

00561



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

6

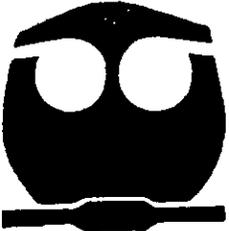
"EVALUACION DE UN PROYECTO DE  
REUTILIZACION DE AGUA TRATADA EN BAÑOS Y  
RIEGO DE AREAS VERDES, PARA LA INDUSTRIA  
ALIMENTARIA"

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
MAESTRO EN ADMINISTRACION INDUSTRIAL

P R E S E N T A :

DAGOBERTO MARIN MARIN



292892

MAYO 2001



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 está 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.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**



**“EVALUACIÓN DE UN PROYECTO DE  
REUTILIZACIÓN DE AGUA TRATADA  
EN BAÑOS Y RIEGÓ DE ÁREAS VERDES,  
PARA LA INDUSTRIA ALIMENTARIA”**

**ALUMNO:**

**DAGOBERTO MARIN MARIN**

**ADMINISTRACIÓN INDUSTRIAL**

**(1996-1999)**

# AGRADECIMIENTOS

## A MI ESPOSA

### TU ERES MI INSPIRACION

Fuente de inspiración, que me provoca alegría  
quisiera tocarte una canción, en el cerro Santa Lucía  
los poetas callamos nuestros sentimientos  
nos ocultamos tras una apariencia misteriosa  
bella flor del campo, tu abres la puerta de la carroza.

Sólo disfrutar de ti, sólo pensar en ti  
es lo que permite a estos versos  
entregar su fuerza milagrosa.

Fuente de inspiración, que me provoca timidez  
quisiera alzar la voz y aplaudir tu madurez  
nada de esto existiría  
sin tu comprensión y alegría  
me enseñas amar la poesía  
para entregar mis fantasías.

Fuente de inspiración, que me provoca simpatía  
no puedo dejar de admirar tu belleza y rebeldía  
cada palabra de este verso es un honor  
frente a la dama que entrega su corazón.

Gracias por mostrarme a Neruda  
fuente inagotable de cultura  
estos versos con amor  
para una hermosa flor.

## A MI HIJO

### CARTA DE UN HIJO

Ayer fue el día más triste de mi vida: enterré a mi madre. Cuando mire su dulce y adorable cara y su cabello plateado por el tiempo, me di cuenta que esa sería la última vez que la vería. Muchos pensamientos vinieron entonces a mi mente:

Cuando por las tardes o las noches no teníamos quien no s cuidara a los niños, acudíamos a mi madre porque no queríamos perdernos la función de cine o la fiesta en casa del amigo. Ella nunca se negó, jamás no digo que tenía otros planes o yo no quise darme cuenta.

En una ocasión me prometí comprar un boleto extra y llevarla a ver las películas que le gustaban. Pero nunca compré el boleto. Una vez nos encontramos en la panadería y vi que su suéter estaba un poco desteñido y viejo. Entonces pensé que debería llevarla al centro y comprarle uno nuevo. Sabía que aunque ella lo necesitaba, nunca me lo pediría, así era ella. Pero siempre tuve otras cosas que hacer y mi madre siguió con su suéter viejo.

Recuerdo su último cumpleaños. Le mandamos unas azuleas blancas bellísimas con una nota que decía:

"lamentamos no poder estar contigo en esta fecha, pero con estas flores te enviamos nuestro amor".

Esa tarde había un programa de televisión muy importante y por la noche estábamos invitados a una fiesta. Y recuerdo la última vez que vi a mi madre viva, fue en la boda de un primo, se veía más viejecita y cansada. Entonces pensé en mandarla a unas vacaciones con su hermano en la costa. Que se asoleara un poco para que no se viera tan pálida. Pero nunca lo hice, siempre tuve supuestamente cosas más importantes que hacer. Si yo pudiera regresar las hojas del almanaque, le compraría todos los suéteres del mundo, la llevaría al cine y pasaría todos los cumpleaños a su lado. Si yo pudiera regresar en el tiempo la mandaría a ver a su hermano y a todos los sitios que quisiera ir. Pero es muy tarde ya. Ella está en el cielo y yo estoy aquí enfermo del corazón por todas las oportunidades perdidas.

Que diferente hubiera sido si hubiera leído una carta como está.

## A MI MADRE

### EL COSTO DEL AMOR

Una tarde, un pequeño se acercó a su madre que preparaba la cena en la cocina y le entregó una hoja de papel en el que había escrito algo.

Después de secarse las manos y quitarse el delantal, ella leyó lo que decía:	
Cortar el césped del jardín .....	\$ 3.00
Por limpiar mi cuarto esta semana .....	\$ 1.00
Por ir a la tienda en tu lugar .....	\$ 2.00
Por cuidar a mi hermanito mientras ibas de compras .....	\$ 2.00
Por sacar la basura toda la semana .....	\$ 1.00
Por tener una libreta con buenas notas .....	\$ 5.00
Por limpiar y barrer el patio .....	\$ 2.00
TOTAL ADEUDADO .....	\$16.00

Bueno, el caso es que la madre lo miró con fijeza; el aguardaba lleno de expectativa. Por último, la madre tomó el lápiz y al reverso de la hoja escribió:

Por llevarte nueve meses en mi vientro y darte la vida..... NADA  
Por tantas noches de desvelos, curarte, y rezar por ti..... NADA  
Por los problemas y el llanto que me hayas causado ..... NADA  
Por el miedo y las preocupaciones que me esperan ..... NADA  
Por comidas, ropa y juguetes ..... NADA  
Por limpiar la nariz ..... NADA  
COSTO TOTAL DE MI AMOR: ..... NADA

Cuando el niño terminó de leer lo que había escrito su madre, tenía los ojos llenos de lágrimas. La miró a los ojos y le dijo: ¡Te quiero mucho, mamá! Luego tomó el lapicero y escribió con letra muy grande: TOTALMENTE PAGADO.

#### A MI PADRE

##### FABRICANDO UN PADRE

En el taller más extraño y sublime conocido, se reunieron los grandes arquitectos, los afamados carpinteros y los mejores obreros celestiales que debían fabricar al padre perfecto.

"Debe ser fuerte", comentó uno, "También, debe ser dulce", comentó otro experto, "Debe tener firmeza y mansedumbre, tiene que saber dar buenos consejos", "Debe ser justo en momentos decisivos; alegre y comprensivo en los momentos tiernos".

"¿Cómo es posible -interrogó un obrero- poner tal cantidad de cosas en un solo cuerpo?."

"Es fácil", contestó el ingeniero. "Sólo tenemos que crear un hombre con la fuerza del hierro y que tenga corazón de caramelo".

Todos vieron ante la ocurrencia y se escuchó una voz (era el Maestro, dueño del taller del cielo) "Veo que al fin comienzan" -comentó sonriendo- "No es fácil la tarea, es cierto, pero no es imposible si ponen interés y amor en ello".

Y tomando en sus manos un puñado de tierra, comenzó a darle forma.

"¿Tierra? -preguntó sorprendido uno de los arquitectos- ¡Pensé que lo fabricaríamos de mármol, o marfil o piedras preciosas!".

"Este material es necesario para que sea humilde -le contestó el Maestro- Y extendiendo su mano sacó oro de las estrellas y lo añadió a la masa.

"Esto es para que en las pruebas brille y se mantenga firme".

Agregó a todo aquello, amor, sabiduría. Le dio forma, le sopló de su aliento y cobró vida, pero... faltaba algo, pues en su pecho le quedaba un hueco.

"¿Y qué pondrás ahí?" -preguntó uno de los obreros-.

Y abriendo su propio pecho, y ante los ojos asombrados de aquellos arquitectos, sacó su corazón, y le arrancó un pedazo, y lo puso en el centro de aquel hueco. Dos lágrimas salieron de sus ojos mientras volvía a su lugar su corazón ensangrentado.

"¿Por qué has hecho tal cosa?" -le interrogó un ángel obrero y aún sangrando, le contestó el Maestro: -"Esto hará que me busque en momentos de angustia, que sea justo y recto, que perdone y corrija con paciencia, y sobre todo, que esté dispuesto aún al sacrificio por los suyos y que dirija a sus hijos con su ejemplo, por que al final de su largo trabajo, cuando haya terminado su tarea de padre allá en la tierra, regresará hasta mí. Y satisfecho por su buena labor, yo le daré un lugar aquí en mi reino.

#### A MIS HERMANOS

He aprendido que no es lo que tienes en la vida sino a quien tienes lo que cuenta. He aprendido que te la puedes arreglar con encanto pero tan sólo por quince minutos. De allí en adelante, es mejor que sepas algo.

He aprendido que no te debes comparar con lo mejor que otros pueden hacer sino con lo que tú mejor puedes hacer.

He aprendido que no es lo que le pasa a la gente lo que es importante. Es lo que hacen al respecto.

He aprendido que siempre debes despedirte de los seres amados con palabras de amor. Podría ser la última vez que los veas.

#### A MIS AMIGOS

He aprendido que mi mejor amigo y yo podemos hacer de todo o nada y pasarlo bien.

He aprendido que una amistad verdadera continua creciendo aún en medio de una gran distancia. Igual sucede con el amor verdadero.

He aprendido que no debemos cambiar de amigos si entendemos que los amigos cambian.

He aprendido que tu familia no siempre estará allí para ti. Pareciera extraño, pero gente que no está vinculada a ti puede cuidarte y amarte y ensañarte a confiar en las personas otra vez. Las familias no son biológicas.

He aprendido que no importa que bueno es un amigo puede herirte de vez en cuando y debes perdonarlo por eso.

He aprendido que aún cuando piensas que no tienes nada más para dar cuando un amigo llora en ti, tú encontrarás la fuerza para ayudarlo.

El amigo leal se ríe con tus chistes, aunque no sean tan buenos, y se condeue de tus problemas aunque no sean tan graves.

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>CAPÍTULO I "CONTAMINACIÓN DEL AGUA"</b>	
<b>I.1 La Naturaleza del agua</b>	6
<b>I.2 Fuentes de agua</b>	8
I.2.1 El ciclo del agua	8
I.2.2 Aguas subterráneas	10
I.2.3 Manto acuifero o manto freático	10
I.2.4 La lluvia y el bosque	12
I.2.5 El nacimiento de un río	12
I.2.6 Cuencas hidrológicas	12
I.2.7 Captación de aguas	13
I.2.8 Explotación de pantanos de valles interiores	13
I.2.9 Sistemas pequeños de bombeo	13
I.2.10 Riego periurbano	14
I.2.11 Problemas relacionados con el agua a nivel mundial	14
<b>I.3 Usos del agua</b>	16
I.3.1 Función del agua	16
I.3.2 Usos del agua	18
<b>I.4 Tipos de contaminantes</b>	22
I.4.1 Principales fuentes contaminantes del agua	22
I.4.2 Contaminación del agua	26
I.4.3 La ruta de los contaminantes del agua	27
<b>I.5 Materiales contaminantes</b>	27
I.5.1 Materia soluble	27
I.5.2 Materia insoluble	28
I.5.3 Clasificación de materiales contaminantes según la EPA	28

## CAPÍTULO II "TRATAMIENTO DEL AGUA"

<b>II.1</b>	<b>Evaluación de caudales y calidad de los desechos</b>	<b>38</b>
II.1.1	Caudales	38
II.1.2	Norma Oficial Mexicana DGN-AA-3-1975	39
II.1.2.A	<i>Definiciones</i>	39
II.1.2.B	<i>Recipientes para el transporte y conservación de las muestras</i>	40
II.1.2.C	<i>Etiquetas para las muestras</i>	40
II.1.2.D	<i>Equipo de recolección de muestras</i>	41
II.1.2.E	<i>Procedimiento</i>	41
II.1.3	Desechos (características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales)	42
II.1.3.A	<i>Características físicas</i>	43
II.1.3.B	<i>Características químicas</i>	45
II.1.3.C	<i>Características biológicas</i>	53
<b>II.2</b>	<b>Tratamiento de aguas residuales industriales</b>	<b>55</b>
II.2.1	Pretratamiento y/o tratamiento primario	57
II.2.1.A	<i>Pretratamiento</i>	57
II.2.1.B	<i>Tratamiento primario</i>	62
II.2.2	Tratamiento secundario	71
II.2.3	Tratamiento terciario	73
II.2.4	Tratamiento de lodos	74
<b>II.3</b>	<b>Disposición final del agua tratada</b>	<b>76</b>
<b>II.4</b>	<b>Tratamiento de agua residual doméstica</b>	<b>76</b>
II.4.1	Fosa séptica	76
<b>II.5</b>	<b>Minimización de residuos en empresas industriales</b>	<b>77</b>
II.5.1	Planificación y organización para la minimización de residuos	77
II.5.2	Clasificación e identificación de corrientes prioritarias	78

II.5.3	Identificación de opciones de minimización	78
II.5.4	Proyectos y acciones	78
<b>CAPÍTULO III “COMISION NACIONAL DEL AGUA”</b>		
<b>III.1</b>	<b>Función</b>	80
<b>III.2</b>	<b>Organigrama</b>	81
III.2.1	Subdirección general de administración del agua	81
III.2.2	Subdirección general de construcción	81
III.2.3	Subdirección general técnica	81
<b>III.3</b>	<b>Leyes, códigos y reglamentos</b>	83
III.3.1	Evolución de la ley federal de derechos en materia de agua	83
III.3.2	Evolución de la ley federal de derechos en materia de agua	83
III.3.3	Comité consultivo nacional de normalización del sector agua	85
<b>III.4</b>	<b>Sitios relacionados con la Comisión Nacional del Agua</b>	88
III.4.1	Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca	88
III.4.2	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	88
III.4.3	Servicio Meteorológico Nacional	89
III.4.4	Organización Meteorológica Mundial	89
<b>III.5</b>	<b>Reutilización y reciclaje del agua</b>	89
III.5.1	Beneficios de la reutilización planificada del agua	92
III.5.2	Planificación de proyectos de reutilización de aguas residuales	93
<b>III.6</b>	<b>Tratamiento y reuso del agua en México</b>	95
<b>CAPÍTULO IV “EVALUACIÓN DEL PROYECTO (ESTUDIO DE FACTIBILIDAD)”</b>		
<b>IV.1</b>	<b>Teoría de evaluación de proyectos (estudios de factibilidad)</b>	99
IV.1.1	Propósito de evaluar proyectos	105
<b>IV.2</b>	<b>Evaluación técnica</b>	105
IV.2.1	Antecedentes	106
IV.2.2	Normas aplicables al proyecto	107
IV.2.2.A	<i>Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997</i>	107

IV.2.2.B	<i>Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996</i>	111
IV.2.2.C	<i>Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996</i>	122
IV.2.3	Objetivo y suposiciones clave del proyecto	129
IV.2.3.A	<i>Objetivo del proyecto</i>	129
IV.2.3.B	<i>Suposiciones clave del proyecto</i>	130
IV.2.4	Alcance de trabajo y bases de diseño	130
IV.2.4.A	<i>Descripción del proceso</i>	131
IV.2.4.B	<i>Determinación de la capacidad del sistema Hidroneumático</i>	133
IV.2.4.C	<i>Condiciones de entrada y salida del agua (sistema De desinfección con luz ultravioleta y filtros de carbón activado)</i>	137
IV.2.5	Isométrico	139
IV.2.6	Diagrama de Flujo de Proceso (alcance del proyecto)	140
IV.2.7	Diagrama de Flujo de Proceso (sistema completo)	141
IV.2.8	Diagrama de Tuberías e Instrumentación	142
IV.2.9	Arreglo de planta y equipo	143
IV.2.10	Programa de actividades (gráfica de Gantt)	144
<b>IV.3</b>	<b>Evaluación socioeconómica</b>	145
IV.3.1	Inversión total (costo del proyecto)	145
IV.3.1.A	<i>Costo del equipo</i>	145
IV.3.1.B	<i>Costo construcción</i>	146
IV.3.1.C	<i>Costo contingencias</i>	148
IV.3.1.D	<i>Inversión total</i>	148
IV.3.2	Beneficios	149
IV.3.2.A	<i>Costo del agua para tomas de uso no doméstico</i>	149
IV.3.2.B	<i>Beneficios</i>	150
IV.3.3	Costos de operación, mantenimiento y energía	151
IV.3.3.A	<i>Costos de operación</i>	151

IV.3.3.B	<i>Costos de mantenimiento</i>	151
IV.3.3.C	<i>Costos de energía</i>	151
IV.3.4	Beneficio social	151
<b>IV.4</b>	<b>Análisis financiero</b>	152
IV.4.1	Estado de resultados y flujo de entrada de efectivo	152
IV.4.2	Período de recuperación	153
IV.4.3	Tasa interna de rendimiento	153
IV.4.4	Valor presente neto	155
<b>IV.5</b>	<b>Análisis de sensibilidad</b>	156
IV.5.1	Disminución y/o aumento de la inversión total	156
IV.5.1.A	<i>Estado de resultados y flujo de entrada de efectivo</i>	157
IV.5.1.B	<i>Período de recuperación</i>	159
IV.5.1.C	<i>Tasa interna de rendimiento</i>	160
IV.5.1.D	<i>Valor presente neto</i>	161
IV.5.1.E	<i>Gráfica de sensibilidad del período de recuperación, tasa interna de retorno y valor presente neto</i>	162
IV.5.2	Disminución y/o aumento de los beneficios	163
IV.5.2.A	<i>Estado de resultados y flujo de entrada de efectivo</i>	164
IV.5.2.B	<i>Período de recuperación</i>	166
IV.5.2.C	<i>Tasa interna de rendimiento</i>	167
IV.5.2.D	<i>Valor presente neto</i>	168
IV.5.2.E	<i>Gráfica de sensibilidad del período de recuperación, tasa interna de retorno y valor presente neto</i>	169
 <b>CAPÍTULO V “RESUMEN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES”</b>		
<b>V.1</b>	<b>Resumen del proyecto y resultados</b>	170

<b>V.2 Conclusiones</b>	173
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	175
<b>ANEXOS</b>	178
<b>Tabla 1.</b> Valor presente de una anualidad de \$1, IF vap A	178
<b>Tabla 2.</b> Valor presente de \$1, IF vp P	180
<b>Tabla 3.</b> Equivalencia de los muebles sanitarios en unidades muebles	182
<b>Tabla 4.</b> Gastos en las derivaciones para muebles o aparatos de uso Público	182
<b>Tabla 5</b> Gastos probables en litros por segundo en función del número De unidades mueble método de Hunter	183

## INTRODUCCIÓN

En la industria de alimentos se tienen procesos de producción que generan una gran cantidad de desechos orgánicos, los cuales generalmente habían sido descargados como efluentes directamente al drenaje municipal. Los criterios de calidad del agua de los efluentes ya no son materia de arreglos locales entre las agencias reglamentadoras regionales y las industrias; se establecen por estatutos estatales y federales. Al considerar el tratamiento de un efluente para su descarga a una corriente o a un lago receptores, cada descarga de la planta debe considerarse en forma individual, ya que cada una requiere un permiso de descarga por separado de la Agencia de Protección Ambiental (EPA). Esto se debe a que las características de los efluentes varían mucho; aun plantas de la misma industria que tengan la misma capacidad y los mismos procesos pueden producir efluentes de calidad y cantidad sumamente diferentes. Esto puede deberse a diferencias en la composición de las materias primas, en las fuentes de abastecimiento de agua de la planta, en el uso del agua y en el reciclado, en la localización geográfica o en la antigüedad de la instalación. Por lo tanto, la mayoría de las empresas tratan de optimizar el manejo de los diferentes efluentes para cumplir con la normatividad ambiental.

Actualmente, la mayoría de las plantas procesadoras de alimentos cuentan con plantas de tratamiento de efluentes líquidos que pueden constar de los siguientes sistemas:

- Análisis de prefactibilidad en laboratorio.
- Simulación del proceso físico-químico en planta piloto.
- Recolección de efluentes líquidos en vehículos especiales.
- Controles de proceso en laboratorio propio.
- Separación de grasas y aceites.
- Tratamiento físico-químico por floculación y flotación.
- Tratamiento biológico por biorremediación (Clarificación Biológica).
- Tratamiento de lodos (Deshidratación de lodos, Floculantes).
- Tratamiento y disposición final de los barros químicos y biológicos.
- Desarrollo de procesos específicos para efluentes no convencionales.

De cualquier forma, de toda el agua tratada en México, sólo el 1% se reusa, es decir, el 99% del agua tratada se está enviando a los drenajes, lagos etc. Motivo por el cual se presenta un especial interés como tema de esta tesis la evaluación de un proyecto de reutilización de agua tratada en baños y riego de áreas verdes para la industria alimentaria. Se elige la industria alimentaria porque es la que más materia orgánica genera es decir, más niveles de materia orgánica, DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y DQO (demanda química de oxígeno) descarga a los drenajes. Es importante mencionar que el agua se debe potabilizar con cloro, si se pretende

reutilizar en baños, si es para otros servicios como riego de áreas verdes, se puede o no potabilizar, sin embargo se considera que la plata de tratamiento de aguas residuales existente en cualquier planta de la industria alimentaria incluye un sistema de inyección de cloro.

### **Objetivo**

Determinar el beneficio de reutilizar el agua tratada en baños, la cual actualmente se está descargando directamente al drenaje municipal, de igual forma se determinará si el proyecto de inversión es rentable o no, de acuerdo a los resultados que se obtengan de la tasa interna de retorno, valor presente neto y el periodo de recuperación de la inversión.

### **Contaminación del agua**

Todos necesitamos y vivimos gracias al agua, líquido vital cuya disponibilidad escasea por consumo indiscriminado, mala distribución, desperdicio y por la contaminación excesiva a la que está expuesta, aun sabiendo que sólo el 3% de la existente en el planeta puede usarla el ser humano.

El agua funciona como un portador y recolector de sustancias del aire, tierra y corrientes de agua, transportándolas sin cesar en el curso de su ciclo natural. Los materiales disueltos en el agua se absorben por microorganismos que habitan ríos, lagos y mares, purificándola. El agua que penetra en la tierra libera oxígeno disuelto en donde el aire apenas puede llegar, y al mismo tiempo es purificada por la cama del filtro natural volviéndose agua subterránea limpia. Tales procesos son llamados purificación natural.

Aguas de ríos y subterráneas, purificadas naturalmente, se emplean para usos industriales o domésticos. Para la industria, el agua es un recurso indispensable para un gran tipo de procesos de producción en donde sufre tanto transformaciones físicas como de calidad. El agua, después de ser usada, se descarga como un agua residual que contiene gran variedad de contaminantes naturales y artificiales. Se calcula que más del 90% de residuos generados por la industria se vierten en las aguas, por ello el agua que los contiene debe purificarse a un grado tolerable para devolverla a la naturaleza. Este es el propósito fundamental de los tratamientos de aguas residuales industriales y domésticas que busca proteger el ambiente natural y mantener la vida sana de seres humanos.

Existen restricciones legales, investigación y desarrollo de tecnología para tratamiento del agua y aguas residuales y para un mejoramiento continuo de procesos industriales para minimizar el agua residual.

El agua que se ha obtenido de forma barata y abundantemente en el pasado ahora se ha convertido en un recurso limitado y valioso, en el que hay que realizar fuertes inversiones para su mantenimiento y saneamiento, replanteándose así el compromiso de hacer un uso eficiente del agua, su conservación y reuso en aquellos casos donde no se requiere con calidad potable.

### **CONTAMINANTES**

- Naturales
- Actividades humanas
- Actividades industriales

### MATERIAL CONTAMINANTE

#### Materia soluble

(Calcio, cloruro, sílice, materia orgánica, sólidos disueltos totales, amoniaco, hierro, potasio, aluminio, zinc, acidez-alcalinidad, ciclos biológicos, reacciones redox).

#### Materia insoluble

(sólidos flotantes, sedimentables o suspendidos, algas, bacterias, hongos).

### Proceso de reutilización de aguas residuales

Los procesos de tratamiento de aguas residuales se dividen en tres clases principalmente:

- 1.- Tratamiento físico.
- 2.- Tratamiento químico.
- 3.- Tratamiento biológico.

Estos métodos de tratamiento son usados de acuerdo al tipo, calidad, y concentración, de las sustancias a ser removidas y con frecuencia son aplicados en combinación.

### LA INDUSTRIA DE TRATAMIENTO DE AGUA

SITUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN MEXICO	CAUSAS PRINCIPALES
17% no operan	Necesitan rehabilitación
80% trabajan a 60 u 80% de su capacidad	Falta de recursos
3% cumplen su meta	Falta de capacitación
Sólo se trata el 17.5% del total de aguas residuales en México	Falta de concientización
	No hay control adecuado
Del agua tratada, sólo el 1% se reusa.	Faltan empresas que proporcionen servicio adecuado

Algunos contaminantes son descompuestos directamente en gases y material celular. Sin embargo, los contaminantes generalmente se descargan como lodo separado durante el tratamiento del agua, lo que implica un tratamiento del lodo para su disposición racional o reuso sin destruir el medio ambiente.

En el campo de la tecnología de tratamiento de agua se han desarrollado diferentes procedimientos para aplicarse prácticamente en cualquier situación; la cuestión es seleccionar el más adecuado para cada caso específico y lograr su justificación dependiendo del objetivo final deseado.

La situación en materia de infraestructura para la prevención y control de la contaminación del agua en México no es muy buena, tanto por el limitado número de

plantas de tratamiento existentes, como por la poca eficiencia que a veces se obtiene de ellas. Las razones de esto son diversas, pero las más comunes son el mal estado de las plantas, falta de asesoría técnica y mínimas inversiones económicas.

En la actualidad, donde día con día toma mayor importancia la protección ambiental y las industrias recortan las áreas para el tratamiento de desechos, la demanda de tecnologías ha crecido hacia aquellas que minimicen las descargas de aguas residuales al medio ambiente.

### **Hipótesis**

La cantidad de agua que no se estaría descargando al drenaje municipal traería consigo un gran beneficio (ahorro) por el precio por metro cúbico de agua que dicha empresa dejaría de pagar, es decir se podrían recuperar costos por dejar de consumir agua del municipio o pozo, con lo cuál el proyecto de inversión se pagaría en menos de 5 años, a una tasa interna de retorno superior a 30%, tomando como ejemplo una planta X de la industria alimenticia. Al fomentar el reúso del agua residual tratada en aplicaciones que ameritan un grado de potabilidad (baños) o que no ameritan ese grado (riego de áreas verdes, reposición de canales y lagos recreativos) se puede considerar una estrategia para disminuir la problemática de abastecimiento de agua en la ciudad de México, que cada vez se vuelve más costoso y complejo.

### **Metodología**

El proyecto de inversión que se pretende evaluar, incluye únicamente la parte de reutilización del agua residual tratada proveniente de la planta de tratamiento. Se considera indispensable que toda empresa de alimentos cuente con una planta de tratamiento de efluentes para cumplir con las normas ambientales que imperan en México.

Esa agua tratada será reutilizada de dos formas: a) Agua tratada proveniente de un carcamo de agua bruta (existente en la planta) para riego de áreas verdes. b) Agua tratada filtrada (filtros de carbón activado), radiación ultravioleta y clorada que se aprovechará en baños.

La tesis incluye dos partes: a) una parte teórica, b) un caso práctico (Estudio de Factibilidad).

La parte teórica incluye los siguientes temas:

- La teoría de la contaminación del agua,
- Teoría del tratamiento de agua,
- Funciones y reglamentos de la Comisión Nacional del Agua y los sitios relacionados con está,
- Teoría de la reutilización del agua,
- El tratamiento y reutilización del agua en la Ciudad de México,
- Teoría de evaluación de proyectos.

La parte práctica (Estudio de Factibilidad) incluye los siguientes puntos:

- Evaluación técnica
- Evaluación económica

Inversión total

Determinación de beneficios

- Análisis financiero

Inflación a 6 años por métodos econométricos principalmente

Estado de resultados

Flujo de caja

Valor presente neto, tasa interna de retorno y periodo de recuperación de la inversión

- Análisis de sensibilidad
- Conclusiones y resultados.

Por último la tesis es complementada con un espacio para anexos y bibliografía.

