proporcionan y sus métodos de reuso (*Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993*). El flujo total de las 13 plantas de tratamiento en el área de servicio del Distrito Federal (Tabla 1.5) equivale sólo al 55% de la capacidad para la que han sido diseñadas; por ejemplo, 2.6 contra 4.6 m³/s (*Departamento del Distrito Federal, 1992b*). El tratamiento secundario en todas estas plantas se proporciona mediante la aplicación del proceso de sedimentación de lodos activados.

Los tratamientos terciarios, cuando se aplican, consisten en los métodos de coagulación/floculación, sedimentación, filtración de arena y desinfección. En caso de aplicar la desinfección, se añade cloro para lograr un residuo total de 1 m³/s, sea en la planta de tratamiento o en el punto de reutilización.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal están especialmente ubicadas para abastecer a determinadas zonas dentro del área de servicio. Por lo tanto, las características de las aguas residuales sin tratar pueden ser distintas en cada planta, dependiendo del origen del agua —por ejemplo, residual, doméstico o industrial.

Tabla 1.5 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el área de servicio del Distrito Federal.

Planta	Capacidad Instalada (m ³ /s)	Gasto de Operación (m ³ /s)	Tipo de tratamiento	Práctica de reuso
Chapultepec	0.160	0.106	Secundario	RCI, IPU
Coyoacán	0.400	0.336	Secundario	RCI, IPU
Ciudad Deportiva	0.230	0.080	Secundario	IPU
San Juan de Aragón	0.500	0.364	Secundario	RCI, IPU
Tlatelolco	0.022	0.014	Secundario	IPU
Cerro de la Estrella	3.000	1.509	Secundario	RAI, IA
Bosque de las Lomas	0.055	0.027	Secundario	IPU
Acueducto de Guadalupe	0.080	0.057	Secundario	IPU
El Rosario	0.025	0.022	Terciario	RCI, IPU
S.L. Tlaxiátemalco	0.075	0.055	Terciario	RCI, RAI
Reclusorio Sur	0.030	0.013	Secundario	RCI, IPU
Iztacalco	0.013	0.010	Terciario	RCI, IPU
Colegio Militar	0.020	0.018	Secundario	RCI, IPU
Capacidad Total	4.623	2.621		

RCI: Represas de recreo con contacto esporádico; RAI: Recarga de agua subterránea por inyección;

IPU: Irigación del paisaje urbano; IA: Irigación Agrícola.

Fuente: Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, 1993.

El funcionamiento de las plantas de El Rosario, Acueducto de Guadalupe y Colegio Militar no ha sido eficiente. Se reporta que los principales problemas asociados con el agua residual en estas tres plantas son el alto contenido de grasa, aceites, fósforo, nitritos y nitratos, la escasa eliminación de la alcalinidad y la dureza, así como alta conductividad eléctrica. Se sabe que una elevada concentración de aceite y grasa causa problemas operativos en diversos procesos de tratamiento secundario y terciario. De las tres plantas mencionadas, únicamente el Rosario proporciona tratamiento terciario, pero un tratamiento terciario que sólo reduce la concentración de fósforo. La unidad de operación y los procesos empleados en esta planta no están lo suficientemente bien diseñados como para eliminar los nitritos y los nitratos. Se reporta que la calidad del efluente tratado en las 10 plantas restantes cumple con los requerimientos que demanda su propósito específico de reuso.

En el caso de las 14 plantas de tratamiento ubicadas dentro del área de servicio del Estado de México (Tabla 1.6), puede notarse que sólo 7 de ellas (el 50%) operan normalmente por abajo de su capacidad (Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993). Debido a que algunas de las plantas de tratamiento son operadas por una industria, o bien por el municipio donde se localizan, no se encontró información disponible acerca de la operación, por parte del Departamento de Aguas y Saneamiento del Estado de México, de la totalidad de las plantas.

Tabla 1.6 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el área de servicio del Estado de México.

Planta	Capacidad Instalada (m ³ /s)	Gasto de Operación (m ³ /s)	Tipo de tratamiento	Práctica de reuso
Pintores	0.005	0.005	Secundario	IPU
Naucalli	0.040	0.030	Secundario	IPU
S.J. Ixhuatepec	0.150	0.030	Secundario	RI
Nezahualcóyotl	0.200	NA	Secundario	IPU
U. de Chapingo	0.040	0.040	ND	IPU
Lago de Texcoco (dos plantas de Tratamiento Terciario)	1.500	1.000	Secundario	IA, L
Termoeléctrica V. de México	0.450	0.250	Secundario	RI
P. San Cristóbal	0.400	0.250	Secundario	RI
Lechería	0.030	0.010	Secundario	RI
Ford	0.030	0.030	Secundario	RI
Club de Golf Chiluca	0.020	0.020	ND	IPU
Revillagigedo Chiluca	0.020	0.020	ND	RI
La Estadía Chiluca	0.020	0.020	ND	RI
Capacidad total	2.905	1.685		

IPU: Irrigación del paisaje urbano; IA: Irrigación Agrícola; RI: Reutilización Industrial; ND: No disponible; L: Expansión del lago.
Fuente: Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, 1993.

Los problemas relacionados con el manejo, tratamiento y eliminación de los residuos fecales sólidos que suelen generarse en las plantas de tratamiento de aguas residuales, constituyen un tema de la mayor importancia. Estos residuos pueden ser peligrosos si no se tratan o se desechan en forma adecuada. Sin embargo, ya que el tratamiento de aguas residuales en la ZMVM se lleva a cabo principalmente con el propósito de reuso más que de tratarlas para su eliminación, los residuos contenidos son aparentemente vertidos nuevamente al drenaje, sin ningún tratamiento.

Reutilización y Reciclaje de Agua

Por reutilización del agua se entiende la práctica de recuperar aguas degradadas para emplearlas, luego de aplicarles un nivel de tratamiento adecuado, con fines prácticos. Por reciclaje del agua se entiende la captura y recuperación de aguas degradadas, para volver a usarlas en el mismo proceso que las generó; a menudo, el reciclaje puede llevarse a cabo sin un tratamiento excesivo del agua —por ejemplo, mediante el empleo de un sistema industrial de enfriamiento de ciclo cerrado. Las aguas residuales municipales, que incluyen el agua generada en residencias, establecimientos comerciales, y a menudo en instalaciones industriales, son la fuente de agua de reuso de que se dispone más a menudo, luego de aplicárseles un grado satisfactorio de tratamiento. Otras fuentes de agua degradada han sido tomadas en cuenta para su reuso —por ejemplo, el agua de lluvia de desagüe y el flujo que regresa de la irrigación agrícola. Sin embargo, la calidad de estas otras fuentes es menos predecible que la del agua municipal tratada, por lo que la conveniencia o no de su reuso no es tan segura (*National Research Council, 1994*). La *Tabla 1.7 (Metcalf y Eddy, 1991)*, identifica las posibles aplicaciones del reuso de las aguas municipales recuperadas, junto con los problemas de mayor importancia asociados a cada una de ellas (si se desea información adicional, véase *U.S. Environmental Protection Agency y U.S. Agency for International Development, 1992*).

Las actividades de reuso del agua en la ZMVM comenzaron de manera oficial en 1984, con el *Programa Nacional de Uso Eficiente del Agua (Departamento del Distrito Federal, 1990b)*. Los proyectos para el reuso del agua formaron parte de un programa más amplio destinado a reducir la pérdida de agua y mejorar los ingresos económicos por este concepto. Durante el periodo 1990-1992, el programa se concentró en varias actividades para el reuso del agua en la ZMVM, que incluyeron la protección de las zonas naturales de recarga del acuífero, la recarga del acuífero con agua de lluvia y aguas residuales municipales recuperadas, así como el uso de aguas residuales recuperadas de los sectores industrial y de servicios.

Este programa nacional abarcó el establecimiento de nuevos reglamentos para la descarga de aguas residuales en el Distrito Federal; en 1990, se establecieron las disposiciones para un programa industrial de *pretratamiento* —un importante requisito previo para las actividades de recuperación y reuso. Sin embargo, existe poca información disponible relativa a la duración y el éxito de los programas de pretratamiento industrial en la ZMVM. En el área de servicio del Distrito Federal, los 2.62 m³/s de aguas residuales tratadas y reusadas (*Tabla 1.4*) se distribuyen de la manera siguiente: 83% para la irrigación del paisaje urbano y depósitos en áreas recreativas; 10% para uso industrial; 5% para irrigación agrícola; 2% para usos comerciales, como, por ejemplo, el lavado de automóviles (*Departamento del Distrito Federal, 1992b*).

El Estado de México ha implementado un programa específicamente diseñado para aumentar el uso de aguas residuales municipales. Las finalidades del programa incluyen: *el desarrollo de estudios de viabilidad para la construcción de sistemas de tratamiento adicional, así como de una red de*

distribución que reparta las aguas residuales recuperadas para su reuso; la promoción de proyectos de reuso del agua entre los sectores privado y público; la rehabilitación de las plantas existentes para tratamiento de aguas residuales; la preparación de manuales de operación y mantenimiento, así como de otros registros destinados a mejorar la administración de los sistemas de tratamiento y reuso; la preparación de un cálculo cuantitativo del agua potable utilizada en la actualidad para diferentes actividades, que es susceptible de sustituirse con aguas residuales recuperadas. Bajo este programa, las actividades de reuso potencial del agua —que incluyen la irrigación agrícola, el uso industrial, el paisaje urbano y la recarga de los acuíferos— han sido localizadas dentro de distritos específicos de servicio en el área del Estado de México. Para el año 2000, el Estado de México pretende tener cuatro plantas para el tratamiento de aguas residuales nuevas, con una capacidad total de 8.6 m³/s (Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993).

Tabla 1.7 Aplicaciones para la reutilización de aguas residuales municipales recicladas y principales problemas relacionados con cada uso.

Aplicaciones para el reuso de aguas residuales	Problemas
Irrigación Agrícola Irrigación de cosechas; Viveros Irrigación del paisaje urbano Parque; Patio de escuela; Valla de carretera; Campo de golf; Cementerio; Cinturón verde; Residencial	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación del agua superficial y subterránea si no se maneja correctamente. • Comercialización de las cosechas y aceptación del público. • Efecto en la calidad del agua, particularmente en las sales, en la tierra y las cosechas. • Problemas de salud pública relacionadas con agentes patógenos (bacterias, virus y parásitos) • Control del área de uso que abarca la zona de influencia. Puede ser muy costoso para los usuarios.
Reciclaje y reutilización industrial Enfriamiento; Alimentación de calentadores; Agua procesada; Construcción pesada	<ul style="list-style-type: none"> • Componentes del agua residual recuperada relacionados con escamaduras, corrosión, crecimiento biológico y obstrucción. • Problemas de salud pública, particularmente la transmisión atomizada de agentes patógenos al enfriar el agua.
Usos urbanos no potables Protección contra incendios; Aire acondicionado; Agua para inodoros	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas de salud pública causados por elementos patógenos que se transmiten en forma atomizada. • Efectos de la calidad del agua en descamación, corrosión, crecimiento biológico y obstrucción. • Conexiones cruzadas en las tuberías.
Recarga de agua subterránea Relleno de agua subterránea; Control de la intrusión de sal; Control del hundimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Productos químicos orgánicos en las aguas residuales recuperadas y sus efectos tóxicos. • Sólidos, nitratos y agentes patógenos totales disueltos en las aguas residuales recuperadas.
Usos recreativos/ambientales Represas, lagos y estanques; Agrandamiento de pantanos; Aumento del flujo de la corriente; Pasquerías; Fabricación de hielo	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas de salud debidos a bacterias y virus; • Eutroficación debida a los N y P al recibir el agua; • Toxicidad que afecta la vida acuática.
Reutilización como agua potable Mezclada con agua del acuífero; Abastecimiento de agua de tubo a tubo	<ul style="list-style-type: none"> • Componentes de las aguas residuales recuperadas, en especial restos de productos químicos y sus efectos tóxicos. • Aspecto y aceptación del público. • Problemas de salud relacionados con la transmisión por agentes patógenos, especialmente de virus.

Fuente: Metcalf y Eddy, Inc. 1991.

Las industrias del Distrito Federal reciclan o reusan 2.4 m³/s de aguas residuales, principalmente para procesos de enfriamiento. Esta cantidad representa un aumento de 25% con respecto al nivel de reuso en 1990 y del doble en relación a 1988. Muchas industrias tienen el potencial para reciclar o reusar el agua. La industria privada ha mostrado ya interés en los beneficios del reuso. Por ejemplo, 26 empresas privadas del área de Vallejo, en la ZMM, iniciaron en 1989 un programa de reuso, para lo cual establecieron una compañía promotora con fines comerciales *Aguas Industriales de Vallejo (World Bank, 1992)*. Esta compañía rehabilitó una vieja planta municipal para tratamiento de aguas residuales; hoy, distribuye agua recuperada a sus compañías accionistas a un costo igual a tres cuartas partes del precio fijado por el gobierno para la tarifa de agua potable. Asimismo, se ha estimado que la industria reusa la mayor parte de las aguas residuales tratadas en el área de servicio del Estado de México. El mercado potencial para las aguas residuales recuperadas varía según el tipo de tratamientos empleados, pero puede verse influenciado por las políticas gubernamentales relativas a las tarifas para el agua y al otorgamiento de las licencias para el uso de aguas residuales.

Una mayor recuperación de aguas residuales, así como un esquema de reuso más amplio, se desarrollan actualmente en el lago de Texcoco, junto con programas de control y disminución de tolvaneras. Históricamente, el lago de Texcoco cubría gran parte de las zonas más bajas situadas en la porción sur de la Cuenca de México. Entre una temporada de lluvia y la siguiente, el lecho poco profundo y salino del lago se secaba y producía serias tolvaneras (*Marsal, 1974*). Para responder a este problema, se estableció en 1971 el Plan Texcoco. La solución consistía en crear estanques permanentes más pequeños adentro del lecho grande e irregular, así como en rehabilitar las áreas problemáticas para una futura expansión urbana y agrícola, mediante el empleo de rompevientos y de métodos de reforestación, irrigación agrícola y mejoramiento del drenaje, entre otros. Es interesante observar que los lagos artificiales más perdurables se crearon utilizando las lecciones aprendidas del problema del hundimiento. Las altas tasas de bombeo consolidaron las arcillas e hicieron descender hasta 4 metros el antiguo lecho del lago. El programa de reutilización del Plan Texcoco incluye la construcción de una laguna habilitada para el tratamiento de aguas residuales, así como la recuperación del agua de lluvia recolectada para la irrigación agrícola. De esta manera se reemplazará el agua potable que actualmente se utiliza para este propósito.

Las aguas residuales han sido añadidas a varios estanques de recreación en el Distrito Federal a través de varios proyectos de reutilización. Una parte de las aguas residuales tratadas por ocho de las plantas de tratamiento de aguas residuales del Distrito Federal se utilizó para este propósito. Uno de los proyectos más significativos es el uso de aguas residuales municipales recuperadas para mejorar el ecosistema lacustre de los históricos canales de Xochimilco.

La recarga artificial de agua subterránea ha sido usada en la región desde 1943 como un método para reducir las inundaciones, y esto todavía se aplica en la actualidad. Los primeros proyectos abarcaban la retención del desbordamiento y la ampliación de la superficie, la modificación de los canales, y los pozos de infiltración. Muchos de estos proyectos se llevaron a cabo en el basalto altamente permeable de las zonas altas y lograron tasas de infiltración muy altas en los periodos de lluvias torrenciales. La recarga artificial usando pozos de inyección se desarrolló primero en el Distrito Federal alrededor de 1953. Se reportaron cifras de inyección de agua de 0.1 a 0.3 m³/s; sin embargo, la fuente o la calidad del agua de recarga no se midió en esos primeros proyectos, y la mitad de los pozos fueron cerrados después debido a problemas operacionales.

En 1970 se perforaron alrededor de 56 pozos con el propósito de infiltrar el agua de lluvia. Estos pozos tenían la capacidad de manejar en conjunto hasta 35 m³/s de agua. Aunque los pozos no estaban diseñados para la recarga, el agua de lluvia llegó probablemente al acuífero. El Departamento del Distrito

Federal está también desarrollando un sistema de represas en las laderas de la Magdalena Contreras, con el fin de recolectar el agua de lluvia y promover la infiltración natural.

El DDF construyó dos plantas piloto para el tratamiento de agua en 1983, para estudiar el potencial del tratamiento avanzado de aguas residuales del efluente secundario para su reuso como agua potable, y para examinar su potencial para tratar agua subterránea contaminada. Con base en los resultados de las plantas piloto, se construyó otra instalación con el mismo propósito, con la capacidad de 0.3 m³/s, y diseñada tanto para tratar agua subterránea como para la reutilización potable directa. El objetivo del proyecto de reuso era mezclar el agua residual recuperada con agua subterránea tratada para añadirla directamente al sistema de distribución (Espino et al. , 1987). Normalmente, el agua residual recuperada se usa para procesos que no requieren agua potable.

El Proyecto Texcoco está llevando a cabo estudios sobre el reuso como agua potable de manera indirecta del agua residual recuperada a través de la recarga artificial del acuífero empleando tratamientos secundario y avanzado de aguas residuales municipales. El efluente final puede ser utilizado en represas de infiltración o pozos de inyección. En un programa separado llevado a cabo por el DDF, un estudio a nivel de planta piloto está inyectando agua que pasó del tratamiento avanzado directamente al acuífero a un ritmo de 0.05 m³/s. Se utilizan pozos de monitoreo para detectar los cambios de la calidad del agua y de los niveles piezométricos.

Un reporte reciente del Consejo Nacional de Investigación (*National Research Council, 1994*) concluye que la recarga artificial con aguas residuales municipales recuperadas **ofrece particularmente un potencial significativo para usos con calidad de no potable**, y puede **...reducir la demanda de agua potable limitada con un riesgo mínimo para la salud**. Si se considera la recarga artificial para usos potables indirectos, los riesgos para la salud pueden ser mayores y la aceptación del público es más incierta. De cualquier manera, pero especialmente en la que considera el reuso como agua potable, se requiere una planeación y un estudio minucioso previo al proyecto.

La recuperación de agua residual municipal para su posible reutilización directa (por ejemplo, *de tubería a tubería*) se ha investigado en los Estados Unidos y en el resto del mundo a través de instalaciones experimentales. Aunque estas instalaciones han probado la posibilidad de reuso potable directo, un equipo a escala normal sólo ha sido empleado en Windhoek, Namibia, donde el agua residual recuperada se utilizó directamente como suplemento de la fuente normal de abastecimiento de agua (Odendaal y Hatting, 1987).

Aunque la planta de recuperación de Windhoek demostró la viabilidad del reuso directo del agua residual como agua potable, el efecto a largo plazo de esta forma de reuso sigue en duda y por lo tanto representa una preocupación. Aún está por determinarse el efecto potencial que la exposición muy prolongada a los distintos químicos que se encuentran en las aguas residuales recuperadas puede tener en la salud. Otra gran preocupación es la posible presencia de restos orgánicos en el agua de desecho sin tratar, no detectados por las pruebas analíticas y que no puedan ser eliminados por las tecnologías actuales. Por estas razones (y tal vez por otras, como la falta de aceptación del público) la reutilización directa del agua residual como agua potable debe ser considerada con precaución y representar la opción menos deseable para resolver un problema de escasez de agua.

I.3. CALIDAD REQUERIDA DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

Uno de los factores determinantes de la implantación y desarrollo del reuso planificado de agua residual tratada es el establecimiento de unas *normas de calidad del agua* para cada uno de los posibles tipos de aprovechamientos que se contemplen. Entre la gran variedad de sustancias que se incorporan a un agua durante su utilización urbana, industrial o agrícola, cabe mencionar las sales disueltas, los elementos nutritivos, los microorganismos patógenos, las sustancias inorgánicas tóxicas y bioacumulables y los microcontaminantes orgánicos.

Con objeto de obtener un agua residual tratada de la mejor calidad posible, un criterio generalmente adoptado es recurrir a efluentes de carácter urbano, como primera alternativa, dejando los efluentes de tipo industrial sólo para casos excepcionales. Siguiendo este mismo criterio, el reuso suele plantearse preferentemente con los caudales de aguas brutas que tienen una mayor componente de agua doméstica.

Las *normas de utilización del agua residual tratada* son un componente esencial de cualquier estrategia de protección de la calidad ambiental y de la salud pública. En general, cuanto menores son las restricciones impuestas al uso del agua, referidas al posible contacto con personas, animales o productos comestibles, mayor es el nivel de calidad exigido al agua residual tratada. De este modo, mientras que la utilización de agua residual tratada para riego de jardinería por aspersión en zonas de uso público suele exigir una filtración y una desinfección del efluente secundario, el riego agrícola mediante emisores enterrados puede realizarse con agua residual sometida únicamente a un tratamiento mecánico destinado a evitar la obturación frecuente de los orificios de salida del agua.

El reuso del agua residual tratada para riego agrícola y de jardinería es una práctica bien conocida en muchas partes del mundo. No obstante, sólo ha sido durante las últimas décadas cuando el reuso planificado para riego agrícola y de jardinería en zonas urbanas ha alcanzado una notable aplicación en países desarrollados y con recursos hidráulicos tradicionalmente abundantes.

I.3.1. RECOMENDACIONES TÉCNICAS

La publicación en 1984 por el Estado de California del *Manual Práctico de Riego con Agua Residual Municipal Regenerada*, editado en castellano con el patrocinio de la Generalitat de Catalunya y la UPC (*Mujeriego, 1990*), constituye el punto culminante del proceso de elaboración y puesta a punto de criterios y normas de calidad para el diseño, construcción, mantenimiento y explotación de proyectos de riego con agua residual tratada. A este trabajo de síntesis habría que añadir los resultados del estudio de demostración patrocinado por el Estado de California, con una duración de 5 años y un presupuesto de 7 millones de dólares, sobre el riego por aspersión con agua residual tratada de hortalizas de consumo directo, llevado a cabo en la zona agrícola de Monterey, California (*Sheikh y col. 1990*).

Como complemento de todos estos estudios, la *Agencia de Protección Ambiental de los EEUU* ha publicado un manual titulado *Guidelines for Water Reuse* (*USEPA, 1992*), en el que se ofrecen directrices ampliamente documentadas con las que los servicios municipales o regionales, y los organismos estatales y nacionales puedan promover y desarrollar de forma adecuada y eficaz el reuso planificado de agua residual tratada. Estas directrices están orientadas principalmente hacia el reuso planificado en usos

urbanos no potables, en usos industriales y en usos agrícolas, sobre los que existe actualmente un gran consenso respecto a la idoneidad de su aplicación. Así mismo, la *Water Pollution Control Federation* (1989) ha publicado un manual práctico en el que se recogen los aspectos técnicos, económicos y de gestión relativos al reuso de agua.

El *Manual de Riego con Agua Residual Municipal Regenerada* (Mujeriego, 1990) constituye una base de partida de gran utilidad para el diseño y explotación de los proyectos de reuso de agua residual tratada. Al margen de los límites de calidad sanitaria establecidos en California, el manual ofrece una metodología científica y técnica con la que enfocar posibles proyectos de demostración de reuso planificado de agua residual tratada en otras zonas del mundo, y muy particularmente en zonas costeras e interiores españolas. Esta metodología ha de permitir establecer los límites físicos, químicos y bacteriológicos más apropiados en cada caso. A este respecto, la Generalitat de Catalunya ha patrocinado, junto con la UPC, el Consorcio de la Costa Brava y la Zona Residencial Mas Nou, un estudio de demostración sobre el reuso de agua residual tratada para el riego de campos de golf, que ha permitido definir criterios prácticos para el diseño y la explotación de este tipo de reuso planificado (Mujeriego y Sala, 1991). Los resultados de este estudio (Mujeriego y cols., 1994) han permitido confirmar la factibilidad y eficacia de los procesos más comúnmente utilizados en California y Florida para el reuso de agua tratada para riego de jardinería.

Las autoridades sanitarias dedican especial atención a la definición de las *normas de utilización del agua residual tratada*, tales como:

1. la señalización mediante carteles bien visibles en los que se indique el tipo de agua utilizada,
2. la adopción normalizada del color morado para las conducciones y dispositivos de control,
3. la instalación de dispositivos anti-retorno,
4. las inspecciones de las conexiones a la red de agua residual tratada,
5. la exigencia de determinados horarios de riego y de tipos de aspersores,
6. la prohibición de instalar grifos exteriores y
7. la utilización de tamaños de conducción y de bocas de conexión de mangueras diferentes a los utilizados para las aguas de abastecimiento público.

A este respecto, la aparición progresiva de contadores en el punto de conexión domiciliaria constituye una indicación clara del objetivo esencial de estos sistemas de distribución: la optimización del aprovechamiento del agua, en lugar de su evacuación y vertido mediante riego.

I.3.2. NORMATIVIDAD A NIVEL MUNDIAL

En la *Normatividad a Nivel Mundial* y dentro de los *Criterios y Normas de Calidad* existen dos textos de referencia generalmente utilizados por aquellos países que se plantean el reuso de agua residual tratada son generalmente:

1. las directrices de calidad propuestas por la OMS (1989) para riego agrícola y
2. las normas de calidad de California o Florida, incorporadas esencialmente en las recientes directrices propuestas por la USEPA (1992).

Básicamente, las directrices de la OMS establecen que el agua utilizada para riego agrícola no debe superar 1000 coliformes fecales por 100 ml de agua, mientras que las directrices de la USEPA establecen que no se detecte la presencia de coliformes fecales en 100 ml de agua. Ambas directrices corresponden al caso de riego agrícola y de jardinería sin ninguna restricción de uso, como ocurre durante el riego de productos hortícolas de consumo crudo o el riego por aspersión de un jardín público sin restricción alguna de acceso y uso por parte del público.

A pesar de que en los Estados Unidos no existe un conjunto de normas federales que regule la recuperación y reutilización del agua residual tratada, algunos estados han desarrollado normas particulares, habitualmente integradas en el desarrollo de normas que regulen el tratamiento y evacuación del agua residual al terreno. Las normas aplicables a aguas residuales tratadas para usos específicos de riego se basan en la estimación del grado de contacto del hombre con el agua residual tratada y en el destino previsto de los cultivos. Por ejemplo, el estado de California obliga a que el agua residual tratada empleada para el riego de espacios verdes de zonas de acceso no restringido al público esté *adecuadamente oxidizada, filtrada y desinfectada, antes de su uso*, con una presencia total media de coliformes inferior a 2.2/100 ml.

En la *Tabla 1.8* se incluye un resumen de las normas del estado de California aplicables a las aguas residuales tratadas utilizadas para actividades de riego y en embalses de recreo. La revisión de los criterios contenidos en esta tabla, pone de manifiesto que la mayoría de ellos están relacionados con requisitos de índole sanitario y no se tienen en cuenta los posibles efectos sobre el suelo o sobre los cultivos. El número medio de colonias de coliformes presentes y la turbiedad se han empleado para la determinación de la fiabilidad del tratamiento realizado en las instalaciones de tratamiento de agua residual. Las normas de reuso de agua residual tratada desarrolladas por el estado de Arizona contienen límites de virus entéricos; por ejemplo, en aplicaciones tales como el riego por rociado de cultivos destinados a la alimentación humana, el agua residual no debe exceder de una unidad formadora de placas (PFU) por cada 40 l. El estado de Florida obliga a que no se pueda detectar presencia alguna de coliformes por cada 100 ml. Este nivel de desinfección se consigue mediante la filtración terciaria y manteniendo una concentración de cloro residual de 1.0 mg/l después de un tiempo de contacto de 30 minutos (a caudal medio diario). También es conveniente mencionar el hecho de que existen muchas aplicaciones de reuso que no precisan un elevado nivel de tratamiento.

A pesar de que los criterios de reuso de aguas residuales tratadas contenidos en la *Tabla 1.8* no incluyen criterios epidemiológicos explícitos que permitan evaluar a fondo los riesgos sanitarios asociados, se han adoptado como normas asequibles aplicables a la planificación e implantación de sistemas de tratamiento y reuso de agua residual tratada en California. En aplicaciones de reuso con aguas no potables se han empleado algunas medidas de seguridad adicionales, entre las que se incluyen: (1) instalación de depósitos de almacenamiento y sistemas de distribución independientes para las aguas potables; (2) empleo de un código de colores para diferenciar las conducciones de aguas potables y no potables; (3) dispositivos de prevención de conexiones cruzadas y flujos invertidos; (4) uso periódico de colorantes para detectar la presencia de contaminación cruzada en las tuberías de abastecimiento público, y (5) irrigación nocturna y en horas de escasa actividad para minimizar el potencial de contacto con el hombre.

En los países en vías de desarrollo, los criterios de calidad de las aguas residuales tratadas para la protección de la salud pública se suelen establecer en función de los recursos limitados disponibles para las infraestructuras públicas, de forma que otros sistemas de protección sanitaria pueden reportar mayores beneficios para las inversiones realizadas. En muchos casos, no existen redes de alcantarillado ni plantas de tratamiento de las aguas residuales, y el tratamiento de éstas proporciona, a menudo, una fuente

esencial de recursos hídricos y de fertilizantes. En la mayoría de los países en vías de desarrollo, la principal preocupación en lo referente al uso de agua residual para riego es el hecho de que el agua residual bruta, o inadecuadamente tratada, contiene numerosos helmintos entéricos como los ascaris, trichuris y, en ciertas circunstancias, la tenia. Estos agentes infecciosos, como otros microbios patógenos, pueden afectar la salud del público en general que consume los cultivos contaminados, y de los trabajadores de granjas y a sus familiares.

Tabla 1.8
Criterios del Estado de California para la aplicación de agua residual tratada en usos recreativos y de riego

Uso del Agua Residual Tratada	Descripción del tratamiento mínimo exigido			
	Primario ^a	Secundario y desinfección	Secundario, coagulación, filtración ^b y desinfección	Mediana de la presencia de coliformes, NMP / 100 ml (muestreo diario)
Riego				
Cultivos de forraje	X			No se exige valor alguno
Fibras	X			No se exige valor alguno
Cultivos de siembra	X			No se exige valor alguno
Productos de consumo directo; riego superficial		X		2.2
Productos de consumo directo; riego con rociadores			X	2.2
Productos procesados; riego superficial	X			No se exige valor alguno
Productos procesados; riego con rociadores		X		23
Espacios verdes; campos de golf, cementerios, medianas		X		23
Espacios verdes; parques, jardines, patios de colegios			X	2.2
Embalses recreacionales				
Sin contacto con el público		X		23
Exclusivamente navegación y pesca		X		2.2
De contacto directo (baño)			X	2.2

^a El efluente no debe contener más de 0.5 ml/h de sólidos sedimentables.

^b El efluente no debe contener más de 2 unidades de turbiedad.

Fuente: Metcalf & Eddy, 1997

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que los cultivos de consumo en crudo sólo se deben regar con agua residual tratada una vez que éste haya recibido tratamiento biológico y desinfección hasta alcanzar un nivel de coliformes inferior a 100/100 ml en el 80% de las muestras. En muchos países mediterráneos, los criterios recomendados por la OMS están considerados como objetivos

razonables para el diseño de este tipo de instalaciones. En algunos países de Oriente Medio que recientemente han construido instalaciones para el reuso de aguas residuales tratadas, la tendencia ha sido la adopción de criterios de reuso más restrictivos, similares a los adoptados en el estado de California. La adopción de medidas más restrictivas obedece al afán de proteger un nivel de salud pública ya elevado, evitando a toda costa la entrada de patógenos en la cadena alimenticia humana.

Aunque la mayoría de las aplicaciones de tratamiento y reuso de las aguas residuales tratadas están relacionadas con el riego, esta técnica de tratamiento y las tecnologías que lleva asociadas se están convirtiendo en un tema prioritario. Como resultado, los esfuerzos en *investigación y desarrollo* parece que amplían su enfoque con el fin de incluir áreas de aplicación tales como tratamiento de acuíferos, recarga de aguas subterráneas y refrigeración industrial.

Sin embargo, mientras la tecnología disponible para el tratamiento y reuso de las aguas residuales tratadas está alcanzando su madurez, todavía hay un debate muy extendido sobre la necesidad de establecer *Normas Internacionales de Calidad del Agua* en esta área, incluida la destinada al riego. El IPTS está promocionando la idea de abrir un período de reflexión a nivel de la Unión Europea sobre las *Normas de Calidad en el Reciclado y Reutilización de las Aguas Residuales*. El proyecto *Avicenne "Gestión integrada de los recursos procedentes de aguas residuales recuperadas en la región Mediterránea"* (93 AVI 076), está contribuyendo al intercambio de información y a la determinación de las tecnologías adecuadas así como a promover prácticas de expansión del reciclado de aguas residuales desde una perspectiva euromediterránea.

Este proyecto coordinado por el Prof. M. Salgot, de la Universidad de Barcelona, comenzó en febrero de 1995 y pretende acometer cuatro tareas fundamentales:

1. Investigar el tratamiento de aguas residuales para el reciclado de aguas y lodos.
2. Investigar los efectos sobre la salud y el medio ambiente del tratamiento y reuso de aguas residuales tratadas.
3. Investigar técnicas alternativas de eliminación de aguas residuales.
4. Investigar nuevos desarrollos en el trabajo analítico necesario para controlar la calidad de las aguas residuales tratadas.

Los equipos de investigación involucrados en el proyecto proceden de siete países: Alemania, España, Francia, Grecia, Israel, Portugal y Túnez. El Prof. T. Asano de la Universidad de California en Davis, EE.UU., un experto de renombre mundial en el campo del reciclado y reuso de aguas residuales tratadas, está colaborando con ellos como asesor del proyecto.

En Grecia, los esfuerzos en curso tienden en particular a promover el desarrollo del tratamiento de aguas residuales en las islas en las que los recursos de agua son más limitados. En Túnez, las aguas residuales tratadas se elevan aproximadamente a 130 millones de metros cúbicos anuales y allí los estándares de descarga son más estrictos que los de reuso. Una armonización de estándares es por tanto necesaria y se está realizando trabajo experimental para optimizar la calidad del agua de lagunas. En Alemania, las investigaciones están dirigidas a optimizar los procesos de separación de fases empleadas en el tratamiento de aguas residuales y a caracterizar los sólidos en suspensión.

El equipo francés, en coordinación con el equipo del Prof. Salgot está estudiando la filtración en suelos como una opción para el tratamiento avanzado de aguas residuales, producción de biomasa (por

ejemplo, cultivando árboles) y recarga de aguas subterráneas. Además, el equipo del Prof. Salgot está trabajando en desarrollar prácticas convenientes para un reuso de aguas residuales tratadas. El Prof. Salgot también está trabajando junto con el equipo portugués, en la caracterización y aplicación agrícola de los lodos. El equipo portugués está asimismo investigando sobre las propiedades fertilizantes de las aguas residuales tratadas. El equipo israelí se ocupa principalmente de la utilización agrícola de las aguas residuales tratadas (impactos sobre los cultivos, sobre la salinidad del agua, etc.).

Los resultados del estudio están siendo difundidos en artículos especializados, comunicaciones a congresos y en un tratado sobre tratamiento y reuso de aguas residuales.

En España no se tiene en estos momentos legislación relativa al tratamiento de agua residual. Una Comisión Interministerial está trabajando sobre un borrador de decreto con objeto de elaborar un texto que sirva de referencia a las iniciativas de reuso que las sequías están planteando en amplias zonas de España. Impresiones recogidas de varios miembros de dicha Comisión ponen de manifiesto dos tendencias normativas claras:

1. la adopción de una normativa similar a la propuesta por la OMS, tal como han hecho países como Francia (complementadas con restricciones claras en el uso del agua), y
2. la adopción de una normativa similar a la de la USEPA para las propuestas de regeneración que se planteen en el futuro, y la aceptación de unos niveles de calidad similares a los propuestos por la OMS para los proyectos de reuso que ya estén en funcionamiento.

Al margen del resultado final de este proceso administrativo y reglamentario, la comisión cree que la implantación de un proyecto de reuso de agua residual tratada para riego agrícola o de jardinería en zonas agrícolas o urbanas españolas, sin restricción de contacto o acceso del público, debería realizarse atendiendo a las directrices de calidad propuestas por la USEPA. Por otra parte, el riego de cereales y productos sin contacto con el agua de riego podría plantearse con efluentes de un sistema de lagunaje, cuya calidad microbiológica fuera conforme con las recomendaciones propuestas por la OMS.

Otro ejemplo son los criterios de las *Guías para la Utilización Urbana y Residencial de Agua Regenerada de NSW*, conocidos como los más estrictos de Australia. Las normas introducen una nueva clase de agua residual tratada que ha recibido un alto índice de tratamiento y control de calidad para adecuarla a la mayoría de los usos de agua no potable en las áreas residenciales con acceso público, y a su distribución a través de un sistema reticulado dual. Se ha aprobado el uso de esta agua residual tratada para el riego de parques y jardines municipales, praderas, cultivos, huertos, viñedos y bosques, riego de jardines privados, relleno de estanques o contenedores en los que no se permita el baño, y fuentes ornamentales.

Procesos de Tratamiento

El proceso de obtención de un agua residual tratada que satisfaga los criterios de calidad propuestos por la USEPA (1992) para el riego de jardinería de zonas públicas sin ningún tipo de restricción en cuanto a exposición y contacto del público con el agua residual tratada consta fundamentalmente de cuatro elementos principales:

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1. La implantación de un control de vertidos a la red de saneamiento que asegure la ausencia de contaminantes que puedan hipotecar o impedir el reuso del agua residual tratada.
2. Un tratamiento biológico secundario capaz de producir un efluente con un contenido de materia en suspensión inferior a 10 - 20 mg/l y valores comparables de DBO₅.
3. Un tratamiento terciario destinado a eliminar la materia en suspensión del afluente secundario, mediante una filtración directa, y a desinfectar completamente el efluente. Este proceso de tratamiento constituye propiamente la fase de tratamiento del agua residual.
4. Un depósito regulador de los caudales de agua residual tratada, a fin de adecuar la producción de la planta a la demanda de uso y asegurar una cierta reserva de agua residual tratada.

Los extensos trabajos de experimentación y de seguimiento de las numerosas instalaciones de tratamiento de agua residual existentes en California y Florida ponen de manifiesto que un buen efluente biológico secundario, filtrado mediante un filtro de arena, o de arena y carbón, con la eventual adición de unos miligramos por litro de coagulante (alúmina, generalmente), y una desinfección con cloro con un tiempo de contacto de entre 30 minutos (Florida) y 2 horas (California), hasta alcanzar la eliminación de coliformes, permite obtener un agua residual tratada desprovista de virus y bacterias patógenas, y por lo tanto, ofrece una garantía de calidad similar a la de un agua potable de consumo público (Asano y col., 1990).

El grado de automatización de las plantas de tratamiento de agua residual existentes es muy variado, pero exige en todos los casos un buen seguimiento del proceso de tratamiento biológico (mediante muestreos integrados diarios, como mínimo), un control continuo de la turbiedad del efluente secundario y del efluente filtrado (que suele situarse por debajo de 1 UNT) y de la concentración de desinfectante al término del proceso de desinfección, y un análisis diario de coliformes, sobre muestra integrada obtenida a la salida del proceso de desinfección.

En general, las plantas de tratamiento de agua residual a partir de efluentes municipales y destinadas a usos municipales (riego agrícola y de jardinería) e incluso industrial (refrigeración) suelen ser explotadas por los propios municipios, bien directamente o bien a través de una empresa de servicios. Estas plantas de tratamiento guardan un gran parecido con las plantas potabilizadoras de agua, en cuanto que todo el personal está mentalizado sobre la necesidad de producir un agua de calidad satisfactoria y de aplicar medidas correctoras urgentes, ante cualquier alteración del proceso, para evitar que un agua de insuficiente calidad pueda salir de la planta de tratamiento. Generalmente, los municipios son los encargados de la distribución y gestión del agua residual tratada que pasa así a constituir un nuevo servicio público de calidad. La coordinación y comunicación con los usuarios, tanto individuales como colectivos (urbanizaciones, campos de golf), es muy directa y cordial, a fin de detectar cualquier posible incidente y de disipar cualquier duda que pueda surgir.

I.3.3. NORMATIVIDAD A NIVEL NACIONAL

La elaboración de las **NORMAS OFICIALES MEXICANAS (NOM)** se realiza de conformidad con lo establecido en la Ley Federal de Metrología y Normalización. Esta instancia define a la NOM como una regulación técnica de observancia obligatoria expedida por las dependencias de la administración pública federal.

Para la elaboración de las NOM's en materia de protección ambiental, la **SEMARNAP** ha constituido el *Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental* integrado por dependencias del sector público, industrial y académico.

Este Comité, para sus tareas de normalización cuenta con seis subcomités. El *Subcomité No. 5* es el que consulta la *Calidad del Agua Residual*. Estos subcomités son los encargados de discutir los anteproyectos de normas, que elabora el **INE**, que son sometidos a consideración del Comité Consultivo.

Una vez publicados como proyectos, las NOM's están en consulta pública durante 60 días. En la sección de NOM's en elaboración se señalan aquellas que actualmente están en esta fase. Para que una observación del público sea válida deberá remitirse por escrito a la Secretaría Técnica del Comité Consultivo.

En la elaboración de cada proyecto de NOM, además de los aspectos técnicos, se evalúan los aspectos económicos, a través de un análisis de costos y beneficios, así como de otras alternativas regulatorias que podrían ser utilizadas para lograr el mismo objetivo.

I.3.3.1. NORMAS OFICIALES MEXICANAS

Las *Normas Oficiales Mexicanas para el Control de la Contaminación del Agua* que se encuentran vigentes son las que se anuncian a continuación:

NOM-001-ECOL-1996 Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residuales en aguas y bienes nacionales. Fecha de publicación en Diario Oficial Enero 6, 1997.

NOM-002-ECOL-1996 Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano y municipal.

NOM-003-ECOL-1997 Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.

Por el momento el Subcomité No. 5 tiene un anteproyecto de norma **NOM-004-ECOL-1997** que se refiere a: *Límites máximos permisibles de contaminantes en la inyección y recarga de aguas residuales en acuíferos subterráneos*. No tiene en este momento ningún anteproyecto en fase de Discusión, ni tampoco en fase de Discusión Definitiva.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REUSEN EN SERVICIOS AL PÚBLICO.

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reuso.

En el caso de que el servicio al público se realice por terceros, éstos serán responsables del cumplimiento de la presente Norma, desde la producción del agua tratada hasta su reuso o entrega, incluyendo la conducción o transporte de la misma.

Definiciones

Aguas residuales

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Aguas crudas

Son las aguas residuales sin tratamiento.

Aguas residuales tratadas

Son aquellas que mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reuso en servicios al público.

Contaminantes básicos

Son aquellos compuestos o parámetros que pueden ser removidos o estabilizados mediante procesos convencionales. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales.

Contaminantes patógenos y parasitarios

Son los microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los coliformes fecales medidos como NMP o UFC/100 ml (número más probable o unidades formadoras de colonias por cada 100 mililitros) y los huevos de helminto medidos como h/l (huevos por litro).

Entidad pública

Los Gobiernos de los Estados, del Distrito Federal, y de los Municipios, por sí o a través de sus organismos públicos que administren el agua.

Lago artificial recreativo

Es el vaso de formación artificial alimentado con aguas residuales tratadas con acceso al público para paseos en lancha, prácticas de remo y canotaje donde el usuario tenga contacto directo con el agua.

Lago artificial no recreativo

Es el vaso de formación artificial alimentado con aguas residuales tratadas que sirve únicamente de ornato, como lagos en campos de golf y parques a los que no tiene acceso el público.

Límite máximo permisible

Valor o rango asignado a un parámetro, que no debe ser excedido por el responsable del suministro de agua residual tratada.

Promedio mensual (P.M.)

Es el valor que resulta del promedio de los resultados de los análisis practicados a por lo menos dos muestras simples en un mes.

Para los coliformes fecales es la media geométrica; y para los huevos de helminto, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales, metales pesados y cianuros y grasas y aceites, es la media aritmética.

Reuso en servicios al público con contacto directo

Es el que se destina a actividades donde el público usuario esté expuesto directamente o en contacto físico. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes reusos: **llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines.**

Reuso en servicios al público con contacto indirecto u ocasional

Es el que se destina a actividades donde el público en general esté expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes reusos: **riego de jardines y camellones en autopistas, camellones en avenidas, fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones.**

Especificaciones

Los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas son los establecidos en la Tabla 1 de esta Norma Oficial Mexicana.

Tabla 1.9 Límites máximos permisibles de contaminantes NOM-003-ECOL-1997

Tabla 1

TIPO DE REUSO	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES				
	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de helmineto (h/l)	Grasas y aceites mg/l	DBO ₅ mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	≤ 1	15	20	20
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	≤ 5	15	30	30

La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada, de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006.

El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la columna que corresponde a embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola de la Tabla 3 de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.

Las entidades públicas responsables del tratamiento de las aguas residuales que reusen en servicios al público, tienen la obligación de realizar el monitoreo de las aguas tratadas en los términos de la presente Norma Oficial Mexicana y de conservar al menos durante los últimos tres años los registros de la información resultante del muestreo y análisis, al momento en que la información sea requerida por la autoridad competente.

No hay normas equivalentes, las disposiciones de carácter interno que existen en otros países no reúnen los elementos y preceptos de orden técnico y jurídico que en esta Norma Oficial Mexicana se integran y complementan de manera coherente, con base en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente; tampoco existen normas mexicanas que hayan servido de base para su elaboración.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales referidas en esta Norma que antes de su entrada en vigor ya estuvieran en servicio y que no cumplan con los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en ella, tendrán un plazo de un año para cumplir con los lineamientos establecidos en la presente Norma.

**CAPÍTULO II. ALTERNATIVAS PARA EL REUSO
DEL AGUA RESIDUAL TRATADA**

CAPÍTULO II. ALTERNATIVAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

El incremento en la demanda del agua como un recurso finito ha resultado en una evaluación crítica del reuso del agua residual tratada como un medio para suplementar los requerimientos municipales e industriales de agua potable.

El agua residual cuando es correctamente tratada y reciclada, es una fuente alterna de agua la cual puede reducir considerablemente las demandas de agua potable.

El reuso del agua residual tratada se debe basar en decisiones prudentes apoyadas en salud pública, impactos medioambientales, aspectos sociales y legales, diseño y planeación. Es importante reconocer que estas decisiones pueden variar de país a país y deben basarse en experiencias propias y necesidades específicas.

Existen muchas razones para promover el reuso del agua residual tratada. La principal es proporcionar una fuente alternativa de agua de tal forma que pueda ser mantenido un estilo de vida razonable y económico. El agua residual tratada puede ser utilizada para soporte de la industria, agricultura y actividades recreativas las cuales por otro lado están limitadas por fuentes tradicionales de agua.

El efecto acumulativo del crecimiento continuo de la población y las demandas que estas generan, acopladas con una distribución no uniforme de fuente de agua en el territorio, producirá un incremento y una falta de agua en áreas geográficas en crecimiento. Existen dos propuestas para este dilema:

1. Reducir el consumo a través de la conservación.
2. Incrementar la disponibilidad del abastecimiento a través del reuso del agua.

Los esfuerzos iniciales en el reuso planeado consisten en la utilización de agua residual tratada para algunos usos que no requieran calidad potable tales como: *lagos estéticos, lagos recreativos, irrigación de terrenos y acuicultura.*

Mientras que las fuentes de agua más obvias han sido integradas dentro de los esfuerzos de manejo. Por ejemplo, agua para enfriamiento, agua residual municipal, entre otras. Otras fuentes pueden empezar a verse más atractivas conforme el costo del agua se incrementa o los avances tecnológicos en técnicas para tratamiento maduran y llegan a ser económicamente viables.

En los "*Public Health Services Drinking Water Standards*" publicados en 1962, se menciona que ***el abastecimiento de agua debería ser obtenido de las fuentes más deseables las cuales sean factibles, los esfuerzos terrestres deberían ser hechos para prevenir y controlar la contaminación de esas fuentes.*** Este documento enfatiza la identificación de fuentes de contaminación más que el monitoreo y el análisis del agua. Sin embargo, la cuestión de fuente de obtención del recurso, actualmente es un problema muy amplio considerando que el agua potable está llegando a ser escasa y que las iniciativas de reuso están llegando a ser más fuertes, por lo que la factibilidad de la posición mencionada tiene que ser continuamente examinada.

**CAPÍTULO II. ALTERNATIVAS PARA EL REUSO
DEL AGUA RESIDUAL TRATADA**

CAPÍTULO II. ALTERNATIVAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

El incremento en la demanda del agua como un recurso finito ha resultado en una evaluación crítica del reuso del agua residual tratada como un medio para suplementar los requerimientos municipales e industriales de agua potable.

El agua residual cuando es correctamente tratada y reciclada, es una fuente alterna de agua la cual puede reducir considerablemente las demandas de agua potable.

El reuso del agua residual tratada se debe basar en decisiones prudentes apoyadas en salud pública, impactos medioambientales, aspectos sociales y legales, diseño y planeación. Es importante reconocer que estas decisiones pueden variar de país a país y deben basarse en experiencias propias y necesidades específicas.

Existen muchas razones para promover el reuso del agua residual tratada. La principal es proporcionar una fuente alternativa de agua de tal forma que pueda ser mantenido un estilo de vida razonable y económico. El agua residual tratada puede ser utilizada para soporte de la industria, agricultura y actividades recreativas las cuales por otro lado están limitadas por fuentes tradicionales de agua.

El efecto acumulativo del crecimiento continuo de la población y las demandas que estas generan, acopladas con una distribución no uniforme de fuente de agua en el territorio, producirá un incremento y una falta de agua en áreas geográficas en crecimiento. Existen dos propuestas para este dilema:

1. Reducir el consumo a través de la conservación.
2. Incrementar la disponibilidad del abastecimiento a través del reuso del agua.

Los esfuerzos iniciales en el reuso planeado consisten en la utilización de agua residual tratada para algunos usos que no requieran calidad potable tales como: *lagos estéticos, lagos recreativos, irrigación de terrenos y acuicultura.*

Mientras que las fuentes de agua más obvias han sido integradas dentro de los esfuerzos de manejo. Por ejemplo, agua para enfriamiento, agua residual municipal, entre otras. Otras fuentes pueden empezar a verse más atractivas conforme el costo del agua se incrementa o los avances tecnológicos en técnicas de tratamiento maduran y llegan a ser económicamente viables.

En los "*Public Health Services Drinking Water Standards*" publicados en 1962, se menciona que **el abastecimiento de agua debería ser obtenido de las fuentes más deseables las cuales sean factibles, los esfuerzos terrestres deberían ser hechos para prevenir y controlar la contaminación de esas fuentes.** Este documento enfatiza la identificación de fuentes de contaminación más que el monitoreo y el análisis del agua. Sin embargo, la cuestión de fuente de obtención del recurso, actualmente es un problema muy amplio considerando que el agua potable está llegando a ser escasa y que las iniciativas de reuso están llegando a ser más fuertes, por lo que la factibilidad de la posición mencionada tiene que ser continuamente examinada.

CAPÍTULO II. ALTERNATIVAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

Tabla II.1 Categorías de reuso de aguas residuales municipales tratadas y posibles limitaciones *

Categorías de reuso de las aguas residuales tratadas	Posibles limitaciones
<p>Riego en agricultura Riegos de cultivos</p> <p>Plantaciones comerciales</p>	<p>Si la gestión no es adecuada, contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Comercialización de las cosechas y aceptación pública. Efecto de la calidad del agua sobre el suelo y las cosechas (especialmente las sales).</p>
<p>Riego de espacios verdes Parques Pátios de colegios Medianas de autopistas Campos de golf</p> <p>Cementerios Zonas verdes Zonas residenciales</p>	<p>Problemas de salud pública relacionados con la presencia de patógenos (bacterias, virus y parásitos).</p> <p>Control de la zona de utilización, incluidos los espacios de amortiguamiento. Puede implicar elevados costes para los usuarios.</p>
<p>Reciclaje y reuso industrial Refrigeración</p> <p>Calderas Agua de proceso Construcciones pesadas</p>	<p>Presencia de constituyentes que puedan provocar problemas de corrosión, incrustaciones carbonatadas, crecimientos bacterianos y ensuciamiento en los sistemas.</p> <p>Problemas de salud pública, especialmente la transmisión de patógenos por aerosoles en el agua de refrigeración.</p>
<p>Recarga de aguas subterráneas Recarga de acuíferos Control de intrusión de aguas saladas Control de subsidencias</p>	<p>Compuestos químicos orgánicos presentes en el agua residual tratada y sus efectos tóxicos. Presencia de sólidos disueltos, nitratos y patógenos.</p>
<p>Usos recreativos / ambientales Lagos y estanques Mejora de zonas pantanosas Incremento de los caudales de los cursos de agua Piscifactorías Fabricación de nieve artificial</p>	<p>Problemas de salud pública relacionados con bacterias y virus.</p> <p>Eutrofización debido a la incorporación de N y P a las aguas receptoras.</p> <p>Toxicidad para la vida acuática.</p>
<p>Usos urbanos no potables Protección contra incendios</p> <p>Aire acondicionado Lavabos</p>	<p>Problemas de salud pública relacionados con la transmisión de patógenos en aerosoles.</p> <p>Efecto de la calidad del agua sobre la formación de costras carbonatadas, corrosión, crecimientos biológicos y fallos en los sistemas.</p> <p>Conexiones cruzadas.</p>
<p>Reuso en usos potables Mezcla en depósitos de agua de abastecimiento</p> <p>Abastecimiento de agua directo</p>	<p>Presencia de constituyentes tales como los compuestos químicos orgánicos de trazas y sus efectos tóxicos. Estética y aceptación pública.</p> <p>Problemas de salud pública relacionados con la transmisión de patógenos, especialmente de virus.</p>

* En orden descendente de mayor a menor volumen de uso previsto.
Fuente: Metcalf & Eddy, 1997

Actualmente, el reuso del agua residual tratada está enfocado generalmente al desarrollo de fuentes de agua subpotables, tales que protejan fuentes superficiales y aguas subterráneas que puedan ser conservadas como fuentes de agua potable. Como la población continúa incrementándose y la calidad y la cantidad de fuentes de agua tradicionales falla al enfrentarse a las necesidades públicas, entonces la práctica del reuso de agua residual tratada gana aceptación general.

Respecto a los requerimientos del grado y la seguridad del tratamiento a aplicar, estos estarán determinados por la reclamación y reuso de agua residual tratada.

En la *Tabla II.1*, se indican las siete principales categorías de reuso de aguas residuales municipales tratadas, ordenadas en función del volumen de reuso previsto. Las cuatro primeras categorías tienen un potencial de reuso elevado. El riego agrícola y de espacios verdes, el mayor uso de agua contemplado en proyecto y llevado a cabo en la realidad, ofrece importantes posibilidades de reuso de las aguas residuales tratadas.

El segundo gran uso de aguas residuales municipales tratadas se produce en actividades industriales, principalmente para cubrir necesidades de refrigeración y de procesado. Los usos industriales son muy variados y, para proporcionar un agua de calidad adecuada, suele ser necesario llevar a cabo un tratamiento adicional que va más allá del tratamiento secundario de aguas residuales convencional.

La tercera aplicación del agua residual tratada es la recarga de acuíferos, bien mediante balsas de infiltración, o por inyección directa en acuíferos subterráneos. La recarga de acuíferos implica la asimilación del agua residual para el llenado de acuíferos subterráneos y almacenamiento de agua, o para establecer barreras hidráulicas que eviten la intrusión de aguas salinas. Desde el punto de vista sanitario, los factores que hay que considerar son el tiempo de almacenamiento, y la distancia entre los puntos de aplicación y de extracción. Posiblemente, la mayor ventaja que presenta la inclusión de planes de recarga de acuíferos para el reuso del agua sea la pérdida de identidad de las aguas residuales tratadas que se produce en la asimilación a aguas subterráneas.

Los diversos usos subpotables para la creación de lagos recreacionales, para la acuicultura, el uso en lavabos, y otros usos similares, constituyen una cuarta categoría de los usos de las aguas residuales tratadas. Estos usos constituyen una pequeña parte del reuso del agua residual tratada y, actualmente, suponen menos del 5% de las aplicaciones de reuso del agua.

El agua residual municipal es la más amplia y generalmente disponible fuente de agua residual reusable y tratable. El uso depende de la calidad de ésta y del tratamiento que se le de. Con base en este concepto, los principales usos que se le puede dar al agua residual tratada son los que a continuación se enuncian.

II.1. IRRIGACIÓN

El riego de cultivos se desarrolló debido a la imposibilidad de cultivar la tierra contando únicamente con las precipitaciones de la zona. Los sistemas de riego se emplean como complemento de las precipitaciones naturales, para aumentar el número de siembras y de producción anual de los cultivos, y para reducir el riesgo de pérdida de cosechas durante periodos de sequía.

El agua residual municipal cruda puede ser utilizada básicamente para irrigación de cultivos. Aunque la irrigación con agua municipal es de hecho una efectiva forma de tratar el agua, frecuentemente se requiere de un tratamiento antes de que el agua sea utilizada con fines agrícolas. El grado de tratamiento es un factor importante en la planeación, diseño y manejo de los sistemas para irrigación. El pretratamiento es básico para proteger la salud pública, prevenir condiciones desagradables durante el almacenamiento, prevenir daños a cultivos, suelos y mantos freáticos.

A pesar de que los sistemas de riego se han empleado en todo el mundo durante milenios, la importancia de la calidad del agua para el riego sólo ha sido reconocida durante el presente siglo. La aproximación al aspecto del riego con aguas residuales tratadas depende de que el énfasis se ponga en la utilización de agua o en el tratamiento del agua residual.



*Fotog II.1 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en riego de cultivos
Cortesía: ISSISA*

Las principales ventajas de utilizar agua residual tratada para irrigación son las siguientes:

1. **Seguridad en el abastecimiento.** Las demandas de agua potable exceden el aporte actual. La utilización de agua residual tratada permite satisfacer los requerimientos agrícolas, además de constituir una fuente de nutrientes.
2. **Valores fertilizantes.** Los nutrientes presentes en el agua residual tratada contribuyen significativamente a mantener los requerimientos de macronutrientes (N, P y K) y micronutrientes (Cu, Fe, Mo y B) requeridos en los cultivos.
3. **Conservación.** El reuso está implícito en las medidas de conservación de este recurso. Consecuentemente, el reuso de agua residual tratada en la agricultura juega un papel importante.
4. **Ahorro.** El costo del agua residual tratada es más económico que el del agua potable.

La principal desventaja del uso de agua residual tratada es el problema de administración. Se deben considerar inversiones importantes para equipo. El reuso agrícola exitoso requiere de un planeamiento cuidadoso, análisis económico y financiero, operación eficiente y monitoreo rutinario. Los cambios en el mercado agrícola pueden afectar la economía de los proyectos de reuso de agua residual tratada dependiendo de las ventas de los cultivos.

II.1.1. TRATAMIENTOS RECOMENDADOS

El grado de pretratamiento depende del reuso. En este aspecto están implícitos los requerimientos de los cultivos y el método de aplicación. El tratamiento puede ir desde un simple cribado hasta la remoción de DBO y SST con coagulación química, filtración y desinfección. En la *Tabla II.2* se muestran los posibles tratamientos del agua dependiendo de los cultivos y la calidad esperada.

Tabla II.2 Tratamiento de agua residual y calidad del agua para irrigación

<i>Uso</i>	<i>Método de Irrigación</i>	<i>Requerimientos</i>
Cultivos	Rociado	Desinfección, oxidación, coagulación, clarificación, filtración, coliformes $\leq 2.2 / 100$ ml
Cultivos alimenticios, excepto cultivos de huertos y viñedos	Superficial	Desinfección, oxidación, coliformes $\leq 2.2 / 100$ ml
Cultivos de huertos y viñedos	Superficial	Efluente primario (asumiendo que no hay contacto con la fruta)
Fibra y semillas	Superficial y Rociado	Efluente primario
Pastura para ganado vacuno	Superficial o Rociado	Desinfección, oxidación, coliformes $\leq 2.2 / 100$ ml
Irrigación de paisajes	Superficial o Rociado	Desinfección, oxidación, coliformes $\leq 2.2 / 100$ ml

Fuente: H. Ayuntamiento Constitucional de Guadalajara, 1999

Los principales parámetros que se deben tomar en cuenta al reusar el agua residual tratada son los siguientes:

1. **Salinidad.** La presencia de sales afecta al crecimiento de las plantas por tres mecanismos: 1) *efectos osmóticos*, provocados por la concentración total de sales en el agua del suelo; 2) *toxicidad de iones específicos*, provocada por la concentración de un ion determinado, y 3) *dispersión de las partículas de suelo*, provocada por la presencia importante de sodio y por una baja salinidad. Cuanto mayor es la salinidad del suelo en la zona radicular, mayor es la cantidad de energía que deben consumir las plantas para ajustar la concentración de sales en el interior del tejido vegetal (ajuste osmótico) para conseguir el agua necesaria del suelo. Por lo tanto, hay menos energía disponible para el crecimiento de la planta.

En las zonas irrigadas, las sales se originan a partir del agua subterránea del lugar o las sales contenidas en el agua de riego. Las sales tienden a concentrarse en la zona radicular debido a la evapotranspiración, existiendo una estrecha relación entre los daños que se producen en las plantas y el aumento de la salinidad. La única forma práctica de hacer frente al problema de la salinidad es establecer un flujo descendente neto de agua y sales a través de la zona radicular. En estas condiciones, para conseguir un movimiento continuo de agua y sales, es básico disponer de un buen sistema de drenaje. A largo plazo, no es posible llevar a cabo el riego con agua residual tratada sin disponer de un sistema de drenaje adecuado.

En los casos en los que se aplica más agua de la que utilizan las plantas, el exceso de agua percolará por debajo de la zona radicular, llevándose con ella parte de las sales acumuladas. Consecuentemente, la salinidad del suelo alcanzará un valor constante, función de la fracción de agua que percola en el terreno. La fracción del agua aplicada que circula a través de la zona radicular y percola en el terreno por debajo de ella recibe el nombre de fracción de lixiviado.

2. **Toxicidad de iones específicos.** Los casos en los que la reducción de la producción de un cultivo se debe a concentraciones excesivas de determinados iones y no únicamente a los efectos osmóticos se engloban dentro del fenómeno denominado de *toxicidad de iones específicos*. Los iones cuya presencia en el agua residual resulta más problemática son el sodio, el cloro y el boro. Las fuentes de boro suelen ser los detergentes de uso doméstico o los vertidos industriales. Las cantidades de cloro y de sodio también aumentan como consecuencia de los usos domésticos del agua, especialmente en los casos en los que se emplean ablandadores del agua.

En el caso de cultivos sensibles, la toxicidad de iones específicos resulta difícil de corregir sin introducir cambios en el cultivo o en el agua de suministro. Las condiciones de alta temperatura y clima seco provocados por las elevadas velocidades de evapotranspiración acentúan el problema. En la *Tabla II.3* se indican las máximas concentraciones de elementos de traza recomendados para aguas de riego. En casos graves en los que el agua que se utiliza contiene concentraciones de elementos superiores a los niveles indicados, los elementos se pueden acumular en las plantas y en el terreno y pueden suponer riesgos para la salud de hombres y animales, y provocar problemas de fitotoxicidad en las plantas.