## CAPÍTULO I

### CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Tres cuartas partes de la superficie terrestre se encuentran cubiertas de agua. Se dice que la vida se inició en el agua. Una vez que las cosas vivas se volvieron más complejas y especializadas, éstas abandonaron el mar y se asentaron en la tierra, tomando el agua como componente principal de sus cuerpos. El agua es sinónimo de vida.

El agua es la molécula más abundante en los seres vivos, y representa entre el 70 y 90% del peso de la mayor parte de los organismos. El contenido varía de una especie a otra; también es función de la edad del individuo (su % disminuye al aumentar la edad) y el tipo de tejido.

Durante la evolución de la vida, los organismos se han adaptado al ambiente acuoso y han desarrollado sistemas que les permiten aprovechar las inusitadas propiedades del agua.

#### I.1 La Naturaleza del agua

El papel primordial del agua en el metabolismo de los seres vivos se debe a sus propiedades físicas y químicas, derivadas de la estructura molecular.

A temperatura ambiente es líquida, al contrario de lo que cabría esperar, ya que otras moléculas de parecido peso molecular ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , etc.) son gases. Este comportamiento se debe a que los dos electrones de los dos hidrógenos están desplazados hacia el átomo de oxígeno, por lo que en la molécula aparece un polo negativo, donde está el oxígeno, debido a la mayor densidad electrónica, y dos polos positivos, donde están los dos hidrógenos, debido a la menor densidad electrónica. La molécula de agua son dipolos. Entre los dipolos del agua se establecen fuerzas de atracción llamados puentes de hidrógeno, formándose grupos de 3-9 moléculas. Con ello se consiguen pesos moleculares elevados y el agua se comporta como un líquido.

Estas agrupaciones, le confieren al agua sus propiedades de fluido, en realidad, coexisten estos pequeños polímeros de agua con moléculas aisladas que rellenan los huecos.

Cuando un compuesto soluble en agua es colocado en ésta, desaparece rápidamente en el líquido. Por el contrario, si no es soluble, entonces permanece donde se le coloca. Si posee una solubilidad intermedia, entonces se puede dispersar sobre la superficie del agua hasta que se vuelve invisiblemente delgada.

Lo que determina el comportamiento de un compuesto en una solución son las complejas interacciones de tipo eléctrico en las superficies de las moléculas. Por ejemplo, la solubilidad de un compuesto químico en agua depende de la magnitud de las interacciones de unión entre sus moléculas y las del agua. El grado de solubilidad resulta de una competencia entre los enlaces que mantienen a cada molécula unida y las oportunidades alternas de unirse con la otra sustancia.

La vida en la Tierra no existiría sin esta variabilidad. Los compuestos orgánicos insolubles tienen grupos componentes de átomos que forman pocas uniones (ninguna en algunos casos) con moléculas de agua. Se dice que tales grupos son hidrofóbicos, al igual que la molécula que tenga tales grupos. Este término es confuso ya que implica una repulsión entre la molécula (o el grupo) y el agua. El efecto no surge de la repulsión sino del hecho de que la unión es tan débil que la cohesión del agua mantiene afuera al compuesto hidrofóbico.

Sin embargo, muchas moléculas orgánicas son parcialmente solubles en agua debido a que por lo menos algunos de sus grupos atómicos se unen al agua. Mientras más de estos grupos tenga el compuesto, será más soluble.

Los enlaces por puentes de hidrógeno son, aproximadamente, 1/20 más débiles que los enlaces covalentes, el hecho de que alrededor de a cada molécula de agua se dispongan otras moléculas unidas por puentes de hidrógeno, permite que se forme en el seno del agua una estructura ordenada de tipo reticular, responsable en gran parte del comportamiento anómalo y de sus propiedades físicas y químicas. El agua se presenta en tres estados: Sólida líquida o gaseosa.

El agua no posee ningún color (incolore), no tiene olor (inodoro) y tampoco algún sabor (insípido). Este líquido tiene densidad, que es la relación de la masa entre el volumen. De ahí que un kilo de agua ocupe el volumen de un litro. Al igual que el aire, el agua tiene una fuerza con la que empuja, esto se llama presión.

La temperatura y la presión determinan los diferentes estados del agua. Así, a una temperatura de 0° C se produce la congelación y el agua se convierte en hielo. En cambio, a una temperatura de 100° C, el líquido se transforma en vapor, este proceso se llama ebullición. Puede aparecer como un líquido que fluye, o un gas que sube por la atmósfera o un sólido quieto guardado en el refrigerador. Cuando el sol calienta el agua de los mares, ríos o cualquier lugar donde haya humedad, ésta se convierte en vapor de agua. Algo similar ocurre cuando se calienta el agua en una cafetera: al bullir sale un humo blanco, que es agua convertida en vapor<sup>1</sup>.

El agua posee una tensión superficial producida por la fuerte unión entre moléculas.

## Propiedades del agua

### 1. Acción disolvente

El agua es el líquido que más sustancias disuelve, por eso decimos que es el disolvente universal. Esta propiedad, tal vez la más importante para la vida, se debe a su capacidad para formar puentes de hidrógeno con otras sustancias que pueden presentar grupos polares o con carga iónica (alcoholes, azúcares con grupos R-OH, aminoácidos y proteínas con grupos que presentan cargas + y -, lo que da lugar a

<sup>1</sup> Kemmer Frank, Manual del Agua, Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones, 1a Edición, Mc Graw Hill, 1979, pp. 2-7.

disoluciones moleculares. También las moléculas de agua pueden disolver a sustancias salinas que se disocian formando disoluciones iónicas.

En el caso de las disoluciones iónicas los iones de las sales son atraídos por los dipolos del agua, quedando "atrapados" y recubiertos de moléculas de agua en forma de iones hidratados o solvatados.

La capacidad disolvente es la responsable de dos funciones:

- a. Medio donde ocurren las reacciones del metabolismo
- b. Sistemas de transporte

## 2. Elevada fuerza de cohesión

Los puentes de hidrógeno mantienen las moléculas de agua fuertemente unidas, formando una estructura compacta que la convierte en un líquido casi incomprensible. Al no poder comprimirse puede funcionar en algunos animales como un esqueleto hidrostático, como ocurre en algunos gusanos perforadores capaces de agujerear la roca mediante la presión generada por sus líquidos internos.

## 3. Elevada fuerza de adhesión

Esta fuerza está también en relación con los puentes de hidrógeno que se establecen entre las moléculas de agua y otras moléculas polares y es responsable, junto con la cohesión del llamado fenómeno de la capilaridad. Cuando se introduce un capilar en un recipiente con agua, ésta asciende por el capilar como si trepase agarrándose por las paredes, hasta alcanzar un nivel superior al del recipiente, donde la presión que ejerce la columna de agua, se equilibra con la presión capilar. A este fenómeno se debe en parte la ascensión de la savia bruta desde las raíces hasta las hojas, a través de los vasos leñosos.

## 4. Gran calor específico

También esta propiedad está en relación con los puentes de hidrógeno que se forman entre las moléculas de agua. El agua puede absorber grandes cantidades de "calor" que utiliza para romper los puentes de hidrógeno por lo que la temperatura se eleva muy lentamente. Esto permite que el citoplasma acuoso sirva de protección ante los cambios de temperatura. Así se mantiene la temperatura constante.

## 5. Elevado calor de vaporización

Sirve el mismo razonamiento, también los puentes de hidrógeno son los responsables de esta propiedad. Para evaporar el agua, primero hay que romper los puentes y posteriormente dotar a las moléculas de agua de la suficiente energía cinética para pasar de la fase líquida a la gaseosa. Para evaporar un gramo de agua se precisan 540 calorías, a una temperatura de 20° C y presión atmosférica.

## 1.2 Fuentes de agua

### 1.2.1 El ciclo del agua

La Tierra es un planeta muy especial que puede tener el agua en sus tres estados: líquido, sólido y gaseoso. Esto ocurre porque la distancia que la separa del Sol es la perfecta.

Si el Sol se situara más cerca toda el agua se calentaría, transformándose en vapor. Por el contrario, si el sol estuviera a una distancia mayor de nuestro planeta, sería muy frío y toda el agua estaría congelada<sup>2</sup>.

El movimiento continuo del agua desde la tierra hasta la atmósfera y su regreso a la tierra, se llama ciclo hidrológico. Este ciclo lo realiza el agua pasando por sus tres estados, a través de los procesos de evaporación, condensación y precipitación.

El ciclo del agua es completo y continuo y ha permitido que la Tierra tenga la misma cantidad de agua desde hace miles de años. El Sol y la fuerza de gravedad dan movimiento al agua, sin ellos el ciclo no podría realizarse. Ambos hacen las veces de una gran bomba natural que constantemente impulsa y hace correr el agua.

Al caer a la tierra el agua de lluvia puede seguir varios caminos:

- Evaporarse: es decir, volver a la atmósfera en forma de vapor.
- Correr sobre la superficie: Esto ocurre si el suelo no absorbe el exceso de agua. Estas aguas se llaman aguas de escorrentía.
- Acumularse en zonas más bajas del terreno: Estas aguas formarán lagunas, pantanos, charcas y otras formas de aguas estancadas.
- Penetrar en el suelo: En este caso el suelo absorbe el agua (suelo permeable). El agua se filtra hacia las capas más profundas de la tierra, acumulándose en forma de agua subterránea. Parte del agua que penetra en el suelo es absorbida por las raíces de las plantas. Las plantas a su vez devuelven el agua a la atmósfera por evapotranspiración.



Figura 1.1 El ciclo hidrológico del agua

<sup>2</sup> Kemmer Frank, Manual del Agua, Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones, la Edición, Mc Graw Hill, 1979, pp. 1.

### 1.2.2 Aguas subterráneas

El agua que penetra a pisos más profundos del suelo se almacena en forma de aguas subterráneas; estos son depósitos naturales que originan los manantiales u ojos de agua y pueden ser aprovechadas perforando pozos.

Las aguas subterráneas pueden permanecer almacenadas por largos periodos o bien pueden estar en movimiento.

Las aguas subterráneas en movimiento se llaman aguas frías. En la naturaleza el agua subterránea es muy importante porque alimenta a los ríos, incluso en época seca.

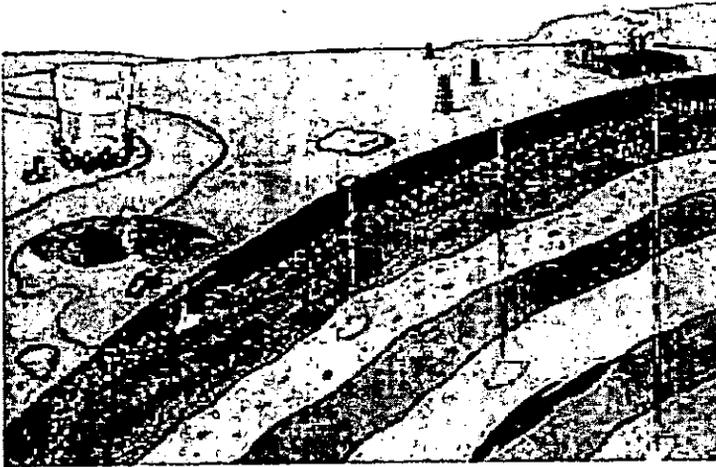


Figura 1.2 Aguas subterráneas.

### 1.2.3 Manto acuífero o manto freático

Las rocas que se encuentran bajo la superficie del suelo pueden ser permeables o impermeables. Son permeables si absorben rápidamente el agua que se penetra en el suelo. Son impermeables si impiden el paso del agua, es decir, detienen la filtración.

Las rocas permeables absorben el agua de lluvia y poco a poco se van llenando. Al llenarse completamente se dice que están saturadas. Las rocas permeables saturadas forman el manto acuífero o manto freático.

En los acuíferos, como corrientemente se llama al manto, se almacenan las aguas subterráneas. Para esto, tienen bajo las rocas porosas, una capa inferior de rocas impermeables que impiden el paso del agua deteniéndola y ayudando a que se almacene.

La formación del manto freático está influida por:

- La cantidad de lluvia que cae en la región.
- El tipo de suelo; un suelo adecuado absorbe bien el agua.

- La vegetación que cubre el suelo. Los restos vegetales forman al acumularse un manto que ayudara a absorber el agua.

Se puede presentar la utilización de acuíferos de poca profundidad. El término acuífero de poca profundidad se refiere a la capa freática en la que el agua es accesible utilizando métodos locales de construcción de pozos y técnicas de bajo costo tales como los pozos perforados con inyección de agua, los pozos perforados a mano y puntos de agua. El agua para el riego se extrae con bombas centrífugas colocadas al nivel del suelo o en un foso cercano. Las ventajas de los acuíferos poco profundos para el riego en pequeña escala son múltiples: fácil acceso al agua como resultado de costos de capital bajos, lo que facilita la inversión privada de individuos o pequeños grupos de agricultores; no es necesario transportar el agua a grandes distancias; plena dependencia de la naturaleza para almacenar y transportar el agua sólo con una intervención limitada; disponibilidad generalizada del recurso, incluso en zonas semiáridas, sobre todo en los depósitos aluviales de los valles pero también en las rocas fracturadas. Las lluvias y avenidas anuales contribuyen a recargar el acuífero y con frecuencia puede aumentarse artificialmente esta recarga creando pequeñas estructuras que permiten la filtración del agua.

La explotación de los acuíferos de poca profundidad puede ir asociado con el desarrollo de los valles interiores, ya que la inundación de la llanura durante la temporada de lluvias e inmediatamente después de ésta, facilita el almacenamiento del agua subterránea, que puede utilizarse fácilmente durante la estación seca.

Entre los obstáculos a la explotación de estos acuíferos cabe citar una información insuficiente sobre la extensión y el rendimiento de los acuíferos. La explotación de estos acuíferos en las rocas fracturadas exige técnicas especiales, tales como las de los pozos horizontales. Un problema difícil es la gestión de los acuíferos de poca profundidad para evitar una extracción excesiva y asegurar la igualdad de acceso.

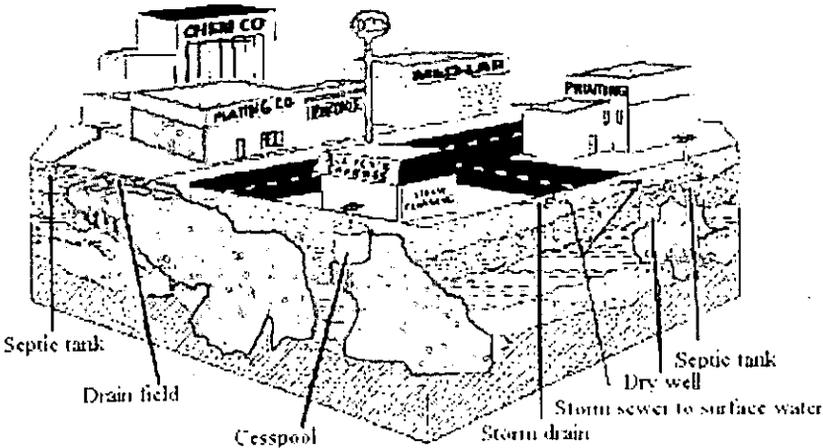


Figura 1.3 Explotación de los mantos acuíferos en la industria.

#### 1.2.4 La lluvia y el bosque

Las plantas de un bosque por medio de sus raíces absorben cierta cantidad de agua de lluvia, acumulada en el suelo. Esta agua sube hasta el follaje y aquí, a través de sus hojas, parte de ella se transforma en vapor al recibir el calor del sol.

De esta forma las plantas devuelven a la atmósfera, en forma de vapor, mucha del agua que toman del suelo. Este proceso se llama evapotranspiración vegetal. Los bosques tropicales por evapotranspiración proporcionan a la atmósfera un 50% del agua que cae en forma de lluvia. La evatranspiración del bosque permite que el exceso de agua sea devuelto a la atmósfera.

Si cortamos los árboles, el agua de lluvia no absorbida va a correr por el suelo.

En un terreno sin plantas, el agua que corre en grandes cantidades después de un aguacero se va llevando poco a poco el suelo. Si el terreno es inclinado, como en las montañas y cerros, el lavado del suelo ocurre con mayor rapidez. Esta agua lodosa, generalmente, es arrasada hacia los ríos; por eso, después de una lluvia fuerte, los ríos llevan mucha agua de color chocolate. El manto vegetal evita la erosión, es decir, la pérdida de la capa superficial del suelo.

#### 1.2.5 El nacimiento de un río

El agua de lluvia que no penetra en el suelo, corre libremente por su superficie. En una región, como una montaña, esta agua corre pendiente abajo. En su recorrido, poco a poco, va desgastando el suelo y las rocas hasta formar una pequeña zanja o cauce por donde corre. En las zonas más altas, éstas zanjas se hacen profundas y se convierten en riachuelos o quebradas que se secan en verano.

Pero en la estación lluviosa, las aguas continúan desgastando la roca, haciendo la zanja cada vez más profunda. Así se forma el cauce de un río. En algunos casos el cauce se profundiza tanto que alcanza el sitio donde se almacenan las aguas subterráneas.

Las aguas subterráneas entonces pasan a alimentar el riachuelo convirtiéndolo en un río verdadero. En otros casos un río se forma al brotar las aguas subterráneas en forma de manantial a través de alguna grieta del terreno, o bien al desaguar una laguna o una zona pantanosa.

#### 1.2.6 Cuencas hidrológicas

Hay regiones en nuestro planeta que tienen la capacidad de recoger o recolectar, con mucha facilidad, las aguas que caen en forma de lluvia, granizo o nieve. Todas las aguas recogidas en esta región especial, llamada cuenca, se dirigen hacia un punto común: un río. Una cuenca está separada de otras cuencas por zonas más altas que limitan la cuenca. Estas zonas se llaman divisorias de agua.

Desde estas zonas de mayor altura, o divisorias, el terreno se va inclinando hasta llegar al cauce del río. Se dice que hay una pendiente hasta el cauce del río. Esta pendiente se llama vertiente.

La cuenca de un río necesita un suelo que absorba el agua de lluvia; el agua que penetra en el suelo es guardada en el manto acuífero en forma de agua subterránea. Estas aguas son las que alimentan los ríos, incluso en época seca.

Un suelo erosionado pierde la capacidad de absorber el agua de lluvia. Al no haber absorción, el agua llovida correrá sobre el suelo, lavándolo y arrastrando lodo hasta los ríos. Este proceso se llama escorrentía.

Cuando las lluvias son muy fuertes, el agua de escorrentía aumenta su caudal. Entonces, los ríos crecen mucho y hay grandes inundaciones.

Las cuencas de los ríos son zonas muy frágiles que deben protegerse; sólo así conservarán sus suelos en buen estado y los ríos con agua limpia y abundante.

### 1.2.7 Captación de aguas

La captación de aguas es una técnica antigua basada en un concepto simple: Recoger la escorrentía procedente de una cuenca de captación más grande y concentrar el agua en una zona de conservación más pequeña a fin de aumentar el contenido de humedad del suelo. Por otra parte, el agua de escorrentía puede almacenarse también en tanques, estanques y cisternas, para el consumo doméstico, para dar de beber al ganado o para el riego en pequeña escala. El agua de escorrentía puede recogerse de los techos y superficies de terrenos, así como de cursos de agua intermitentes o efímeros. En un contexto de escasez de agua, la captación aumenta la oferta porque, en otro caso, la mayor parte del agua recogida se evaporará en la superficie o por acción de la vegetación natural, o como consecuencia de avenidas.

No existen estimaciones fidedignas de todas las posibilidades que ofrece el desarrollo del sistema de captación de aguas. Sin embargo, hay pruebas suficientes para afirmar que los sistemas de zonas de captación medianas o pequeñas podrían desempeñar un papel importante en el aumento de la producción de alimentos en las zonas semiáridas. El proceso de desertificación muy extendido en estas regiones ha creado grandes superficies desnudas sumamente difíciles de repoblar con vegetación. Estas superficies rinden grandes cantidades de agua de escorrentía que podría utilizarse con sistemas medianos o microsistemas de captación de aguas, especialmente con sistemas de conductos en laderas para el riego de huertos.

### 1.2.8 Explotación de pantanos de valles interiores

Se define a los pantanos de valles interiores como las secciones superiores de un sistema de avenamiento fluvial, que abarca el fondo de los valles, sus límites hidromórficos y las llanuras inundables. Sus suelos están sumergidos o saturados durante una parte considerable del año.

Las estimaciones de la superficie total de los pantanos de valles interiores varían mucho debido a la falta de un método de clasificación universalmente aceptado. Además, la anchura de un pantano ribereño típico (con frecuencia inferior a 200 m) impide su detección en un mapa en pequeña escala. Se estima que en el África occidental se podría clasificar en esta categoría a una superficie de 20 a 50 millones de ha, que por lo tanto ofrece grandes posibilidades para aumentar la producción de alimentos gracias a la abundancia de sus recursos de agua. Podría contribuirse mucho a la seguridad alimentaria si se pudiera dedicar a la agricultura sólo una parte de los pantanos de valles interiores.

### 1.2.9 Sistemas pequeños de bombeo

La construcción de motores y bombas de poco costo y resistentes, y la mayor disponibilidad de combustibles o de energía eléctrica han revolucionado el riego en mayor grado que cualquiera otra innovación tecnológica o administrativa. En muchas

partes del mundo no resultaba económico regar grandes superficies mediante el riego por gravedad. Un caso de esta índole es el de la tierra de las riberas de grandes ríos en las que la construcción de estructuras de derivación no es factible por razones técnicas y económicas. El riego por bombeo puede utilizarse en estas tierras. Este riego es adecuado para las zonas donde el suministro de agua exige sólo el bombeo de unos pocos metros a partir de un canal o cualquier otra fuente hídrica.

Los Sistemas de bombeo son fáciles de instalar y de manejar. La experiencia ha demostrado que los Sistemas de bombeo utilizados con un pequeño número de agricultores que tienen pequeñas propiedades son más productivos en términos de rendimiento por hectárea y más eficientes en términos del uso del agua que los grandes proyectos de riego por gravedad.

#### 1.2.10 Riego periurbano

Se prevé que el proceso mundial de urbanización continuará y que el número de residentes urbanos probablemente se duplicará hasta llegar a 5 000 millones en el año 2 025. El crecimiento demográfico natural y las migraciones de poblaciones que son resultado de cambios climáticos o conflictos étnicos, son el origen de este crecimiento urbano mal organizado, que trae consigo problemas económicos, sociales y ambientales. Como ejemplo puede citarse al África occidental, durante mucho tiempo la región menos urbanizada del mundo, y que ahora es teatro de una explosión urbana: los residentes en las ciudades aumentaron una tasa del 4 por ciento en 1930, 14 por ciento en 1960, 40 por ciento en 1990 y probablemente superarán el 60 por ciento en el año 2020. El futuro crecimiento puede cambiar algo en relación con el entorno macroeconómico, pero podría ser aproximadamente de 4 a 5 por ciento en esta región.

La importancia económica, cada vez más difundida, del riego periurbano ha creado, en todos los niveles de producción, un incentivo para las inversiones de los operadores económicos privados. Por presión de fuerzas políticas y económicas, y alentadas por las organizaciones internacionales, se han desarrollado varias actividades en un esfuerzo por contribuir a organizar este nuevo sector de producción. Las ONG participan cada vez más en este proceso. Este movimiento cuenta con el apoyo de instituciones de crédito, que ahora hacen préstamos tanto a individuos como a grupos.

A pesar de sus éxitos y de su importancia cada vez mayor, el riego periurbano está sujeto todavía a múltiples obstáculos. Entre ellos cabe citar un acceso insuficiente a un agua limpia y los consiguientes problemas de salud; la incertidumbre acerca de la tenencia de la tierra; el bajo nivel de conocimientos técnicos; la presión cada vez mayor de las plagas y las dificultades de comercialización.

#### 1.2.11 Problemas relacionados con el agua a nivel mundial

El agua, es un recurso limitado. El gran volumen de agua contenida en los mares, en los casquetes de hielo y en los glaciares de la Antártida y de Groenlandia, así como en las profundidades subterráneas, no es accesible para poder utilizarla en la agricultura. El agua dulce destinada al consumo humano y a la agricultura procede básicamente de las precipitaciones que recibe la tierra. Sin embargo, la cantidad de agua que se precipita desde la atmósfera no puede ser mayor que la que se evapora en la superficie de la tierra y el agua, incluido el mar. El agua se recicla constantemente como consecuencia de la evaporación producida por la energía solar, y las lluvias y el caudal de los ríos dependen del ciclo anual de las estaciones.

Las precipitaciones anuales sobre la tierra son, en promedio, de 110 000 km<sup>3</sup>, de los cuales 70 000 km<sup>3</sup> se evaporan y vuelven a la atmósfera. A la parte de agua que se evapora se le denomina en ocasiones «agua verde», que es el suministro de agua destinado a la vegetación que no recibe agua de riego, incluidos los bosques y espacios arbolados, las praderas y los cultivos de secano. Alrededor del 26 por ciento de esa «agua verde» (18 000 km<sup>3</sup>) es utilizado ya por los seres humanos, principalmente para la agricultura. El 74 por ciento restante (unos 52 000 km<sup>3</sup>) sirve para satisfacer las necesidades de agua de todas las demás especies y comunidades naturales asentadas en la tierra.

Una vez descontada la evaporación de las precipitaciones que caen sobre la tierra, quedan 40 000 km<sup>3</sup> anuales de agua dulce en lagos, embalses y cursos de agua, así como en los acuíferos, que registran un activo intercambio con las aguas superficiales. Esa «agua azul» está distribuida de forma desigual en el espacio y en el tiempo y tiene una presencia efímera ya que fluye sin cesar para desembocar en un sumidero de agua, como el mar o las marismas. Mientras permanece en la superficie está sometida a un proceso permanente de evaporación. No toda esa agua es accesible: los remotos cursos de agua del Amazonas, el Zaire-Congo y los ríos del Polo Norte, alejados de las zonas donde existe demanda de agua, acumulan aproximadamente el 20 por ciento de todo el volumen del «agua azul». Una gran parte de la escorrentía no está disponible cuando se necesita y es difícil de aprovechar, ya que se trata de agua de inundaciones.

Se estima que el caudal de agua realmente accesible para uso humano es de 9 000 km<sup>3</sup>, a los que hay que añadir 500 km<sup>3</sup> de escorrentía regulada por los embalses existentes, lo cual supone una escorrentía anual de 12 500 km<sup>3</sup>. La regulación del resto de las aguas azules (27 500 km<sup>3</sup>) para que esté disponible donde y cuando se necesita resulta difícil y costoso a causa del relieve, el alejamiento de los centros de población y desarrollo y las consecuencias sociales y medioambientales de la construcción de presas y otras obras para el aprovechamiento del agua.

El volumen de agua utilizado anualmente en la agricultura, la industria y los servicios municipales, y el correspondiente a las pérdidas registradas en los embalses es, en total, de 4 430 km<sup>3</sup>, de los cuales el 54 por ciento (2 285 km<sup>3</sup>) se utiliza para el consumo, mientras que el 46 por ciento restante vuelve a ser agua disponible, aunque de menor calidad. Una parte del agua superficial disponible debe seguir su curso natural para asegurar la dilución de los efluentes y salvaguardar la conservación del ecosistema acuático. El caudal exacto de agua que debe permanecer en los ríos varía en función de la época del año y de muchos otros factores específicos de cada una de las cuencas fluviales. A reserva de que se comprenda mejor el complejo funcionamiento ecológico de los ríos, esas necesidades se estiman en 2 350 km<sup>3</sup>. El agua apropiada para uso humano, incluida la que se capta y la que ha de permanecer en los cursos de agua, totaliza 6 780 km<sup>3</sup> anuales, es decir, el 54 por ciento de la escorrentía accesible.

Así pues, más de la mitad de los recursos hídricos a los que puede accederse fácilmente ya se están utilizando. Teniendo en cuenta las proyecciones relativas a la población y a la demanda de agua, las cifras de los recursos hídricos mundiales indican que la situación empeorará. Como el agua y la población están distribuidas de forma desigual, algunos países y regiones se encuentran ya en una situación crítica y zonas cada vez más extensas de todo el mundo están sufriendo las consecuencias de la escasez de agua dulce y está aumentando la competencia entre los usuarios.