CAPÍTULO II. ALTERNATIVAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

Tabla II.3
Concentraciones máximas de los elementos de trazas recomendadas para el agua de riego *

Elemento	Concentración máxima recomendada *, mg/l	Comentario
Al (aluminio)	5.0	Puede causar la improductividad en suelos ácidos (pH < 5.5), pero en suelos más alcalinos (pH > 5.5), el ion precipita desapareciendo toda posible toxicidad.
As (arsénico)	0.10	La toxicidad para las plantas varía ampliamente, entre los 12 mg/l para la especie Sudan grass y los 0.05 mg/l para el arroz.
Be (berilio)	0.10	La toxicidad para las plantas varía ampliamente, entre los 5 mg/l para la col rizada y los 0.05 mg/l para algunas clases de judías.
Cd (cadmio)	0.010	Tóxico para las judías, remolachas y nabos a concentraciones bajas de hasta 0.10 mg/l en soluciones de nutrientes. Se recomienda adoptar límites conservadores debido al potencial de acumulación en plantas y suelos hasta alcanzar concentraciones que pueden resultar dañinas para el hombre.
Co (cobalto)	0.050	Tóxico para los tomates a concentraciones de 0.1 mg/l en solución de nutrientes. Su efecto tiende a quedar anulado en suelos neutros y alcalinos.
Cr (cromo)	0.10	No está generalmente reconocido como elemento esencial de crecimiento. Se recomienda adoptar límites conservadores debido a la falta de conocimiento de sus efectos tóxicos sobre las plantas.
Cu (cobre)	0.20	Tóxico para varias plantas a concentraciones entre 0.1 y 1.0 mg/l en soluciones de nutrientes.
F (flúor)	1.0	Sus efectos quedan neutralizados en suelos neutros y alcalinos.
Fe (hierro)	5.0	En suelos aireados no es tóxico para las plantas, pero puede contribuir a la acidificación del suelo y a la pérdida de la escasa disponibilidad del fósforo y del molibdeno necesarios. El uso de aspersores elevados puede provocar depósitos sobre las plantas, equipos y edificios, de aspecto desagradable.
Li (litio)	2.5	Tolerado por la mayoría de los cultivos a concentraciones inferiores a 5 mg/l; móvil en el interior del suelo. Tóxico para los cítricos a niveles bajos (> 0.0075 mg/l). Tiene efectos similares a los del boro.
Mn (manganeso)	0.20	Tóxico para varios cultivos a concentraciones entre décimas de mg y varios mg/l, pero normalmente sólo en suelos ácidos.
Mo (molibdeno)	0.010	A concentraciones normales, tanto en el suelo como en el agua, no es tóxico para las plantas. Puede resultar tóxico para las formas de vida en el caso de cultivos de forraje plantados en suelos con elevados niveles de molibdeno disponible.
Ni (níquel)	0.20	Tóxico para varias plantas a concentraciones entre 0.5 y 1.0 mg/l; a pHs neutros o alcalinos se reduce su toxicidad.
Pb (plomo)	5.00	A concentraciones muy elevadas, puede inhibir el crecimiento celular de las plantas.
Se (selenio)	0.020	A concentraciones tan bajas como 0.025 mg/l ya resulta tóxico para las plantas, y es tóxico para la vida animal en cultivos de forraje plantados en suelos con niveles de selenio relativamente elevados. Es un elemento esencial para los animales, pero a concentraciones muy bajas.
Sn (estaño)	-	Las plantas lo excluyen de forma muy efectiva; la tolerancia específica es desconocida.

Tabla II.3 (continuación)
Concentraciones máximas de los elementos de trazas recomendadas para el agua de riego *

Elemento	Concentración máxima recomendada *, mg/l	Comentario
Ti (titanio)	-	Las plantas lo excluyen de forma muy efectiva; la tolerancia específica es desconocida.
W (tungsteno)	-	Las plantas lo excluyen de forma muy efectiva; la tolerancia específica es desconocida.
V (vanadio)	0.10	Tóxico para muchas plantas a concentraciones relativamente bajas.
Zn (zinc)	2.0	Tóxico para muchas plantas a concentraciones muy variables; en terrenos orgánicos o de textura fina, y a pH superiores a 6, la toxicidad es más reducida.

* La concentración máxima se ha obtenido partiendo de un caudal de aplicación adecuado a las buenas prácticas en la agricultura (1,200 mm/año)
 Fuente: Metcalf & Eddy, 1997

- 3. Velocidad de infiltración.** Otro efecto indirecto del elevado contenido en sodio es el deterioro de la condición física del suelo (formación de incrustaciones, acumulaciones de agua, y reducción de la permeabilidad del suelo). La excesiva reducción de la velocidad de infiltración puede provocar que no sea posible suministrar a los cultivos o a la vegetación las cantidades de agua necesarias para un crecimiento robusto. Además, los sistemas de riego con agua residual tratada suelen estar situados en suelos poco convenientes o en terrenos que ya presentan problemas de permeabilidad y de explotación. En estos casos, puede ser necesario modificar la estructura del terreno mediante excavaciones y movimientos de tierras en las zonas afectadas. El problema de la infiltración de agua se desarrolla en los primeros centímetros del suelo, y suele estar relacionado con la estabilidad estructural de la capa superficial de aquél.

El agua residual municipal tratada suele presentar altas concentraciones de calcio, y no existe demasiada preocupación en torno a la posibilidad de que la cantidad de calcio que se disuelve y percola desde el suelo superficial sea excesiva. Sin embargo, en ocasiones, las aguas residuales tratadas presentan concentraciones altas de sodio; el elevado valor del SAR (tasa de adsorción de sodio) resultante es un problema de gran importancia en la planificación de proyectos de riego con aguas residuales municipales tratadas.

- 4. Nutrientes.** Los nutrientes presentes en las aguas residuales tratadas actúan como fertilizantes en la producción de cultivos y espacios verdes. Sin embargo, en algunos casos en los que su contenido excede la demanda de las plantas, puede provocar problemas. Los nutrientes de importancia en la gestión agrícola y de espacios verdes son el nitrógeno, el fósforo y, en algunas ocasiones, el potasio, el zinc, el boro y el azufre. El nutriente presente en las aguas residuales municipales tratadas que reporta mayores beneficios y, que se suele presentar en exceso con mayor frecuencia, es el nitrógeno.

El nitrógeno presente en el agua residual tratada puede sustituir una cantidad equivalente de fertilizante comercial durante el comienzo y mitad del período de crecimiento. La presencia de exceso de nitrógeno en la última parte del período de crecimiento puede resultar negativa para muchos cultivos, provocando un excesivo crecimiento vegetativo, madurez retrasada o no uniforme, o un descenso de la calidad del cultivo. Si se dispone de una fuente de agua alternativa con menor cantidad de nitrógeno, para ejercer un control sobre el nitrógeno presente, se puede cambiar el sistema de suministro o utilizar una mezcla de agua residual tratada y agua procedente de otras fuentes alternativas.



*Fotog. II.2 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en riego de cultivos
Cortesía ISSISA*

- 5. Otros problemas.** Se han observado problemas relacionados con la obturación de los sistemas de riego por goteo o con aspersores, especialmente en la distribución de efluentes primarios y efluentes procedentes de estanques de estabilización. El desarrollo de películas biológicas en la cabeza de los aspersores, en los orificios de emisión o en las conducciones de suministro, así como las elevadas concentraciones de algas y sólidos suspendidos, provocan obturaciones. Los problemas de obstrucción más importantes se producen en los sistemas de riego por goteo. Desde el punto de vista de la salud pública, este tipo de sistemas se suele considerar ideal, puesto son totalmente cerrados y minimizan los problemas relacionados con la exposición de los trabajadores a las aguas residuales tratadas o a las emisiones de agua rociada.

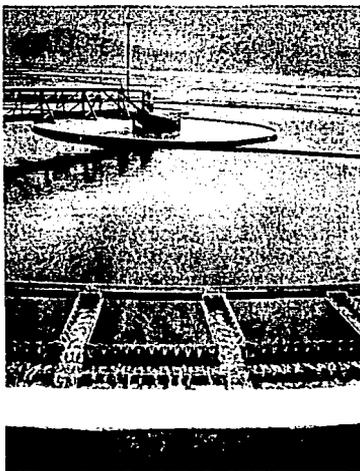
En aguas residuales cloradas, las concentraciones de cloro residual inferiores a 1 mg/l no afectan al follaje de las plantas, pero las concentraciones por encima de 5 mg/l pueden causar daños graves a las plantas si se aplican directamente sobre el follaje.

Los límites de contaminantes potenciales en el agua para irrigación varían de acuerdo a los cultivos, poblaciones, disposiciones legales y requerimientos de salud. Es necesaria la realización de un análisis químico y microbiológico para que el reuso sea una opción factible.

II.1.2. CONSIDERACIONES EDAFOLÓGICAS

La calidad del agua de riego es especialmente importante en zonas áridas, en las que se producen altas velocidades de evapotranspiración (ET) como consecuencia de las temperaturas extremadamente elevadas y de la bajísima humedad existente. La evapotranspiración hace referencia al agua que se pierde por evaporación en el terreno y en las aguas superficiales, y por la transpiración de las plantas. La calidad del agua de riego puede variar notablemente en función del tipo y cantidad de sales disueltas que contenga. Las consecuencias de la evapotranspiración son la deposición y acumulación en el suelo de las sales del agua aplicada.

Las propiedades físicas y mecánicas del suelo como son: el grado de dispersión de las partículas de suelo, la estabilidad de los agregados, la estructura del suelo, y la permeabilidad, son propiedades sensibles a los iones intercambiables presentes en el agua de riego. Por lo tanto, en los casos en los que se pretende regar con el agua residual tratada, se deben tener en cuenta tanto las propiedades del suelo como las características de producción del cultivo. Sin embargo, los problemas que se presentan son los mismos que los que provocan la presencia de salinidad o de metales de traza en cualquier suministro de agua, y sólo son importantes si restringen el uso del agua o precisan de un control especial para mantener producciones de los cultivos aceptables.

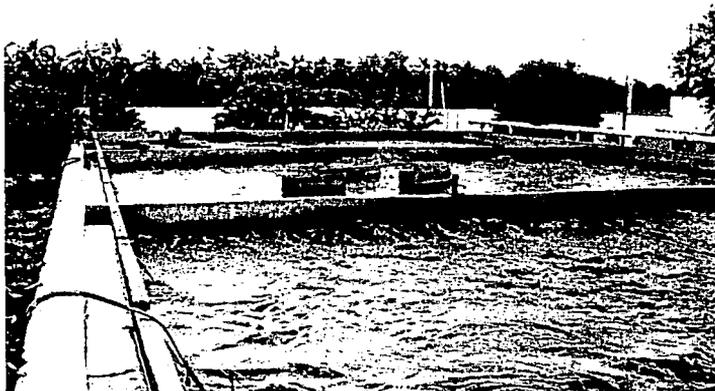


**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Fotog II 3 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en nego de cultivos
Cortesía MC C G P

Los proyectos de irrigación y agrícolas requerirán, por lo tanto, de un estudio de suelo, el cual deberá incluir las siguientes características:

1. Calidad y cantidad de materia orgánica.
2. Textura del suelo o tamaños de partículas presentes en el agua residual.
3. Estructura del suelo, la cual afecta la permeabilidad del suelo al agua y aire.
4. Rapidez de filtración, la cual indica que tan rápido el agua puede ser absorbida en la superficie del suelo y con que velocidad se infiltra.
5. Capas impermeables próximas a la superficie, las cuales pueden impedir la precolación.
6. Fracturas, a través de las cuales se podría contaminar el agua de mantos freáticos, antes de que los contaminantes sean removidos por medio de las bacterias presentes en el suelo.
7. Exceso de agua, el cual afecta la estabilidad del suelo.



Fotog. II.4 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en riego de cultivos
Cortesía MC C.G.P.

II.1.3. CONSIDERACIONES ECONÓMICAS

La economía de un proyecto de reuso determina su factibilidad. El valor del agua residual tratada depende de su disponibilidad y de los costos de producción y entrega. Estos pueden ser categorizados en cuatro áreas principales cubriendo capital y gastos de operación y mantenimiento.

1. Costos de Tratamiento Adicional.
2. Costos de Distribución y Transporte.
3. Costos de Almacenamiento.
4. Costos de Monitoreo para Verificar la Calidad del Agua.
5. Costos de la Utilización del Agua Residual Tratada.

**TESIS CON
FALTA DE ORIGEN**

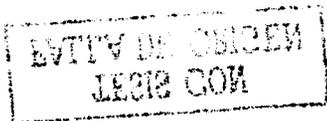
II.1.4. OBRAS REQUERIDAS

Las obras requeridas dentro del reuso del agua residual tratada en la irrigación deberá contemplar lo siguiente.

1. Planeación, diseño y operación de un adecuado sistema de drenaje y conexiones en los sitios.
2. Diseño y construcción de un sistema de irrigación para el reuso.
3. Acciones necesarias para garantizar la seguridad humana.
4. Cambios en operaciones convencionales, como el modificar la estructura del terreno mediante excavaciones y movimientos de tierra en las zonas que se requiera para el reuso.



Fotog II 5 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en nego de cultivos
Cortesía: MC. C.G.P.



II.2. RECARGA DE MANTOS FREÁTICOS

El propósito de las recargas artificiales es suplementar los abastecimientos de agua en los mantos freáticos para reducir, detener, o incluso revertir, los fenómenos de descenso del nivel del agua subterránea; proteger el agua dulce en acuíferos cercanos a la costa frente a la intrusión de aguas saladas marinas y para almacenar agua residual tratada y agua superficial, incluyendo aguas procedentes de inundaciones u otras aguas excedentes que puedan ser utilizados en el futuro.

La recarga de acuíferos es incidentalmente lograda cuando se realizan sistemas de tratamiento en tierra y sistemas de disposición de aguas residuales municipales o industriales se evacuan por percolación e infiltración en el terreno.

La recarga de mantos freáticos con agua residual tratada es una posibilidad de reuso del agua residual que resulta en un aumento planificado de los recursos de agua subterránea. Existen varias ventajas para almacenar en los mantos freáticos:

1. El costo de la recarga artificial puede ser menor que el costo de las reservas de capacidad equivalente.
2. El acuífero sirve como un sistema de distribución eventual y puede reducir las necesidades de canales o tuberías superficiales.
3. El agua almacenada en reservas superficiales está sujeta a la evaporación, y amenazada por potenciales problemas de olores y sabores provocados por la contaminación, la cual puede ser evitada con el almacenamiento subterráneo.
4. Los sitios deseables como reservas superficiales pueden no estar disponibles o ser medioambientalmente inaceptables.

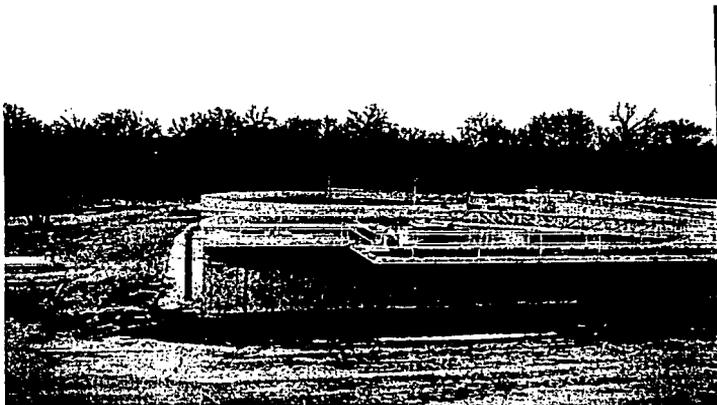
La recarga de agua en un proyecto de reuso de agua residual tratada puede también proporcionar beneficios psicológicos y estéticos secundarios como resultado de la transición entre agua tratada y agua subterránea. Esto es particularmente cierto cuando existe la posibilidad en el plan de reuso de agua residual tratada de utilizar ésta para incrementar los niveles de agua potable.

Requerimientos de calidad

Existen cuatro factores que es necesario tomar en cuenta cuando se considera la recarga de agua a mantos freáticos con agua residual tratada:

1. Patógenos.
2. Minerales Totales.
3. Metales Pesados.
4. Sustancias Orgánicas Estables.

Los efectos de los microorganismos afectan directamente a la salud humana. Los efectos en la salud causados por exposiciones prolongadas a bajos niveles de productos químicos contaminantes debe ser cuidadosamente examinada, ya que un elevado número de estos contaminantes han demostrado ser cancerígenos y con efectos mutantes cuando se usan concentraciones relativamente altas en animales de laboratorio.



Fotog. II 6 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en recarga de mantos freáticos
Cortesía ISSISA

II.2.1. TRATAMIENTOS RECOMENDADOS

El tratamiento necesario previo a la recarga de acuíferos varía bastante en función del objetivo de la recarga del acuífero, de las fuentes de agua residual tratada, de los métodos de recarga y de la ubicación del acuífero.

Considerando que el agua recargada en mantos freáticos puede ser una fuente eventual de agua potable, puede requerir más allá de un proceso secundario.

Las operaciones unitarias que puede seguir al tratamiento señalado son: oxidación química, desinfección, coagulación, filtración, intercambio iónico, adsorción en carbón activado, osmosis inversa o separación utilizando membranas.

II.2.2. CONTAMINANTES RESIDUALES EN LOS MANTOS FREÁTICOS

Los efluentes tratados contienen cantidades traza de contaminantes orgánicos aún y cuando se utilicen los tratamientos más avanzados. El transporte y destino de estas sustancias están gobernados por varios mecanismos los cuales incluyen: *biodegradación por acción de microorganismos, oxidación y reducción química, adsorción e intercambio iónico, filtración, precipitación química, dilución, volatilización o reacciones fotoquímicas.*

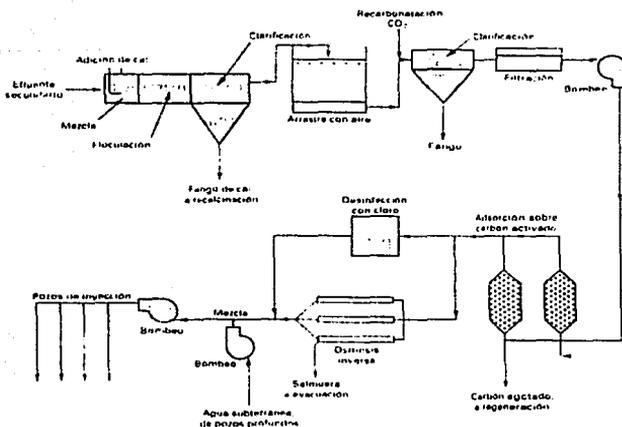


Fig. II.1

Diagrama esquemático de los procesos de tratamiento empleados en Water Factory 21, Orange County Water District, California.

Fuente Metcalf & Eddy, 1997

Entre los contaminantes residuales se encuentran:

1. **Materiales Particulados.** Estos son retenidos fácilmente por filtración.
2. **Materiales Disueltos.** Para la eliminación de metales traza es necesario reacciones físicas, químicas o microbiológicas. En un sistema de recarga, el efecto de las actividades microbianas en la atenuación de microcontaminantes inorgánicos es mínima. Las reacciones físicas y químicas que se producen y que son importantes para que el suelo reaccione con los elementos traza metálica incluyen reacciones de intercambio catiónico, precipitación, adsorción y quelación. Aunque todos los suelos poseen capacidad ilimitada para disminuir los microcontaminantes inorgánicos, los estudios experimentales han demostrado que los suelos tienen una gran capacidad de retención de trazas metálicas.
3. **Contaminantes Orgánicos Traza.** La remoción de compuestos orgánicos peligrosos se lleva a cabo por biodegradación y adsorción durante las operaciones de recarga. La biodegradación ofrece el potencial de una permanente conversión de sustancias orgánicas peligrosas en productos menos peligrosos.

Los productos finales de la biodegradación completa de los contaminantes orgánicos disueltos se hallan, en condiciones aerobias, el dióxido de carbono y agua, y en condiciones anaerobias, el dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, y el metano. Sin embargo, la degradación no necesariamente alcanza estas fases. La degradación puede terminar en una etapa intermedia dejando un residual orgánico que bajo las condiciones particulares no puede ser degradado a velocidades apreciables.

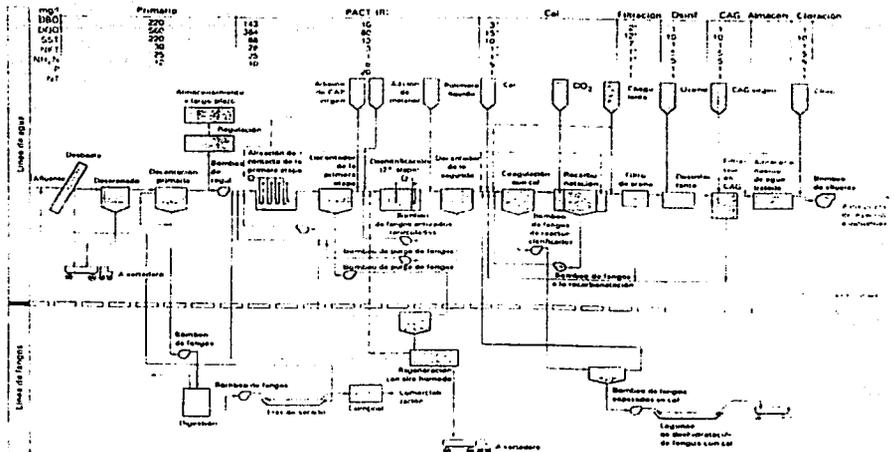
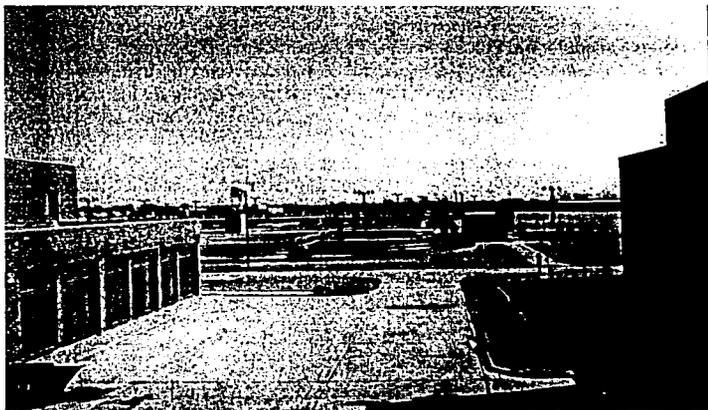


Fig. II.2

Proceso de recuperación de aguas residuales de múltiples etapas utilizados en El Paso, Texas, para la inyección directa a aguas residuales municipales.

Fuente: Metcalf & Eddy 1997



Fotog. II.7 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en recarga de mantos freáticos

Cortesía ISSISA

II.2.3. CONSIDERACIONES PARA LA RECARGA EN LOS MANTOS FREÁTICOS

El aspecto de la recarga de acuíferos con aguas residuales tratadas que mayor atención y preocupación recibe es el relativo a los posibles efectos nocivos sobre la salud pública derivados de la introducción de patógenos o trazas de contaminantes tóxicos. Debido a la creciente preocupación por los efectos sobre la salud pública a largo plazo, es necesario concentrar todo el esfuerzo en reducir el número de especies químicas y la concentración de los constituyentes orgánicos específicos en el agua de recarga.

Los proyectos de recarga de acuíferos deberán contener, como parte integral del mismo, lo siguiente:

1. **Plan de Control de Vertidos en Origen.** El cual deberá limitar las cantidades de constituyentes potencialmente dañinos que entran en la red de alcantarillado.
2. **Control de la Calidad del Agua de Recarga.** El cual deberá recibir especial atención, ya que la recuperación de un acuífero una vez que ha sido contaminado es difícil y costosa. Si los cambios en la calidad del agua subterránea producidos por la recarga obligan a tratar el agua subterránea extraída o a desarrollar otras fuentes de recursos, será necesario un desembolso adicional.
3. **Nivel de Tratamiento del Agua Residual Municipal.** Es necesario para que el agua recuperada sea apta para la recarga de acuíferos, depende de los objetivos de calidad del agua subterránea, de las características hidrogeológicas del acuífero subterráneo, y de la proporción de agua residual recargada respecto a las restantes aguas de recarga.



Fotog. II.8 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en recarga de mantos freáticos
Cortesía ISSISA

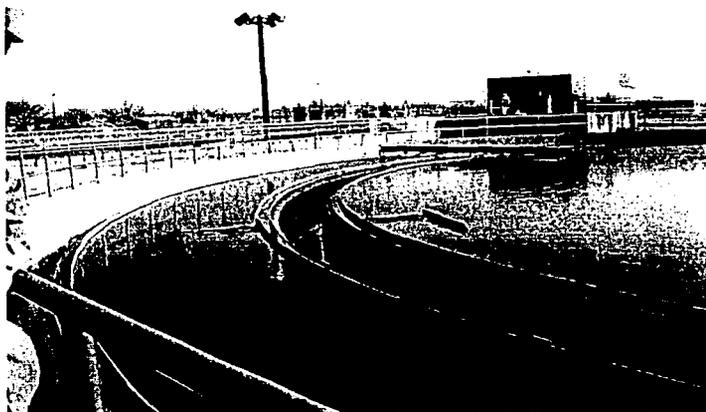
En la *Tabla II.4* se resumen los factores que hay que tener en cuenta en la formulación de las líneas básicas por las cuales se debe regir la recarga de acuíferos.

CAPÍTULO II. ALTERNATIVAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

En Estados Unidos no se han establecido exigencias federales para la recarga de acuíferos en el contexto del tratamiento y reuso del agua residual tratada. Como consecuencia de ello, las exigencias aplicables al tratamiento y reuso de aguas residuales tratadas para la recarga de acuíferos están establecidas por los diferentes estados o se desarrollan individualmente para cada caso. Para las aguas residuales tratadas destinadas a la recarga de acuíferos, muchos estados requieren un nivel de tratamiento muy superior al establecido para el tratamiento previo a la aplicación en sistemas de infiltración rápida.

Excluyendo la ingeniería del tratamiento, los lineamientos que se deberán considerar son:

1. **Rapidez de recarga del agua.** La cual involucra el grado de dilución por el agua nativa e introduce factores como volumen para almacenamiento, rapidez del flujo de agua de recarga, área para la recarga y distancia a los pozos más próximos.
2. **Tiempo de residencia del agua residual tratada en los mantos acuíferos.** Esta debe ser suficientemente prolongada para asegurar la eliminación de patógenos y reducción de algunos compuestos químicos sujetos a degradación.
3. **Suelo y geología.** Los cuales son necesarios para asegurar que la filtración y el proceso de adsorción sean efectivos.
4. **Método de recarga.** El cual debe involucrar consideraciones de cuencas, canales y pozos. Dentro de los métodos de recarga de acuíferos se encuentran el de infiltración en superficie y por inyección.



Fotog II 9 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en recarga de mantos freáticos
Cortesía ISSISA

Tabla II.4
Factores que hay que tener en cuenta a la hora de formular los principios de actuación en la recarga de aguas subterráneas en los Estados Unidos

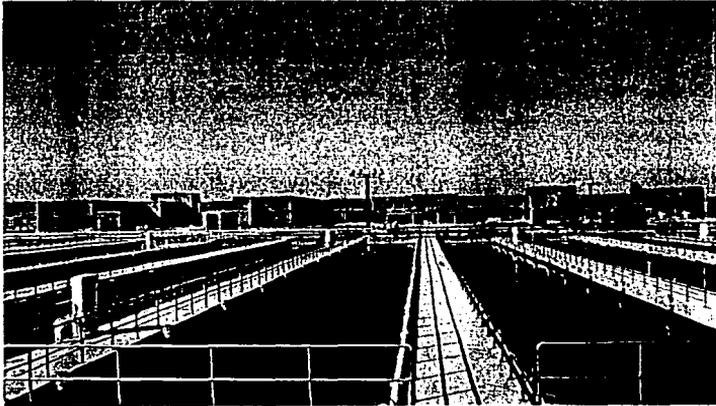
Distribución en superficie	
Tratamiento	Control de productos químicos en origen. Sedimentación primaria o tratamiento biológico secundario. Filtración terciaria en medio granular (posiblemente, adsorción sobre carbón activado para la eliminación de compuestos orgánicos).
Profundidad hasta el nivel freático	Percolación a través de una zona no saturada o de un terreno no alterado. Profundidad hasta el nivel freático entre 3 y 15 m, en función de la velocidad de percolación de los suelos.
Tiempo de retención en el terreno	6 a 12 meses, en función del tipo de tratamiento.
Porcentaje máximo de agua recuperada	En pozos de extracción, entre el 20 y el 50% del total anual, en función de la eliminación de materia orgánica.
Distancia horizontal	Entre 150 y 350 m, en función del proceso de pretratamiento.
Seguimiento	Detallado, incluyendo los contaminantes contemplados en las normativas aplicables a las aguas potables.
Inyección directa	
Tratamiento	Control de productos químicos en fuente de origen. Sedimentación primaria o tratamiento biológico secundario. Coagulación química, clarificación y filtración en medio granular. Adsorción sobre carbón activado. Eliminación de compuestos orgánicos volátiles. Osmosis inversa u otro proceso de membrana. Desinfección.
Profundidad hasta el nivel freático	No aplicable (inyección directa a acuíferos subterráneos).
Tiempo de retención en el terreno	12 meses
Porcentaje máximo de agua recuperada	En pozos de extracción, 20% del total anual.
Distancia horizontal	Entre 350 y 700 m.
Seguimiento	Bastante detallado, incluyendo los contaminantes contemplados en las normativas aplicables a las aguas potables.

Fuente: Melcalff & Eddy, 1997

II.2.4. OBRAS REQUERIDAS

El reuso del agua residual tratada en la recarga de mantos freáticos deberá contemplar los siguientes puntos para lograr el éxito.

1. Planeación, diseño y operación de un adecuado sistema de recarga como puede ser: cuencas, canales y pozos, ya sean por medio de infiltración en superficie o por inyección.
2. Planeación de un sistema de monitoreo para verificar la calidad del agua de recarga, por medio de un laboratorio que realice pruebas al agua que se extrae del pozo para no afectar directamente a la salud humana.



*Fotog II.10 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en recarga de mantos freáticos
Cortesía ISSISA*

II.3. REUSO INDUSTRIAL

Uno de los mayores potenciales del reuso de agua residual tratada, es el intercambio del agua potable por agua residual tratada en los procesos industriales.

Existen dos fuentes potenciales de agua para la industria: una, *proveniente del agua residual tratada dentro de la misma industria*; y otra, *es de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales*.

El potencial de reuso del agua residual tratada en la industria es amplio, debido a la escasez y costo del agua. Actualmente, la calidad de los efluentes de las plantas para tratamiento están mejorando debido a la reglamentación actual y a la implementación de nuevas tecnologías.

Los principales factores que afectan el potencial de reuso de agua industrial, incluyen: *disponibilidad del agua, requerimientos de descarga de la industria, calidad del agua, volumen, economía y factibilidad*.

Aunque existe un amplio campo de usos del agua residual tratada en la industria, los principales son:

1. Sistemas de enfriamiento.
2. Enfriamiento de un paso, incluyendo: usos como bombas, compresores y condensado de contacto directo.
3. Agua para procesos y calderas.
4. Agua de lavado.
5. Usos misceláneos, incluyendo: la irrigación, la protección contra el fuego y el control de polvo.

Tres categorías de uso de agua residual tratada para fines industriales son de particular interés por el alto volumen que se requiere: *en torres de enfriamiento, el agua para procesos y en calderas*.

Se estima que las actividades agrícolas y las plantas generadoras de energía eléctrica que utilizan vapor usan arriba del 75% de toda el agua usada en Estados Unidos.

El agua para enfriamiento con el vapor de plantas generadoras de energía eléctrica representa el segundo requerimiento importante de agua.

Las principales industrias consumidoras de agua potable y generadoras de aguas residuales son:

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| 1. Azucarera | 8. Cerveza y Malta |
| 2. Química | 9. Alimenticia |
| 3. Petrolera | 10. Agropecuaria |
| 4. Hierro y Acero | 11. Acabado de Metales |
| 5. Celulosa y Papel | 12. Curtiduría |
| 6. Textil | 13. Vitivinícola |
| 7. Beneficio del Café | 14. Eléctrica |

II.3.1. TRATAMIENTOS RECOMENDADOS

Aunque los requerimientos de calidad son diferentes para cada una de las industrias, se pueden identificar algunos lineamientos generales. Como punto de inicio el agua necesitará un tratamiento secundario y desinfección. La calidad lograda con diferentes tratamientos secundarios y avanzados se muestra en la *Tabla II.5*, así como un diagrama de flujo típico para este tipo de tratamiento. Esta agua puede ser utilizada para diferentes usos, sin embargo puede requerirse mejor calidad.

Tabla II.5 Calidad lograda con diferentes tratamientos secundarios y avanzados

Tratamiento Secundario	Tratamiento Adicional	Calidad típica del efluente						
		Sólidos Suspendidos mg/l	DBO mg/l	DQO mg/l	N Total mg/l	PO ₄	Turbidez mg/l	Color
Proceso de Lodos Activados (Biomasa Suspendida)	Ninguno (efluente secundario)	20 - 30	15 - 25	40 - 80	20 - 60	6 - 15	5 - 15	15 - 80
	Filtración en Medio Granular	5 - 10	5 - 10	30 - 70	15 - 35	4 - 12	0.3 - 5	15 - 60
	Filtración en Medio Granular, columna de carbón	3	1	0.5 - 1	15 - 30	4 - 12	0.3 - 3	5
	Coagulación + Sedimentación	5	5 - 10	40 - 70	15 - 30	1 - 2	10	10 - 30
	Coagulación + Sedimentación + Filtración Media	1	5	30 - 60	15 - 30	0.1 - 1.0	0.1 - 1.0	10 - 30
	Coagulación + Sedimentación + Filtración en Medio Granular + Lavado de Amonio	1	5	30 - 60	2 - 10	0.1 - 1.0	0.1 - 1.0	10 - 30
	Coagulación + Sedimentación + Filtración en Medio Granular + Lavado de Amonio + Columnas de Carbón	1	1	1 - 15	2 - 10	0.1 - 1.0	0.1 - 1.0	5
Proceso en Biofiltro (Biopelícula)	Ninguno (efluente secundario)	20 - 40	15 - 35	40 - 100	20 - 60	6 - 15	5 - 15	15 - 80
	Filtración en Medio Granular	10 - 20	10 - 20	30 - 70	15 - 35	6 - 15	10	15 - 80
	Coagulación + Sedimentación + Filtración en Medio Granular	5 - 10	5 - 10	30 - 60	15 - 35	4 - 12	0.5 - 5	15 - 60
Tratamiento en Tierra	Irrigación	1	2	-	3	0.3	-	-
	Infiltración Rápida	2	2	-	10	3	-	-
	Flujo Superficial	10	10	-	3	12	-	-

Fuente: Metcalf & Eddy, 1997

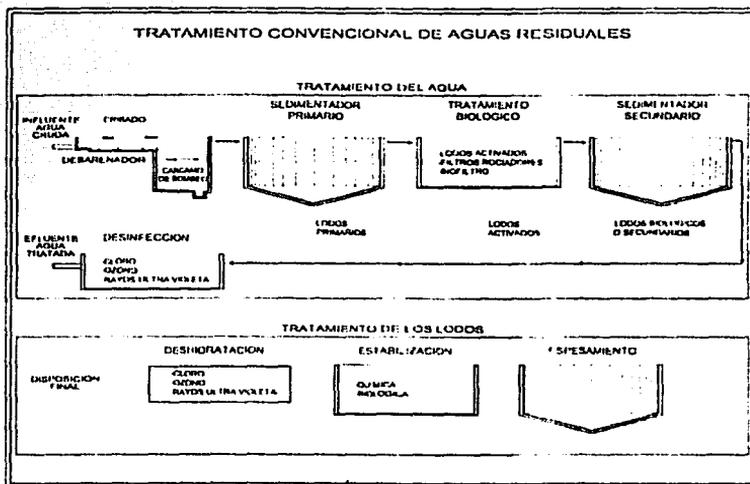


Fig. II.3 Esquema de Tren de Tratamiento Convencional de Aguas Residuales

Los objetivos del pretratamiento son:

1. Prevenir la introducción de contaminantes que interfieran con la operación de la planta o con la disposición de los lodos municipales;
2. Prevenir la introducción de contaminantes que pueden pasar a través de trabajos de tratamiento o que sean incompatibles con ellos; y
3. Mejorar la factibilidad de reciclar y reclamar aguas residuales municipales e industriales y lodos.

El tipo de tratamiento dependerá de las características del agua residual a tratar. Los procesos comúnmente utilizados son biológicos, seguidos por físicos y químicos.

Las *Tablas II.6* y *II.7* muestran los efectos de diferentes contaminantes, su posible tratamiento y los procesos para tratamiento utilizados en las industrias.

CAPÍTULO II. ALTERNATIVAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

Tabla II.6 Calidad del agua de reuso con fines industriales y procesos de tratamiento potenciales

Contaminante	Efecto	Tratamiento
Orgánicos residuales	Recrecimiento de bacteria y formación de escamas Espuma en calderas	Nitrificación Adsorción de carbón Intercambio iónico
Amonio	Interfiere con la formación de cloro residual Causa corrosión Estimula el crecimiento microbiano	Nitrificación Intercambio iónico
Fósforo	Formación de escamas Estimula el crecimiento microbiano	Precipitación química Intercambio iónico Remoción biológica de fósforo
Sólidos Suspendidos	Depósito de inóculo para el crecimiento microbiano	Filtración
Calcio, Magnesio, Hierro y Silice	Formación de escamas	Precipitación química Intercambio iónico

Fuente: H. Ayuntamiento Constitucional de Guadalajara, 1999

Tabla II.7 Aguas residuales como una fuente de abastecimiento de agua residual industrial

Uso de Agua Industrial	Procesos de Tratamiento		
	Nitrificación	Precipitación Química	Filtración
Torres de Enfriamiento	Normalmente	SI	SI
Equipo para Enfriamiento	SI	SI	SI
Agua para Proceso	SI	SI	SI
Alimentación de Caldera	SI	SI	SI
Irrigación	No	No	Normalmente

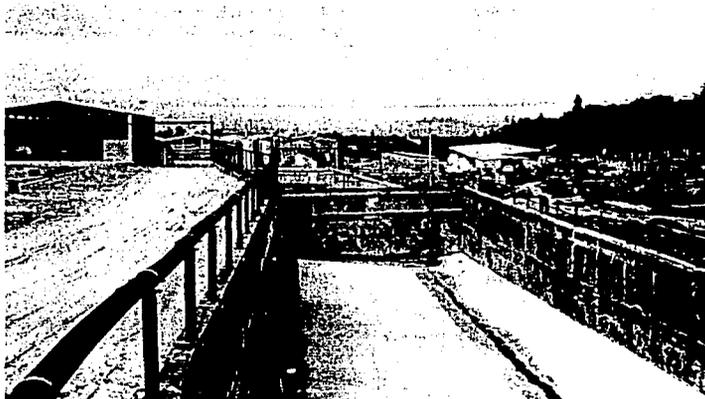
NOTA: El agua reusada para alimentación de calderas, requiere de adsorción con carbón activado, intercambio iónico u osmosis inversa.

Fuente: H. Ayuntamiento Constitucional de Guadalajara, 1999

II.3.2. TORRES PARA ENFRIAMIENTO

Las torres de enfriamiento representan una cantidad significativa de agua para muchas industrias. La excesiva concentración de impurezas puede causar corrosión o problemas de taponamiento causados por la materia particulada. Normalmente, se usan aditivos para controlar la formación de escamas y la corrosión. Sin embargo, estos tienen limitaciones.

Virtualmente toda el agua de reuso para las torres de enfriamiento se someten a clarificación con cal antes de su reuso. Esto reduce los fosfatos y puede reducir dureza y silicatos si se usa un tratamiento alto en cal. Es necesario el control de la alcalinidad después del tratamiento con cal, ya que ésta favorece en las torres de enfriamiento la precipitación de carbonato de calcio, propiciando la formación de depósitos en los intercambiadores de calor y en la torre.



Fotog II 11 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en torres de enfriamiento
Cortesía ISSISA

II.3.3. AGUA PARA PROCESOS Y CALDERAS

Los requerimientos de calidad del agua para los procesos industriales dependen de las características particulares de la industria. Es imposible generalizar los requerimientos de calidad para el agua industrial requerida en los procesos.

Los requerimientos para la industria del papel dependen del proceso involucrado. Generalmente es deseable minimizar la concentración de SST, ya que afectan el color y brillo del producto. La turbidez y el color son fuentes potenciales de problemas finos derivados de celulosa.

Debido a la amplia naturaleza de la industria química, los requerimientos de calidad varían ampliamente. En general, el agua debe ser moderadamente suave y relativamente baja en silicatos, sólidos suspendidos y color. La concentración de sólidos disueltos y el contenido de cloruros en el agua no son parámetros críticos. Se prefieren aguas neutras con un pH en el intervalo de 5.2 a 8.3.

CAPÍTULO II. ALTERNATIVAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

Los requerimientos para los productos de carbón y petróleo son moderados. El agua de proceso debe estar en el intervalo de pH de 6 a 9 y bajo en SST (10 mg/l).

En la industria textil se requiere agua sin color, libre de turbidez, hierro y manganeso tanto como sea posible. La dureza afecta adversamente los jabones utilizados. Los nitritos y nitratos causan problemas en el teñido de lana y seda.

El agua para calderas debe tener una mejor calidad que la de torres de enfriamiento. En este caso se requiere controlar la dureza. Las sales insolubles de calcio y magnesio son las principales contribuyentes de la formación de depósitos en calderas. El agua de reuso para calderas usualmente recibe un tratamiento con cal seguido por intercambio iónico. Para las calderas la remoción de silicatos es particularmente crítica. La alcalinidad está determinada por bicarbonatos, carbonatos e hidroxilos. La excesiva alcalinidad puede contribuir a la formación de espuma. Los compuestos orgánicos también causan espumas en las calderas. Estas pueden ser controladas por adsorción o intercambio iónico.

La *Tabla II.8* muestra los requerimientos de calidad para diferentes industrias y procesos e ilustra la variedad de las necesidades de calidad para algunas industrias.



Fotog II 12 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en procesos y calderas
Cortesía ISSISA

II.3.4. PLANTAS GENERADORAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA A TRAVÉS DEL USO DE VAPOR

En plantas que usan vapor para la generación de energía eléctrica, el agua de enfriamiento condensa el vapor después éste se expande para producir electricidad. Los sistemas de agua para enfriamiento en plantas generadoras de energía eléctrica utilizando vapor pueden ser clasificadas como de un paso o de recirculación. En los sistemas de un paso el agua se utiliza en un ciclo de enfriamiento y es entonces descargada. En un sistema de enfriamiento por recirculación toda el agua es enfriada en una torre, el agua es rociada en un canal mientras el calor es liberado a la atmósfera. En tales sistemas la mayoría del agua de reenfriamiento puede ser regresada al condensador de la planta para su reuso. El efecto de enfriamiento resulta en una pérdida de agua para el sistema y concentración de sólidos disueltos.

Los sólidos totales disueltos en el agua de enfriamiento puede estar en el intervalo bajo, como es el agua fresca o tan alta como el agua de mar. Para los sistemas de enfriamiento la pureza del agua usualmente no tiene consecuencias importantes. En los sistemas para enfriamiento que utilizan recirculación de agua, teóricamente deben reusar la misma agua para muchos ciclos.

Tabla II.8 Requerimientos de calidad de agua para procesos industriales

Parámetro	Pulpa y Papel			Químico	Petroquímico y Carbón	Productos Textiles Blanqueado y Teñido	Cemento
	Pulpa Mecánica	Sin Blanqueo	Pulpa y Papel, Blanqueado				
Al	-	-	-	-	-	-	-
Cu	-	-	-	-	-	0.01	-
Fe	0.3	1.0	0.1	0.1	1.0	0.1	2.5
Mn	0.1	0.5	0.05	0.1	-	0.01	0.5
Zn	-	-	-	-	-	-	-
Ca	-	20	20	68	75	-	-
Mg	-	12	12	19	30	-	-
Cl	1,000	200	200	500	300	-	250
NH ₄	-	-	-	-	-	-	-
HCO ₃	-	-	-	128	-	-	-
NO ₃	-	-	-	5	-	-	-
SO ₄	-	-	-	100	-	-	250
SiO ₂	-	50	50	50	-	-	35
Dureza	-	100	100	250	350	25	-
Alcalinidad	-	-	-	125	-	-	400
TDS	-	-	-	1,000	1,000	100	600
TSS	-	10	10	5	10	5	500
COD	-	-	-	-	-	-	-
Color	30	30	10	20	-	5	-
pH	6 - 10	6 - 10	6 - 10	6.2 - 8.3	6 - 9	-	6.5 - 8.5
CCE	-	-	-	-	-	-	1

NOTA Todos los valores están en mg/l excepto color y pH
Fuente: H. Ayuntamiento Constitucional de Guadalajara. 1999

CAPÍTULO II. ALTERNATIVAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

Estudios realizados por el *Departamento de Recursos de Agua de California* (California Department of Water Resources) señala que el agua residual adecuadamente pretratada de fuentes municipales y agrícolas puede ser adecuada para plantas de enfriamiento. El agua residual municipal normalmente recibe tratamiento primario y secundario antes de ser descargada. El agua residual agrícola está altamente mineralizada y por razones económicas usualmente no es tratada. Es esencial controlar el crecimiento biológico y limitar los sólidos disueltos en el agua residual destinada para reuso en sistemas de enfriamiento. Estas condiciones restringen el uso del agua residual agrícola no tratada por lo que requiere tratamiento hasta nivel secundario para su reuso como agua de enfriamiento.

II.3.5. INDUSTRIAS DE METALES PRIMARIOS

Se consideran básicamente los procesos para producción de metales primarios como: hierro, acero, aluminio, cobre, zinc y plomo.

El consumo de agua se distribuye de la siguiente forma: 27% para procesamiento, 70% para enfriamiento y aire acondicionado y el 3% remanente es para calderas y servicios sanitarios.

Las aguas residuales para la producción de hierro y acero provienen del condensado de agua de las reacciones, expulsión de gases y operaciones de formación de acero.



*Fotog II.13 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en industrias de metales primarios
Cortesía ISSISA*

Los sistemas para tratamiento que han sido utilizados son remoción física o química de contaminantes seguidos por tratamientos biológicos. En algunos casos se usa pretratamiento antes de descargar a la planta de tratamiento. Las aguas residuales de cobre, plomo y zinc se tratan para remover sólidos suspendidos, reducir las concentraciones de metales y neutralizar el pH. La remoción de sólidos se hace por medio de sedimentación o clarificación química ayudada por la adición de polielectrolitos.

El aceite es removido usando separadores equipados con desnatadores. El cianuro es usualmente destruido por la capacidad de oxidación del cloro.

II.3.6. INDUSTRIA DE PRODUCTOS QUÍMICOS

La industria química es el segundo usuario importante de agua. Aproximadamente 81% de toda el agua usada por esta industria es con propósitos de enfriamiento. La mayoría de las aguas residuales de la industria química son altamente contaminantes y requieren de tratamiento antes de su descarga. Este tratamiento puede incluir remoción de sustancias tóxicas, compuestos flamables y metales pesados también ajuste de pH.



Fotog II 14 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en industrias de productos químicos
Cortesía ISSISA

Los sistemas para tratamiento que han sido utilizados son remoción física o química de contaminantes seguidos por tratamientos biológicos. En algunos casos se usa pretratamiento antes de descargar a la planta de tratamiento. Las aguas residuales de cobre, plomo y zinc se tratan para remover sólidos suspendidos, reducir las concentraciones de metales y neutralizar el pH. La remoción de sólidos se hace por medio de sedimentación o clarificación química ayudada por la adición de polielectrolitos.

El aceite es removido usando separadores equipados con desnatadores. El cianuro es usualmente destruido por la capacidad de oxidación del cloro.

II.3.6. INDUSTRIA DE PRODUCTOS QUÍMICOS

La industria química es el segundo usuario importante de agua. Aproximadamente 81% de toda el agua usada por esta industria es con propósitos de enfriamiento. La mayoría de las aguas residuales de la industria química son altamente contaminantes y requieren de tratamiento antes de su descarga. Este tratamiento puede incluir remoción de sustancias tóxicas, compuestos flamables y metales pesados también ajuste de pH.

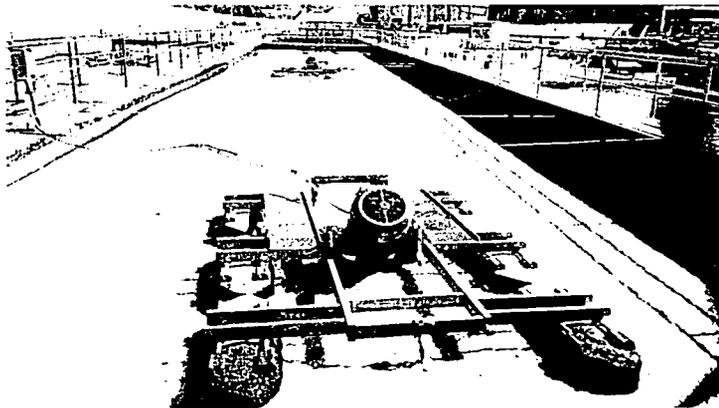


Foto II 14 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en industrias de productos químicos
Cortesía ISSISA

II.3.7 INDUSTRIA DEL PAPEL

La manufactura del papel depende del elevado suministro de agua. Los principales procesos en los que se requiere de este compuesto son:

1. Cocimiento de la madera para la producción de pulpa.
2. Lavado de pulpa.
3. Transporte de fibras a través de blanqueo, refinación y formación de hojas.
4. Calderas y enfriamiento.



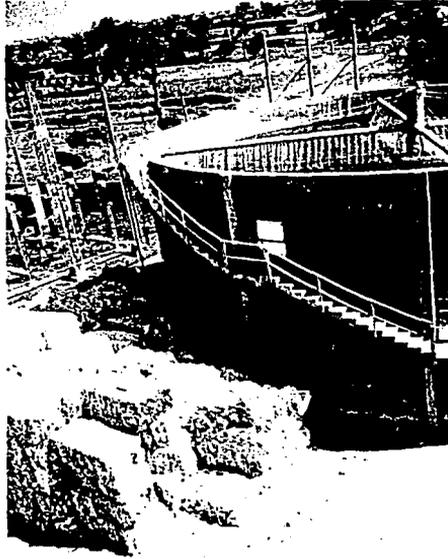
*Fotog. II.15 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en industria del papel
Cortesia. ISSISA*

El agua residual de esta industria contiene cantidades significativas de SST, orgánicos e inorgánicos solubles, color, espuma y materiales potencialmente tóxicos para la vida acuática. En la mayoría de las plantas existe un elevado reciclamiento de sólidos y agua, lo cual a largo plazo puede incrementar los problemas de espuma y limos.

II.3.8. INDUSTRIA ALIMENTICIA

Los principales consumidores son los productores de azúcar, frutas y vegetales enlatados y congelados, productos lácteos, empacado de carnes y procesamiento de aves. El agua en cada una de estas industrias tiene múltiples propósitos: lavado, blanqueamiento, pasteurización, lavado de equipo de proceso y enfriamiento del producto final.

Es una práctica común para muchas industrias alimenticias descargar sus aguas residuales en sistemas municipales para que sea tratada junto con el agua municipal.



*Fotog. II. 16 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en industria del papel
Cortesía ISSISA*

Sin embargo, algunas otras industrias requieren de tratamiento antes de ser descargadas a algún arroyo. La industria del enlatado, por ejemplo, utiliza filtros rociadores y lodos activados para el tratamiento de sus efluentes. El tratamiento de los efluentes descargados durante la producción de azúcar de remolacha, productos lácteos y procesamiento de carnes rojas o aves se utilizan comúnmente lagunas anaerobias seguidas de un sistema aerobio.

II.3.9. INDUSTRIA TEXTIL

Esta industria utiliza cantidades significativas de agua fresca en sus operaciones de manufactura. El agua se utiliza para lavado, teñido, impresión, blanqueo y terminado de la ropa.



*Fotog. II.17 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en la industria textil
Cortesía ISSISA*

El agua residual cruda puede contener elevadas concentraciones de sólidos disueltos, grasa y material fibroso, químicos orgánicos e inorgánicos y metales pesados. En algunas plantas la DBO y los SST del agua residual generada en estas plantas tienen un valor aproximado de 1000 mg/l, sin embargo, este puede variar significativamente de una planta a otra ya que los procesos industriales implicados no son los mismos.

Los procesos que normalmente se utilizan para el tratamiento de agua son: cribado, sedimentación, clarificación química y tratamiento biológico usando lodos activados, filtros rociadores, lagunas y lagunas aireadas.

II.3.10. OBRAS REQUERIDAS

En las industrias se deberán contemplar los siguientes puntos que influyen de cierta forma en los costos por el reuso del agua residual tratada, de esta forma se logra la liberación del agua potable que no se requiere con esa calidad en los diversos procesos.

1. Planeación, diseño y operación de un adecuado sistema de tuberías para el reuso mediante líneas independientes de agua potable y agua residual tratada.
2. Planeación de un sistema de monitoreo para verificar la calidad del agua de reuso, por medio de un laboratorio que realice pruebas al agua que se utilice en las diversas industrias.
3. Cambios en operaciones convencionales modificando la estructura del tren de producción para hacer el cambio de agua potable a agua residual tratada, siempre que se cumpla con los requerimientos de calidad que necesite la industria, donde se sabe que cada industria requiere una calidad del agua diferente.
4. Acciones necesarias para garantizar la seguridad humana.



Fotog II.18 Tendido de una línea de agua residual tratada para el reuso en industrias

Cortesía: ISSISA

II.4. RECREACIÓN Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

Una vez tratadas, las aguas residuales se pueden reutilizar, como se ha venido comentando, o bien se pueden reintroducir en el ciclo hidrológico por evacuación al medio ambiente. Por lo tanto, la evacuación de las aguas residuales tratadas se pueden considerar como el primer paso de un proceso de reuso indirecto a largo plazo.

Para lo cual se debe cumplir con la *Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en agua y bienes nacionales.*

Dentro de los posibles reusos se incluyen actividades como: llenado de lagos, incremento de caudales en ríos, arroyos o riego de campos de golf, riego de áreas verdes.

Las principales categorías en las que se dispone el agua en este apartado son:

1. Lagos recreativos.
2. Lagos recreativos para pesca y botes.
3. Vertido e incremento de agua en ríos, arroyos, estuarios y al mar.
4. Fines estéticos, tal como lagos sin acceso público en parques o desarrollos y riego de campos de golf.
5. Riego de áreas verdes.



Fotog. II.19 *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en lagos recreativos*
Cortesía ISSISA

II.4.1. TRATAMIENTOS RECOMENDADOS

El nivel de tratamiento requerido es generalmente dependiente del grado de contacto que exista con los seres humanos.

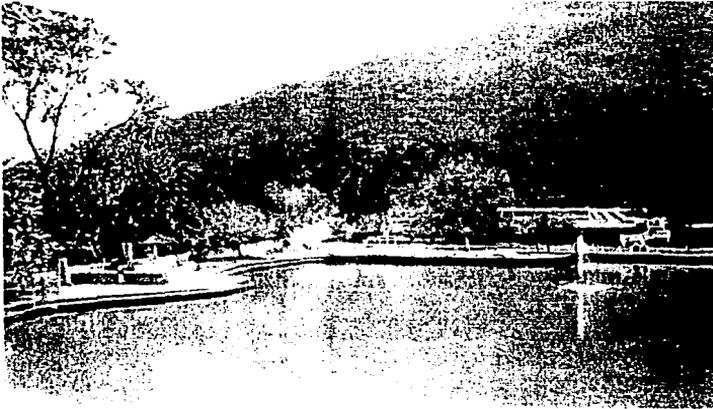
La calidad del agua requerida depende del contacto humano. Si no existe contacto humano es suficiente con un tratamiento secundario sin desinfección.

El agua residual tratada para incrementar el nivel hidráulico en cuerpos de agua, se requiere de un tratamiento para remoción de nutrientes, con el fin de evitar crecimiento algal que propicie eutrofización.

El agua residual tratada que tenga contacto primario debe reunir las siguientes características:

1. El agua debe ser estéticamente agradable.
2. No debe contener sustancias tóxicas que puedan provocar indigestión o irritación de ojos o piel en el ser humano.
3. Debe ser razonablemente libre de patógenos.

Un efluente deseable es aquel que contenga una DBO y SST menores de 20 mg/l.



*Fotog II 20 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en lagos recreativos
Cortesía ISSISA*

Los principales criterios que se utilizan para riego de áreas verdes, contacto directo, usos recreativos con contacto e industria de enfriamiento se muestran en la *Tabla II.9*.

Tabla II.9 Criterios de calidad de agua para su uso en riego de áreas verdes, contacto directo, usos recreativos con contacto e industria de enfriamiento en el Distrito Federal

Número	Parámetros	Riego de Áreas Verdes	Contacto Directo	Usos Recreativos con Contacto	Industria Enfriamiento
1	pH	6 – 9	6.5 – 8.5	6.5 – 8.3	5 – 8.3
2	Alcalinidad Total	500	111	500	300
3	Sólidos Totales	500	1,200	2,000	1,700
4	Sólidos Totales Fijos	763	563	-	-
5	Sólidos Totales Volátiles	164	125	-	-
6	Sólidos Disueltos Totales	490	1,200	2,000	1,200
7	Sólidos Disueltos Fijos	400	1,190	1,190	1,190
8	Sólidos Disueltos Volátiles	90	10	10	10
9	Sólidos Suspendidos Totales	50	20	10	500
10	Sólidos Suspendidos Fijos	30	10	5	400
11	Sólidos Suspendidos Volátiles	20	15	5	100
12	Sólidos Sedimentables	0.1	0.1	-	-
13	Nitrógeno Amoniacal	15	5	0.5	0.5
14	Nitratos	30	10	-	-
15	Fósforo Total	5	5	1	1
16	Fosfatos Totales	15	3	3	3
17	Nitrógeno de Nitritos	10	5	1	10
18	Hierro Total	1	0.3	-	-
19	Manganeso Total	0.2	0.2	-	-
20	Plomo Total	0.1	0.05	-	-
21	Cadmio Total	0.01	0.01	-	-
22	Mercurio Total	0.02	0.002	-	-
23	Arsénico Total	0.1	0.05	-	-
24	Cromo Total	0.1	0.01	-	-
25	Zinc Total	2	2	-	-

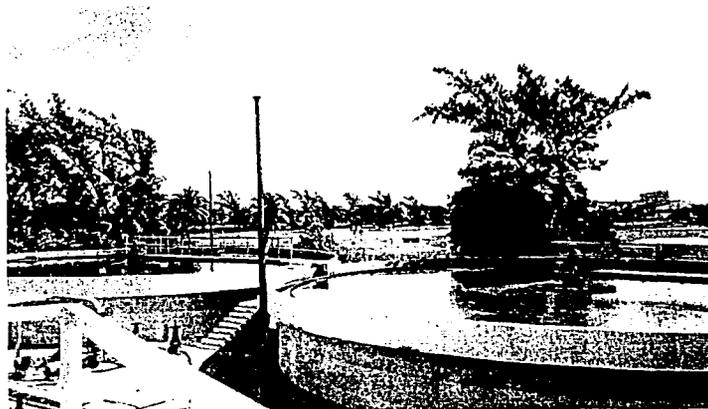
Tabla II.9 (continuación) Criterios de calidad de agua para su uso en riego de áreas verdes, contacto directo, usos recreativos con contacto e industria de enfriamiento en el Distrito Federal

Número	Parámetros	Riego de Áreas Verdes	Contacto Directo	Usos Recreativos con Contacto	Industria Enfriamiento
26	Cobre Total	5	0.2	-	-
27	Selenio Total	0.02	0.02	-	-
28	Coliformes Fecales	200	100	-	-
29	Coliformes Totales	1,000	1,000	1,000	10,000
30	DBO Total	20	20	20	20
31	DBO Soluble	5	5	-	-
32	DQO Total	50	50	30	75
33	DQO Soluble	30	30	-	-
34	Grasas y Aceites	5	3	V.L.	V.L.
35	SAAM	1	0.5	0.5	0.5
36	Olor (NUO)	-	-	3	3
37	Color (U Pt Co)	-	-	15	60
38	Turbiedad (UNT)	-	-	10	10
39	Dureza Total (CaCO ₃)	-	-	625	325
40	Dureza de Calcio (CaCO ₃)	-	-	375	75
41	Dureza de Magnesio (CaCO ₃)	-	-	250	250
42	Conductividad (µmhos / cm)	-	-	3,500	2,000
43	Fósforo de Ortofosfatos (P-PO ₄)	-	-	0.9	0.9
44	Ortofosfatos Totales	-	-	3	3
45	Nitrógeno Total Kjeldahl	-	-	10	1
46	Nitrógeno de Nitratos (N-NO ₃)	-	-	10	30
47	N protéico	-	-	0.5	0.5
48	Cuenta estándar (col / al)	-	-	200	2,000
49	Microorganismos (/ 100 al)	-	-	10	100
50	Quistes y Huevos (NMP / l)	-	-	1	2
51	Cloro Libre	-	-	0.2	0.2

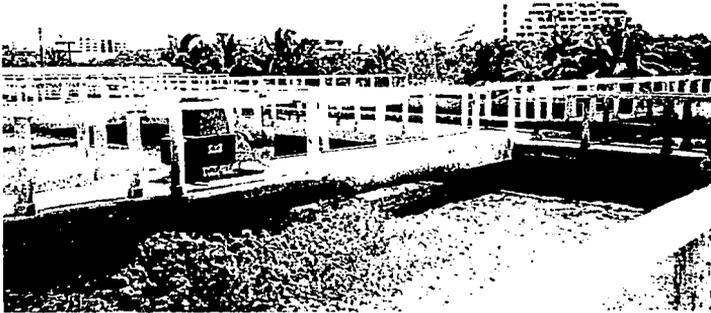
V.L. Virtualmente Libre



*Fotog. II 21 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en riego de áreas verdes
Cortesía: MC C.G.P.*



*Fotog. II 22 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en riego de áreas verdes
Cortesía MC C.G.P.*



*Fotog Il 23 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en riego de áreas verdes
Cortesía MC. C.G.P.*

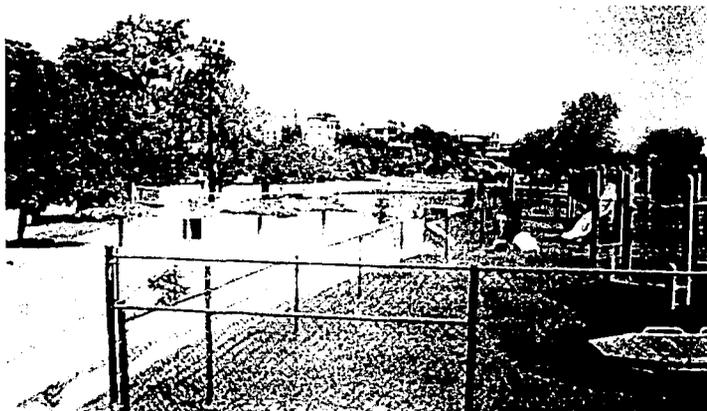


*Fotog Il 24 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en riego de áreas verdes
Cortesía MC C G P*

CAPÍTULO II. ALTERNATIVAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

Los parámetros de calidad del agua residual tratada que tienen importancia en los vertidos son el oxígeno disuelto (OD), sólidos suspendidos, bacterias, nutrientes, pH y compuestos químicos tóxicos, entre los que se encuentran los compuestos orgánicos volátiles, los neutralizadores ácidos/básicos, metales, pesticidas y bifenilos policlorados (PCBs).

La importancia del OD para la vida acuática se debe a que, en los casos en los que el nivel de OD se sitúa por debajo de 4 – 5 mg/l, se pueden producir efectos nocivos en determinadas especies. Los sólidos suspendidos afectan a la turbiedad de la columna de agua y acaban por sedimentar en el fondo, lo cual puede dar lugar a un enriquecimiento béntico, toxicidad y demanda de oxígeno de los sedimentos. La presencia de bacterias coliformes se suele adoptar como indicador de la presencia de otros organismos patógenos de origen fecal, y como tal, se utiliza para determinar la seguridad de la utilización de un agua para usos recreativos. Los nutrientes pueden provocar eutrofización y descensos del nivel de OD. La acidez del agua, medida por su pH, afecta al equilibrio químico y ecológico de las aguas ambientales. Los compuestos químicos tóxicos incluyen una variedad de compuestos que, a diferentes concentraciones, provocan efectos ambientales nocivos para la vida acuática y para el hombre, caso de que se ingiera el agua y/o la vida animal acuática.



Fotog. II 25 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en lagos recreativos
Cortesía ISSISA

II.4.2. LAGOS ESTÉTICOS, RECREATIVOS Y EMBALSES

En muchos lugares en los que existen cursos de agua en las proximidades, puede ser necesario verter las aguas residuales tratadas en lagos o embalses. Otras aportaciones que suelen afectar a lagos y embalses son los lixiviados de sistemas de tanques sépticos y la escorrentía superficial, los cuales pueden contener DBO, nutrientes y otros contaminantes.

El agua de lagos y embalses pequeños tiende a estar bien mezclada como consecuencia de la turbulencia inducida por el viento.



Fotog. II.26 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en lagos recreativos
Cortesía ISSISA

II.4.3. VERTIDO A RÍOS Y ESTUARIOS

Los ríos y los estuarios suelen tener una dimensión preponderante, constituyendo cuerpos de agua mucho más largos que anchos. Como consecuencia de ello, las aportaciones de efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales u otras fuentes se mezclan rápidamente en la sección transversal.

Los meandros pueden aumentar o reducir la dispersión dependiendo de su configuración; en particular, la dispersión puede aumentar como consecuencia de la existencia de una sucesión de meandros separados por escasa distancia. En estuarios, las inversiones de flujo provocadas por la marea, así como las corrientes secundarias provocadas por la marea, así como las corrientes secundarias provocadas por los gradientes de salinidad, tienden a aumentar la dispersión.

El término estuario se suele emplear para hacer referencia a los tramos de los ríos cercanos a su desembocadura al mar, en los que los efectos de las mareas o de la salinidad se hacen patentes. Los estuarios se pueden clasificar, por su geomorfología, en estuarios llanos costeros, o en grandes bahías.



*Fotog. II.27 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para vertido en estuarios
Cortesía MC C.G.P.*

II.4.4. VERTIDO AL MAR

El mar y los lagos de grandes dimensiones, tienen una gran capacidad de asimilación, y muchas comunidades los utilizan para la evacuación de sus aguas residuales. Normalmente, el agua residual se conduce hasta un punto de vertido, situado mar adentro, mediante un túnel, o una tubería enterrada o que descansa sobre el fondo marino. El vertido se puede llevar a cabo a través de una única estructura o mediante una estructura de múltiples salidas. En el caso de descargas al mar, el agua residual tiene menor peso específico que las aguas naturales.



*Fotog. II.28 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para vertido al mar
Cortesía MC C.G.P.*

II.4.5. OBRAS REQUERIDAS

En el reuso del agua residual tratada para la recreación y conservación del medio ambiente se deberá contemplarse lo siguiente para un éxito garantizado.

1. Planeación, diseño y operación de un adecuado sistema de lagos recreativos, estéticos y embalses para el reuso, donde se deberá tener especial cuidado en el posible contacto humano directo o indirecto.
2. Planeación de un sistema de monitoreo para verificar la calidad del agua de reuso, por medio de un laboratorio que realice pruebas al agua que se utilice en el vertido a los diversos cuerpos receptores.
3. Planeación en la toma de decisiones de los posibles sitios para los lagos artificiales que se quieran realizar, con la finalidad de que no se contaminen los mantos freáticos existentes en los sitios disponibles, con lo cual se tendrán que reforzar los terraplenes y taludes.
4. Acciones necesarias para garantizar la seguridad humana.

II.5. ACUICULTURA

En los países con gran tradición piscícola se están incorporando las aguas residuales a los estanques de cultivo, sin ningún tratamiento previo. Lo cual ocasiona un alto riesgo sanitario que aún no ha sido evaluado. En cambio, los países desarrollados están usando la crianza de peces como una forma de mejorar la remoción de materia orgánica, sin que importe la calidad del producto ya que no se destina al consumo humano directo.

En este caso, las aguas residuales son tratadas previamente hasta alcanzar la calidad apropiada para obtener una elevada producción de peces aptos para el consumo humano directo. Se han realizado cultivos experimentales de Tilapia del Nilo, *Oreochromis niloticus*.

En Lima, se han obtenido 4400 kg/ha de tilapia con un peso promedio de 250 g por unidad al final del verano, sin adicionar alimentos artificiales. El crecimiento es muy reducido durante el invierno porque la temperatura desciende. En algunas granjas convencionales, sólo es posible obtener este nivel de producción si se abonan los estanques y se proporciona alimentos concentrados. La abundante biomasa de algas en las aguas residuales tratadas permite sustituir la alimentación artificial y por tanto reducir los costos de producción.

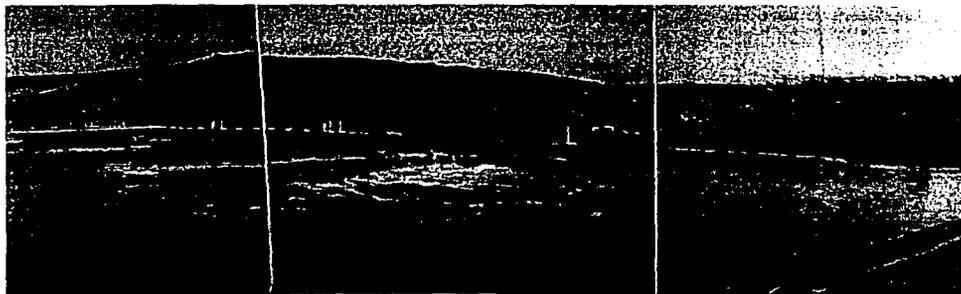


Fotog II.29 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en la acuicultura
Cortesía ISSISA

La calidad de los peces se evalúa de acuerdo a una calificación estricta propuesta por Buras (1987), que establece como *muy buenos* a los peces con menos de 10 bacterias por gramo de músculo; son *aceptables* aquellos con 10 a 50 bacterias y son *rechazados* los peces con más de 50 bacterias. Es importante aclarar que el pescado comercializado en los mercados normalmente presenta mayor carga bacteriana en el músculo que los mencionados en la calificación.

Los resultados obtenidos de diversos estudios han permitido elaborar un modelo computarizado para dimensionar granjas comerciales en zonas tropicales y subtropicales. La temperatura elevada de las zonas tropicales permite reducir el periodo de crianza a siete meses, obteniéndose hasta tres cosechas al año.

Con el programa resulta fácil calcular, por ejemplo, que para lograr una producción de 60 toneladas anuales se requieren 19 ha en lugares con climas subtropicales, mientras que en los climas tropicales sólo se necesitan 9 ha, situación que además reduce el costo de producción.



Fotog. II.30 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en acuicultura
Cortesía: ISSISA

II.5.1. TRATAMIENTOS RECOMENDADOS

El sistema de tratamiento que generalmente se emplea son las lagunas facultativas, donde se permite reducir los niveles de DBO_{total} , se presenta alta producción de algas con gran contenido de clorofila A y además el amonio total se encuentra dentro de los valores tolerables por la tilapia del Nilo. La remoción de coliformes fecales en el proceso de tratamiento confirma que el sistema es capaz de reducirlo y lograr un efluente con niveles recomendados por la OMS.

En las lagunas de acabado de San Juan de Miraflores, Lima, Perú, se experimentó con piscicultura encontrándose que la razón de crecimiento de tilapias nilóticas (*Oreochromis niloticus*) fue adecuada. No así en el caso de camarones (*Macrobrachium Rosemberg II*) por ser éstos muy sensibles al $NH_3 - N$.

La razón de crecimiento de las tilapias fue superior en las lagunas cuaternarias y quinquenarias. En las terciarias ellas fueron afectadas por el bajo contenido de oxígeno y altos niveles de $NH_3 - N$.

En las experiencias con policultura de carpas y tilapias se observó, además de un magnífico crecimiento de las carpas (*Cyprinus Carpio*), un mejoramiento en el comportamiento de las tilapias en comparación con el rendimiento en monocultura.

II.5.2. OBRAS REQUERIDAS

Aunque se ha realizado con buen éxito la cría de peces en lagunas de estabilización de grado superior al terciario, la experiencia indica que es preferible construir lagunas específicas para acuicultura a las cuales se lleve el efluente de las lagunas de estabilización o de campos de riego de acuerdo con los requerimientos nutricionales de los peces.

Las lagunas específicas de piscicultura permiten conciliar los requerimientos de las instalaciones de tratamiento con los de la actividad piscícola. Además facilitan agregar nutrientes complementarios a los peces cuando éstos son necesarios. Por otra parte, permiten dejar de agregar aguas residuales de 4 a 6 semanas antes de la cosecha, época durante la cual se pueden sustituir éstas por agua y nutrientes de otro origen.



*Fotog. II.31 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso en acuicultura
Cortesía ISSISA*

II.6. POTABILIZACIÓN

La actitud frente al reuso de aguas residuales tratadas para el suministro de agua potable ha sido de gran cautela, por motivos relacionados con la protección de la salud pública y por razones estéticas y de seguridad. Sin embargo, en lugares en los que la disponibilidad de recursos de agua potable alternativos es escasa, algunas comunidades están instrumentando planes de reuso directo o indirecto de aguas residuales tratadas para usos potables. A pesar de que los volúmenes que se manejan como posibilidad de reuso para suministro de agua potable son pequeños, el interés tecnológico y en materia de salud pública es muy elevado, razón por la cual esta posibilidad ha sido objeto de muchas investigaciones.

Esta es la aplicación más estricta del reuso. El aspecto crítico del reuso de agua como potable es el grado de control del proceso. Es necesario mantener una buena calidad constantemente, cuidando lugares de almacenamiento, distribución, etc.

Los contaminantes presentes a remover son: microbiológicos, químicos inorgánicos y químicos orgánicos. El grado de remoción depende de la dilución y dispersión, el tiempo de almacenamiento y la carga de contaminantes.

Los organismos patógenos están presentes en elevadas densidades en las aguas residuales. Los principales grupos son:

- **Bacterias:** Salmonella, Shigella, Vibrio cholerae, Esherichia coli, Campylobacter, Yersinia enterocolitica.
- **Virus:** Enterovirus, Hepatitis A, Adenovirus, Rotavirus, Reovirus, Virus que producen Gastroenteritis.
- **Protozoarios:** Entamoeba histolytica, Giardia lamblia, Cryptosporidium, Balantidium coli.
- **Helminetos:** Ascaris lumbicoides, Ancllyostoma, Schistosoma mansonii.

Crterios de reuso para suministro de agua potable.

Se ha argumentado que deberá existir un único criterio de calidad de agua para usos potables y que, si el agua residual tratada cumple con él, se debería aceptar para tales usos. Sin embargo, es necesario reconocer que los actuales criterios de calidad de aguas potables han evolucionado bajo el supuesto de que las aguas de abastecimiento se obtenían de fuentes relativamente poco contaminadas. A pesar de que se han realizado grandes avances en los métodos analíticos de identificación de contaminantes químicos en el agua, sólo resulta posible identificar una pequeña parte de los contaminantes presentes, tanto en aguas superficiales como en aguas subterráneas. Esta limitación analítica ha frustrado los intentos de desarrollar criterios de reuso para usos potables completos para las diferentes fuentes de origen de las aguas. A la hora de determinar la aptitud de un agua para su reuso para usos potables, la calidad del agua se debe comparar con la de mayor calidad disponible en la zona.

II.6.1. TRATAMIENTOS RECOMENDADOS

El tratamiento para potabilización incluye intercambio iónico o procesos de separación con membranas.

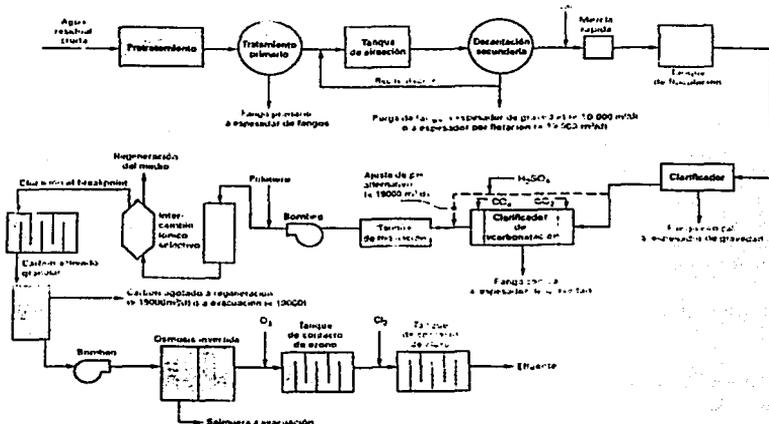


Fig. II.4

Diagrama de flujo conceptual de un sistema de tratamiento avanzado capaz de producir agua potable.
Fuente: Metcalf & Eddy, 1997

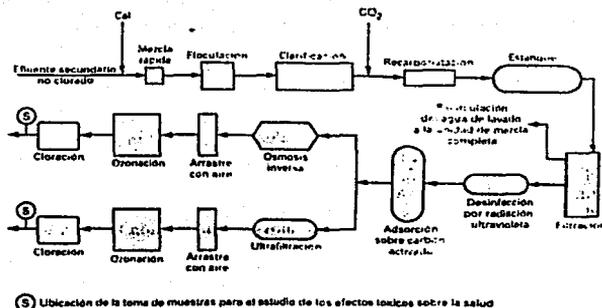


Fig. II.5

Diagrama de flujo de la Denver Potable Water Reuse Demonstration Plant para el Health Effects Study.
Fuente: Metcalf & Eddy, 1997

CAPÍTULO II. ALTERNATIVAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

La calidad solicitada en el agua potable se encuentra normada en la NOM 127, la cual se muestra en la *Tabla II.10*.

Tabla II.10 NOM-127 Límites Máximos Permisibles para contaminantes básicos, metales pesados y cianuros

Parámetro	Límites Máximos Permisibles	Parámetro	Límites Máximos Permisibles
Cianuros	0.07	Turbiedad	5
Cloro Residual	0.5 – 1.00	Aluminio	0.20
Cloruros	250	Arsénico	0.05
Color	15	Bario	0.70
Dureza Total	500	Cadmio	0.005
Fenoles	0.001	Cobre	2
Fluoruros	1.50	Cromo	0.05
Fósforo Total	0.10	Cromo Hexavalente	0.05
Nitratos	10	Fierro	0.30
Nitritos	0.05	Manganeso	0.10
Nitrógeno Amoniacal	0.50	Mercurio	0.001
Nitrógeno Orgánico	-	Niquel	-
pH	6.5 – 8.5	Plomo	0.025
SAAM	0.50	Sodio	200
Sólidos Disueltos Totales	1,000	Zinc	5
Sulfatos	400	Coliformes Fecales	2
		Coliformes Totales	0

Los resultados se reportan en mg/l, excepto: pH (unidades de pH), color (unidades Pt – Co) y turbiedad (ppm SiO₂).

Tabla II.10 (continuación) NOM-127 Límites Máximos Permisibles para plaguicidas y trihalometanos

Parámetro	Límites Máximos Permisibles
Aldrin	0.00003
Dieldrin	0.00003
Clordano	0.0003
DDT	0.001
Lindano (8 – BHC)	0.002
Hexaclorobenceno	0.00001
Heptacloro	0.00003
Heptacloro Epóxico	0.00003
Metoxicloro	0.020
2, 4 – D	0.050
Trihalometanos	0.2

Los resultados se reportan en mg/l, excepto coliformes totales y fecales (NMP/100 ml).

CAPÍTULO II. ALTERNATIVAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

A pesar de que la implantación de planes de reuso directo de aguas residuales municipales tratadas se debe limitar, por razones obvias, a casos extremos, en varios lugares se ha continuado investigando esta posibilidad. Conforme aumenta la proporción de agua residual tratada descargada a las aguas receptoras del país, gran parte de las investigaciones dirigidas a las aplicaciones de reuso en usos potables están adquiriendo importancia de cara al tratamiento de las aguas de abastecimiento de los municipios obtenidas de cursos de agua receptores empleados para la descarga de agua residual tratada.

II.6.2. OBRAS REQUERIDAS

Dentro de las obras requeridas para el reuso del agua residual tratada en usos potables o en su potabilización deberá tomar en cuenta: la planeación, diseño y operación de un adecuado sistema de tuberías, de depósitos de almacenamiento, cárcamos de bombeo y de rebombeo y conexiones en los sitios; planeación de un sistema de monitoreo para verificar la calidad del agua que se quiera disponer para usos potables, por medio de un laboratorio que realice pruebas al agua para no afectar la salud humana; llevar a cabo acciones necesarias para garantizar la seguridad humana, sin que esto genere conflictos en la mezcla de las fuentes de primer uso con las de reuso.



Fotog. II.32 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su reuso como agua potable
Cortesía: ISSISA

**CAPÍTULO III. FINANCIAMIENTO DE SISTEMAS PARA EL
REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA**

CAPÍTULO III. FINANCIAMIENTO DE SISTEMAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

Históricamente hasta los años ochenta, el Estado venía desempeñando la doble función de promotor y realizador, ahora sometidos a la dinámica del cambio, la participación del sector privado se enfrenta al mayor de sus retos, responder a las demandas de una sociedad inmersa en un proceso de ajuste a las nuevas condiciones nacionales e internacionales.

Sería imposible concebir al manejo del agua al margen de la problemática de la sociedad. El agua y la sociedad son componentes indisolubles del proceso de cambio al que ha estado sometida toda la organización humana, y que en el caso de nuestro país se encuentra fuertemente condicionada por el acelerado crecimiento demográfico, lo cual obliga a ubicarnos en una perspectiva de mediano a largo plazo, no para tomar anticipadamente las decisiones del futuro, sino para conocer el efecto futuro de las acciones que se deben realizar a la brevedad posible.

La naturaleza y magnitud del desafío exigen la participación del sector privado a través de proyectos de infraestructura y de dotación de equipamiento y servicio, permitiendo ordenar el crecimiento y canalizar a las regiones y a las actividades en las que se pueda aprovechar los recursos disponibles, de la forma más racional y equitativa posible.

III.1. ANTECEDENTES

En los años ochenta, la privatización de empresas paraestatales comenzó a ser reconocida en algunos países de América Latina como un herramienta para el cambio de la economía. El objetivo, era vender compañías paraestatales y estatales al sector privado como una forma de que los gobiernos generaran ingresos en los casos de empresas rentables, eliminar o al menos reducir subsidios como parte de una reestructuración del sector público en el caso de las compañías no rentables; esto como un esfuerzo para adelgazar el sector público y centrarse en proveer aquellos servicios que sólo el gobierno puede dotar. Diversos países de América Latina y el mundo, iniciaron programas de participación del sector privado en áreas, que anteriormente, eran de manejo exclusivo del sector público.

A principios de los noventas comenzó el progreso principalmente en los sectores de energía y telecomunicaciones. Sin embargo, la participación del sector privado fue lenta en el sector del agua y saneamiento.

Tradicionalmente, los servicios provistos por el sector público del agua en nuestro país, están plagados por una serie de complicaciones de tipo no operativo, que explican el deficiente desempeño y baja productividad en la mayoría de éstos. Estos problemas pueden sintetizarse en cuatro categorías: *políticos, comerciales y financieros, humanos e institucionales* y por último *ecológicos*. La combinación de todos estos problemas finalmente repercuten en un servicio ineficiente y consumidores insatisfechos.

CAPÍTULO III. FINANCIAMIENTO DE SISTEMAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

Por tanto, existe una necesidad imperante de la participación de colaboradores externos que permitan la eficiencia del sistema, a través de:

1. Eliminación de prácticas operacionales ineficientes.
2. Reducción del agua no contabilizada.
3. Mejoramiento de la infraestructura hidráulica a fin de reducir las fugas.
4. Expansión del servicio, que satisfaga la creciente demanda.
5. Medición del consumo, que actualmente es limitado o inexistente.
6. Mejoramiento de la calidad del agua abastecida.
7. Eliminar la escasez de datos reales que crean dificultades en la planeación.
8. Eliminar la ineficiencia en la facturación y cobranza, permitiendo la generación de fondos suficientes para la expansión del servicio y la protección del entorno ecológico.
9. Una clara responsabilidad regulada.
10. Creación de una nueva cultura del agua.

III.2. PRINCIPIOS DE LA PARTICIPACIÓN DEL SECTOR PRIVADO

El suministro del agua es un monopolio natural, simplemente es antieconómico duplicar las redes de agua, alcantarillado y saneamiento en las calles de la ciudad. Como consecuencia, un proveedor del servicio tiene tal dominio de la situación, que es difícil que una competencia pueda llevarse a cabo. Con el fin de proteger a los consumidores contra los abusos de los monopolios, la regulación se hace necesaria e importante.

Los sectores del agua y el drenaje son de capital intensivo. Estudios indican que el rango de la inversión de los activos fijos contra los ingresos de las tarifas anuales son del orden de 10 a 1 comparado con 3 a 1 para el sector de las telecomunicaciones y 4 a 1 del sector de la energía eléctrica, por lo anterior, se hace difícil atraer la participación del sector privado para inversiones financieras con responsabilidad, debido a que el período de recuperación de la inversión es a largo plazo.

El sector está sujeto a importantes factores externos, en la mayoría relacionados con la salud pública y los efectos ambientales, como resultado hay una necesidad de promover inversiones en el sector, por encima de lo que el operador privado desearía, debido a que los beneficios sociales son mayores que los aparentes beneficios financieros. En particular, se debe enfatizar la importancia de alcanzar una cobertura total de dichos suministros: agua, alcantarillado y saneamiento.

Experiencias en países industrializados y en algunos países en vías de desarrollo, que han delegado algunos servicios de agua, alcantarillado y saneamiento al sector privado, han mostrado que la participación privada resulta benéfica, debido a una administración estable, elevada eficiencia, así como acceso a capital privado. El acceso a capital privado de largo plazo es particularmente crucial, debido a que las inversiones en el suministro de agua, alcantarillado y saneamiento son grandes y éstas solo pueden recuperarse en muchos años. Los incentivos al capital internacional, para financiar las inversiones, son en función de las garantías y premios ofrecidos.

Los objetivos de la participación del sector privado son: *asegurar una administración mejorada y una eficiencia más elevada*, así como *adquirir el capital necesario para realizar las inversiones requeridas*; estos tres objetivos están estrechamente relacionados. Las ganancias en la eficiencia de la operación resultan en el ahorro de costos que pueden generar fondos de inversión, mientras que una administración mejorada puede asegurar un acceso más sencillo al capital privado. La incorporación de grandes montos de capital privado para invertir, también crea un incentivo adicional para mejorar la eficiencia operacional.

III.3. RIESGOS INVOLUCRADOS

Existen riesgos involucrados en la participación del sector privado para ambos sectores, el público y privado. Hay dos contingencias primarias para el sector público: el *riesgo de que los servicios suministrados por el sector privado no estén en concordancia con los niveles de calidad deseados y el riesgo de que el costo de dichos servicios sea mucho mayor que los cargos actuales por la entidad pública*.

Los riesgos del inversionista privado incluyen: el *comercial, financiero, técnico, legal y político*. Uno de los *riesgos comerciales* consiste en que el inversionista no siempre llegará a ser remunerado por sus servicios, estando en posibilidad de no recuperar ni siquiera sus costos de operación, debido a tasas bajas en la recaudación o si las tarifas no pudieran ser incrementadas de acuerdo a las necesidades de inversión, lo cual llegaría a la no obtención de utilidades.

El siguiente riesgo, el *financiero* relacionado con el mercado, en el cual la demanda del servicio sea menor de lo planeado. Los aspectos financieros relacionados con las devaluaciones y convertibilidad de la moneda local a una divisa extranjera son un factor importante, porque los ingresos serán en moneda local y parte de las inversiones y préstamos serán en divisa extranjera.

Los *riesgos técnicos* se relacionan con la falta de conocimiento suficiente sobre el estado de las instalaciones e infraestructura existentes. Un riesgo adicional es que los costos de construcción se incrementen más allá de lo planeado debido a la escalación de los precios, así como retrasos en los tiempos de ejecución. Como regla, los riesgos de construcción son sobrellevados mejor por el sector privado, debido a que la experiencia ha demostrado que las compañías privadas están mejor calificadas para llevar a cabo inversiones dentro del presupuesto y el programa previstos.

Los *riesgos legales* están relacionados con las formas en las cuales las disputas contractuales serán resueltas, y el principal *riesgo político* es que el gobierno expropie los activos o cambie su política hacia la participación del sector privado, en el futuro. Otro riesgo político es la renuencia de los gobiernos a incrementar las tarifas, particularmente antes de las elecciones.

El éxito de la participación del sector privado estará condicionado a que estos riesgos sean cuantificados y mitigados. Se requerirá de un análisis cuidadoso de éstos en las primeras etapas de los proyectos, así como que dichos riesgos se compartan entre ambos sectores.

III.4. OPCIONES PARA LA PARTICIPACIÓN DEL SECTOR PRIVADO

La participación privada en el sector del agua varía desde el cumplimiento de atributos limitados, hasta la responsabilidad total en la provisión de los servicios. Cada una de estas opciones varían en el grado de participación del sector privado, los riesgos para cada una de las partes, la autonomía y responsabilidad del operador privado, la inversión de capital requerida, la duración del contrato y la relación contractual con el usuario.

Estas opciones pueden ser agrupadas en dos categorías: el primer grupo, donde *la propiedad de los activos permanece con el sector público*, mientras que en el segundo, *la propiedad parcial o total es transferida al sector privado, temporal o permanentemente*.

En lo que respecta al primer grupo, la contratación de servicios es un concepto muy amplio que puede incluir modalidades que van desde la contratación de servicios parciales de alcance diverso, lo que comúnmente se denomina como *outsourcing*, en un extremo, a la prestación total de los servicios por parte de una empresa privada bajo contrato, o aún bajo esquemas de concesión, pasando por esquemas de tipo "construir-operar-transferir [BOT]" o "construir-arrendar-transferir [BLT]" y similares, que han adquirido una popularidad creciente en los últimos años.

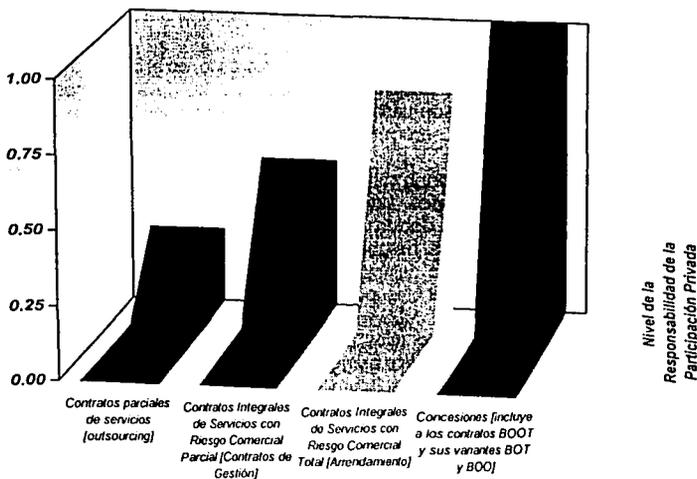


Fig. III.1 Modalidades de Participación Privada con propiedad pública

A. PROPIEDAD DE LOS ACTIVOS PERMANECE EN EL SECTOR PÚBLICO.

A.1. Contratos Parciales de Servicios.

Es la forma más simple de participación del sector privado, por medio de los cuales la autoridad pública retiene completa responsabilidad por la operación y mantenimiento del sistema, tomando todo el riesgo comercial y se encarga del financiamiento de los activos fijos, así como del capital de trabajo. La responsabilidad del contratista privado se limita a dirigir de manera eficiente a su personal y los servicios que ofrece.

Los contratos de servicio son usados comúnmente para:

- Labores de mantenimiento.
- Toma de lecturas.
- Facturación.
- Recaudación.
- Reparaciones de emergencia.
- Mejoramiento de lo existente.
- Construcción de nuevas obras.
- Renta de equipo.

Este tipo de contratos tienen usualmente una duración normalmente no superior a 5 años, siendo renovables, esto debido a que la inversión requerida es pequeña y no fija.

A.2. Contratos Integrales de Servicios con Riesgo Comercial Parcial o Contratos de Gestión o Administración.

Mediante un Contrato Integral de Servicios con Riesgo Comercial Parcial, la autoridad pública transfiere a una compañía privada la responsabilidad de la entera operación y mantenimiento de un sistema, dándole a la empresa privada la libertad de tomar decisiones administrativas y de lograr incrementos en las eficiencias, sin asumir riesgo comercial. Bajo este esquema, el contratista no tiene ninguna relación legal directa con el consumidor y actúa siempre en nombre de la autoridad pública. La autoridad pública retiene la responsabilidad financiera por el servicio y tiene que proveer los recursos de capital necesarios.

Los contratos de administración no requieren que el contratista realice grandes inversiones con largos plazos de recuperación, por ende la duración de este tipo de contratos no excede de 10 años, con la posibilidad de convertirse en otros mecanismos de más largo plazo, como son los contratos de arrendamiento y las concesiones.

Los pagos al contratista son usualmente proporcionales a algunos parámetros fijos, tales como lo son:

- el mejoramiento de la eficiencia,
- los volúmenes de agua distribuida,
- el mejoramiento en la recaudación de tarifas, y/o
- la reducción del agua no contabilizada

de tal forma que el sistema de pagos cree un incentivo para incrementar la eficiencia.

A.3 Contratos Integrales de Prestación de Servicios con Riesgo Comercial Total o de Arrendamiento.

Los Contratos Integrales de Prestación de Servicios con Riesgo Comercial Total o de Arrendamiento son convenios o arreglos por medio de los cuales un operador privado renta la infraestructura a la autoridad pública, por un lapso determinado y es responsable por la operación, mantenimiento, administración del sistema, así como el financiamiento del capital de trabajo.

La autoridad pública, que permanece como dueño absoluto de los activos, es responsable de los gastos del capital para nuevos proyectos, rehabilitación, servicio de deuda y tarifas.

Los contratos de arrendamiento tiene una duración de mediano a largo plazo, usualmente de 10 a 15 años, pero pueden extenderse hasta 20 años, dependiendo del monto del capital requerido.

La empresa le pagará al sector privado una tarifa por renta, suficiente para cubrir la deuda y financiar parte del programa de inversión. Estos pagos se obtienen de la diferencia entre los ingresos por tarifas recaudadas y los costos de operación, lo cual es un incentivo para brindar un buen servicio y establecer un buen sistema de recaudación.

A.4 Concesiones.

A través de este mecanismo la empresa privada o concesionario tiene completa responsabilidad por los servicios, incluyendo la operación, el mantenimiento y la administración, así como inversiones de capital para la expansión de los servicios. Los activos fijos, sin embargo, permanecen en propiedad de la autoridad pública, pero son confiados al concesionario por la duración del título de concesión y deberán ser retornados al final del periodo de la concesión. Este mecanismo da al inversionista privado el incentivo de realizar inversiones altamente eficientes, así como la aplicación de innovaciones tecnológicas enfocadas al mejoramiento de la eficiencia.

A diferencia de los contratos de prestación de servicios, en el caso de la concesión si existe una relación comercial directa entre usuario y concesionario, al sustituir este al organismo público durante el periodo de la concesión. El concesionario cobra directamente por sus servicios a los usuarios, aplicando tarifas que previamente han sido aprobadas por la autoridad, que es responsable a su vez de seguir una política tarifaria previamente acordada.

Es importante señalar que un contrato de prestación de servicios con riesgo comercial total puede incluir además compromisos del contratista de realizar inversiones, con lo cual este tipo de contrato se asemeja a la concesión normalmente tienen una duración de veinte a treinta años, dependiendo del nivel de inversión requerido.

B. PROPIEDAD DE LOS ACTIVOS SE TRANSFIERE PARCIAL O TOTALMENTE AL SECTOR PRIVADO, TEMPORAL O PERMANENTEMENTE.

Otros esquemas similares, tales como el de *construir–operar–poseer* (BOO) o el de *construir–operar–poseer–transferir inversos* se encuentran de hecho dentro del segundo grupo es decir, aquel en que la propiedad de la infraestructura está permanentemente, parcial o totalmente en manos del sector privado.

Dentro de este segundo grupo se incluirían esquemas de enajenación o de privatización tales como: *la venta parcial o total de acciones o bursatilización de una empresa y la venta directa de activos*. También estarían en este grupo esquemas en los que el sector público y el privado coinvierten en una empresa de capital mixto, lo que puede ser útil para eliminar algunos de los obstáculos que se presenten para la gestión privada de los servicios.

B.1 Contratos BOOT (Construcción-Propiedad-Operación-Transferencia).

En los esquemas tipo BOOT y similares típicamente una empresa o compañía financia, construye, es propietaria temporal y opera una obra nueva o rehabilitada o un sistema específico, y después de un periodo determinado, la propiedad de la infraestructura es transferida a la autoridad pública.

Estos contratos son atractivos para nuevas inversiones que requieren de grandes montos de financiamiento.

La duración de estos contratos es normalmente el tiempo necesario para que el contratista privado amortice la deuda contratada y recupere el capital invertido. El ingreso de la empresa privada proviene normalmente del pago que le hace el contratante para la recuperación de sus costos fijos, los variables y la utilidad correspondiente, aunque en un número reducido de casos, es posible que parte o la totalidad de los ingresos del contratista provengan de la venta de agua residual tratada a una tercera empresa, normalmente del sector industrial. En estos contratos la compañía privada brinda un servicio directamente a los usuarios y de ellos obtiene sus ingresos.

Dentro de este tipo de contratos existen dos variaciones:

- **Contratos BOT (Construir-Operar-Transferir).** El sector privado transfiere la obra al sector privado tan pronto ésta es culminada.
- **Contratos BOO (Construir-Operar-Poseer).** La obra no es transferida a la autoridad pública, sino que pertenece a la compañía privada que es la que la construyó.

CAPÍTULO III. FINANCIAMIENTO DE SISTEMAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

Estos contratos son atractivos para nuevas inversiones que requieren montos considerables de financiamiento, tal como es el caso de sistemas de abastecimiento de agua en bloque, o el de plantas de tratamiento de aguas residuales. También han adquirido popularidad por el hecho de que el organismo público considera estos contratos como una forma de allegarse recursos financieros y tecnológicos para la inversión y operación de partes considerables de su infraestructura sin perder el control de la administración del sistema. No es posible olvidar, por otra parte, que es necesario pagar en el tiempo por la operación de las instalaciones y por la porción de la inversión que no ha sido subsidiada. Los resultados de recurrir a esquemas de participación privada en este tipo de proyectos, sin en paralelo asegurar que existe una fuente de repago segura o que se está trabajando ordenadamente para lograrla pueden ser negativos, como lo demuestran casos que todos conocemos. Este es un proyecto de este tipo, tanto del sector privado como del público, incluyendo la banca de desarrollo, considerando que en la mayor parte de los casos, la única fuente de repago sólida está basada en una eficiente operación del sistema en su conjunto, con niveles tarifarios adecuados.

B.2 Contratos BOOT Inverso.

En países donde los riesgos económicos o políticos son altos, las compañías privadas podrían no estar interesadas en invertir grandes montos de capital en la construcción de una nueva obra a través de los contratos BOOT o pueden solicitar altas primas por el riesgo, en estos casos, puede que sea preferible para el sector público el financiar y construir el proyecto con sus propios recursos y después contratar a una empresa privada para que la opere durante un período, con la finalidad de adquirirla gradualmente, para ello la empresa privada pagará una comisión anual a la autoridad pública, que usualmente cubre el monto de la deuda generada por el costo de inversión.

Este tipo de contratos ofrece una operación eficiente del sector privado y motiva a dicho operador a mantener la obra en buen estado, debido a que éste espera ser el dueño de la obra en el futuro.

B.3 Copropiedad.

Bajo este esquema, una empresa privada y la autoridad pública forman una alianza, inicialmente ambos sectores tienen las mismas o casi las mismas acciones de la compañía, posteriormente, la autoridad pública puede disminuir su nivel de participación, pero siempre conservando una parte, que le permita tener derechos especiales.

Las compañías en copropiedad requieren de un acuerdo corporativo que mencione al detalle los objetivos de la copropiedad, los derechos y obligaciones de los socios.

B.4 Privatización.

A través de este mecanismo la autoridad pública vende completamente a una empresa privada los activos que conforman el sistema de abastecimiento y distribución de agua, drenaje y saneamiento, y el operador privado será encargado de operar, mantener, administrar y financiar el servicio. Los ingresos del

inversionista privado se generarán directamente de la recaudación de los servicios proporcionados a los usuarios y sus utilidades dependerán directamente de la eficiencia operacional. Dentro de este esquema la autoridad pública se convierte en un órgano regulatorio, encargado de vigilar que los compromisos realizados por el inversionista privado se cumplan adecuadamente.

Los inversionistas privados serán atraídos principalmente por las tarifas que se les permita cobrar por el servicio, debido a que los activos, por sí mismos, no tienen un valor alternativo. El que los activos sean propiedad privada no significa que los recursos hidráulicos también lo sean. Experiencias recientes de privatizaciones totales del sector del agua, son muy limitadas, siendo un caso exitoso el de Inglaterra (1989).

III.5 CASOS DE PARTICIPACIÓN PRIVADA EN LA ADMINISTRACIÓN DE LOS SERVICIOS A NIVEL MUNDIAL Y EN MÉXICO

Si bien los esquemas de participación privada en los sistemas de agua potable y alcantarillado han tenido vigencia desde el siglo pasado, en algunos países europeos, particularmente en Francia, este no ha sido el caso general en el resto del mundo, aunque se detectan algunos casos aislados. Esta situación se ha modificado gradualmente y con intensidad creciente en los últimos 15 años. Hoy pueden mencionarse numerosos casos de participación privada en muy diversas modalidades en un número creciente de países. Recientemente se detectan proyectos de este tipo en los Estados Unidos, en donde esta posibilidad estuvo restringida hasta hace muy poco.

Algunos casos de Participación Privada en el Mundo

- Aguascalientes, Méx.
- Atlanta, E.U.A.
- Buenos Aires, Arg.
- Cancún, Méx.
- Cartagena, Col.
- Casablanca, Mar.
- Ciudad de México
- Gdansk, Pol.
- Indianápolis, E.U.A.
- La Paz, Bol.
- Lima, Perú
- Manila, Fil.
- Milwaukee, E.U.A.
- Navojoa, Méx.
- San Antonio, E.U.A.
- Santiago, Chile

Igualmente que en otros países, México tiene una experiencia reciente en la participación privada en la prestación de los servicios de agua y saneamiento. La iniciativa privada participa en diversas modalidades y los casos más relevantes son: Aguascalientes, Cancún, Ciudad de México, Puebla y Navojoa. La modalidad de contratación más utilizada ha sido a través de la contratación de servicios.

En relación a los casos de Aguascalientes y Cancún, se eligió concesionar la prestación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, en estos dos casos la empresa privada tiene a su cargo la administración integral del sistema, así como la obligación de realizar obras de rehabilitación y ampliación de la infraestructura. La empresa privada se compromete además a incrementar los niveles de eficiencia del sistema en su conjunto.

Con respecto al caso de la Ciudad de México, se eligió un modelo de prestación de servicios en diferentes etapas, con responsabilidad creciente de 4 empresas que participan en diferentes conjuntos de delegaciones; se espera que al final del proceso las empresas se encarguen en modalidad análoga a la de arrendamiento, de la totalidad de los servicios de distribución, medición, facturación y cobranza, así como de la rehabilitación y mantenimiento de las redes de agua potable y alcantarillado.

El caso de Novojoa se inicia en 1997, en dicha localidad se decidió incorporar a la empresa privada a través de un contrato de prestación de servicios de largo plazo. La empresa tiene a su cargo la administración integral de los servicios, realizando además obras de ampliación y rehabilitación de la infraestructura.

Resultados de la Participación Privada en México

Los resultados de la experiencia de participación privada han tenido aspectos positivos, aún cuando la mayor parte de los proyectos han enfrentado problemas derivados de la crisis económica de 1995, lo que afectó a los proyectos, particularmente en sus etapas de inicio, en dónde típicamente son más vulnerables.

En relación al de Aguascalientes, éste ha logrado avances en materia de incrementos de eficiencia y de cobertura de los servicios. Sin embargo, la falta de un marco jurídico y regulatorio adecuado ha afectado al proceso.

El proyecto de la Ciudad de México a la fecha empieza a mostrar resultados positivos, en particular en lo que se refiere al incremento en los niveles de recaudación, con el consecuente impacto en las finanzas del sistema en su conjunto. Se tienen avances importantes en lo que se refiere al incremento de la eficiencia física.

Por lo que respecta al proyecto de Cancún, se tienen avances en materia de aumentos de cobertura y eficiencias, pero mantiene retrasos en los montos de inversión comprometidos y poco avance en materia de regulación.

Es importante señalar, que la participación privada en la prestación de los servicios en México, sirve a una población de aproximadamente 11 millones.

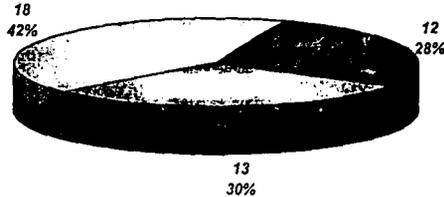
III.6 PARTICIPACIÓN PRIVADA EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Además de la participación privada en la administración de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, en México también existe participación privada en concesiones de plantas de tratamiento, bajo esquemas BOOT. Estos proyectos han permitido incrementar sustancialmente el porcentaje de tratamiento de aguas residuales. Las experiencias vividas en su ejecución y operación se están tomando en cuenta para impulsar proyectos bajo condiciones mucho más satisfactorias.

CAPÍTULO III. FINANCIAMIENTO DE SISTEMAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

Cabe mencionar que hasta el año 1997 de un total de 43 plantas concesionadas bajo esquemas BOOT existían 12 en operación; 13 plantas habían sido canceladas y 18 se encontraban en proceso de renegociación de contratos.

Fig. III.2 Participación Privada en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, 1997



■ Operando □ Canceladas □ Suspendidas

El monto de inversión que se estimó para el programa de 43 plantas fue de 530 millones de dólares. Las 12 plantas en operación representaron una inversión de 170 millones de dólares. El capital invertido fue de aproximadamente 35 millones que significó un poco más del 20% de la inversión realizada. Las plantas actualmente en operación permitieron incrementar la capacidad instalada nacional en 7,200 lps.

CASO EJEMPLAR

VALLARTA, PLANTA PROTOTIPO EN TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS

Con el fin de cubrir la creciente necesidad de saneamiento de los afluentes de aguas para proteger la bahía e impulsar el turismo, la compañía internacional Biwater estableció en Puerto Vallarta su primera planta de tratamiento en México, la cual se constituyó como un prototipo de eficiencia en el ámbito nacional.

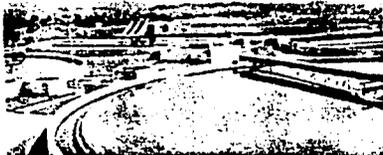
El incremento de la densidad poblacional en este importante destino turístico situado en el Pacífico mexicano, provocó que pronto se viera superada la capacidad de las instalaciones originales de tratamiento de aguas residuales.

Como parte de una iniciativa de la autoridad de aguas del municipio se encargó a Biwater el proyecto, que con una inversión de 33.2 millones de dólares estableció una empresa subsidiaria denominada **Compañía Tratadora de Aguas Negras de Puerto Vallarta SA de CV (CTAPV)**, para financiar, diseñar, construir, instalar y operar la primera planta de tratamiento de aguas negras conforme al esquema de Transferencia y Funcionamiento de Construcción Propia (BOOT, por sus siglas en inglés).

CAPÍTULO III. FINANCIAMIENTO DE SISTEMAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

El financiamiento lo proporcionaron la Corporación Internacional de Finanzas y otras entidades crediticias comerciales mexicanas e internacionales.

La construcción de la planta comenzó en 1992, e inició sus operaciones en febrero de 1995, a la fecha, la calidad de sus afluentes ha superado siempre las normas ambientales establecidas.



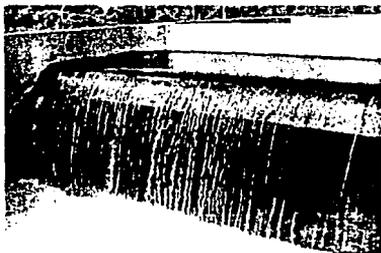
El director general de Biwater en México, Ronald J. Pealing, comentó que el problema con este tipo de esquemas radica en que el costo de financiamiento es muy alto, pues deben realizarse mediante préstamos, por lo que es necesario sostener una tarifa adecuada que permita cumplir con los compromisos adquiridos —actualmente es de tres pesos por metro cúbico—, es una inversión a largo plazo, las utilidades se comienzan a registrar a partir del décimo año del contrato.

Agregó que las especificaciones contractuales son en carácter de prestación de servicios, donde Biwater asume todos los riesgos inherentes a la operación de la compañía tratadora de aguas residuales.

Por su parte, el proveedor de servicios de agua en Puerto Vallarta se encarga de enviar los flujos de aguas negras a la CTAPV para su tratamiento, que se realiza por el método de oxidación aeróbica con un sistema conocido como lodos activados, en donde el tiempo de retención del agua en la planta es de 24 horas.

Pealing indicó que los lodos resultantes del proceso pueden ser utilizados como abonos de excelente calidad en actividades agrícolas, ya que están compuestos por gran cantidad de materia orgánica, nutrientes como nitrato, fosfato, sulfato, además de que contienen 75% de humedad, asimismo podría ser viable utilizarlos para recuperar extensiones de tierra dañadas por la erosión marítima.

Sus descargas están muy por debajo de los límites permisibles por la norma, que se refiere básicamente a la concentración de contaminación del agua ya tratada, por lo que sus afluentes son compuestos por agua cristalina de alta calidad, que puede incluso usarse industrialmente. Se destaca el porcentaje cero de coliformes fecales, aun cuando el rango admitido está por debajo de mil sobre cien mililitros.



Y aunque no está delimitado en el contrato, las descargas también están libres de amoníaco, sustancia que es sumamente tóxica para la fauna marina.

La planta está diseñada para tratar un caudal máximo de aguas negras de dos mil 500 litros por segundo, y se alimenta a través de una tubería de impulsión de 17 kilómetros de largo desde el pueblo. Se proporciona un tratamiento totalmente biológico que supera las normas reconocidas internacionalmente, de acuerdo con un proceso convencional de fango de aguas negras activado.

La CTAPV tiene en explotación la planta durante un periodo de 15 años con una responsabilidad para todo el mantenimiento y las piezas de repuesto. *(La versión íntegra del reportaje se encuentra en los ANEXOS).*

Algunas lecciones de la Participación Privada en México

Del análisis de la experiencia que tenemos en nuestro país referente a la participación privada en los sistemas de agua y saneamiento pueden extraerse recomendaciones novedosas, entre las que se encuentran las siguientes:

- Asegurar en lo posible el compromiso político en todos los niveles de toma de decisión y el apoyo de las organizaciones sociales antes de iniciar cualquier proceso de participación privada integral.
- Seleccionar adecuadamente la modalidad más adecuada de contratación.
- Adoptar un proceso competitivo, totalmente transparente de licitación y adjudicación.
- Diseñar contratos y títulos de concesión realistas y tan específicos como sea posible, pero que incluyan elementos de flexibilidad que permitan ajustes conforme se tenga más información a lo largo de la operación del contrato.
- Estructurar proyectos de forma que estos representen una alta calidad crediticia y un riesgo aceptable para los inversionistas, con una razonable asignación de riesgos entre los participantes.
- Establecer mecanismos que permitan un adecuado manejo de tarifas. De requerirse incrementos tarifarios, llevar a cabo estos, de preferencia, antes de iniciar la participación privada.
- Finalmente, y esto constituye un aspecto fundamental, es importante desarrollar un marco regulatorio adecuado y el marco institucional correspondiente antes de iniciar el proceso de licitación.

Características relevantes del Marco Jurídico y Regulatorio

En México, la responsabilidad de la prestación de los servicios de agua y saneamiento es responsabilidad de las autoridades locales.

Por su parte, el Gobierno Federal ha promovido diversos mecanismos que faciliten una participación privada satisfactoria, los cuales se relacionan con aspectos jurídicos y regulatorios, el Gobierno Federal ha analizado las características de las diversas legislaciones estatales vigentes en la materia y, con base en las que se han considerado más avanzadas, ha desarrollado un Proyecto de Ley Estatal de Agua, en la que se subrayan los aspectos que se consideran importantes para fortalecer la capacidad de gestión de los organismos y apoyar a la prestación eficiente de servicios satisfactorios para los usuarios. Algunos aspectos relevantes del Proyecto mencionado son los siguientes:

- El reconocimiento explícito de los diversos tipos de organización que pueden prestar los servicios, incluyendo a empresas privadas y mixta.
- La obligación, sin importar que tipo de organización sea la responsable por la prestación de los servicios, de contar con un Plan Estratégico de Desarrollo o Plan Maestro, cuyo cumplimiento se debe evaluar periódicamente en forma pública y que debe actualizarse sistemáticamente.
- La definición de mecanismos específicos para la selección del Director General del Organismo y sus colaboradores más cercanos.
- El estímulo a una participación más amplia de los usuarios en los procesos de toma de decisiones.

CAPÍTULO III. FINANCIAMIENTO DE SISTEMAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

Una expresión más explícita de los componentes que deben tomarse en cuenta en el cálculo de las tarifas, para asegurar que se tienda a la autosuficiencia financiera de los organismos, reconociendo por otra parte, según el caso, la necesidad de tomar en cuenta explícitamente los subsidios.

Una caracterización más precisa de diferentes aspectos relacionados con la prestación de los servicios por empresas privadas, incluyendo aspectos tales como las modalidades de participación, los procesos de selección de empresas, lineamientos generales que deben contener los contratos y títulos de concesión, procesos de revocación o rescisión, los tipos de garantías que conviene que se crucen entre las partes, entre otros.

La creación de un Órgano Regulador de los Servicios, con características de independencia política y económica, que no debe participar en actividades de operación para evitar conflictos funcionales. Este Órgano se concibe como un apoyo al municipio para el cumplimiento de las responsabilidades a su cargo, asegurando que los servicios se presten en calidad, cantidad y continuidad adecuadas, al costo mínimo, tanto si los mismos son responsabilidad de un organismo público como si se dan a través de algún tipo de participación privada.

Debe enfatizarse, por las características de nuestro sistema de gobierno, que la adopción de las propuestas contenidas en este Proyecto de Ley, es una decisión que corresponde totalmente a la autoridad estatal, con la aceptación de los municipios; en cada caso, la adopción, de aceptarse, deberá ajustarse a las condiciones jurídicas e institucionales de cada entidad.

Fondo de Inversión en Infraestructura (FINFRA) de BANOBRAS

En lo que se refiere a aspectos financieros y con la finalidad de contribuir en la canalización de recursos, el Gobierno Federal creó el Fondo de Infraestructura (FINFRA), operado por BANOBRAS, a través del cual el sector público puede participar como accionista en proyectos de infraestructura. La participación pública se puede dar de la siguiente manera:

- Con capital de riesgo para proyectos con alta viabilidad social y financiera, la participación pública es de 35% del total del capital.
- Con capital subordinado para proyectos con alta viabilidad social pero baja viabilidad financiera, (la participación pública es de 40% del total de la inversión).
- Dos características fundamentales para que el fondo pueda canalizar recursos, es que los proyectos deberán ser preferentemente nuevos y requerirán de proceso de licitación.

Cobertura del Riesgo Político: Línea de Crédito Contingente y Revolvente

En lo que se refiere a la estructuración de esquemas de cobertura de riesgos y con el objeto de cubrir el riesgo político en proyectos de participación privada, comúnmente en México se ha utilizado un esquema mediante el cual el concedente se compromete a contratar una línea de crédito contingente y revolvente con alguna institución de crédito nacional, incluyendo Banobras. Dicha línea se caracteriza por tener como contragarantía las participaciones que en ingresos federales que le correspondan al concedente.

Mediante esta línea de crédito se protege al inversionista privado de incumplimientos por parte del concedente a ciertos compromisos adquiridos en el contrato, en particular a la falta de autorización de incrementos tarifarios a los que el concedente se haya comprometido realizar.

III.7. ELEMENTOS EN EL ÉXITO DE LA PARTICIPACIÓN DEL SECTOR PRIVADO

El éxito de la participación del sector privado debe ser vista como una sociedad entre los sectores público y privado, persiguiendo el maximizar los beneficios para los usuarios.

Los tres objetivos del sector público con respecto a la participación del sector privado son:

1. La expansión en el abastecimiento de agua y drenaje con el fin de incrementar la cobertura.
2. El incremento en el tratamiento de aguas residuales con el fin de reducir las aguas contaminadas.
3. El proveer de una mejor calidad de servicios.

Los objetivos secundarios son:

1. El asegurar un incremento en la eficiencia de la operación.
2. El financiar el sistema sin subsidios por parte del gobierno.

La cooperación entre los sectores público y privado deberá ser de mutuo beneficio, y el usuario final deberá ser informado adecuadamente acerca de las razones por las cuales se está haciendo participar al sector privado, en lo que naturalmente se percibía, como un monopolio del sector público.

Se deberá seleccionar la opción más adecuada para la participación del sector privado, tomando en cuenta los aspectos políticos, los legales, las circunstancias culturales, los aspectos financieros y las características técnicas del servicio o proyecto en cuestión.

**CAPÍTULO IV. COMERCIALIZACIÓN DE SISTEMAS PARA EL
REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA**

CAPÍTULO IV. COMERCIALIZACIÓN DE SISTEMAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

IV.1. LA EMPRESA DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO COMO SISTEMA

La organización ha sido definida como la estructura según la cual un grupo de individuos se asocia e interrelaciona para llevar a cabo un trabajo o cumplir unos fines; o sea que la organización es un mecanismo para fomentar la colaboración humana y un vehículo para lograr un objetivo.

La administración es el proceso mediante el cual se aplican principios científicos para la solución de problemas, para escoger rutas de actividad que optimicen la utilización de recursos escasos para lograr el objetivo deseado.

A través del tiempo se han buscado formas de organización para realizar trabajos, para administrar negocios y obtener máximos rendimientos, para motivar los individuos y conseguir mayores resultados y beneficios para todos los participantes en una empresa. Se han formulado y aplicado varias teorías de la organización y de la administración, todas ellas con ventajas y problemas, siempre procurando llevar a cabo un trabajo con eficiencia, productividad, de manera planeada y coordinada, con la participación e interacción de todos los trabajadores. Pasando por la teoría clásica de la administración, la teoría de las relaciones estructurales e interpersonales, etc. se llega a la teoría de los sistemas, surgida con la aparición de la computadora electrónica.

De acuerdo con la teoría de los sistemas, a la organización se la puede ver como un sistema compuesto de subsistemas cuya interacción determina su subsistencia; y a una empresa, como un conjunto de elementos relacionados entre sí y en permanente interacción; esto es, un sistema en el cual la organización es su componente procesador.

Según el enfoque de sistema, la empresa es considerada como un organismo vivo, un sistema que requiere la administración eficiente de sus subsistemas para transformar las entradas de recursos en salida de productos o de servicios útiles. Los recursos incluyen información, materiales, dinero, fuerza humana y máquinas e instalaciones; el mecanismo que transforma las entradas en salidas, es la organización; la unión de las diversas partes del sistema para formar una estructura conectada, se efectúa mediante la comunicación; los sistemas de información proporcionan el eslabón indispensable que hace que las partes del sistema se comuniquen entre sí y con su ambiente externo.

La concepción de la empresa como un sistema permite a la administración integrar y sintetizar los diversos elementos componentes –*técnicos y sociales*– a fin de planificar, ejecutar y controlar las acciones conducentes a la consecución de sus objetivos.

CAPÍTULO IV. COMERCIALIZACIÓN DE SISTEMAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

H. Fayol estableció que todas las operaciones que se desarrollan en las empresas pueden repartirse entre los seis grupos siguientes:

1. Operaciones técnicas (producción, fabricación, transformación).
2. Operaciones comerciales (compras, ventas, cambios).
3. Operaciones financieras (obtención y ganancia de los capitales).
4. Operaciones de seguridad (protección de los bienes y de las personas).
5. Operaciones de contabilidad (inventario, balances, precios de costo, estadística, etc.).
6. Operaciones administrativas (previsión, organización, dirección, coordinación y control).

Ya sea la empresa simple o compleja, pequeña o grande, estos seis grupos de operaciones o funciones esenciales existen siempre.

El análisis de la organización de las empresas de agua potable y saneamiento, con enfoque de sistemas, y considerando sus objetivos así como las condiciones especiales del ambiente en que ellas actúan, ha conducido a agrupar las operaciones o funciones esenciales que normalmente deben realizar para cumplir sus fines, en cinco sistemas denominados *sistemas organizacionales*; y las actividades que corresponden a cada función o funciones de un sistema, en subsistemas de diverso orden, así:

Sistema de PLANIFICACIÓN. Responsable por la formulación de los planes generales de desarrollo de la empresa en sus diferentes etapas: *a largo plazo* (planificación estratégica), *a mediano plazo* (planificación táctica) y *a corto plazo* (planificación operacional).

Las funciones del sistema se realizan a través de los subsistemas de:

- Planificación física.
- Planificación organizacional.
- Planificación económico-financiera.
- Programación.
- Control.

Sistema OPERACIONAL. Responsable de proveer los medios necesarios para la prestación de los servicios, mediante la administración de la elaboración de proyectos y de la construcción de obras, la operación de los sistemas de agua y alcantarillado y el mantenimiento de las instalaciones y equipos.

Las funciones del sistema se realizan a través de los subsistemas de:

- Gerencia de proyectos y obras.
- Operación de los sistemas de agua y alcantarillado.
- Mantenimiento de instalaciones y equipos.

Sistema COMERCIAL. Responsable por la promoción, venta y cobro de los servicios, y por el mantenimiento y la expansión del mercado usuario.

Las funciones del sistema se realizan a través de los subsistemas de:

- Comercialización.
- Registro catastral de usuarios.
- Medición de consumos.
- Facturación y cobranza.

Sistema FINANCIERO. Responsable por la obtención y administración de los recursos financieros y por el registro, análisis y control de las operaciones financieras.

Las funciones del sistema se realizan a través de los subsistemas de:

- Administración de recursos financieros.
- Contabilidad.

Sistema ADMINISTRATIVO DE APOYO. Responsable por dar el apoyo en recursos humanos, en recursos materiales, en servicios (transportes, comunicaciones, servicios generales) y en relacionamiento con la comunidad (comunicación social).

Las funciones del sistema (que puede considerarse como un conjunto de sistemas) se realizan a través de los subsistemas de:

- Administración y desarrollo de los recursos humanos.
- Administración de suministros.
- Administración del patrimonio.
- Administración de transportes.
- Comunicación social.

Sistema de INFORMACIÓN. Los flujos de información, junto con los canales de comunicación, son elementos integradores de los sistemas organizacionales.

El sistema de información gerencial proporciona información para apoyar las funciones de planificación, ejecución y control, y la toma de decisiones en todos los niveles de la organización (*alta dirección-planificación estratégica, gerencia media-control gerencial, gerencia operacional-control operacional, operación-transacciones*), de cada función organizacional (planificación, operacional, comercial, financiera y apoyo administrativo).

La conformación o estructura sistemática de la empresa como fue descrita, es una manera de agrupar las actividades afines en funciones y éstas en sistemas, para así realizar los procesos mediante los cuales pueden cumplirse los fines de la institución. Este arreglo no necesariamente coincide con su estructura orgánica (organigrama) pero en las unidades de ésta deben estar incluidas íntegramente todas

las funciones organizacionales y todas las actividades pertinentes, así como establecidos los canales de comunicación que permiten la interrelación de los elementos componentes de los sistemas.

De todas formas, en la organización clásica o en la moderna, la **función comercial** es uno de los componentes importantes de la actividad empresarial y es evidente y muy destacada su participación en el cumplimiento de los fines de las instituciones prestadoras de servicios de agua potable y alcantarillado.

IV.2. FUNCIÓN DE LAS EMPRESAS DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

La historia del abastecimiento de agua a las comunidades ha hecho manifiesta la preocupación de la gente por tener a su disposición tan indispensable elemento de subsistencia y también la idea de que su provisión tenga que estar a cargo del Estado y recibirse de forma gratuita.

Ese criterio de gratuidad ha guiado la acción de los gobiernos en la prestación de los servicios de agua potable y de saneamiento, con el resultado de insuficiente cubrimiento de las poblaciones tanto en cantidad como en calidad de los servicios, dándolos a pocos y cobrándolos a muchos a través de impuestos y otras formas de retribución indirecta o el franco subsidio lo que originó a los gobiernos a endeudamientos difíciles de enfrentar en el tiempo.

El acelerado crecimiento de la población y de sus necesidades de servicios, ha exigido la inversión de cuantiosos recursos económicos en la construcción de obras e instalaciones capaces de suministrar los servicios en cantidad, calidad y cobertura adecuados a la satisfacción de las demandas, así como en la operación, mantenimiento y administración de los sistemas. Pero en pocos casos la capacidad de las instalaciones en servicio ha acompañado el aumento de la demanda, por insuficiencia de magnitud o por deterioro causado por el uso y la falta de mantenimiento; y siempre el problema se ve agravado por la carencia de recursos para su mejoramiento, ampliaciones, operación y mantenimiento adecuado.

Ante tal situación y frente al constante déficit de disponibilidades presupuestales del gobierno para apoyar significativamente el desarrollo de los servicios acorde con los requerimientos de las poblaciones urbana y rural, se ha determinado también los usuarios que deben contribuir a la solución y que únicamente con la participación de todos, **gobierno, iniciativa privada, comunidades y usuarios**, podrá lograrse la satisfacción de las necesidades de servicios.

No se piensa más en servicios gratuitos o cobrados a través de contribuciones indirectas. La prestación de un servicio tiene un costo causado por las inversiones en obras y por el funcionamiento de los sistemas de producción y distribución de agua potable y del tratamiento, reuso y evacuación de las aguas residuales. Ese costo debe ser cubierto por el Estado, por los usuarios o por ambos y las empresas responsables tienen que establecer los medios para obtener oportuna y efectivamente los ingresos de dinero que les pertenecen como **sector de servicio**.