### 1.3 Usos del agua en la Industria de Alimentos

La escasez creciente del agua, su irracional uso y explotación serán el problema prioritario que la generación presente deberá resolver a la brevedad. La relación conflictiva y poco virtuosa entre el uso del agua, su evaluación económica y su apreciación ecológica y ambiental nos está conduciendo a situaciones inmanejables y sin salida.

Históricamente al agua se le ha considerado como un don o un bien público casi gratuito. Ello nos lleva a la necesidad urgente de valorar económicamente, y en sus justos términos, al ambiente. Al fallar el mercado en hacer explícitos los valores y servicios que proveen los recursos naturales, éstos se ofrecen en forma "gratuita" generándose una diferencia entre la valoración privada y la social de los mismos.

En términos generales, en la cuestión del suministro de agua potable y en el manejo de las aguas residuales se ha actuado con un alto grado de pragmatismo sociopolítico, con una visión de corto alcance y, en el mejor de los casos, con criterios economistas. La cuestión ambiental y ecológica, así como de protección de cuencas y ecosistemas, ha sido bastante marginal. El problema no se ha analizado desde una perspectiva integradora: sociedad/economía espacial/recursos naturales escasos/desarrollo sostenible, etc. Ello configura un escenario de crisis de la gestión ambiental y la vulnerabilidad.

Más aun, la cuestión del agua no debe estudiarse desligado de los demás asuntos y problemas concernientes al medio y a la disponibilidad de los recursos naturales.

Las actividades económicas y el consumo se han beneficiado indiscriminadamente de los subsidios que otorgan tanto el medio como el uso de los recursos naturales. La mejor expresión de ello es la utilización del agua sin asignarle prácticamente ningún valor. Ello ha provocado externalidades negativas, así como la violación virtual de buena parte de los principios de la teoría y economía positiva. Así, el óptimo paretiano no se cumple, ni tampoco los preceptos de igualdad y equidad en las transacciones dentro de los circuitos de producción, distribución (de la renta y el ingreso), así como del consumo<sup>3</sup>.

Para el caso del uso del agua y su aprovechamiento de fuentes lejanas, los criterios y consideraciones de optimización regional están completamente ausentes. Aquí también la relación es bastante perversa, difícil y conflictiva. Esta relación debe analizarse entre las fuentes y disponibilidad del recurso, su propiedad, uso y consumo, con los valores que se paga por él.

A pesar de la dificultad para aplicar los precios de mercado (precio real) del patrimonio natural y de un recurso cada vez menos renovable como lo es el agua, históricamente desvalorizado y subestimado, es urgente su evaluación económica. Esto último, junto a la educación y participación social, serían la clave para evitar la catástrofe insuficientemente anunciada, y peor comprendida, que nos depara un futuro no tan lejano.

#### 1.3.1 Función del agua

El agua dulce es necesaria para todos los seres vivos: sin ella nuestro planeta no tendría vida. El agua dulce se encuentra en los ríos, lagos y lagunas, en aguas

<sup>3</sup> Kemmer Frank. Manual del Agua, Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. 1a Edición, Mc Graw Hill, 1979. pp. 28-1 - 28-15.

subterráneas y en la atmósfera. Sin embargo, de acuerdo al tamaño de nuestro mundo y a pesar de lo necesaria que es para la vida, en realidad tenemos muy poca agua dulce. El agua dulce es un poco menos de un 1% del total de agua de nuestro planeta.

Así, si pudiéramos verter en 100 baldes toda el agua del planeta, 96 baldes serían de agua salada (el agua de los océanos), 3 baldes serían de agua congelada (el hielo que cubre cumbres nevadas y casquetes polares) y solo un balde sería de agua dulce líquida.

El agua dulce es muy importante para nosotros: la utilizamos todos los días, durante toda nuestra vida. A pesar de que pueden vivir con solo 5 litros o menos de agua al día, generalmente necesitamos mucha más agua para conservarnos saludables. Se ha calculado que un hombre necesita diariamente 50 litros o más para satisfacer sus necesidades personales y del hogar. En países desarrollados se gasta mucho más: un promedio de 400 a 500 litros de agua por persona diariamente<sup>4</sup>.

Habíamos dicho que el agua dulce es una pequeñísima porción del agua de nuestro Planeta. Si comprendemos esto apreciaremos más este recurso tan valioso y tan escaso. Muchas veces suponemos que, como el agua de la tierra se mueve en ciclo continuo (ciclo hidrológico), siempre tendremos la misma cantidad de agua a nuestra disposición. Pero si el hombre continúa contaminándola, destruyendo las cuencas y los bosques protectores, la cantidad de agua disponible va a disminuir. La pérdida será definitiva: El agua no podrá servirnos más.

El agua es esencial para todos los seres vivos que habitan este planeta, porque forma parte, en mayor o menor proporción, de la constitución de cada uno de ellos. Así por ejemplo, constituye el 98% en un melón, el 80% en un pez y el 65% en un ser humano.

En la formación de nuestro cuerpo y en todos los procesos biológicos se requiere el agua. Si nuestros pulmones no estuvieran siempre húmedos, no podríamos respirar. Si la saliva no mojara el alimento, no podríamos ingerirlo. Si el agua que forma parte de la sangre, no transportara los alimentos por todo el cuerpo, nuestras células no se alimentarían, no respirarían y tampoco podrían eliminar las toxinas. Si las lágrimas no humedecieran nuestros ojos, éstos se irritarían.

La vida, entonces, surgió del agua, al igual que empieza la vida de todo ser humano: el bebé que está dentro del útero de su madre, se encuentra sumergido en agua; que le brinda protección, calor y hasta lo alimenta. Al nacer, el niño abandona ese ambiente acuático e inicia la vida por sí mismo. Ahora debe ser alimentado externamente, para lo cual, su madre le brinda la leche materna, compuesta en 90% por agua.

En un niño pequeño, el 83% de su persona corporal está constituido por el agua. Conforme va creciendo, el porcentaje de agua en su cuerpo va disminuyendo, hasta llegar a un 60% en un hombre adulto y a un 45% en una mujer adulta.

El agua se encuentra dentro de cada una de nuestras células, colaborando con todas sus funciones, es decir en la respiración, en la alimentación y en la excreción celular.

Se encuentra también en la sangre formando el plasma, que es el líquido mediante el cual, la sangre puede fluir dentro de las venas y las arterias y transporta los alimentos y los glóbulos rojos.

<sup>4</sup> Alambique (1996). Didáctica de las ciencias experimentales, No. 7.

Está en el sistema digestivo, ayudando para que los alimentos se desplacen y para que los residuos puedan ser eliminados a través de las heces. Transporta los residuos líquidos hasta los riñones, para evacuarlos en forma de orina.

Pero así como necesitamos del agua, también la perdemos en grandes cantidades: En la transpiración, eliminamos con el sudor sustancias de desecho que son nocivas para nuestro cuerpo. Al respirar, eliminamos por la boca y la nariz agua en forma de vapor. En la orina expulsamos gran cantidad de desechos. Por eso es necesario devolver al organismo el agua que pierde, esto se logra tomando mucha agua.

Gran parte del agua que llega a nuestra casa y que usamos todos los días viene de los ríos. Al abrir la llave del tubo, muchas veces olvidamos que en otros lugares del mundo, las personas tienen que caminar largas distancias para conseguir un poco de agua.

El río siempre ha sido un recurso de mucha utilidad para el hombre. En época seca, muchos ríos proporcionan el agua necesaria para regar los cultivos. En regiones donde llueve poco, como Guanacaste, los cultivos y el pasto para el ganado dependen de esas aguas.

Pero en nuestro país, el poder de las aguas de los ríos, nos ha beneficiado aún más: se ha usado para producir energía eléctrica. Esta es la energía que nos ilumina, que mueve fábricas e industrias y que se ha hecho cada vez más necesaria en nuestros hogares.

El agua en movimiento tiene mucha energía. Esta energía se llama energía hidráulica y ha sido utilizada por el hombre muchas veces; con ella también se hace girar las ruedas de los molinos, los trapiches que muelen la caña de azúcar y mueven grandes sierras para cortar madera.

La energía hidráulica puede transformarse en electricidad: el agua en movimiento hace girar ruedas especiales llamadas turbinas y por medio de ellas producir energía.

Las centrales hidroeléctricas utilizan muchas veces las cascadas naturales de los ríos donde el agua cae con mucha fuerza; estas aguas tienen mucha energía hidráulica. Si no hay cascadas naturales se puede crear centrales hidroeléctricas construyendo represas en los ríos, principalmente de montaña. El agua llena el embalse, detrás del dique o represa y luego se deja salir con fuerza para mover las turbinas.

### 1.3.2 Usos del agua

El hombre utiliza las aguas subterráneas por medio de los manantiales (llamados también ojos de agua) o perforando el suelo para construir los pozos, que constituyen uno de los métodos más antiguos para la obtención de agua.

Si el agua está muy cerca de la superficie, basta con perforar unos cuantos metros para obtener el agua. Tal es el caso de los pozos domésticos muy comunes en las fincas de las zonas cálidas del país. Si el agua está en los estratos más inferiores, se requiere entonces de una perforación mayor y más costosa, como ocurre en los pozos profundos. Cuanto más profundo es el pozo, mejor calidad física y bacteriológica tiene el agua, porque conforme va atravesando las diferentes capas del suelo y del subsuelo, se van eliminando las impurezas.

Gran parte de la ciudad de México, se abastece de las aguas subterráneas que brotan a través de los manantiales y de pozos.

Es un hecho bien sabido que la tierra y el agua son los dos recursos primarios, no sólo de la agricultura, sino de toda la vida que existe sobre la tierra. Cuando el abastecimiento de agua es suficiente y los suelos son fértiles, la agricultura puede sostener la vida humana civilizada, a condición de que el clima sea favorable. En cambio, la falta del agua necesaria, incluso temporalmente, impide las faenas agrícolas y desencadena la inseguridad alimentaria. En este momento, en que la población del mundo y las necesidades de alimentos están aumentando a un ritmo sin precedentes, es cada vez más difícil incrementar el suministro de agua para los agricultores. La presión cada vez mayor de que son objeto los recursos -vulnerables- de agua y tierras hace urgente y esencial conseguir una gestión eficaz<sup>5</sup>.

La escasez de agua amenaza aspectos fundamentales de la seguridad humana: la producción de alimentos, la salud del medio acuático y la estabilidad social y política.

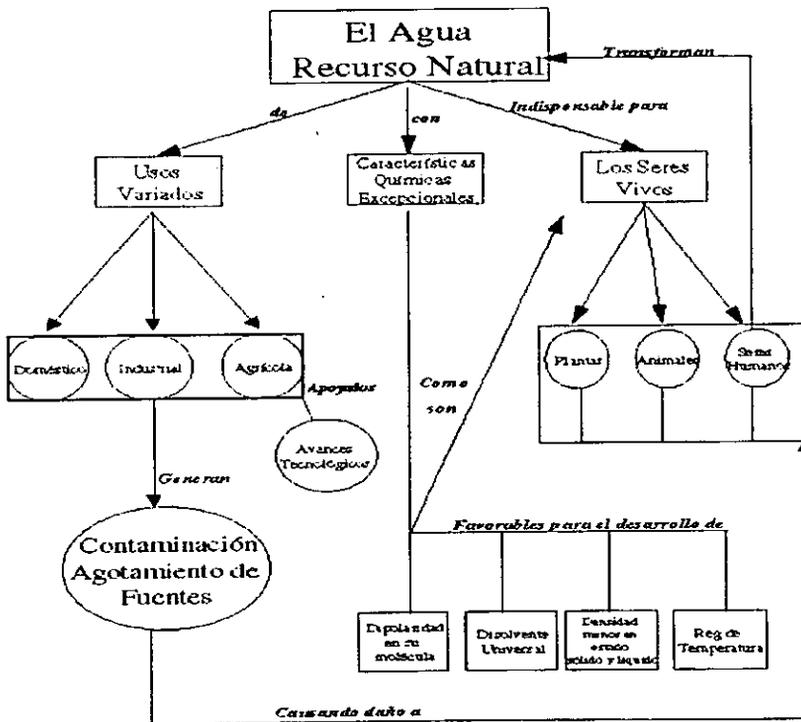


Figura I.4 Usos del agua.

La agricultura es la actividad que utiliza un mayor volumen de agua, más de las dos terceras partes de la que proporcionan los ríos, lagos y acuíferos del planeta. A medida que aumenta la población y crecen las economías, el agua va convirtiéndose

<sup>5</sup> Asano, T. y R.A. Mills (1990). Planning and Analysis for Water Reuse Projects, Journal of the American Water Works Association. Enero 1990, pp. 28-29.

en un recurso más escaso y valioso. En muchos países, la competencia entre la agricultura, la industria y los núcleos urbanos por los recursos hídricos está limitando ya las iniciativas de desarrollo. Pero, paradójicamente, aunque el agua es cada vez más escasa, en muchas zonas se utiliza todavía de forma muy ineficaz. En algunos lugares hasta el 60 por ciento del agua desviada o bombeada para el riego no llega a la zona de cultivos y en las ciudades se distribuye el agua a través de Sistemas que registran fugas y a unos consumidores que pagan una cantidad insuficiente (o que no pagan nada) por este recurso. Algunas pérdidas son inevitables pero una parte de ellas son recuperables y reutilizables. Las industrias, las ciudades y la agricultura permiten que el agua sea contaminada y, aunque un cierto grado de polución es inherente a la utilización misma del agua, grandes cantidades de este recurso se pierden por efecto de una contaminación irrecuperable.

Más del 10 por ciento de la superficie mundial de regadío está afectada, en diferentes grados, por la salinización, un fenómeno de amplitud y gravedad crecientes. El vertido de residuos urbanos e industriales y la evacuación de residuos químicos de la agricultura está deteriorando la calidad del agua superficial, y las aguas subterráneas no sólo son contaminadas por elementos procedentes de la superficie, sino que sufren un daño irreparable como consecuencia de la intrusión de agua marina. También resultan afectados los ecosistemas acuáticos de los cursos de agua y de los estuarios que reciben agua en cantidad insuficiente y de escasa calidad.

En este momento se está cuestionando la primacía tradicional de la agricultura en la asignación de los recursos hídricos. Se han alzado voces críticas que reclaman a los gobiernos y donantes que reconsideren las consecuencias económicas, sociales y medioambientales de los proyectos de regulación del agua financiados y administrados por el sector público. Pese a las cuantiosas inversiones y subvenciones, el funcionamiento del riego no siempre ha estado a la altura de las expectativas en cuanto al incremento de los rendimientos y la eficiencia en la utilización del agua. La agricultura no sólo es el sector que utiliza un mayor volumen de agua, sino que además tiene un valor relativamente bajo y escasamente eficiente en cuanto al uso del agua, y además está muy subvencionado. La constatación de los límites del volumen de agua dulce renovable que puede producir el ciclo hidrológico obliga a evitar que esta situación continúe en el futuro.

En muchos casos, la agricultura no puede competir económicamente por los escasos recursos de agua disponibles. Dado que las ciudades e industrias están en condiciones de pagar cantidades más elevadas por el agua y obtener una tasa de rendimiento económico más elevada por unidad de volumen, el sector agrícola tiene que demostrar que los suministros de agua que recibe se utilizan adecuadamente para garantizar la seguridad alimentaria. De otro modo, el sector agrícola tendrá que renunciar progresivamente al agua, que se destinará a otros usos, de mayor valor, en las ciudades e industrias.

La seguridad alimentaria está estrechamente relacionada con la seguridad hídrica. Entre el 30 y el 40 por ciento de los alimentos del mundo procede de las tierras de regadío (el 17 por ciento del total de tierras cultivadas) y una quinta parte del valor total de la producción de pescado corresponde a la acuicultura de agua dulce. En el próximo siglo, la seguridad y estabilidad de los suministros de alimentos guardarán una estrecha relación con el éxito en la regulación del agua. Para conseguir resultados satisfactorios no bastará con construir más presas y más canales y nivelar y regar superficies más extensas, sino que cada vez será más necesario mejorar la gestión: rehabilitar los Sistemas ineficientes y sustituir los Sistemas tradicionales propios de una era de abundancia por otros que utilicen una tecnología más desarrollada. Para

ello habrá que disponer de fondos y de agricultores y de gestores capaces y cualificados.

La mayor parte del agua utilizada en la agricultura se destina al riego de los 250 millones de hectáreas que existen aproximadamente en el mundo. El agua utilizada en la producción se evapora en el proceso biológico de producción del cultivo. El agua destinada al riego pero que, por diferentes razones, no es absorbida por la planta, emerge en su mayor parte como agua de drenaje y recarga el manto freático. El riego influye en la calidad del agua extraída, pero no consumida, al aumentar la concentración salina y la contaminación debida al uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas.

Alrededor del 8% del consumo mundial total del agua es utilizado en las actividades domésticas, 23% en la industria y 69% en las actividades agrícolas<sup>6</sup>.

El «agua azul» accesible, el 50 por ciento de la cual ya se destina a diversos usos en todo el mundo, no es sustituible en algunas de sus funciones: para beber las personas y abreviar los animales, para la higiene, el lavado, el saneamiento y los servicios municipales, para los procesos industriales, así como para los peces, la vida acuática y el medio ambiente. Por esta razón, tiene mayor valor que el «agua verde», en tanto que bien escaso, y su aplicación es especialmente eficiente para complementar la humedad del suelo cuando faltan las lluvias o éstas son insuficientes. Cuando el agua escasea, los esfuerzos se centrarán en recoger una mayor proporción del agua de lluvia, para suministrarla al sistema radicular de las plantas, con objeto de salvaguardar el «agua azul», más escasa.

Los pequeños proyectos de bombeo, individuales o comunales, han comenzado a desempeñar un papel muy importante en el aumento de la producción de alimentos. Se les utiliza mucho para complementar un suministro irregular de agua canalizada, especialmente en los deltas fluviales de Asia, y cada vez más en África. Se ha probado definitivamente que es erróneo el concepto tradicional de que el riego por bombeo no es factible debido a sus costos de explotación y a problemas de mantenimiento.

La autosuficiencia alimentaria exige que la economía genere las exportaciones suficientes para cubrir el costo de importar los alimentos necesarios para satisfacer las necesidades de la población y exige también que en alguna parte del mundo exista agua disponible para cultivar alimentos suficientes para toda la población del planeta. Dependier del comercio comporta algunos riesgos, como el deterioro de las relaciones de intercambio en los mercados mundiales, la incertidumbre en el suministro y la inestabilidad de los precios.

En el contexto de la autosuficiencia alimentaria, la seguridad hídrica se consigue aplicando una política encaminada al desarrollo económico y a la utilización racional y sostenible del agua, que es un recurso limitado. La finalidad de esa política es satisfacer las necesidades de los usuarios de los sectores doméstico y urbano, así como las del comercio, el turismo y la industria, a fin de ofrecer oportunidades de empleo a la población. Sin duda, la falta de agua o el suministro irregular a las zonas urbanas se traduce en inquietud social, tensión política e inseguridad hídrica.

Las industrias dedicadas a la producción y procesamiento de alimentos se interesan particularmente por tres amplios aspectos de la tecnología del agua; esto es, su pureza microbiológica y seguridad, las impurezas químicas que la hacen inapropiada

<sup>6</sup> Turk, Wittes (1973). Ecología, Contaminación, Medio Ambiente. Editorial Interamericana. México.

para uso en el procesamiento de alimentos, y el grado de su contaminación después de su uso<sup>7</sup>.

En la siguiente figura, se muestran los principales usos del agua en México. Se puede observar que la mayor cantidad de agua se utiliza en el sector de generación de energía hidroeléctrica, seguido por el sector agrícola, el sector doméstico, el sector industrial y por último el sector de la agricultura intensiva.

Es importante mencionar que en los últimos años la venta de energía hidroeléctrica ha cruzado fronteras como por ejemplo el proyecto Semptra en Mexicali, el cual generará importantes divisas para México ya que esa planta producirá energía que será exportada a California.

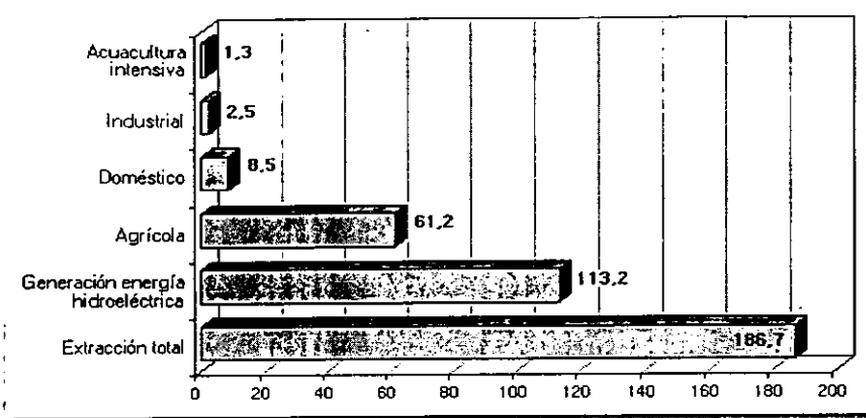


Figura I.5 Usos del Agua en México 1995.

## 1.4 Tipos de contaminantes

### 1.4.1 Principales fuentes contaminantes del agua

Ya se sabe que el agua es un elemento vital para todos los seres vivos. Sin embargo al igual que en el caso de la contaminación atmosférica, el progreso y los avances logrados por el hombre han llevado a producir desechos, muchos de los cuales llegan hasta el agua.

La contaminación del agua se produce cuando este vital elemento ha perdido las condiciones naturales, por lo tanto, ya no reúne las características de su estado natural. Como resultado de la contaminación, el agua ha sufrido cambios en su color y composición, producto de la cantidad de suciedad que llega a ella (desechos de los hogares, detergentes, petróleo, pesticidas, desechos nucleares, etcétera). Estos desechos alteran su sabor, densidad, pureza, etcétera.

Existen tres tipos de contaminantes del agua:

- Naturales
- Actividades humanas
- Actividades industriales

<sup>7</sup> Norman N. Potter. La ciencia de los alimentos. Editorial Harla, México, 1978. pp. 656.

## Naturales

Este tipo de contaminación se da por fenómenos naturales como pueden ser: Huracanes, mareas rojas, terremotos, precipitaciones pluviales muy intensas etc.

Sin embargo los principales medios naturales de contaminación del agua son: a) La lluvia ácida y b) La marea roja.

### a) La lluvia ácida

Las industrias y los vehículos automotores funcionan con combustibles fósiles como hulla, carbón, petróleo, y otros que arrojan a la atmósfera óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno, los cuales efectúan una serie de complicadas reacciones químicas con las sustancias que componen el aire, y se transforman en ácido sulfúrico y ácido nítrico. El agua de lluvia, nieve, granizo, niebla y rocío adquieren cierto grado de acidez al mezclarse con estos compuestos y, por ello se denomina lluvia ácida. Este tipo de precipitaciones acidifica los suelos, lo que origina la muerte de los organismos que viven en ellos, y la eliminación del calcio, el potasio y otros elementos que componen la capa superficial de la corteza terrestre, y que sirven de alimento para las plantas. Además destruye la epidermis de las hojas y, por consiguiente, los vegetales no pueden realizar eficientemente la fotosíntesis. A causa de la lluvia ácida se alteran severamente los ciclos del nitrógeno, oxígeno y el carbono, porque mueren las bacterias encargadas de fijar el nitrógeno y las plantas no pueden transformar suficiente cantidad de dióxido de carbono en oxígeno. Al llegar al subsuelo, el agua ácida contamina los mantos acuíferos y pone en peligro la salud de los seres humanos que la consumen. Cuando la acidez se concentra en los mares, ríos y lagos, provoca los mismos daños que en la tierra.

### b) Marea Roja

El mar está poblado de multitud de organismos microscópicos de origen vegetal, denominados fitoplancton. La marea roja se presenta por una exagerada reproducción de los fitoplancton llamados algas dinoflageladas, debido a una abundancia de las sales nutritivas en las aguas superficiales. Estos diminutos seres sueltan unas sustancias tóxicas en el agua que la tiñen de rojo, agotan el oxígeno, envenenan a los peces, mariscos, moluscos, tortugas, patos y pájaros acuáticos e intoxican a los animales y humanos que se los comen. Se trata de un fenómeno estacional, pues ocurre en las épocas del año en que las radiaciones del sol son tan intensas que estas algas marinas producen demasiados carbohidratos y proteínas, y cuando las tormentas arrastran al agua cultivos y basura orgánica que genera un exceso de elementos nutritivos.

## Actividades humanas

Por actividades domésticas son todos los detergentes, jabones, suavizantes, champúes, etc., que contienen potasio, sulfatos, etc.

Ejemplos de contaminantes del agua provenientes de actividades domésticas son: Desechos de alimentos, restos de aceites, detergentes, jabones, grasas, solventes, limpiadores (a bases, por ejemplo de sosa, o cloro).

Contaminantes provenientes de actividades escolares: Los contaminantes procedentes del laboratorio escolar (como ácidos, sales, colorantes tóxicos, cultivos de bacterias).

Contaminantes provenientes de lugares públicos: Envases, bolsas de plástico, cartón, papel, restos de comida.

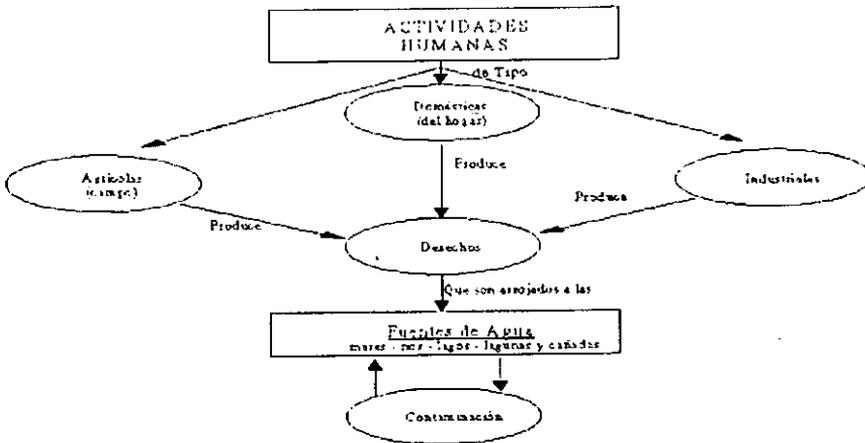


Figura I.6 Contaminación del Agua por actividades humanas.

Otro ejemplo son las aguas residuales que son aquellas aguas que trasladan desechos domésticos de la ciudad. La existencia de un mayor número de casas habitaciones, implica un mayor número de personas, lo cual genera un volumen más alto de aguas residuales que transportan materia orgánica de desechos, abundante en fosfato.

En las aguas existen bacterias cuya función es degradar los desechos; cuando éstos son moderados, las bacterias son capaces de desintegrarlos sin dificultad. En cambio, cuando los volúmenes de desechos aumentan, las bacterias no son capaces de realizar su trabajo y las aguas se enturbian lentamente. Esto conlleva que disminuya la luz, las algas no puedan realizar la fotosíntesis, lo que a su vez trae como consecuencia la muerte de muchos peces y algas. Por falta de oxígeno, estos organismos comienzan a descomponerse, se van al fondo y se va formando una espesa capa de material orgánico en fermentación, incompatible con la vida de los seres vivos acuáticos<sup>8</sup>.

Otro factor contaminante de las aguas residuales es la presencia de parásitos, bacterias y virus. Lo peligroso es que, si esta agua que forma parte de un río o canal, es usada para regadío. De este modo, dichos microorganismos se depositan en los alimentos que consumimos.

Algunas enfermedades que pueden ser provocadas de esta forma son el cólera, fiebre tifoidea, disentería, etcétera.

<sup>8</sup> Turk, Wittes (1973). Ecología, Contaminación, Medio Ambiente. Editorial Interamericana. México.

## Actividades Industriales

Por actividades industriales se encuentra el mercurio, el cromo, los metales pesados y los compuestos orgánicos derivados de los hidrocarburos, como el arsénico, el cianuro y el antimonio.