Se determina así, que las empresas son establecidas y funcionan para satisfacer las necesidades de servicios de las comunidades y que los usuarios deben pagarlos a fin de producir los ingresos suficientes para que puedan serles suministrados adecuadamente. De ese modo se efectúa un intercambio de esfuerzos, de beneficios y retribuciones, o sea que se realiza una **actividad comercial**, la cual implica para las empresas no solamente hacer una venta de servicios, sino también conocer y satisfacer lo que el

usuario necesita en términos de comodidad, cantidad y calidad, encontrar la mejor manera de atender la necesidad a un costo accesible al mayor número de usuarios, promover el uso de los servicios y enseñar a hacer su mejor utilización. En esto se involucran un cierto criterio comercial de explotación de un mercado consumidor y un concepto social de satisfacción de una necesidad con suficiencia y al menor costo posible.

Demanda y oferta de servicios, consumo, costo, venta, mercadeo, etc., son elementos que se han introducido en el **campo de la prestación de servicios de agua potable y saneamiento**, conceptos económicos que obligan a las instituciones tradicionalistas a dejar de lado la política paternalista de gratuidad y subsidio, y convertirse en empresas municipales o privadas capaces de cumplir su misión con sus propios recursos, los producidos por la prestación de los servicios, aplicando principios económicos y una estrategia de autosuficiencia. Su nuevo carácter, es el de empresas comerciales que tienen un producto para vender y consumidores para comprarlo.

El concepto económico de comercio y mercado define la **función comercial** de las empresas de agua y saneamiento, como la de promoción, venta y cobro de los servicios, expansión y mantenimiento del mercado consumidor. Esa función es, en gran parte, la responsable de la subsistencia y prosperidad de las empresas y de capacitarlas económicamente para cumplir la importante misión que les ha sido asignada.

Según la política de autosuficiencia que debe guiar la acción de las instituciones, la prestación de los servicios de agua potable y alcantarillado y su comercialización son las dos actividades fundamentales mediante las cuales cumple su misión y asegura la permanencia y desarrollo de los servicios, esto es que aquellas constituyen sus **actividades-fin**. De ahí la importancia que toma la función comercial dentro del conjunto de funciones de la organización, como principal participante en la consecución de los fines institucionales.

IV.3. LA COMERCIALIZACIÓN DE LOS SERVICIOS

La tradicional consideración de los servicios públicos de agua y saneamiento con enfoque social y de salud, atendibles de forma obligatoria por el Estado y sin interés por una retribución económica, no ha motivado de manera importante la provisión de esos servicios, ni la promoción de su adquisición cuando se les tiene disponibles, como tampoco ha dado importancia al cobro de los mismos como medio para constituir una fuente de recursos capaz de financiar los gastos de inversión, de funcionamiento y de reposición de los sistemas.

En el pasado, en su gran mayoría los sistemas de abastecimiento de agua y de alcantarillado estuvieron a cargo de organismos de la administración pública y en pocos casos fueron administrados por empresas autónomas, institutos o empresas de economía mixta, para encargarlas de la prestación de los servicios, pero económicamente continuaron dependiendo principalmente de los presupuestos oficiales y administrativamente siguieron ligadas a la administración pública. En general, esa es aún la situación del sector y con ello la pretendida autosuficiencia no ha pasado de ser una **buena intención**.

Con esas circunstancias, la **comercialización** de los servicios, como **actividad-fin** realizadora de la función comercial de la empresa, no ha tenido la fuerza y respaldo necesarios para alcanzar un alto grado de desarrollo que le dé capacidad para obtener el máximo beneficio económico y social de los servicios instalados. Apenas se le tiene reducida a facturar los servicios prestados a los usuarios que figuran en

deficientes registros catastrales y a ejercer una poco efectiva acción de cobranza, sin definición clara de los objetivos y de las políticas que permitan cumplir la función de forma consistente y eficaz.

El resultado de tal actuación es la existencia de un alto porcentaje de usuarios fraudulentos, de registros catastrales deficientes de usuarios, bajo porcentaje de medición domiciliaria, facturación inexacta y descontrolada, recaudación escasa y acumulación de deudas de los usuarios; en resumen, producción de ingresos insuficientes para la empresa y el descontento de los usuarios por la deficiencia de los servicios prestados.

Como *actividad-fin*, la comercialización deberá tener mayor amplitud y significación que la que comúnmente le han concedido las autoridades de las instituciones prestadoras de los servicios. Ella incluye estrategias y acciones acordes con la política de dar los mejores y más económicos servicios para establecer, expandir y conservar la clientela; tendrá que realizar un conjunto de acciones de registro de usuarios, medición de consumos, facturación, cobranza, control y relación con los usuarios de los servicios; exige una organización adecuada al logro de los objetivos en un vasto campo de acción; y requiere el apoyo de un sistema de información que sirva como elemento integrador de la acción de todos los elementos que intervienen y dé base para la evaluación de la gestión y para la toma de decisiones conducentes al mejor desempeño y desarrollo de la función comercial.

La comercialización es el eslabón que permite mantener en actividad constante el ciclo de prestación de servicios, el cual se inicia con las demandas de los usuarios, continúa con la planificación, el financiamiento y la ejecución de las obras y sigue con la operación de los sistemas y la prestación de los servicios a los usuarios; luego, con la promoción y venta de los servicios (*objetivos de la comercialización*) se realiza el retorno financiero de la inversión que permitirá el financiamiento de nuevos planes de expansión de los servicios.

Una activa y bien planeada gestión de comercialización es la respuesta para la solución de los constantes déficits financieros de las empresas, y es una vía hacia la autosuficiencia; con ello se obtendrán mayor número de usuarios, mejor respuesta financiera, mejores acciones de servicio y optimización de la relación producción / demanda de agua.

IV.4. EL SISTEMA COMERCIAL

La comercialización de los servicios implica la intervención de numerosos y diversos elementos y la ejecución de muchas operaciones, todos ellos actuando como componentes de un todo o un sistema que, de manera conjunta e interrelacionada, persigue el cumplimiento de la función comercial.

El universo en que debe desarrollarse la comercialización es vasto y complejo, por la cantidad de usuarios involucrados y por la diversidad de condiciones socio-económico-culturales de los habitantes a quienes hay que atender. Las acciones sobre este universo deben ser planeadas, ejecutadas y controladas teniendo en cuenta esos factores, a fin de que sus resultados sean benéficos para la institución y no produzcan perturbación de las buenas relaciones entre ésta y las comunidades.

Un desarrollo armónico, ordenado y eficiente de la función comercial, que responda a las necesidades y condiciones tanto de la institución como de los usuarios, solamente puede conseguirse con

la integración de elementos, factores y operaciones en un sistema que, mediante una estructura adecuada y un plan coordinador de las acciones, realice los procesos necesarios para obtener como producto la captación de usuarios, la satisfacción de todos y la recaudación de los ingresos requeridos para la autosuficiencia de la empresa.

Este sistema, que necesariamente forma parte, como componente fundamental del super sistema empresa y actúa solidariamente con los otros sistemas organizacionales (*planificación, operacional, financiero y apoyo administrativo*) es el denominado **sistema comercial**, que se establece y actúa para cumplir la función comercial con eficiencia, economía y aceptabilidad.

El *sistema comercial* actúa integrada y solidariamente con los otros sistemas para lograr el objetivo global de la empresa; a través de sus subsistemas logra la participación de la comunidad en el sostenimiento y utilización racional de los servicios que los usuarios requieren y están dispuestos a pagar.

Dentro de la empresa el sistema comercial tienen una indiscutible importancia, tanta o mayor que la de cualquiera de los otros sistemas, porque constituye el medio por el cual se perciben los ingresos producidos por la venta de los servicios y con el comportamiento de los usuarios en el pago y en las reclamaciones, mide su grado de satisfacción por los servicios recibidos.

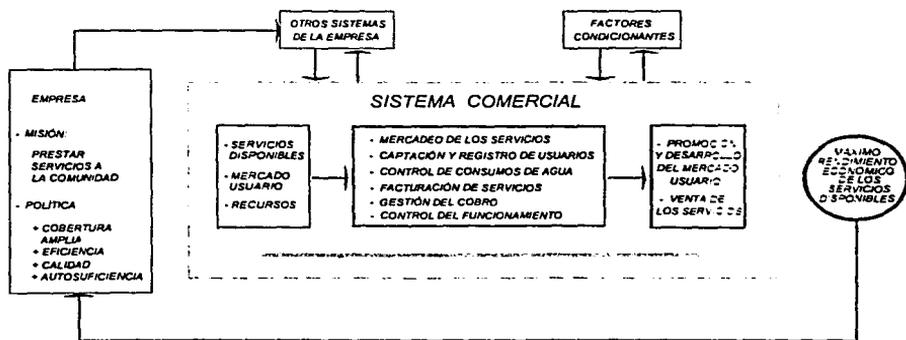


Fig. IV.1 Esquema del Sistema Comercial

IV.4.1. DEFINICIÓN Y OBJETIVOS

El sistema comercial de una empresa de agua potable y alcantarillado es uno de sus sistemas organizacionales, mediante el cual se realiza la función comercial de promoción y venta de los servicios, y el mantenimiento y expansión del mercado consumidor.

Su objetivo general es obtener para la empresa el óptimo rendimiento económico de los servicios de agua potable y alcantarillado disponibles, mediante su venta y cobro al mayor número posible de usuarios.

Sus objetivos particulares son:

- a) Conseguir la máxima utilización y aprovechamiento de los sistemas instalados y mantener el mercado consumidor de servicios;
- b) Mantener una buena relación entre la institución y los usuarios, buscando la satisfacción de éstos y su buena voluntad de pagar;
- c) Conocer y tener registrados todos los usuarios reales, los factibles y los potenciales que contribuyen el mercado de servicios de la empresa;
- d) Lograr la utilización racional del servicio de agua y garantizar el cobro justo de los consumos;
- e) Determinar el valor de los servicios prestados a los usuarios manteniendo el estado de sus cuentas con la institución;
- f) Obtener la recaudación total de los valores facturados a los usuarios por la prestación de los servicios, y
- g) Producir información sobre el comportamiento de los usuarios, los consumos, las tarifas y la cobranza, útil para el control de los procesos del sistema y la evaluación de los resultados de la gestión.

IV.4.2. FUNCIONES

El sistema comercial realiza la función comercial como su función general, mediante la cual participa en el cumplimiento de los objetivos de la empresa.

Sus funciones particulares (subfunciones), con la realización de las cuales se cumplen los objetivos particulares, son las siguientes:

- a) Promoción de los servicios entre las zonas urbanas, para expandir el mercado consumidor con miras a posibilitar el uso de los servicios al máximo número de usuarios;
- b) Educación de los usuarios sobre el uso racional y útil de los servicios;
- c) Investigación de las necesidades de los usuarios y de sus opiniones sobre los servicios, así como atención de sus reclamos;
- d) Incorporación de los usuarios factibles al sistema y registro catastral de los usuarios reales, factibles y potenciales;

Usuario real, es el que tiene conectados los servicios de agua y/o alcantarillado, se abastece por carro tanque y está registrado en el catastro de usuarios,

Usuario factible, es todo predio localizado sobre vías con redes de agua y/o de alcantarillado, que no tiene conectados los servicios,

Usuario potencial, es el que no tiene conectados los servicios ni tienen redes disponibles frente al predio y cuenta con vocación para su uso del servicio por su tipo de actividad.

CAPÍTULO IV. COMERCIALIZACIÓN DE SISTEMAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

- e) Gestión de la medición, cuidado de los medidores y control de consumos;
- f) Mantenimiento de cuentas corrientes de débitos y créditos a cada uno de los usuarios, por concepto de los servicios;
- g) Facturación de cuentas a los usuarios para accionar la cobranza y el pago de las deudas contraídas;
- h) Gestión del cobro de los adeudos con la empresa, el control de su pago y de la recaudación de valores;
- i) Mantenimiento de un sistema de información sobre los diversos aspectos involucrados en la gestión del sistema comercial;
- j) Estudio del comportamiento de los factores determinantes de las tarifas, para establecer el nivel o valor medio de la tarifa y la estructura tarifaria más conveniente; y
- k) Control del funcionamiento del sistema de evaluación de los resultados de la gestión.

IV.4.3. COMPONENTES

El conjunto de actividades concernientes al funcionamiento del sistema comercial se agrupan en subsistemas, a través de los cuales se realizan las funciones particulares y se cumple la función general. Todo el conjunto debe interactuar coherentemente y atendándose a los factores condicionantes externos e internos.

La estructura sistemática que más se acomoda a la realización eficiente y ordenada de las funciones y da mejor respuesta a las necesidades de ejecución de las numerosas y complejas actividades en un vasto campo de acción, es la constituida por los siguientes subsistemas:

1. Subsistema de Comercialización de los Servicios

Cumple su función:

- a) Mediante el estudio de los usuarios reales, factibles y potenciales que componen el mercado de servicios;
- b) Desarrollando programas de promoción para captar nuevos clientes y de educación al usuario para inducirlo a la buena utilización de los servicios;
- c) Manteniendo una buena relación de la institución con los usuarios, atendiendo sus reclamos y buscando la satisfacción de sus necesidades; y
- d) Participando en el estudio de los factores que intervienen en las tarifas, en la determinación de los precios a cobrar y en la distribución de los mismos (estructura tarifaria), la autoridad municipal que corresponda.

2. Subsistema de Catastro de Usuarios

Cumple su función:

- a) Gestionando la incorporación de los nuevos usuarios, como abonados o suscriptores;
- b) Manteniendo un registro catastral actualizado de los usuarios reales (suscriptores) y de los factibles;
- c) Investigando la existencia de usuarios no registrados; y
- d) Produciendo información básica para el cobro de los servicios y para la comercialización.

El registro catastral o padrón es útil no solamente para conocer los usuarios y facturar los servicios, sino también como elemento informativo para el control del mercado, para la gestión de comercialización y para la formulación de los planes de la empresa.

3. Subsistema de Medición de Consumos.

Cumple su función:

- a) Estudiando las necesidades de medición instalación más productiva de medidores domiciliarios;
- b) Implantando la micromedición más conveniente a los intereses de la empresa y de los usuarios;
- c) Manteniendo los medidores en condiciones que garanticen exactitud, funcionamiento continuo y factibilidad de ser leídos;
- d) Determinando los consumos efectuados por los usuarios; y
- e) Produciendo información sobre el comportamiento de la demanda y de los consumos.

4. Subsistema de Facturación y Cobranza.

Cumple su función:

- a) Estableciendo y manteniendo una cuenta individual para cada suscriptor, que registre los consumos y los valores casados y los pagados por la prestación de los servicios;
- b) Emitiendo periódicamente facturas o cuentas a cada suscriptor con los valores adeudados;
- c) Gestionando el pago de las cuentas y obligándolo por medios adecuados, inclusive la suspensión del servicio de agua a los deudores morosos; y

- d) Produciendo información que permita conocer los valores emitidos y los recaudados, controlar las deudas pendientes y evaluar el comportamiento de la medición, la facturación, la cobranza y la respuesta de los usuarios a las políticas comerciales de la institución y el sistema de cobro (régimen tarifario).

En el sistema total, además de los subsistemas actúan otros elementos que de una u otra forma se asocian a la operación total e intervienen como condicionantes o coadyuvantes del funcionamiento, como son las políticas, las normas, la organización funcional, los procedimientos, los recursos, la comunicación y las informaciones que apoyan las operaciones, la administración, la toma de decisiones y de manera especial, los usuarios y el ambiente en que se desarrolla la actividad.

IV.4.4. POLÍTICAS

Las acciones desarrolladas para alcanzar los objetivos del sistema comercial no alcanzarán resultados consistentes y eficaces, a menos que se efectúen siguiendo políticas que las guíen hacia los fines propuestos y orienten las decisiones ejecutivas.

Una de las grandes restricciones para la eficacia de la comercialización es la carencia de políticas consistentes, que permitan el cumplimiento de la función comercial de forma amplia, coherente y decidida, sin obstáculos perturbadores de la gestión. Sin ellas, la comercialización (no tendrá un camino definido y las acciones podrán desviarse en uno u otro sentido, al arbitrio de sus ejecutores) será muy difícil alcanzar los objetivos de la empresa y las autoridades municipales.

La definición de las políticas de comercialización deben tomar en cuenta las políticas y estrategias generales de la institución, los factores condicionantes impuestos por el ambiente externo y también por el interno, así como la capacidad y disposición de apoyar y exigir el cumplimiento de esas políticas, si este ambiente no se da entre los actores de la comercialización será muy difícil alcanzar los objetivos de la empresa y las autoridades municipales.

Las políticas comerciales constituyen el marco de referencia para el desarrollo de la actividad. Por eso es necesario formularlas siguiendo un cuidadoso estudio de su significado y aplicabilidad y deben divulgarse ampliamente entre los funcionarios de la institución municipal, estatal o federal normativa y los usuarios de los servicios, a fin de que sirvan de guía y de norma para la relación empresa – usuario.

Para cubrir la función general y las funciones parciales del sistema comercial, deben definirse políticas en relación con los siguientes aspectos principales:

Función Comercial

- a) *Cobertura de los servicios de agua y alcantarillado*: localidades, áreas de servicio, tipos de servicios, porcentaje de población atendible;
- b) *Niveles de servicio*: por conexiones domiciliarias, por pilas colectoras, por garzas de distribución remota y otros medios, alcantarillado, saneamiento;
- c) *Cobro y gratuidad de los servicios domiciliarios*: ¿qué se cobra?, ¿a quién?, ¿qué servicios no se cobran?; y
- d) *Política tarifaria*: nivel tarifario, clasificación de los usuarios, estructura de las tarifas, tarifas fijas o variables.

Comercialización de los Servicios

- a) *Actitud de la institución frente a la oferta y demanda de servicios*: restricciones, extensión de los servicios a nuevas áreas dentro y fuera del perímetro de servicio;
- b) *Promoción, propaganda y educación sanitaria*: campañas, convenios especiales de precios y financiamientos;
- c) *Relación y comunicación con los usuarios*: disposiciones, sanciones, medio de comunicación; y
- d) *Concesión de nuevos servicios*: atención a solicitudes, condiciones para las concesiones, pago de derechos.

Registro Catastral de Usuarios

- a) *Alcance del registro catastral y su actualización*: tipos de usuarios registrables, información registrada, frecuencia y modos de actualización; y
- b) *Búsqueda e incorporación como suscriptores*: conexiones clandestinas y de servicio fraudulento.

Medición de Consumos

- a) *Cobertura de la medición domiciliaria*: localidades, usuarios, prioridades, servicios directos;
- b) *Adquisición y venta de medidores*: tipo de aparatos, sistema de compra, sistema de venta;
- c) *Mantenimiento de los medidores*: correctivo, preventivo, stocks para sustitución, talleres de mantenimiento, ubicación, tamaño, propios o servicios por terceros;
- d) *Determinación de los consumos*: medidos, estimados, frecuencia de lectura;

Facturación y Cobranza

- a) *Periodo de cobranza:* mensual, bimestral, para las varias clases de usuarios;
- b) *Conceptos a cobrar:* servicios, multas, otros conceptos, arrastre de deudas; y
- c) *Ciclos de emisión de cuentas:* para ciudades grandes, medianas y pequeñas.

Distribución de cuentas y forma de recaudar los valores pagados: distribución con personal propio o por contrato; recaudación en cajas propias, en bancos, uso de cobradores.

- a) *Actitud de la institución ante los deudores morosos:* plazos, suspensión del servicio y cobro coactivo;
- b) *Atención de reclamos:* plazo, rebajas y devoluciones; y
- c) *Cobranza de deudas atrasadas.*

El conjunto de políticas será factor determinante de *qué – quién – cómo – dónde – cuándo* para la definición de los procedimientos que harán posible la realización de las funciones y para la reglamentación de la prestación de los servicios.

De esas políticas se derivan, por ejemplo, la simplicidad o la complejidad del procesamiento de datos y de la medición de los consumos, la facilidad o la dificultad para realizar la revisión de los medidores, la comodidad a los usuarios para efectuar sus pagos, la eficiencia del corte del servicio de agua para coaccionar el pago, etc.

Las políticas, el reglamento de servicios y la respuesta de los usuarios a esas políticas y reglas constituyen en conjunto dinámico que debe mantenerse permanente interrelación a fin de poder conseguir un funcionamiento ágil y eficaz del sistema comercial y relaciones armoniosas y sin fricciones entre la institución y los usuarios.

CAPÍTULO V. EJEMPLO DE APLICACIÓN

CAPÍTULO V. EJEMPLO DE APLICACIÓN

V.1. LOS SISTEMAS DE REUSO DE AGUA RESIDUAL TRATADA

EL REUSO PLANIFICADO

El proceso de tratamiento necesario para que un agua residual pueda ser reusada se denomina generalmente *regeneración* y el resultado de dicho proceso *agua regenerada*. De acuerdo con su significado etimológico, *la regeneración de un agua consiste en devolverle, parcial o totalmente, el nivel de calidad que tenía antes de ser utilizada*.

La implantación de un proyecto de regeneración de agua tiene dos requisitos esenciales y complementarios:

1. Definir los niveles de calidad adecuados para cada uno de los posibles usos que se piense dar al agua, y
2. Establecer los procesos de tratamiento y los límites de calidad del efluente recomendados para cada uno de los usos previstos.

La elaboración y aprobación de estos dos aspectos técnicos del tratamiento de agua constituyen generalmente la faceta más discutida de todo programa de reuso, debido a la dificultad de establecer una relación causal entre la calidad del agua y los efectos sobre la salud y el medio ambiente. Prueba de ello son la diversidad y heterogeneidad de criterios y normas de calidad establecidas por diversos países y organizaciones internacionales sobre el reuso de agua residual (USEPA, 1992; OMS, 1989).

El aprovechamiento de un agua residual tratada requiere normalmente de:

1. Su transporte desde la planta de tratamiento hasta el lugar de utilización,
2. Su almacenamiento o regulación para adecuar el caudal suministrado por la planta con los caudales consumidos, y
3. La definición de unas normas de utilización del agua que permitan minimizar los posibles riesgos directos o indirectos para el medio ambiente, las personas que la utilizan, la población circundante al lugar de uso y los consumidores de cualquier producto cultivado con el agua regenerada.

Estos tres elementos técnicos suelen formar parte integral de un programa de reuso planificado de agua residual tratada.

V.2. LA FIABILIDAD DEL PROCESO DE REGENERACIÓN

Un aspecto característico de los proyectos de regeneración de agua es la necesidad de asegurar una fiabilidad notable del proceso de tratamiento y una gestión adecuada del sistema de reuso del agua. La circunstancia de que el reuso del agua residual tratada suele plantearse en muchos casos como la única fuente alternativa de agua para el aprovechamiento considerado, sin la protección que la dilución con agua de mejor calidad pueda ofrecer, pero, sobre todo, el hecho de que el reuso de un agua suele conllevar en muchos casos la posibilidad de un contacto directo con personas, animales o plantas, que pueden verse afectados en su salud o desarrollo, hacen que la fiabilidad de las plantas de tratamiento de agua residual deba ser elevada y constituya un elemento esencial tanto de su concepción como de su operación y mantenimiento.

La fiabilidad de los procesos de tratamiento pasa así a constituir un elemento esencial de la concepción y explotación del sistema de reuso, con prioridad sobre el rendimiento y eficacia de los propios procesos, que han de satisfacer los límites de calidad establecidos para el efluente. Entre las exigencias relativas a la fiabilidad del proceso de tratamiento cabe destacar la instalación de controles continuos de determinados parámetros, la instalación de alarmas y automatismos, la disponibilidad de piezas de recambio, la duplicidad de equipos y procesos, la existencia de equipos de entrada en funcionamiento automático en caso de avería, la existencia de volúmenes de reserva de reactivos, especialmente de desinfectante, y la instalación de equipos autogeneradores o la duplicidad de suministros de energía eléctrica.

Para evitar que la utilización de un agua inadecuadamente tratada pueda provocar un riesgo ambiental y sanitario inaceptable, las normas de regeneración suelen exigir la instalación de lagunas de almacenamiento, donde desviar el efluente inadecuadamente tratado hasta que sea procesado posteriormente, o de un sistema alternativo de vertido.

En definitiva, el tratamiento de agua residual se concibe actualmente como un proceso destinado a obtener un *producto de calidad*. La elaboración y la comercialización de este producto deben plantearse en un marco más amplio que el tradicional de lucha contra la contaminación, y con una nueva mentalidad en la concepción y explotación de los procesos de regeneración diferente a la adoptada generalmente en el tratamiento de agua residual, cuyo resultado final suele considerarse un residuo líquido o sólido. Esta nueva forma de plantear la regeneración de agua residual ha hecho que el reuso planificado de agua residual tratada pase a ser un elemento esencial de la gestión integral de los recursos hidráulicos.

V.3. LA PLANEACIÓN DE PROYECTOS DE REUSO

La planeación y el análisis adecuados de cualquier proyecto de reuso de agua permiten asegurar que no lleguen a rechazarse proyectos dignos de ser llevados a la práctica, y que los proyectos que se adopten lleguen a satisfacer los objetivos para los que fueron propuestos. El estudio publicado por *Asano y Mills (1990)* constituye una síntesis autorizada y reciente sobre este tema, donde se resume la experiencia adquirida durante más de diez años sobre la planeación y el análisis técnico, económico y financiero de los proyectos de reuso de agua residual tratada realizados en California.

Uno de los conceptos erróneos que con más frecuencia se presentan a la hora de planificar un proyecto de reuso de agua es el de considerar que el agua residual tratada es una fuente alternativa de agua barata. En general, esta hipótesis sólo suele ser correcta cuando las instalaciones de tratamiento están situadas en las proximidades de las zonas donde se piensa utilizar el agua y no es necesario realizar ningún tratamiento adicional del efluente disponible. En caso contrario, el coste del sistema de distribución del agua residual tratada suele constituir la partida principal del presupuesto del proyecto de reuso.

Una condición esencial para la planeación adecuada de cualquier proyecto de reuso es una definición clara de los objetivos que se persiguen. Uno de los principales aspectos a definir desde el primer momento es el alcance del proyecto de reuso: *si tiene un único objetivo prioritario o si se plantea con varios objetivos igualmente prioritarios*. En general, los proyectos de reuso de agua residual tratada se plantean como *un medio de lucha contra la contaminación* o como *un medio de obtener un suministro alternativo de agua*. Teniendo en cuenta que la mayoría de los servicios de obras públicas tienen competencias en un solo aspecto del ciclo del agua, la planeación de la mayoría de los proyectos de reuso suele plantearse con un único objetivo.

En el momento actual, sin embargo, esta concepción tradicional de los proyectos de reuso, como actuaciones con un único objetivo, está cambiando debido a dos circunstancias concretas:

1. las normas de calidad de los efluentes de agua residual son cada vez más restrictivas y
2. los recursos naturales de agua son cada vez más insuficientes para atender las crecientes demandas de agua.

Esta nueva concepción de los proyectos de reuso de agua residual tratada, como actuaciones destinadas a satisfacer varios objetivos simultáneamente, ofrece a los planificadores posibilidades adicionales de gestión tales como *compartir la responsabilidad y los costes del proyecto, y conseguir un equilibrio óptimo de los beneficios*. Este nuevo énfasis en la necesidad de establecer proyectos destinados a satisfacer varios objetivos simultáneamente evidencia lo anticuado que resultan los proyectos establecidos por un único servicio de la administración y bajo un único programa de financiación, por lo que ello puede significar de actuación ineficaz ante las demandas cada vez más complejas de una sociedad preocupada por la calidad ambiental.

Otro aspecto importante a tener en cuenta en la planeación de los proyectos de reuso de agua residual tratada es la definición de su zona de influencia. El enfoque tradicional suele consistir en asociar la zona de influencia del proyecto con la zona de competencia del patrocinador del proyecto. En principio, la zona de estudio debería incluir toda el área que pueda beneficiarse de la regeneración y el reuso del efluente de una determinada planta de tratamiento de agua residual.

CAPÍTULO V. EJEMPLO DE APLICACIÓN

La planeación de un proyecto de reuso de agua residual tratada consta básicamente de las siguientes etapas:

1. Realizar un estudio de mercado que permita definir la posible demanda de agua residual tratada y las condiciones a cumplir para satisfacer dicho mercado.
2. Evaluar las instalaciones existentes de abastecimiento de agua y de tratamiento de agua residual, con objeto de establecer alternativas preliminares para atender a una parte o al total de dicho mercado, satisfaciendo sus exigencias técnicas y de calidad del agua.
3. Identificar las instalaciones requeridas por las alternativas técnicas que no impliquen el reuso de agua residual tratada, tales como plantas de tratamiento con un vertido del efluente en cursos naturales de agua o de embalses de agua de abastecimiento, a fin de disponer de puntos de referencia con los que poder comparar las opciones de regeneración y de reuso de agua residual tratada.
4. Realizar una primera selección de las alternativas de tratamiento del agua residual, a fin de establecer sus exigencias técnicas, económicas, financieras, de venta del agua residual tratada y de cualquier otro tipo, tales como las relativas a la protección sanitaria.

Si un estudio preliminar de viabilidad como el indicado pone de manifiesto que el tratamiento y el reuso de agua residual tratada son factibles y deseables, es posible continuar con la fase posterior de la planeación detallada del proyecto, en la que se desarrollen las alternativas detalladas de las instalaciones, llegando así a establecer la propuesta final de las instalaciones que deberán construirse.

Una de las principales tareas de la planeación de un proyecto de tratamiento de agua residual es identificar los posibles usuarios que desean y saben como utilizar el agua residual tratada. Por otra parte, un proyecto destinado prioritariamente al suministro de agua puede explotarse de forma mucho más flexible si se dispone de un método alternativo para poder verter el caudal de agua que no pueda ser reusada en un momento determinado. Entre otras ventajas, esta flexibilidad permite comercializar el agua en régimen de utilización voluntaria por parte de los usuarios. La ejecución de un proyecto de suministro de agua residual tratada en régimen de utilización voluntaria exige previamente un conocimiento profundo de la situación del abastecimiento de agua y, especialmente, de la forma en que el agua proveniente de fuentes convencionales compite en calidad, costo y conveniencia con el agua residual tratada.

Aunque los factores técnicos, ambientales y sociales son aspectos importantes en la planeación de un proyecto de reuso de agua residual tratada, los aspectos económicos suelen ser determinantes a la hora de decidir la puesta en práctica de un proyecto. Los análisis presupuestarios pueden dividirse en dos grandes grupos: **análisis económicos y análisis financieros**. Aunque ambos términos pueden parecer similares, la distinción entre ambos tipos de análisis tiene una importancia crítica. El objetivo de **un análisis económico es establecer las bases sobre las que justificar la viabilidad de un proyecto en términos económicos**. Una vez determinada la conveniencia económica de un proyecto, **el análisis financiero permite establecer su viabilidad económica**.

El patrocinador de un proyecto de tratamiento y de reuso del agua residual tratada no es el único agente de interés en un análisis financiero. Los futuros usuarios del agua residual tratada constituyen así mismo interlocutores de gran importancia. El usuario confía normalmente que el coste del agua residual tratada sea inferior al que habría de pagar por un agua proveniente de fuentes de abastecimiento convencionales. Además, un usuario de agua residual tratada habrá de sufragar los costos de las

modificaciones necesarias para adecuar sus conducciones, o instalar una doble red de distribución, a fin de poder utilizar el agua residual tratada.

Teniendo en cuenta que la venta de agua residual tratada puede reducir los beneficios de la venta de agua de abastecimiento, será necesario evaluar los efectos que el proyecto propuesto pueda tener sobre los proveedores de agua de abastecimiento y sobre los precios del agua proveniente de fuentes convencionales. Puede ocurrir que parte de los beneficios de la venta de agua residual tratada deban destinarse a sufragar las pérdidas de beneficios de los proveedores de agua. Por otra parte, si la disponibilidad de agua residual tratada evita el desarrollo y la construcción de nuevas fuentes de abastecimiento de agua mucho más costosas, parecería lógico destinar una parte de los beneficios y de los ahorros conseguidos por los proveedores de agua de abastecimiento a sufragar los costos de los proyectos de tratamiento de agua residual.

Los resultados del estudio de planeación deberán reflejarse en un informe final en el que se definan las instalaciones necesarias para el tratamiento y reuso del agua residual. *La Tabla V.1 contiene un guión de los aspectos más importantes a tener en cuenta en dicho informe.* Aunque no todos los aspectos indicados en la *Tabla V.1* deben ser analizados en profundidad, sí que es necesario que sean tenidos en cuenta. *El grado de detalle deberá ser proporcionado al tamaño y a la complejidad del proyecto propuesto.* Aunque el énfasis relativo a los aspectos asociados con el suministro de agua residual tratada o con el de agua de abastecimiento dependerán en gran modo de que el proyecto abarque sólo el primero o ambos de esos objetivos, cualquier iniciativa de tratamiento y reuso de agua residual tratada requiere la consideración de ambos aspectos.

Una vez aprobada la propuesta de realización de un proyecto de tratamiento y reuso del agua residual tratada, debe procederse lógicamente a la redacción de los proyectos constructivos de las instalaciones. No obstante, es igualmente importante adoptar las medidas necesarias para asegurar que los futuros usuarios se comprometen a utilizar el agua residual tratada disponible. Hay dos posibilidades a este respecto: *el uso obligatorio y el uso voluntario.*

Antes de comprometerse a sufragar los presupuestos elevados que representan generalmente los proyectos de tratamiento y reuso del agua residual tratada, es conveniente asegurarse la participación de los futuros usuarios mediante el establecimiento de acuerdos contractuales. La experiencia ha puesto de manifiesto que, a pesar de que los usuarios potenciales muestran con frecuencia un interés favorable al uso de agua residual tratada, pueden posteriormente cambiar de parecer, una vez construidas las instalaciones. En resumen, los contratos deberán resolver las preocupaciones del proveedor y del usuario, estableciendo claramente las responsabilidades civiles, financieras y operativas del proyecto.

Tabla V.1. Principales aspectos a tener en cuenta para definir las instalaciones de un proyecto de tratamiento y reuso de agua residual tratada (Asano y Mills, 1990).

Características de la zona de estudio: geografía, geología, clima, aguas subterráneas, aguas superficiales, usos del suelo y características demográficas.

Características e instalaciones del sistema de abastecimiento de agua en la zona: áreas jurisdiccionales de cada entidad, fuentes y calidades de cada suministro, descripción de las principales instalaciones, tendencias en el consumo de agua, instalaciones necesarias en el futuro, gestión y problemas de las aguas subterráneas, costos presentes y futuros del agua de abastecimiento, subvenciones y precios al consumidor.

Características e instalaciones del sistema de tratamiento de agua residual: áreas jurisdiccionales, descripción de las principales instalaciones, calidad y cantidad del efluente tratado, fluctuaciones horarias y estacionales del caudal y de la calidad del afluente, instalaciones necesarias en el futuro, necesidad de un programa de control de las fuentes de contaminación de aquellos contaminantes que afectan el reuso, y descripción de los tipos de reuso que se realiza en la actualidad, identificando los usuarios, los caudales reutilizados y los acuerdos contractuales y régimen de precios actuales.

Niveles de tratamiento exigidos para el vertido y el reuso, y otras restricciones: normas de protección sanitaria y de calidad del agua, normas de calidad del agua utilizada para cada uso específico y normas de control aplicables a las zonas de utilización del agua.

Posibles usuarios del agua residual tratada: descripción de los métodos de análisis de mercado, inventario de los posibles usuarios del agua y resultados de la encuesta de usuarios.

Análisis de alternativas del proyecto: costos de inversión y costos de explotación y mantenimiento, viabilidad técnica, análisis económicos, análisis financieros, análisis energéticos, efectos sobre la calidad del agua, aceptación del público y del mercado, efectos sobre el régimen de concesiones de agua, efectos sociales y medio-ambientales, análisis comparativo entre alternativas y propuesta de selección, incluyendo aspectos tales como:

- alternativas de tratamiento,
- mercados alternativos, de acuerdo con diferentes niveles de tratamiento y áreas de servicio,
- rutas alternativas de colocación de las tuberías de distribución,
- opciones y localizaciones alternativas para el almacenamiento de agua residual tratada,
- alternativas de fuentes convencionales de suministro de agua,
- alternativas de lucha contra la contaminación de las aguas, y
- alternativa de no llevar a cabo el proyecto propuesto.

Plan de acción recomendado: descripción de las instalaciones propuestas, criterios preliminares de diseño, costos previstos, lista de posibles usuarios y compromisos para la utilización del agua, caudales de agua tratada y variación de la demanda de agua tratada con respecto a la oferta, fiabilidad del suministro y necesidad de suministros adicionales o de reserva, plan de ejecución de los trabajos y plan de explotación de las instalaciones.

Plan de financiación de las obras y programa económico de la operación: fuentes y plazos de los recursos destinados al proyecto y construcción de las instalaciones, política de precios del agua tratada, distribución de costos entre los beneficios relativos al suministro de agua y a las actuaciones de lucha contra la contaminación, previsiones futuras de uso del agua tratada, precios del agua de abastecimiento, costos del proyecto de tratamiento de agua, costos unitarios, precios unitarios, entrada total de capital, subvenciones, costos de depreciación y capacidad de endeudamiento, y análisis de sensibilidad relativo a posibles cambios en las condiciones de partida del proyecto.

Estudio del mercado

En la planeación de un proyecto de reuso de aguas residuales tratadas, es fundamental encontrar posibles consumidores capaces y deseosos de consumir agua residual tratada. El éxito de los planes de reuso de aguas residuales tratadas depende, en gran medida, de la capacidad de asegurar un mercado y una salida para el agua residual tratada. Un estudio de mercado consiste en dos partes: 1) determinación de la información general, incluyendo los usos potenciales del agua residual tratada, y 2) estudio de posibles usuarios del agua tratada y sus necesidades. En la *Tabla V.2* se identifica la información general necesaria para realizar un estudio de mercado. Los resultados de este estudio constituyen la base para el desarrollo de alternativas y el estudio de la viabilidad económica de un proyecto.

Tabla V.2 Estudio del mercado de aguas residuales tratadas: información básica y estudio

1.	Inventario de usuarios y usos potenciales del agua residual tratada.
2.	Establecer exigencias de calidad del agua relacionadas con la salud y las condiciones de aplicación (p.e. fiabilidad del tratamiento, prevención del desarrollo de flujos invertidos, control de las zonas de uso, métodos de riego) para cada tipo de aplicación del agua residual tratada.
3.	Establecer exigencias normativas para la prevención del desarrollo de condiciones desagradables y problemas de calidad tales como la protección de las aguas subterráneas.
4.	Desarrollar hipótesis que permitan determinar la probable calidad futura del agua disponible con los diferentes niveles de tratamiento y compararla con las exigencias normativas y de los usuarios.
5.	Estimar los costos futuros de extracción de agua limpia para los potenciales usuarios de las aguas residuales tratadas.
6.	Estudiar los posibles usuarios de agua residual tratada, obteniendo la información siguiente: <ol style="list-style-type: none"> Potenciales usos específicos de las aguas residuales tratadas. Exigencias de calidad presentes y futuras. Fiabilidad y distribución temporal de la demanda. Exigencias de calidad del agua. Modificaciones externas a la red para la conversión de las aguas residuales tratadas y el cumplimiento de las exigencias normativas para la protección de la salud pública y la prevención de problemas de contaminación de las aguas residuales tratadas. Inversiones de los usuarios para procurar las modificaciones de la red pertinentes, variaciones en los costos de operación, plazo de amortización deseado e interés aplicable a la inversión, y ahorro en el costo del agua deseado. Cambios futuros en el uso del emplazamiento.
7.	Informar a los potenciales usuarios de las restricciones normativas aplicables, probable calidad del agua disponible con los diferentes niveles de tratamiento, fiabilidad del agua residual tratada, costos futuros y comparación de la calidad del agua residual tratada con la calidad de las aguas limpias.
8.	Determinar el interés de los usuarios potenciales en el consumo de agua residual tratada, tanto en el presente como en el futuro.

V.4. LOS LINEAMIENTOS PARA LA ELABORACIÓN DE PROYECTOS PRELIMINARES DE SISTEMAS DE REUSO DE AGUA RESIDUAL TRATADA

El objetivo principal del proyecto será identificar sitios para reuso de agua residual tratada. Quedaran fuera de los alcances de este estudio los siguientes aspectos: *marco legal e institucional, origen de los recursos para la inversión y los aspectos contractuales del servicio de comercialización de agua residual tratada.*

V.4.1 OBJETIVOS Y ACTIVIDADES A REALIZAR EN EL PROYECTO

1. Identificar usuarios potenciales para reuso en los sectores industrial, de servicios y para el riego de áreas verdes públicas y privadas.
2. Identificar zonas o núcleos en los que sea técnica y económicamente factible instalar plantas de tratamiento para reuso y las líneas de conducción y distribución de agua tratada.
3. Proponer criterios y realizar el diseño básico de los sistemas de tratamiento de aguas residuales para reuso urbano.
4. Estimar el monto de la inversión para construir las PTAR de reuso y la red de conducción/distribución.
5. Estimar el precio unitario del agua tratada.
6. Proponer el precio de venta del agua tratada.
7. Proponer recomendaciones de carácter técnico y de protección a la salud pública.

V.4.2 IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA TRATADA

En esta actividad inicial se efectuará una investigación preliminar y cribado de los usuarios y clientes potenciales de agua tratada.

A continuación se da un listado preliminar de las fuentes de información que se deberán evaluar y procesar:

- Información relativa a los consumos mensuales de los medianos y grandes consumidores no domésticos.
- Base de datos de los Registros de Descarga de usuarios del alcantarillado municipal.
- Información que se solicitará a la Comisión Nacional del Agua, relativa a los usuarios de aguas del subsuelo y sus extracciones mensuales y/o anuales de agua.
- Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Comisión Nacional del Agua.
- Padrones de Cámaras Industriales y de Asociaciones de Parques Industriales.

Una vez procesada la información se elaborará una primer clasificación de las demandas de agua más importantes, en términos de volumen, tanto de la red municipal como del subsuelo.

Los usuarios de agua previamente seleccionados, se deberán clasificar en función de la actividad productiva que realizan y el uso que dan al agua, conforme al siguiente criterio:

- materia prima
- agua de proceso
- servicios generales
- servicios sanitarios
- riego de áreas verdes

Adicionalmente, los usuarios industriales se deberán clasificar con base en la actividad productiva o de transformación que realizan.

Se deberán **cuantificar las demandas de agua con base en prácticas y recomendaciones nacionales e internacionales, de las actividades industriales y de servicios en los que es factible**, en el ámbito técnico y de salud pública, la sustitución de agua de primer uso por agua tratada. Para lo anterior deberá presentar a consideración y aprobación los criterios para definir y cuantificar la demanda potencial.

Se deberá proporcionar un archivo de la traza urbana de la ciudad, en el cual se deberán preparar los datos para desarrollar un **Sistema de Información Geográfica (SIG)** con la representación de los núcleos de demanda que se definan; en dicho Sistema se efectuará el **vaciado** de los usuarios potenciales identificados en esta actividad.

Se deberá incluir en dicho sistema los terrenos propuestos para las plantas de tratamiento y la red primaria de colectores con los sitios que se propongan para derivar agua residual cruda.

Como parte de la información cargada al SIG, se elaborará una base de datos para cada núcleo de demanda identificado, que incluirá al menos los datos para identificar al usuario potencial, la demanda de agua asociada a su actividad productiva y el patrón de consumo.

El resultado de esta actividad deberá presentarse en planos y bases de datos.

V.4.3 IDENTIFICACIÓN DE LOS TERRENOS PARA LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO

Una vez definidos los núcleos de demanda potencial de agua tratada, se deberán efectuar recorridos de campo a efecto de identificar los terrenos y sitios susceptibles de albergar el sistema de tratamiento.

Con base en los planos de Arreglo General de Unidades a elaborar en la actividad V.4.5; se definirán los requerimientos de área para cada planta de tratamiento y procederá a efectuar los recorridos de campo.

Se deberán identificar terrenos privados como áreas públicas de infraestructura y equipamiento urbano con las características requeridas para este objetivo.

Se identificará si existe alguna restricción a la instalación de un sistema de tratamiento en función de los usos del suelo y las actividades que se desarrollan en los predios aledaños a los terrenos.

CAPÍTULO V. EJEMPLO DE APLICACIÓN

En el caso de los terrenos privados se deberá obtener una estimación del precio de mercado mediante la consulta de periódicos locales y publicaciones inmobiliarias especializadas.

Como parte de esta actividad se deberá preparar un reporte fotográfico de los sitios preseleccionados.

V.4.4 IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE SUMINISTRO DE AGUA RESIDUAL

Se proporcionará información impresa y digital de la red primaria de colectores y subcolectores, con base en dicha información se deberán identificar los sitios probables para efectuar la derivación de agua residual hacia las plantas de tratamiento para reuso.

Se deberá proponer a la Gerencia de Saneamiento los criterios para la preselección de los sitios, de manera enunciativa se mencionan los siguientes:

1. Que el agua residual conducida por el colector o subcolector seleccionado sea principalmente sanitaria y de servicios.
2. Que los sitios no se encuentren a una distancia mayor a 500 metros de la futura planta.
3. Que el gasto medio de estiaje en el colector sea al menos 1.5 veces el caudal medio demandado por la planta de tratamiento.

Se estimará el gasto conducido por el colector mediante la delimitación de la cuenca tributaria aguas arriba del sitio de derivación y, con base en información catastral se asignará una población y dotación de proyecto para calcular los gastos medios, mínimos y máximos.

V.4.5 DISEÑO PRELIMINAR DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO

Se efectuará el prediseño y dimensionamiento de un sistema de tratamiento *tipo* para el tren de agua y manejo de lodos. El diseño de las operaciones y procesos unitarios se hará conforme a las recomendaciones de diseño establecidas en la cuarta edición del *Manual de Prácticas No. 8 de la Water Environmental Federation* y el *Wastewater Engineering de Metcalf & Eddy*.

Se establecerán el tamaño de la planta de tratamiento, a efecto de realizar su prediseño y dimensionamiento.

Se preparará y pondrá a consideración de la Gerencia de Saneamiento los criterios de diseño de las unidades de proceso de las plantas de tratamiento para reuso urbano.

La calidad del agua tratada deberá cumplir de manera consistente con los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997 para reuso con contacto directo.

En esta actividad, se deberá incluir una sección con los criterios y variables de diseño seleccionados, así como los límites superiores e inferiores recomendados para el diseño de las unidades de proceso.

Se deberán incluir recomendaciones técnicas y disposiciones relativas a los aspectos de salud pública del sistema de tratamiento, de las líneas de conducción, de distribución y del manejo del agua tratada.

La calidad de diseño del agua residual a tratar en las plantas las definirán conjuntamente con la Gerencia de Saneamiento, aplicando los siguientes criterios:

- o **Calidad Específica**, cuando los sitios de suministro de agua cruda formen parte o estén cercanos a los puntos de caracterización de colectores y emisores.
- o **Calidad Típica**, estableciendo un valor ponderado general correspondiente a descargas municipales con mínima o nula aportación industrial.

El tren de tratamiento *tipo* de agua y lodos estará formado por las siguientes unidades:

- a. Pretratamiento y cárcamo de bombeo de aguas crudas: desarenación, cribado e hidrotamiz
- b. Sedimentación primaria
- c. Lodos activados mezcla completa
- d. Sedimentación secundaria o separación por membrana
- e. Filtración en arena en filtros de tasa declinante
- f. Caseta de cloración
- g. Tanque de contacto de cloro
- h. Digestión aerobia de lodos
- i. Desaguado de lodos en filtro banda
- j. Tanque de agua tratada y estación de bombeo
- k. Línea de conducción
- l. Línea de distribución

V.4.6 ESTIMACIÓN PRELIMINAR DEL COSTO DE INVERSIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO

A partir del dimensionamiento básico de todas las unidades de proceso y del equipamiento electromecánico del sistema de tratamiento efectuado en la actividad anterior, se procederá a cuantificar las volúmenes de obra y el número requerido de equipos, para así realizar el presupuesto preliminar de las plantas de tratamiento.

En virtud del nivel básico de la ingeniería que se desarrollará en el Proyecto, algunos de los conceptos se podrán presentar como *lotes*.

El importe de los conceptos j), k) y l) se podrán calcular con base en la metodología e información establecida por la Comisión Nacional del Agua en los documentos:

- *Actualización y Complementación del Manual de Costos Estimados para Proyectos de Infraestructura Hidráulica.*

- *Catálogo General de Precios Unitarios para la Construcción de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado.*

Se deberá actualizar el importe de los conceptos j), k) y l) al año que se requiera en base a la evolución del Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) reportado por el Banco de México.

V.4.7 ESTIMACIÓN PRELIMINAR DEL COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO, PRECIO UNITARIO Y PRECIO DE VENTA DEL AGUA TRATADA

Se deberá calcular el costo integral de operación y mantenimiento de las PTAR de reuso, sin diferenciar los costos variables de los fijos, y deberá incluir, entre otros, los siguientes insumos:

- Energía eléctrica
- Mano de obra
- Productos químicos
- Disposición de lodos
- Reposición de equipos

Se deberán estimar con precisión los requerimientos de personal, el consumo de productos químicos para el tren de agua y de lodos, la potencia de operación, el volumen de lodos a disposición, etcétera.

Se deberá investigar y utilizar los precios reales de mercado de los insumos y servicios principales a requerirse para la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento.

El precio unitario del agua tratada lo deberá calcular para la planta de tratamiento con base en los *montos de inversión* obtenidos en la actividad V.4.7 y la *integración de los costos de operación y mantenimiento* que previamente se estimarán en esta actividad.

Se deberá definir y poner a consideración de la Gerencia de Saneamiento las variables financieras requeridas para calcular el monto de la amortización anual de la inversión inicial. Se deberá establecer el *factor de servicio de las plantas* a efecto de determinar el volumen anual de agua tratada que se podrá comercializar.

Una vez establecido el precio unitario del agua tratada, se evaluará y propondrá un precio ponderado de venta del agua tratada, el cual deberá tener como referencia el *costo del derecho federal por extracción de agua del subsuelo y el precio del agua al cual se factura a los usuarios no domésticos*.

Se propondrán precios de venta diferenciados en función de la fuente de suministro de agua de primer uso de la cual se abastece el usuario potencial de agua residual tratada.

V.4.8 REPORTES DE AVANCE Y FINAL DEL PROYECTO, PRESENTACIÓN Y RESUMEN EJECUTIVO

Se deberá preparar un reporte de avance mensual para acreditar y poner a consideración las actividades realizadas, los resultados obtenidos así como los criterios y metodología empleados en las diversas actividades del proyecto.

Los reportes de avance incluirán planos en tamaño doble carta y anexo fotográfico. Se deberá entregar un (1) original a color y dos (2) copias en blanco y negro de los tres (3) Reportes de Avance que se preparen.

Al concluir el proyecto, se entregará un reporte final que incluya todas las actividades indicados en los Términos de Referencia; se incluirán los diversos anexos que se elaboren en el proyecto como: bases de datos, hojas de cálculo, reportes de inspección, anexo fotográfico y catálogo de conceptos entre otros materiales.

Se incluirán en el Reporte Final los diversos planos que se elaboren, impresos en papel bond de 90 x 60 cm. Se deberá entregar un (1) original a color y dos (2) copias en blanco y negro del Reporte Final del proyecto.

Se preparará en Power Point una Presentación de los aspectos más relevantes del proyecto, las conclusiones y recomendaciones.

Se preparará un Informe Ejecutivo del proyecto el cual abordará de manera más amplia los aspectos más importantes del proyecto.

Se deberán entregar dos (2) impresiones a color y tres (3) impresiones en blanco y negro de la Presentación y del Resumen Ejecutivo.

Se deberá efectuar una presentación del Proyecto. Dicha presentación deberá efectuarla el Director y/o Gerente del Proyecto.

A continuación se indica el listado mínimo de planos que se deberá elaborar y entregar al concluir el Proyecto, se indica entre paréntesis la actividad en la cual se genera la información del plano:

1. Plano con la ubicación de los núcleos de demanda de agua tratada (V.4.2)
2. Plano llave con la ubicación de terrenos para la PTAR (V.4.3)
3. Planos con la ubicación de terrenos para PTAR, la fuente de suministro de agua residual cruda y la red de conducción/distribución de agua tratada, escala 1:2500. (V.4.3 y V.4.4)
4. Se entregarán los siguientes planos (V.4.5):
 - Diagrama de flujo de fase líquida y sólida con balance de materia
 - Arreglo general de unidades
 - Planta general dimensional
 - Perfil hidráulico

V.5 ESTIMACIÓN DE COSTOS PARA SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En la planeación de un proyecto de reuso de agua residual tratada se deben contemplar básicamente las siguientes etapas:

1. Estudio de mercado, que permita definir la posible demanda de agua residual tratada y las condiciones a cumplir para satisfacer dicho mercado.
2. Evaluación de las instalaciones existentes de abastecimiento de agua y de tratamiento de agua residual, con objeto de establecer alternativas preliminares para atender a una parte o al total de dicho mercado, satisfaciendo sus exigencias técnicas y de calidad del agua.
3. Identificación de las instalaciones requeridas por las alternativas técnicas que no impliquen el reuso de agua residual tratada, tales como plantas de tratamiento con un vertido del efluente en cursos naturales de agua o de embalses de agua de abastecimiento, a fin de disponer de puntos de referencia con los que poder comparar las opciones de regeneración y de reuso de agua residual tratada.
4. Realizar una primera selección de las alternativas de tratamiento del agua residual, a fin de establecer sus exigencias técnicas, económicas, financieras, de venta del agua residual tratada y de cualquier otro tipo, tales como las relativas a la protección sanitaria.

Por lo visto anteriormente, en este trabajo de tesis nos enfocaremos al punto que trata sobre las exigencias económicas, financieras, de venta del agua residual tratada y esto es lo que básicamente contempla el FINANCIAMIENTO DE SISTEMAS DE REUSO DE AGUA RESIDUAL TRATADA.

V.5.1 ANTECEDENTES

En la República Mexicana persisten fenómenos de concentración urbana junto con dispersión poblacional en las zonas rurales, lo que dificulta, entre otros aspectos, la dotación eficiente de los servicios de agua potable y alcantarillado, aunado a esto se encuentran las limitaciones económicas y la disponibilidad del recurso hídrico, lo cual hace necesario un uso más eficiente y racional del recurso.

El intercambio de agua potable por agua residual tratada para usos en los que no se requiera de la calidad física, química y biológica de la primera, es una acción que incide en el uso racional y eficiente del recurso hídrico.

BANOBRAS, congruente con la política federal y dentro de su ámbito legal, promueve y apoya el reuso de aguas residuales con asistencia técnica y financiera, tanto a estados como a municipios.

El objetivo de este apartado es proporcionar los criterios a seguir para estimar los costos de inversión, operación y mantenimiento de algunos sistemas de tratamiento.

V.5.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTO

Los sistemas de tratamiento para aguas residuales municipales que comúnmente se utilizan son los biológicos; éstos pueden combinarse con operaciones físicas y químicas, como son la remoción de partículas y desinfección, respectivamente.

Existen diferentes tipos de tratamiento biológico, algunos de ellos son: *lodos activados, biodiscos, filtros rociadores, zanjas de oxidación, lagunas aereadas mecánicamente, lagunas facultativas, aerobias y anaerobias.*

El principal fin de cada uno de estos sistemas es remover la materia orgánica presente en las aguas residuales, la cual se encuentra disuelta o dividida, y ésta es aprovechada por los microorganismos que la utilizan como alimento para su crecimiento y reproducción, lo que convierte la materia en sólidos biológicos sedimentables que pueden ser removidos en tanques de sedimentación.

Cada uno de estos sistemas presentan diferencias significativas como son: *eficiencias de remoción de materia orgánica, complejidad para el control de la operación, requerimientos de espacio, consumo de energía, así como también costos de inversión y operación.*

V.5.3. USOS POTENCIALES DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

Además del riego de áreas verdes, agrícolas y llenado de lagos, el agua residual tratada puede emplearse en el abastecimiento a la industria, comercio, ganadería, servicios municipal y doméstico (sanitarios, riego de jardines, entre otros), acciones que se considera pueden ser inmediatas.

Los aspectos básicos que deben ser tomados en cuenta para un proyecto de suministro de agua residual tratada son:

- Datos generales y ubicación del usuario
- Fuente y uso del agua
- Calidad del agua requerida
- Factores a considerar por el usuario para emplear agua residual tratada

Para determinar los costos de producción de agua residual tratada se debe considerar lo siguiente:

- Redes de conducción y distribución del agua residual tratada
- Conexión de usuarios potenciales
- Usos propuestos
- Calidad requerida

En forma cualitativa una evaluación de las ventajas y desventajas en la funcionalidad de los procesos de tratamiento como son: *la evaluación técnica, la sensibilidad del proceso o las variaciones de la calidad y cantidad del agua a tratar, y la disponibilidad de tecnología.*

V.5.4 ESTIMACIÓN DE COSTOS

Esta estimación la pueden realizar tanto el personal de las Delegaciones Estatales de BANOBRAS como los funcionarios estatales y municipales, a fin de que tengan una idea aproximada de las inversiones requeridas, los principales conceptos y cantidades de obra que involucra un sistema de tratamiento, que se ajuste a las necesidades reales del municipio.

En este estudio sólo se considerarán los principales costos de los proyectos:

1) Inversiones

Las inversiones son las erogaciones destinadas a dotar al proyecto de capacidad operativa, por ello se aplican durante la fase de instalación del sistema hasta que está en condiciones de iniciar su funcionamiento.

Las grandes categorías que conforman la inversión son dos:

- a) **El Capital Fijo**, compuesto por todos los bienes y servicios necesarios para dotar al proyecto de su capacidad instalada. Los rubros más comunes que se contemplan son:
 - Terreno
 - Obra Civil
 - Obra Electromecánica (incluye equipo, fontanería y estructuras metálicas)

- b) **El Capital de Trabajo**, fondo que se constituye generalmente al final de la fase de instalación, para cubrir los gastos exigidos por el funcionamiento de las plantas de tratamiento y garantizar así la continuidad de la operación. Principalmente se conforma por una reserva de dinero para cubrir los sueldos del personal determinado, el cual puede ser hasta por un trimestre; así como también se destinarán recursos para el pago de servicios públicos y comunicaciones para el mismo período.

2) Costos de Operación y Mantenimiento

Son los referidos al funcionamiento de una planta de tratamiento. Los rubros que se deben obtener para hacer producir la capacidad instalada. Estos costos se estiman por vigencias anuales de acuerdo a las proyecciones de producción que se establezcan.

Entre los rubros más comunes se encuentran:

- Materiales y materias primas
- Servicios Públicos
- Combustibles y otros insumos (energía eléctrica)

- Mantenimiento
- Seguros
- Gastos varios
- Alquileres
- Depreciación
- Intereses (por los créditos)
- Impuestos
- Imprevistos

Los principales conceptos de obra que requiere cada uno de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, son:

Obra Civil

- Limpieza y despalle de terreno a mano y por medios mecánicos
- Trazo y nivelación para desplante de las estructuras
- Excavación por medios manuales
- Plantilla de concreto pobre de 8 cm de espesor con una resistencia $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$
- Concreto simple de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$
- Acero de refuerzo con una resistencia de 4,200 kg/cm^2
- Cimbra tipo aparente y descimbra en muros, cadenas y losas
- Impermeabilizante integral

Obra Electromecánica

- Estructuras de acero
- Fontanería con tuberías, válvulas y piezas especiales
- Bomba sumergible
- Motor eléctrico vertical
- Múltiple de descarga
- Tren de piezas especiales
- Subestación eléctrica
- Motor reductor
- Sistema de rastras y cadenas
- Aereadores flotantes de alta velocidad
- Sistemas de rastras para sedimentador secundario

En cuanto al terreno, es difícil generalizar este concepto ya que depende de factores como disponibilidad, tenencia de la tierra, localización y uso del suelo.

Para la instalación de cualquier tipo de planta de tratamiento de aguas residuales, es indispensable que el terreno cumpla con los siguientes requisitos: *capacidad para soportar las instalaciones, superficie plana y de forma regular; en caso contrario, será necesario evaluar los requerimientos, mismos que aumentarán el costo de instalación.*

Costos de Operación y Mantenimiento

Costo de Personal

Entre el personal básico que se debe tener en cuenta para la operación de cualquier planta de tratamiento de aguas residuales se encuentran los siguientes: un superintendente, un operador calificado, un operador, un ayudante y una cuadrilla de mantenimiento. El costo de personal se calcula de forma anual.

Costo de Manejo de Lodos

Para estimar los costos por el manejo de lodos, primeramente se determinarán los volúmenes producidos en cada proceso de tratamiento. El costo de transporte para desalojar lodos se calcula por kilómetro y kilómetros subsecuentes por metro cúbico.

Costos de Energía

Para estimar los costos de energía por consumo anual en kw/hr, se deberán presentar la cantidad de HP instalados con sus módulos respectivos, su consumo anual en kw/hr y el correspondiente importe.

Costos de Mantenimiento de Equipos

Una vez que se tiene como base la información directa de proveedores de equipos, se estima que el costo anual por concepto de mantenimiento preventivo del equipo electromecánico será del 1.75% al 3% del valor total de los equipos.

En conclusión, estos costos aunados a la disponibilidad de terreno y las características que se requieran del caudal tratado de acuerdo al uso que se destine, deberán ser los criterios básicos para la selección de un sistema.

Asimismo, se hace un prorrateo de estos costos por habitante o por cada metro cúbico de agua tratada para cobrar el servicio, es decir, el cobro directo por habitante o por cada metro cúbico de agua tratada.

V.6 ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Se tendrá una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la zona sur del Distrito Federal con un gasto medio de 500 lps, con el sistema de Lodos Activados modalidad Convencional. Este sistema consiste de un tanque de aireación, unidades de sedimentación secundaria y desinfección mediante el empleo de cloro. Estos procesos se encuentran en secuencia después de un sistema de tratamiento preliminar más primario.

Las aguas residuales domésticas tratadas a este nivel de tratamiento se consideran aptas para su reuso en la agricultura para productos que se consumen cocidos, productos que se consumen crudos; recarga por infiltración superficial; y usos municipales tales como: el riego de áreas verdes, limpieza de calles e hidrantes, lavado de calles y automóviles, también en algunos casos se puede también reusar en la industria textil, farmacéutica, en enfriamiento, entre otras.

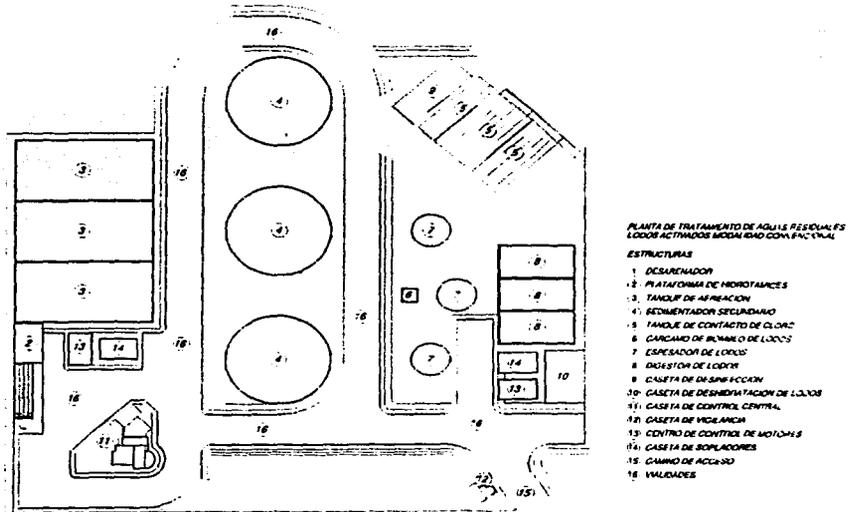


Fig. V. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Lodos Activados modalidad Convencional

CAPÍTULO V. EJEMPLO DE APLICACIÓN

La comercialización y venta del agua residual tratada se realizará de la siguiente manera:

1. De los 500 lps, el 80% del gasto se comercializará y se venderá a los clientes potenciales para el reuso del agua residual tratada, entre los cuales se encuentran: campos de golf, campos deportivos, centros educativos, industrias, laboratorios, autolavados, entre otros. (Ver *Tabla V.3 Clientes Potenciales en el Consumo de Agua Residual Tratada*).
2. El 20% restante se pondrá a disposición de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) o a las delegaciones aledañas a la planta para que la utilicen en el riego de áreas verdes, lavado de unidades o el reuso que se le quiera dar, además es una contraprestación por el período de concesión de la planta.
3. El ingreso por las ventas del agua residual tratada serán los volúmenes promedio del consumo de los 120 clientes potenciales, donde se les facturará en función de las tarifas vigentes en los derechos por el suministro de agua en el artículo 197, inciso III. Agua residual tratada a nivel secundario que se publicaron en el Código Financiero del Distrito Federal, dentro de la Gaceta Oficial del Distrito Federal del 31 de diciembre de 2001.

El análisis económico y financiero se realizará determinando los costos que se generarán para el desarrollo del proyecto que serán:

- Costo de producción
- Costo de inversión
- Capital de trabajo
- Ingreso por ventas
- Financiamiento
- Pago de la deuda
- Estado de resultados
- Sensibilidad del proyecto
- Tasa interna de rendimiento (TIR)
- Valor presente neto (VPN)

Dentro de las preguntas que se podrán responder se encuentran: ¿cuál es el monto de los recursos económicos necesarios para la realización del proyecto?, ¿cuál será el costo total de la operación de la planta?, ¿cuál será la utilidad que se tendrá con respecto a la comercialización y venta del agua residual tratada?, ¿cuáles serán los beneficios para la sociedad?, ¿qué factible económicamente es realizable el proyecto?, entre otras muchas interrogantes que se tendrán.

Tabla V.3 Clientes Potenciales en el Consumo de Agua Residual Tratada

NO.	CLIENTE	SUMINISTRO	TIPO DE REUSO
1	Club America A.C.	Pipa	Riego
2	Centro Social, Cultural y Deportivo Cruz Azul A.C.	Toma	Riego
3	Centro Social, Cultural y Deportivo José López Portillo	Toma	Riego
4	Centro Pegasus S.A. de C.V.	Garza	Riego
5	Laboratorios GLAXO S.A. de C.V.	Toma	Riego
6	Laboratorios SCHERING PLOUGH	Pipa	Riego
7	Laboratorios HOUSE OF FULLER	Toma	Riego
8	Colegio Simón Bolívar	Pipa	Riego – Servicios
9	Primaria y Secundaria Instituto México A.C.	Toma	Riego – Servicios
10	Secretaría de Marina	Toma	Riego – Servicios – Industrial
11	Centro Libanés	Pipa	Riego
12	Estadio Azul	Toma	Riego – Servicios
13	Central Camionera del Sur	Toma	Servicios
14	Central Camionera Poniente	Toma	Servicios
15	Enlaces Terrestres Nacionales	Toma	Servicios
16	Autobuses de Occidente	Toma	Servicios
17	Instituto Nacional de Cancerología	Toma	Riego
18	Instituto Nacional de Cardiología	Toma	Riego
19	Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias	Toma	Riego
20	Hospital Luis Gea González	Toma	Riego
21	Hospital de la Nutrición	Toma	Riego
22	Instituto Nacional de Psiquiatría para Adultos	Toma	Riego
23	Instituto Nacional de Psiquiatría para Niños	Toma	Riego
24	Centro Deportivo para Trabajadores de la Secretaría de Salud	Toma	Riego
25	Transportes Eléctricos del D.F.	Toma	Servicios
26	COATS HILOS TIMÓN (Textilera)	Toma	Industrial
27	Grupo ROVITEX (Textilera)	Toma	Industrial
28	Papelera Iruña	Toma	Industrial
29	Papelera San Francisco	Toma	Industrial
30	Panteón Jardín	Toma	Riego – Servicios
31	Instituto Canadiense CLARAC	Toma	Riego – Servicios
32	Club Alemán de México	Toma	Riego
33	Fundación Mier y Pesado	Toma	Riego – Servicios

CAPÍTULO V. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Tabla V.3 Clientes Potenciales en el Consumo de Agua Residual Tratada (continuación)

NO.	CLIENTE	SUMINISTRO	TIPO DE REUSO
34	Fundación Dr. José Álvarez	Toma	Riego - Servicios
35	Caminos y Puentes Federales	Garza	Riego - Servicios - Industrial
36	Club de Fútbol Atlante A.C.	Garza	Riego - Servicios
37	Colegio Alemán Alexander Von Humbolt	Toma	Riego - Servicios
38	Universidad del Valle de México	Pipa	Riego - Servicios
39	Grupo Nacional Provincial	Toma	Servicios
40	SCT Metro Terminal Taxqueña	Toma	Servicios
41	Seguros Comercial América	Pipa	Riego
42	Universidad La Salle	Pipa	Riego - Servicios
43	Hospital de Neurología	Pipa	Riego
44	Hospital MEDICA SUR	Toma	Riego
45	Club de Golf Campestre Churubusco	Toma	Riego
46	Centro Nacional para la Cultura y las Artes	Toma	Riego - Servicios
47	Club de Golf México	Toma	Riego
48	ESIME	Toma	Riego - Servicios
49	ESCA	Toma	Riego - Servicios
50	Hospital de Fisiatría	Toma	Riego - Servicios
51	Schering Mexicana S.A. de C.V.	Toma	Riego
52	Laboratorios Up John	Pipa	Riego
53	Laboratorios Armstrong	Pipa	Riego
54	Club Hípico Las Águilas	Pipa	Riego - Servicios
55	Centro México Japonés	Pipa	Riego
56	Ex-Hacienda de Tlalpan	Toma	Riego
57	Estadio Azteca	Toma	Riego
58	Club de Tenis Tepepan	Pipa	Riego - Servicios
59	Deportivo Churubusco	Toma	Riego - Servicios
60	Universidad Iberoamericana	Pipa	Riego - Servicios
61	Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco	Toma	Riego - Servicios
62	Galerías Insurgentes	Toma	Servicios
63	TELEvisa	Pipa	Riego - Servicios
64	TV AZTECA	Pipa	Riego - Servicios
65	Banco Nacional de México	Pipa	Riego - Servicios
66	Fondo de Cultura Económica	Pipa	Riego - Servicios

Tabla V.3 Clientes Potenciales en el Consumo de Agua Residual Tratada (continuación)

NO.	CLIENTE	SUMINISTRO	TIPO DE REUSO
67	Escuela Moderno Americana S.C.	Toma	Riego - Servicios
68	Teléfonos de México	Toma	Riego - Servicios
69	Transportes Herradura de Plata	Toma	Servicios
70	Transportes Flecha Roja	Toma	Servicios
71	Liga Pequeña de Béisbol Maya A.C.	Toma	Riego
72	Liga de Béisbol Olmeca	Toma	Riego
73	Deportivo del Sindicato Mexicano de Electricistas	Toma	Riego
74	Banca Serfin	Pipa	Riego - Servicios
75	Turismo y Autobuses México - Toluca	Garza	Servicios
76	Instituto de Humanidades y Ciencias	Pipa	Riego - Servicios
77	Institutos Asociados Amado Nervo	Pipa	Riego - Servicios
78	Autotransportes Urbanos Siglo Nuevo	Toma	Servicios
79	Centro de Estudios Superiores Navales	Toma	Riego - Servicios
80	Comisión Nacional del Deporte	Pipa	Riego - Servicios
81	Hipódromo de las Américas	Pipa	Riego - Servicios
82	Schering Plough	Pipa	Riego
83	Fibras Sintéticas S.A. de C.V.	Toma	Industrial
84	Museo Nacional de las Intervenciones	Toma	Riego
85	Asociación Nacional de Universidades e Institutos de Educación Superior	Toma	Riego - Servicios
86	Viveros de Coyoacán	Toma	Riego
87	Liga de Béisbol Toltéca	Toma	Riego
88	Club de Fútbol Americano GAMOS	Toma	Riego
89	Club de Fútbol Americano CHEROKEES	Toma	Riego
90	Escuela Nacional de Artes Plásticas	Toma	Riego
91	Vivero Permanente de Flores	Toma	Riego
92	Mercado de Flores San Fernando	Toma	Riego
93	Club Hípico San Luis	Pipa	Riego - Servicios
94	Celanese de México S.A. de C.V.	Toma	Riego - Servicios
95	KODAK S.A. de C.V.	Pipa	Riego
96	Colegio Liceo Franco Español	Pipa	Riego
97	Colegio Olínca	Pipa	Riego
98	Club France	Pipa	Riego
99	Instituto México Japonés	Pipa	Riego

CAPÍTULO V. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Tabla V.3 Clientes Potenciales en el Consumo de Agua Residual Tratada (continuación)

NO.	CLIENTE	SUMINISTRO	TIPO DE REUSO
100	Laboratorios Silanes	Toma	Riego
101	Cementos Anahuac	Toma	Industrial
102	Aceros Nacionales	Toma	Industrial
103	Jardines del Recuerdo	Toma	Riego – Servicios
104	Elasticos de México	Pipa	Industrial
105	FEMSA Coca-Cola / Embotelladora	Toma	Riego – Servicios – Industrial
106	Autos Zapala	Pipa	Servicios
107	Mezclas Asfálticas	Pipa	Industrial
108	Compañía Nestle	Pipa	Industrial
109	Autolavado Revolución	Pipa	Servicios
110	NEAT Automotriz	Pipa	Servicios
111	Autolavado ZEUS	Pipa	Servicios
112	Cementos APASCO	Toma	Riego – Servicios – Industrial
113	Papelera San Cristóbal	Toma	Industrial
114	Autolavado Sánchez	Pipa	Servicios
115	Elasticos Mexicanos	Pipa	Industrial
116	PEPSICO / Embotelladora	Toma	Riego – Servicios – Industrial
117	Autolavado EL OSO	Pipa	Servicios
118	Papeleras Unidas de México	Toma	Industrial
119	Asociación de Autolavados del Sur	Pipa	Servicios
120	SIGMA Alimentos	Toma	Industrial

Nota: Los servicios son: lavado de pisos, sanitarios y lavado de vehículos automotores.

USUARIOS POR TIPO DE SUMINISTRO
120 USUARIOS

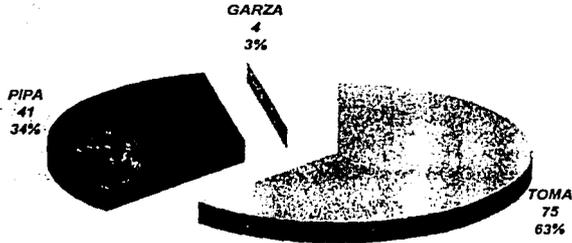


Fig. V.1 Usuarios por tipo de suministro

USUARIOS POR TIPO DE REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA
120 USUARIOS

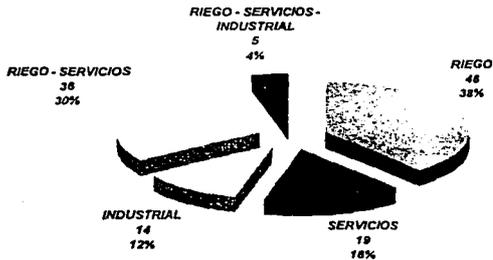


Fig. V.2 Usuarios por tipo de reuso del agua residual tratada

USUARIOS POR GIRO COMERCIAL
120 USUARIOS

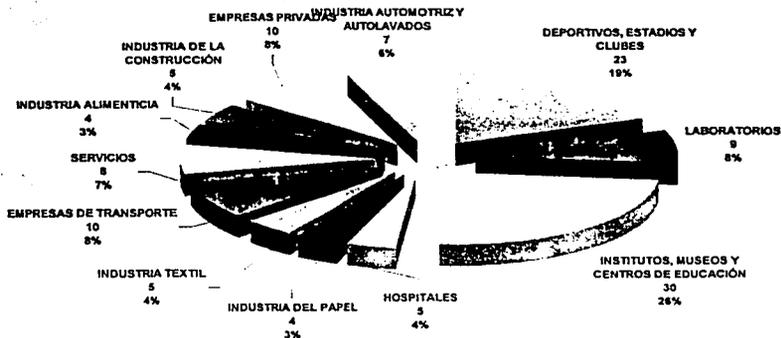


Fig. V.3 Usuarios por giro comercial

USUARIOS POR TIPO DE REUSO
RIEGO
46 USUARIOS

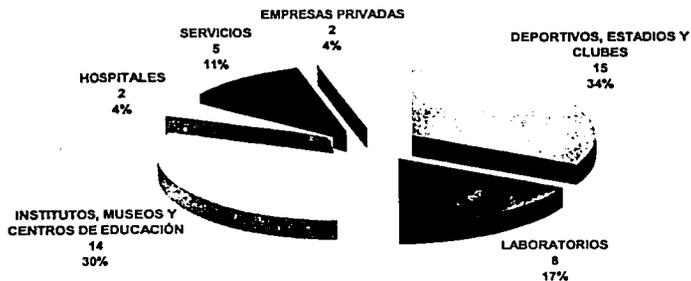


Fig. V.4 Usuarios por tipo de reuso. Riego

USUARIOS POR TIPO DE REUSO
SERVICIOS
19 USUARIOS

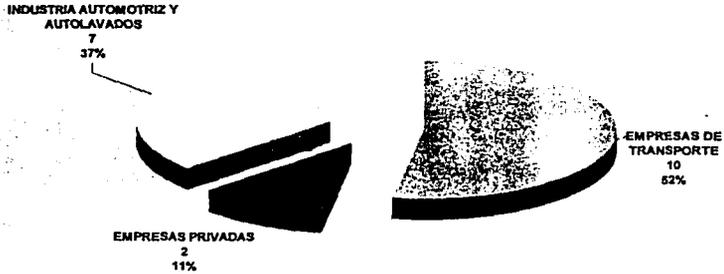


Fig. V.5 Usuarios por tipo de reuso. Servicios

USUARIOS POR TIPO DE REUSO
INDUSTRIAL
14 USUARIOS

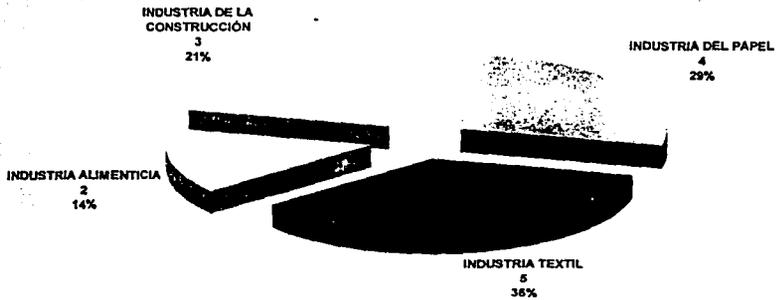


Fig. V.6 Usuarios por tipo de reuso. Industrial

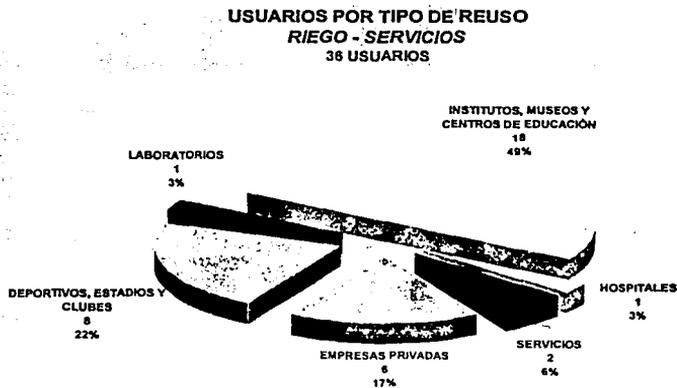


Fig. V.7 Usuarios por tipo de reuso. Riego - Servicios



Fig. V.8 Usuarios por tipo de reuso. Riego - Servicios - Industrial

V.6.1 ESTUDIO ECONÓMICO

V.6.1.1. COSTOS DE PRODUCCIÓN

MATERIAS PRIMAS.

Son los materiales que de hecho entran y forman parte del producto terminado. Estos costos incluyen fletes de compra, de almacenamiento y de manejo.

Gas Cloro. Se utilizará para la cloración del agua en su última etapa.

Cantidad: Quince cilindros de 900 Kg de capacidad por cilindro.

Costo = \$112,500.00 al mes por los quince. **\$1'350,000.00 al año**

MANO DE OBRA DIRECTA.

Es la que se utiliza para transformar la materia prima en producto terminado. Se puede identificar en virtud de que su monto varía casi proporcionalmente con el número de unidades productivas.

Tabla V.4 Número de empleados en la planta y su trabajo

Personal	Número de plazas por día		Sueldo Mensual	Sueldo Anual	
	1 Turno	4 Turnos		1 Turno	4 Turnos
Jefe de Planta	1		\$11,000.00	\$132,000.00	
Jefe de Operaciones	1		\$4,950.00	\$59,400.00	
Jefe de Mantenimiento	1		\$4,950.00	\$59,400.00	
Oficial Operador		8	\$2,640.00		\$253,440.00
Oficial Mantenimiento		8	\$2,640.00		\$253,440.00
Laboratorista	4		\$3,300.00	\$158,400.00	
Total				\$409,200.00	\$506,880.00
COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA ANUAL				\$916,080.00	

MANO DE OBRA INDIRECTA.

Es la necesaria en el departamento de producción, pero que no interviene directamente en la transformación de las materias primas.

Tabla V.5 Empleados administrativos

Concepto	Sueldo Mensual	Sueldo Anual
1 Contador	\$4,400.00	\$52,800.00
1 Secretaria	\$1,980.00	\$23,760.00
1 Chofer	\$1,650.00	\$19,800.00
COSTO ADMINISTRATIVO ANUAL		\$87,600.00

COSTO DE LOS INSUMOS.

Dentro del proceso productivo se requieren de insumos para su funcionamiento. Estos pueden ser: energía eléctrica, combustibles (diesel, gas, gasolina, petróleo pesado); gases industriales especiales (freón, amoniaco, oxígeno, acetileno); reactivos para control de calidad (químicos o mecánicos). La lista puede extenderse más, todo dependerá del tipo de proceso que se requiera para producir determinado bien o servicio. En nuestro caso el insumo que se considerará es la electricidad que se consume para producir el agua residual tratada.

Tabla V.6 Costo Anual de Electricidad

Concepto	Potencia oper. (HP)	Potencia (KWh)	Consumo mensual	Costo Anual
Equipo de la planta de tratamiento	282,004	210,375	\$294,525.00	\$3'534,300.00
Alumbrado en general	49,765	37,125	\$51,975.00	\$623,700.00
COSTO ADMINISTRATIVO ANUAL			\$346,500.00	\$4'158,000.00

COSTO DE MANTENIMIENTO.

Es un servicio que se contabiliza por separado, en virtud de las características especiales que puede presentar. Se puede dar mantenimiento preventivo y correctivo al equipo y a la planta. El costo de los materiales y la mano de obra que se requieran, se cargan directamente a mantenimiento, pues pueden variar mucho en ambos casos. Para este trabajo, consideraremos un porcentaje del 2.5% del costo de adquisición de los equipos.

Tabla V.7 Costo Anual de Mantenimiento

Concepto	Costo del equipo	Costo Anual de Mantenimiento
Subestación eléctrica y talleres	\$13,494,916.00	\$337,373.00
Compuertas	\$5,286,433.00	\$132,161.00
Rejillas	\$2,495,884.00	\$62,397.00
Mecanismo desarenador – desgrasador	\$3,867,443.00	\$96,686.00
Equipo sumergible de aireación	\$19,262,916.00	\$481,573.00
Mecanismo sedimentador	\$11,904,321.00	\$297,608.00
Mecanismo de espesador de lodos	\$3,312,530.00	\$82,813.00
Filtros prensa	\$17,894,177.00	\$447,354.00
Tolva de Lodos	\$4,350,889.00	\$108,772.00
Equipo de cloración	\$4,038,113.00	\$100,953.00
Equipo de bombeo	\$2,164,302.00	\$54,108.00
Obras exteriores	\$298,874.00	\$7,472.00
COSTOS DE MANTENIMIENTO ANUAL	\$88,370,798.00	\$2,209,270.00

CARGOS DE DEPRECIACIÓN.

Son costos virtuales, esto es, se tratan y tienen el efecto de un costo sin serlo. Para el caso de una planta de tratamiento de aguas residuales, no se utiliza el método convencional de depreciación, se hará como se muestra a continuación.

Tabla V.8 Elementos considerados para su depreciación

OBRA CIVIL	COSTO DE LA OBRA
Camino de acceso	\$706,844.00
Tanques de aireación	\$16,885,867.00
Tanques de sedimentación	\$11,879,739.00
Tanque de contacto de cloro	\$1,727,919.00
Canal de pretratamiento	\$1,283,568.00
Sala de cloración y almacenamiento	\$1,162,690.00
Espesamiento de lodos	\$1,918,893.00
Caseta de deshidratación de lodos	\$1,385,560.00
Edificio de operaciones y edificio central	\$1,141,243.00
Interconexiones, conducciones de lodos	\$19,170,217.00
Canal Parshall pretratada	\$298,874.00
Canal Parshall tratada	\$298,874.00
Obras exteriores	\$9,747,218.00
TOTAL OBRA CIVIL	\$67,607,506.00

CAPÍTULO V. EJEMPLO DE APLICACIÓN

EQUIPO	COSTO DEL EQUIPO
Subestación eléctrica y talleres	\$13,494,916.00
Compuertas	\$5,286,433.00
Rejillas	\$2,495,884.00
Mecanismo desarenador – desgrasador	\$3,867,443.00
Equipo sumergible de aireación	\$19,262,916.00
Mecanismo sedimentador	\$11,904,321.00
Mecanismo de espesador de lodos	\$3,312,530.00
Filtros prensa	\$17,894,177.00
Tolva de Lodos	\$4,350,889.00
Equipo de cloración	\$4,038,113.00
Equipo de bombeo	\$2,164,302.00
TOTAL DE EQUIPO	\$88,071,924.00

SUMA TOTAL A DEPRECIAR	\$155'679,430.00
-------------------------------	-------------------------

Depreciación = Costo Planta / Tiempo de Concesión

Depreciación Anual = \$155'679,430.00 / 20 años = \$ 7'783,972.00

SEGURO DE LA PLANTA.

Lo calculamos como el 1% de la inversión fija total.

Seguro de la planta = \$155'679,430.00 X 0.01 = \$ 1'556,794.00

Tabla V.9 Propuesta del Costo de Producción para el periodo de la Concesión

CONCEPTO	PERÍODO ANUAL								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gasto agua tratada (lps)	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Materia prima	\$1,350,000.00	\$1,485,000.00	\$1,633,500.00	\$1,796,850.00	\$1,976,535.00	\$2,174,189.00	\$2,391,608.00	\$2,630,769.00	\$2,893,846.00
Electricidad	\$4,158,000.00	\$4,573,800.00	\$5,031,180.00	\$5,534,298.00	\$6,087,728.00	\$6,696,501.00	\$7,366,151.00	\$8,102,766.00	\$8,913,043.00
Mano de Obra	\$916,080.00	\$1,007,688.00	\$1,108,457.00	\$1,219,303.00	\$1,341,233.00	\$1,475,356.00	\$1,622,892.00	\$1,785,181.00	\$1,963,699.00
Costos Directos	\$6,424,080.00	\$7,066,488.00	\$7,773,137.00	\$8,550,451.00	\$9,405,496.00	\$10,346,046.00	\$11,380,651.00	\$12,518,716.00	\$13,770,588.00
Depreciación	\$7,783,972.00	\$8,562,369.00	\$9,418,606.00	\$10,360,467.00	\$11,396,514.00	\$12,536,165.00	\$13,789,782.00	\$15,168,760.00	\$16,685,636.00
Mantenimiento	\$2,209,270.00	\$2,430,197.00	\$2,673,217.00	\$2,940,539.00	\$3,234,593.00	\$3,558,052.00	\$3,913,857.00	\$4,305,243.00	\$4,735,767.00
Seguro	\$1,556,794.00	\$1,712,473.00	\$1,883,720.00	\$2,072,092.00	\$2,279,301.00	\$2,507,231.00	\$2,757,954.00	\$3,033,749.00	\$3,337,124.00
Mano de Obra Indirectos	\$96,360.00	\$105,996.00	\$116,596.00	\$128,256.00	\$141,082.00	\$155,190.00	\$170,709.00	\$187,780.00	\$206,558.00
Costos Indirectos	\$11,646,396.00	\$12,811,035.00	\$14,092,139.00	\$15,501,354.00	\$17,051,490.00	\$18,756,638.00	\$20,632,302.00	\$22,695,532.00	\$24,965,085.00
Costos de Producción	\$18,070,476.00	\$19,877,523.00	\$21,865,276.00	\$24,051,805.00	\$26,456,986.00	\$29,102,684.00	\$32,012,953.00	\$35,214,248.00	\$38,735,673.00

Tabla V.9 Propuesta del Costo de Producción para el periodo de la Concesión

CONCEPTO	PERÍODO ANUAL								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gasto agua tratada (lps)	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Materia prima	\$1,350,000.00	\$1,485,000.00	\$1,633,500.00	\$1,796,850.00	\$1,976,535.00	\$2,174,189.00	\$2,391,608.00	\$2,630,769.00	\$2,893,846.00
Electricidad	\$4,158,000.00	\$4,573,800.00	\$5,031,180.00	\$5,534,298.00	\$6,087,728.00	\$6,696,501.00	\$7,366,151.00	\$8,102,766.00	\$8,913,043.00
Mano de Obra	\$916,080.00	\$1,007,688.00	\$1,108,457.00	\$1,219,303.00	\$1,341,233.00	\$1,475,356.00	\$1,622,892.00	\$1,785,181.00	\$1,963,699.00
Costos Directos	\$6,424,080.00	\$7,066,488.00	\$7,773,137.00	\$8,550,451.00	\$9,405,496.00	\$10,346,046.00	\$11,380,651.00	\$12,518,716.00	\$13,770,588.00
Depreciación	\$7,783,972.00	\$8,562,369.00	\$9,418,606.00	\$10,360,467.00	\$11,396,514.00	\$12,536,165.00	\$13,789,782.00	\$15,168,760.00	\$16,685,636.00
Mantenimiento	\$2,209,270.00	\$2,430,197.00	\$2,673,217.00	\$2,940,539.00	\$3,234,593.00	\$3,558,052.00	\$3,913,857.00	\$4,305,243.00	\$4,735,767.00
Seguro	\$1,556,794.00	\$1,712,473.00	\$1,883,720.00	\$2,072,092.00	\$2,279,301.00	\$2,507,231.00	\$2,757,954.00	\$3,033,749.00	\$3,337,124.00
Mano de Obra Indirectos	\$96,360.00	\$105,996.00	\$116,596.00	\$128,256.00	\$141,082.00	\$155,190.00	\$170,709.00	\$187,780.00	\$206,558.00
Costos Indirectos	\$11,646,396.00	\$12,811,035.00	\$14,092,139.00	\$15,501,354.00	\$17,051,490.00	\$18,756,638.00	\$20,632,302.00	\$22,695,532.00	\$24,965,085.00
Costos de Producción	\$18,070,476.00	\$19,877,523.00	\$21,865,276.00	\$24,051,805.00	\$26,456,986.00	\$29,102,684.00	\$32,012,953.00	\$35,214,248.00	\$38,735,673.00

**Tabla V.9 Propuesta del Costo de Producción para el periodo de la Concesión
(continuación)**

PERÍODO ANUAL										
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
\$3,183,231.00	\$3,501,554.00	\$3,851,709.00	\$4,236,880.00	\$4,660,568.00	\$5,126,625.00	\$5,639,288.00	\$6,203,217.00	\$6,823,539.00	\$7,505,893.00	\$8,256,482.00
\$9,804,347.00	\$10,784,782.00	\$11,863,260.00	\$13,049,586.00	\$14,354,545.00	\$15,790,000.00	\$17,369,000.00	\$19,105,900.00	\$21,016,490.00	\$23,118,139.00	\$25,429,953.00
\$2,160,069.00	\$2,376,076.00	\$2,613,684.00	\$2,875,052.00	\$3,162,557.00	\$3,478,813.00	\$3,826,694.00	\$4,209,363.00	\$4,630,299.00	\$5,093,329.00	\$5,602,662.00
\$15,147,647.00	\$16,662,412.00	\$18,328,653.00	\$20,161,518.00	\$22,177,670.00	\$24,395,438.00	\$26,834,982.00	\$29,518,480.00	\$32,470,328.00	\$35,717,361.00	\$39,289,097.00
\$18,354,200.00	\$20,189,620.00	\$22,208,582.00	\$24,429,440.00	\$26,872,384.00	\$29,559,622.00	\$32,515,584.00	\$35,767,142.00	\$39,343,856.00	\$43,278,242.00	\$47,606,066.00
\$5,209,344.00	\$5,730,278.00	\$6,303,306.00	\$6,933,637.00	\$7,627,001.00	\$8,389,701.00	\$9,228,671.00	\$10,151,538.00	\$11,166,692.00	\$12,283,361.00	\$13,511,697.00
\$3,670,836.00	\$4,037,920.00	\$4,441,712.00	\$4,885,883.00	\$5,374,471.00	\$5,911,918.00	\$6,503,110.00	\$7,153,421.00	\$7,868,763.00	\$8,655,639.00	\$9,521,203.00
\$227,214.00	\$249,935.00	\$274,929.00	\$302,422.00	\$332,664.00	\$365,930.00	\$402,523.00	\$442,775.00	\$487,053.00	\$535,758.00	\$589,334.00
\$27,461,594.00	\$30,207,753.00	\$33,228,529.00	\$36,551,382.00	\$40,206,520.00	\$44,227,171.00	\$48,649,888.00	\$53,514,876.00	\$58,866,364.00	\$64,753,000.00	\$71,228,300.00
\$42,609,241.00	\$46,870,165.00	\$51,557,182.00	\$56,712,900.00	\$62,384,190.00	\$68,622,609.00	\$75,484,870.00	\$83,033,356.00	\$91,336,692.00	\$100,470,361.00	\$110,517,397.00

NOTA: Para los cálculos anteriores se considero un 10% de inflación anual para cada uno de los 20 años.

Tabla V. 10 PROPUESTA DEL COSTO TOTAL DE OPERACIÓN + INVERSIÓN PARA EL PERÍODO DE LA CONCESIÓN

CONCEPTO	PERÍODO ANUAL								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gasto agua tratada (lps)	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Materia prima	\$1,350,000.00	\$1,485,000.00	\$1,633,500.00	\$1,796,850.00	\$1,976,535.00	\$2,174,189.00	\$2,391,608.00	\$2,630,769.00	\$2,893,846.00
Electricidad	\$4,158,000.00	\$4,573,800.00	\$5,031,180.00	\$5,534,298.00	\$6,087,728.00	\$6,696,501.00	\$7,366,151.00	\$8,102,766.00	\$8,913,043.00
Mano de Obra	\$916,080.00	\$1,007,688.00	\$1,108,457.00	\$1,219,303.00	\$1,341,233.00	\$1,475,356.00	\$1,622,892.00	\$1,785,181.00	\$1,963,699.00
Costos Directos	\$6,424,080.00	\$7,066,488.00	\$7,773,137.00	\$8,550,451.00	\$9,405,496.00	\$10,346,046.00	\$11,380,651.00	\$12,518,716.00	\$13,770,588.00
Depreciación	\$7,783,972.00	\$8,562,369.00	\$9,418,606.00	\$10,360,467.00	\$11,396,514.00	\$12,536,165.00	\$13,789,782.00	\$15,168,760.00	\$16,685,636.00
Mantenimiento	\$2,209,270.00	\$2,430,197.00	\$2,673,217.00	\$2,940,539.00	\$3,234,593.00	\$3,558,052.00	\$3,913,857.00	\$4,305,243.00	\$4,735,767.00
Seguro	\$1,556,794.00	\$1,712,473.00	\$1,883,720.00	\$2,072,092.00	\$2,279,301.00	\$2,507,231.00	\$2,757,954.00	\$3,033,749.00	\$3,337,124.00
Mano de Obra Indirectos	\$96,360.00	\$105,996.00	\$116,596.00	\$128,256.00	\$141,082.00	\$155,190.00	\$170,709.00	\$187,780.00	\$206,558.00
Costos Indirectos	\$11,646,396.00	\$12,811,035.00	\$14,092,139.00	\$15,501,354.00	\$17,051,490.00	\$18,756,638.00	\$20,632,302.00	\$22,695,532.00	\$24,965,085.00
Costos de Producción	\$18,070,476.00	\$19,877,523.00	\$21,865,276.00	\$24,051,805.00	\$26,456,986.00	\$29,102,684.00	\$32,012,953.00	\$35,214,248.00	\$38,735,673.00
Volumen Anual (m ³)	15,768,000.00	15,768,000.00	15,768,000.00	15,768,000.00	15,768,000.00	15,768,000.00	15,768,000.00	15,768,000.00	15,768,000.00
Costo Operación Variable	\$1.15	\$1.26	\$1.39	\$1.53	\$1.68	\$1.85	\$2.03	\$2.23	\$2.46
Costo Fijo por Inversión (m ³)	\$1.54	\$1.54	\$1.54	\$1.54	\$1.54	\$1.54	\$1.54	\$1.54	\$1.54
Costo Total Operación + Inversión (m ³)	\$2.69	\$2.80	\$2.93	\$3.07	\$3.22	\$3.39	\$3.57	\$3.78	\$4.00

Tabla V. 10 PROPUESTA DEL COSTO TOTAL DE OPERACIÓN + INVERSIÓN PARA EL PERÍODO DE LA CONCESIÓN
(continuación)

PERÍODO ANUAL										
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
\$3,183,231.00	\$3,501,554.00	\$3,851,709.00	\$4,236,880.00	\$4,660,568.00	\$5,126,625.00	\$5,639,288.00	\$6,203,217.00	\$6,823,539.00	\$7,505,893.00	\$8,256,482.00
\$9,804,347.00	\$10,784,782.00	\$11,863,260.00	\$13,049,586.00	\$14,354,545.00	\$15,790,000.00	\$17,369,000.00	\$19,105,900.00	\$21,016,490.00	\$23,118,139.00	\$25,429,953.00
\$2,160,069.00	\$2,376,076.00	\$2,613,684.00	\$2,875,052.00	\$3,162,557.00	\$3,478,813.00	\$3,826,694.00	\$4,209,363.00	\$4,630,299.00	\$5,093,329.00	\$5,602,662.00
\$15,147,647.00	\$16,662,412.00	\$18,328,653.00	\$20,161,518.00	\$22,177,670.00	\$24,395,438.00	\$26,834,982.00	\$29,518,480.00	\$32,470,328.00	\$35,717,361.00	\$39,289,097.00
\$18,354,200.00	\$20,189,620.00	\$22,208,582.00	\$24,429,440.00	\$26,872,384.00	\$29,559,622.00	\$32,515,584.00	\$35,767,142.00	\$39,343,856.00	\$43,278,242.00	\$47,606,066.00
\$5,209,344.00	\$5,730,278.00	\$6,303,306.00	\$6,933,637.00	\$7,627,001.00	\$8,389,701.00	\$9,228,671.00	\$10,151,538.00	\$11,166,692.00	\$12,283,361.00	\$13,511,697.00
\$3,670,836.00	\$4,037,920.00	\$4,441,712.00	\$4,885,883.00	\$5,374,471.00	\$5,911,918.00	\$6,503,110.00	\$7,153,421.00	\$7,868,763.00	\$8,655,639.00	\$9,521,203.00
\$227,214.00	\$249,935.00	\$274,929.00	\$302,422.00	\$332,664.00	\$365,930.00	\$402,523.00	\$442,775.00	\$487,053.00	\$535,758.00	\$589,334.00
\$27,461,594.00	\$30,207,753.00	\$33,228,529.00	\$36,551,382.00	\$40,206,520.00	\$44,227,171.00	\$48,649,888.00	\$53,514,876.00	\$58,866,364.00	\$64,753,000.00	\$71,228,300.00
\$42,609,241.00	\$46,870,165.00	\$51,557,182.00	\$56,712,900.00	\$62,384,190.00	\$68,622,609.00	\$75,484,870.00	\$83,033,356.00	\$91,336,692.00	\$100,470,361.00	\$110,517,397.00
15,768,000.00	15,768,000.00	15,768,000.00	15,768,000.00	15,768,000.00	15,768,000.00	15,768,000.00	15,768,000.00	15,768,000.00	15,768,000.00	15,768,000.00
\$2.70	\$2.97	\$3.27	\$3.60	\$3.96	\$4.35	\$4.79	\$5.27	\$5.79	\$6.37	\$7.01
\$1.54	\$1.54	\$1.54	\$1.54	\$1.54	\$1.54	\$1.54	\$1.54	\$1.54	\$1.54	\$1.54
\$4.24	\$4.51	\$4.81	\$5.14	\$5.50	\$5.89	\$6.33	\$6.81	\$7.33	\$7.91	\$8.55

Para los cálculos anteriores se considero un 10% de inflación anual para cada uno de los 20 años y 3% de incrementos anuales en el precio del m³ de agua.

V.6.1.2. COSTOS DE INVERSIÓN

INVERSIÓN INICIAL FIJA Y DIFERIDA

La inversión inicial comprende la adquisición de todos los activos fijos o tangibles y diferidos o intangibles, necesarios para iniciar las operaciones de la empresa, con excepción del capital de trabajo.

En el activo tangible o fijo se encuentran los bienes de la empresa, tales como terrenos, edificios, maquinaria, equipo, mobiliario, vehículos de transporte, herramientas y otros. Se le llama fijo porque la empresa no puede desprenderse fácilmente de él sin que con ello ocasione problemas a sus actividades productivas.

En el activo intangible se encuentran los bienes propiedad de la empresa necesarios para su funcionamiento y que incluyen: gastos pre-operativos, de instalación y puesta en marcha, contratos de servicios, estudios que tiendan a mejorar en el presente o futuro el funcionamiento de la empresa, como estudios administrativos, o de ingeniería, estudios de evaluación, capacitación de personal dentro y fuera de la empresa, etc.

ACTIVO FIJO O TANGIBLE.

Para este trabajo consideraremos como activo fijo los equipos, la obra civil y el mobiliario, cabe mencionar que el terreno donde se localiza la planta, pertenece al Gobierno del Distrito Federal y tiene un costo de \$7'500,000.00, por lo tanto no lo consideramos como activo.

Tabla V.11 Elementos considerados como Activo Fijo

OBRA CIVIL	COSTO DE LA OBRA
Camino de acceso	\$706,844.00
Tanques de aireación	\$16,885,867.00
Tanques de sedimentación	\$11,879,739.00
Tanque de contacto de cloro	\$1,727,919.00
Canal de pretratamiento	\$1,283,568.00
Sala de cloración y almacenamiento	\$1,162,690.00
Espesamiento de lodos	\$1,918,893.00
Caseta de deshidratación de lodos	\$1,385,560.00
Edificio de operaciones y edificio central	\$1,141,243.00
Interconexiones, conducciones de lodos	\$19,170,217.00
Canal Parshall pretratada	\$298,874.00
Canal Parshall tratada	\$298,874.00
Obras exteriores	\$9,747,218.00
TOTAL OBRA CIVIL	\$67,607,506.00

CAPÍTULO V. EJEMPLO DE APLICACIÓN

EQUIPO	COSTO DEL EQUIPO
Subestación eléctrica y talleres	\$13,494,916.00
Compuertas	\$5,286,433.00
Rejillas	\$2,495,884.00
Mecanismo desarenador – desgrasador	\$3,867,443.00
Equipo sumergible de aireación	\$19,262,916.00
Mecanismo sedimentador	\$11,904,321.00
Mecanismo de espesador de lodos	\$3,312,530.00
Filtros prensa	\$17,894,177.00
Tolva de Lodos	\$4,350,889.00
Equipo de cloración	\$4,038,113.00
Equipo de bombeo	\$2,164,302.00
TOTAL DE EQUIPOS	\$88,071,924.00

MOBILIARIO	COSTO
Muebles y computadoras	\$110,000.00
TOTAL DEL MOBILIARIOS	\$110,000.00

VEHÍCULOS DE TRANSPORTE	COSTO
Una camioneta	\$198,000.00
TOTAL DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE	\$198,000.00

TOTAL DE ACTIVO FIJO	\$155'987,430.00
-----------------------------	-------------------------

ACTIVO INTANGIBLE.

Para este trabajo, consideremos como activos intangibles del proyecto:

Planeación	0.5% del total de los activos fijos
Ingeniería del Proyecto	1.5% del total de los activos fijos
Supervisión de la Construcción	5.0% del total de los activos fijos
Administración del Proyecto	0.5% del total de los activos fijos
Imprevistos	10.0% del total de los activos fijos

Tabla V.12 Elementos considerados como Activos Intangibles

Planeación	\$779,937.00
Ingeniería del Proyecto	\$2,339,811.00
Supervisión de la Construcción	\$7,799,372.00
Administración del Proyecto	\$779,937.00
Imprevistos	\$15,598,743.00
TOTAL DE ACTIVO INTANGIBLES	\$27'297,809.00
TOTAL DE LA INVERSIÓN FIJA DEL PROYECTO	\$183'285,230.00

CAPÍTULO V. EJEMPLO DE APLICACIÓN

V.6.1.3. CAPITAL DE TRABAJO

Para este trabajo consideraremos el capital de trabajo desde el punto de vista contable, como la diferencia entre el activo circulante. Desde el punto de vista práctico esta representado por el capital adicional, distinto de la inversión en activo fijo con que hay que contar para que empiece a funcionar la planta de tratamiento de aguas residuales. La planta debe financiar la primera producción antes de recibir ingresos; entonces debe comprarse la materia prima, pagar mano de obra, otorgar crédito a 30 días en las primeras ventas y contar con cierta cantidad de efectivo para sufragar los gastos diarios de la empresa. Todo esto constituirá el activo circulante. Tomaremos en cuenta, que también podemos conseguir préstamos a corto plazo y algunos servicios de proveedores, y a esto le llamaremos pasivo circulante.

Para el activo circulante, consideraremos los siguientes conceptos:

Caja y bancos	30 días del costo de producción
Materias primas	30 días del costo de materias primas

Para el pasivo circulante, consideraremos los siguientes conceptos:

Cuentas por pagar y otros	40 días del costo de las materias primas
---------------------------	--

Tabla V.13 Presupuesto del capital de trabajo inicial

PRESUPUESTO DEL CAPITAL DE TRABAJO INICIAL	
Concepto	
Activo Circulante	\$1,596,204.00
Cajas y bancos	\$1,485,245.00
Materias primas	\$110,959.00
Pasivo Circulante	\$147,945.00
Cuentas por Pagar y otros	\$147,945.00
CAPITAL DE TRABAJO	\$1'744,149.00

V.6.1.4. COSTO DE CAPITAL O TASA MÍNIMA ACEPTABLE DE RENDIMIENTO (TMAR)

El costo del capital del proyecto sin considerar su financiamiento se obtendrá de la siguiente manera:

Si tomamos en cuenta que para este trabajo, consideramos una tasa anual de inflación del 10% durante la concesión del proyecto, podemos suponer que los Certificados de la Tesorería (CETES) tendrán un comportamiento de cinco puntos arriba de la inflación (promedio histórico). Si tomamos en cuenta que los inversionistas se basan en el comportamiento de los CETES para determinar cual es el premio que se les debe de dar para que inviertan su dinero, en este proyecto se les ofrecerá cuatro puntos base por encima de los CETES como premio para atraer su inversión y que sea rentable para ellos.

Consideramos un valor de tasa de 19 puntos porcentuales, esto quiere decir que los inversionistas tendrán un premio de 9 puntos por encima de la inflación, como premio a su inversión.

$$\begin{aligned} \text{TMAR} &= \text{tasa de inflación} + \text{premio al riesgo} \\ \text{TMAR} &= 10 \% + 9 \% \\ \text{TMAR} &= 19 \% \end{aligned}$$

Determinaremos a continuación el presupuesto de ingreso de ventas para nuestra planta en función del consumo de nuestros clientes potenciales del reuso del agua residual tratada, para poder determinar después nuestro estado de resultados.

Tabla V.14 CLIENTES CON TOMA EN EL INMUEBLE

NO.	CLIENTE	CONSUMO BIMESTRAL (m3)	SUMINISTRO	TIPO DE REUSO	FACTURACIÓN BIMESTRAL	FACTURACIÓN ANUAL
2	CENTRO SOCIAL, CULTURAL Y DEPORTIVO CRUZ AZUL A.C.	8,000	TOMA	R	\$161,722.11	\$970,332.67
3	CENTRO SOCIAL, CULTURAL Y DEPORTIVO JOSE LOPEZ PORTILLO	7,000	TOMA	R	\$140,742.11	\$844,452.67
5	LABORATORIOS GLAXO S.A. DE C.V.	6,000	TOMA	R	\$119,762.11	\$718,572.67
7	LABORATORIOS HOUSE OF FULLER	3,000	TOMA	R	\$56,822.11	\$340,932.67
9	PRIMARIA Y SECUNDARIA INSTITUTO MEXICO A.C.	4,000	TOMA	R, S	\$77,802.11	\$466,812.67
10	SECRETARIA DE MARINA	9,000	TOMA	R, S, I	\$182,702.11	\$1,096,212.67
12	ESTADIO AZUL	4,000	TOMA	R, S	\$77,802.11	\$466,812.67
13	CENTRAL CAMIONERA DEL SUR	1,500	TOMA	S	\$25,350.03	\$152,100.15
14	CENTRAL CAMIONERA PONIENTE	1,500	TOMA	S	\$25,350.03	\$152,100.15
15	ENLACES TERRESTRES NACIONALES	1,500	TOMA	S	\$25,350.03	\$152,100.15
16	AUTOBUSES DE OCCIDENTE	1,500	TOMA	S	\$25,350.03	\$152,100.15
17	INSTITUTO NACIONAL DE CANCEROLOGIA	1,000	TOMA	R	\$15,125.03	\$90,750.15
18	INSTITUTO NACIONAL DE CARDIOLOGIA	1,000	TOMA	R	\$15,125.03	\$90,750.15
19	INSTITUTO NACIONAL DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS	1,000	TOMA	R	\$15,125.03	\$90,750.15
20	HOSPITAL LUIS GEA GONZALEZ	1,000	TOMA	R	\$15,125.03	\$90,750.15
21	HOSPITAL DE LA NUTRICION	1,000	TOMA	R	\$15,125.03	\$90,750.15
22	INSTITUTO NACIONAL DE PSIQUIATRIA PARA ADULTOS	1,000	TOMA	R	\$15,125.03	\$90,750.15
23	INSTITUTO NACIONAL DE PSIQUIATRIA PARA NIÑOS	1,000	TOMA	R	\$15,125.03	\$90,750.15
24	CENTRO DEPORTIVO PARA TRABAJADORES DE LA SECRETARIA DE SALUD	9,000	TOMA	R	\$182,702.11	\$1,096,212.67
25	TRANSPORTES ELECTRICOS DEL D.F.	14,000	TOMA	S	\$287,602.11	\$1,725,612.67
26	COATS HILOS TIMON (TEXTILERA)	50,000	TOMA	I	\$1,042,882.11	\$6,257,292.67
27	GRUPO ROVITEX (TEXTILERA)	110,000	TOMA	I	\$2,301,682.11	\$13,810,092.67

Tabla V.14 CLIENTES CON TOMA EN EL INMUEBLE
(continuación)

NO.	CLIENTE	CONSUMO BIMESTRAL (m3)	SUMINISTRO	TIPO DE REUSO	FACTURACIÓN BIMESTRAL	FACTURACIÓN ANUAL
28	PAPELERA IRUÑA	200,000	TOMA	I	\$4,189,882.11	\$25,139,292.67
29	PAPELERA SAN FRANCISCO	100,000	TOMA	I	\$2,091,882.11	\$12,551,292.67
30	PANTEON JARDIN	70,000	TOMA	R, S	\$1,462,482.11	\$8,774,892.67
31	INSTITUTO CANADIENSE CLARAC	1,000	TOMA	R, S	\$15,125.03	\$90,750.15
32	CLUB ALEMAN DE MEXICO	9,000	TOMA	R	\$182,702.11	\$1,096,212.67
33	FUNDACION MIER Y PESADO	1,000	TOMA	R, S	\$15,125.03	\$90,750.15
34	FUNDACION DR. JOSE ALVAREZ	2,000	TOMA	R, S	\$35,842.11	\$215,052.67
37	COLEGIO ALEMAN ALEXANDER VON HUMBOLT	4,000	TOMA	R, S	\$77,802.11	\$466,812.67
39	NACIONAL PROVINCIAL	10,000	TOMA	S	\$203,682.11	\$1,222,092.67
40	SCT METRO TERMINAL TAXQUEÑA	5,000	TOMA	S	\$98,782.11	\$592,692.67
44	HOSPITAL MEDICA SUR	9,000	TOMA	R	\$182,702.11	\$1,096,212.67
45	CLUB DE GOLF CAMPESTRE CHURUBUSCO	220,000	TOMA	R	\$4,609,482.11	\$27,656,892.67
46	CENTRO NACIONAL PARA LA CULTURA Y LAS ARTES	10,000	TOMA	R, S	\$203,682.11	\$1,222,092.67
47	CLUB DE GOLF MEXICO	220,000	TOMA	R	\$4,609,482.11	\$27,656,892.67
48	ESIME	9,000	TOMA	R, S	\$182,702.11	\$1,096,212.67
49	ESCA	9,000	TOMA	R, S	\$182,702.11	\$1,096,212.67
50	HOSPITAL DE FISIATRIA	9,000	TOMA	R, S	\$182,702.11	\$1,096,212.67
51	SCHERING MEXICANA S.A. DE C.V.	2,000	TOMA	R	\$35,842.11	\$215,052.67
56	EX-HACIENDA DE TLALPAN	5,000	TOMA	R	\$98,782.11	\$592,692.67
57	ESTADIO AZTECA	5,000	TOMA	R	\$98,782.11	\$592,692.67
59	DEPORTIVO CHURUBUSCO	5,000	TOMA	R, S	\$98,782.11	\$592,692.67
61	UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA XOCHIMILCO	9,000	TOMA	R, S	\$182,702.11	\$1,096,212.67

CAPÍTULO V. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Tabla V.14 CLIENTES CON TOMA EN EL INMUEBLE
(continuación)

NO.	CLIENTE	CONSUMO BIMESTRAL (m3)	SUMINISTRO	TIPO DE REUSO	FACTURACIÓN BIMESTRAL	FACTURACIÓN ANUAL
62	GALERIAS INSURGENTES	3,000	TOMA	S	\$56,822.11	\$340,932.67
67	ESCUELA MODERNO AMERICANA S.C.	1,500	TOMA	R, S	\$25,350.03	\$152,100.15
68	TELEFONOS DE MEXICO	5,000	TOMA	R, S	\$98,782.11	\$592,692.67
69	TRANSPORTES HERRADURA DE PLATA	3,000	TOMA	S	\$56,822.11	\$340,932.67
70	TRANSPORTES FLECHA ROJA	3,000	TOMA	S	\$56,822.11	\$340,932.67
71	LIGA PEQUEÑA DE BEISBOL MAYA A.C.	9,000	TOMA	R	\$182,702.11	\$1,096,212.67
72	LIGA DE BEISBOL OLMECA	9,000	TOMA	R	\$182,702.11	\$1,096,212.67
73	DEPORTIVO DEL SINDICATO MEXICANO DE ELECTRICISTAS	14,000	TOMA	R	\$287,602.11	\$1,725,612.67
78	AUTOTRANSPORTES URBANOS SIGLO NUEVO	5,000	TOMA	S	\$98,782.11	\$592,692.67
79	CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES NAVALES	9,000	TOMA	R, S	\$182,702.11	\$1,096,212.67
83	FIBRAS SINTETICAS S.A. DE C.V.	40,000	TOMA	I	\$833,082.11	\$4,998,492.67
84	MUSEO NACIONAL DE LAS INTERVENCIONES	2,000	TOMA	R	\$35,842.11	\$215,052.67
85	ASOCIACION NACIONAL DE UNIVERSIDADES E INSTITUTOS DE EDUCACION SUPERIOR	2,000	TOMA	R, S	\$35,842.11	\$215,052.67
86	VIVEROS DE COYOACAN	60,000	TOMA	R	\$1,252,682.11	\$7,516,092.67
87	LIGA DE BEISBOL TOLTECA	9,000	TOMA	R	\$182,702.11	\$1,096,212.67
88	CLUB DE FUTBOL AMERICANO GAMOS	9,000	TOMA	R	\$182,702.11	\$1,096,212.67
89	CLUB DE FUTBOL AMERICANO CHEROKEES	9,000	TOMA	R	\$182,702.11	\$1,096,212.67
90	ESCUELA NACIONAL DE ARTES PLASTICAS	5,000	TOMA	R	\$98,782.11	\$592,692.67
91	VIVERO PERMANENTE DE FLORES	30,000	TOMA	R	\$623,282.11	\$3,739,692.67
92	MERCADO DE FLORES SAN FERNANDO	10,000	TOMA	R	\$203,682.11	\$1,222,092.67
94	CELANESE DE MEXICO S.A. DE C.V.	600	TOMA	R, S	\$7,855.63	\$47,133.77

Tabla V.14 CLIENTES CON TOMA EN EL INMUEBLE
(continuación)

NO.	CLIENTE	CONSUMO BIMESTRAL (m3)	SUMINISTRO	TIPO DE REUSO	FACTURACIÓN BIMESTRAL	FACTURACIÓN ANUAL
100	LABORATORIOS SILANES	2,000	TOMA	R	\$35,842.11	\$215,052.67
101	CEMENTOS ANAHUAC	34,000	TOMA	I	\$707,202.11	\$4,243,212.67
102	ACEROS NACIONALES	11,000	TOMA	I	\$224,662.11	\$1,347,972.67
103	JARDINES DEL RECUERDO	12,000	TOMA	R, S	\$245,642.11	\$1,473,852.67
105	FEMSA COCA-COLA / EMBOTELLADORA	7,000	TOMA	R, S, I	\$140,742.11	\$844,452.67
112	CEMENTOS APASCO	36,000	TOMA	R, S, I	\$749,162.11	\$4,494,972.67
113	PAPELERA SAN CRISTOBAL	150,000	TOMA	I	\$3,140,882.11	\$18,845,292.67
116	PEPSICO / EMBOTELLADORA	9,000	TOMA	R, S, I	\$182,702.11	\$1,096,212.67
118	PAPELERAS UNIDAS DE MÉXICO	160,000	TOMA	I	\$3,350,682.11	\$20,104,092.67
120	SIGMA ALIMENTOS	50,000	TOMA	I	\$1,042,882.11	\$6,257,292.67
	TOTALES	1,860,100			\$38,569,797.70	\$231,418,786.19

Notas:

1. R = Riego, S = Servicio, I = Industrial
2. Los servicios son: lavado de pisos, sanitarios y lavado de vehículos automotores.

Tabla V.14 CLIENTES CON TOMA EN EL INMUEBLE
(continuación)

RESUMEN DE VENTAS		
VOLUMEN DE VENTA DE AGUA RESIDUAL TRATADA BIMESTRAL	1,860,100	m ³ /bimestre
GASTO	708.19	l/s
INGRESOS BIMESTRALES	\$38,569,797.70	
VOLUMEN DE VENTA DE AGUA RESIDUAL TRATADA MENSUAL	930,050	m ³ /mes
GASTO	354.10	l/s
INGRESOS MENSUALES	\$19,284,898.85	
VOLUMEN DE VENTA DE AGUA RESIDUAL TRATADA ANUAL	11,160,600	m ³ /anual
GASTO	4,249.14	l/s
INGRESOS ANUALES	\$231,418,786.19	

Tabla V.15 CLIENTES CON SUMINISTRO POR PIPA

NO.	CLIENTE	CONSUMO MENSUAL (m ³)	SUMINISTRO	TIPO DE REUSO	FACTURACIÓN MENSUAL	FACTURACIÓN ANUAL
1	CLUB AMERICA A.C.	3,000	PIPA	R	\$96,660.00	\$1,159,920.00
6	LABORATORIOS SCHERING PLOUGH	2,500	PIPA	R	\$80,550.00	\$966,600.00
8	COLEGIO SIMON BOLIVAR	2,000	PIPA	R, S	\$64,440.00	\$773,280.00
11	CENTRO LIBANES	4,000	PIPA	R	\$128,880.00	\$1,546,560.00
41	SEGUROS COMERCIAL AMERICA	4,000	PIPA	R	\$128,880.00	\$1,546,560.00
42	UNIVERSIDAD LA SALLE	5,000	PIPA	R, S	\$161,100.00	\$1,933,200.00
43	HOSPITAL DE NEUROLOGÍA	2,500	PIPA	R	\$80,550.00	\$966,600.00
52	LABORATORIOS UP JOHN	4,500	PIPA	R	\$144,990.00	\$1,739,880.00
53	LABORATORIOS AMSTRONG	2,500	PIPA	R	\$80,550.00	\$966,600.00
54	CLUB HIPICO LAS AGUILAS	5,000	PIPA	R, S	\$161,100.00	\$1,933,200.00
55	CENTRO MEXICO JAPONES	7,500	PIPA	R	\$241,650.00	\$2,899,800.00
38	UNIVERSIDAD DEL VALLE DE MEXICO	1,000	PIPA	R, S	\$32,220.00	\$386,640.00
58	CLUB DE TENIS TEPEPAN	2,000	PIPA	R, S	\$64,440.00	\$773,280.00
60	UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA	3,000	PIPA	R, S	\$96,660.00	\$1,159,920.00
63	TELEVISIA	4,000	PIPA	R, S	\$128,880.00	\$1,546,560.00
64	TV AZTECA	3,500	PIPA	R, S	\$112,770.00	\$1,353,240.00
65	BANCO NACIONAL DE MEXICO	4,000	PIPA	R, S	\$128,880.00	\$1,546,560.00
66	FONDO DE CULTURA ECONOMICA	4,000	PIPA	R, S	\$128,880.00	\$1,546,560.00
74	BANCA SERFIN	500	PIPA	R, S	\$16,110.00	\$193,320.00
76	INSTITUTO DE HUMANIDADES Y CIENCIAS	750	PIPA	R, S	\$24,165.00	\$289,980.00
77	INSTITUTOS ASOCIADOS AMADO NERVO	2,500	PIPA	R, S	\$80,550.00	\$966,600.00
80	COMISION NACIONAL DEL DEPORTE	4,000	PIPA	R, S	\$128,880.00	\$1,546,560.00

Tabla V.15 CLIENTES CON SUMINISTRO POR PIPA
(continuación)

NO.	CLIENTE	CONSUMO MENSUAL (m3)	SUMINISTRO	TIPO DE REUSO	FACTURACIÓN MENSUAL	FACTURACIÓN ANUAL
81	HIPODROMO DE LAS AMERICAS	10,000	PIPA	R, S	\$322,200.00	\$3,866,400.00
82	SCHERING PLOUGH	1,000	PIPA	R	\$32,220.00	\$386,640.00
93	CLUB HIPICO SAN LUIS	4,000	PIPA	R, S	\$128,880.00	\$1,546,560.00
95	KODAK S.A. DE C.V.	2,500	PIPA	R	\$80,550.00	\$966,600.00
96	COLEGIO LICEO FRANCO ESPAÑOL	1,500	PIPA	R	\$48,330.00	\$579,960.00
97	COLEGIO OLINCA	1,500	PIPA	R	\$48,330.00	\$579,960.00
98	CLUB FRANCE	2,000	PIPA	R	\$64,440.00	\$773,280.00
99	INSTITUTO MEXICO JAPONES	4,000	PIPA	R	\$128,880.00	\$1,546,560.00
104	ELÁSTICOS DE MÉXICO	1,300	PIPA	I	\$41,886.00	\$502,632.00
106	AUTOS ZAPATA	400	PIPA	S	\$12,888.00	\$154,656.00
107	MEZCLAS ASFALTICAS	350	PIPA	I	\$11,277.00	\$135,324.00
108	COMPAÑIA NESTLE	750	PIPA	I	\$24,165.00	\$289,980.00
109	AUTOLAVADO REVOLUCION	550	PIPA	S	\$17,721.00	\$212,652.00
110	NEAT AUTOMOTRIZ	200	PIPA	S	\$6,444.00	\$77,328.00
111	AUTOLAVADO ZEUS	650	PIPA	S	\$20,943.00	\$251,316.00
114	AUTOLAVADO SANCHEZ	700	PIPA	S	\$22,554.00	\$270,648.00
115	ELÁSTICOS MEXICANOS	1,500	PIPA	I	\$48,330.00	\$579,960.00
117	AUTOLAVADO EL OSO	750	PIPA	S	\$24,165.00	\$289,980.00
119	ASOCIACION DE AUTOLAVADOS DEL SUR	15,000	PIPA	S	\$483,300.00	\$5,799,600.00
	TOTALES	120,400			\$3,879,288.00	\$46,551,456.00

Tabla V.15 CLIENTES CON SUMINISTRO POR PIPA
(continuación)

RESUMEN DE VENTAS	
VOLUMEN DE VENTA DE AGUA RESIDUAL TRATADA MENSUAL	120,400 m ³ /mes
GASTO	45.84 l/s
INGRESOS MENSUALES	\$3,879,288.00
VOLUMEN DE VENTA DE AGUA RESIDUAL TRATADA ANUAL	1,444,800 m ³ /anual
GASTO	550.08 l/s
INGRESOS ANUALES	\$46,551,456.00

Notas:

1. R = Riego, S = Servicio, I = Industrial
2. Los servicios son: lavado de pisos, sanitarios y lavado de vehiculos automotores.

Tabla V.16 CLIENTES CON SUMINISTRO POR VÁLVULA CUELLO DE GARZA

NO.	CLIENTE	CONSUMO MENSUAL (m3)	SUMINISTRO	TIPO DE REUSO	FACTURACIÓN MENSUAL	FACTURACIÓN ANUAL
4	CENTRO PEGASO S.A. DE C.V.	6,000	GARZA	R	\$72,000.00	\$864,000.00
35	CAMINOS Y PUENTES FEDERALES	2,000	GARZA	R, S, I	\$24,000.00	\$288,000.00
36	CLUB DE FUTBOL ATLANTE A.C.	4,000	GARZA	R, S	\$48,000.00	\$576,000.00
75	TURISMO Y AUTOBUSES MEXICO - TOLUCA	750	GARZA	S	\$9,000.00	\$108,000.00
TOTALES		12,750			\$153,000.00	\$1,836,000.00

Tabla V.16 CLIENTES CON SUMINISTRO POR VÁLVULA CUELLO DE GARZA
(continuación)

RESUMEN DE VENTAS	
VOLUMEN DE VENTA DE AGUA RESIDUAL TRATADA MENSUAL	12,750 m ³ /mes
GASTO	4.85 l/s
INGRESOS MENSUALES	\$153,000.00
VOLUMEN DE VENTA DE AGUA RESIDUAL TRATADA ANUAL	153,000 m ³ /año
GASTO	58.20 l/s
INGRESOS ANUALES	\$1,836,000.00

Notas:

1. R = Riego, S = Servicio, I = Industrial
2. Los servicios son: lavado de pisos, sanitarios y lavado de vehiculos automotores.