Entre las industrias que más contaminan el agua están la del papel, la del azúcar y la del plástico. Los desechos contaminantes de los cuerpos de agua pueden ser de origen industrial, agrícola, ganadero, escolar de lugares públicos:

Ejemplos de contaminantes industriales en general pueden ser: Agua con detergentes, grasas y solventes empleada para lavar o enfriar la maquinaria. En la industria minera: Agua con arena, material ferroso o calizo, arcilla, ácido sulfúrico, proveniente del lavado del material extraído. En la industria química: Compuestos tóxicos procedentes, por ejemplo, de la fabricación de solventes, pinturas y medicamentos. En la industria papelerera: Partículas en suspensión, ácidos nítrico, sulfúrico, clorhídrico, provenientes del blanqueado y ablandado de la celulosa. En la industria alimentaria: Desechos sólidos como huesos, restos de jugos y cáscaras. En la industria de la construcción: Cemento, yeso, cal, arena. De las actividades agrícolas: Desechos de verduras, hortalizas; sobrantes de fertilizantes (como nitratos y fosfatos).

### Residuos provenientes de industrias

Las aguas que arrastran residuos de industrias son portadoras de un gran número y diversidad de agentes contaminantes. Algunos de estos son:

- Residuos de detergentes (espuma): Estos son eliminados y se integran a las aguas de los ríos, donde pueden destruir muchos tipos de vida acuática
- Residuos minerales y sales metálicas: estos desechos pueden llegar a ser agentes contaminantes en los ríos y provocar grandes daños en la distribución y cantidad de flora y fauna. Su presencia en las aguas de los mares, hace que los contaminantes se concentran en algunas especies que viven en el lugar, sin provocarles la muerte. Pero los residuos tóxicos pueden llegar al hombre, si este consume dichos organismos.
- Derivados del petróleo: estos residuos tienen distintas fuentes y llegan a las aguas de maneras diferentes. Por ejemplo: el agua de las lluvias lava las calles y arrastra restos de alquitrán, aceites y combustibles, los cuales finalmente van a parar a los ríos. Los residuos van formando una delgada o gruesa película y de ésta se van desprendiendo ciertas sustancias tóxicas las cuales van intoxicando el plancton, peces y los diversos organismos acuáticos. En los casos en que el petróleo es eliminado en grandes cantidades en forma accidental o no, por los barcos, se forma una densa capa sobre las aguas, llamada marea negra. Dicha capa impide la oxigenación de las aguas y nuevamente se produce la destrucción.
- Productos agrícolas: constituidos por los residuos de los animales y ciertos compuestos químicos, que son usados como plaguicidas y fertilizantes. Cuando este tipo de sustancias se usan descontroladamente, se puede llegar a destruir cierto tipo de animales y vegetales, rompiendo el equilibrio natural y perjudicando mucho a los animales superiores. Este tipo de contaminante se va depositando en el organismo humano, y en algunos casos no provoca la muerte, pero sí malformaciones, poco desarrollo, etcétera.

- Materia soluble e insoluble, ver punto I.5 de este capítulo.

#### I.4.2 Contaminación del agua

El hombre que durante siglos ha utilizado su inteligencia para el aprovechamiento de lo que la tierra le ofrece, ha roto en la actualidad una serie de reglas ambientales y construye rápidamente su propia destrucción al agotar las únicas reservas de nuestro mundo. Incluso recursos que aparentemente son tan vastos, ahora resulta que son realmente limitados: tal es el caso del agua que a pesar de su aparente abundancia, es un bien que derrochamos sin tino y si queremos seguir viviendo hemos de tratar al agua como lo que es, un tesoro.

Nadie duda que los océanos son los principales receptáculos del agua del planeta. Y aunque ésta se encuentra en constante circulación, el volumen limitado del agua dulce con que cuenta el planeta condiciona el número de habitantes que éste puede sostener. Y las formas en que la humanidad entera la contamina son muy variadas siendo las más importantes las descargas de aguas negras domésticas no tratadas sobre ríos, lagos y mares; las descargas de plantas industriales, los residuos de fertilizantes, plaguicidas y alimentos para el ganado; los sedimentos y ácidos que se derivan de la explotación minera y el agua a temperaturas elevadas que salen de las plantas nucleares y eléctricas, que amenazan a todas las formas de vida acuática.

La contaminación del agua debe ser controlada para que ésta pueda ser usada varias veces, puesto que menos del 1% del agua que hay en nuestro planeta es utilizable, porque más del 99% del total de agua es salada o esta atrapada en fríos glaciares o casquetes polares. En consecuencia, nos encontramos ante un recurso vital que está muy limitado y en la actualidad muy contaminado. Hay que tener muy presente, que los mares y los océanos son el destino final de todos los contaminantes del planeta y si bien la capacidad depurativa del ciclo del agua es increíblemente grande, el océano está contaminado<sup>9</sup>.

Durante siglos y siglos, la humanidad entera ha empleado los recursos del planeta para satisfacer todas sus necesidades. Durante todo este dilatado tiempo, la humanidad consideró al agua como un recurso natural renovable e inagotable, pero el tiempo nos ha enseñado una temible verdad, pues si bien el agua es un recurso inagotable, lo que importa verdaderamente de este recurso es su calidad, la cual debido al explosivo aumento de la población humana ha disminuido sensiblemente, pues el aprovechamiento del agua ha alcanzado niveles insospechados y los contaminantes producidos son incuantificables.

De pronto los humanos nos percatamos que somos nosotros mismos los causantes directos o indirectos de la contaminación de las aguas del planeta, pues somos nosotros los que hemos vertido sobre ella sustancias nocivas, o en otro caso, nuestros desechos que depositamos en el suelo se filtran sustancias que afectan nuestros recursos subterráneos, para alterar su pureza. Basta sólo recordar que la basura afecta la calidad del agua de múltiples formas, ya que contiene altos contenidos de materia orgánica, metales y todo tipo de sustancias tóxicas como insecticidas, pinturas, solventes, grasas, residuos de laboratorio y muchas cosas más. Y dado que permanece estática en los depósitos, ésta soporta la insolación y las lluvias, originando gran cantidad de líquidos contaminantes, que poco a poco van infiltrándose en el suelo hasta que alcanzan los mantos acuíferos.

<sup>9</sup> Munansinghe, M. 1992. Water Supply and Environmental Management: Developing World Applications. Westview Press, Boulder, Colorado.

Por otra parte, la industria colabora decididamente en la contaminación del agua, pues en muchísimos procesos industriales se necesita en abundancia de este líquido. Pero una vez empleado el volumen de agua se va hacia el drenaje cargado de sustancias contaminadas y muchas veces de alta toxicidad. Entre los compuestos industriales que más destacan por sus efectos contaminantes están los metales pesados (mercurio, cromo, etc.) y compuestos orgánicos derivados de los hidrocarburos como son el arsénico, el cianuro y el antimonio. En suma, nuestras labores domésticas, agrícolas y ganaderas todas contribuyen a la contaminación de las aguas, el aire y el suelo.

#### 1.4.3 La ruta de los contaminantes del agua

Los contaminantes que afectan el agua, el suelo y/o el aire, llegan a través de diversas fuentes que se localizan en la misma región o provienen de otras. De manera precisa se puede establecer que la contaminación del agua tiene el siguiente origen: sea cual sea el contaminante éstos siempre encuentran en su camino los ríos, lagos, lagunas, mares y suelos, este último ambiente, por cierto, permite muchas infiltraciones que permiten a los contaminantes llegar a las aguas subterráneas.

Aunque parezca exagerado, el mayor volumen de desechos contaminantes producidos los alejamos de nuestras casas por medio de las corrientes acuáticas. De dicha afirmación emerge el hecho que todos los asentamientos humanos, o ciudades, y sus industrias siempre se asientan al margen de corrientes superficiales de agua, pues todas ellas son las encargadas de mover los contaminantes de estos poblados o industrias.

### 1.5 Materiales Contaminantes

Se ha demostrado que la introducción de contaminantes en las fuentes acuíferas está relacionada con la lluvia, la naturaleza geológica de la cuenca colectora o del manto acuífero y las actividades de la naturaleza y de la población humana. Los contaminantes del agua caen en dos categorías: Materia soluble y materia insoluble. También se pueden incluir los gases disueltos en los análisis de los ciclos biológicos que afectan la calidad del agua<sup>10</sup>.

#### 1.5.1 Materia soluble

Muchos de los materiales son transitorios debido a la actividad biológica. El cambio en el contenido de  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$  con la luz solar es un ejemplo de esto. Otro es el equilibrio entre  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NO}_2^{-1}$  y  $\text{NO}_3^{-1}$ .

Los materiales solubles en los suministros acuíferos se muestran en la siguiente tabla:

Clase 1	Componentes primarios – generalmente en más de 5 mg/l Bicarbonato, Calcio, Cloruro, Magnesio, Materia Orgánica, Sílice, Sodio, Sulfato y Sólidos Disueltos Totales.
Clase 2	Componentes Secundarios - generalmente en más de 0.1 mg/l Amoniaco, Borato, Fluoruro, Hierro, Nitrato, Potasio, Estroncio.

<sup>10</sup> Kemmer Frank. Manual del Agua, Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. 1a Edición, Mc Graw Hill, 1979. pp. 6-1 – 6-23.

Clase 3	Componentes Terciarios - generalmente en más de 0.01 mg/l Aluminio, Arsénico, Bario, Bromuro, Cobre, Plomo, Litio, Manganeso, Fosfato, Zinc.
Clase 4	Componentes a nivel de trazas - generalmente en menos de 0.01 mg/l Antimonio, Cadmio, Cromo, Cobalto, Mercurio, Níquel, Estaño, Titanio.
Clase 5	Componentes Transitorios Acidez-Alcalinidad Ciclos biológicos Componentes del ciclo de carbono orgánicos / tejidos Ciclo del Oxígeno Componentes del ciclo del nitrógeno aminoácidos orgánicos Componentes orgánicos del ciclo del azufre  Reacciones Redox  Materiales oxidantes (Del ambiente natural, Residuos del tratamiento) Materiales Reductores (Del ambiente natural, sustancias orgánicas, residuos del tratamiento)

#### 1.5.2 Materia insoluble

Los materiales insolubles contaminantes del agua se dividen en dos clase: Sólidos y organismos microbianos.

Clase 1	Sólidos  Flotando Sedimentables Suspendidos
Clase 2	Organismos microbianos  Algas Bacterias Hongos Virus

#### 1.5.3 Clasificación de materiales contaminantes según la EPA

De acuerdo con la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos EPA, los contaminantes del agua se clasifican en:

- Químicos Inorgánicos.
- Químicos Orgánicos.
- Radionucleidos
- Microorganismos

A continuación se muestran los estándares del reglamento nacional primario de agua potable para cada una de las categorías de contaminantes según la EPA<sup>11</sup>.

Tabla 1.1. Estándares del Reglamento Nacional Primario de Agua Potable

Contaminante	MNMC <sup>1</sup> (mg/l) <sup>4</sup>	NMC <sup>2</sup> o TT <sup>3</sup> (mg/l) <sup>4</sup>	Posibles efectos sobre la salud por exposición que supere el NMC	Fuentes de contaminación comunes en agua potable
<b>Químicos Inorgánicos</b>				
Antimonio	0.006	0.006	Aumento de colesterol en sangre; descenso de azúcar en sangre (aumento de colesterolhemia; hipoglucemia).	Efluentes de refinerías de petróleo; retardadores de fuego; cerámicas; productos electrónicos; soldaduras.
Arsénico	ninguno <sup>5</sup>	0.05	Lesiones en la piel; trastornos circulatorios; alto riesgo de cáncer.	Erosión de depósitos naturales; agua de escorrentía de huertos; aguas con residuos de fabricación de vidrio y productos electrónicos.
Asbestos (fibras >10 micrómetros)	7 millones de fibras por litro (MFL)	7 MFL	Alto riesgo de desarrollar pólipos intestinales benignos.	Deterioro de cemento amiantado (fibrocemento) en cañerías principales de agua; erosión de depósitos naturales.
Bario	2	2	Aumento de presión arterial.	Aguas con residuos de perforaciones; efluentes de refinerías de metales; erosión de depósitos naturales.
Berilio	0.004	0.004	Lesiones intestinales.	Efluentes de refinerías de metales y fábricas que emplean carbón; efluentes de industrias eléctricas, aeroespaciales y de defensa.
Cadmio	0.005	0.005	Lesiones renales.	Corrosión de tubos galvanizados; erosión de depósitos naturales; efluentes de refinerías de metales; líquidos de escorrentía de baterías usadas y de pinturas.

<sup>11</sup> Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). EPA 815-F-00-007. Abril de 2000.

Cromo (total)	0.1	0.1	Dermatitis alérgica.	Efluentes de fábricas de acero y papel; erosión de depósitos naturales.
Cobre	1.3	Nivel de acción=1.3; $10^{-6}$	Exposición a corto plazo: molestias gastrointestinales. Exposición a largo plazo: lesiones hepáticas o renales. Aquellos con enfermedad de Wilson deben consultar a su médico si la cantidad de cobre en el agua superara el nivel de acción.	Corrosión de cañerías en el hogar; erosión de depósitos naturales; percolado de conservantes de madera.
Cianuro (como cianuro libre)	0.2	0.2	Lesiones en sistema nervioso o problemas de tiroides	Efluentes de fábricas de acero y metales; efluentes de fábricas de plásticos y fertilizantes.
Flúor	4.0	4.0	Enfermedades óseas (dolor y fragilidad ósea) Los niños podrían sufrir de dientes manchados	Aditivo para agua para tener dientes fuertes; erosión de depósitos naturales; efluentes de fábricas de fertilizantes y de aluminio.
Plomo	cero	Nivel de acción=0.015; $10^{-6}$	Bebés y niños: retardo en desarrollo físico o mental; los niños podrían sufrir leve déficit de atención y de capacidad de aprendizaje. Adultos: trastornos renales; hipertensión.	Corrosión de cañerías en el hogar; erosión de depósitos naturales.
Mercurio (Inorgánico)	0.002	0.002	Lesiones renales	Erosión de depósitos naturales; efluentes de refineries y fábricas; lixiviados de vertederos y tierras de cultivo.
Nitrato (medido como nitrógeno)	10	10	Los bebés de menos de seis meses que tomen agua que contenga mayor concentración de nitratos que el NMC, podrían enfermarse gravemente; si no se los tratara, podrían morir. Entre los síntomas se incluye dificultad respiratoria y síndrome de bebé cianótico (azul).	Aguas contaminadas por el uso de fertilizantes; percolado de tanques sépticos y de redes de alcantarillado; erosión de depósitos naturales.

Nitrito (medido como nitrógeno)	1	1	Los bebés de menos de seis meses que tomen agua que contenga mayor concentración de nitritos que el NMC, podrían enfermarse gravemente; si no se los tratara, podrían morir. Entre los síntomas se incluye dificultad respiratoria y síndrome de bebé cianótico (azul).	Aguas contaminadas por el uso de fertilizantes; percolado de tanques sépticos y de redes de alcantarillado; erosión de depósitos naturales.
Selenio	0.05	0.05	Caída del cabello o de las uñas; adormecimiento de dedos de manos y pies; problemas circulatorios.	Efluentes de refineries de petróleo; erosión de depósitos naturales; efluentes de minas.
Talio	0.0005	0.002	Caída del cabello; alteración de la sangre; trastornos renales, intestinales o hepáticos.	Percolado de plantas procesadoras de minerales; efluentes de fábricas de vidrio, productos
<b>Químicos Orgánicos</b>				
Acrilamida	cero	TT <sup>7</sup>	Trastornos sanguíneos o del sistema nervioso; alto riesgo de cáncer.	Se agrega al agua durante el tratamiento de efluentes y de agua de alcantarillado.
Alaclor	cero	0.002	Trastornos oculares, hepáticos, renales o esplénicos; anemia; alto riesgo de cáncer.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas para cultivos.
Atrazina	0.003	0.003	Trastornos cardiovasculares o del sistema reproductor.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas para cultivos.
Benceno	cero	0.005	Anemia; trombocitopenia; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de fábricas; percolado de tanques de almacenamiento de combustible y de vertederos para residuos.
Benzo(a)pireno	cero	0.0002	Dificultades para la reproducción; alto riesgo de cáncer.	Percolado de revestimiento de tanques de almacenamiento de agua y líneas de distribución.
Carbofurano	0.04	0.04	Trastornos sanguíneos, del sistema nervioso o del sistema reproductor.	Percolado de productos fumigados en cultivos de arroz y alfalfa.
Tetracloruro de carbono	cero	0.005	Trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de plantas químicas y de otras actividades industriales.

Clordano	cero	0.002	Trastornos hepáticos o del sistema nervioso; alto riesgo de cáncer.	Residuos de termiticidas prohibidos.
Clorobenceno	0.1	0.1	Trastornos hepáticos o renales.	Efluentes de plantas químicas y de plantas de fabricación de agroquímicos.
2,4-D	0.07	0.07	Trastornos renales, hepáticos o de la glándula adrenal.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas para cultivos.
Dalapon	0.2	0.2	Pequeños cambios renales.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas utilizados en servidumbres de paso.
1,2-Dibromo-3-cloropropano (DBCP)	cero	0.0002	Dificultades para la reproducción; alto riesgo de cáncer.	Aguas contaminadas/percolado de productos fumigados en huertos y en campos de cultivo de soja, algodón y piña (ananá).
o-Diclorobenceno	0.6	0.6	Trastornos hepáticos, renales o circulatorios.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
p-Diclorobenceno	0.075	0.075	Anemia; lesiones hepáticas, renales o esplénicas; alteración de la sangre.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
1,2-Dicloroetano	cero	0.005	Alto riesgo de cáncer.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
1-1-Dicloroetileno	0.007	0.007	Trastornos hepáticos.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
cis-1, 2-Dicloroetileno	0.07	0.07	Trastornos hepáticos.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
trans-1,2-Dicloroetileno	0.1	0.1	Trastornos hepáticos.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
Diclorometano	cero	0.005	Trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de plantas químicas y farmacéuticas.
1-2-Dicloropropano	cero	0.005	Alto riesgo de cáncer.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
Adipato de di-(2-etilhexilo)	0.4	0.4	Efectos tóxicos generales o dificultades para la reproducción	Efluentes de plantas químicas.

Ftalato de di-(2-etilhexilo)	cero	0.006	Dificultades para la reproducción; trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer	Efluentes de plantas químicas y de fabricación de goma.
Dinoseb	0.007	0.007	Dificultades para la reproducción	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas utilizados en soja y vegetales.
Dioxina (2,3,7,8-TCDD)	cero	0.00000003	Dificultades para la reproducción; alto riesgo de cáncer	
Diquat	0.02	0.02	Cataratas	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas.
Endotal	0.1	0.1	Trastornos estomacales e intestinales.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas.
Endrina	0.002	0.002	Trastornos hepáticos.	Residuo de insecticidas prohibidos.
Epiclorohidrina	cero	TT'	Alto riesgo de cáncer y a largo plazo, trastornos estomacales.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial; impurezas de algunos productos químicos usados en el tratamiento de aguas.
Etilbenceno	0.7	0.7	Trastornos hepáticos o renales.	Efluentes de refineries de petróleo.
Dibromuro de etileno	cero	0.00005	Trastornos hepáticos, estomacales, renales o del sistema reproductor; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de refineries de petróleo.
Glifosato	0.7	0.7	Trastornos renales; dificultades para la reproducción.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas.
Heptacloro	cero	0.0004	Lesiones hepáticas; alto riesgo de cáncer	Residuos de termiticidas prohibidos.
Heptaclorepóxido	cero	0.0002	Lesiones hepáticas; alto riesgo de cáncer	Descomposición de heptacloro.
Hexaclorobenceno	cero	0.001	Trastornos hepáticos o renales; dificultades para la reproducción; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de refineries de metales y plantas de agroquímicos.
Hexacloro-ciclopentadieno	0.05	0.05	Trastornos renales o estomacales.	Efluentes de plantas químicas.

Lindano	0.0002	0.0002	Trastornos hepáticos o renales.	Aguas contaminadas/percolado de insecticidas usados en ganado, madera, jardines.
Metoxicloro	0.04	0.04	Dificultades para la reproducción.	Aguas contaminadas/percolado de insecticidas usados en frutas, vegetales, alfalfa, ganado.
Oxamil (Vidato)	0.2	0.2	Efectos leves sobre el sistema nervioso.	Aguas contaminadas/percolado de insecticidas usados en manzanas, papas y tomates.
Bifenilos policlorados (PCB)	cero	0.0005	Cambios en la piel; problemas de la glándula tímica; inmunodeficiencia; dificultades para la reproducción o problemas en el sistema nervioso; alto riesgo de cáncer.	Agua de escorrentía de vertederos; aguas con residuos químicos.
Pentaclorofenol	cero	0.001	Trastornos hepáticos o renales; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de plantas de conservantes para madera.
Picloram	0.5	0.5	Trastornos hepáticos.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas.
Simazina	0.004	0.004	Problemas sanguíneos.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas.
Estireno	0.1	0.1	Trastornos hepáticos, renales o circulatorios.	Efluentes de fábricas de goma y plástico; lixiviados de vertederos.
Tetracloroetileno	cero	0.005	Trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de fábricas y empresas de limpieza en seco.
Tolueno	1	1	Trastornos renales, hepáticos o del sistema nervioso.	Efluentes de refineries de petróleo.
Trihalometanos totales (TTHM)	ninguno <sup>5</sup>	0.10	Trastornos renales, hepáticos o del sistema nervioso central; alto riesgo de cáncer.	Subproducto de la desinfección de agua potable.
Toxafeno	cero	0.003	Problemas renales, hepáticos o de tiroides; alto riesgo de cáncer.	Aguas contaminadas/percolado de insecticidas usados en algodón y ganado.
2,4,5-TP (Silvex)	0.05	0.05	Trastornos hepáticos.	Residuos de herbicidas prohibidos.

1,2,4-Triclorobenceno	0.07	0.07	Cambios en glándulas adrenales.	Efluentes de fábricas de textiles.
1,1,1- Tricloroetano	0.20	0.2	Problemas circulatorios, hepáticos o del sistema nervioso.	Efluentes de plantas para desgrasar metales y de otros tipos de plantas.
1,1,2- Tricloroetano	3	5	Problemas hepáticos, renales o del sistema inmunológico.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
Tricloroetileno	cero	5	Trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de plantas para desgrasar metales y de otros tipos de plantas.
Cloruro de vinilo	cero	2	Alto riesgo de cáncer.	Percolado de tuberías de PVC; efluentes de fábricas de plásticos.
Xilenos (total)	10	10	Lesiones del sistema nervioso.	Efluentes de refinерías de petróleo; efluentes de plantas químicas.
<b>Radionucleidos</b>				
Emisores de partículas beta y de fotones.	ninguno <sup>5</sup>	4 milirems por año (mrem/año)	Alto riesgo de cáncer.	Desintegración radiactiva de depósitos naturales y artificiales de ciertos minerales que son radiactivos y pueden emitir radiación conocida como fotones y radiación beta.
Actividad bruta de partículas alfa	ninguno <sup>5</sup>	15 picocuries por litro (pCi/l)	Alto riesgo de cáncer.	Erosión de depósitos naturales de ciertos minerales que son radiactivos y pueden emitir radiación conocida como radiación alfa.
Radio 226 y Radio 228 (combinados)	ninguno <sup>5</sup>	5 pCi/l	Alto riesgo de cáncer.	Erosión de depósitos naturales.
<b>Microorganismos</b>				
<i>Giardia lamblia</i>	cero	TT <sup>6</sup>	Trastornos gastrointestinales (diarrea, vómitos, retortijones).	Desechos fecales humanos y de animales.
Conteo de placas de bacterias heterotróficas(HPC)	N/A	TT <sup>6</sup>	El HPC no tiene efecto sobre la salud; es sólo un método analítico usado para medir la variedad de bacterias comúnmente encontradas en el agua. Cuanto menor sea la concentración de bacterias en el agua potable, mejor mantenido estará el sistema.	Con el HPC se determinan las diversas bacterias que hay en forma natural en el medio ambiente.

<i>Legionella</i>	cero	TT <sup>9</sup>	Enfermedad de los legionarios, un tipo de neumonía <sup>9</sup> .	Presente naturalmente en el agua; se multiplica en los sistemas de calefacción.
Coliformes totales (incluye coliformes fecales y <i>E. coli</i> )	cero	5.0% <sup>10</sup>	Por sí mismos, los coliformes no constituyen una amenaza para la salud; su determinación se usa para indicar si pudiera haber presentes otras bacterias posiblemente nocivas <sup>11</sup> .	Los coliformes se presentan naturalmente en el medio ambiente; los coliformes fecales y la <i>E. coli</i> provienen de heces fecales de humanos y de animales.
Turbidez	N/A	TT <sup>8</sup>	La turbidez es una medida del enturbiamiento del agua. Se utiliza para indicar la calidad del agua y la eficacia de la filtración (por ejemplo, para determinar si hay presentes organismos que provocan enfermedades). Una alta turbidez suele asociarse a altos niveles de microorganismos causantes de enfermedades, como por ejemplo, virus, parásitos y algunas bacterias. Estos organismos pueden provocar síntomas tales como náuseas, retortijones, diarrea y dolores de cabeza asociadas.	Agua de escorrentía por el terreno.
Virus (entéricos)	cero	TT <sup>8</sup>	Trastornos gastrointestinales (diarrea, vómitos, retortijones).	Heces fecales de humanos y de animales.

### Notas

1. Meta del Nivel Máximo del Contaminante (MNNC) Es el nivel de un contaminante en el agua potable por debajo del cual no se conocen o no se esperan riesgos para la salud. Los MNNC permiten contar con un margen de seguridad y no son objetivos de salud pública obligatorios.
2. Nivel Máximo del Contaminante (NNC) - Es el máximo nivel permitido de un contaminante en agua potable. Los NNC se establecen tan próximos a los MNNC como sea posible, usando para ello la mejor tecnología de tratamiento disponible y teniendo en cuenta también los costos. Los NNC son normas obligatorias.
3. Técnica de Tratamiento (TT) Proceso obligatorio, cuya finalidad es reducir el nivel de un contaminante dado en el agua potable.
4. Las unidades se expresan en miligramos por litro (mg/l) a menos que se indique otra cosa.
5. Los MNNC se establecieron luego de la Enmienda de 1986 a la Ley de Agua Potable Segura. El estándar para este contaminante se fijó antes de 1986. Por lo tanto, no hay MNNC para este contaminante.

6. El plomo y el cobre se regulan mediante una Técnica de Tratamiento que exige la implementación de sistemas que controlen el poder corrosivo del agua. El nivel de acción sirve como un aviso para que los sistemas de agua públicos tomen medidas adicionales de tratamiento si los niveles de las muestras de agua superan en más del 10 % los valores permitidos. Para el cobre, el nivel de acción es 1.3 mg/l y para el plomo es 0.015mg/l.

7. Todos y cada uno de los sistemas de agua deben declarar al estado, por escrito, que si se usa acrilamida y/o epíclorhidrina para tratar agua, la combinación (o producto) de dosis y cantidad de monómero no supera los niveles especificados, a saber: acrilamida = 0.05% dosificada a razón de 1 mg/l (o su equivalente); epíclorhidrina = 0.01% dosificada a razón de 20 mg/l (o su equivalente).

8. La Regla de Tratamiento de Agua de Superficie requiere que los sistemas que usan agua de superficie o subterránea bajo influencia directa de agua de superficie, (1) desinfecten el agua y (2) filtren el agua o realicen el mismo nivel de tratamiento que aquellos que filtran el agua. El tratamiento debe reducir los niveles de *Giardia lamblia* (parásito) en un 99.9% y los virus en un 99.99%. La *Legionella* (bacteria) no tiene límite, pero la EPA considera que si se inactivan la *Giardia* y los virus, la *Legionella* también estará controlada. En ningún momento la turbidez (enturbiamiento del agua) puede superar las 5 unidades nefelométricas de turbidez ("NTU") [los sistemas filtrantes deben asegurar que la turbidez no supera 1 NTU (0.5 NTU para filtración convencional o directa) en al menos el 95% de las muestras diarias de cualquier mes]; HPC- no más de 500 colonias por mililitro.