Tabla V.17 RESUMEN DE VOLUMEN DE VENTA DE AGUA RESIDUAL TRATADA

RESUMEN DE VENTAS	
VOLUMEN DE VENTA DE AGUA RESIDUAL TRATADA MENSUAL	1,063,200 m ³ /mes
GASTO	404.79 l/s
INGRESOS MENSUALES	\$23,317,186.85
VOLUMEN DE VENTA DE AGUA RESIDUAL TRATADA ANUAL	12,758,400 m ³ /año
GASTO	4,857.48 l/s
INGRESOS ANUALES	\$279,806,242.19

GIRO COMERCIAL DE USUARIOS POR TOMA
75 USUARIOS

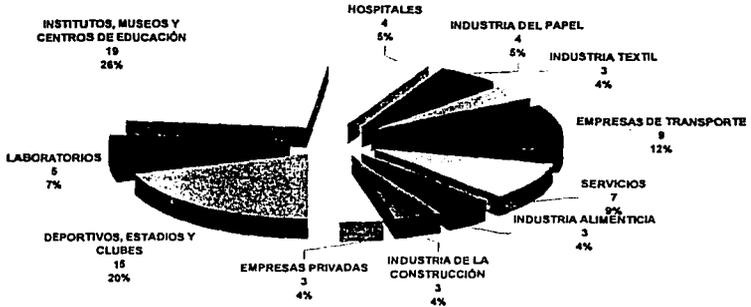


Fig. V.9 Giro comercial de usuarios por toma

GIRO COMERCIAL DE USUARIOS POR PIPA
41 USUARIOS

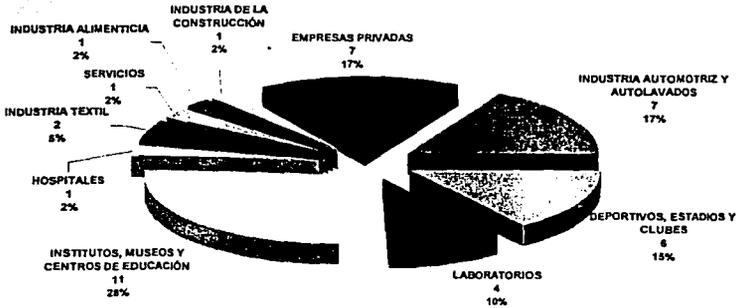


Fig. V.10 Giro comercial de usuarios por pipa

**GIRO COMERCIAL DE USUARIOS POR
VÁLVULA CUELLO DE GARZA
4 USUARIOS**

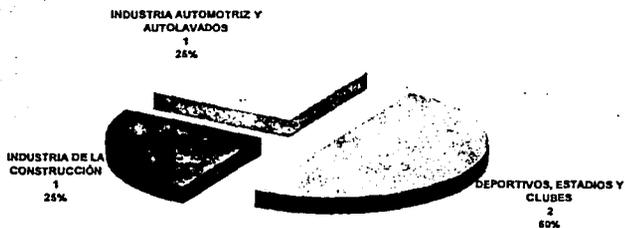


Fig. V.11 Giro comercial de usuarios por válvula cuello de garza

**CONSUMO MENSUAL DE USUARIOS POR TOMA
M3**

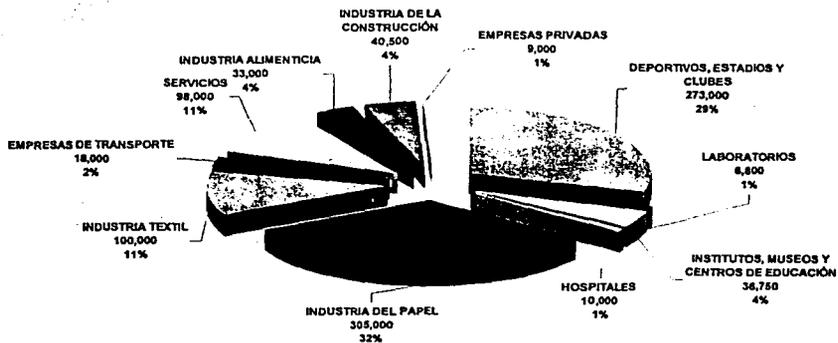


Fig. V.12 Consumo mensual de usuarios por toma

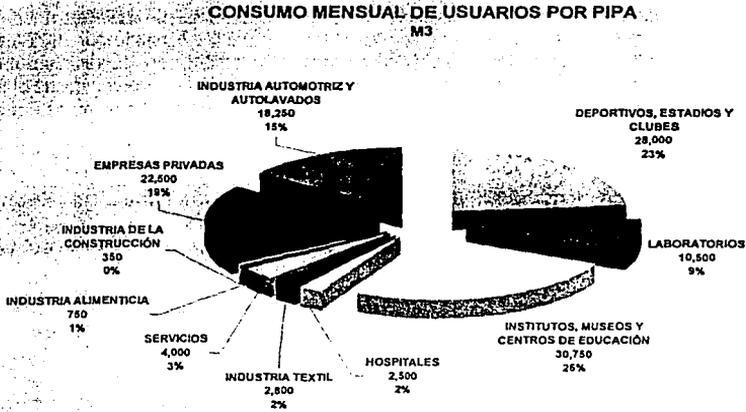


Fig. V.13 Consumo mensual de usuarios por pipa

CONSUMO MENSUAL DE USUARIOS POR VÁLVULA CUELLO DE GARZA
M3

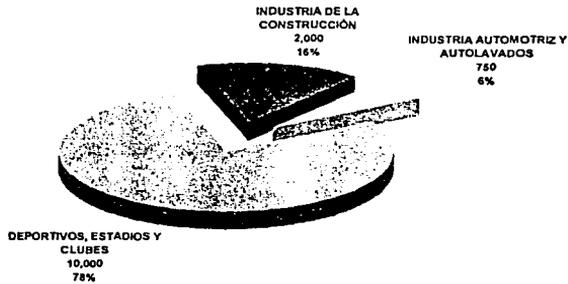


Fig. V.14 Consumo mensual de usuarios por válvula cuello de garza

V.6.1.5. FINANCIAMIENTO DE LA EMPRESA

Una empresa esta financiada cuando ha pedido capital en préstamo para cubrir cualesquiera de sus necesidades económicas. Para el caso de este proyecto se solicitó un crédito bancario por el 60% de la inversión fija del proyecto. Recordando que este proyecto es una obra de carácter social, se recurrió a una institución financiera que otorga créditos para obras de este tipo con tasas de interés denominadas blandas en este caso la institución es BANOBRAS y la tasa de interés es la Tasa Interna Interbancaria de Equilibrio (TIIE) en este caso la tasa blanda es TIIE+2.

Para este trabajo de tesis se considera una TIIE anual de 17% con lo que la tasa bancaria es de 19% anual.

El crédito concedido por BANOBRAS es de 5 años con un año de gracia en el primer año de crédito.

Considerando que la inversión fija de proyecto es de \$183'285,230.00, el 60% de esta cantidad es \$109'971,138.00.

TABLA DE PAGO DE LA DEUDA

Pago de cantidades iguales al final de cada uno de los cinco años. Para hacer este cálculo primero es necesario determinar el monto de la cantidad igual que se pagará cada año.

Para ello se emplea la siguiente fórmula:

$$A = P \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

- A, anualidad que se paga al final de cada año
- P, monto de la cantidad del crédito
- i, tasa de interés (TIIE)
- n, número de años

$$A = \$35'966,079.00$$

El interés a pagar al final del primer año es:

$$\text{Interés} = \$109'971,138.00 \times 0.19$$

$$\text{Interés} = \$20'894,516.22$$

Tabla V.18 Tabla de pago de la deuda

Periodo	Interés	Pago fin de año	Pago principal	Deuda después de pago
0	\$20,894,516.22			\$109,971,138.00
1	\$20,894,516.22	\$35,966,079.00	\$15,071,562.78	\$94,899,575.22
2	\$18,030,919.29	\$35,966,079.00	\$17,935,159.71	\$76,964,415.51
3	\$14,623,238.95	\$35,966,079.00	\$21,342,840.05	\$55,621,575.46
4	\$10,568,099.34	\$35,966,079.00	\$25,397,979.66	\$30,223,595.80
5	\$5,742,483.20	\$35,966,079.00	\$30,223,595.80	\$0.00

V.6.1.6. ESTADO DE RESULTADOS

La finalidad del análisis del estado de resultados o de pérdidas y ganancias es calcular la utilidad neta y los flujos de efectivo del proyecto, que son, en forma general, el beneficio real de la operación de la planta y los impuestos que deba pagar.

RESUMEN DE COSTOS E INGRESOS

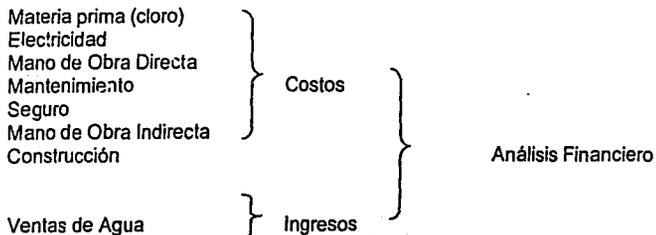


Tabla V. 19 Estado de Resultados

CONCEPTO	PERIODO								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ventas (lps)	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Ingresos por ventas	\$279,806,242.19	\$316,181,053.67	\$357,284,590.65	\$403,731,587.43	\$456,216,693.80	\$515,524,863.99	\$582,543,096.31	\$658,273,698.84	\$743,849,279.68
Costos de producción	\$18,070,476.00	\$19,877,523.00	\$21,865,276.00	\$24,051,805.00	\$26,456,986.00	\$29,102,684.00	\$32,012,953.00	\$35,214,248.00	\$38,735,673.00
Costo por equipamiento	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Costo de Oficina Central	\$3,600,000.00	\$3,960,000.00	\$4,356,000.00	\$4,791,600.00	\$5,270,760.00	\$5,797,836.00	\$6,377,619.60	\$7,015,381.56	\$7,716,919.72
Utilidad marginal	\$258,135,766.19	\$292,343,530.67	\$331,063,314.65	\$374,888,182.43	\$424,488,947.80	\$480,624,343.99	\$544,152,523.71	\$616,044,069.28	\$697,396,686.97
Costos financieros	\$20,894,516.22	\$18,030,919.29	\$14,623,238.95	\$10,568,099.34	\$5,742,483.20	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Utilidad bruta	\$237,241,249.97	\$274,312,611.38	\$316,440,075.70	\$364,320,083.10	\$418,746,464.60	\$480,624,343.99	\$544,152,523.71	\$616,044,069.28	\$697,396,686.97
I.S.R. 35%	\$83,034,437.49	\$96,009,413.98	\$110,754,026.50	\$127,512,029.08	\$146,561,262.61	\$168,218,520.40	\$190,453,383.30	\$215,615,424.25	\$244,088,840.44
P.T.U. 10 %	\$8,303,443.75	\$9,133,788.12	\$10,047,166.94	\$11,051,883.63	\$12,157,071.99	\$13,372,779.19	\$14,710,057.11	\$16,181,062.82	\$17,799,169.10
Utilidad neta	\$145,903,368.73	\$169,169,409.27	\$195,638,882.27	\$225,756,170.38	\$260,028,130.00	\$299,033,044.40	\$338,989,083.30	\$384,247,582.21	\$435,508,677.42
Depreciación	\$7,783,972.00	\$8,562,369.20	\$9,418,606.12	\$10,360,466.73	\$11,396,513.41	\$12,536,164.75	\$13,789,781.22	\$15,168,759.34	\$16,685,635.28
Pago de principal	\$15,071,562.78	\$17,935,159.71	\$21,342,840.05	\$25,397,979.66	\$30,223,595.80	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Flujo de Efectivo	\$138,615,777.95	\$159,796,618.77	\$183,714,648.34	\$210,718,657.45	\$241,201,047.60	\$311,569,209.15	\$352,778,864.52	\$399,416,341.55	\$452,194,312.70

Tabla V. 19 Estado de Resultados
(continuación)

PERIODO										
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
\$840,549,686.04	\$949,821,145.23	\$1,073,297,894.11	\$1,212,826,620.34	\$1,370,494,080.99	\$1,548,658,311.51	\$1,749,983,892.01	\$1,977,481,797.97	\$2,234,554,431.71	\$2,525,046,507.83	\$2,853,302,553.85
\$42,609,241.00	\$46,870,165.00	\$51,557,182.00	\$56,712,900.00	\$62,384,190.00	\$68,622,609.00	\$75,484,870.00	\$83,033,356.00	\$91,336,692.00	\$100,470,361.00	\$110,517,397.00
\$143,459,883.77	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$8,488,611.69	\$9,337,472.86	\$10,271,220.14	\$11,298,342.16	\$12,428,176.37	\$13,670,994.01	\$15,038,093.41	\$16,541,902.75	\$18,196,093.03	\$20,015,702.33	\$22,017,272.56
\$645,991,949.58	\$893,613,507.37	\$1,011,469,491.97	\$1,144,815,378.19	\$1,295,681,714.61	\$1,466,364,708.51	\$1,659,460,928.60	\$1,877,906,539.22	\$2,125,021,646.68	\$2,404,560,444.50	\$2,720,767,884.29
\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$645,991,949.58	\$893,613,507.37	\$1,011,469,491.97	\$1,144,815,378.19	\$1,295,681,714.61	\$1,466,364,708.51	\$1,659,460,928.60	\$1,877,906,539.22	\$2,125,021,646.68	\$2,404,560,444.50	\$2,720,767,884.29
\$228,097,182.35	\$312,764,727.58	\$354,014,322.19	\$400,685,382.36	\$453,488,600.12	\$513,227,647.98	\$580,811,325.01	\$667,267,288.73	\$743,757,576.34	\$841,596,155.58	\$952,268,759.50
\$19,579,086.02	\$21,536,994.62	\$23,690,694.08	\$26,059,763.49	\$28,665,739.83	\$31,532,313.82	\$34,685,545.20	\$38,154,099.72	\$41,969,509.69	\$46,166,460.66	\$50,783,106.73
\$400,315,681.21	\$559,311,785.18	\$633,764,475.70	\$718,070,232.33	\$813,527,374.66	\$921,604,746.71	\$1,043,964,058.39	\$1,182,485,150.77	\$1,339,294,560.65	\$1,516,797,828.27	\$1,717,716,018.06
\$18,354,198.80	\$20,189,618.68	\$22,208,580.55	\$24,429,438.61	\$26,872,382.47	\$29,559,620.72	\$32,515,582.79	\$35,767,141.07	\$39,343,855.17	\$43,278,240.69	\$47,606,064.76
\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
\$418,669,880.02	\$579,501,403.86	\$655,973,056.25	\$742,499,670.94	\$840,399,757.13	\$951,164,367.43	\$1,076,479,641.18	\$1,218,252,291.84	\$1,378,638,415.83	\$1,560,076,068.96	\$1,765,322,082.82

V.6.2. EVALUACIÓN ECONÓMICA

El estudio de la evaluación económica es la parte final de toda la secuencia de análisis de la factibilidad de un proyecto.

Para lo cual se tiene:

1. Existe un mercado potencial atractivo.
2. El lugar óptimo para la localización del proyecto y el tamaño más adecuado para este último.
3. El proceso de producción.
4. Los costos en que se incurrirá en la etapa productiva.
5. La inversión necesaria para llevar a cabo el proyecto.

Sin embargo, a pesar de conocer incluso las utilidades probables del proyecto durante los primeros años de operación, aún no se habrá demostrado que la inversión propuesta será económicamente rentable.

V.6.2.1. TASA INTERNA DE RENDIMIENTO O RETORNO (TIR)

Se le llama **Tasa Interna de Rendimiento o Retorno (TIR)** porque supone que el dinero que se gana año con año se reinvierte en su totalidad. Es decir, se trata de la tasa de rendimiento generada en su totalidad en el interior de la empresa por medio de la reinversión.

También la TIR es la tasa de descuento que iguala el valor presente de los futuros flujos netos de efectivo de un proyecto de inversión con el flujo de salida de efectivo inicial del proyecto.

Si existe una tasa de rendimiento se puede preguntar si también existe una tasa externa de rendimiento. La respuesta es que si existe, y esto se debe al supuesto falso de que todas las ganancias se reinvierten. Esto no es posible, pues hay un factor limitante físico del tamaño de la empresa. La reinversión total implícitamente supondría un crecimiento tanto de la producción como físico de la empresa, lo cual es imposible. Precisamente, cuando una empresa ha alcanzado la saturación física de su espacio disponible, o cuando sus equipos trabajan a toda su capacidad, la empresa ya no puede tener reinversión interna y empieza a invertir en alternativas externas. Éstas pueden ser la adquisición de valores o acciones de otras empresas, la creación de otras empresas o sucursales, la adquisición de bienes raíces, o cualesquier otro tipo de inversión externa. Al grado o nivel de crecimiento de esa inversión externa se le podría llamar tasa externa de rendimiento, pero no es relevante para la evaluación de proyectos, sobre todo porque es imposible predecir donde se invertirán las ganancias futuras de la empresa en alternativas externas a ella.

Con el criterio de aceptación que emplea el método de la TIR; si ésta es mayor que la TMAR, aceptese la inversión; es decir, si el rendimiento de la empresa es mayor que el mínimo fijado como aceptable, la inversión es económicamente rentable.

El método de la TIR tiene una desventaja metodológica. Cuando los Flujos Netos de Efectivo (FNE) son diferentes cada año, el único método de cálculo es el uso de la ec. a la cual es un polinomio de grado 5.

$$P = \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \frac{FNE_3}{(1+i)^3} + \frac{FNE_4}{(1+i)^4} + \frac{FNE_5 + VS}{(1+i)^5} \quad \text{ec. a}$$

Para este trabajo se hace la consideración de que la inversión que se toma en cuenta para calcular la TIR en el inicio del proyecto, es decir el año cero, es la inversión total del proyecto, sumándole a esta el costo de financiamiento para el primer año.

Valor de Salvamento (VS)

A lo largo de todo estudio se pueden considerar un período de planeación de cierto tiempo. Al término de ese período se hace un corte artificial del tiempo con fines de evaluación. Desde este punto de vista, ya no se consideran más ingresos; la planta deja de operar y vende todos los activos, esto produce un flujo de efectivo extra en el último año, lo que hace aumentar la TIR o el VPN y hace más atractivo el proyecto. Por otro lado, no hacer esta suposición, implicaría cortar la vida del proyecto y dejar la planta abandonada con todos su activos.

En la práctica, la mayoría de las plantas o fábricas en estudio durarán en funcionamiento no cinco ni 10 años, sino tal vez 20 o más, pero para efectos de evaluación, el tiempo debe cortarse en algún momento.

Obtención de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

Al determinar la TIR habiendo pedido un préstamo, habrá que hacer ciertas consideraciones.

La primera de ellas, cuando se calcula la TIR y hay financiamiento, es que sólo es posible utilizar el estado de resultados con flujos y costos inflados, ya que éstos se encuentran definitivamente influidos por los intereses pagados (costos financieros), pues la tasa del préstamo depende casi directamente de la tasa inflacionaria vigente, en el momento del préstamo.

La segunda consideración importante es que para calcular la TIR, la inversión prevista ya no es toda la inversión fija, sino que será necesario restar a la inversión total la cantidad prestada.

Una última consideración es que en el préstamo se da un año de gracia. El primer año sólo se pagan intereses y no capital, al término del quinto año, cuando se hace la evaluación, aún se debe parte y los cuales habrá que sumar a la aportación propia, porque es un capital no pagado.

Cálculo de la TIR

$$P = \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \frac{FNE_3}{(1+i)^3} + \frac{FNE_4}{(1+i)^4} + \frac{FNE_5 + VS}{(1+i)^5}$$

$$P = \text{inversión fija} - \text{préstamo solicitado} = \$ 189,285,230.00 - \$ 109,971,138.00$$

$$P = \$ 73,314,092.00$$

$$P = \$ 73,314,092.00 + \$ 30,223,595.80$$

$$P = \$ 103,537,687.80$$

Sustituyendo valores:

$$\begin{aligned} \$103,537,687.80 = & \frac{\$138,615,777.95}{(1+i)^1} + \frac{\$159,796,618.77}{(1+i)^2} + \frac{\$183,714,648.34}{(1+i)^3} + \\ & + \frac{\$210,718,657.45}{(1+i)^4} + \frac{\$241,201,047.60}{(1+i)^5} + \frac{\$145,893,084.05}{(1+i)^5} \end{aligned}$$

En este trabajo se hizo la consideración de que la planta tendrá un valor de rescate del 30%, de su costo total inicial al final de la concesión (20 años, al 10% anual SSI) por un total de \$145'893,084.05

La "i" que satisface la ecuación es 1.48 (148%) y es la TIR con financiamiento. En ocasiones se le llama TIR social para diferenciarla de la TIR del empresario. Véase la diferencia: se le llama TIR social porque surge cuando los fondos de una institución de crédito se dirigen con tasas preferenciales hacia una empresa. Se considera un costo social prestar a tasas preferenciales porque es un costo de oportunidad para la sociedad, ya que esos fondos se podrían utilizar en una opción diferente, y por eso dan origen a la llamada TIR social. La TIR del empresario es tan simple como considerar que él aporta todos los fondos necesarios para su propia empresa; es decir, no hay financiamiento.

Es importante señalar que la TIR determina, que tan atractivo es el proyecto para los inversionistas y así determinar si invierten su dinero. Tomando en cuenta que para este trabajo de tesis se pronosticó una inflación anual del 10%, es de suma importancia que los rendimientos de los inversionistas sean atractivos por encima de esta tasa, en este caso después de analizar nuestros flujos de efectivo a 20 años, encontramos que la TIR es del 148%, lo que significa un rendimiento neto del 138% por encima de la inflación para nuestros inversionistas y esto hace que el proyecto sea sumamente atractivo.

En caso de que la TIR fuera menor al 19% que es lo que se le ofreció en un principio a los inversionistas, tendríamos que aceptar, que definitivamente nuestra planta no es negocio y por lo tanto esto no sería viable y no se podría contar con el apoyo de inversión privada.

Como nota final se puede decir que si se acepta un proyecto sin financiamiento, en otras palabras, si la TIR del proyecto es mayor que la TMAR de inversionista sin pedir prestado, son financiamiento la TIR aumenta y el proyecto se hace mucho más atractivo, siempre y cuando el capital pedido en préstamo sea mucho menor que el costo de capital propio; esto es, si se utiliza dinero más barato.

V.6.2.2. VALOR PRESENTE NETO (VPN)

El Valor Presente Neto (VPN) es un método que nos da un enfoque del flujo de efectivo descontado a la elaboración del presupuesto de capital. El VPN de una propuesta de inversión es el valor presente de los flujos netos de efectivo de la propuesta menos el flujo de salida de efectivo inicial de la propuesta. Para calcularlo se utiliza el costo de capital o TMAR.

Si la tasa de descuento costo de capital TMAR aplicada en el cálculo del VPN fuera la tasa inflacionaria promedio pronosticada para los próximos cinco años, las ganancias de la empresa sólo servirían para mantener el valor adquisitivo real que la empresa tenía en el año cero siempre y cuando se reinvirtieran todas las ganancias. Con un VPN = 0 no se aumenta el patrimonio de la empresa si el TMAR aplicado para calcularlo fuera superior a la tasa inflacionaria promedio de ese período.

Por otro lado, si el resultado es VPN > 0, sin importar cuanto supere a cero ese valor, esto sólo implica una ganancia extra después de ganar la TMAR aplicada a lo largo del período considerado. Eso explica la gran importancia que tiene seleccionar una TMAR adecuada.

El cálculo del VPN para el período de cinco años es:

$$VPN = -P + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \frac{FNE_3}{(1+i)^3} + \frac{FNE_4}{(1+i)^4} + \frac{FNE_5 + VS}{(1+i)^5}$$

Como se observa el valor de VPN es inversamente proporcional al valor de la "i" aplicada, de modo que como la "i" aplicada es la TMAR, si se pide un gran rendimiento a la inversión (es decir, si la tasa mínima aceptable es muy alta), el VPN puede volverse fácilmente negativo, y en ese caso se rechazaría el proyecto.

Como conclusiones generales acerca del uso del VPN como método de análisis se puede decir lo siguiente:

- Se interpreta fácilmente su resultado en términos monetarios.
- Supone una reinversión total de todas las ganancias anuales, lo cual no sucede en la mayoría de las empresas.
- Su valor depende exclusivamente de la "i" aplicada. Como esta "i" es la TMAR, su valor lo determina el evaluador.
- Los criterios de evaluación son: si $VPN \geq 0$, acéptese la inversión; sin $VPN < 0$, rechácese.

Para poder determinar si el proyecto es viable mediante el criterio de VPN, tendríamos que aceptar lo siguiente: **Si la suma de los flujos de efectivo descontados es cero o más, se acepta la propuesta; de lo contrario se rechaza.**

En el caso de este trabajo de tesis, tenemos que cumplir con las expectativas de los inversionistas, como se había analizado previamente, a los inversionistas se le ha prometido una tasa real por encima de la inflación de 10% en los 20 años que dura la concesión. El rendimiento que se les propuso a los inversionistas es de 9 puntos porcentuales por encima de la inflación por lo que nuestra tasa descontada debe ser del 19% y obtener un VPN mayor o igual a cero.

Como se verá a continuación en nuestro estudio de VPN, a una tasa descontada del 19%. en un periodo de 20 años, veremos que el resultado que arroja este estudio es positivo, con lo que se garantiza que el proyecto es viable y tendrá beneficios económicos para los inversionistas.

$$\begin{aligned} VPN = & -\$103,537,687.80 + \frac{\$138,615,777.95}{(1+0.19)^1} + \frac{\$159,796,618.77}{(1+0.19)^2} + \frac{\$183,714,648.34}{(1+0.19)^3} + \\ & + \frac{\$210,718,657.45}{(1+0.19)^4} + \frac{\$241,201,047.60}{(1+0.19)^5} + \frac{\$145,893,084.05}{(1+0.19)^6} \end{aligned}$$

$$VPN = \$502,098,449.36$$

En caso de que el VPN sea negativo, esto querrá decir que el proyecto definitivamente no es rentable, y tendrá que llevarse a cabo por el gobierno federal.

V.6.3. SENSIBILIDAD DEL PROYECTO

La sensibilidad de un proyecto, nos indica, cuales son los factores que pueden poner en riesgo la factibilidad económica del mismo y que estos no están en manos de la empresa para su solución.

Para este trabajo, analizaremos los factores que pueden perjudicar a este proyecto, y que son independientes de la inversión privada.

Electricidad. Como se pudo observar anteriormente, los costos de electricidad para el buen funcionamiento de esta planta son altos, se estima puedan ser de \$4'158,000.00 al año, por lo que cualquier incremento por parte de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en los precios de la electricidad, por encima de la inflación pronosticada (10% anual) tendría graves consecuencias para el desarrollo del proyecto.

Entrega del influente. En caso de que la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH), llegase a tener problemas en la red de alcantarillado y no pueda hacer llegar el agua residual a la planta de tratamiento (500 l/s), esta se vería en serios problemas, ya que dejaría de trabajar a toda su capacidad, ocasionando graves repercusiones económicas.

Precio de venta del agua tratada. En caso de que la Comisión Nacional del Agua (CNA), el Gobierno del Distrito Federal (GDF) y la Comisión de Aguas del Distrito Federal (CADF) considerasen que las actuales tarifas son muy altas y decida fijar nuevas tarifas, esto comprometería la viabilidad económica de la planta y tener graves consecuencias para los inversionistas, e incluso el cierre de la misma.

Concluyendo, podemos decir que el costo de operación variable es de \$1.15 por m³ e incrementándose cada año por la inflación (10%) y un incremento anual del agua (3%), pero el costo fijo por inversión será de \$1.54 por m³ a lo largo del periodo de la concesión, esto debido a que el costo por inversión es prorrateado a lo largo de la concesión.

Otro de los aspectos rescatables de este análisis económico y financiero son los ingresos que se llegarán a tener aplicando las tarifas por el suministro del agua residual tratada que se tienen en el Código Financiero del Distrito Federal 2002, por ejemplo; el costo del m³ considerando **Costo Total Operación + Inversión (CTO+I) es de \$2.69 para el primero año**, pero en el código se cobra a **\$2.19 por m³** este costo es mensual, realmente en un principio se cobra menos del CTO+I, posteriormente conforme el consumo se incrementa asimismo lo es para el ingreso por consumo del agua residual tratada de los clientes potenciales de nuestra zona en la concesión. Lo cual hace más interesante el proyecto para los inversionistas.

En el **Estado de Resultados**, se puede observar que los **Fujos Netos de Efectivo (FNE)** son mucho mayores a lo esperado, con lo cual el préstamo pedido a 5 años con uno de gracia, si así lo quisiéramos se podría llegar a pagar en 3 años, esto debido al comportamiento a lo largo de la concesión.

Dentro de la evaluación económica, el análisis de la **Tasa Interna de Rendimiento o Retorno (TIR)** arroja un resultado muy positivo del 148% que supera el 19% propuesto, otro factor que hace muy interesante el proyecto para la iniciativa privada. Para el **Valor Presente Neto (VPN)** nos indica que es mayor a cero, lo que significa que se acepta el proyecto.

Una de las características que tiene la zona urbana del sur de la ciudad es su predominio de demanda de agua para riego de áreas verdes o lavado de autos donde su comportamiento es estacional; es decir, en la temporada de lluvias disminuye de manera muy importante, en contraste la demanda del uso industrial es prácticamente permanente. Esto se puede llegar a percibir en los ingresos por el consumo de agua residual tratada, para nuestro ejemplo de aplicación consideramos un comportamiento lineal, lo cual no es realmente cierto.

En muchos casos, la calidad del agua extraída no es apropiada para algunos procesos industriales, por lo que hay que agregar también el gasto de acondicionamiento. Con la existencia de plantas de tratamiento de agua residual que procesan dicha agua para las industrias, además de ofrecer reducciones sustanciales en los costos del agua de proceso, proporcionan también un gran beneficio a la comunidad al ahorrar grandes volúmenes para consumo de la población.

Por la escasez y los altos costos del agua, así como por las regulaciones ambientales vigentes en México a partir de los últimos cinco años, muchas industrias han construido plantas de tratamiento de aguas residuales y otras las tienen en sus programas de inversión, ya sea para su reutilización en procesos industriales, para cumplir con las regulaciones ambientales o para ambos aspectos, y se prevé que en los próximos años el mercado de las plantas de tratamiento en México aumente considerablemente, pero no se puede precisar el monto de las inversiones en este sentido, pues aunque la necesidad de agua es inminente, también existe como factor limitante y adverso: la crisis actual de la economía global, que afecta de igual forma a nuestro país.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI.1. CONCLUSIONES

Comercialización y reuso

Se ha visto que durante los últimos 42 años (1960–2001) las empresas públicas, federales y municipales responsables de proporcionar los servicios tradicionales de agua potable y alcantarillado han tenido una muy lenta evolución en todos los aspectos que la integran para ese propósito, como son la **tecnología, comercialización, catastro de usuarios, medición y consumo, facturación y cobranza**; con el objetivo fundamental de que el servicio sea económicamente autosuficiente.

Se han llevado a cabo una gran cantidad de *campañas de concientización* ante la población y ante los propios organismos responsables de proporcionar estos servicios, todas ellas de manera desarticulada y poco sistemática.

Con el fin de poder enfrentar los gastos de inversión y operación de este nuevo esquema de servicios de agua potable, alcantarillado y tratamiento, se han desarrollado planes y programas para hacer participar a la iniciativa privada, bajo esquemas de concesión con recursos frescos, en alguno de los tres servicios de manera total o parcial.

Estos nuevos planes y programas para la privatización de los servicios, se han enfrentado con frecuencia a la falta de marcos jurídicos claramente definidos, que le permitan al capital privado contar con la confianza para aportar capitales de riesgo, aunque a la fecha, la mayor parte de las inversiones que se han efectuado, han sido con el apoyo de la banca gubernamental (*BANOBRAS*).

Este breve comentario simplemente es para puntualizar que los aspectos de tecnología, comercialización, catastro de usuarios, medición y consumo, facturación y cobranza mencionados, han avanzado de manera irregular, es decir algunos más que otros y ahora se incorpora para el agua residual tratada que va íntimamente ligada al propio concepto de comercialización.

La **factibilidad de la comercialización de agua residual tratada como alternativa del rescate de agua potable**, se puede ver en dos aspectos, con base en la experiencia que se ha logrado en los últimos años, de manera muy resumida.

El primer aspecto corresponde a la experiencia que tienen pocas empresas privadas en la comercialización del agua residual tratada.

El segundo aspecto corresponde al tema de la mercadotecnia como un concepto de la comercialización del agua residual tratada.

Es importante destacar en primera instancia, que los sectores de la población con vocación de uso de agua residual tratada precisamente corresponden a los de más alto consumo de agua potable, consecuentemente de mayor densidad económica; es decir, el consumidor potencial de agua residual tratada es el que más utiliza agua potable, en usos que no requieren de esta calidad, por lo que la factibilidad de la sustitución del agua desde un punto de vista conceptual, es totalmente viable.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Sin embargo, para que lo anterior pueda ser factible es necesario que se cumplan las siguientes premisas:

- La primera, para la viabilidad del reuso del agua residual tratada, es el reconocimiento pleno, la convicción genuina de este sector es realmente necesario, y el reconocimiento del *valor sombra del agua*, es decir que cada litro que se puede reusar no sólo es liberar un caudal igual de agua potable, sino todas las inversiones que implican el traerla de las fuentes de que disponen los centros urbanos, con frecuencia lejanos a estos.
- La segunda, es la decisión política plena, de llevar a cabo los planes y programas para el reuso del agua residual tratada.
- La tercera, es el disponer de la tecnología y técnicos que puedan garantizar la infraestructura para el tratamiento y distribución de las aguas residuales tratadas.
- La cuarta, es disponer y/o establecer un marco legal, que claramente determine la obligatoriedad del uso del agua residual tratada en todos los usos que no requieren de ésta calidad.
- La quinta, es tener una mayor congruencia entre el precio del servicio de agua potable, los derechos federales por extraer agua del subsuelo y las tarifas del agua residual tratada.
- La sexta, es la decisión de incrementar los incentivos fiscales a usuarios que utilicen agua residual tratada y de financiamiento blandos para usuarios y concesionarios con el fin de realizar adaptaciones y obras que permitan ahorrar y conservar los escasos recursos hidráulicos.

De estas premisas, podemos decir que la tercera se cumple sin problemas; sin embargo, las otras cinco dependen con frecuencia de circunstancias ajenas al reconocimiento del uso del agua residual tratada.

Como se puede observar en este primer aspecto de trabajo queda demostrado que la comercialización del agua residual tratada es factible, lamentablemente son muy pocas empresas que tienen experiencia en este concepto de servicio.

Es importante destacar que para llegar a la *comercialización del agua residual tratada para el rescate de agua potable*, es un hecho que se cuenta con la experiencia y la tecnología para el diseño y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales; que se cuenta con experiencia en diseño, construcción y mantenimiento de redes de distribución de agua; que se cuenta con el conocimiento y experiencia en la comercialización del agua potable y el suministro de servicios de alcantarillado.

Estos conceptos le proporcionan a la empresa que pretenda tratar agua residual y comercializarla elementos suficientes para formular su programa de mercadotecnia que es el que le garantizará la consolidación.

Tarifas

Las tarifas para uso doméstico se establecen de acuerdo a las leyes federales y estatales, tomando en cuenta elementos políticos, socioeconómicos, técnicos y financieros. En teoría se incluyen cargos por sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales. Se aplican tasas diferenciales para usuarios comerciales, industriales y vivienda. A pesar del incremento de los últimos años, las tarifas siguen, por lo general, sin cubrir siquiera los costos de operación por el servicio proporcionado. Esta situación no puede ser sostenible por mucho tiempo sin comprometer severamente la viabilidad misma del abastecimiento.

Se puede establecer la política tarifaria de agua residual tratada, que debe considerar:

- a. El precio para el usuario final (el usuario más desfavorecido en cuanto a distancia y desnivel del centro de suministro) debe ser considerablemente menor que el del agua potable.
- b. La tarifa será suficiente para recuperar todos los costos del sistema de agua residual tratada (capital, operación, mantenimiento y administración).
- c. El precio incluirá un excedente acumulable. Para financiar la expansión del sistema.

Costo del tratamiento

El reciclaje de agua proporciona beneficios económicos casi para cualquier empresa. En general, el promedio de costos de operación de una planta de tratamiento de aguas residuales, de tipo biológica o fisicoquímica, está en un rango aproximado de 0.70 a 4.50 pesos por m³ de agua residual tratada, con un promedio general de 2.50 pesos por m³, en dependencia del grado de sofisticación del proceso de tratamiento, así como del flujo y de las características del agua a tratar.

El costo de tratamiento de una planta de tratamiento de agua residual, resulta muy por abajo del costo real del agua potable, pero como los sistemas de manejo de esta última están subsidiados, el costo final al consumidor del agua potable resulta irrisorio en comparación al del agua tratada, esto acarrea múltiples problemas, ya que muchas empresas o industrias prefieren hasta cierto punto *arriesgarse* a ser sorprendidos utilizando agua potable en vez de agua residual tratada, y digo *arriesgarse* porque siempre se tiene la opción de dar el clásico soborno al inspector para que el asunto quede olvidado.

Actualmente, el uso que tiene el agua residual tratada se ve restringido principalmente por el alcance de la red de distribución de agua residual, resulta mucho más costoso el surtido a través de carros-tanque.

Rentabilidad del reuso

La rentabilidad en el aprovechamiento de agua residual tratada puede valorarse desde la perspectiva de una planta de tratamiento que produzca y comercialice el agua tratada a diversos usuarios, o bien desde el punto de vista de plantas de tratamiento que aprovechen el gasto producido para el consumo interno dentro de una industria o empresa. En ambos casos, y a partir de los gastos de agua que se aprovechen, el costo por m³ de tratamiento de agua residual tratada tiende a ser favorable en comparación con los costos actuales del agua potable.

Así, en centros urbanos como la capital, el reuso del agua y el aprovechamiento de la residual tratada es cada vez más necesario. Por lo tanto, ya sea a corto o mediano plazo, el mercado para el agua residual tratada se muestra muy atractivo. Los proyectos para la construcción de plantas de tratamiento se prevén como altamente rentables en dependencia de los esquemas de inversión y la demanda potencial del mercado específico al cual se pretende abastecer.

Beneficios y crecimiento

El mayor beneficio que proporcionan las plantas de tratamiento es el menor consumo de agua en procesos que no requieren necesariamente de la calidad de agua destinada para consumo humano, lo cual incide también en un menor costo de adquisición por parte de las empresas. La sociedad, de este modo, no tendrá que pagar tanto por la potabilización.

Por otra parte, si se mantiene el compromiso de autoridades y empresarios de impulsar un mayor reciclaje y reuso del agua, en aspectos industriales y de servicios, el mercado de plantas de tratamiento logrará un mayor crecimiento.

Asimismo, es obvio el beneficio que obtiene la sociedad con el aprovechamiento del agua residual tratada en aquellos usos donde no se requiere de una calidad potable, principalmente para la población ubicada en el Valle de México. Por ejemplo, para regar un campo de fútbol se necesitan 2,628 m³ de agua al mes. Pero, si se utiliza agua residual tratada para este fin, se liberará agua potable suficiente para abastecer a 243 personas durante un mes. Sin embargo, la grave situación que enfrenta la ciudad de México para el abastecimiento del agua potable va a ser valorada sólo cuando repercuta con un mayor impacto económico en la sociedad en general. No existe realmente una concientización ciudadana que propicie un mayor desarrollo de este sector a corto plazo.

Los beneficios esenciales del reciclaje de agua para el medio empresarial, tanto en su rentabilidad como en su aportación a la sociedad, son las siguientes: la disponibilidad del agua en los casos en los que escasea; el mejor costo de la misma en el caso de zonas industriales con alto costo de agua municipal, así como el uso específico del agua para reciclado industrial, dejando de tal modo el agua potable para el consumo humano.

VI.2. RECOMENDACIONES

Reciclaje y reuso

Primero debemos diferenciar entre reciclaje y reuso. El reciclaje se entiende como la actividad que las industrias llevan a cabo internamente con el fin de reducir su consumo de agua mediante sistemas de recuperación y tratamientos. Así, por ejemplo, una industria papelera que recupera sus aguas y las trata para su uso nuevamente está reciclando esas aguas.

El reuso consiste en tomar aguas residuales de alguna fuente externa a la industria y tratarla para ser reutilizada en ésta. Por ejemplo, esto se cumple al tomar agua residual de origen municipal y tratarla con el fin de usarla en la industria para torres de enfriamiento.

Si se hicieran efectivas las normas, la mayoría de las descargas deberían tratarse. En segundo lugar, para que el reuso sea atractivo deberá tomarse en cuenta el costo del agua potable contra el agua tratada. Por último, urge una mayor conciencia entre los industriales para prevenir la contaminación. Los ecosistemas no soportan la carga de contaminantes y debemos actuar a favor de las futuras generaciones.

Los beneficios del reciclaje de agua son incuestionables. El concepto de rentabilidad no se puede separar del costo ecológico, lo cual es igual a un costo ambiental que conlleva a un precio económico a veces imposible de cubrir.

Sin embargo, debido a los problemas económicos por los que atraviesa el mundo, México cuenta con escasas perspectivas para invertir en una medida justa en proyectos ecológicos. No se debe olvidar que la mayoría de los equipos y maquinarias son importados, y la inestabilidad cambiaria limita la adquisición requerida.

A esto se añaden otras limitantes, además de las económicas, como las culturales. Debemos pugnar por una cultura del agua, en este caso en particular y por la sustentabilidad del desarrollo.

Futuro y cambio en el consumo del agua

A nivel doméstico se tiene una dotación de agua potable promedio actual de 200 a 220 l/hab/día; se prevé, en el corto plazo, disminuirla de 140 a 160 l/hab/día con la instalación total de inodoros de bajo consumo. Actualmente de 45% a 50% del agua para uso doméstico se requiere calidad potable (limpieza de inodoros, riego de jardines, lavado de utensilios), aplicaciones que en el corto plazo bajarán a 20% y 30%. De aquí se ha estimado que la demanda de agua para los usos señalados en el año 2000 podrá ser de 5 m³/s, para lo cual se requiere desarrollar desde ahora un sistema dual de distribución.

Ampliación del sistema de agua residual tratada, parcialmente mitigará la necesidad de la correspondiente al agua potable. La reducción resultante en la inversión para este último sistema beneficiará a todos los usuarios.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Entre los usuarios potenciales están las autoridades públicas, que han hecho o hacen grandes inversiones en el desarrollo de áreas verdes y lagos recreativos, escuelas, mercados, etc., por lo que los ahorros provenientes del empleo de una fuente alterna de agua de menor costo, puede reflejarse en la reducción de impuestos.

Estos dos beneficios que se derivan de la construcción y operación de la ampliación del sistema de agua residual tratada y pasan a la comunidad, son suficiente justificación para derivar parte del presupuesto de agua potable a financiar el programa de reuso.

Este pago al modificar el consumo y aumentar el ahorro, fomentará el uso del agua residual tratada indirectamente al mostrar la necesidad del ahorro al usar esta agua para el riego, sanitarios, lavado de patios, como se ha podido ver, el principal uso del agua potable es el uso doméstico, por lo que en cuestión de actividades que *pueden* usar agua residual tratada, deberá enfocarse en primer plano el usuario doméstico, ya que de los mayores consumos de agua en una casa habitación promedio esta el del sanitario (aproximadamente el 50% de la dotación), la cual puede satisfacerse mediante el reuso de las aguas utilizadas en la regadera o del lavado de ropa previo almacenamiento.

En un corto plazo, se deberá seguir atendiendo a los usuarios comerciales, industriales y particulares, expandiendo la red de distribución según los núcleos de demanda, para que con sus mismas cuotas se reinvierta de manera permanentemente en este aspecto, logrando a su vez comunicar a usuarios domésticos potenciales para cuando inicie el programa de sustitución de agua potable por residual tratada para su uso en riego, saneamiento y limpieza en las viviendas.

En el aspecto social el problema que se tiene es que se nos ha acostumbrado a que todos tenemos el derecho al agua potable pagando cantidades irrisorias por ella, y si esto sucede con el agua potable, ni siquiera se piensa realmente en el costo y la importancia del tratamiento de las aguas residuales, generando un grave problema en cuanto a la concientización de los beneficios de dicha acción, aparte de los cambios físicos que generará el uso del agua residual tratada en actividades en la que se utilizaba agua potable, como en los sanitarios, mingitorios, etc. en los que el usuario está acostumbrado a utilizar agua cristalina.

El aspecto de calidad, es uno de los tantos problemas que deberán enfrentar los responsables del tratamiento, en algunos casos ninguna fase de tratamiento satisface ciertos parámetros, provocando no un peligro pero sí el malestar o la poca comodidad de los futuros usuarios, así como posibles taponamientos por exceso de contaminantes en las redes de distribución, lo más importante es el provocar la aceptación del usuario al brindarle una calidad del agua tal que no se de cuenta que es agua residual tratada, es decir, no es conveniente tratar de lograr una calidad que se pudiera utilizar para el baño diario o para el lavado de trastos de cocina, debido a lo que el tratamiento significaría en costo, pero si puede utilizarse en el WC, mingitorio, riego de áreas verdes, lavado de autos, patios y banquetas, sin que provoque problemas de olor o de materia suspendida, que representaría un problema al usuario.

A pesar de todo esto, el futuro del tratamiento de aguas residuales debe ser el seguir expandiendo poco a poco las zonas distribuidas por medio de la red, para liberar el uso de agua potable, claro deberá esperar hasta que el subsidio de los sistemas de distribución del agua potable para que a su vez, dicho subsidio pudiera pasar de manera parcial o total a los sistemas de tratamiento, generando que el costo del agua potable subiera y el costo del agua tratada fuera más atractivo para el uso doméstico que no requiriera de calidad potable, se deberá incrementar la capacidad de las plantas de tratamiento y a su vez la construcción de nuevas plantas para lograr satisfacer la demanda que se generará, otro asunto importante

es su rehabilitación debido al tiempo que lleva en funcionamiento, antes de realizar esto, se deberá estudiar el colocar drenaje separado, para optimizar los procesos de las plantas residuales, ya que en época de lluvias se ven afectados por la dilución de las aguas residuales.

Financiamiento

En contraste, los contratos a plazo fijo y las concesiones ofrecen ventajas importantes respecto a los esquemas de venta de activos. En primer término, pueden ser un instrumento para introducir la participación privada y la necesaria regulación en una forma gradual. De hecho, una forma de participación privada que parece particularmente interesante, sería que esta se diera en forma integral, con énfasis en un principio en la mejora de la eficiencia física y comercial en el plazo más corto posible, contando en un principio con el apoyo estatal y federal para las inversiones mayores. Esta modalidad en términos generales implica menores riesgos para los diversos participantes y permitiría mejorar la fuente de repago y por lo tanto las posibilidades de financiamiento en condiciones favorables, para enfrentar en el mediano plazo las inversiones de mayor consideración en la expansión de los servicios.

Se debe fomentar en mayor manera la inversión privada en los sistemas de tratamiento, ya que en las plantas de tratamiento que fueron concesionadas se han aplicado políticas diferentes, con resultados alentadores, habiendo sus excepciones; por ejemplo, se ha dado una mayor capacitación al personal que labora en dicha instalación, el mantenimiento se lleva de una manera más estricta y adecuada, en fin como toda empresa pública que pasa al ámbito privado el control que se lleva sobre esta se ve incrementado, lo que se ve reflejado en la eficiencia con la que opera.

Conclusiones Puntuales

1. Las necesidades de inversión para cubrir los rezagos existentes y la demanda futura de servicios son muy altas.
2. Las cifras indican que ni el sector público ni los organismos multilaterales de crédito, podrán cubrir en el futuro previsible las necesidades de inversión.
3. Por otra parte, las condiciones locales con frecuencia dificultan el incremento de la eficiencia de los sistemas.
4. Por lo anterior, se abre una posibilidad para que las empresas privadas participen en el incremento de los niveles de eficiencia de los sistemas, pero para ello es necesario solucionar aspectos jurídicos, políticos, financieros y de selección de una modalidad adecuada de participación privada que asegure que está se dará en condiciones de sustentabilidad para todos los participantes, incluyendo desde luego a los usuarios.
5. Es esencial desde luego, la voluntad política de los gobiernos locales y la aceptación de la sociedad para que esta opción contribuya eficazmente a la solución de los problemas de salud y del medio ambiente.

REFERENCIAS

- Asano, T. y R. A. Mills. 1990. Planning and Analysis for Water Reuse Projects. Journal of the American Water Works Association. Enero de 1990.
- Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (Cespedes). Eficiencia y Uso Sustentable del Agua en México: Participación del Sector Privado. México, 2000.
- Comisión Estatal de Agua y Saneamiento. 1993. Plan Maestro de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del Estado de México 1994-2000 Tomo 2.
- Comisión Nacional del Agua. Compendio Básico del Agua en México. Segunda Edición. México, 2000.
- Departamento del Distrito Federal. 1969. Interceptores Profundos y el Emisor Central. Un Nuevo Sistema para el Distrito Federal. Secretaría General de Obras Publicas. México, D.F.
- Departamento del Distrito Federal. 1990b. Memoria, Programa de Use Eficiente del Agua. México, D.F.: Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica.
- Departamento del Distrito Federal. 1992b. 1992 Compendio DCGOH. México D.F. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. Secretaria General de Obras Públicas.
- Espino, E., M. Vázquez, and F. Flores. 1987. Pilot Studies of Wastewater Potabilization in Mexico City. P. 693-703 in Proceedings, Water Reuse Symposium IV, August 1987, Denver, Colorado: American Water Works Association.
- INEGI (Instituto Nacional Estadística Geografía y Informática). 1991a. Área Metropolitana de la Ciudad de México - Síntesis de Resultados - X Censo General de Población y Vivienda 1990. México, D.F.: INEGI.
- Marsal, R.J. 1974. El hundimiento de la Ciudad de México. El Colegio Nacional.
- Martínez, Mayra A. Tratar el Agua, Propuesta de este Tiempo. Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (Cespedes). México, 2000.
- Metcalf and Eddy, Inc. 1991. Wastewater Engineering; Treatment, Disposal, and Reuse. 3rd edition, revised by G. Tchobanoglous and F.T. Burton. McGraw-Hill, Inc., New York, NY, 1334 pp.
- Mujeriego, R. (Editor). 1990. Manual Práctico de Riego con Agua Residual Municipal Regenerada. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.
- Mujeriego, R. y L. Sala. 1991. Golf course irrigation with reclaimed wastewater. Wastewater reclamation and reuse. Water Science and Technology, vol. 24, no. 9. International Association on Water Pollution Research and Control, Pergamon Press.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Mujeriego, R., L. Sala, J. García y M. Carbó. 1994. Gestión del Agua Residual Regenerada Utilizada para Regar el Campo de Golf Mas Nou. Cuarta Memoria Semestral e Informe Final. Junta de Sanejament de la Generalitat de Catalunya. Barcelona.
- National Research Council. 1994. Ground Water Recharge Using Waters of Impaired Quality. National Academy Press, Washington, D.C.
- Odendaal, P.E., and W.H. Hattingh. 1987. Status of Potable Reuse Research in South Africa. Proceeding of Water Reuse Symposium IV. American Water Works Association, Denver, CO, pp. 1339-1348.
- Organización Mundial de la Salud. 1989. Directrices Sanitarias sobre el Uso de Aguas Residuales en Agricultura y Acuicultura. Serie de informes técnicos 778. Ginebra, Suiza.
- Sheikh, B., R.P. Cort, W.R. Kirkpatrick, R.S. Jaques and T. Asano. 1990. Monterey Wastewater Reclamation Study for Agriculture. Research Journal of the Water Pollution Control Federation, volumen 62, número 3.
- U.S. Environmental Protection Agency and U. S. Agency for International Development. 1992. Manual-Guidelines for Water Reuse. EPA/625/R-92/004. Washington, DC.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1993. Evaluation of Mexico Environmental Laws, Regulations, and Standards. Washington, D.C.: EPA Office of General Council.
- United States Environmental Protection Agency and United States Agency for International Development. 1992. Manual on Guidelines for Water Reuse. EPA/625/R-92/004, September 1992. Center for Environmental Research Information, Cincinnati, Ohio.
- Water Pollution Control Federation. 1989. Water Reuse. Second Edition. Manual of Practice SM-13. Virginia, Estados Unidos.
- World Bank. 1992. World Development Report 1992: Development and the Environment. New York: Oxford University Press.

BIBLIOGRAFÍA

- Baca Urbina, Gabriel. Evaluación de Proyectos. Análisis y administración del riesgo. Segunda edición. McGraw Hill/Interamericana de México, S.A. de C.V. México, 1992.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS. Hojas de Divulgación Técnica. HDT 59: USO DE AGUAS RESIDUALES. Julio Moscoso, Asesor CEPIS en Uso de Aguas Residuales. Guillermo León, Asesor CEPIS en Tratamiento de Aguas Residuales. Septiembre, 1994.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS. Ciudades para un futuro más sostenible. Buenas prácticas del concurso Habitat II. Programa de calidad de las aguas residuales y del saneamiento en Leederville, Australia. Dubai, 1996.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS. REPINDEX 53: USO DE LAS AGUAS RESIDUALES, Marzo 1995. Ing. Julio Moscoso, Asesor CEPIS en Reuso de Aguas Residuales. Ing. Blanca Lázaro, Profesional Residente CEPIS.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS. Hojas de Divulgación Técnica. HDT 68: METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE DECISIONES PARA SELECCIONAR ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO Y USO DE AGUAS RESIDUALES. Ing. Marco Antonio de Souza, Universidad de Brasilia, Departamento de Ingeniería Civil. Campus Universitario. Asa Norte. 71910-090. Brasilia, D.F. Brasil. Abril, 1997.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS. Textos Completos. Introducción y Uso de las Aguas Residuales Tratadas, en Agricultura y Acuicultura. Modernización y Avances en el Uso de Aguas Negras para la Irrigación, Intercambio de Aguas Uso Urbano y Riego. Ing. Rodolfo Saénz Forero. Asesor de la División de Salud y Ambiente OPS / OMS. Noviembre, 1997.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS. Ciudades para un futuro más sostenible. Buenas prácticas del concurso Habitat II. Plan Piloto de reciclaje de aguas residuales en Southwell Park, Australia. Dubai, 1996.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS. Ciudades para un futuro más sostenible. Buenas prácticas del concurso Habitat II. Sistema Integrado de Tratamiento de Residuos y Aguas Residuales en las marismas de Calcuta, India. Dubai, 1996.
- Comité de Academias para el Estudio de Suministro de Agua de la Ciudad de México. Water Science and Technology Board, Commission on Geosciences, Environment, and Resources. National Research Council. Academia de la Investigación Científica, A.C. Academia Nacional de Ingeniería, A.C. NATIONAL ACADEMY PRESS. El Suministro de Agua de la Ciudad de México. Mejorando la sustentabilidad. Washington, D.C., 1995.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Comisión Nacional del Agua. Agua Potable y Saneamiento en Zonas Urbanas. Ing. Jesús Campos López. Gerente de Construcción de Agua Potable y Saneamiento, Comisión Nacional del Agua. México, 1998.
- Comisión Nacional del Agua. Compendio Básico del Agua en México 2001. México, 2001. Segunda Edición.
- Comisión Nacional del Agua. Compendio Básico del Agua en México 2002. México, 2002. Tercera Edición.
- Comisión Nacional del Agua. Programa Nacional Hidráulico 2001 – 2006. México, 2000.
- Departamento del Distrito Federal. Reglamento del Servicio de Agua y Drenaje para el Distrito Federal. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 25 de Enero de 1990 y en la Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal el 29 de Enero de 1990. Modificación publicada en el Diario Oficial de la Federación del 2 de agosto de 1993.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal. Administración Pública del Distrito Federal. Decreto que reforma, adiciona y deroga diversas disposiciones del Código Financiero del Distrito Federal. Publicado el 31 de Diciembre de 2001.
- H. Ayuntamiento Constitucional de Guadalajara. Gobierno del Estado de Jalisco. Secretaria de Desarrollo Urbano. Conferencia de Grandes Ciudades sobre Ahorro, Uso Eficiente y Racional del Agua. Guadalajara, Jalisco, México. 17 al 19 de Febrero de 1999.
- Ing. Ariel Cano Vicario, Grupo Tribasa. Privatización de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Noviembre, 1995.
- Ing. Carlos Otero Macia. Presidente Ejecutivo de Grupo Agua de México, S.A. de C.V. Participación del Sector Privado en la provisión del Servicio Integral del Agua. Noviembre, 1995.
- La Comisión Europea está promoviendo el reciclado y reutilización de las aguas residuales. Laurent Bontour, Revista 10. The IPTS Report.
- Metcalf & Eddy. Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Tercera Edición. Mc Graw Hill. México. 1997.
- Organización Mundial de la Salud. 1989. Directrices Sanitarias sobre el Uso de Aguas Residuales en Agricultura y Acuicultura. Serie de Informes Técnicos 778. Ginebra, Suiza.
- Rafael Mujeriego, Catedrático de Ingeniería Ambiental de la UPC, ICT. Técnicas de recuperación, distribución y reutilización de las aguas depuradas. Marzo, 1997.
- Sámano Castillo, José Sabino y Noyola Robles, Adalberto. Evaluación Económica de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales para pequeñas comunidades (hasta 2,400 m³/d). Coordinación de Bioprocesos Ambientales. Instituto de Ingeniería, UNAM.

ANEXO A

**EXPERIENCIAS A NIVEL MUNDIAL EN EL REUSO
DEL AGUA RESIDUAL TRATADA**

Caso A. Plan Piloto de Reciclaje de Aguas Residuales en Southwell Park (Australia)

Es una planta de reciclaje de aguas residuales situada en un barrio residencial. Los excedentes de 300,000 litros/día se utilizan para regar las 9 hectáreas de los cercanos parques públicos de recreo y de juegos. Las aguas residuales se recogen por el colector principal y son tratadas in situ para mejorar su calidad mediante un proceso a tres niveles, con desinfección posterior. Las aguas residuales se devuelven al colector para un tratamiento en una zona más alejada, corriente abajo.

La planta tiene gran capacidad y utiliza equipamientos garantizados. Cumple las normas más estrictas, siendo la planta más innovadora de Australia. Ha conseguido el prestigioso premio *ACT Engineering Excellence*, instituido por la *Institution of Engineers Australia*.

Descripción

La extracción de agua es un concepto que consiste en la recogida de aguas residuales procedentes de un colector subterráneo y el posterior tratamiento de los componentes del agua, in situ, para mejorar su calidad con vistas a una utilización del agua reciclada en el área. Los sólidos se separan de las aguas residuales y se devuelven al colector para un último tratamiento en la planta central de tratamiento de aguas residuales.

La mayor ventaja de este concepto es que no requiere costosas inversiones en grandes sistemas de conducciones subterráneas necesarios para devolver el agua desde las grandes plantas de tratamiento hasta las áreas donde se requiere el agua reciclada. El concepto es aplicable a muchas zonas de acceso público como parques, campos de juego y jardines.

El *Environment Improvement Plan (EIP)* (Plan de Mejora Ambiental) de ACTEW en 1993 para el *Centro de Control de Calidad de Aguas de Lower Molonglo*, su principal planta de tratamiento de aguas residuales, puso especial énfasis en la eliminación de los nutrientes nitrógeno y fósforo de los vertidos al río Molonglo, a causa del impacto negativo que tienen estos nutrientes para el frágil entorno ambiental ribereño. Para alcanzar este objetivo, el plan recomendó una reutilización sustancial de los efluentes.

El alto coste del trasvase de efluentes desde la planta de tratamiento hasta las zonas donde se demandan es un impedimento a la hora de incrementar el nivel de reutilización de los efluentes. Para superarlo, ACTEW propuso seguir un plan piloto de reutilización de efluentes que extrae el agua directamente de la red general de alcantarillado y la trata in situ para su posterior utilización en el riego de parques y jardines.

Durante el desarrollo de su estrategia para el futuro suministro de agua a Canberra entre 1993 y 1994, ACTEW promovió foros públicos y llevó a cabo encuestas entre los miembros de la comunidad para conocer sus puntos de vista respecto a los temas relacionados con los recursos del agua.

También se recogieron opiniones acerca de la reutilización de efluentes para el suministro de agua potable. Los resultados mostraron que el 20% de la población estaba completamente a favor del reciclaje total y más del 27% lo apoyaba sólo en parte. De todos modos, un porcentaje mayoritario de la población, cerca del 97% era partidaria de la reutilización de efluentes para el riego.

Desarrollo de la planta piloto de Southwell Park

En un principio, la planta piloto debía construirse en un espacio urbano libre anexo a la red principal de alcantarillado de un área residencial con recursos energéticos y facilidades de transporte. En Canberra existían varios lugares con estas características, pero como el Programa *Best Cities* del gobierno de la *Commonwealth* había acordado aportar fondos para un proyecto piloto en Canberra del Norte, se seleccionó *Southwell Park* en Lyneham como la mejor opción. El coste total de la planta fue de 2,577 millones de dólares.

El colector principal de la zona tiene un diámetro de 450 mm y abastece a las áreas residenciales de Canberra del Norte, atraviesa *Southwell Park* cerca del campo de golf de Yowani y desemboca en un colector general que discurre hacia el sur.

La primera fase de la planta piloto requería la aprobación de la comunidad local y del gobierno del ATC para llevar a cabo el proceso. Los representantes de *ACTEW* se reunieron con los administradores del campo de golf y los usuarios de *Southwell Park* y su centro de baloncesto para informarlos acerca de las propuestas y de como les afectarían las mejoras.

La cuestión principal era determinar si los niños que frecuentaban *Southwell Park* corrían algún riesgo. *ACTEW* colaboró íntimamente con el *ACT Department of Health* a través del *Environmental and Public Health Service* para establecer las condiciones apropiadas. Se determinó que el proyecto debería cumplir, como mínimo, los dictámenes de las *Guías del Consejo de Investigación Médica y Sanitaria Nacional para la Utilización de Agua Regenerada de 1987 para áreas de regadío de acceso público*.

El gobierno del *ACT* impuso también estrictos condicionantes para la altura y el tamaño del edificio, así como para asegurar que se integrara, no creara obstrucciones y fuera compatible con el barrio donde se estableciera.

ACTEW formuló las condiciones preliminares para indicar qué tipo de instalaciones innovadoras cumplan los requisitos de higiene, entorno ambiental y superficie exigidos en la planta.

Una vez establecido el presupuesto, los ingenieros de *ACTEW* recorrieron Australia y el extranjero para investigar nuevas tecnologías que pudieran adaptarse al proyecto.

Tras esta investigación, se estudiaron ofertas y se seleccionó una compañía australiana, la *SEPA Waste Treatment Pty Ltd.*, para el diseño y manufactura del equipamiento para el proceso. Más del 90% de este equipamiento se diseñó y manufacturó en Australia.

El reciclaje de aguas residuales para riego no es un tema nuevo en Canberra, que ya contaba con irrigación mediante aguas residuales recicladas para el *campo de golf de Belconnen* y el *parque recreativo de Duntroon*.