9. La Enfermedad de los Legionarios se produce cuando las personas susceptibles inhalan un aerosol que contiene *Legionella*, no cuando se bebe agua que contiene *Legionella*. (Las duchas, grifos de agua caliente, jacuzzis y equipos de enfriamiento, tales como torres de enfriamiento y acondicionadores de aire, producen aerosoles). Algunos tipos de *Legionella* pueden provocar un tipo de neumonía llamada Enfermedad de los Legionarios. La *Legionella* también puede provocar una enfermedad mucho menos grave llamada fiebre Pontiac. Los síntomas la fiebre Pontiac pueden incluir: dolores musculares, cefaleas, tos, náuseas, mareos y otros síntomas.

10. En un mes dado, no pueden detectarse más de 5.0% de muestras con coliformes totales positivas. (Para sistemas de agua en los que se recogen menos de 40 muestras de rutina por mes, no puede detectarse más de una muestra con coliformes totales positiva). Toda muestra que presente coliformes totales debe analizarse para saber si presenta *E. coli* coliformes fecales, a fin de determinar si hubo contacto con heces fecales humanas o de animales (coliformes fecales y *E. coli* son parte del grupo de coliformes totales).

11. Coliformes fecales y *E. coli* son bacterias cuya presencia indica que el agua podría estar contaminada con heces fecales humanas o de animales. Los microbios que provocan enfermedades (patógenos) y que están presentes en las heces, causan diarrea, retortijones, náuseas, cefaleas u otros síntomas. Estos patógenos podrían representar un riesgo de salud muy importante para bebés, niños pequeños y personas con sistemas inmunológicos gravemente comprometidos<sup>12</sup>.

<sup>12</sup> Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). EPA 815-F-00-007. Abril de 2000.

## CAPÍTULO II

### TRATAMIENTO DEL AGUA

Los problemas de contaminación del agua son los problemas ambientales de efecto inmediato más importantes de México. Esto se establece por el hecho de que la primera causa de enfermedad en el país es la de tipo gastrointestinal, la cual tiene como origen la mala calidad del agua que la población bebe. La principal razón de este problema surge entre la distribución de las aguas del país y el asentamiento de la población, pues en los sitios donde se asienta hasta el 70% de la población sólo dispone del 15% de los recursos hídricos del país, mientras que donde están el 85% de las aguas hay muy poca población.

De los problemas más agudos de la contaminación del agua en México son los desechos generados por la industria de metales pesados como el mercurio, cadmio y plomo, que son generadores de problemas de salud gravísimos. A este sector se le suma la contaminación generada en la extracción, transporte y procesamiento del petróleo, el cual tiene la culpa de grandes contaminaciones hídricas. Urge por tanto, un programa nacional para resolver este problema ambiental.

Aunque el ciclo del agua es capaz de eliminar muchos de los contaminantes de ríos, lagos y mares, el volumen de agua contaminada es tan grande que este formidable ciclo es incapaz de purificar todas las suciedades que producimos. Es por esto, que la mayoría de las sociedades modernas han desarrollado sofisticadas tecnologías que nos permiten rehabilitar las aguas residuales domésticas y algunas industriales para reusarlas posteriormente.

Las aguas residuales que eliminan las casas, los comercios y ciertas industrias son susceptibles de ser reutilizadas. Es decir, podemos tratarlas y volverlas a ofrecer a personas para efectuar con ellas muchas actividades, como la irrigación de las áreas verdes, el lavado de autos, el riego agrícola, actividades recreativas y muchas otras acciones que no requieren el agua al 100% potable. Este logro tecnológico es posible a pesar de la gran cantidad de contaminantes del agua, entre los que se encuentran las grasas animales, aceites, grasas minerales, detergentes, plaguicidas, solventes, metales, nitritos, fosfatos, materia fecal y basura.

#### II.1 Evaluación de caudales y calidad de los desechos

##### II.1.1 Caudales

Para resolver muchos problemas de abastecimiento de agua, su uso y disponibilidad final, es preciso conocer su caudal y la concentración de las sustancias que lleva. Se requiere la siguiente información:

- 1) La medida de los gastos de agua.
- 2) La recolección de muestras representativas de agua.
- 3) El examen y el análisis de las muestras.

Para establecer tanto la cuota que debe pagar el consumidor como la operación de las plantas de tratamiento del agua y proporcionar los productos químicos necesarios para llevarlo a cabo, la mayor parte de las plantas miden el agua que entra<sup>13</sup>.

Puede medirse tanto el gasto total como el flujo en las áreas individuales de procesamiento dentro de una planta.

Después de almacenar y tratar el agua, ésta se distribuye mediante tuberías a toda la planta; por lo tanto es muy importante medir la cantidad de agua que se está proporcionando a la planta por medio de un medidor de flujo (de presión diferencial, tubo pitot, magnético etc.).

El buen éxito de todo un proyecto de agua puede depender de la colecta de una muestra representativa. Este casi no es problema en la mayor parte de los sistemas de abastecimiento de agua. Raras veces la composición del agua de abastecimiento está sujeta a variaciones continuas o repentinas.

En estas corrientes de agua de calidad relativamente, la presencia de sólidos suspendidos puede ser uno de los factores que requieran especial cuidado en el muestreo. En la línea de distribución, los sólidos suspendidos tienden a viajar a lo largo de la pared del tubo, de manera que un tubo de muestreo que tenga su abertura sobre la pared del tubo de distribución puede atrapar más sólidos suspendidos que los que serían representativos del agua que fluye por el tubo. Así, cuando el contenido de sólidos sea importante, como en un sistema de condensados industriales, la línea de muestreo deberá entrar al flujo de la corriente.

#### II.1.2 Norma Oficial Mexicana DGN-AA-3-1975. "Método de Muestreo de Aguas Residuales".

DGN-AA-3-1975.- (Esta Norma cancela la DGN-AA-3-1973).

Esta Norma establece los lineamientos generales y recomendaciones para hacer un muestreo las descargas de aguas residuales, con el fin de determinar sus características físicas, químicas y bacteriológicas, debiéndose observar las modalidades indicadas en las normas de métodos de prueba correspondientes.

##### II.1.2.A Definiciones

- Agua residual

Es el líquido de composición variada proveniente de usos municipal, industrial comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada y que por tal motivo haya sufrido degradación o alteración en su calidad original.

- Canal abierto

Cualquier conducto en el cual el agua fluye presentando una superficie libre.

- Colector

Es un conducto abierto o cerrado que recibe las aportaciones de agua de otros conductos.

<sup>13</sup> Kemmer Frank. Manual del Agua, Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. 1a Edición, Mc Graw Hill, 1979. pp. 7-1 - 7-2.

- Descarga

Es el conjunto de aguas residuales que se vierten o disponen en algún cuerpo receptor.

- Muestra simple

Es aquella muestra individual tomada en un corto período de forma tal que el tiempo empleado en su extracción sea el transcurrido para obtener el volumen necesario.

- Muestra compuesta

Es la que resulta del mezclado de varias muestras simples.

### *II.1.2.B Recipientes para el transporte y conservación de las muestras*

- Material de los recipientes.

Los recipientes para las muestras deben ser de materiales inertes al contenido de las aguas residuales. Se recomiendan los recipientes de polietileno de vidrio.

- Tapas o cierres.

Las tapas deben proporcionar un cierre hermético en los recipientes y se recomienda que sea de material afín al del recipiente.

- Preparación de los recipientes

Los recipientes deben tratarse para eliminar cualquier sustancia que altere los resultados de los análisis.

- Capacidad de los recipientes.

Se recomienda que los recipientes tengan una capacidad mínima de 2 litros.

### *II.1.2.C Etiquetas para las muestras*

Se deben tomar las precauciones necesarias para que en cualquier momento sea posible identificar las muestras. Se deben emplear etiquetas pegadas o colgadas, o numerar los frascos anotándose la información en una hoja de registro. Estas etiquetas deben contener como mínimo la siguiente información:

Identificación de la descarga.

Número de muestra.

Fecha y hora de muestreo

Punto de Muestreo

Nombre y firma del muestreo

- Descarga

Es el conjunto de aguas residuales que se vierten o disponen en algún cuerpo receptor.

- Muestra simple

Es aquella muestra individual tomada en un corto periodo de forma tal que el tiempo empleado en su extracción sea el transcurrido para obtener el volumen necesario.

- Muestra compuesta

Es la que resulta del mezclado de varias muestras simples.

### *II.1.2.B Recipientes para el transporte y conservación de las muestras*

- Material de los recipientes.

Los recipientes para las muestras deben ser de materiales inertes al contenido de las aguas residuales. Se recomiendan los recipientes de polietileno de vidrio.

- Tapas o cierres.

Las tapas deben proporcionar un cierre hermético en los recipientes y se recomienda que sea de material afín al del recipiente.

- Preparación de los recipientes

Los recipientes deben tratarse para eliminar cualquier sustancia que altere los resultados de los análisis.

- Capacidad de los recipientes.

Se recomienda que los recipientes tengan una capacidad mínima de 2 litros.

### *II.1.2.C Etiquetas para las muestras*

Se deben tomar las precauciones necesarias para que en cualquier momento sea posible identificar las muestras. Se deben emplear etiquetas pegadas o colgadas, o numerar los frascos anotándose la información en una hoja de registro. Estas etiquetas deben contener como mínimo la siguiente información:

Identificación de la descarga.

Número de muestra.

Fecha y hora de muestreo

Punto de Muestreo

Nombre y firma del muestreo

- Hoja de registro.

Se debe llevar una hoja de registro con la información que permita identificar el origen de la muestra y todos los datos que en un momento dado permitan repetir el muestreo.

#### *II.1.2.D Equipo de recolección de muestras*

- Tomas de muestreo.

Se recomienda se instalen estas tomas en conductos a presión o en conductos que permitan el fácil acceso para hacer un muestreo a cielo abierto con el objeto de caracterizar debidamente las aguas residuales.

Las tomas deben tener un diámetro adecuado para hacer un muestreo correctamente las aguas residuales en función de los materiales que puedan contener deben ser de la menor longitud posible, y procurar situarlas de tal manera que las muestras sean representativas de la descarga. Se recomienda el uso de materiales similares a los del conducto, de acero al carbón o de acero inoxidable.

- Muestreadores automáticos

Se permite su empleo siempre y cuando se operen de acuerdo con las instrucciones del fabricante del equipo muestreador dándoles el correcto y adecuado mantenimiento, asegurándose de obtener muestra representativa de las aguas residuales

- Válvulas y Accesorios.

Cada toma de muestreo debe tener una válvula de cierre que permita el paso libre de las aguas residuales y de los materiales que puedan contener y proporcionar el cierre hermético de la toma. Esta válvula y los accesorios necesarios para su instalación, deben ser de materiales similares a los de las tomas y/o los conductos en que éstas se instalen

- Recipiente muestreador.

Deben ser de material inerte al contenido de las aguas residuales.

- Material común de laboratorio.

#### *II.1.2.E Procedimiento*

Las muestras deben ser representativas de las condiciones que existan en el punto y hora de muestreo y tener el volumen suficiente para efectuar en él las determinaciones correspondientes.

Las muestras deben representar lo mejor posible las características del efluente total que se descarga por el conducto que se muestrea.

Al efectuarse el muestreo, deben anotarse los datos según el inciso II.1.2.C.

- Muestreo en tomas

Se deja fluir un volumen aproximadamente igual a 10 veces el volumen de la muestra y a continuación se llena el recipiente de muestreo.

- Muestreo en descargas libres

El recipiente muestreador se debe enjuagar repetidas veces antes de efectuar el muestro.

Se introduce el recipiente muestreador en el chorro para obtener la muestra. De ser posible, se toma directamente la muestra en el recipiente para la muestra.

La muestra se transfiere del recipiente muestreador al recipiente para la muestra cuidando de que ésta siga siendo representativa.

- Muestreo en canales y colectores

Se recomienda tomar las muestras en el centro del canal o colector de preferencia en lugares donde el flujo sea turbulento a fin de asegurar un buen mezclado.

El recipiente muestreador se debe enjuagar repetidas veces con el agua por muestrear antes de efectuar el muestreo.

El recipiente muestreador, atado con una cuerda o sostenido con la mano de preferencia enguantada, se introduce en el agua residual completamente y se extrae la muestra.

Si la muestra se transfiere de recipiente se debe cuidar que ésta siga siendo representativa.

- Cierre de los recipientes de muestreo

Las tapas o cierres de los recipientes deben fijarse de tal forma que se evite el derrame de la muestra.

- Obtención de la muestra

Se recomienda que las muestras sean compuestas, de tal forma que representen el promedio de las variaciones de los contaminantes. El procedimiento para la obtención de dichas muestras es el siguiente:

Las muestras compuestas se obtienen mezclando muestras simples en volúmenes proporcionales al gasto o flujo de descarga medido en el sitio y momento del muestreo.

El intervalo entre la toma de cada muestra simple para integrar la muestra compuesta, debe ser el suficiente para determinar la variación de los contaminantes del agua residual.

Las muestras compuestas se deben tomar de tal manera que cubran las variaciones de la descarga durante 24 horas como mínimo.

### II.1.3 Desechos (características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales)

Los métodos para medir flujos en aguas de desecho son:

- 1 Para canales abiertos
  - Vertederos

- Canales
  - Medida del tiempo de flotadores
- 2 Para descarga de tubos abiertos en un extremo
- Método de la medida del tiempo de descarga
  - Método del orificio en la tapa del tubo
  - Medida de las coordenadas
- 3 Métodos indirectos
- Concentración de los productos químicos
  - Medida de la temperatura

Las aguas residuales se caracterizan en términos de su composición física, química y biológica.

### II.1.3.A Características Físicas

La característica física más importante del agua residual son los sólidos totales que contiene, los cuales pueden estar compuestos de materia flotante, materia sedimentable, materia coloidal y materia en solución. Otras propiedades físicas pueden incluir: Olor, temperatura, densidad, color y turbidez<sup>14</sup>.

- Sólidos totales

Análíticamente, el contenido de sólidos totales de una agua residual se define como toda la materia que permanece como residuo después de una evaporación de 103 a 105°C. La materia que tiene una presión de vapor alta a esta temperatura, se elimina durante la evaporación y entonces no es un sólido.

Los sólidos sedimentables son aquellos sólidos que se sedimentarán en el fondo de un contenedor cónico en un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables se expresan en unidades de ml/l y es una medida aproximada de la cantidad de lodo que será removida por medio de sedimentación primaria.

Los sólidos totales se clasifican en filtrables y no filtrables. Los sólidos filtrables consisten en sólidos disueltos y coloidales. Los coloidales consisten de partículas con un tamaño aproximado de 0.001 a 1 micrón. Los sólidos disueltos consisten de moléculas orgánicas e inorgánicas y iones que están presentes en solución con el agua. La fracción coloidal no puede ser removida por sedimentación. Generalmente se requiere coagulación u oxidación biológica, seguida de sedimentación para su remoción.

La fracción orgánica (sólidos suspendidos volátiles) se oxidará y será eliminada como gas a una temperatura de 550+- 50°C, y la fracción inorgánica (sólidos suspendidos fijos) permanecerá en la solución acuosa.

El contenido de sólidos de una muestra de agua residual se puede clasificar aproximadamente como se muestra en la siguiente figura II.1.

<sup>14</sup> Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse. McGraw-Hill International Editions. Third Edition 1991. USA. Pp. 50-96.

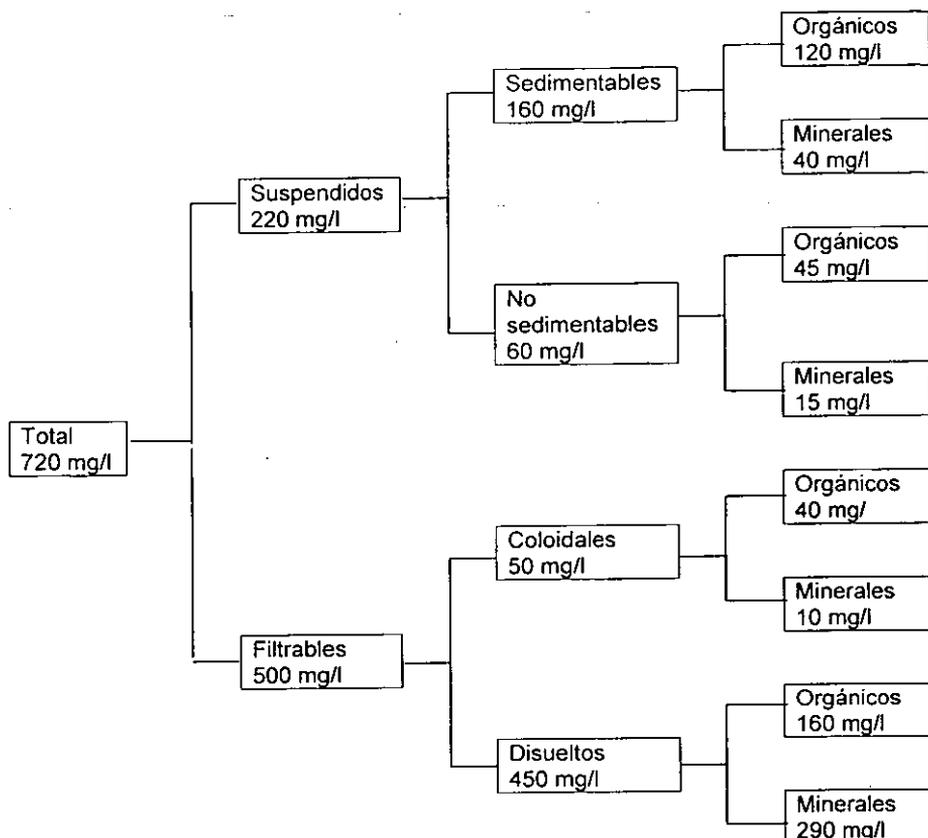


Figura II.1 Clasificación de sólidos de una muestra de agua residual.

- Olor

La importancia de los olores en las aguas residuales a concentraciones bajas en términos humanos se relaciona primordialmente con el estrés psicológico que estos producen, más que con el daño al cuerpo humano que estos puedan causar. En la tabla II.1. se enlistan algunos compuestos asociados a malos olores.

Compuesto	Fórmula química	Olor, calidad
Aminas	$\text{CH}_3\text{NH}_2$ , $(\text{CH}_3)_3\text{H}$	Pescado
Amoniaco	$\text{NH}_3$	Amoniaco
Diaminas	$\text{NH}_2(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2$ , $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_5\text{NH}_2$	Carne descompuesta
Acido Sulfúrico	$\text{H}_2\text{S}$	Huevo podrido
Mercaptanos(metil y etil)	$\text{CH}_3\text{SH}$ , $\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{SH}$	Vegetal descompuesto
Mercaptanos (butil)	$(\text{CH}_3)_3\text{CSH}$ , $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{SH}$	Zorrillo
Sulfuros orgánicos	$(\text{CH}_3)_2\text{S}$ , $(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{S}$	Col podrida

Tabla II.1 Clasificación de sólidos de una muestra de agua residual.

- **Temperatura**

La temperatura de las aguas residuales generalmente es mayor que la del agua de suministro, debido a la adición de agua tibia en las actividades industriales. Las temperaturas de las aguas residuales van desde 10 a 21.1 °C.

La temperatura es un parámetro muy importante debido a su efecto sobre las reacciones químicas y los grados de reacción, vida acuática y la oportunidad de reusar esta agua.

Una temperatura alta en el agua residual puede causar un cambio en las especies de mar que están en contacto con ella. Además, el oxígeno es menos soluble en agua tibia que en agua caliente. Temperaturas óptimas para la actividad bacteriana se encuentran entre 25 y 35 °C. La digestión aeróbica y la nitrificación se detienen cuando la temperatura aumenta hasta 50°C. Cuando la temperatura baja hasta 15°C, el metano producido por bacterias llega a ser muy inactivo, y a 5°C la bacteria de nitrificación-autotrófica deja de funcionar.

- **Densidad**

La densidad es una variable muy importante del agua residual debido a que se puede presentar un riesgo potencial de formación de corrientes densas en los tanques de sedimentación y otras unidades del tratamiento que pueden hacer inoperantes a estos equipos.

- **Color**

El color de las aguas residuales puede cambiar gradualmente desde un gris a un gris oscuro y hasta un negro. Cuando el color del agua residual es negro, el agua se describe como séptica. El color del agua gris, gris oscuro o negro se puede deber a la formación de sulfuros metálicos.

- **Turbiedad**

Es un parámetro físico de análisis de aguas. Se realiza en laboratorios con un turbidímetro. La turbiedad es ocasionada por sólidos en suspensión, y es debida a la extracción de materiales y a descargas coloreadas de fábricas de textiles y curtumbres entre otros. La turbiedad se puede relacionar directamente con el índice de contaminación. Su mayor efecto se presenta en el deterioro estético de la corriente.

### II.1.3.B *Características químicas*

Las características Químicas del agua residual se pueden presentar en cuatro partes:

Materia orgánica

Medición del contenido orgánico

Materia inorgánica

Gases

#### **Materia orgánica**

En una agua residual de mediana fuerza, cerca del 75% de los sólidos suspendidos y 40% por ciento de los sólidos filtrables son orgánicos por naturaleza. Estos sólidos provienen de los reinos animal y vegetal y por supuesto de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos se

componen de una combinación de hidrógeno, carbón y oxígeno, juntos con nitrógeno en algunos casos. Otros elementos como el azufre, fósforo y hierro pueden de igual forma estar presentes. Los grupos principales de sustancias orgánicas encontradas en el agua residual son las proteínas (40 a 60 por ciento), carbohidratos (25 a 50 por ciento) y grasas y aceites (10 por ciento). La urea, principal constituyente de la orina, es otro compuesto orgánico que se encuentra en el agua residual. Otros compuestos encontrados en menor cantidad en el agua residual pueden ser surfactantes, compuestos orgánicos volátiles y pesticidas. Algunos de estos compuestos no pueden ser o son descompuestos biológicamente muy lentamente.

- **Proteínas**

Las proteínas son el principal constituyente de los organismos animales. En menor cantidad, también se encuentran en las plantas. La cantidad de proteínas varía desde pequeños porcentajes en las frutas acuosas como el tomate hasta grandes porcentajes en la carne y frijoles. Las proteínas son complejas en cuanto a su estructura química, además de ser muy inestables, por lo tanto pueden ser sujetas a muchas formas de descomposición. Algunas son solubles en agua; otras son insolubles. La química de la formación de proteínas envuelve la combinación de un gran número de aminoácidos. Los pesos moleculares de ellas son muy altos, de 20,000 a 20 millones<sup>15</sup>.

Todas las proteínas contienen carbón, el cual es común en todas las sustancias orgánicas, así como el hidrógeno y el oxígeno. También contienen alrededor de 16% de nitrógeno. En algunos casos azufre, fósforo y hierro. La urea y las proteínas son los jefes portadores de nitrógeno en las aguas residuales. Las proteínas en grandes cantidades pueden ser causantes de malos olores.

- **Carbohidratos**

Los carbohidratos incluyen azúcares, almidón, celulosa y fibra de madera. Todos se encuentran en las aguas residuales. Los carbohidratos contienen carbón, hidrógeno y oxígeno. Algunos carbohidratos son solubles en agua, por ejemplo los azúcares, sin embargo el almidón es insoluble en agua. Los azúcares tienden a descomponerse; las enzimas de ciertas bacterias y levaduras aumentan la fermentación produciendo alcoholes y dióxido de carbono. Los almidones, por el otro lado, son más estables pero pueden ser convertidos en azúcares por la actividad microbiana también por dilución de ácidos minerales. La celulosa es el componente de los carbohidratos más importante debido a que presenta una gran resistencia a la descomposición.

- **Aceites y grasas**

Los aceites y grasas son compuestos derivados del alcohol (ésteres) o glicerol (glicerina) con ácidos grasos. Se encuentran en la manteca, manteca de cerdo, margarina, aceites y grasas vegetales, carne, cereales, semillas, nueces y algunas frutas.

Las grasas son uno de los compuestos orgánicos más estables y no fácilmente son descompuestos por las bacterias. Los ácidos minerales atacan a las grasas, sin embargo, se forma glicerina y ácidos grasos. En presencia de álcalis, como hidróxido de sodio, la glicerina es liberada, y se forman sales álcalis de ácidos grasos. Los jabones son hechos por la saponificación de grasas con hidróxido de sodio. Los

<sup>15</sup> Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse. McGraw-Hill International Editions. Third Edition 1991. USA. Pp. 65-66.

jabones son solubles en agua pero algunas veces las sales de sodio pueden cambiar a sales de calcio y magnesio (jabones minerales). Estos son insolubles y precipitan.

Los aceites derivados del petróleo que contienen carbón e hidrógeno, mayormente flotan en las aguas residuales, sien embargo alguna porción permanece en los lodos de los sólidos sedimentables.

- **Surfactantes**

Los surfactantes o agentes activos de superficie son moléculas orgánicas muy largas que son ligeramente solubles en agua y pueden causar espuma en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Los surfactantes tienden a colectarse en la interface entre agua y aire. Durante la aireación de aguas residuales, estos compuestos se colectan en la superficie de las burbujas de aire y esto crea una espuma muy estable. Actualmente los surfactantes pueden ser biodegradados.

- **Contaminantes prioritarios**

La EPA ha definido aproximadamente 129 contaminantes prioritarios clasificados en 65 clases y que son regulados por los estándares categóricos de descarga. Los contaminantes prioritarios (orgánicos e inorgánicos) fueron seleccionados de acuerdo al conocimiento o sospecha de ser contaminante carcinogénico, mutanogénico, teratogénico o altamente tóxico. La mayoría de los contaminantes prioritarios orgánicos se clasifican en compuestos orgánicos volátiles (VOCs). Ejemplos representativos de contaminantes prioritarios son mostrados en la tabla I.1.

Dentro de los sistemas de colección y tratamiento de aguas residuales, los contaminantes prioritarios orgánicos pueden ser removidos, transformados, generados, o simplemente transportados a través del sistema sin ser alterados. Algunos estándares pueden prohibir la descarga de contaminantes que pueden crear un peligro de explosión e incendio en los alcantarillados o plantas de tratamiento, estos contaminantes son corrosivos (ph menor a 5), obstruyen el flujo, complican los procesos de tratamiento o inclusive aumentan las temperaturas del agua residual que entra a la planta hasta 40°C.

- **Compuestos orgánicos volátiles (VOCs)**

Los compuestos orgánicos que tienen un punto de ebullición menor o igual a 100°C y/o una presión de vapor mayor a 1 mm de Hg a 25°C son considerados compuestos orgánicos volátiles (VOCs). Por ejemplo, el cloruro vinílico, el cuál tiene un punto de ebullición de -13.9°C y una presión de vapor de 2548 mm de Hg a 20°C. Los VOCs son de suma importancia por tres razones: (1) Una vez que estos compuestos se encuentran en el estado vapor, estos son muy móviles y por lo tanto más fácilmente se pueden liberar del ambiente. (2) La presencia de estos compuestos en la atmósfera puede poner en riesgo la salud de la población. (3) Ellos contribuyen al aumento de los hidrocarburos reactivos que conducen a la formación de oxidantes fotoquímicos.

- **Pesticidas y químicos utilizados en la agricultura**

Las trazas de compuestos orgánicos, tales como pesticidas, herbicidas, y otros químicos de la agricultura, son tóxicos para la gran mayoría de especies vivas y por lo tanto pueden ser contaminantes significativos de las aguas superficiales. Estos compuestos pueden llegar a matar los peces de los ríos.

## Medición del contenido orgánico

Por muchos años, diversas pruebas para determinar el contenido orgánico de las aguas residuales han sido desarrolladas. En general, las pruebas pueden estar divididas en aquellas utilizadas para medir concentraciones de materia orgánica mayor a 1 mg/l y aquellas utilizadas para medir concentraciones en el rango de  $10^{-12}$  a  $10^{-3}$  mg/l. Los métodos de laboratorio comúnmente utilizados en la actualidad para medir las cantidades de materia orgánica (mayor a 1 mg/l) en las aguas residuales incluyen: (1) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO); (2) Demanda química de oxígeno (DQO); y (3) Carbón orgánico total (TOC). Como complemento de estas pruebas de laboratorio se tiene la demanda de oxígeno teórica (ThOD), la cuál se determina de la fórmula química de la materia orgánica<sup>16</sup>.