El diseño de la planta es ingenioso, ya que su naturaleza compacta permite su instalación en áreas residenciales nuevas o ya existentes, sin perjuicio para los inquilinos. La planta no produce olores ni ruidos y ocasiona un aumento de tráfico mínimo en la zona. La construcción de la planta tuvo un bajo impacto ambiental.

La mayoría de las instalaciones están enterradas, no sólo para reducir los ruidos, sino para evitar el impacto visual negativo del edificio sobre su entorno. La utilización de pantallas acústicas minimiza los niveles sonoros para evitar molestias a la vecindad. Desde que los residuos sólidos no se tratan in situ, sino que se devuelven al colector para su tratamiento en el *Lower Molonglo*, se han minimizado los olores.

La planta está totalmente automatizada y controlada por un sistema informático conectado mediante una red terrestre al *Centro de Control de Calidad de Aguas de Lower Molonglo* para su supervisión, alarmas y señales de control. Su mantenimiento sólo requiere una visita semanal.

Inicialmente, el agua reciclada se utiliza para el riego de los campos de juego de Southwell, pero se estudia la posibilidad de ampliar el abastecimiento al campo de golf, al hipódromo de Canberra y a los recintos feriales.

Los criterios para determinar el diseño de la planta fueron:

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) < 5 mg/l

SS < 5 mg/l

Coliformes Fecales < 1/100 ml

Una importante consideración a la hora de diseñar la planta fue la protección de la salud pública. Utiliza dos procesos de desinfección separados, cada uno de los cuales satisface los estrictos condicionantes de salud impuestos por el *ACT Department of Health*.

Todos los sólidos se devuelven al colector para ser tratados en el *Centro de Control de Calidad de Aguas de Lower Molonglo*, por tanto no se requiere su tratamiento ni su recogida en la planta de reciclaje.

Se ha observado que la calidad del agua regenerada es superior a la exigida por los criterios de diseño, siendo prácticamente la misma que la que abastece a la ciudad, pero con una concentración más elevada de nitrógeno y fósforo.

El tratamiento in situ de efluentes para conseguir agua de alta calidad destinada al riego incluye la extracción de las aguas residuales, un proceso de filtración inicial, separación de sólidos, tratamiento biológico, microfiltración y desinfección hipoclorítica.

El agua reciclada se almacena en un tanque desde el cual se bombea hacia los campos de juego para su riego.

El mantenimiento de *Southwell Park* es responsabilidad del *ATC Parks and Conservation Service* y la irrigación se lleva a cabo mediante un sistema informático de control remoto que activa las bombas de la planta para suministrar el riego por aspersión cuando es necesario.

Como algunos de los nutrientes de las aguas residuales quedan retenidos durante el proceso de tratamiento de aguas residuales, se entiende que no es necesario añadir fertilizantes a los terrenos del parque.

ANEXOS

Caso B. Programa de Calidad de las Aguas Residuales y del Saneamiento en Leederville (Australia)

El proyecto de infraestructuras de saneamiento y calidad de las aguas residuales en el oeste de Australia se financia mediante el *Programa Una Nación* del gobierno federal. El proyecto está diseñado para utilizar, probar y demostrar la eficacia de la innovadora tecnología australiana para el tratamiento de las aguas residuales y la construcción de alcantarillado subterráneo en el oeste de Australia. El proyecto prestará especial atención a los problemas de la urbanización y el medio ambiente. Actualmente, el 25% del área metropolitana de Perth depende de fosas sépticas, con el consiguiente riesgo para la salud y el medio ambiente.

Todos los proyectos financiados por el Programa se incluyen en dos grupos:

- a) *Tratamiento de las aguas residuales y construcción de alcantarillado*
- b) *Obras de construcción de fosas sanitarias para el sistema de alcantarillado*

Tratamiento de las aguas residuales y construcción de alcantarillado

1. **Coogee.** Instalación de una Planta Central de Tratamiento de Aguas Residuales.
2. **Woodman Point.** Tecnología de Filtración para mejorar las Aguas Residuales.
3. **Bayswater.** Construcción de Marismas Artificiales para extraer los nutrientes de las filtraciones de efluentes.
4. **Denmark.** Planta de Tratamiento para Centros Urbanos Pequeños con Sistemas Sépticos Inadecuados.
5. **Rottnest Island.** Planta de Tratamiento de Efluentes para la descarga segura del agua en el suelo o el mar.

Obras de construcción de fosas sanitarias para el sistema de alcantarillado

1. **Willetton.** Obras de Construcción de Alcantarillado Subterráneo para servir a 152 parcelas.
2. **Belmont.** Obras de Construcción de Alcantarillado Subterráneo para servir a 440 parcelas.
3. **Balcatta.** Obras de Construcción de Alcantarillado Subterráneo para servir a 580 parcelas y reducir las infiltraciones de efluentes a las aguas subterráneas.

El *Programa de Tratamiento de las Aguas Residuales y de Alcantarillado en el oeste de Australia* es una iniciativa del gobierno federal para llevar a cabo varios proyectos en la zona. Los fondos asignados según el programa están destinados a desarrollar proyectos piloto que utilizan nuevas técnicas para el tratamiento de aguas residuales y proyectos de construcción de alcantarillado subterráneo. El programa también complementará otras iniciativas de reforma urbana financiadas por el *Programa Mejores Ciudades* del gobierno federal.

Estos importantes proyectos, repartidos por todo el área metropolitana y otras zonas, prestan especial atención a los problemas de la urbanización y del medio ambiente y suponen el uso de las más avanzadas tecnologías de Australia.

Proyectos de tratamiento de aguas residuales y alcantarillado

1. El *Proyecto Coogee* trata de evitar prácticas inaceptables como el vertido de residuos directamente al *Cockburn Sound*. El proyecto incluye la instalación de una planta central anaerobia de tratamiento de aguas residuales, en la que se tratan las aguas residuales, que tienen gran concentración de residuos, lo suficiente como para que puedan reutilizarse en el lugar o puedan ser vertidas al sistema general de alcantarillado.
2. El *Proyecto Woodman Point*, que utiliza técnicas de filtración para demostrar que es posible tratar los efluentes primarios para abastecer de agua de uso industrial a la industria de la zona de *Kwinana*. La planta de tratamiento que ya existe produce efluentes primarios que se vierten en aguas profundas.
3. El *Proyecto de Marismas Artificiales de Bayswater*, diseñado para mejorar la calidad de los efluentes, incluidas las aguas subterráneas y las de lluvia de escorrentía que se vierten en el río Swan desde el desagüe principal de *Bayswater*. El plan incluye la construcción de una marisma artificial para extraer los nutrientes del flujo del desagüe y probar la viabilidad de utilizar el ecosistema de la marisma controlada para separar los nutrientes del agua del desagüe principal de *Bayswater*. Se está creando un terreno pantanoso artificial y se excavará el material arenoso, se reemplazará con una tierra más adecuada y luego se repoblará con vegetación acuática.
4. El *Proyecto Denmark*, cuyo sistema actual de tratamiento de aguas residuales se hace mediante fosas sépticas de oxidación. Los efluentes de esta planta originan la mayor parte de los nutrientes que entran en la ensenada de Wilson, y que con el tiempo podrían dar lugar al aumento de los graves problemas de eutrofización. El objetivo del proyecto es construir una planta de tratamiento que incorpore tecnología nueva e innovadora y produzca unos efluentes tratados avanzados que no tengan un impacto negativo en la ensenada.
5. El *Proyecto Rottnest Island*, está mejorando los sistemas actuales de tratamiento de aguas residuales, para poder tratar los incrementos de volumen estacionales y mejorar la calidad de los efluentes para cumplir las directrices ambientales. La tecnología avanzada permitirá que los efluentes se reciclen o se viertan al terreno o al mar.

La *Agencia de Protección del Medio Ambiente de la Commonwealth* desempeña este cometido en nombre del *Departamento de la Vivienda y el Desarrollo Regional*. El organismo evaluará la eficacia de todas las técnicas de tratamiento de aguas residuales empleadas, basándose en criterios económicos y ambientales.

Se ofrecen a continuación ejemplos del tipo de evaluación que se realiza:

1. El *Proyecto Coogee*, que utiliza aguas residuales tratadas con métodos anaerobios, será supervisado tanto en su fase inicial como durante el periodo de régimen permanente. Se estima una duración de tres meses para cada periodo. Se pretende que el proyecto demuestre que el tratamiento anaerobio a gran escala es aplicable a las aguas residuales biotecnológicas y de los mataderos; que la eliminación de grandes proporciones de contaminantes puede hacerse a un coste relativamente bajo, y que el biogás metano producido en el proceso de tratamiento puede tener un aprovechamiento beneficioso.

ANEXOS

2. La evaluación del *Proyecto Woodman Point* ha demostrado que el proyecto ha logrado sus objetivos en el uso de técnicas de filtración para producir agua tratada.
3. El *Proyecto de Marismas Artificiales de Bayswater* se está evaluando por la cantidad total de nutrientes aprovechables que se concentran en las marismas cada año y por el funcionamiento del sistema en la eliminación de nutrientes durante e inmediatamente después de las lluvias que producen el rebose de las marismas.
4. La *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Rottnest Island* pretende producir efluentes de buena calidad, con bajo contenido de nutrientes, de las aguas residuales de la isla para proteger los lagos y las aguas de superficie y subterráneas de la isla. Se realiza un programa de evaluación y seguimiento para lograr estos resultados.

Impacto

Vertido seguro de efluentes tratados en la tierra o el mar y reutilización de las aguas tratadas con grandes beneficios para el medio ambiente.

La construcción de alcantarillado subterráneo conectado a 1,172 parcelas que carecían de él, para evitar las infiltraciones en los ríos y en las aguas subterráneas.

Caso C. Proyecto de Reuso de las Aguas Residuales Tratadas en las Lagunas de San Juan, Lima, Perú

Desarrollo histórico

En 1964 se construyó al Sur de Lima el *Complejo de Lagunas de Estabilización de San Juan*, permitiendo la forestación de 300 ha, que actualmente constituyen parte del denominado "*Cinturón Ecológico de Lima*". Paralelamente, las áreas desérticas adyacentes al Complejo fueron invadidas por algunos agricultores, quienes rápidamente detectaron el valor de estas aguas y ahora trabajan 70 ha de cultivos agrícolas.

El crecimiento explosivo de Lima en las tres últimas décadas ha transformado más de 20,000 ha agrícolas en urbanizaciones. Algunos agricultores han luchado por mantener el uso agrícola de sus tierras, pero su abastecimiento de agua se ha visto reducido e incluso interrumpido por la destrucción de los canales de riego provenientes de los ríos Rimac y Chillón. Por tanto, la supervivencia de 3,000 ha agrícolas ha sido posible gracias a las aguas residuales.

Casos similares al anterior se han presentado en otras ciudades de la costa, tal como Trujillo, Chiclayo y Piura, en donde en forma espontánea se utilizan las aguas residuales sin tratamiento. El único caso de riego planificado se ha realizado en un área de 200 ha, aledaña a la ciudad de Tacna.

En 1988 se implementó la *Unidad Experimental de Acuicultura de San Juan*, que ocupa un área de 14,400 m² y es abastecida por un efluente del *Complejo de Lagunas de Estabilización de San Juan*. Esta Unidad permitió ejecutar el *Proyecto de Investigación de Reuso en Acuicultura* y actualmente se mantiene operando con fines demostrativos.

En 1992 se ha construido una planta de tratamiento, compuestas por un reactor anaerobio de flujo ascendente y dos lagunas de estabilización, para regar un campo de golf, alternativa tecnológica que puede aplicarse en general para el riego de las áreas verdes de la ciudad.

En 1997, la Universidad Nacional de Ingeniería está construyendo un módulo de tratamiento de aguas residuales, que pretende evaluar diferentes alternativas tecnológicas. Igualmente, la Universidad Nacional Agraria La Molina está implementando otro módulo de reuso de aguas residuales en agricultura, piscicultura y forestales en un campo agrícola de 23 ha.

Planes futuros

El Ministerio de Agricultura, a través de su *Programa Nacional de Reuso de Aguas Residuales para Riego Agrícola* ha proyectado invertir US\$ 97.5 millones para desarrollar 18,000 ha agrícolas. La primera etapa considera la implementación de 9,461 ha en las siguientes ciudades:

San Bartolo (Lima)	4,300 ha
Ventanilla (Lima)	550 ha
Villa El Salvador (Lima)	475 ha
Trujillo (La Libertad)	1,386 ha
Chiclayo (Lambayeque)	1,300 ha
Piura (Piura)	1,000 ha
Ica (Ica)	450 ha

El *Servicio de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado de Lima* (SEDAPAL) ha elaborado el estudio de *Reuso de Aguas Servidas para irrigar las Zonas Áridas ubicadas en el Sur de Lima*. Este proyecto, inicialmente elaborado en 1985 por la empresa israelí TAHAL, comprende las siguientes acciones:

- Conducir 13 km un caudal de 2 m³/s del colector Surco que recoge los desagües del Cono Sur de Lima.
- Implementar un sistema de tratamiento por lagunas aireadas facultativas para uso forestal y por recarga del acuífero para uso agropecuario.
- Distribución y riego a presión de 4,500 ha para el desarrollo agrícola y ganadero.

El costo del proyecto fue estimado en EUA\$69 millones, de los cuales 2/3 correspondería a la conducción y tratamiento de las aguas.

Un segundo estudio del *Proyecto de San Bartolo* ha sido realizado en 1989 por la *Agencia Internacional de Cooperación del Japón (JICA)*, básicamente referido a la conducción y tratamiento mediante lagunas de estabilización de 4 m³/s para el riego de 4,800 ha. En este caso se estimó una inversión de EUA\$98 millones, correspondiendo el 78% al sistema de conducción.

Otro Proyecto elaborado por SEDAPAL está localizado en el Cono Norte de Lima, en donde se pretende desarrollar 350 ha agrícolas en el área desértica de Piedras Gordas.

Usos específicos**a. Agricultura**

La agricultura es la principal actividad desarrollada con el reuso de las aguas residuales en el Perú. No se tiene referencias de que la productividad mejore por el uso de aguas residuales, pero si que se sustituye por completo la fertilización artificial. Un total de 3,950 ha son utilizadas en el país (91% del área de reuso) para los cultivos agrícolas que se detallan en el Cuadro No. 2.

Cuadro No. 2. Cultivos actualmente regados con aguas residuales en el Perú

TIPO DE CULTIVO	PRODUCTIVIDAD (kg/ha)	AREA (ha)	PRODUCCION (TM/año)	TIPO DE AGUA
Algodón	3,500	200	700	tratada
Maíz grano	5,000	460	2,300	ambas
Maíz forraje	100,000	156	1,560	tratada
Alfalfa	20,000	20	400	tratada
Camote	24,000	18	432	tratada
Caña de azúcar	18,000	260	4,680	cruda
Hortalizas	40,000	2,908	116,320	cruda

Se ha estimado que las 4,022 ha de campos agrícolas regados con aguas residuales están produciendo más de 126,000 toneladas anuales de productos varios, correspondiendo al 92% hortalizas como cebolla, espinaca, albahaca, acelga, perejil, culantro, lechuga, col, coliflor, aji y tomate. En algunos lugares menos productivos se produce camote.

Los cultivos industriales como el algodón y los forrajes como maíz y alfalfa no requieren efluentes de alta calidad, sin embargo están siendo regados con aguas tratadas. El riego de la caña de azúcar con aguas crudas puede ser de poco riesgo por tratarse de un producto industrializado, pero si lo es para los trabajadores. El mayor riesgo está dado en los cultivos de hortalizas, que son regados con aguas sin tratamiento, como en el caso de las 3,078 ha ubicadas en Lima. Por lo tanto, es urgente la restricción de estos cultivos, mientras no se implemente un sistema de tratamiento altamente eficiente.

El Proyecto de San Bartolo proyecta desarrollar 4,700 ha con los siguientes cultivos: los cuatro primeros cultivos que se indican en el Cuadro No. 3. Los cuatro primeros cultivos serán regados con efluentes provenientes de lagunas facultativas y las hortalizas recibirán al agua recuperada del acuífero previamente recargado con aguas residuales.

Cuadro No. 3. Cultivos planificados en el proyecto San Bartolo

Cultivo	Área (ha)	Producción (V año)
Algodón	2,700	9,500
Malz grano	400	2,000
Malz forraje	550	57,000
Alfalfa (forraje)	300	6,000
Pasto Rhodes	250	6,000
Hortalizas varias	500	20,000
TOTAL	4,700	100,500

b. Forestales

La actividad forestal que actualmente ocupa 300 ha se ha orientado a la formación de bosques con fines ecológicos y recreativos. En todos los proyectos de tratamiento y reuso de aguas residuales se cuenta con un área forestal perimétrica, utilizada como barrera de viento, que evita la difusión de malos olores, además de mejorar el ornato del lugar. La Universidad Nacional Agraria La Molina está implementando el Proyecto *Módulo Piloto de Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales en Agricultura, Acuicultura y Forestales en las Viñas de La Molina*. En este caso, el componente forestal tiene un propósito productivo, además de conformar un cordón perimetral. En un área total de 8.6 ha se pretende obtener la siguiente producción anual:

Plantas de vivero	100,000 unidades
Árboles ornamentales jóvenes	82,000 unidades
Semilla de árboles ornamentales	2,400 kg
Leña y carbón	4,700 kg

Además de los productos señalados, se espera desarrollar una producción apícola.

c. Pecuaria

La ganadería es una actividad complementaria a la agrícola. En San Juan, existen alrededor de 60 cabezas de ganado vacuno, que aprovechan la producción de forrajes. También algunos agricultores cuentan con un número pequeño de ganado ovino. La vegetación sembrada en los taludes internos de los estanques piscícolas es periódicamente cortada por pastores de ovinos del lugar. El proyecto de San Bartolo ha considerado dentro de su programa agropecuario la producción anual de 22 millones de litros de leche y el sacrificio de 3,500 cabezas de ganado vacuno.

d. Acuicultura

La piscicultura es una nueva alternativa que se está proponiendo dentro de las actividades de reuso de las aguas residuales. Es por ello que el CEPIS y la UNALM ejecutaron el *Proyecto de Reuso en Acuicultura de las Aguas Residuales Tratadas en las Lagunas de Estabilización de San Juan* durante los periodos 1983-84 y 1988-90.

Durante el *primer periodo (preliminar)* se logró definir que las condiciones ambientales de las lagunas cuaternarias eran satisfactorias para la supervivencia y crecimiento de los peces Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y Carpa común (*Cyprinus carpio*). Sin embargo, estas lagunas no resultaron prácticas para el cultivo y se recomendó usar estanques piscícolas abastecidos con efluentes terciarios.

La *segunda fase (definitiva)* tuvo la finalidad de definir una tecnología de producción para diseñar sistemas integrados de tratamiento de aguas residuales-acuicultura. En estanques piscícolas se efectuaron cuatro campañas experimentales con Tilapia del Nilo, lográndose los siguientes resultados:

- Las tilapias con un peso inicial de 60 g pueden ser cultivadas durante los cuatro meses de calor a densidades de 2 peces/m², para alcanzar un peso comercial de 250 g.
- A partir de una biomasa inicial de 960 kg/ha, durante el período mencionado se obtiene producción final de 4,400 kg/ha, sin adicionar alimento artificial.
- No se detectó presencia de bacterias y virus patógenos en los peces cultivados en aguas tratadas con niveles inferiores a 10,000 coliformes fecales/100 ml.

e. Riego de áreas verdes y campos deportivos

El *Parque Zonal Huayna Cápac* ubicado en San Juan incluye 12 ha de campos recreacionales con cobertura vegetal regada con aguas residuales tratadas. Este campo es regado dos días por semana, evitando el ingreso del público hasta después de 48 horas del riego. Un tramo del acantilado costero de Lima está siendo irrigado con aguas residuales tratadas para recuperar la cobertura vegetal que antiguamente existía. Para ello se ha implementado una pequeña planta de sedimentación y filtros percoladores, que abastecen de 1 l/s para el riego por goteo. El *Club de Golf La Planicie* está manteniendo sus campos mediante el riego con un efluente tratado en un reactor anaerobio de flujo ascendente y dos lagunas facultativas de acabado.

f. Uso de lodos

Después de 5 y 8 años de operación continua, las lagunas primarias y secundarias, respectivamente son drenadas para extraer los lodos acumulados. Luego de un período de secado de 3 a 6 meses, los lodos son recolectados con un cargador frontal y trasladados a un área cercana para continuar su secado. Los lodos extraídos de las Lagunas de estabilización de San Juan son almacenados por un año, para luego ser utilizados como abono o mejoradores de suelos arenosos. La empresa de *Peajes de Lima Metropolitana* viene utilizando este material para preparar la tierra existente en la berma central de las autopistas, en donde luego se plantan árboles.

Variables restrictivas para el uso de las aguas residuales

La principal variable restrictiva para el uso de aguas residuales en agricultura es la presencia de desechos industriales. Por un lado, estos productos pueden inhibir el proceso biológico en las lagunas, y por otro, podrían bioacumularse en vegetales y peces cultivados, especialmente si son destinados al consumo humano directo. Aún cuando la legislación establece que las industrias deben tratar sus aguas residuales in situ, antes de disponerlas en el alcantarillado público, pocas empresas cumplen con estas disposiciones, valiéndose del deficiente control de los organismos estatales.

Eficiencia del tratamiento

Durante el proyecto de *Reuso en Acuicultura de las Aguas Residuales Tratadas en las Lagunas de San Juan* (Moscoso et. al, 1992) se operó el sistema con cargas promedio de 400 kg DBO₅/ha/día para mantener las lagunas primarias facultativas, pero el manejo de los caudales estuvo supeditado a la calidad del efluente en términos de coliformes fecales. El monitoreo efectuado entre julio de 1988 y abril de 1990 arrojó los valores promedios de los parámetros indicados en el Cuadro No. 1.

Cuadro No. 1. Parámetros operativos de las lagunas de San Juan (mg/l)

Parámetro	Crudo	Primaria	Secundaria	Terciaria
DQO total	562	202	183	171
DQO soluble	149	67	53	46
DBO ₅ total	278	53	91	80
DBO ₅ soluble	67	15	19	15
SS totales	270	96	111	103
SS volátiles	229	88	100	94
Fósforo total	7.70	4.73	4.76	4.54
Ortofosfatos	4.02	2.22	1.12	1.60
N - orgánico	19.25	8.16	10.58	10.55
N - amoniacal	47.49	22.11	7.12	1.78
Alcalinidad total	260	210	154	135
Clorofila A (ug)	0	943	1139	1113

En las lagunas mencionadas, con un periodo de retención entre 57 y 32 días de acuerdo a la época fría y cálida, respectivamente, se lograron las siguientes eficiencias de remoción:

- 100% de helmintos y protozoos entéricos, que por lo general ocurre en la laguna primaria cuando el periodo de retención es mayor de 10 días.
- 100% de enterovirus durante el proceso completo. Los virus detectados en el crudo, no fueron aislados en el efluente final del sistema.
- De 99.9892 a 99.9992% de coliformes fecales, que equivale a remover de 4 a 5 logaritmos, siendo mayor en la época de calor.

- 71.22% de DBO₅. Los valores más bajos se logran en las lagunas primarias, pero luego se incrementan en el resto del sistema, debido a la gran proliferación de fitoplacton.
- 61.85% de los sólidos suspendidos totales. La variación de los niveles tiene la misma tendencia que la DBO.
- 41% del fósforo total, 45% de nitrógeno orgánico y 96% de nitrógeno amoniacal.

Es importante indicar que la remoción de materia orgánica y nutrientes no es interesante cuando el efluente es destinado al riego agrícola. La remoción del 96% de nitrógeno amoniacal es muy importante en la acuicultura, para no sobrepasar el límite de tolerancia de los organismos acuáticos cultivados.

Evaluaciones preliminares efectuadas en 1991, permiten asumir la gran capacidad de las lagunas de estabilización para remover totalmente el *Vibrio Cholerae*.

Problemas de operación y mantenimiento de lagunas

Una de las ventajas del sistema de lagunas de estabilización es la simplicidad de su operación y mantenimiento. Sin embargo, muchas plantas tienen serias deficiencias de operación por las siguientes razones:

- Existe la idea errónea de que las lagunas se operan solas y no necesitan mantenimiento.
- La mayoría de plantas no cuentan con una supervisión técnica, ni programas de control y monitoreo.
- Los caudales no son regulados de acuerdo a la capacidad de las lagunas. La mayoría son sobrecargadas y provocan malos olores.
- La limpieza de natas y vegetación es muy esporádica o no se realiza, reduciendo la capacidad de tratamiento y favoreciendo la proliferación de zancudos. Las cámaras de rejas funcionan mal o están deterioradas.
- Las lagunas no han sido diseñadas para drenarse rápida y totalmente, ya que no cuentan con sistema de desagüe por el fondo. Por ello, el secado demanda mucho tiempo y se tiene que recurrir al uso de bombas.
- No se realiza con regularidad la limpieza de lodos de las lagunas, ocasionando significativa reducción de la capacidad del sistema. La mayoría de lagunas nunca han contado con remoción de lodos. Otras se han limpiado a los 10 y 15 años.
- Las lagunas más antiguas, como el caso de San Juan que tienen 30 años, han sufrido un importante deterioro de diques, ya que fueron construidas con los suelos arenosos propios del lugar. Esta situación exige una rápida y completa rehabilitación del Complejo.

A los problemas mencionados se puede añadir la ineficiente administración de las plantas, que es aprovechada por los agricultores para operar los caudales de acuerdo a sus intereses particulares, provocando sobrecargas repentinas y desestabilización del sistema.

Costos de operación de sistemas de lagunas

Otra de las ventajas del sistema de lagunas de estabilización es el bajo costo de operación y mantenimiento, ya que no requieren productos químicos, equipos, energía y mano de obra muy tecnificada.

ANEXOS

El análisis económico efectuado en el *Proyecto de Reuso en Acuicultura de las Aguas Residuales Tratadas en las Lagunas de Estabilización de San Juan (1992)*, ha permitido estimar los costos para una planta con las siguientes características:

<i>Población atendida:</i>	50,000 habitantes
<i>Caudal del crudo:</i>	100 l/s
<i>DBO₅ del crudo:</i>	250 mg/l
<i>Coliformes fecales del crudo:</i>	$1 \times 10^9/100$ ml
<i>Temperatura mínima del agua:</i>	17°C
<i>Tasa de evapotranspiración</i>	1.3 cm/día

Para lograr un efluente con una calidad sanitaria equivalente a 10,000 coliformes fecales/100 ml, se requiere construir una planta con ocho baterías de lagunas primarias y secundarias, que con 16 ha de espejo de agua aseguren un periodo de retención de 35 días.

Esta planta valorizada en EUA\$250,000 (sin costo de terreno) tendrá un costo de operación anual de EUA\$9,000, conformado por los siguientes rubros:

<i>Supervisión técnica (tiempo parcial):</i>	1,800 US\$/año
<i>Mano de obra calificada:</i>	1,800 US\$/año
<i>Mano de obra no calificada:</i>	2,400 US\$/año
<i>Vigilancia nocturna:</i>	1,440 US\$/año
<i>Análisis de Laboratorio:</i>	720 US\$/año
<i>Materiales e insumos:</i>	240 US\$/año
<i>Mantenimiento de instalaciones y equipos:</i>	600 US\$/año

Bajo estas condiciones, el costo del tratamiento será de 0.0062 US\$/m³ de efluente. En una planta más pequeña, con capacidad para tratar 30 l/s, el costo de producción se eleva a 0.0105 US\$/m³ (34% más). En cambio, este costo puede reducirse a 0.0042 US\$/m³ en la planta de 100 l/s localizada en una zona tropical, en donde la temperatura asumida para el diseño es de 25°C y por lo tanto se reduce el área y la mano de obra no calificada al 50% de la anterior.

Caso D. Sistema Integrado de Tratamiento de Residuos y Aguas Residuales en las Marismas de Calcuta (India)

Las marismas situadas al este de Calcuta han sido la solución al problema de las aguas residuales y la eliminación de residuos de la ciudad de Calcuta. A principios de la década de los treinta se excavaron dos canales, uno para el tratamiento de las aguas de lluvia y otro para el caudal de la estación seca, para desaguar las aguas residuales domésticas de la ciudad, 680 millones de litros al día. La derivación de las aguas residuales urbanas y del agua de lluvia, produjo un cambio gradual en el medio acuático que era salino y dejó de serlo, de manera que se crearon las condiciones ideales para la piscicultura de agua dulce. Las piscifactorías a base de aguas residuales tratadas, junto con la agricultura aprovechando los residuos y las aguas residuales en las marismas periurbanas desempeñan un papel importante en el reciclaje de residuos y el saneamiento urbano.

Descripción

Situación general

Las marismas de Calcuta se extienden por el borde este de la ciudad. Estas marismas periurbanas están situadas entre las coordenadas de latitud norte de 22 25' a 22 23' y de longitud este de 88 24' a 88 35'. Estas marismas y masas de agua son el resultado de un complicado modelo de desagüe en el delta, que estaba a punto de desaparecer. Hasta el siglo XIX el río Bidyadhari, que discurre a través de la región, fue un río activo y afectado por las mareas. En la actualidad, la región se ha convertido en una cuenca de descarga en la que se han formado lagos de agua salada. Coincidiendo con el declive del río Bidyadhari, a principios de la década de los treinta, el Sr. B. N. Dey, ingeniero jefe de la *Corporación de Calcuta*, hizo excavar un canal que recogiese el agua en la estación de las lluvias (SWF) para desaguar las aguas residuales de la ciudad, conectando con la bahía de Bengala. Más tarde y para facilitar el buen funcionamiento del desagüe, se excavó un canal paralelo al canal SWF para el caudal de la estación seca.

Este cambio en la disposición del sistema de desagüe dio lugar al desarrollo de la ciudad. Todas las aguas residuales domésticas de Calcuta, que se estiman en 680 millones de litros diarios, fluyen a través de un sistema de canales principales y auxiliares que desembocan en las marismas de Calcuta. Estos caudales se utilizan en las zonas dedicadas a la piscicultura que utilizan aguas residuales tratadas (STF) como nutrientes. En las marismas se purifican las aguas residuales mediante un proceso natural de oxidación, radiación y descomposición biológica de los residuos orgánicos y piscicultura. La descomposición de los residuos orgánicos, la temperatura tropical y la abundante radiación solar, de 250 a 600 langley/día (unidad de medición de la radiación) y la poca profundidad del agua (inferior a un metro) han favorecido la evolución de un ecosistema único. Estos procesos totalmente ecológicos han sido bien aprovechados por los pescadores tradicionales de esta región de marismas, que han experimentado para crear recursos y puestos de trabajo.

Evolución del sistema

Aunque la localización de Calcuta era un lugar poco idóneo para una metrópoli, la proximidad de las marismas ha sido a posteriori la solución al problema del medio ambiente de la ciudad. Calcuta ha crecido hasta ser una ***metrópoli sin ninguna planta de tratamiento de aguas residuales*** y todas las aguas residuales y los residuos se han vertido en las marismas. Las marismas desempeñan un papel importante en el tratamiento de las aguas residuales y a su vez las transforman en recursos. El uso de esos residuos y aguas residuales muestran tres modos distintos de aprovechamiento y transformación en riqueza evidentes, a saber:

1. la piscicultura a base de aguas residuales tratadas (*STF*),
2. la agricultura a base de residuos (*GF*) y
3. la agricultura a base de aguas residuales (*SF*).

Piscicultura a base de aguas residuales tratadas

Aunque se piensa que el origen de la piscicultura a base de aguas residuales en las marismas de Calcuta data del siglo XIX, puede ser mucho más antiguo. La persona que arrendó un trozo de tierra (Dhapa Square Mile), en esta parte de la ciudad, desarrolló un plan excepcional para eliminar los residuos, cultivar las tierras (cultivos a base de residuos) y producir pescado. De este modo se formaron las alargadas masas de agua, en forma de dedos, o los estanques, entre los amplios caminos de las tierras de cultivo (cultivos a base de residuos) y el agua podía almacenarse y utilizarse después para regar los cultivos de las tierras adyacentes y en la piscicultura a base de aguas residuales.

A partir de 1850, se recuperaron las marismas de Calcuta para la acuicultura de agua salobre. El origen del agua era el río Bidyadhari, afectado por las mareas. La piscifactoría *Nona Bheries* producía distintas especies de peces de agua salada y resultó ser una dedicación muy lucrativa, el rendimiento por acre (40,47 áreas) era de 148 kg por hectárea. Debido a la colmatación del río Bidyadhari y a su muerte oficial, declarada en 1928, por el *Departamento de Riego de Bengala*, toda la zona se convirtió en un vasto pantano abandonado, al desaparecer el agua que las mareas vertían en el lugar. Posteriormente, la entrada en la zona del gran caudal de aguas residuales, cada vez mayor, procedentes de Calcuta, hizo que la salinidad original, que era de 800 a 1,200 partes por millón, disminuyese hasta las 500 o 600 partes por millón, de modo que se crearon las condiciones idóneas para la piscicultura de agua dulce.

En 1945, se empleó un área de 11,570 acres (4,685 hectáreas) para la piscicultura a base de aguas residuales, cuyo rendimiento medio fue de 3.40 quintales por acre. No obstante, hacia 1985, este área se había reducido considerablemente a sólo 7,500 u 8,000 acres (de 3,037 a 3,240 hectáreas). Por otra parte, el rendimiento de la pesca ha aumentado progresivamente desde los 3.40 quintales, gracias a su gestión científica. La mayor producción de peces es de tilapia, gambas, camarones, etc., cerca de 7 variedades en total.

Agricultura a base de residuos

Un estudio del *IWMED* (basado en datos del pueblo) revela que de cerca de un total de 720.23 acres (292 hectáreas) de tierras agrícolas, en aproximadamente 393.78 acres (160 hectáreas) se desarrolla una agricultura que utiliza total o parcialmente residuos y aguas residuales urbanas. La producción de verduras, aproximadamente de 11 a 16 cosechas anuales, y frutas, además del arroz *paddy*, se llevan a cabo en explotaciones agrícolas a base de residuos y aguas residuales.

Las explotaciones agrícolas abonadas con residuos en Dhapa, ocupan un área de cerca de 800 acres (325 hectáreas) situados en los pueblos de Dhapa, Hatgachha, Boinchtala, Shababad, Durgapur, Anantabadi, Arupota, Khanaberia y Chowbagha. Estas prácticas de vertido de residuos y de agricultura se remontan a 1870 y la profundidad del nivel del suelo ha aumentado actualmente en todas partes de casi 1,5 a 2 m, después del vertido continuo de residuos durante un período de más de 100 años. El incremento anual del nivel del suelo es de aproximadamente 6 mm, y se debe totalmente a los residuos compactados.

El sistema excepcional de vertido de residuos, dejando largas franjas de masa de agua entre dos zonas de vertido, ha dado lugar al desarrollo de franjas alternas de zonas rellenas con residuos (que se utilizarán para la agricultura) y franjas de masa de agua (que contienen aguas residuales para el riego de los cultivos y verduras que se producen en este tipo de explotaciones abonadas con basura).

Agricultura a base de agua residuales

El cultivo de arroz *paddy*, utilizando para el riego los efluentes de las piscifactorías, ricos en nutrientes, es aquí también el más extendido. Este tipo de cultivo se conoce como agricultura a base de aguas residuales y se practica en las *mouzas* de Bhangar y las comisarías de Sonarpur, y ocupa un área de cerca de 4,888 hectáreas. Se cultiva *aman*, durante la estación lluviosa, y *boro*, durante el invierno.

La producción de *aman* es de cerca de 2,000 kg por hectárea anuales, y la de *boro* de cerca de 10 quintales anuales. Sin embargo, si se compara con la producción de las piscifactorías adyacentes, que producen peces durante todo el año, la producción media de las explotaciones agrícolas a base de aguas residuales, no es muy relevante. Esto se debe a que la mitad de las tierras en las que se cultiva *aman*, que no son aptas para el cultivo de *boro*, permanecen en barbecho después de la primera cosecha.

En conjunto, cerca de 8,000 hectáreas de tierras situadas al este de Calcuta están ocupadas por explotaciones agrícolas a base de aguas residuales, (cultivos regados con los efluentes de las piscifactorías) que producen de 11 a 16 cosechas cada año. La producción media diaria de verduras frescas es de 147 toneladas y se cultivan cerca de 15 productos, además de una variedad de arroz *paddy*.

Tecnología para una gestión sostenible

Las piscifactorías toman las aguas residuales sin tratar como un insumo y liberan efluentes ricos en nutrientes y de gran pureza, mediante unos canales de drenaje integrados en forma de cuadrícula, de cuya excavación y mantenimiento se han hecho cargo los empresarios. Estos efluentes se vuelven a utilizar para regar los cultivos y el arroz *paddy* que crece en las cercanas explotaciones agrícolas abonadas con basura. En la actualidad, existen cerca de 130 explotaciones agrícolas de este tipo. El inmenso volumen de

ANEXOS

residuos urbanos de Calcuta, 680 millones de litros diarios, es tratado de este modo natural, lo que constituye un sistema excepcional y económico.

En un *bheri* o piscifactoría en la que se tratan aguas residuales, éstas entran sin tratar a través de una ensenada en la zona séptica, desde donde desembocan a la zona eutrófica, donde se crían y desarrollan los peces durante 10 o 15 días, y luego salen a través de un canal. Es de señalar que el agua en la zona eutrófica y la de salida tiene valores mucho más bajos de *E. coli* y de *demanda bioquímica de oxígeno (DBO)* que la zona séptica y un valor considerablemente alto de oxígeno disuelto, debido al proceso biológico natural que permite la producción de peces. La profundidad del tanque de alimentación a base de aguas residuales es de aproximadamente 1 m (de 50 a 150 cm) y su fondo es plano, lo que permite la entrada de los rayos de sol que matan a muchas bacterias y permite a las algas llevar a cabo la fotosíntesis.

Es de señalar que las aguas residuales se introducen en los viveros intermitentemente y se liberan del mismo modo. No obstante, cuando los viveros son extensos (más de 40 hectáreas), el flujo de las aguas residuales es casi continuo cada 15 ó 21 días.

Básicamente hay dos modos en los que el contenido orgánico de las aguas residuales influye en la producción de peces:

1. Indirectamente, mediante la mineralización de la materia orgánica que proporciona nutrientes inorgánicos a las algas o al fitoplancton, que a su vez pueden ser utilizados como fuente de alimento por las especies de peces apropiadas y
2. Mediante el consumo directo de las aguas residuales como alimento.

Las actividades económicas que se realizan en la zona de las marismas de Calcuta son de tres tipos: *piscicultura, agricultura y recogida de basuras aprovechables*. En relación con su viabilidad económica, las tres actividades son sostenibles. Sin embargo, los recursos se emplean óptimamente en la agricultura y la piscicultura puesto que ambas actividades se realizan siguiendo un antiguo método autóctono. La excepcionalidad de estas dos prácticas es la utilización de nutrientes no biodegradables y biodegradables. El empleo de las aguas residuales, ricas en nutrientes, en los viveros para ayudar a acelerar el crecimiento de las algas es un proceso natural, en el que no se usa la tecnología moderna. En el caso de la agricultura, el agua procedente de las piscifactorías que se utiliza para el riego, tiene un elevado índice de *DBO*. El cultivo de verduras también se está intensificando en las tierras ganadas a las marismas bajas mediante el vertido de residuos. Con la cantidad de elementos de compostaje que contienen, extremadamente ricos en nutrientes, el cultivo de verduras es un éxito, se cultivan aproximadamente 14 clases de verduras y la producción es de 1,500 quintales por acre (0.405 hectáreas). De este modo, la utilización de las aguas residuales y los residuos de la ciudad, han hecho que esta actividad económica sea excepcional en cierto sentido y sostenible a largo plazo.

Ahora se ha reconocido que el modelo de piscifactorías a base de aguas residuales ha tenido impacto en toda la India. Del informe de la *Junta Central de Control de la Contaminación*, se desprende que la principal fuente de contaminación fluvial del país es la descarga de aguas residuales urbanas sin tratar. El volumen de aguas residuales generado en las ciudades situadas en la cuenca del Ganges es de aproximadamente 3 millones de m³ diarios, de los que menos del 20% se trata y el resto se descarga directamente en el río. Se ha sugerido que la creación de piscifactorías a base de aguas residuales y que se ocupan de su tratamiento y utilización en la acuicultura parece ser un método económicamente viable

de disminuir la contaminación fluvial en la cuenca del Ganges. Las plantas de tratamiento de aguas residuales se consideran demasiado caras, los experimentos realizados en el área municipal de Khardah son una réplica de las marismas de Calcuta. Es decir, que se ha intentado hacer piscifactorías a base de aguas residuales para tratar las aguas residuales que no reciben tratamiento.

La región de las marismas de Calcuta, su ecosistema y las buenas prácticas que se realizan allí son excepcionales en cuanto al reciclaje de residuos y aguas residuales urbanas según un antiguo método autóctono. Una piscifactoría a base de aguas residuales de origen industrial y bien gestionada es un sistema que está funcionando en *Mundiali*, al suroeste de Calcuta, en la margen del río Hooghly, en el área de la Autoridad Portuaria de Calcuta.

Sostenibilidad

La gestión de las aguas residuales urbanas domésticas ha sido siempre en esta zona una de las principales preocupaciones de las autoridades civiles. Las opciones técnicas convencionales de saneamiento municipal han resultado ser desproporcionadamente caras en el coeficiente de capital, su funcionamiento es malo y tienen un alto consumo energético. El sistema integrado de las marismas de Calcuta es un ejemplo de protección ambiental y de gestión del desarrollo cuyos beneficios se obtienen con un coste menor y que, al mismo tiempo, consiguen una perfecta armonía con el entorno. La práctica de las marismas de Calcuta ha llegado a ser una base de conocimiento avanzado y permite considerar a las aguas residuales como un nutriente barato para producir alimento más que como un contaminante.

El sistema de las marismas de Calcuta de recuperación de recursos es una *técnica popular* que todavía se conserva en la tradición oral en las comunidades que la emplean. El proceso se lleva a cabo, es propiedad y lo gestionan los grupos comunitarios locales, formados en su mayoría por familias amplias. La opción técnica es barata, se adapta a las características del lugar y, lo que es más importante, no necesita de subvenciones institucionales ni que especialistas en la materia transmitan su experiencia para que el sistema funcione.

Las marismas de Calcuta resuelven de un modo eficaz los tres problemas principales a los que deben hacer frente los países en desarrollo: *el tratamiento de los residuos, la creación de puestos de trabajo y la producción de alimentos*. Para muchos países asiáticos, los sistemas acuícolas basados en la utilización de los excrementos humanos pueden representar una alternativa real, puesto que estas prácticas cuentan con la aceptación tradicional de estas sociedades.

En estas circunstancias, los objetivos relacionados con la sostenibilidad incluyen los siguientes elementos:

1. La conservación de los procesos biológicos naturales de purificación de las aguas residuales y de recuperación de recursos.
2. La recuperación de una cantidad óptima de materiales energéticos y nutrientes mediante una elección técnica pragmática y adecuada, que se base en la vuelta a la utilización de las prácticas tradicionales.

ANEXOS

3. La preservación de las condiciones de vida, el lugar y el trabajo y el interés empresarial de los campesinos y productores locales que llevan a cabo prácticas diversas de recuperación de recursos.

Serán necesarias directivas adecuadas para la gestión de las marismas y deberán establecerse estrategias para la protección de esas marismas. Las fuerzas del mercado operan con fuerza gracias al aumento del precio del suelo en los límites de la ciudad. Muchos propietarios de piscifactorías se ven tentados a venderlas por el beneficio inmediato. Los especuladores del suelo y los promotores se han convertido en un grupo de presión económica y política fuerte que interfieren en el mantenimiento de las marismas. El Gobierno debe estudiar las acciones necesarias para su conservación, pues de otro modo la transformación de las marismas puede tener las siguientes consecuencias:

1. la pérdida de la tradición de reciclar los residuos urbanos, que a su vez afectaría al saneamiento;
2. la pérdida de las piscifactorías, lo que podría afectar al aprovisionamiento de pescado a la ciudad;
3. la pérdida del sistema natural de purificación de las aguas residuales;
4. la pérdida de los macrófitos y algas debida a la disminución del contenido de oxígeno en el aire;
5. la pérdida de la flora y la fauna de las marismas que afectaría a la biodiversidad;
6. la pérdida de las cuencas de retención y vertido, lo que provocaría el anegamiento de la ciudad, la colmatación del Kultigong y el vaciado del canal de desagüe;
7. la aparición de tensión y conflictos sociales por la pérdida de actividades primarias y
8. el aumento de la contaminación y de la colmatación del canal de desagüe, que podrían afectar incluso al ecosistema de manglares de los Sunderbans.

Impacto

- El empleo diario y sostenible de 680 millones de litros de aguas residuales y 2,500 toneladas de residuos sólidos urbanos.
- Producción de *pescado* (4,000 toneladas anuales), *verduras* (10,000 toneladas anuales) y *arroz paddy* (24,000 toneladas anuales).
- Creación de puestos de trabajo para 10,000 personas en las piscifactorías a base de aguas residuales, para 10,000 personas en la agricultura a base de aguas residuales y para 25,000 personas en la recogida de basuras aprovechables de los residuos sólidos.

Indicadores

1. Mejora del saneamiento urbano mediante la eliminación diaria de 680 millones de litros de aguas residuales y residuos sólidos.
2. La transformación de los residuos en recursos mediante la producción de *pescado* (4,000 toneladas anuales), *verduras* (10,000 toneladas anuales) y *arroz paddy* (24,000 toneladas anuales).
3. Generación de ingresos para la población rural en los sectores de la piscicultura, la agricultura y otras actividades relacionadas.

Se ha reproducido el proyecto en otras zonas, especialmente por el *Proyecto de la Cooperativa de Pescadores Mundial* y, en la zona del puerto de Calcuta y en el municipio de Khardah, en el marco del *Plan de Acción del Ganges*.

ANEXO B

**VALLARTA, PLANTA PROTOTIPO
EN TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS**

VALLARTA, PLANTA PROTOTIPO EN TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS

Biwater es líder mundial en la industria del agua, con operaciones en más de 60 países. Su experiencia radica en la ingeniería del agua y el medio ambiente, que abarca la tecnología para el proceso del agua corriente y las residuales, tratamiento, depuración de residuales e ingeniería civil; equipos premontados listos para instalación, productos y servicios; propiedad de los sistemas de aguas, inversiones y operaciones; control del valor efectivo del agua; centros recreativos; servicios relacionados con el proyecto y fondos estructurados, así como investigación, desarrollo y formación.

Con el fin de cubrir la creciente necesidad de saneamiento de los afluentes de aguas para proteger la bahía e impulsar el turismo, la compañía internacional Biwater estableció en Puerto Vallarta su primera planta de tratamiento en México, la cual se constituyó como un prototipo de eficiencia en el ámbito nacional.

El incremento de la densidad poblacional en este importante destino turístico situado en el Pacífico mexicano, provocó que pronto se viera superada la capacidad de las instalaciones originales de tratamiento de aguas residuales.

Como parte de una iniciativa de la autoridad de aguas del municipio se encargó a Biwater el proyecto, que con una inversión de 33.2 millones de dólares estableció una empresa subsidiaria denominada Compañía Tratadora de Aguas Negras de Puerto Vallarta SA de CV (CTAPV), para financiar, diseñar, construir, instalar y operar la primera planta de tratamiento de aguas negras conforme al esquema de Transferencia y Funcionamiento de Construcción Propia (BOOT, por sus siglas en inglés).

El financiamiento lo proporcionaron la Corporación Internacional de Finanzas y otras entidades crediticias comerciales mexicanas e internacionales.

La construcción de la planta comenzó en 1992, e inició sus operaciones en febrero de 1995. a la fecha, la calidad de sus afluentes ha superado siempre las normas ambientales establecidas.

El director general de Biwater en México, Ronald J. Pealing, comentó que el problema con este tipo de esquemas radica en que el costo de financiamiento es muy alto, pues deben realizarse mediante préstamos, por lo que es necesario sostener una tarifa adecuada que permita cumplir con los compromisos adquiridos—actualmente es de tres pesos por metro cúbico—, es una inversión a largo plazo, las utilidades se comienzan a registrar a partir del décimo año del contrato.

Agregó que las especificaciones contractuales son en carácter de prestación de servicios, donde Biwater asume todos los riesgos inherentes a la operación de la compañía tratadora de aguas residuales.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Por su parte, el proveedor de servicios de agua en Puerto Vallarta se encarga de enviar los flujos de aguas negras a la CTAPV para su tratamiento, que se realiza por el método de oxidación aeróbica con un sistema conocido como lodos activados, en donde el tiempo de retención del agua en la planta es de 24 horas.

Pealing indicó que los lodos resultantes del proceso pueden ser utilizados como abonos de excelente calidad en actividades agrícolas, ya que están compuestos por gran cantidad de materia orgánica, nutrientes como nitrato, fosfato, sulfato, además de que contienen 75% de humedad, asimismo podría ser viable utilizarlos para recuperar extensiones de tierra dañadas por la erosión marítima.

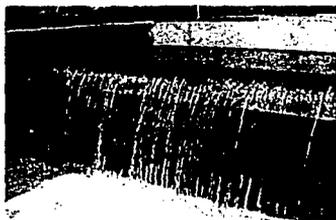
Sus descargas están muy por debajo de los límites permisibles por la norma, que se refiere básicamente a la concentración de contaminación del agua ya tratada, por lo que sus afluentes son compuestos por agua cristalina de alta calidad, que puede incluso usos industriales. Se destaca el porcentaje cero de coliformes fecales, aun cuando el rango admitido está por debajo de mil sobre cien mililitros.

Y aunque no está delimitado en el contrato, las descargas también están libres de amoniaco, sustancia que es sumamente tóxica para la fauna marina.

La CTAPV constituye también la primera planta de tratamiento de aguas negras en terreno de zona rural en el orbe. El diseño de las nuevas obras se basó en un concepto original del órgano de agua del municipio y se sometió a detallados análisis sísmicos debido a su localización en una zona que presenta tales características.

Se requirió un importante plan de mejora del terreno debido al alto nivel freático y a la debilidad del suelo. La mejora del área se realizó con tres mil 800 columnas de piedra, cada una de 900 milímetros de diámetro y 18 metros de longitud.

La planta está diseñada para tratar un caudal máximo de aguas negras de dos mil 500 litros por segundo, y se alimenta a través de una tubería de impulsión de 17 kilómetros de largo desde el pueblo. Se proporciona un tratamiento totalmente biológico que supera las normas reconocidas internacionalmente, de acuerdo con un proceso convencional de fango de aguas negras activado.

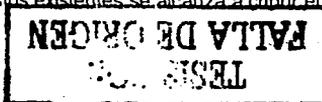


El emplazamiento comprende una planta de depuración y eliminación de cuerpos extraños, seguida por un foso de oxidación, que utiliza aireadores de eje horizontal.

La clarificación final se proporciona al utilizar depósitos circulares de sedimentación, el exceso de fango de aguas negras es digerido de forma aeróbica y desecado mecánicamente hasta en 21% del contenido de sólidos secos, de manera que sea apropiado para fines agrícolas o de relleno de tierras. El afluyente final es clorado para asegurar que la descarga de la planta cumpla las normas bacteriológicas requeridas.

La CTAPV tiene en explotación la planta durante un período de 15 años con una responsabilidad para todo el mantenimiento y las piezas de repuesto.

Respecto a si es preciso elevar las tarifas del agua en el país, Ronald J. Pealing aseguró que en el caso de Puerto Vallarta no es necesario ya que con los costos existentes se alcanza a cubrir el proyecto y su sistema.



ANEXOS

Sin embargo agregó que en el país existen innumerables sistemas de agua que no son eficientes ya que tienen un elevado porcentaje de fugas en la red, aproximadamente 50%, cuestión que encarece demasiado los costos de producción, por cada litro que se vende se desperdicia otro.

Con relación a este desperdicio hizo una crítica severa al mencionar que si se tratara de petróleo no se permitiría ese derrame y manifestó que es incomprensible por qué se acepta en el caso del agua; asimismo habló de la necesidad de solucionar el problema de la facturación del agua pues en diversas regiones es muy baja; se debe combatir la cultura del no pago, advirtió.

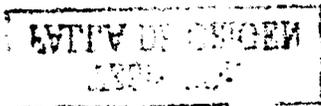
Consideró que para mejorar la infraestructura es necesario pagar el costo real del agua y que cada usuario pague por lo que consuma, no mediante cuotas fijas en las que no importa cuánta agua se consuma se paga la misma cantidad porque no hay medición.

Pealing indicó que Biwater tiene interés de construir y operar más plantas de tratamiento de aguas negras y están en la búsqueda de nuevas opciones de inversión en México, aunque lamentó que en los últimos cuatro años no se hayan presentado varias licitaciones para este tipo de proyectos.

Por desgracia, afirmó, los proyectos presentados se enfocan normalmente hacia lagunas de oxidación, pero esto, desde mi punto de vista, es una forma de tratamiento básica, que no requiere demasiado diseño ni operación.

Aseguró que como compañía es difícil competir con empresas locales para este tipo de construcción, no así cuando se trata de plantas con mayor tecnología, las cuales requieren de mayor inversión.

Además Biwater está buscando la posibilidad de integrarse en la operación y supervisión de las plantas instaladas en la actualidad, muchas de la cuales no funcionan, es infraestructura que se desaprovecha, pretenden compartir su experiencia con otros organismos operadores de plantas, o en su caso integrarse directamente en la operación y supervisión de las plantas, incluso mencionaron la posibilidad de comprarlas.



ANEXO C

CÓDIGO FINANCIERO DEL DISTRITO FEDERAL 2002

CAPITULO IX
De los Derechos por la Prestación de Servicios

Sección Primera
De los derechos por el suministro de agua

ARTICULO 196.- Están obligados al pago de los derechos por el suministro de agua que provea el Distrito Federal, los usuarios del servicio. El monto de dichos derechos comprenderá las erogaciones necesarias para adquirir, extraer, conducir y distribuir el líquido, así como su descarga a la red de drenaje, y las que se realicen para mantener y operar la infraestructura necesaria para ello, y se pagarán bimestralmente, de acuerdo a las tarifas que a continuación se indican:

I. En caso de que haya instalado medidor, los derechos señalados se pagarán de acuerdo con lo siguiente:

a). Tratándose de tomas de uso doméstico, que para efectos de este Código son las que se encuentren instaladas en inmuebles de uso habitacional, el pago de los derechos correspondientes se hará conforme al volumen de consumo medido en el bimestre, de acuerdo a la siguiente:

TARIFA

CONSUMO EN M ³		TARIFA	
LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	CUOTA MINIMA	CUOTA ADICIONAL POR METRO CUBICO EXCEDENTE DEL LIMITE INFERIOR
00.0	10.0	\$ 12.12	\$ 0.00
10.1	20.0	12.12	1.43
20.1	30.0	26.41	1.67
30.1	50.0	53.46	3.16
50.1	70.0	116.77	4.05
70.1	90.0	197.76	5.17
90.1	120.0	301.11	10.29
120.1	180.0	609.71	13.01
180.1	240.0	1,390.19	18.69
240.1	420.0	2,511.45	21.53
420.1	660.0	6,386.06	25.08
660.1	960.0	12,405.44	27.11
960.1	1,500.0	20,535.50	31.17
1,500.1	EN ADELANTE	37,369.34	33.18

b). Las tomas de agua instaladas en inmuebles distintos a los señalados en el inciso anterior, se considerarán como de uso no doméstico para efectos de este Código y el pago de los derechos correspondientes, se hará conforme al volumen de consumo medido en el bimestre, de acuerdo a la siguiente:

TARIFA

CONSUMO EN M ³		TARIFA	
LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	CUOTA BASE	CUOTA ADICIONAL POR METRO CUBICO EXCEDENTE DEL LIMITE INFERIOR
00.0	10.0	\$ 72.76	\$ 0.00
10.1	20.0	145.45	0.00
20.1	30.0	218.21	0.00
30.1	60.0	218.21	10.81
60.1	90.0	542.52	14.06
90.1	120.0	964.18	17.31
120.1	240.0	1,483.23	20.54
240.1	420.0	3,947.91	23.79
420.1	660.0	8,229.42	27.03
660.1	960.0	14,717.36	30.44
960.1	1,500.0	23,848.45	34.09
1,500.1	EN ADELANTE	42,257.02	34.97

Las autoridades fiscales determinarán el consumo de agua por medio de la lectura de los aparatos medidores, con base al promedio del consumo diario resultante de las dos lecturas más recientes con antigüedad no mayor de un año.

II. En el caso de que no haya medidor instalado, el medidor esté descompuesto o exista la imposibilidad de efectuar la lectura del consumo, los derechos señalados se pagarán de acuerdo a lo siguiente:

a). Tratándose de tomas de uso doméstico, se pagará el derecho considerando el consumo promedio que corresponda a la colonia catastral en que se encuentre el inmueble en que esté instalada la toma, siempre que en dicha colonia catastral el número de tomas con medidor sea mayor o igual al 70% del total de tomas existentes en esa colonia. En los casos en que no se cumpla con esa condición, se aplicará la cuota fija correspondiente de la tarifa prevista en este inciso.

Para tal efecto, se considerarán las colonias catastrales con base en la clasificación y características que señale la Asamblea para fines de la determinación de los valores unitarios del suelo, construcciones e instalaciones especiales, de acuerdo a lo dispuesto por el artículo 151 de este Código.

TARIFA

Tipo de colonia catastral en que se ubique el inmueble y esté instalada una toma de agua.	Cuota bimestral expresada en pesos.
0.....	\$ 18.08
1.....	27.15
2, 3 y 8.....	54.31
4, 5 y 7.....	231.82
6.....	543.16
<i>Los inmuebles ubicados en las colonias tipo 6 y 7 que tengan un valor catastral que corresponda al rango marcado con la literal "M" a la "S" de la tarifa establecida en la fracción I del artículo 152 de este Código.</i>	1,267.38

La Comisión de Aguas del Distrito Federal, publicará en la Gaceta Oficial del Distrito Federal, las listas de las colonias catastrales que vayan contando con un 70% o más de tomas con medidor instalado.

b). En el caso de tomas de agua consideradas para efectos de este Código como de uso no doméstico, se pagará una cuota fija bimestral, considerando el diámetro de la toma, conforme a la siguiente:

TARIFA

DIAMETRO DE LA TOMA EN MILÍMETROS	CUOTA BIMESTRAL EXPRESADA EN PESOS
13	\$ 684.54
MAS DE 13 A 15	4,587.10
MAS DE 15 A 19	7,505.58
MAS DE 19 A 26	14,593.52
MAS DE 26 A 32	22,517.28
MAS DE 32 A 39	32,941.78
MAS DE 39 A 51	58,377.62
MAS DE 51 A 64	87,564.81
MAS DE 64 A 76	125,093.39
MAS DE 76 A 102	254,355.50
MAS DE 102 A 150	550,408.88
MAS DE 150 A 200	975,728.21
MAS DE 200 A 250	1,526,137.09
MAS DE 250 A 300	2,197,470.14
MAS DE 300 EN ADELANTE	2,330,905.16

La autoridad fiscal, a solicitud del contribuyente, recibirá los pagos bimestrales de los derechos a que se refiere la fracción II de este artículo, con el carácter de provisionales, debiendo efectuarse los ajustes correspondientes cuando el aparato medidor se instale, repare o posibilite su lectura, a partir de la fecha en que se hubiere solicitado su instalación, reparación o lectura, ya sea para que los contribuyentes cubran la diferencia que resulte a su cargo o bien para que puedan acreditar contra pagos posteriores la cantidad que pagaron de más.

Se deroga.

ARTICULO 197.- Las personas físicas y las morales que usen o aprovechen agua residual o residual tratada que suministre el Distrito Federal en el caso de contar con excedentes, así como agua potable proporcionada por el mismo Distrito Federal, a través de los medios que en este artículo se indican, pagarán derechos conforme a las siguientes cuotas:

I. Tratándose de agua potable:

- a). De tomas de válvula de tipo cuello de garza \$20.00 por m³
- b). Cuando se surta en camiones cisternas para su comercialización incluyendo transporte en el Distrito Federal \$53.70 por m³

ANEXOS

II. Agua residual \$1.20 por m³

III. Agua residual tratada a nivel secundario:

- a). De tomas de válvula de tipo cuello de garza, el 60% de la cuota prevista en el inciso a) de la fracción I de este artículo.
- b). Cuando exista toma en el inmueble, el 60 % de la cuota correspondiente en la tarifa prevista en el inciso b) de la fracción I del artículo 196 de este Código.
- c). Cuando se surta en camiones sistemas para su comercialización, incluyendo el transporte en el Distrito Federal, el 60% de la cuota prevista en el inciso b) de la fracción I de este artículo.

IV. Agua residual tratada a nivel terciario:

- a). De tomas de válvula de tipo cuello de garza, el 70% de la cuota prevista en el inciso a) de la fracción I de este artículo.
 - b). Cuando exista toma en el inmueble, el 70% de la cuota prevista en la fracción I del artículo 196 de este Código, según corresponda el uso.
 - c). Cuando se surta en camiones cisternas para su comercialización, incluyendo el transporte en el Distrito Federal, el 80% de la cuota prevista en el inciso b) de la fracción I de este artículo.
- En el caso de tomas en el inmueble, el pago de los derechos se realizará por periodos bimestrales, dentro de los treinta días naturales siguientes al de la emisión de la boleta correspondiente, ante las oficinas autorizadas; en los demás casos, los derechos deberán pagarse antes de la prestación del servicio respectivo.

ARTICULO 198.- La determinación y pago del derecho de agua, salvo lo previsto en el artículo anterior, se realizará por periodos bimestrales y se deberá efectuar dentro del mes siguiente al bimestre que se declara en los términos que a continuación se indican:

I. Tratándose de las tomas a que se refiere el artículo 196 de este Código, la determinación de los derechos a pagar será efectuada por la autoridad fiscal del Distrito Federal, de acuerdo a las disposiciones establecidas en esta Sección y se hará constar en las boletas que para tal efecto se emiten. Dichas boletas serán enviadas mediante correo ordinario u otro medio idóneo al domicilio en que se encuentre ubicada la toma o al que señalen los contribuyentes. Los contribuyentes que no reciban las boletas a que se refiere esta fracción, deberán solicitarlas en las oficinas de la Comisión de Aguas del Distrito Federal, ya que la falta de recepción de las mismas no los libera de la obligación de efectuar el pago dentro del plazo establecido para tal efecto, ni de los recargos y sanciones, que en su caso procedan.

Como excepción a lo previsto en el párrafo anterior, los contribuyentes podrán optar por determinar el consumo de agua, declararlo y pagar el monto del derecho que corresponda a cada toma o ramificación, para lo cual deberán solicitarlo y registrarse ante la oficina de la Comisión de Aguas del Distrito Federal que corresponda a su domicilio, y declarar y pagar la contribución en las formas oficiales aprobadas. Para

determinar el derecho que corresponda por cada bimestre, los propios contribuyentes efectuarán la lectura de los medidores de las tomas de agua el mismo día cada bimestre, y presentarán el formato de autodeterminación de derechos junto con el registro cronológico de medición de consumos del bimestre correspondiente al efectuar el pago ante las oficinas de la Comisión de Aguas del Distrito Federal.

Cuando los contribuyentes que hayan optado por determinar sus consumos, omitan la determinación y declaración del derecho correspondiente a su consumo, o bien, declaren consumos menores a los determinados por la autoridad competente, ésta en el ejercicio de sus facultades de comprobación, identificará, determinará y liquidará los derechos omitidos con los recargos y sanciones que correspondan.

Cuando la autoridad fiscal compruebe que varias familias habitan un apartamento o vivienda cuyo valor catastral conforme a lo previsto en el artículo 149, fracción I, de este Código, sea hasta de \$500,000.00, podrá autorizar a solicitud de los contribuyentes que el consumo que les corresponda sea dividido entre el número de familias que habiten el apartamento o vivienda y al volumen de consumo por familia se le aplique la tarifa, emitiéndose una boleta por cada familia.

II. La Comisión de Aguas del Distrito Federal podrá establecer la determinación de los derechos por suministro de agua por anticipado, siempre y cuando no exista servicio medido en la colonia catastral y no rebase el año fiscal del ejercicio, emitiéndose para tal efecto una boleta que incluya los diferentes periodos bimestrales. Se podrá realizar el pago total o bimestral dentro de los 30 días naturales siguientes al término de cada bimestre.

III. La autoridad fiscal asignará una cuenta:

- a). Para cada una de las tomas generales en el predio.
- b). Para cada una de las ramificaciones internas correspondientes a cada apartamento, vivienda o local en régimen en condominio.
- c). Para cada una de las ramificaciones internas correspondientes a cada apartamento, vivienda o local en regímenes distintos al condominio, a solicitud de todos los usuarios o del propietario del inmueble, previo dictamen técnico de la autoridad.

IV. Cuando exista medidor, la determinación de los consumos realizados por los usuarios será a partir de los registros de los consumos de la o las tomas generales y, en su caso, de las ramificaciones internas.

Tratándose de inmuebles que cuenten con más de una toma y número de cuenta, o cuando dos o más tomas alimenten el mismo sistema hidráulico o a inmuebles colindantes de un mismo usuario, se aplicará la tarifa correspondiente a la suma de los consumos de dichas tomas. Los contribuyentes al determinar, declarar y pagar sus consumos de agua, o la autoridad al emitir las boletas, aplicarán el procedimiento anterior; una vez obtenido el monto del derecho a pagar, éste será prorrateado entre el número de tomas que sirvieron para la sumatoria de consumos, de acuerdo a los m³ de consumo de cada una.

V. En los inmuebles en régimen en condominio que tengan varios apartamentos, viviendas y locales y en los de régimen distinto al de condominio con cuentas individuales asignadas:

- a). Cuando exista medidor individual para cada apartamento, vivienda o local y cuenten con medidor o medidores generales, se emitirá una boleta para cada uno de los medidores individuales, aplicando la tarifa

ANEXOS

que corresponda, según el uso que proceda. Asimismo, el remanente que resulte de determinar el consumo de la toma o tomas generales menos el consumo total de los condóminos, será prorrateado entre los mismos usuarios en partes iguales, incluyendo el cargo de la prorrata en las boletas de cada unidad, según el uso que corresponda.

b). Cuando no existan medidores individuales y se cuente con medidor en toma general o tomas generales, el consumo será dividido entre el número de departamentos, viviendas o locales que se encuentren habitados u ocupados, al volumen de consumo así determinado se le aplicará la tarifa que corresponda según el uso que proceda y se emitirá una boleta por cada apartamento, vivienda o local, sin que lo anterior se considere como una excepción a lo dispuesto por la fracción I del artículo 200 de este Código.

c). Cuando cuenten con medidor en la toma o tomas generales y la instalación hidráulica de por lo menos una unidad no permita la instalación de medidor individual en cada apartamento, vivienda o local, el consumo de sus unidades medidas será restado del consumo total de la toma o tomas generales y la diferencia será prorrateada entre las unidades sin medidor, emitiéndose una boleta por cada unidad con el consumo así determinado y de acuerdo al uso que corresponda.

d). En los inmuebles que tengan varios apartamentos, viviendas o locales, o unidades que cuenten con medidores individuales y que no cuenten con medidor en la toma o tomas generales, el consumo o consumos por las áreas comunes que no sean registrados se pagarán a prorrata entre los usuarios aplicándose la tarifa del uso que proceda prevista en el artículo 196, fracción II de este Código.

VI. En los inmuebles distintos al régimen en condominio que tengan varios apartamentos, viviendas y locales:

a). Cuando exista medidor individual en cada apartamento, vivienda o local, y cuenten con medidor o medidores generales, se aplicará lo dispuesto en el inciso a), fracción V que antecede.

b). Cuando no existan medidores individuales y cuenten con medidor en la toma o tomas generales, el consumo que corresponda a la toma o tomas generales será dividido entre el número de apartamentos, viviendas o locales, que sean servidos por la toma o tomas de que se trata y al volumen de consumo así determinado se le aplicará la tarifa que corresponda según el uso que proceda, emitiéndose una sola boleta, salvo la asignación posterior de cuentas individuales, sin que lo anterior se considere como una excepción a lo dispuesto por la fracción I del artículo 200 de este Código.

c). Cuando cuenten con medidor en la toma o tomas generales y la instalación hidráulica de por lo menos una unidad no permita la instalación de medidor individual en cada apartamento, vivienda o local, el consumo de sus unidades medidas será restado del consumo total de la toma o tomas generales y la diferencia se dividirá entre las unidades sin medidor; al volumen de consumo así determinado, se le aplicará la tarifa que corresponda según el uso que proceda y se emitirá una sola boleta por la diferencia de consumo, salvo la asignación posterior de cuentas individuales.

VII. En los inmuebles que tengan varios apartamentos, viviendas, locales o unidades en condominio, que cuenten con medidores individuales y que no cuenten con medidor en la toma o tomas generales, el consumo o los consumos por las áreas comunes que no sean registrados se pagarán a prorrata entre los usuarios aplicándose la tarifa del uso que proceda prevista en el artículo 196, fracción II, de este Código.

ARTICULO 199.- Cuando existan descomposturas o situaciones que impidan la lectura de los medidores, los contribuyentes deberán dar aviso de estos hechos a la Comisión de Aguas del Distrito Federal, durante el bimestre en que ocurran.

En el caso de que la descompostura no sea por el uso normal de los medidores, los contribuyentes deberán cubrir el costo de la reparación o reposición de los medidores, de conformidad con los presupuestos que al efecto elabore la Comisión de Aguas del Distrito Federal.

En el caso de omisión del aviso, la autoridad procederá de acuerdo a lo dispuesto en el penúltimo párrafo del artículo 196 de este Código, según el caso.

ARTICULO 200.- Los contribuyentes del derecho de agua tienen las siguientes obligaciones:

I. Solicitar a la Comisión de Aguas del Distrito Federal, el registro en el padrón de usuarios de agua y la instalación de aparatos medidores.

En los edificios y apartamentos, viviendas o locales, la obligación de solicitar la instalación del aparato medidor se refiere a la toma o tomas generales de la o las que se surten los apartamentos, viviendas o locales. Los usuarios de apartamentos, viviendas o locales que se surtan de una toma o tomas generales deberán solicitar la instalación de medidores para individualizar sus consumos, siendo a su cargo el costo de las adaptaciones, tuberías y medidores, conforme a los presupuestos que para el efecto formule la Comisión de Aguas del Distrito Federal y podrán ser instalados previo dictamen de la autoridad.

En caso de que en el mismo predio el agua suministrada tenga usos doméstico y no doméstico, abastecida por una misma toma, los usuarios solicitarán la instalación de medidores individuales para cada uso. El costo de las instalaciones, incluyendo el de los medidores, quedará a cargo de los usuarios. En tanto no se instalen los medidores individuales, los usuarios están obligados a pagar el derecho conforme a la tarifa del uso predominante;

II. Conservar los aparatos medidores y sus aditamentos en condiciones adecuadas de operación;

III. Dar aviso a las autoridades competentes de las descomposturas de su medidor y sus aditamentos o de situaciones que impidan su lectura, dentro del bimestre en que ello ocurra;

IV. Permitir el acceso a las personas autorizadas para la instalación y verificación de tomas y medidores; para la adecuación y corrección de tomas; para efectuar y verificar la lectura del aparato medidor;

V. Tratándose de tomas de agua de uso no doméstico, o doméstico en que se haya optado por la determinación del consumo por parte del mismo contribuyente, deberán llevar un registro cronológico en la forma oficial aprobada por la autoridad fiscal, en donde consten las mediciones del consumo de agua que realicen el primer día de cada bimestre para determinar el monto del derecho a su cargo, y

VI. Comunicar a la Comisión de Aguas del Distrito Federal el cambio de uso de las tomas de agua, dentro del bimestre en que este hecho ocurra. Los contribuyentes que usen o aprovechen agua en tomas instaladas en inmuebles de uso habitacional, que habiéndose utilizado para fines distintos vuelvan al de habitacional, en tanto no cumplan con la obligación de comunicar el cambio de uso, seguirán declarando conforme al uso anterior.

VII. El solicitante de una licencia de construcción de obra nueva que cuente con toma de agua y no cuente con medidor, previamente a la obtención de la licencia, deberá pagar el medidor, aditamentos e instalaciones conforme a los presupuestos que al efecto elabore la Comisión de Aguas del Distrito Federal.

ARTICULO 201.- En caso de que los contribuyentes no enteren oportunamente los derechos a su cargo, o bien, cuando reincidan en declarar consumos menores a los determinados por la autoridad, la Comisión de Aguas del Distrito Federal, suspenderá los servicios hidráulicos a inmuebles de uso no doméstico; y deberá restringirlos, a la cantidad necesaria para satisfacer los requerimientos básicos, tratándose de tomas de uso doméstico, y de tomas que tengan ambos usos, domésticos y no domésticos, considerando, en este último caso, lo previsto en el artículo 46 de la Ley de Salud para el Distrito Federal.

Igualmente, queda obligado dicho órgano para suspender el servicio, cuando se comprueben tomas o derivaciones no autorizadas o con uso distinto al manifestado; modificaciones o manipulaciones a los ramales de las tuberías de distribución; se comercialice el agua suministrada por el Distrito Federal a través de tomas conectadas a la red pública, sin autorización; se empleen mecanismos para succionar agua de las tuberías de distribución o bien, se destruya, altere o inutilice los aparatos medidores.

Quando se suspenda el suministro de agua, para el restablecimiento del mismo, previamente se cubrirán los derechos y accesorios legales que se hubiesen generado, por la omisión del pago, así como aquellos que correspondan a la reinstalación del suministro, conforme a los presupuestos que para tal efecto formulen las autoridades competentes.

La Comisión de Aguas del Distrito Federal, restablecerá los servicios hidráulicos una vez cubiertos los derechos de agua y accesorios legales que se hubiesen generado por la omisión del pago, así como los costos de reinstalación de los servicios, conforme a los presupuestos que para tal efecto formule la propia Comisión.

ANEXO D

**REGLAMENTO DEL SERVICIO DE AGUA Y DRENAJE
PARA EL DISTRITO FEDERAL**

TITULO CUARTO**Del servicio público de tratamiento de agua****Capítulo I****Disposiciones Preliminares**

Artículo 62.- Serán materia de tratamiento, las aguas residuales de origen doméstico e industrial y las pluviales que transporten en suspensión materia orgánica o inorgánica, con el fin de incrementar y diversificar su aprovechamiento.

Artículo 63.- Todas las obras y acciones inherentes a la captación, conducción y distribución del agua residual tratada en el Distrito Federal, se realizará de acuerdo con los elementos, estructuras, equipo, procesos y controles que señale el Departamento.

Artículo 64.- El agua residual que suministre el Departamento, para su reuso o tratamiento proveniente de servicios públicos, comerciales, industriales y domésticos vertida al sistema de alcantarillado del Distrito Federal, deberá aprovecharse conforme al siguiente orden de prelación:

- I.- Servicios públicos; para el riego de áreas verdes y llenado de lagos recreativos;
- II.- Abrevaderos y vida silvestre;
- III.- Acuacultura;
- IV.- Giros mercantiles;
- V.- Riego de terrenos de cultivo de forrajes y pastura;
- VI.- Riego de terrenos de productos agrícolas que se consumen crudos que no requieren preparación para su consumo. Esta agua deberá estar libre de contaminantes tóxicos y de organismos patógenos;
- VII.- Recarga de acuíferos mediante pozos de inyección o estanques de infiltración, previo cumplimiento de las normas de calidad de agua potable y especificaciones que fije la autoridad competente en función del origen de las aguas residuales y del uso potencial del acuífero subterráneo.
- VIII.- Riego de terrenos particulares y limpieza de patios;
- IX.- Industrial, con fines de equipamiento y limpieza de áreas de servicio;
- X.- Lavado de vehículos automotores, y
- XI.- Otros.

La tecnología utilizada en las plantas de tratamiento y los criterios de calidad física, química y biológica del agua residual tratada se sujetarán a los que dispongan las Normas Técnicas Ecológicas Sanitarias o al dictamen que emita la autoridad competente, a fin de evitar riesgos para la salud.

Artículo 65.- El usuario no podrá enajenar o comercializar en forma alguna el agua residual o residual tratada que reciba del Departamento, salvo el otorgamiento de la concesión correspondiente en los términos de este Reglamento y de la Ley Orgánica del Departamento del Distrito Federal.

La violación a lo dispuesto en este precepto se sancionará en los términos de la Ley de Hacienda del Departamento del Distrito Federal.

ANEXOS

Artículo 66.- La instalación de las tomas de agua residual tratada deberán solicitarse al Departamento por:

- I.- Los propietarios o poseedores de predios edificados o no edificados que tengan que utilizar agua residual o residual tratada del sistema de alcantarillado del Distrito Federal, para fines industriales, sanitarios, de riego superficial o por aspersión, para áreas verdes, patios de servicio, lavado de vehículos automotores e instalaciones diversas que por la naturaleza de sus actividades no requieran consumo de agua para uso doméstico o consumo humano, y
- II.- Los propietarios o poseedores de terrenos agrícolas destinados al cultivo de forrajes, pastura, plantas de ornato y hortalizas, acuacultura y abrevaderos.

Artículo 67.- En caso de uso no doméstico, cuando no exista servicio público de agua residual tratada, el Departamento considerará en su caso, la forma posible de abastecimiento por medio de carros tanque, y se notificará a los interesados por medio de avisos que se publiquen por dos veces con intervalo de 20 días en la Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal y en un periódico de los de mayor circulación en la zona.

Artículo 68.- Por la instalación o reconstrucción de tomas de agua residual tratada y su conexión a las redes de distribución del servicio público de agua tratada, se pagará el derecho de conexión conforme a los presupuestos que se formulen por las autoridades.

Artículo 69.- En lo referente a la instalación de tomas, solicitudes, inspecciones y sanciones del servicio de agua residual tratada, se estará a lo dispuesto en el Título de Agua Potable.

Artículo 70.- Queda prohibida la derivación de la toma del servicio público de agua residual tratada sin la autorización respectiva. La violación a esta disposición será sancionada de conformidad con los ordenamientos aplicables.

Artículo 71.- El Departamento por conducto de la Tesorería llevará un registro de las tomas de agua residual tratada, que contendrá los mismos datos que se requieren para el registro de tomas de agua potable, así como los datos de las fechas de reparación del medidor, pagos por conexión a las redes de distribución y los demás que en cada caso se requieran.

Artículo 72.- Las instalaciones hidráulicas interiores para el uso y el consumo de agua residual tratada y su conexión a la red de distribución, deberán ser independientes a las del servicio público de agua potable, por lo que no deberán tener conexión con tuberías para el abastecimiento de agua destinada al uso doméstico o al consumo humano, debiendo señalarse de manera adecuada.

Artículo 73.- Los derechos por el servicio público de agua residual tratada se causarán a partir de la fecha en que se haya instalado la toma respectiva y se pagarán en los términos que fije el Departamento, conforme a la cuota, tarifa o concepto establecido en la Ley de Hacienda del Departamento del Distrito Federal.

Artículo 74.- Las plantas de tratamiento de aguas residuales, deberán contar con un laboratorio para el control de la calidad física, química y biológica del agua tratada que se produzca, conforme a lo que establezcan las Normas Técnicas Ecológicas y Sanitarias aplicables.

Artículo 75.- En el caso de que algún proceso industrial no requiera agua potable, los usuarios públicos o privados quedan obligados al aprovechamiento de las aguas residuales derivadas del proceso industrial. Para tal efecto, instalarán equipos y dispositivos de recirculación o tratamiento de dichas aguas y se obligarán a presentar semestralmente al Departamento, el reporte de los usos y aprovechamiento de las mismas.

Capítulo II

Recarga de Acuíferos.

Artículo 76.- Para la recarga de acuíferos deberán preferirse las aguas pluviales debidamente filtradas. Las aguas residuales tratadas que se usen para la recarga de acuíferos, deberán cumplir en todo momento con las normas técnicas emitidas por la autoridad competente.

Queda prohibida la descarga de aguas residuales o de contaminantes a que se refiere el Artículo 62 en cualquier cuerpo de agua superficial o subterráneo.

Capítulo III

Usos Industriales del Agua Residual Tratada.

Artículo 77.- El agua residual tratada producida en las plantas de tratamiento, libre de compuestos tóxicos y orgánicos patógenos que pongan en peligro la salud, podrá ser empleada por lo establecimientos, giros mercantiles y la industria ubicados en el Distrito Federal para los procesos de limpieza, transporte, enfriamiento, generación de vapor, lavado de maquinarias, de unidades automotrices y riego de áreas verdes.

Capítulo IV

Requerimientos Previos y de Operación.

Artículo 78.- Para producir y abastecer de agua residual tratada para uso directo, la persona física o moral de carácter público o privado, deberá contar con un estudio e informe de ingeniería para el reuso de la misma que será aprobado por el Departamento.

Capítulo V

Medidas Alternativas de Seguridad.

Artículo 79.- Las plantas de tratamiento de agua residual deberán contar con las medidas de seguridad que establezcan las Normas Técnicas Ecológicas y Sanitarias o el dictamen que emita la autoridad competente.

Capítulo VI

De las Concesiones.

Artículo 80.- El Departamento podrá concesionar la operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua residual y pluvial captada en el sistema de alcantarillado del Distrito Federal.

Artículo 81.- Podrán ser concesionarios del agua residual y de las plantas de tratamiento, las personas físicas o morales de nacionalidad mexicana que reúnan los requisitos que señale el Departamento.

Artículo 82.- La concesión será de carácter personal y por ello intransferible, y se reglamentará su funcionamiento en los términos de la Ley Orgánica del Departamento del Distrito Federal.

Artículo 83.- La solicitud de concesión deberá presentarse ante el Departamento y contener:

- I.- Nombre, nacionalidad y domicilio del solicitante;
- II.- Ubicación y descripción general del proyecto de reuso que incluya la clase de agua que pretende renovarse, volúmenes requeridos y su variación estacional, diaria y horaria, sitio seleccionado para la construcción de la planta de tratamiento y descripción de las fuentes de abastecimiento;
- III.- Punto de la descarga, acompañando plano o croquis de localización de los terrenos;
- IV.- Estudio de ingeniería que contenga las características físicas, químicas y biológicas del agua residual, y descripción general de los dispositivos y plantas de tratamiento, en su caso, y
- V.- Estudio de la situación financiera del solicitante que compruebe su capacidad para la realización del proyecto.

ENERO 5, 1990

El entonces Departamento del Distrito Federal, ahora Gobierno del Distrito Federal, en la Gaceta Oficial del 2 de agosto de 1993, contempla entre otras cosas:

Considerando:

Que el caudal generado por las plantas de tratamiento en el Distrito Federal, el 83% se emplea para riego de áreas verdes y llenado de lagos recreativos; el 5% en el riego agrícola; el 2% en el sector comercial; y solamente el 10% en industrias.

Que ante la deficiencia en el control, medición y cobro del agua algunas empresas prefieren seguir usando agua potable en procesos en los que no es necesario esa calidad de líquido.

Que es necesario impulsar el crecimiento de las plantas de tratamiento incrementando la red de distribución reforzando estas acciones con la implantación de un sistema de tarifas que reflejen los costos reales para lograr la autosuficiencia financiera de las empresas encargadas de la administración de este servicio.

Que si se logra que la industria y servicios consumieran 3.5 m³/s de agua residual tratada y liberaran la potable para consumo doméstico se podría ampliar la cobertura para 850,000 personas más en la Ciudad de México.

Se expide la siguiente:

REFORMA Y ADICIÓN AL REGLAMENTO DEL SERVICIO DE AGUA Y DRENAJE PARA EL DISTRITO FEDERAL.

Único: Se reforma el art. 77 y se adiciona el artículo 134 bis del Reglamento del Servicio de Agua y Drenaje para el Distrito Federal, para quedar de la siguiente manera:

CAPÍTULO III

Usos obligatorios del Agua Residual Tratada.

ARTÍCULO 77. Deberán utilizar agua residual tratada producida en las plantas de tratamiento, libre de compuestos tóxicos y orgánicos patógenos que pongan en peligro la salud, siempre y cuando haya disponibilidad en:

- I. Los establecimientos: mercantiles, de servicios, de recreación y centros comerciales que ocupen una superficie de 5,000 m² en adelante en sus actividades de limpieza de instalaciones, parque vehicular y áreas verdes.
- II. Las industrias ubicadas en el Distrito Federal que en todos sus procesos productivos no requieran necesariamente de agua potable, así como en las actividades mencionadas en la fracción anterior.
- III. Las obras en construcción mayores de 2,500 m² así como en terracerías y compactación de suelos, y
- IV. Los establecimientos dedicados al lavado de autos.

ANEXOS

ARTÍCULO 134 BIS. Se sancionará con multa de 100 a 1,000 días de salario mínimo vigente en el Distrito Federal, a los propietarios o encargados que violen lo dispuesto en el artículo 77 de este Reglamento.

En caso de reincidencia, además de las sanciones que establece el artículo 136, se impondrá a los infractores la clausura temporal o definitiva, parcial o total del predio, construcción, establecimiento, giro mercantil o industria.

Además en el art. 31 se contempla lo siguiente:

ARTÍCULO 31. Se prohíbe el uso de agua potable en los procesos de compactación, riego de parques y jardines públicos, así como campos deportivos. En estos casos, se deberá solicitar el suministro de agua residual tratada al Departamento.

Como podemos ver, en esta reforma y adición al Reglamento de Servicios de Agua y Drenaje para el D.F. se establecen los criterios para aquellas actividades que *deben* usar el agua residual, dejando solo la cuestión de cuales actividades podrían utilizar el agua residual.

ANEXO E

LEY AMBIENTAL DEL DISTRITO FEDERAL

Ley Ambiental del Distrito Federal

Estructura de la Ley Ambiental del Distrito Federal

Publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal No. 6, el 13 de enero de 2000.

Título Primero

Disposiciones Generales 1 al 5

Título Segundo

De las Autoridades Ambientales 6 al 17

Título Tercero

De la Política de Desarrollo Sustentable

Capítulo I

De los Principios e Instrumentos de la Política de Desarrollo Sustentable 18 y 19

Capítulo II

Participación Ciudadana 20 al 23

Capítulo III

Planeación del Desarrollo Sustentable 24 al 27

Capítulo IV

Ordenamiento Ecológico 28 al 35

Capítulo V

Normas Ambientales para el Distrito Federal 36 al 43

Capítulo VI

Evaluación del Impacto Ambiental 44 al 61

Capítulo VII

Autorregulación y Auditorías Ambientales 62 al 68

Capítulo VIII

Del Fondo Ambiental Público 69 al 71

Capítulo IX

Estímulos 72

Capítulo X

Investigación y Educación Ambientales 73 y 74

Capítulo XI

Información Ambiental 75 al 79

Capítulo XII

Denuncia Ciudadana 80 al 84

Título Cuarto

De la Protección, Restauración y Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Naturales

Capítulo I

Disposiciones Generales 85 y 86

ANEXOS

Capítulo II

Áreas Verdes 87 al 90

Capítulo III

Áreas Naturales Protegidas 91 al 103

Capítulo IV

Conservación y Aprovechamiento Sustentable del Agua 104 al 110

Capítulo V

Conservación y Aprovechamiento Sustentable del Suelo 111 y 112

Capítulo VI

Restauración de Zonas Afectadas 113 al 115

Capítulo VII

Protección y Aprovechamiento de la Flora y Fauna 116 al 121

Capítulo VIII

Aprovechamiento de los Recursos Energéticos 122

Título Quinto

De la Prevención, Control y Acciones contra la Contaminación Ambiental

Capítulo I

Disposiciones Generales 123

Capítulo II

De las Acciones Correctivas de la Contaminación Ambiental 124 al 129

Capítulo III

Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera

Sección Primera

Disposiciones Generales 130 al 134

Sección Segunda

Control de Emisiones Provenientes de Fuentes Fijas 135 al 138

Sección Tercera

Control de Emisiones Provenientes de Fuentes Móviles 139 al 149

Sección Cuarta

Regulación de Quemadas a Cielo Abierto 150

Sección Quinta

De la Contaminación Térmica, Visual y la generada por Ruido, Olores, Vapores y Fuentes Luminosas 151

Capítulo IV

Prevención y Control de la Contaminación del Agua 152 al 162

Capítulo V

Prevención y Control de la Contaminación del Suelo 163 al 168

Sección Primera

Residuos No Peligrosos 169 al 174

Sección Segunda

Reglas Complementarias en Materia de Residuos Peligrosos 175

Sección Tercera

Actividades Riesgosas 176 al 181

Capítulo VI

De las Contingencias Ambientales 182 al 186

Título Sexto

De los Prestadores de Servicios Ambientales

Capítulo I

De los Prestadores de Servicios de Impacto Ambiental 187 al 190

Capítulo II

De los Centros de Verificación 191 al 199

Capítulo III

De los Laboratorios Ambientales 200

Título Séptimo

Medidas de Control, de Seguridad y Sanciones

Capítulo I

Disposiciones Generales 201

Capítulo II

De la Inspección y Vigilancia 202 al 210

Capítulo III

Medidas de Seguridad 211 y 212

Capítulo IV Sanciones Administrativas 213 al 219

Capítulo V

Recurso de Inconformidad 220

Capítulo VI

De la Responsabilidad por el Daño Ambiental 221 al 224

Capítulo VII

De los Delitos Ambientales 225 y 226

Artículos Transitorios I al IX

Decreto de fecha 31 de enero de 2002, publicado en la **Gaceta Oficial del Distrito Federal que Reforma, Adiciona y Deroga** diversas disposiciones de la Ley Ambiental del Distrito Federal

Ley Ambiental del Distrito Federal

Título Tercero

De la Política de Desarrollo Sustentable

**Capítulo IX
Estímulos**

Artículo 72.- La Secretaría promoverá el otorgamiento de estímulos fiscales, financieros y administrativos a quienes:

I. Adquieran, instalen y operen las tecnologías, sistemas, equipos y materiales o realicen las acciones que acrediten prevenir o reducir las emisiones contaminantes establecidos por las normas oficiales mexicanas y las ambientales para el Distrito Federal, o prevenir y reducir el consumo de agua o de energía, o que incorporen sistemas de recuperación y reciclamiento de las aguas de desecho o que utilicen aguas tratadas o de reuso para sus funciones productivas, de conformidad con los programas que al efecto se establezcan;

II. Realicen desarrollos tecnológicos y de ecotecnia viables cuya aplicación demuestre prevenir o reducir las emisiones contaminantes, la producción de grandes cantidades de desechos sólidos municipales, el consumo de agua o el consumo de energía, en los términos de los programas que al efecto se expidan;

III. Integren organizaciones civiles con fines de desarrollo sustentable, que acrediten su personalidad jurídica ante la Secretaría; y

IV. Lleven a cabo actividades que garanticen la conservación sustentable de los recursos naturales.

Título Cuarto

De la Protección, Restauración y Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Naturales

**Capítulo IV
Conservación y Aprovechamiento Sustentable del Agua**

Artículo 104.- La Secretaría regulará la eliminación gradual del uso de agua potable en los procesos en que se pueda utilizar aguas de reuso o tratadas.

Artículo 105.- Para el aprovechamiento sustentable de las aguas de competencia del Distrito Federal, así como el uso adecuado del agua que se utiliza en los centros de población, se considerarán los criterios siguientes:

I. Corresponde al Gobierno del Distrito Federal y a la sociedad la protección de los elementos hidrológicos, ecosistemas acuáticos y del equilibrio de los recursos naturales que intervienen en su ciclo;

II. El aprovechamiento sustentable de los recursos naturales que comprenden los ecosistemas acuáticos deben realizarse de manera que no se afecte su equilibrio ecológico;

III. Para mantener la integridad y el equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico, se deberá considerar la protección de suelos y áreas boscosas así como el mantenimiento de caudales básicos y fuentes naturales de las corrientes de agua, para mantener la capacidad de recarga de los acuíferos;

IV. La conservación y el aprovechamiento sustentable del agua, es responsabilidad de la autoridad y de los usuarios, así como de quienes realicen obras o actividades que afecten dicho elemento;

V. El agua debe ser aprovechada y distribuida con equidad, calidad y eficiencia, dando preferencia a la satisfacción de las necesidades humanas y la protección a la salud;

VI. El agua tratada constituye una forma de prevenir la afectación del ambiente y sus ecosistemas;

VII. El reuso del agua y el aprovechamiento del agua tratada es una forma eficiente de utilizar y conservar el recurso; y

VIII. El aprovechamiento del agua de lluvia constituye una alternativa para incrementar la recarga de los acuíferos así como para la utilización de ésta en actividades que no requieran de agua potable, así como también para el consumo humano, en cuyo caso, deberá dársele tratamiento de potabilización, de acuerdo con los criterios técnicos correspondientes.

Artículo 106.- Los criterios anteriores serán considerados en:

I. La formulación e integración de programas relacionados con el aprovechamiento del agua;

II. El otorgamiento y revocación de concesiones, permisos, licencias, las autorizaciones de impacto ambiental y en general toda clase de autorizaciones para el aprovechamiento de los recursos naturales no reservados a la Federación, que afecten o puedan afectar el ciclo hidrológico;

III. El otorgamiento de autorizaciones para la desviación, extracción o derivación de aguas de propiedad del Distrito Federal;

IV. La operación y administración de los sistemas de agua potable y alcantarillado que sirven a los centros de población e industrias;

V. Los programas parciales y delegacionales de desarrollo urbano,

VI. El diseño y ubicación de proyectos urbanos; y

VII. La ejecución de proyectos de estructuras que permitan el almacenamiento, la utilización, la infiltración y el consumo del agua de lluvia.

Artículo 107.- Con el propósito de asegurar la disponibilidad del agua y abatir los niveles de desperdicio, la Secretaría deberá:

I. Proteger las zonas de recarga;

II. Promover acciones para el ahorro y uso eficiente del agua, el tratamiento de aguas residuales y su reuso, así como la captación y aprovechamiento de las aguas pluviales;

III. Establecer las zonas críticas y formular programas especiales para éstas;

ANEXOS

IV. Desarrollar programas de información y educación que fomenten una cultura para el aprovechamiento racional del agua; y

V. Considerar las disponibilidades de agua en la evaluación del impacto ambiental de las obras o proyectos que se sometan a su consideración.

Artículo 108.- Son obligaciones de los habitantes del Distrito Federal:

I. Usar racionalmente el agua;

II. Reparar las fugas de agua dentro de sus predios;

III. Denunciar las fugas de agua en otros predios particulares o en la vía pública; y

IV. La observancia de la normatividad para el uso, reuso y reciclaje del agua y el aprovechamiento del agua pluvial.

Artículo 109.- La Secretaría realizará las acciones necesarias para evitar o, en su caso, controlar procesos de degradación de las aguas.

Artículo 110.- Queda estrictamente prohibido el relleno, secado o uso diferente al que tienen, los cuerpos de agua superficiales del Distrito Federal.

Título Quinto

De la Prevención, Control y Acciones contra la Contaminación Ambiental

Capítulo IV

Prevención y Control de la Contaminación del Agua

Artículo 152.- Las disposiciones contenidas en el presente capítulo son aplicables a las descargas de aguas residuales que se viertan a los cuerpos de aguas y a los sistemas de drenaje y alcantarillado en el Distrito Federal.

Artículo 153.- Para la prevención y control de la contaminación del agua se considerarán los siguientes criterios:

I. La prevención y control de la contaminación del agua, es fundamental para evitar que se reduzca su disponibilidad y para proteger los ecosistemas del Distrito Federal;

II. Corresponde al Gobierno y a la sociedad prevenir la contaminación de los cuerpos de agua, incluyendo las aguas del subsuelo;

III. El aprovechamiento del agua conlleva la responsabilidad del tratamiento de las descargas, en condiciones adecuadas para su reutilización;

IV. Las aguas residuales deben recibir tratamiento previo a su descarga en ríos, cuencas, vasos, y demás depósitos o corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo; y

V. La participación y corresponsabilidad de la sociedad y los medios de comunicación, es condición indispensable para evitar la contaminación del agua.

Artículo 154.- Los criterios para la prevención y control de la contaminación del agua deberán considerarse en:

- I. La expedición de normas ambientales del Distrito Federal para el uso tratamiento y disposición de aguas residuales, para evitar riesgos y daños a la salud y el ambiente;
- II. El otorgamiento de concesiones, permisos, licencias de construcción y de uso de suelo, y en general toda clase de autorizaciones para el aprovechamiento de agua y las descargas de agua residual;
- III. El diseño y operación de sistemas de agua potable, alcantarillado y tratamiento de agua residual; y
- IV. La restricción o suspensión de explotaciones y aprovechamientos en casos de contaminación de las fuentes de abastecimiento.

Artículo 155.- Las atribuciones de la Secretaría en materia de manejo y disposición de aguas residuales son las siguientes:

- I. Prevenir y controlar la contaminación por aguas residuales;
- II. Integrar y mantener actualizado el inventario de descargas de aguas residuales domésticas e industriales;
- III. Vigilar que las descargas cumplan con la normatividad vigente en cantidad y calidad, esto en coordinación con las autoridades vinculadas:
- IV. Determinar y promover el uso de plantas de tratamiento, fuentes de energía, sistemas y equipos para prevenir y reducir al mínimo las emisiones contaminantes en el Distrito Federal, así como fomentar el cambio a tecnologías compatibles con el ambiente;
- V. Verificar el cumplimiento de las normas aplicables, así como establecer condiciones particulares de descarga de aguas residuales; y
- VI. Establecer y aplicar las medidas necesarias para prevenir y reducir al mínimo las emisiones de descargas contaminantes, así como las que le corresponden para prevenir y controlar la contaminación del agua superficial y cuerpos receptores.

Artículo 156.- Queda prohibido descargar aguas residuales en cualquier cuerpo o corriente de agua.

Artículo 157.- Las fuentes fijas que descarguen aguas residuales distintas a las domésticas, deberán contar con permiso de descarga expedido por la Secretaría.

Artículo 158.- Para obtener el permiso de descarga que se señala en el Artículo anterior, el responsable de la fuente generadora de las aguas residuales deberá presentar a la Secretaría una solicitud por escrito, acompañándola de la siguiente información:

- I. Nombre, domicilio y giro o actividad de la persona física o moral que realice la descarga;
- II. Relación de insumos utilizados en los procesos y servicios que generan las descargas de aguas residuales;
- III. Planos y descripción de los procesos y servicios de los puntos de descarga;
- IV. Volumen y régimen de los distintos puntos de descarga, así como su caracterización fisico-química y bacteriológica de la descarga;
- V. Nombre y ubicación del sistema receptor;
- VI. Plano de localización de las instalaciones para su manejo y control;

ANEXOS

VII. Descripción de los sistemas y procesos para el tratamiento de aguas residuales; y

VIII. Descripción de la forma de cumplimiento con las normas correspondientes.

La solicitud deberá acompañarse de la memoria técnica que fundamente la información a que se refiere el presente Artículo.

Presentada la solicitud e integrado el expediente, la Secretaría debe emitir en un plazo de treinta días hábiles su resolución fundada y motivada, en la que autorice o niegue el permiso correspondiente. Transcurrido dicho plazo sin que la autoridad resuelva, se entenderá que la resolución se ha emitido en sentido negativo.

Artículo 159.- Los permisos de descarga de aguas residuales contendrán:

I. Ubicación y descripción de la descarga en cantidad y calidad;

II. Los parámetros, así como las concentraciones y cargas máximas permisibles, y en su caso, las condiciones particulares de descarga del permisionario;

III. Obligaciones generales y específicas a las que se sujetará el permisionario para prevenir y controlar la contaminación del agua; y

IV. Forma y plazos en que cumplirá con las condiciones y especificaciones técnicas que señale la Secretaría, para los puntos de descarga autorizados, incluida la construcción de las obras e instalaciones para el manejo y tratamiento de las aguas residuales.

El permiso tendrá una vigencia anual, al término de la cual deberá renovarse.

Artículo 160.- Se exceptúa de la obligación de contar con el permiso a que se refiere el Artículo anterior a las descargas provenientes de los siguientes usos:

I. Domésticos, siempre y cuando no se realicen otras actividades industriales o comerciales;

II. Servicios análogos a los de tipo doméstico, que determine la norma correspondiente; y

III. Aquellos que determinen las normas ambientales para el Distrito Federal.

Artículo 161.- Cuando alguna descarga al sistema de drenaje, a pesar del cumplimiento de los límites establecidos en las normas oficiales, cause efectos negativos en las plantas de tratamiento de aguas residuales del Distrito Federal o en la calidad que éstas deben cumplir antes de su vertido a cuerpos receptores, la Secretaría podrá fijar condiciones particulares de descarga en las que fije límites más estrictos.

Artículo 162.- La Secretaría establecerá y operará un sistema de monitoreo de las aguas residuales en el Distrito Federal.

Título Séptimo**Medidas de Control, de Seguridad y Sanciones****Capítulo IV
Sanciones Administrativas**

Artículo 213.- Las violaciones a los preceptos de esta Ley, su reglamento, las normas ambientales del Distrito Federal y demás disposiciones que de ella emanen, serán sancionadas administrativamente por la autoridad, con una o más de las siguientes sanciones:

- I. Amonestación con apercibimiento;
- II. Multa por el equivalente desde veinte hasta cien mil días de salario mínimo general vigente en la región, al momento de imponer la sanción;
- III. Clausura temporal o definitiva, parcial o total, y la revocación de permisos y licencias otorgadas;
- IV. Arresto administrativo hasta por treinta y seis horas; y
- V. Reparación del daño ambiental.

Artículo 214.- Para la imposición de las sanciones por infracciones a esta Ley, se tomará en cuenta:

- I. La gravedad de la infracción, considerando los siguientes criterios: impacto a la salud o al ambiente;
- II. Las condiciones económicas del infractor; y
- III. La reincidencia, si la hubiere.

Artículo 215.- Cuando se trate de segunda o posterior inspección para verificar el cumplimiento de un requerimiento o requerimientos anteriores, y del acta correspondiente se desprenda que no se ha dado cumplimiento a las medidas previamente ordenadas, la autoridad competente podrá imponer además de la sanción o sanciones que procedan conforme al presente capítulo, una multa adicional que no exceda de los límites máximos señalados.

Para el caso de reincidencia, el monto de la multa podrá ser hasta por dos veces del monto inicialmente impuesto, sin exceder del doble del máximo permitido, así como la clausura definitiva.

Se considera reincidente al infractor que incurra mas de una vez en conductas que impliquen infracciones a un mismo precepto, en un periodo de dos años, contados a partir de la fecha en que se levante el acta en que se hizo constar la primera infracción, siempre que esta no hubiese sido desvirtuada.

Artículo 216.- En el caso en que el infractor realice las medidas correctivas o las de urgente aplicación, o subsane las irregularidades en que hubiere incurrido, previamente a la imposición de una sanción y siempre que lo haga del conocimiento de la autoridad dentro del plazo a que se refiere el Artículo 207, ésta deberá considerar tal situación como atenuante de la infracción cometida.

Artículo 217.- Cuando se aplique como sanción la clausura temporal o definitiva, total o parcial, el personal comisionado para ejecutarla, procederá a levantar acta circunstanciada de la diligencia.

ANEXOS

En los casos en que se imponga como sanción la clausura temporal, la autoridad ambiental deberá indicar al infractor las medidas correctivas y las acciones que debe llevar a cabo para subsanar las irregularidades que motivaron dicha sanción, así como los plazos para su realización.

Artículo 218.- Cuando las autoridades competentes en los términos de esta Ley tengan conocimiento de constancias que se presuman apócrifas, la Administración Pública del Distrito Federal hará la denuncia correspondiente por conducto de la dependencia competente, por los ilícitos que resulten. Los documentos apócrifos serán considerados nulos de pleno derecho. Las autoridades competentes implementarán los mecanismos de información para consulta del público respecto de certificaciones, permisos, licencias y autorizaciones que emitan, en los términos del reglamento de esta Ley.

Artículo 219.- Los funcionarios públicos que contravengan las disposiciones de esta Ley, su reglamento y las demás disposiciones aplicables incurren en responsabilidad y serán sancionados en los términos de la Ley correspondiente.

ANEXO F

**METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE DECISIONES PARA SELECCIONAR
ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO Y USO DE AGUAS RESIDUALES**



Hojas de divulgación técnica



HDT 68: METODOLOGIA DE ANALISIS DE DECISIONES PARA SELECCIONAR ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO Y USO DE AGUAS RESIDUALES

Ing. Marco Antonio Almeida de Souza Universidad de Brasilia. Dpto. de Ingeniería civil. Campus Universitario - Asa Norte. 71910 - 090 Brasilia - DF, Brasil. Abril 1997

Índice general

- Introducción
- Antecedentes
- Consideraciones para la selección
- Metodología propuesta para la selección
- Métodos de análisis de decisión con objetivos múltiples
- Referencias bibliográficas

Introducción

La preocupación por el desarrollo sostenible ha motivado un cambio en quienes realizan programas de investigación y planificación de los recursos hídricos. Este cambio los ha llevado a considerar alternativas para el uso racional de los recursos naturales, incluidas la minimización de residuos y el reuso del agua. La selección de tecnologías para la recolección y tratamiento de aguas residuales deberá considerar, cada vez en mayor medida, alternativas que incluyan el reuso de agua. La pregunta que se plantea es: "Cómo considerar todas las variables de decisión al mismo tiempo y cómo combinarlas para obtener una respuesta que satisfaga a las personas interesadas?"

Para responder a esa interrogante, el presente trabajo propone y divulga una metodología para la selección de sistemas integrados de tratamiento, recuperación y uso de aguas residuales. Esta metodología se basa en el uso de métodos de análisis de decisión con objetivos y criterios múltiples que permiten un tratamiento holístico de la selección tecnológica (Schumacher, 1973; Willoughby, 1990). Estos métodos sustituyen a los métodos económicos y de optimización criticados por monetarizar y materializar los factores involucrados. La metodología propuesta puede usarse en cualquier otra área ambiental y de saneamiento.

Antecedentes

La aplicación de un método de análisis de decisión para la selección de alternativas de tratamiento de aguas residuales se registró por primera vez en 1987, cuando Wolf (1987) presentó una metodología simple basada en el método de la media ponderada. Posteriormente, Teclé et al. (1988) introdujeron técnicas de análisis de decisión con objetivos múltiples, como el "Compromising Programming" (traducido por algunos como Programación de Compromiso) y Electre-I. De manera similar, Souza (1992) desarrolló el modelo PROSEL-I ("Process Selection Version I") para elegir procesos de tratamiento de aguas residuales usando los principios de la tecnología apropiada y el análisis de decisión con objetivos múltiples. En un trabajo orientado a la solución de un caso específico, Gobbetti (1993) y Gobbetti & Barros (1993), aplicaron las técnicas de análisis multiobjetivos "Compromise Programming", "Funcão Utilidade Multidimensional", Electre-I y Promethee para la revisión del Plan Director de Desagües de São Paulo, Brasil.

Se pueden citar muchas aplicaciones en otras áreas del medio ambiente y de recursos hídricos. Por ejemplo, Pertac & Willis (1985) utilizaron métodos de análisis de decisión con objetivos múltiples para resolver un problema de manejo de residuos sólidos. Merkhofer & Keeney (1987) aplicaron el análisis de utilidad multiatributo para definir el lugar de disposición de residuos nucleares. Briggs et al. (1990) aplicaron los métodos Promethee y Gaia para el manejo de residuos nucleares. Hokkanen et al. (1995), Caruso et al. (1993), Maystre & Simos (1987), y Simos (1990) aplicaron diversas técnicas de análisis de decisión con objetivos y criterios múltiples para la selección de alternativas de manejo de residuos sólidos. Duckstein et al. (1994) emplearon técnicas de análisis de decisión con criterios

ANEXOS

múltiples Compromise Programming, Funç/Æo Utilidade Multidimensional, Electre-III, y UTA (del francés Utilité Additive) para la selección de alternativas de manejo de aguas subterráneas.

Estos métodos constituyen una herramienta que ayuda a tomar decisiones cuando se tiene que considerar factores tangibles e intangibles y cuando se desea la participación comunal.

Consideraciones para la selección

Para plantear el problema de la planificación es conveniente revisar los sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales a fin de generar alternativas múltiples con porcentajes de uso para la agricultura, forestación, ganadería, acuicultura e irrigación de áreas públicas. Estas alternativas contemplarán también la tecnología de distribución de las aguas residuales recuperadas para usuarios diversos.

A fin de lograr el desarrollo técnico y económico de los proyectos de reuso de agua en países en vías de desarrollo y su aplicación en la acuicultura y agricultura, algunos investigadores defienden el uso de lagunas de estabilización en serie debido al bajo costo y a la alta seguridad que ofrece para la salud (León & Moscoso, 1996; Moscoso & Flórez Muñoz, A., 1991; Moscoso et al., 1991).

En el caso del reuso directo potable, se requiere que el sistema de recuperación de aguas residuales tenga un alto grado de eficacia y confiabilidad, siendo necesario emplear combinaciones de procesos y operaciones unitarias que por lo general incluyen la clarificación con precipitación química, remoción de nutrientes, recarbonación, filtración, adsorción con carbón activado, desmineralización por ósmosis inversa y desinfección con cloro, con ozono o con ambos (Metcalf & Eddy, 1991).

En la selección de la tecnología de recuperación de aguas residuales, la confiabilidad operacional y el funcionamiento del conjunto de procesos y operaciones unitarias son factores importantes (Metcalf & Eddy, 1991). Sin embargo, la selección de una tecnología debe ser considerada un problema tanto particular como local. Las soluciones no se pueden generalizar (existe sólo un determinado caso) y hay que examinar la influencia de los ámbitos social, económico, cultural, jurídico, ambiental, educativo, etc.

Metodología propuesta para la selección

Se propone algunos métodos de análisis de decisión que permiten la participación de la población y el tratamiento holístico. Esta metodología presenta las siguientes etapas:

(1) Definición de los objetivos del sistema, del uso del agua y de la calidad de los efluentes tratados

La planificación del reuso de agua debe realizarse a nivel de la cuenca hidrográfica y considerar la cooperación entre diferentes órganos y agentes interesados. Se debe incluir los siguientes puntos:

- inventario de las necesidades de tratamiento y disposición de aguas residuales;
- inventario de la demanda y suministro de agua;
- inventario de los beneficios del abastecimiento de agua mediante el reuso;
- análisis del mercado para el agua residual recuperada;
- análisis técnico y económico de alternativas (mencionada anteriormente) y
- plan de implementación del reuso con análisis financiero (Metcalf & Eddy, 1991).

En Asano (1991), se encuentra una lista de actividades e inventarios que se deben realizar en la planificación del reuso de agua.

La existencia de mercado para el agua residual recuperada es esencial. Se debe hacer una lista de los clientes potenciales, así como de su capacidad de compra. El inventario también debe incluir las necesidades de los usuarios potenciales.

(2) Definición de la calidad del agua residual natural o del efluente tratado

Es necesario determinar las características de la calidad del agua de acuerdo a las exigencias de los patrones de uso predefinidos y de las contribuciones municipales e industriales en la cuenca de recolección de aguas residuales. En el caso de reuso de agua industrial es necesario hacer un inventario de todos los contaminantes posibles.

La definición de las características de calidad del agua no es una tarea fácil y puede conllevar a errores en las etapas posteriores. La elección de las variables depende de un análisis epidemiológico local y del examen de la situación real, debiéndose desconfiar de estudios simplificadores que sólo trabajan con DBO o NMP de coliformes fecales, a no ser que sea necesario para el estudio.

(3) Definición de las alternativas de sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales

Para definir el universo de alternativas se debe tomar en cuenta los criterios de confiabilidad y eficacia de cada alternativa a fin de descartar las no viables y para no desechar algunas inadecuadamente. Puede haber muchas alternativas debido a las diferentes combinaciones de procesos y operaciones unitarias y formas de distribución y uso del agua recuperada.

La ubicación y la modalidad de reuso deben considerarse como parte de cada alternativa, incluida la distribución de agua en los diversos puntos de consumo.

(4) Definición de las variables de decisión para seleccionar la alternativa de recuperación de aguas residuales

Las variables de decisión pueden incluir principios de la tecnología apropiada y del desarrollo sostenible, tales como:

- maximización del uso de recursos materiales y mano de obra locales;
- minimización del consumo de energía;
- maximización de la calidad y cantidad del efluente final para el reuso;
- minimización del impacto ambiental;
- rentabilidad económica;
- facilidad de operación y mantenimiento;
- minimización del riesgo para la salud de los trabajadores y del público;
- participación social; y
- aceptación pública.

Se debe procurar que los objetivos sean lo más independientes posible para no volver a evaluar el mismo objetivo.

Se puede tener más de un criterio para medir cada objetivo y se puede emplear variables discretas o continuas, numéricas u ordinales. Las variables pueden ser cuantificables, tales como el costo, área ocupada, etc., o subjetivas, como preferencia por uno u otro aspecto de cada alternativa. Las variables se pueden comparar entre sí con valores de juicio, tales como bueno, medio, deficiente, mejor, peor, etc. Para cada objetivo se puede utilizar criterios de eficacia, confiabilidad, resistencia, flexibilidad, etc.

(5) Comparación de las alternativas de recuperación de aguas residuales con las variables de decisión

En el análisis de decisión con múltiples objetivos (Souza, 1992; Souza & Forster, 1996), el método de selección de tecnología más recomendado actualmente, se debe incluir la llamada matriz de resultados (payoff matrix) que compara las alternativas viables según el grado de consideración a todas las variables de decisión de la etapa anterior. Esta matriz está compuesta por los criterios y actividades. La evaluación de las alternativas se puede realizar con un grupo ejecutivo de decisión o con un equipo de especialistas en reuso y se debe buscar la participación popular mediante un "consejo de usuarios del agua residual".

El éxito de la metodología depende de cuán juiciosa resulte la evaluación de las alternativas. Se puede elaborar formularios basados en preguntas y atribución de pesos, de manera que los evaluadores no distingan la relación entre sus respuestas y el resultado final. Se han desarrollado métodos, tales como el Delphi, para obtener respuestas de manera científica. La definición de los objetivos y variables a considerarse en cada caso debe realizarla el mismo agente de decisión.

(6) Elección de un método auxiliar para la decisión

Para escapar de la excesiva monetarización de las variables de decisión y alcanzar un punto de satisfacción de los objetivos delineados en la elección de tecnología, varios autores defienden el uso del análisis de decisión con objetivos múltiples (Souza, 1992; Souza & Forster, 1996). Los métodos más utilizados cuando se tiene una variable discreta, que es la más fácil de operar, son los de la serie Electre (versión I, II, III y IV-A), "Compromising Programming", el Promethee, el de la "Función de Utilidad Multidimensional" y el ME-MCDM ("Multiple Expert Multiple Criteria Multiple Decision Makers"). Hay programas de cómputo disponibles para ellos, lo cual facilita su uso en microcomputadoras de baja capacidad (Souza, 1996 y 1992; Goicoechea et al., 1982).

Algunos especialistas en tratamiento y reuso de aguas residuales no están interesados en el análisis de decisiones y se resisten a usar la metodología propuesta porque les parece complicada. Sin embargo, existen métodos de análisis de decisión simples y de fácil comprensión. Los interesados deben consultar la bibliografía especializada que se recomienda (Goicoechea et al., 1982; Souza, 1994).

Otro punto que debe resaltarse es el uso de varios métodos (dos, tres o cuatro) para priorizar la solución del problema (Souza, 1992; Teclé et al., 1988).

(7) Jerarquización de las alternativas de recuperación de aguas residuales y aceptación del resultado

Con cualquiera de los métodos auxiliares de decisión se produce una lista de alternativas de acuerdo al logro de los objetivos planteados. Como se dijo anteriormente, es mejor usar más de un método auxiliar para comparar los resultados.

En algunos métodos es posible hacer un análisis de sensibilidad para conocer los factores de decisión que más contribuyen a la solución. El proceso permite adaptar los valores de una de las variables y verificar el efecto de tales variaciones en las respuestas del método. Con el análisis de sensibilidad también es posible conocer los motivos que llevan a la preferencia de una u otra alternativa.

(8) Repetición del proceso con modificaciones si no se ha llegado a una decisión

La lista ordenada de alternativas y la explicación del proceso de organización se discute con los agentes de decisión para conocer el grado de aceptación de la solución propuesta. Por lo general, se cuestiona el resultado pues sólo así se reconocen algunas fallas en una o algunas de las etapas anteriores, ya que muchas de éstas son interdependientes. En caso de no haber un consenso, se debe considerar todas las sugerencias y críticas en el proceso metodológico de las etapas anteriores pertinentes y reiniciar el ciclo. El proceso se reitera hasta alcanzar una decisión satisfactoria.

Es necesario entender que no hay una solución óptima para el problema y que se debe llegar a una "solución de compromiso" que no se puede definir fácilmente en términos numéricos. Se alcanza entonces el "óptimo de Pareto" o "punto de satisfacción", que es una solución posible (es decir, una alternativa viable) para la cual no existe ninguna otra solución viable que ocasione una mejora en cualquiera de los objetivos propuestos sin agravar por lo menos uno de los demás objetivos.

Métodos de análisis de decisión con objetivos múltiples

Los principales métodos con las respectivas referencias para consulta son:

- Método de Ponderación Aditiva (Wolf, 1987; Goicochea et al., 1982)
- Método Electre-I (Benayoun et al., 1966; Teclé et al., 1988)
- Método Electre-II (Roy, 1973; Hokkanen et al., 1995)
- Método Electre-III (Roy, 1991; Duckstein et al., 1994)
- Método Electre-IV y IV-A (Roy, 1991)
- Método "Compromising Programming" (Zeleny, 1973; Teclé et al., 1988; Duckstein et al., 1994)
- Método de la Teoría de los Juegos Cooperativos (Szidarovsky, et al. 1984; Teclé et al. 1984; Teclé et al., 1988);
- Método Promethee (Briggs et al., 1990);
- Método de la Función de Utilidad Multidimensional (Keeney & Raiffa, 1976; Merkhofer & Keeney, 1987; Duckstein et al., 1994)
- Método UTA (Utilidad Aditiva) (JacquetLegrèze & Siskos, 1982; Duckstein et al., 1994).

Con tantos métodos disponibles, elegir uno de ellos es una tarea difícil. Se propone usar tres o cuatro métodos seleccionados de acuerdo a la experiencia y facilidad que represente al analista y por su adaptación al caso de reúso de agua. El resultado que se obtiene con los diversos métodos deberá analizarse para verificar su compatibilidad. La experiencia ha demostrado que la mayoría de los métodos convergen en un resultado común.

El método de ponderación aditiva se basa en la utilidad, una relación entre el valor de una variable de decisión y su valor atribuido en la decisión y, fundamentalmente, en la media ponderada de los valores de todos los criterios, en los que los pesos atribuyen importancia a cada uno de ellos. La alternativa elegida es la que obtiene el valor más alto de utilidad aditiva (es decir, la media ponderada). Este método es muy criticado, pero es el más sencillo y permite que los inexpertos entiendan la justificación de la decisión.

El método Electre-I (de la sigla en francés Traducción de la Realidad por Eliminación de Elección) compara alternativas por pares, entre todas las alternativas, de manera que elimina un subconjunto de alternativas y elige las que reúnen la mayoría de los criterios. Implica tres conceptos definidos matemáticamente: concordancia, discordancia y valores límites de concordancia y discordancia. El método no se elaboró para organizar las alternativas, pero Souza (1992) propone una manera eficaz y simple de jerarquizar las alternativas.

El método Electre-II es una modificación de la primera versión y fue elaborado para orientar las alternativas. Crea relaciones de comparación entre fuerte y débil, condiciones de concordancia y discordancia diferentes, y un proceso de ordenación de alternativas en tres etapas. En la primera etapa se ordena de forma descendente (de la mejor alternativa a la peor), en la segunda etapa de forma ascendente y en la tercera etapa según la media aritmética de las anteriores.

ANEXOS

El método Electre-III se basa en relaciones de comparación difusas. Crea el concepto de pseudocriterio para medir las preferencias del agente de la decisión. Permite trabajar con relaciones de indiferencia "no muy estricta" o "estricta" y combina los límites de indiferencia y preferencia con el criterio tradicional. Añade estas preferencias parciales y forma una relación de comparación difusa que establece dos ordenaciones preliminares de las alternativas (ascendente y descendente) con una técnica de "destilación". El método realiza la ordenación final a partir de esas dos ordenaciones preliminares. Este método es el más aceptable cuando hay duda e imprecisión en la evaluación de las alternativas y permite compararlas. No usa comparaciones proporcionadas directamente por el agente de la decisión, sino que las construye internamente a partir de las preferencias. También realiza una compensación parcial de la comparación a partir de la elección de los índices de concordancia y de discordancia, además de permitir que el agente de la decisión exprese sus preferencias, indiferencia y oposición al elegir los pesos que miden el grado de importancia de los diversos criterios utilizados.

El método Comprising Programming es un método elaborado para identificar la solución más próxima a la ideal, por lo tanto no viable, formada por un vector de los mejores valores registrados para todos los criterios. El grado de proximidad se mide según un patrón de distancias que considera otro vector formado por los peores valores de los diversos criterios registrados en la matriz de resultados. Es un método de aplicación fácil y rápido.

Finalmente, debido a su importancia, se cita a Duckstein et al. (1994) "el propósito de aplicar los métodos de análisis de decisión con objetivos y criterios múltiples es ayudar al agente de la decisión y no el de reemplazarlo".

Referencias bibliográficas

Asano, T. Planning and implementation of water reuse projects. *Water Science and Technology* 24(9):1-10; 1991.

Benayoun, R.; Roy, B.; Sussman, B. Electre: une methode pour guider le choix en presence de points de vue multiples. Note de Travail 49, Paris: SEMA, Metra International, 1996.

Briggs, T.; Kunsh, P.L.; & Marshal, B. Nuclear waste management: an application of the multicriteria Promethee methods. *European Journal of Operational Research* 44:1-10; 1990.

Caruso, C.; Colomi, A.; Paruccini, M. The Regional Urban Solid Waste Management System: a modelling approach. *European Journal of Operational Research* 70:16-30; 1993.

Duckstein, L.; Treichel, W.; Magnouni, S.E. Ranking groundwater management by multicriterion analysis. *Journal of Water Resources Planning and Management* 120(4):546-565; jul.-ago. 1994.

Gobetti, L.E.C. Análise multiobjetivo aplicada ao planejamento de sistemas de recursos hídricos. Dissertação de mestrado. S/Estado Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo; 1993.

Gobetti, L.E.C.; Barros, M.T.L. Análise multiobjetivo aplicada ao planejamento de sistemas de recursos hídricos. En: Anais do X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Gramado, Rio Grande do Sul: ABRH-Associação Brasileira de Recursos Hídricos; 1993. pp. 317-326;

Goicochea, A.; Hansen, D.R.; Duckstein, L. Multiobjective decision analysis with engineering and business applications. New York: J. Wiley & Sons; 1982.

Hokkanen, J.; Salminen, P.; Rossi, E.; Ettala, M. Choice of a solid waste management system using the Electre-II decision-aid method. *Waste Management & Research* 13(2):175-193; 1995.

Jacquet-legrèze, E.; Siskos, J. Assessing a set of additive utility functions for multicriteria decision-making, the UTA method. *European Journal of Operational Research* 10(2):151-164; 1982.

Keeney, R. F.; Raiffa, H. Decision with multiple objectives: preferences. 1976.

- León Suematsu, G.; Moscoso, J. *Curso de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales*. Lima: CEPIS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente; 1996.
- Maystre, L. Y.; Simos, J. *L'aide à la décision dans l'organisation*. Paris: Association Française pour la Cybernétique Économique et Technique; 1987.
- Merkhofer, M. W.; Keeney, R. L. A multiattribute utility analysis of alternative sites for the disposal of nuclear waste. *Risk Analysis* 7:173-194; 1987.
- Metcalf & Eddy, Inc. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse*, 3ed. New York: McGraw-Hill; 1991.
- Moscoso, J.; Flórez Muñoz, A. *Reuso en acuicultura de las aguas residuales tratadas en las lagunas de estabilización de San Juan. Sección I: Resumen ejecutivo*. Lima: CEPIS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente; 1991.
- Moscoso, J.; León Suematsu, G.; Gil, E. *Reuso en acuicultura de las aguas residuales tratadas en las lagunas de estabilización de San Juan. Sección II: Tratamiento de las aguas residuales y aspectos sanitarios*. Lima: CEPIS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente; 1991.
- Perlat, R. D.; Willis, C.E. Multi-objective decision-making in waste disposal planning. *Journal of the Environmental Engineering Division, Proceedings of ASCE* 11(EE3):373-385; 1985.
- Roy, B. The outranking approach and the foundations of Electre methods. *Theory and Decision* 31:49-73; 1991.
- Schumacher, E.F. *Small is beautiful: economics as if people mattered*. Londres: Harper & Row; 1973.
- Simos, J. *Évaluer l'impact sur l'environnement*. Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes; 1990.
- Souza, M.A.A. *Programas computacionais para alguns métodos de análise de decis/Éo com múltiplos objetivos: Ponderaç/Éo Aditiva, Compromising Programming, Electre-I, y Electre-II*. "Software para microcomputadores. Brasília: Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília; 1996.
- Souza, M.A.A. *Análise de decis/Éo com múltiplos objetivos*. Brasília: Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília; 1994.
- Souza, M.A.A. *Methodology for selection of wastewater treatment processes*. Ph.D Thesis. Birmingham: School of Civil Engineering, University of Birmingham; 1992.
- Souza, M.A.A.; Forster, C.F. *Metodologias para seleç/Éo de processos de tratamento de águas residuárias*. *Engenharia Sanitária y Ambiental (ABES/Brasil)* 1(2):19-31; jun. 1996.
- Szidarovsky, F.; Duckstein, L.; Bogardi, Y. Multiobjective management of mining under water hazard by games theory. *European Journal of Operations Research* 15(2):251-258; 1984.
- Tecle, A.; Fogel, M.; Duckstein, L. Multicriterion selection of wastewater management alternatives. *Journal of Wastewater Resources Planning and Management Division, Proceedings of ASCE* 114(4):383-398; jul. 1988.
- Willoughby, K.W. *Technology choice; a critique of the appropriate technology movement*. London: Intermediate Technology Publications; 1990.
- Wolf, P. *Auswahl-und Bewertungskriterien für Kleine Klarangem*. *Abwassertechnik* 38(2):5-7; 1987.
- Zeleny, M. *Comprising Programming*. En: J. L. Cochrane & M. Zeleny, Eds., *Multiple criteria decision making*. Columbia: University of South Carolina Press; 1973. pp. 263-301.