Otros métodos utilizados (menos importantes) incluyen: (1) Nitrógeno albuminoide y (2) Oxígeno consumido. Estas dos pruebas en un pasado se utilizaron para indicar la materia orgánica, en la actualidad se utilizan para determinar la disponibilidad del nitrógeno para sustentar la actividad biológica en los procesos de tratamiento de aguas residuales y para detectar el crecimiento de algas indeseables en el agua de alimentación a la planta de tratamiento.

Las trazas orgánicas en el rango de  $10^{-12}$  a  $10^{-3}$  se determinan utilizando métodos que incluyen cromatografía de gases y espectroscopia de masa.

La concentración de los pesticidas normalmente se mide por medio del método de extracción cloroformo-carbón, el cuál consiste en la separación de los contaminantes del agua pasando una muestra de agua a través de una columna de carbón activado y luego extraer el contaminante del carbón utilizando cloroformo. El cloroformo puede ser evaporado y los contaminantes pueden ser pesados.

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

El parámetro que más se utiliza en la medición de materia orgánica en aguas residuales y superficiales es el de 5 días DBO ( $DBO_5$ ). Su determinación envuelve la medida del oxígeno disuelto utilizado por los micro-organismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica. Los resultados de las pruebas DBO son utilizados: (1) para determinar la cantidad de oxígeno aproximada que será requerida para estabilizar biológicamente (destruir) la materia orgánica presente en el agua a una temperatura de 20°C, (2) para determinar el tamaño de la planta de tratamiento, (3) para medir la eficiencia de algunos procesos de tratamiento, y (4) para determinar el cumplimiento con los parámetros de descarga de agua permitidos.

No es fácil caracterizar la composición de los residuos industriales con arreglo a un rango típico de valores dado según el proceso de fabricación. La concentración de un residuo industrial se pone de manifiesto enunciando el número de personas, o equivalente de población (PE), necesario para producir la misma cantidad de residuos. Este valor acostumbra a expresarse en términos de  $DBO_5$ . Para la determinación del PE se emplea un valor medio de 0,077 kg, en 5 días, a 20 °C de DBO por persona y día. El equivalente de población de un matadero, por ejemplo, oscilará entre 5 y 25 PE por animal.

<sup>16</sup> Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse. McGraw-Hill International Editions. Third Edition 1991. USA. Pp. 70-80.

- Demanda química de oxígeno (DQO)

La prueba del DQO es utilizada para medir el contenido de materia orgánica en las aguas residuales y naturales. De modo similar, la DQO es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medio de dicromato de potasio en una solución ácida y convertirla en dióxido de carbono y agua. El valor de la DQO es siempre superior al de la DBO<sub>5</sub> porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente. La DBO<sub>5</sub> suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales municipales e industriales biodegradables, sin tratar y tratadas. La DQO se usa para comprobar la carga orgánica de aguas residuales que, o no son biodegradables o contienen compuestos que inhiben la actividad de los microorganismos. El pH mide la acidez de una muestra de aguas residuales. Los valores típicos para los residuos sólidos presentes en el agua y la DBO<sub>5</sub> del agua residual doméstica aparecen en la tabla adjunta. El contenido típico en materia orgánica de estas aguas es un 50% de carbohidratos, un 40% de proteínas y un 10% de grasas; y entre 6,5 y 8,0, el pH puede variar.

Tipos de Sólidos	Sólidos (mg/l)		DBO <sub>5</sub> DQO		
	Fijos	Volátiles	Total	mg/l	mg/l
Suspendidos	70	175	245	110	108
Precipitables	45	100	145	50	42
No precipitables	25	75	100	60	66
Disueltos	210	210	420	30	42
Total	280	385	665	140	150

- Carbón orgánico total

Otra razón para medir la materia orgánica presente en el agua es el TOC, el cuál es especialmente aplicable a concentraciones pequeñas de materia orgánica. La prueba se realiza inyectando una cantidad conocida de muestra en un horno de alta temperatura o un ambiente de oxidación química. El carbón orgánico es oxidado en dióxido de carbono en presencia de un catalizador. El dióxido de carbono que se produce es cuantitativamente medido por medio de un analizador de rayos infrarrojos. Antes de hacer el análisis se recomienda la acidificación y aireación de la muestra para evitar errores debido a la presencia de carbón inorgánico. Si existen compuestos orgánicos volátiles (VOCs) en la muestra, el paso de la aireación debe ser omitida ya que estos compuestos se eliminan por evaporación<sup>17</sup>.

- Demanda teórica de oxígeno

La materia orgánica de origen animal y vegetal que se encuentra en el agua residual generalmente es una combinación de carbón, hidrógeno, oxígeno, y nitrógeno. Si la fórmula química de la materia orgánica es conocida, la demanda teórica orgánica puede ser calculada.

- Correlación entre las medidas gruesas del contenido orgánico

El establecimiento de la relación constante entre las diversas medidas del contenido orgánico depende primordialmente de la naturaleza y origen de las aguas residuales. De todas las medidas, la más difícil de correlacionar es el DBO<sub>5</sub>. Para aguas

<sup>17</sup> Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse. McGraw-Hill International Editions. Third Edition 1991. USA. Pp. 82.

residuales domésticas, sin embargo, la relación  $DBO_5/DQO$  varía de 0.4 a 0.8 y la relación  $DBO_5/TOC$  varía de 1.0 a 1.6.

### Materia Inorgánica

Algunos componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales se deben establecer y por lo tanto se debe controlar su calidad. Las concentraciones de sustancias inorgánicas en el agua aumentan por la formación geológica con la cuál el agua viene acompañada o esta en contacto y por las aguas residuales tratadas y no tratadas que son descargadas en el agua natural. Las aguas naturales disuelven algunas de las rocas y minerales con los que se encuentran en contacto. Las aguas residuales, con excepción de algunos desperdicios industriales, son poco tratadas para removerles los compuestos inorgánicos que son adicionados en el ciclo de uso. Debido a que las concentraciones de algunos compuestos inorgánicos pueden afectar enormemente los beneficios del uso del agua, se debe examinar la naturaleza de algunos de sus constituyentes, particularmente aquellos adicionados al agua natural via el ciclo de uso.

- PH

La concentración de ión hidrógeno es un parámetro de calidad muy importante de medir en las aguas residuales y naturales. El rango de concentración conveniente para la existencia de la mayoría de vidas biológicas es muy reducida y crítica. El agua residual que contiene una concentración adversa de ion hidrógeno es difícil de tratar por medios biológicos y si la concentración no es alterada antes de su descarga, el efluente de agua residual puede alterar la concentración de las aguas naturales.

- Cloruros

Las rocas y el suelo por si mismos contienen concentraciones de cloruros, las aguas provenientes de mares y océanos contienen gran cantidad de cloruros.

- Alcalinidad

La alcalinidad en el agua es el resultado de la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos, de elementos tales como calcio, magnesio, sodio, potasio, o amonio. De todos estos, los bicarbonatos de calcio y magnesio son los más comunes. La alcalinidad en las aguas residuales ayuda a los cambios en el pH causados por la adición de ácidos. La concentración de la alcalinidad en aguas residuales es importante donde se utiliza tratamiento químico, en la remoción de nutrientes biológicos y en donde amonio es removido por medio de evaporación<sup>18</sup>.

- Nitrógeno y fósforo

Los elementos de nitrógeno y fósforo son esenciales para el crecimiento de plantas y por lo tanto son conocidos como nutrientes o bioestimulantes. Cantidades de otros elementos como puede ser el hierro son necesarias para el crecimiento biológico. Debido a que el nitrógeno es esencial para el desarrollo de la síntesis proteica, datos de nitrógeno se requieren para evaluar la tratabilidad del agua residual por procesos biológicos. El fósforo es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos.

<sup>18</sup> Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse. McGraw-Hill International Editions. Third Edition 1991. USA. Pp. 85.

El ortofosfato puede ser determinado directamente adicionando una sustancia como el molibdato de amonio, el cual formará un complejo coloreado con el fosfato. Los polifosfatos y los fosfatos orgánicos deben ser convertidos a ortofosfatos, utilizando un paso de digestión de ácido, antes de que ellos se puedan determinar de una manera similar.

Oxidación Bacteria

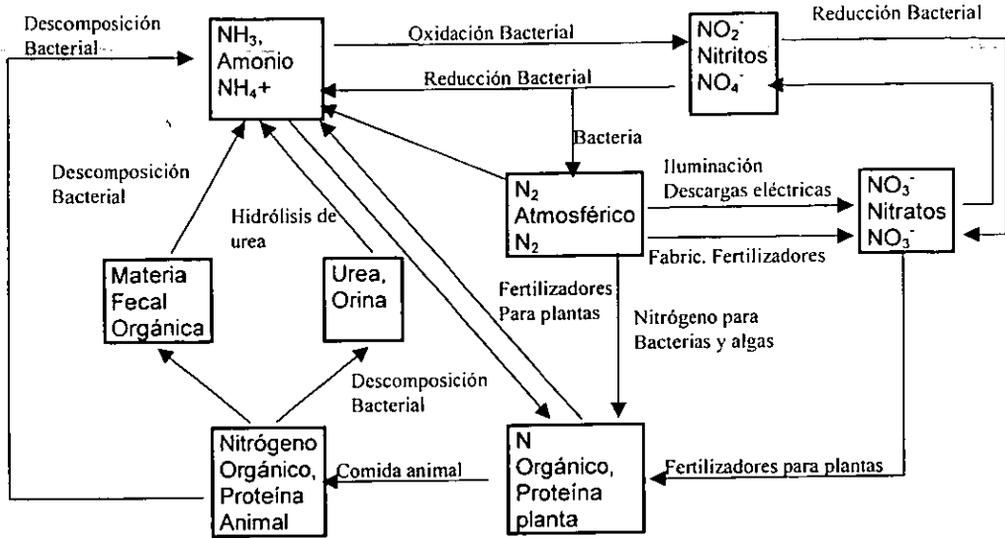


Figura II.2 Ciclo generalizado del nitrógeno.

#### • Azufre

Los iones sulfatos ocurren naturalmente en la mayoría de los suministros de agua y están presentes en las aguas residuales de igual forma. El azufre se requiere en la síntesis de las proteínas y es liberado en su degradación. El sulfato es reducido biológicamente bajo condiciones anaeróbicas en sulfuro, el cual si se combina con hidrógeno forma el ácido sulfúrico. El ácido sulfúrico puede ser oxidado biológicamente, de hecho es muy corrosivo para las tuberías. Los sulfatos son reducidos en sulfuros por medio de digestores de lodos y pueden perjudicar el proceso biológico si la concentración del sulfuro es superior a 200 mg/l<sup>19</sup>.

#### • Compuestos inorgánicos tóxicos

Debido a su toxicidad, algunos cationes son de gran importancia en el tratamiento y disposición de aguas residuales. Algunos de estos compuestos son clasificados como contaminantes prioritarios. El cobre, plomo, plata, cromo, arsénico y boro son tóxicos en altas concentraciones.

<sup>19</sup> Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse. McGraw-Hill International Editions. Third Edition 1991. USA. Pp. 88.

- Metales Pesados

Algunas trazas de la mayoría de los metales como níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, cinc, cobre, hierro y mercurio, son constituyentes importantes de las aguas residuales. La mayoría de estos metales están clasificados dentro de los contaminantes prioritarios. Algunos de ellos son necesarios para el crecimiento de la vida biológica, por lo que, la ausencia de cantidades suficientes de ellos podría limitar el crecimiento de algas, por ejemplo. La presencia de estos elementos en exceso puede interferir con muchos de los beneficios del uso del agua debido a su toxicidad; Sin embargo, siempre será deseable medir y controlar la concentración de estas sustancias. Existe gran cantidad de métodos para medir la concentración de los metales pesados en las aguas residuales por ejemplo, (1) espectroscopia de absorción atómica y (2) polarografía.

### Gases

Los gases encontrados en las aguas residuales no tratadas incluyen nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, ácido sulfhídrico, amoníaco, y metano. Los primeros tres son gases comunes presentes en la atmósfera y que serán encontrados en todas las aguas expuestas al aire. Sin embargo, existen otros gases que también pueden estar contenidos en el agua residual como pueden ser el cloro y el ozono.

- Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es requerido para la respiración de los microorganismos aeróbicos, así como otras formas de vida aeróbicas. Sin embargo el oxígeno es ligeramente soluble en agua. Debido a que el grado de las reacciones bioquímicas que utilizan oxígeno aumenta al aumentar la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más críticos en los meses de verano. El problema se agudiza en los meses de verano porque las corrientes de aguas residuales son más bajas y entonces la cantidad de oxígeno disponible también es más baja. La presencia de oxígeno disuelto en las aguas residuales siempre será deseable ya que previene la presencia de malos olores<sup>20</sup>.

- Acido sulfhídrico

El ácido sulfhídrico se forma por la descomposición anaeróbica de la materia orgánica que contiene azufre o por la reducción de sulfuros y sulfatos minerales. No se forma en presencia de abundante suministro de oxígeno. El gas es incoloro, inflamable y con un olor a huevo podrido.

- Metano

El principal subproducto de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica en el agua residual, indudablemente es el gas metano. Es incoloro, inodoro y es un combustible de gran valor. Debido a que es muy combustible el peligro de explosión siempre queda latente.

<sup>20</sup> Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse. McGraw-Hill International Editions. Third Edition 1991. USA. Pp. 89.

## II.1.3.C

## Características biológicas

La ingeniería ambiental debe tener un conocimiento profundo de las características biológicas de las aguas residuales. El ingeniero debe conocer (1) los grupos principales de microorganismos encontrados en las aguas superficiales y residuales así como, su respuesta al tratamiento biológico, (2) Los organismos patógenos encontrados en el agua residual, (3) Los organismos utilizados como indicadores de contaminación y su importancia, (4) los métodos utilizados para enumerar los organismos indicadores y (5) Los métodos utilizados para evaluar la toxicidad de las aguas residuales tratadas.

**Microorganismos**

Los microorganismos encontrados en el agua residual se clasifican en eucariotes, eubacterias y arqueobacterias<sup>21</sup>.

Grupo	Estructura celular	Caracterización	Miembros representativos
Eucariotes	Eucariótica (contienen núcleos verdaderos)	Multicelular con diferenciación extensiva de células y tejidos	Plantas (semillas de plantas, helechos y musgos), Animales (vertebrados e invertebrados)
		Unicelular con poca o ninguna diferenciación de tejidos	Protistas (algas, hongos y protozoarios)
Eubacterias	Procariótico (no contienen membrana nuclear)	Química celular similar a los eucariotes	La mayoría de las bacterias.
Arqueobacterias	Procariótico (no contienen membrana nuclear)	Química celular distintiva	Matanogenos, halofilios, termacidofilios.

Tabla II.2 Clasificación de microorganismos.

- Bacterias

Son eubacterias procaróticas compuestas por células individuales. Se pueden agrupar en: Esféricas, lineales, curvas o espirales y filamentosas. Las esféricas se conocen como cocos y miden de 1 a 3 micras de diámetro. Las lineales conocidas como bacilos miden hasta 10 micras de longitud y de 0.3 a 1.5 micras de diámetro. E-coli (*Escherichia coli*), que es el organismo más común encontrado en la materia fecal humana mide 0.5 micras de diámetro y 2 micras de largo. Las bacterias curvas conocidas como vibrios tienen un diámetro de 0.6 a 1 micra de diámetro y de 2 a 6 micras de largo. Las bacterias espirales conocidas como espiros miden más de 50 micras. Las formas filamentosas miden más de 100 micras.

Las bacterias coliformes son utilizadas como indicativo de contaminación de las aguas residuales por desperdicios humanos.

<sup>21</sup> Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse. McGraw-Hill International Editions. Third Edition 1991. USA. Pp. 90.

- Hongos

Los hongos son aeróbicos, multicelulares, no fotosintéticos, protistas eucarióticos. La mayoría de los hongos son saprofitos, ya que obtienen su alimento de materia orgánica muerta. Los hongos junto con las bacterias son los principales responsables de la descomposición del carbón en la biosfera. Estos tienen dos ventajas sobre las bacterias: Ellos pueden crecer en áreas de baja humedad y también pueden crecer en ambientes de bajos pH. Sin la presencia de hongos que rompan la materia orgánica, el ciclo del carbón rápidamente dejaría de existir y la materia orgánica empezaría a acumularse.

- Algas

Cuando las condiciones son adecuadas, las algas pueden ser un gran problema en las aguas superficiales ya que rápidamente se reproducen y cubren las corrientes, lagos y otros receptores. Los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales contienen usualmente altos niveles de nutrientes biológicos, la descarga de estos efluentes en lagos y otros receptores puede incrementar el crecimiento biológico de algas en ellos. Las concentraciones de algas en aguas superficiales se miden principalmente por medios microscópicos.

- Protozoarios

Los protozoarios son microorganismos con estructura celular eucariótica simple sin paredes celulares. La mayoría son aeróbicos y muy pocos anaeróbicos. Los más importantes presentes en las aguas residuales incluyen amibas, flagelos y otros organismos unicelulares. Los protozoarios se alimentan de bacterias y otros microorganismos y son esenciales para la operación de los procesos de tratamiento biológico y en la purificación de corrientes de agua porque ellos mantienen un balance natural entre los diferentes grupos de microorganismos. Algunos protozoarios son patógenos como el *Giardia lamblia* y el *cristosporidium*, los cuales pueden ser agentes causantes de infecciones amenazantes de vida en pacientes que han adquirido el síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA), adquiridos por agua de beber.

- Plantas y animales

El rango de importancia va desde gusanos microscópicos hasta crustáceos macroscópicos. Desde el punto de vista de salud humana, algunos gusanos deben ser tomados en cuenta para el tratamiento de aguas, ya que algunos de estos parásitos son causantes de enfermedades.

- Virus

Los virus son por fuerza partículas parásitas que consisten de material genético ácido desoxirribonucleico (DNA) o ácido ribonucleico (RNA) con una capa de proteína. Los virus no son sintetizados en nuevos compuestos. Ellos invaden las células vivas redireccionando las actividades celulares (material genético viral) para que se produzcan nuevas partículas virales a expensas de la célula huésped. Cuando una célula infectada muere, gran cantidad de virus se liberan infectando a otras células<sup>22</sup>.

<sup>22</sup> Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse. McGraw-Hill International Editions. Third Edition 1991. USA. Pp. 93.

Los virus que son excretados por los seres humanos pueden llegar a ser de gran peligro para la salud humana. Por ejemplo, estudios experimentales han encontrado que de 10,000 a 100,000 dosis infecciosas de virus de hepatitis son emitidos por cada gramo de material fecal de un paciente que tiene hepatitis. Los virus pueden vivir por 41 días en el agua o agua residual a 20°C y por 6 días en aguas de ríos. De tal forma que es muy importante determinar los mecanismos adecuados para remover los virus en suelos, aguas superficiales y aguas residuales.

- Organismos patógenos

Los organismos patógenos encontrados en el agua residual generalmente son descargados por los seres humanos que están infectados por enfermedades o quienes son portadores de una enfermedad en particular. Los principales organismos patógenos son las bacterias, virus, protozoarios y gérmenes.

## II.2 Tratamiento de aguas residuales industriales

Los contaminantes contenidos en el agua residual son removidos por medios físicos, químicos y biológicos. Los métodos individuales usualmente son clasificados como operaciones unitarias físicas, procesos unitarios químicos y procesos unitarios biológicos<sup>23</sup>.

- Los métodos de tratamiento en los que predomina la aplicación de fuerzas físicas se conocen como operaciones unitarias físicas. Las operaciones típicas son: Cribado, mezclado, floculación, sedimentación, flotación, filtración y transferencia de gases.
- Los métodos en los que la remoción o conversión de contaminantes se realiza por medio de la adición de químicos u otras reacciones químicas se conocen como procesos unitarios químicos. Las operaciones típicas son: Precipitación, adsorción y desinfección.
- Los métodos en los que la remoción de los contaminantes se realiza por medio de la actividad biológica se conocen como procesos unitarios biológicos. Los procesos biológicos se utilizan para remover sustancias orgánicas biodegradables (coloidales y disueltas, nutrientes como nitrógeno y fósforo) del agua residual. Estas sustancias son convertidas en gases que pueden escapar a la atmósfera y en tejido celular biológico que se puede remover por sedimentación.

Los procesos empleados en las plantas de tratamiento de aguas municipales suelen clasificarse como parte de un pretratamiento y/o tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento avanzado o terciario.

Las tres fases del tratamiento son: pretratamiento y/o tratamiento primario, secundario y terciario. Históricamente, el término preliminar y/o primario se refiere a operaciones unitarias físicas y químicas; secundario se refiere a procesos unitarios biológicos preponderantemente y avanzado o terciario para combinaciones de los tres. En el tratamiento primario, se elimina un gran porcentaje de sólidos en suspensión y materia inorgánica. En el secundario se trata de reducir el contenido de materia orgánica acelerando los procesos biológicos naturales. El tratamiento terciario es necesario cuando el agua va a ser reutilizada; elimina un 99% de los sólidos y además se

<sup>23</sup> Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse. McGraw-Hill International Editions. Third Edition 1991. USA. Pp. 125-126.

emplean varios procesos químicos para garantizar que el agua esté tan libre de impurezas como sea posible.

La siguiente tabla muestra los contaminantes de mayor interés en las aguas residuales y las operaciones unitarias o métodos aplicables para la remoción de esos contaminantes.

Contaminante	Operación unitaria, proceso unitario o sistema de tratamiento
Sólidos suspendidos	Cribado y triturado Remoción de polvo Sedimentación Filtración Flotación Adición de polímeros químicos Coagulación/sedimentación Sistemas naturales (tratamiento de suelo)
Orgánicos biodegradables	Variaciones de lodos activados Reactor de película fija: filtros de goteo Reactor de película fija: contactores biológicos rotatorios Variaciones de laguna Filtros de arena intermitentes Sistemas físico-químicos Sistemas naturales
Orgánicos volátiles Patógenos	Torre desgasificadora, adsorción de carbón Clorinación Hipoclorinación Ozonación Radiación ultravioleta UV Sistemas naturales
Nutrientes: Nitrógeno	Variaciones de desnitrificación y nitrificación de crecimiento suspendido Desgacificación de amonio Intercambio iónico Sistemas naturales
Fósforo	Adición sal-metal Sedimentación/coagulación con cal Remoción de fósforo biológico Remoción de fósforo químico-biológico Sistemas naturales
Nitrógeno y Fósforo	Remoción de nutriente biológico
Orgánicos refractarios	Adsorción de carbón, ozonización terciaria, sistemas naturales.
Metales pesados	Precipitación química, intercambio iónico, sistemas nat.
Sólidos orgánicos disueltos	Intercambio iónico, osmosis inversa, electrodiálisis

Tabla 11.3 Contaminantes y operaciones unitarias para su remoción.

## II.2.1 Pretratamiento y/o tratamiento primario

### II.2.1.A Pretratamiento

Las aguas residuales que entran en una tratadora de aguas contienen materiales que podrían atascar o dañar las bombas y la maquinaria. Estos materiales se eliminan por medio de enrejados o barras verticales, y se queman o se entierran tras ser recogidos manual o mecánicamente. El agua residual pasa a continuación a través de una trituradora, donde las hojas y otros materiales orgánicos son triturados para facilitar su posterior procesamiento y eliminación.

- Medición de flujo

La correcta aplicación, selección y mantenimiento de los equipos de medición de flujo es crítico para el eficiente funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas modernas.

- Cribado

El cribado es la primera operación unitaria que se encuentra en una planta de tratamiento de aguas. Es utilizado para retener una gran variedad de sólidos encontrados en el agua residual.

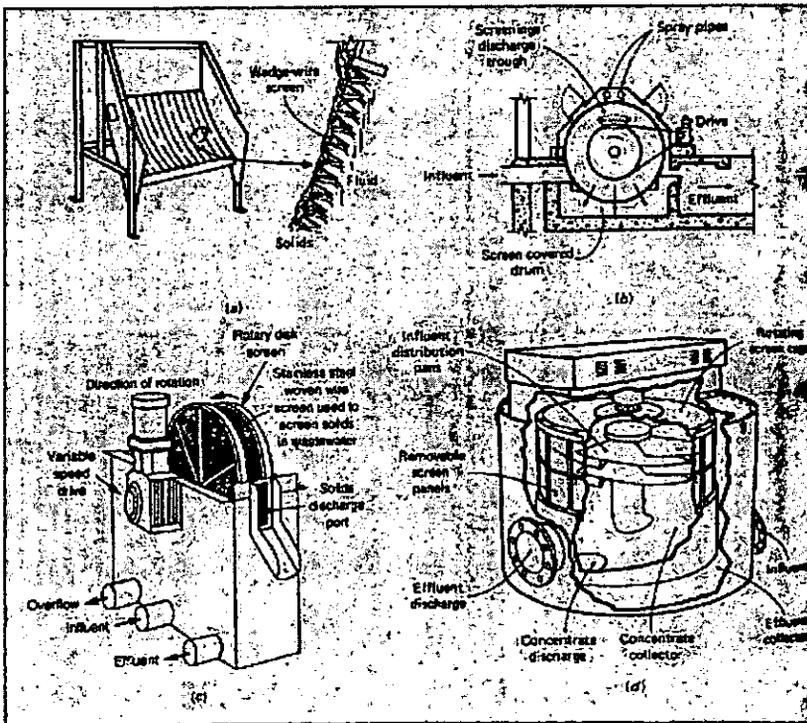


Figura II.3 Equipos típicos para el cribado. (a) Criba fija inclinada, (b) Criba de tambor rotatorio con cubierta removible, (c) Criba de tambor rotatorio y (d) Criba centrífuga. Nota. Figura extraída de libro Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse.

- Triturado

Es una alternativa al cribado que puede ser utilizado para triturar los sólidos brutos sin removerlos del flujo principal. Ayudan a eliminar los problemas causados por la variedad de tamaños de sólidos presentes en el agua residual.

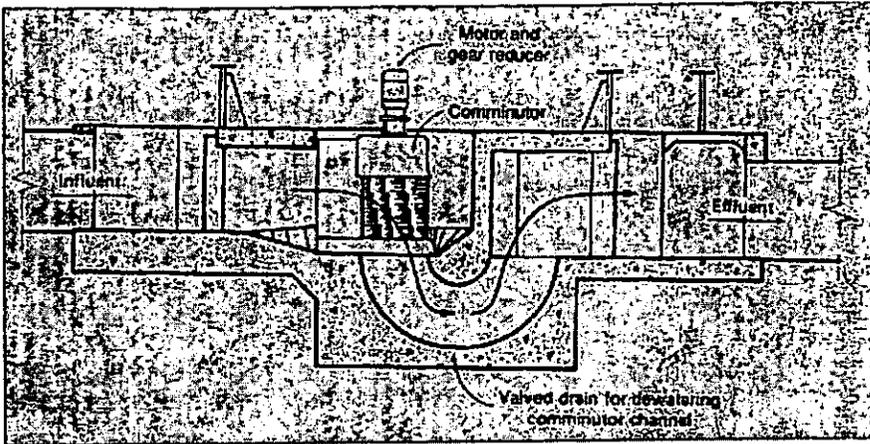
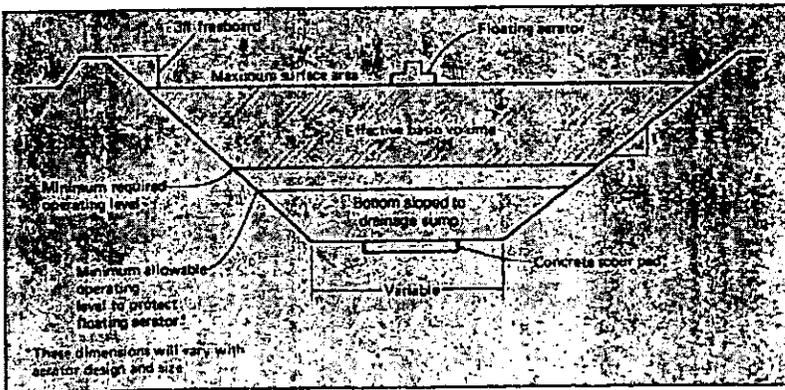


Figura II.4 Tritrador (vista lateral).

- Ecuación de flujo

La ecuación de flujos es el medio auxiliar más importante del pretratamiento de aguas residuales. Es utilizado para eliminar los problemas causados por variaciones de flujo, mejorar el desempeño de los procesos corriente abajo y reducir el tamaño y costo de la planta de tratamiento. La ecuación nivela las variaciones de concentración dependiendo del grado de mezclado que exista en el tanque de ecuación<sup>24</sup>.



<sup>24</sup> Robert H. Perry. Perry's Chemical Engineer's Handbook, Mc Graw Hill. Pp-25-63.

Nota: Figuras II.4 - II.7, II-10 -II-32 fueron extraídas del libro Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse. McGraw Hill, third edition USA.

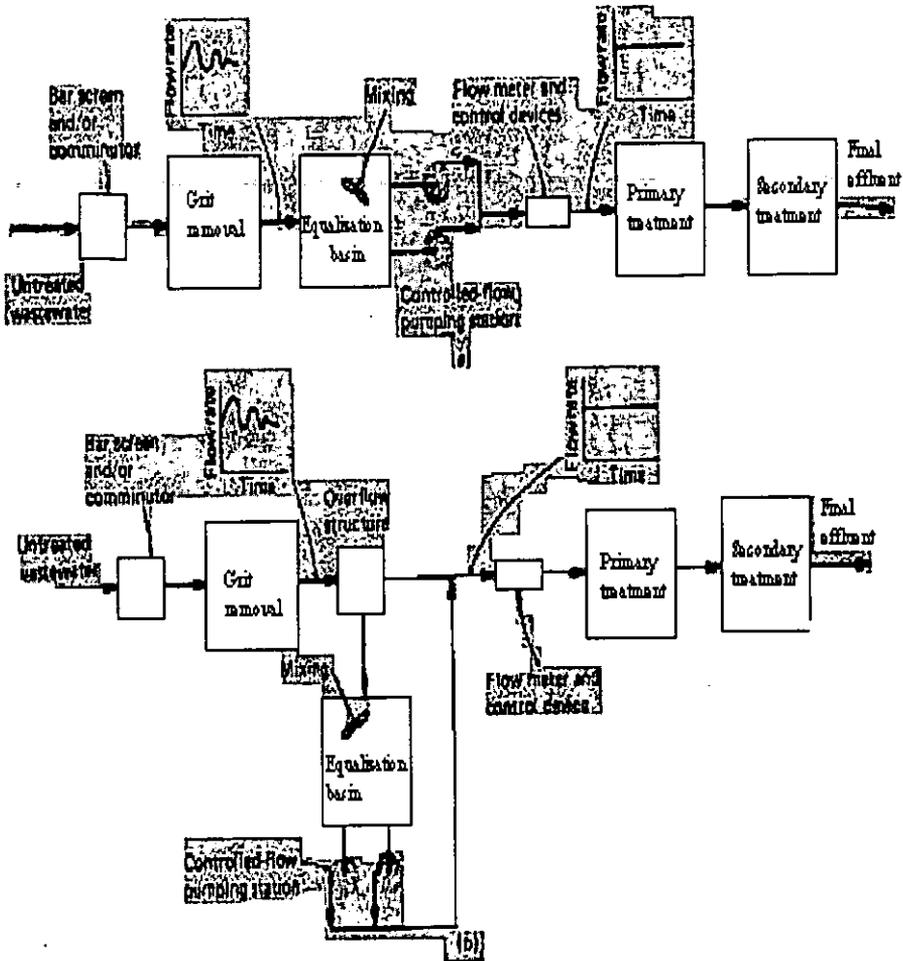


Figura II.6 Diagrama de flujo típico para tratamiento de aguas residuales incluyendo el proceso de ecuación. (a) Ecuación en línea y (b) Ecuación fuera de línea.

- Mezclado

El mezclado es muy importante en algunas fases de tratamiento de aguas incluyendo (1) el mezclado completo de una sustancia con otra, (2) el mezclado de líquidos en suspensión, (3) el mezclado de líquidos miscibles, (4) floculación, (5) ecuación y (6) transferencia de calor<sup>25</sup>.

<sup>25</sup> Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse. McGraw-Hill International Editions. Third Edition 1991. USA. Pp. 212-214.

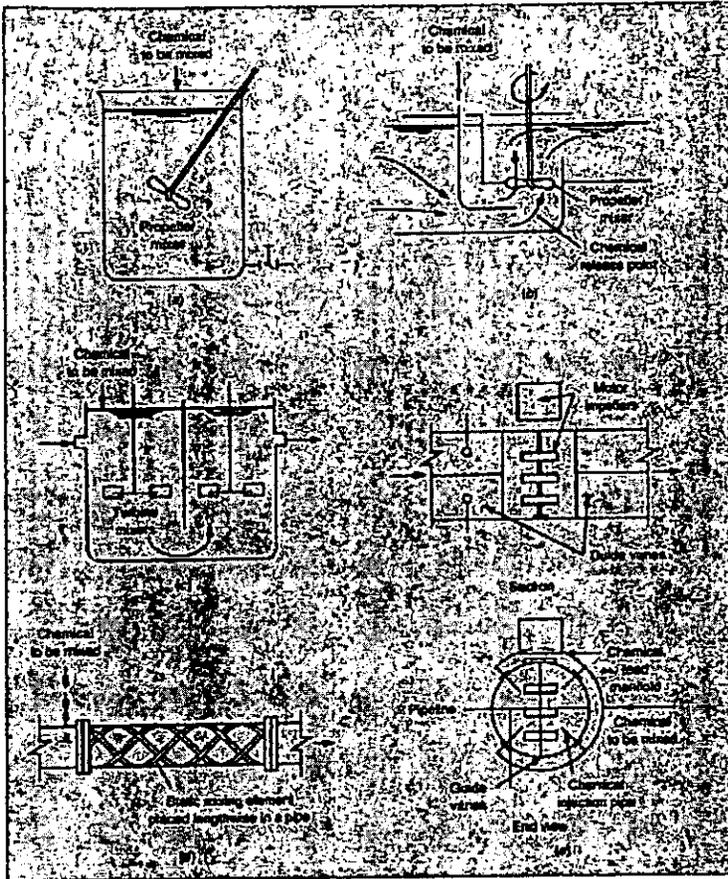


Figura 11.7 Mezcladores. (a,b) Mezclador de propela, (c) Mezclador de turbina, (d) Mezclador en línea estático y (e) Mezclador de turbina en línea.

- Neutralización

Las aguas residuales ácidas o básicas deben ser neutralizadas antes de ser descargadas. Si una planta produce desperdicios ácidos o básicos estos deben ser mezclados en rangos apropiados para obtener un pH neutro. Los tanques de equalización también pueden ser utilizados para neutralización. Acido sulfúrico e hidróxido de sodio son los compuestos más empleados para neutralización.

- Remoción de grasas y aceites

Las grasas y aceites tienden a formar capas insolubles con el agua debido a sus características hidrofóbicas. Estos materiales hidrofóbicos pueden ser fácilmente separados de la fase agua por gravedad o un simple desnatado, por lo tanto se recomienda no mezclar las aguas residuales antes de quitarle grasas y aceites ya que una corriente bien mezclada puede formar emulsiones agua y aceite que son difíciles de romper. En algunos casos, burbujas de aire pueden ser adicionadas a las mezclas

de aceite y grasas para separar los materiales hidrofóbicos de la fase agua por flotación<sup>26</sup>.

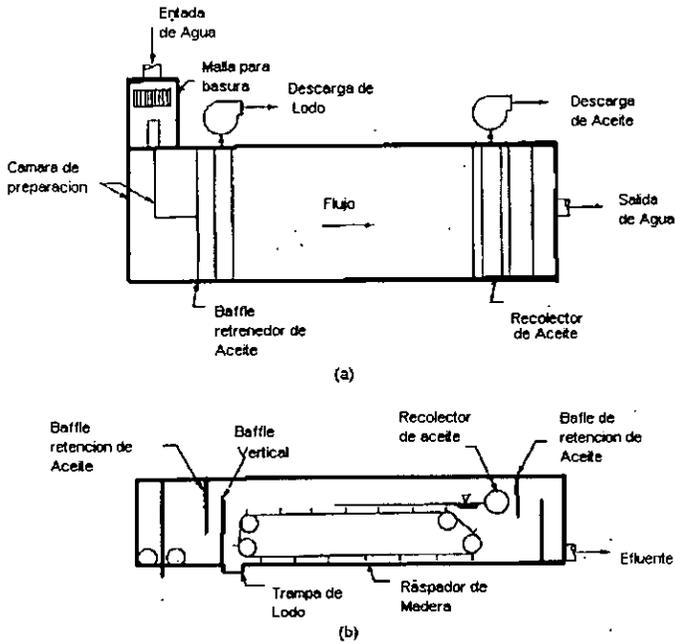


Figura II.8 Separador aceite-agua por gravedad. (a) exterior y (b) sección.

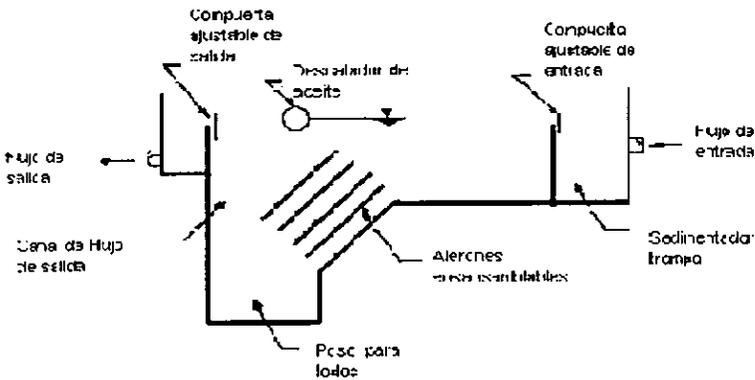


Figura II.9 Separador aceite-agua de alerones.

<sup>26</sup> Robert H. Perry. Perry's Chemical Engineer's Handbook, Mc Graw Hill. Pp-25-64.

II.2.1.B Tratamiento primario

- Cámara de arena

En el pasado, se usaban tanques de deposición, largos y estrechos, en forma de canales, para eliminar materia inorgánica o mineral como arena, sedimentos y grava. Estas cámaras estaban diseñadas de modo que permitieran que las partículas inorgánicas de 0,2 mm o más se depositaran en el fondo, mientras que las partículas más pequeñas y la mayoría de los sólidos orgánicos que permanecen en suspensión continuaban su recorrido. Hoy en día las más usadas son las cámaras aireadas de flujo en espiral con fondo en tolva, o clarificadores, provistos de brazos mecánicos encargados de raspar. Se elimina el residuo mineral y se vierte en vertederos sanitarios. La acumulación de estos residuos puede ir de los 0,08 a los 0,23 m3 por cada 3,8 millones de litros de aguas residuales.

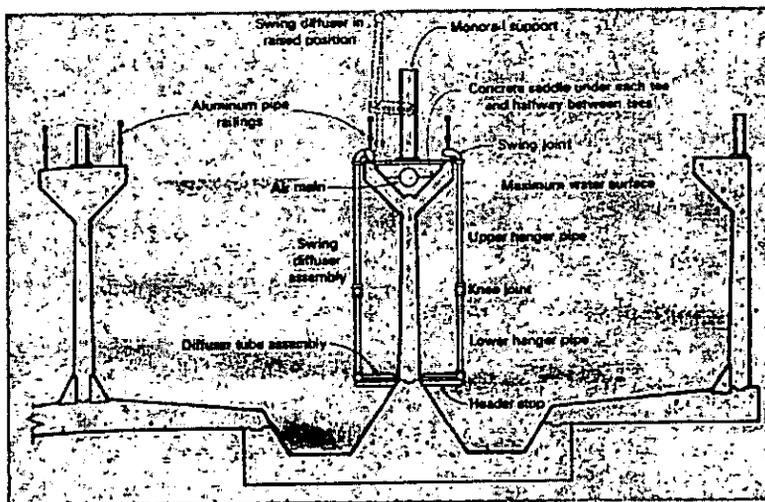


Figura II.10 Cámara de arena aireada.

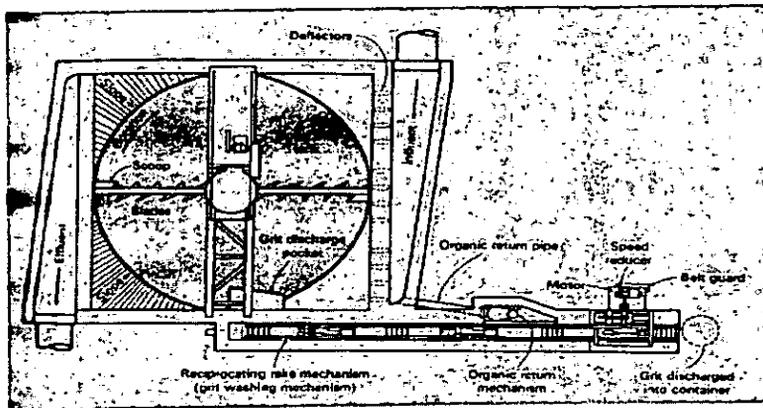


Figura II.11 Cámara de arena cuadrada de flujo horizontal.

- Sedimentación

Una vez eliminada la fracción mineral sólida, el agua pasa a un depósito de sedimentación donde se depositan los materiales orgánicos, que son retirados para su eliminación. El proceso de sedimentación puede reducir de un 20 a un 40% la DBO5 y de un 40 a un 60% los sólidos en suspensión.

La tasa de sedimentación se incrementa en algunas plantas de tratamiento industrial incorporando procesos llamados coagulación y floculación químicos al tanque de sedimentación. La coagulación es un proceso que consiste en añadir productos químicos como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico o polielectrolitos a las aguas residuales; esto altera las características superficiales de los sólidos en suspensión de modo que se adhieran los unos a los otros y precipitan. La floculación provoca la aglutinación de los sólidos en suspensión. Ambos procesos eliminan más del 80% de los sólidos en suspensión.

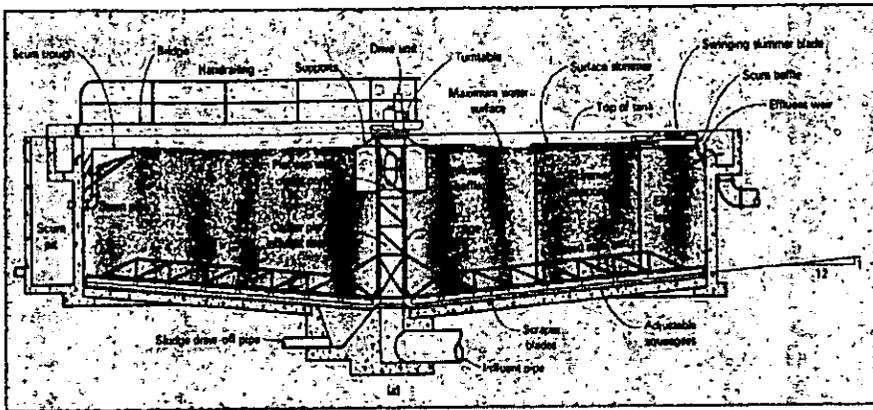


Figura II.12 Tanque de sedimentación circular primario alimentado por el centro.

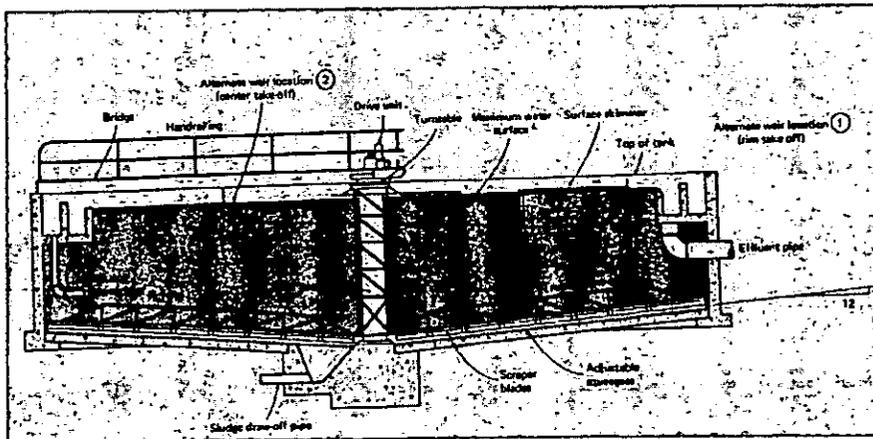


Figura II.13 Tanque de sedimentación circular primario alimentado por un costado.

- Sedimentación por gravedad acelerada

Como se describe en el punto anterior, la sedimentación ocurre bajo fuerzas de gravedad en un campo de aceleración constante. La remoción de partículas sedimentables puede consumarse tomando ventaja de un cambio de aceleración.

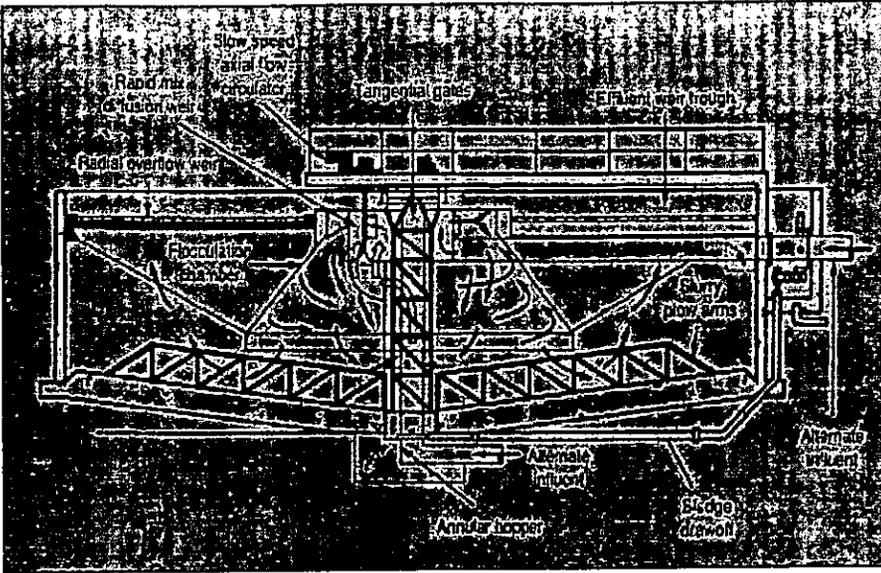


Figura II.14 Clarifloculador típico utilizado en tratamiento de aguas residuales.

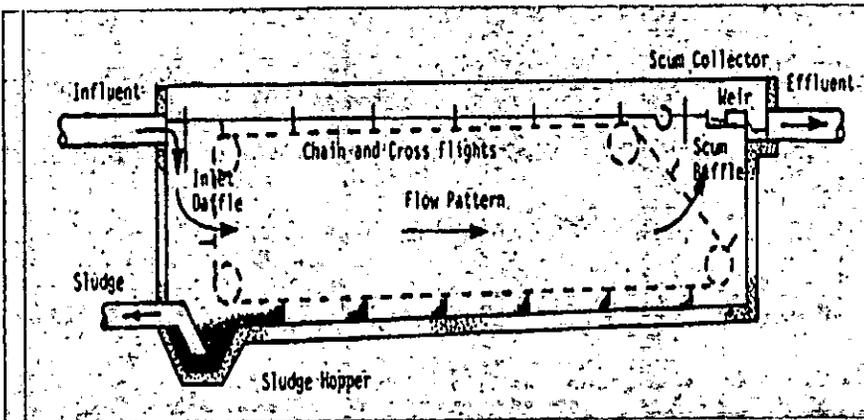


Figura II.15 Tanque de sedimentación rectangular.

- Flotación

Una alternativa a la sedimentación, utilizada en el tratamiento de algunas aguas residuales, es la flotación, en la que se fuerza la entrada de aire en las mismas, a presiones de entre 1,75 y 3,5 kg por  $\text{cm}^2$ . El agua residual, supersaturada de aire, se descarga a continuación en un depósito abierto. En él, la ascensión de las burbujas de aire hace que los sólidos en suspensión suban a la superficie, de donde son retirados. La flotación puede eliminar más de un 75% de los sólidos en suspensión.

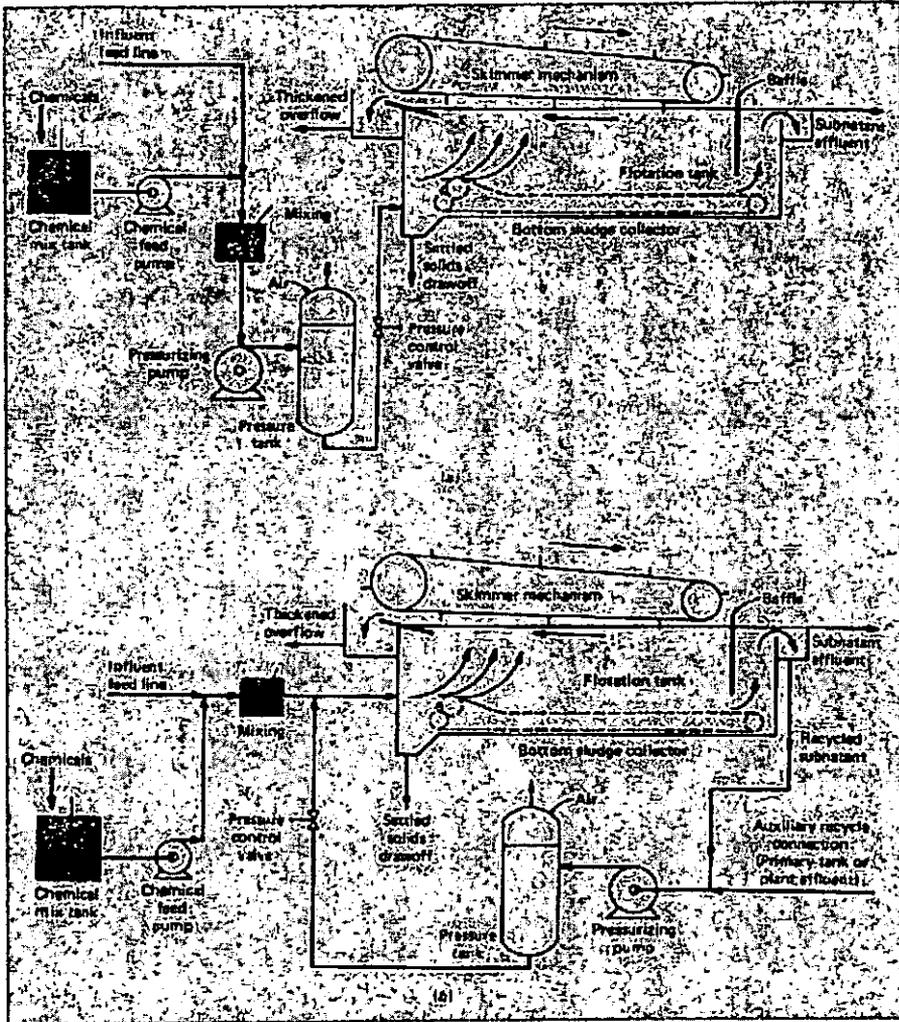


Figura II.16 Esquema de sistemas de flotación de aire disuelto. (a) sin recirculación y (b) con recirculación.

## • Filtración de medios granulares

La filtración es una de las operaciones unitarias mayormente utilizadas en el tratamiento de agua potable. Actualmente la filtración es extensivamente utilizada para remover sólidos suspendidos (incluyendo DBO) de los efluentes de las aguas residuales en los procesos de tratamiento químicos y biológicos. También sirve para remover fósforo precipitado.

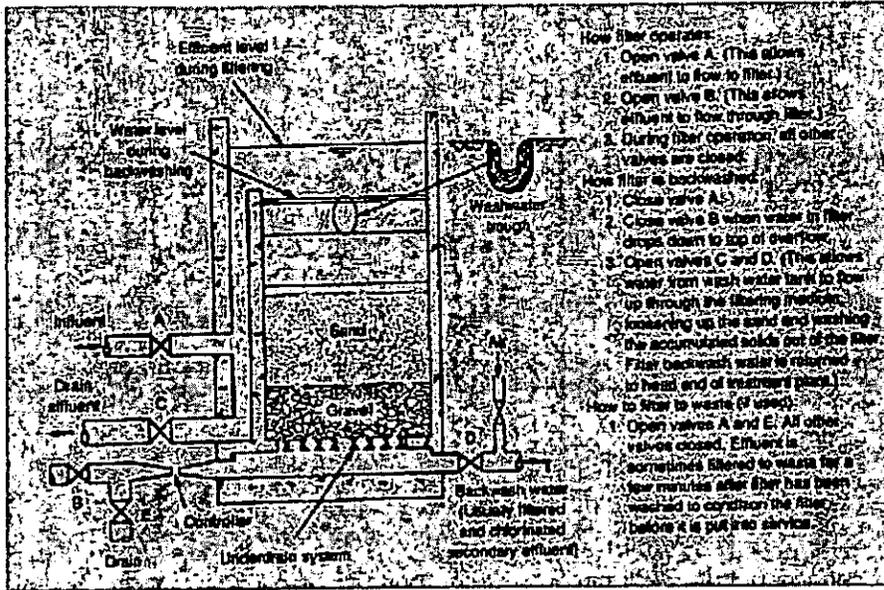


Figura II.17 Operación de un filtro de flujo de medios granulares.

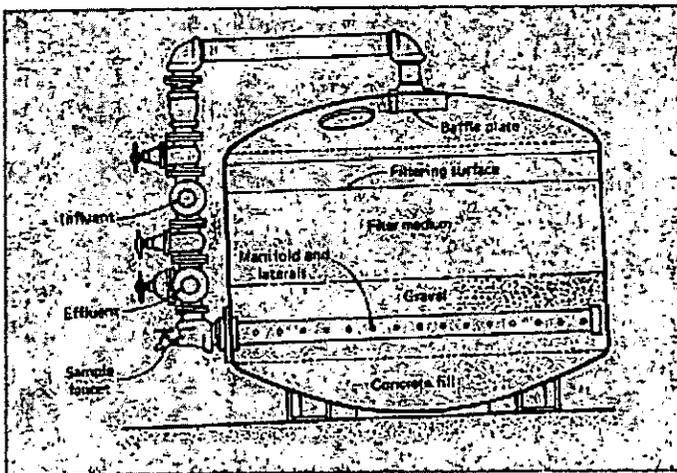


Figura II.18 Filtro de presión.



- Adsorción

Es el proceso de colectar sustancias solubles que están en solución en una interface adecuada. La interface puede estar entre el líquido y un gas, un sólido u otro líquido.

Un contactor de carbón activado es utilizado en los procesos de adsorción. El carbón es utilizado para remover una porción de la materia orgánica disuelta remanente. Existen dos tipos de carbón activado, (1) granular y (2) en polvo.

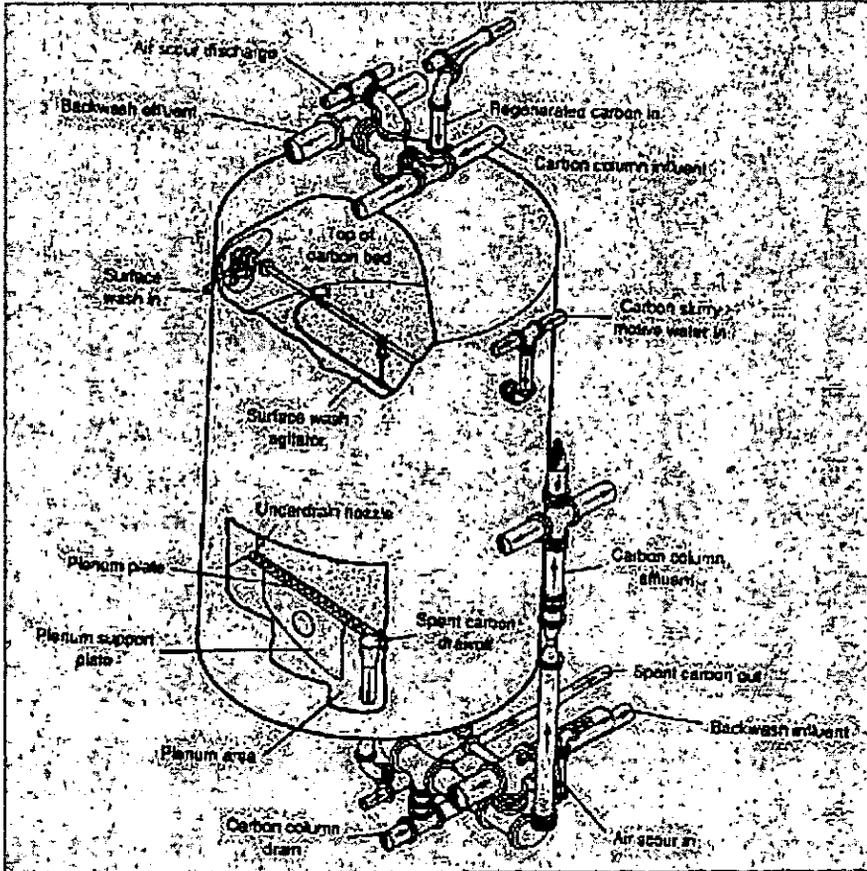


Figura II.20 Contactor de carbón activado granular.

- Desinfección

La desinfección se refiere a la destrucción selectiva de organismos que pueden causar enfermedades. No todos los organismos son destruidos durante el proceso y esa es la diferencia entre desinfección y esterilización. Los tres tipos de organismos que pueden causar enfermedades son: Bacterias, virus y amibas.

La desinfección se lleva a cabo primordialmente por el uso de (1) agentes químicos, (2) agentes físicos, (3) medios mecánicos, y (4) radiación.

- (1) Agentes químicos. Se pueden incluir el cloro y sus compuestos, bromo, yodo, ozono, fenol y compuestos fenólicos, alcoholes, metales pesados y sus compuestos relacionados, colorantes, jabones y detergentes sintéticos, compuestos cuaternarios de amonio, peróxido de hidrógeno, álcalis y ácidos.

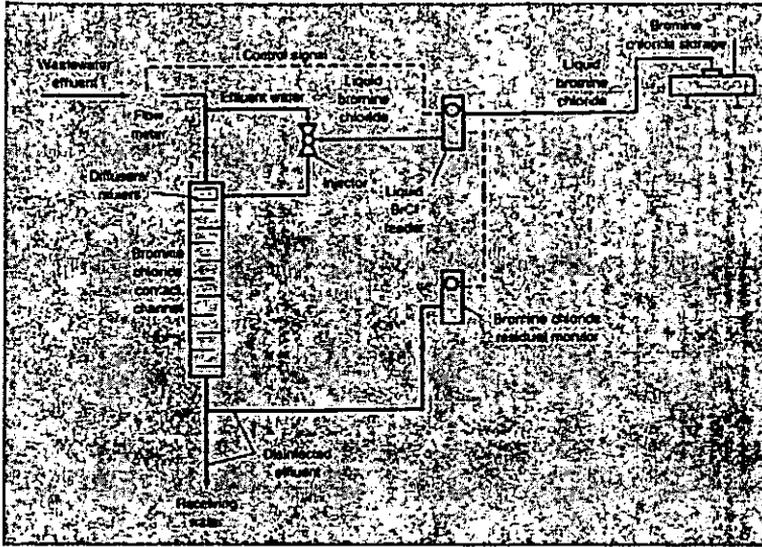


Figura II.21 Diagrama de flujo esquemático de la desinfección con cloruro de bromo.

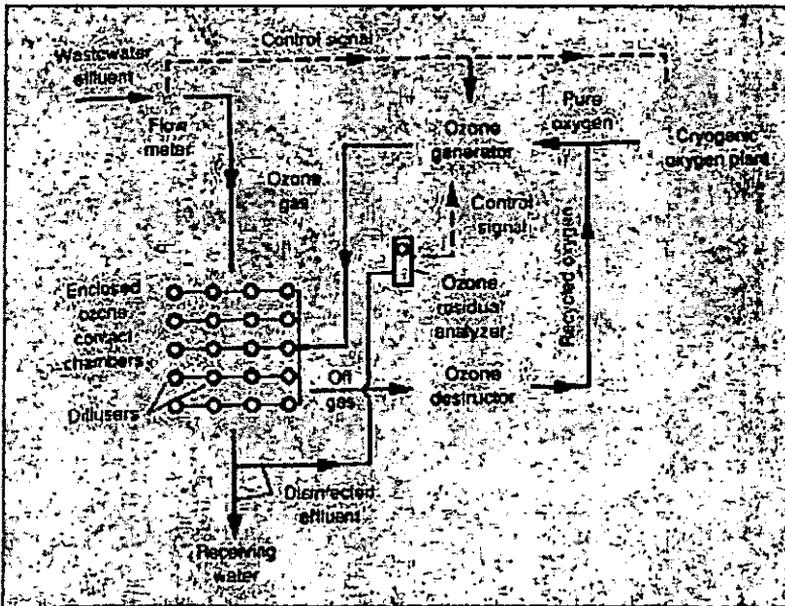


Figura II.22 Diagrama de flujo esquemático de la desinfección con ozono.

(2) Los agentes desinfectantes físicos. que se pueden emplear son el calor y la luz.

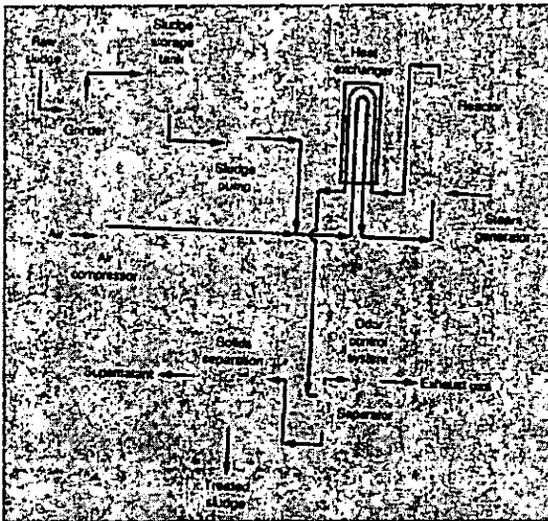


Figura II.23 Sistema de oxidación por calor con aire húmedo.

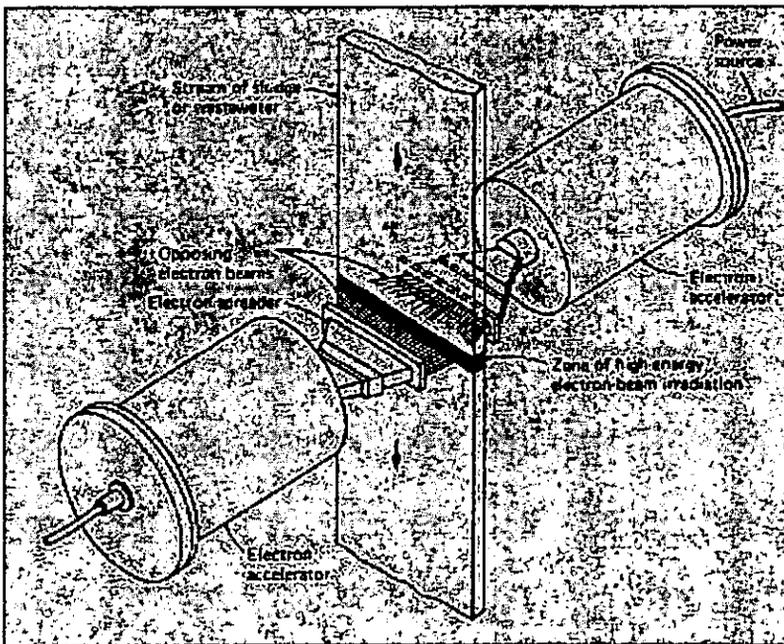


Figura II.24 Equipo para irradiación de agua residual o lodos.

- (3) Medios mecánicos. Las bacterias y otros organismos pueden ser removidos mecánicamente durante el tratamiento de aguas residuales.
- (4) Radiación. Los rayos gamma y ultravioleta han sido ampliamente utilizados para desinfectar y esterilizar el agua y el agua residual.

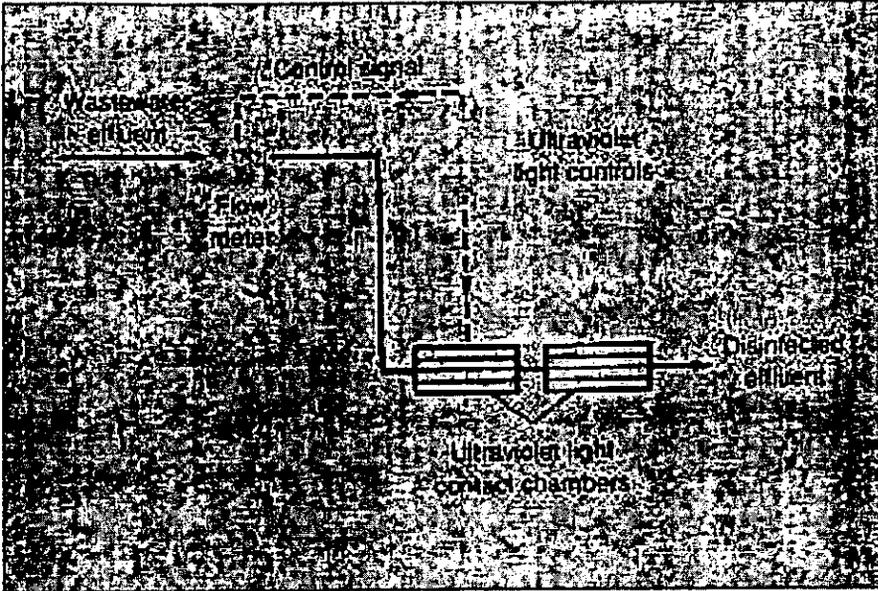


Figura II.25 Diagrama de flujo esquemático de la desinfección con radiación de luz ultravioleta.

## II.2.2 Tratamiento Secundario

Una vez eliminados de un 40 a un 60% de los sólidos en suspensión y reducida de un 20 a un 40% la DBO5 por medios físicos en el tratamiento primario, el tratamiento secundario reduce la cantidad de materia orgánica en el agua. Por lo general, los procesos microbianos empleados son aeróbicos, es decir, los microorganismos actúan en presencia de oxígeno disuelto. El tratamiento secundario supone, de hecho, emplear y acelerar los procesos naturales de eliminación de los residuos. En presencia de oxígeno, las bacterias aeróbicas convierten la materia orgánica en formas estables, como dióxido de carbono, agua, nitratos y fosfatos, así como otros materiales orgánicos. La producción de materia orgánica nueva es un resultado indirecto de los procesos de tratamiento biológico, y debe eliminarse antes de descargar el agua en el cauce receptor.

Hay diversos procesos alternativos para el tratamiento secundario, incluyendo el filtro de goteo, el lodo activado y las lagunas.

- Filtro percolador

En este proceso, una corriente de aguas residuales se distribuye intermitentemente sobre un lecho o columna de algún medio poroso revestido con una película gelatinosa de microorganismos que actúan como agentes destructores. La materia orgánica de la corriente de agua residual es absorbida por la película microbiana y transformada en

dióxido de carbono y agua. El proceso de goteo, cuando va precedido de sedimentación, puede reducir cerca de un 85% la DBO5.

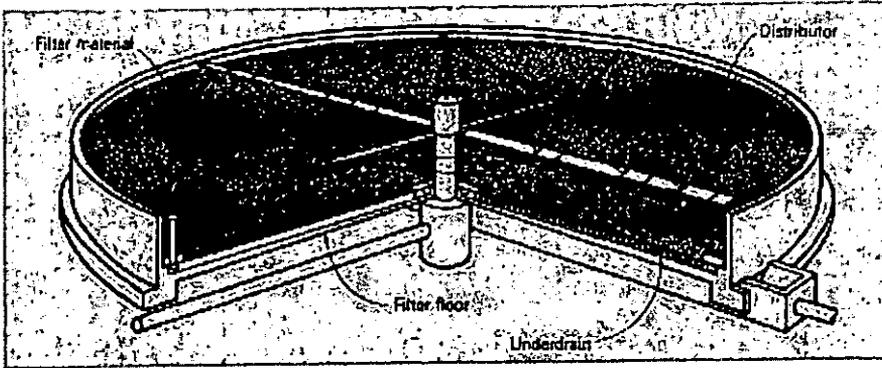


Figura II.26 Filtro percolador.

- Lodos activados

Se trata de un proceso aeróbico en el que partículas gelatinosas de lodo quedan suspendidas en un tanque de aireación y reciben oxígeno. Las partículas de lodo activado, llamadas *floc*, están compuestas por millones de bacterias en crecimiento activo aglutinadas por una sustancia gelatinosa. El *floc* absorbe la materia orgánica y la convierte en productos aeróbicos. La reducción de la DBO5 fluctúa entre el 60 y el 85 por ciento. Un importante acompañante en toda planta que use lodo activado o un filtro de goteo es el clarificador secundario, que elimina las bacterias del agua antes de su descarga.

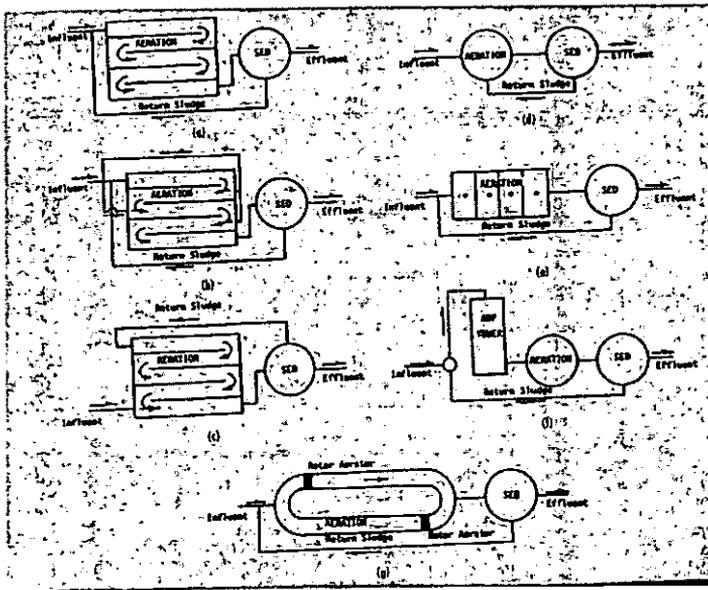


Figura II.27 Diagramas esquemáticos del proceso de lodos activados.

- Estanque de estabilización o laguna

Otra forma de tratamiento biológico es el estanque de estabilización o laguna, que requiere una extensión de terreno considerable y, por tanto, suelen construirse en zonas rurales. Las lagunas opcionales, que funcionan en condiciones mixtas, son las más comunes, con una profundidad de 0,6 a 1,5 m y una extensión superior a una hectárea. En la zona del fondo, donde se descomponen los sólidos, las condiciones son anaerobias; la zona próxima a la superficie es aeróbica, permitiendo la oxidación de la materia orgánica disuelta y coloidal. Puede lograrse una reducción de la DBO5 de un 75 a un 85 por ciento.

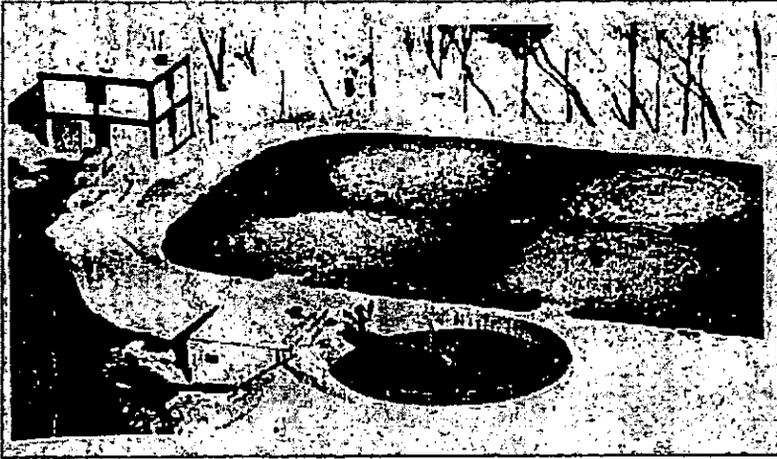


Figura II.28 Laguna aerada típica.

### II.2.3 Tratamiento terciario

Si la disposición final del agua requiere un grado de tratamiento mayor que el que puede aportar el proceso secundario, o si el efluente va a reutilizarse, es necesario un tratamiento avanzado de las aguas residuales. A menudo se usa el término tratamiento *terciario* como sinónimo de tratamiento avanzado, pero no son exactamente lo mismo. El tratamiento terciario, o de tercera fase, suele emplearse para eliminar el fósforo, mientras que el tratamiento avanzado podría incluir pasos adicionales para mejorar la calidad del efluente eliminando los contaminantes recalcitrantes. Hay procesos que permiten eliminar más de un 99% de los sólidos en suspensión y reducir la DBO5 en similar medida. Los sólidos disueltos se reducen por medio de procesos como la ósmosis inversa y la electrodiálisis. La eliminación del amoníaco, la desnitrificación y la precipitación de los fosfatos pueden reducir el contenido en nutrientes. Si se pretende la reutilización del agua residual, la desinfección por tratamiento con ozono es considerada el método más fiable, excepción hecha de la cloración extrema. Es probable que en el futuro se generalice el uso de estos y otros métodos de tratamiento de los residuos a la vista de los esfuerzos que se están haciendo para conservar el agua mediante su reutilización<sup>27</sup>.

<sup>27</sup> Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse. McGraw-Hill International Editions. Third Edition 1991. USA. Pp. 663.

## II.2.4 Tratamiento de lodos

### • Digestión

La digestión es un proceso microbiológico que convierte el lodo, orgánicamente complejo, en metano, dióxido de carbono y un material inofensivo similar al humus.

Las reacciones se producen en un tanque cerrado o digestor, y son anaerobias, esto es, se producen en ausencia de oxígeno. La conversión se produce mediante una serie de reacciones. En primer lugar, la materia sólida se hace soluble por la acción de enzimas. La sustancia resultante fermenta por la acción de un grupo de bacterias productoras de ácidos, que la reducen a ácidos orgánicos sencillos, como el ácido acético. Entonces los ácidos orgánicos son convertidos en metano y dióxido de carbono por bacterias. Se añade lodo espesado y calentado al digestor tan frecuentemente como sea posible, donde permanece entre 10 y 30 días hasta que se descompone. La digestión reduce el contenido en materia orgánica entre un 45 y un 60 por ciento.

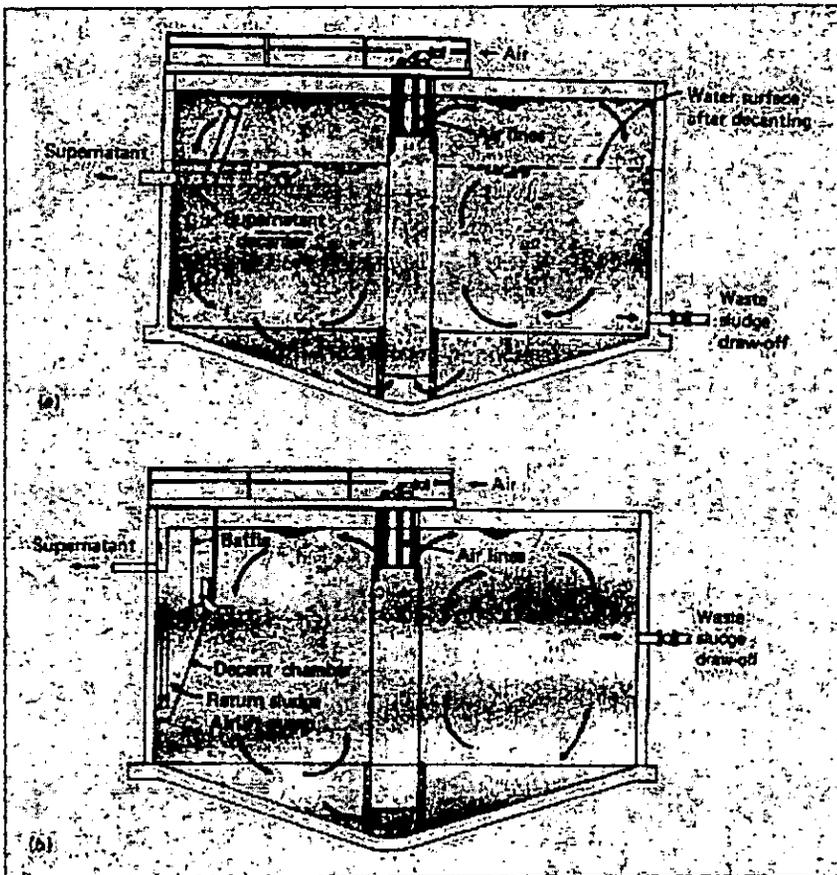


Figura II.29 Digestores aeróbicos. (a) operación batch y (b) operación continua.

• *Desecación*

El lodo digerido se extiende sobre lechos de arena para que se seque al aire. La absorción por la arena y la evaporación son los principales procesos responsables de la desecación. El secado al aire requiere un clima seco y relativamente cálido para que su eficacia sea óptima, y algunas tratadoras tienen una estructura tipo invernadero para proteger los lechos de arena. El lodo desecado se usa sobre todo como acondicionador del suelo; en ocasiones se usa como fertilizante, debido a que contiene un 2% de nitrógeno y un 1% de fósforo.

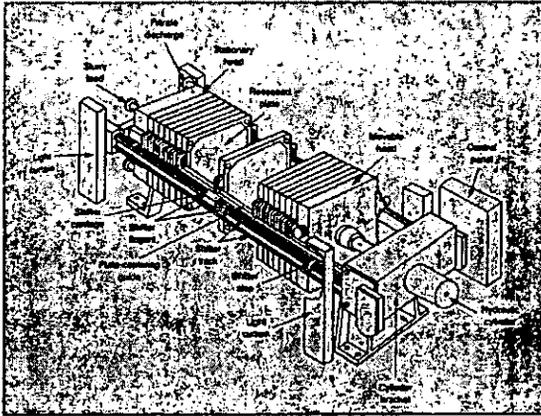


Figura II.30 Filtro prensa.

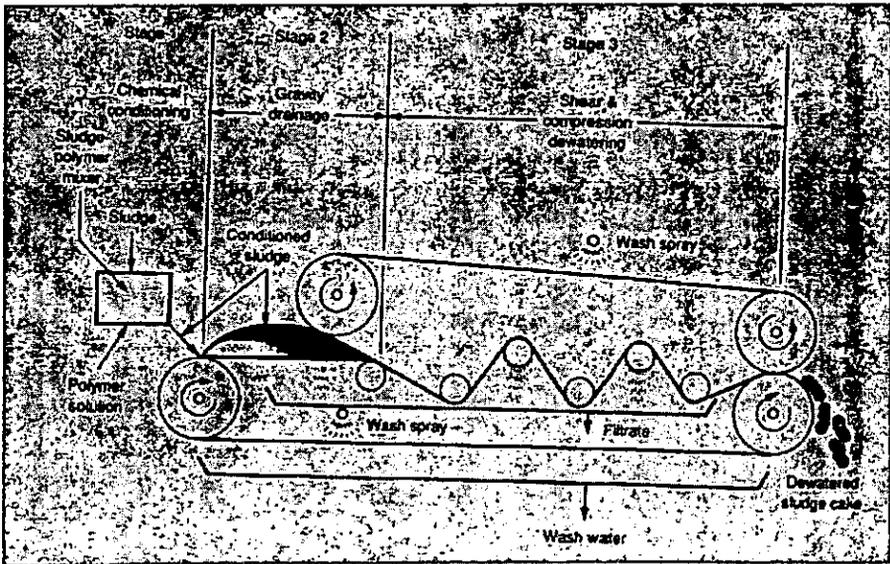


Figura II.31 Filtro de banda.



flotante y los sólidos depositados pueden conservarse entre seis meses y varios años, durante los cuales se descomponen anaeróbicamente.

## **II.5 Minimización de residuos en empresas industriales**

Se entiende por minimización de residuos en una industria a un proceso de adopción de medidas organizativas y operativas que permitan disminuir, hasta niveles económicos y técnicamente factibles, la cantidad y peligrosidad de los subproductos generados que precisan un tratamiento o eliminación final. Esto se consigue por medio de la reducción en su origen y, cuando ésta no es posible, a través del reciclaje o la recuperación de materiales secundarios.

La minimización constituye una opción ambientalmente prioritaria para resolver los problemas asociados a los residuos y también una prometedora oportunidad microeconómica, para reducir costos de producción y aumentar la competitividad de las empresas.

Frente al aumento en los costos de tratamiento y eliminación de los residuos, la minimización supone ahorros importantes en costos de manejo y en el consumo de materiales. Las inversiones tendientes a la minimización pueden ser con frecuencia rentables. Independientemente, la minimización puede reportarle a las empresas una mucho mejor imagen entre sus consumidores y mejoras en la calidad de sus productos y en el ambiente de trabajo. La minimización es una filosofía y una práctica de calidad ambiental total a través de la optimización de procesos, que trasciende las decisiones tradicionales postproductivas o al final del tubo, que sólo intentan resolver problemas una vez que éstos se han generado.

La industria mexicana está sometida a una regulación ambiental cada vez más amplia y profunda, y las preocupaciones ambientales sobre la industria mexicana trascienden su ámbito inmediato de repercusión y alcanzan a incidir en los procesos comerciales y políticos tanto a nivel lateral como bilateral.

La minimización requiere de incentivos y de recursos humanos y técnicos que permitan sustituir el manejo relativamente primitivo que hoy se hace de ellos por prácticas eficientes de reducción, reciclaje y recuperación.

Aunque la minimización constituye una alternativa prioritaria para atender los problemas planteados por los residuos peligrosos; es importante señalar que no es una panacea, y que no puede abarcar a todas las corrientes de residuos generados en la industria. Siempre habrá una proporción importante de residuos que requerirán un manejo al final del proceso.

### **II.5.1 Planificación y organización para la minimización de residuos**

Un plan de minimización demanda el apoyo decidido de la dirección de la empresa y de las áreas de producción y un convencimiento de que los beneficios privados y públicos del plan superan a los costos. Debe siempre de tenerse en cuenta al hacer la evaluación, los costos directos asociados al manejo convencional de residuos, los costos ocultos del manejo tradicional de residuos, además de los costos asociados a riesgos y responsabilidades futuras.

El plan de minimización de residuos dentro de una empresa debe contar con objetivos claros, que sean consistentes con el resto de los objetivos de la empresa, flexibles y cuantificables, así como comprensibles para todos los empleados, además de alcanzables con los medios materiales y humanos disponibles.

Las empresas, especialmente las medianas y grandes, deben crear dentro de su estructura un puesto técnico y administrativo responsable de la minimización que esté dotado de autoridad, de recursos, de acceso directo a la dirección y de la posibilidad de familiarizarse con todos los procesos de la empresa, así como de liderazgo y capacidad de gestión.

El plan de minimización debe partir también de una auditoría donde se identifiquen las corrientes de residuos, se caractericen y cuantifiquen, y donde se determinen las causas fuentes y procesos al igual que los costos completos de su manejo. La minimización, como es obvio, no puede ser responsabilidad de una sola persona o departamento dentro de las empresas, sino que debe integrar funcionalmente a todas las áreas operativas, como son: departamento legal, financiero, de ingeniería de proceso, producción, control de calidad, mantenimiento, investigación y desarrollo, mercadotecnia, compras y almacén, seguridad e higiene y medio ambiente.

### II.5.2 Clasificación e identificación de corrientes prioritarias

Los planes de minimización requieren clasificar y priorizar las corrientes de residuos de acuerdo a su importancia en términos de la regulación existente, su peligrosidad, consumo de materiales y energía, costos actuales y previstos, posibles responsabilidades futuras, riesgo para los trabajadores, riesgo para el ambiente, potencial de minimización e importancia para la imagen pública de la empresa. Para ello pueden utilizarse matrices de decisión, concentrando el análisis en procesos unitarios de especial relevancia, más que en corrientes aisladas.

### II.5.3 Identificación de opciones de minimización

Este es un proceso muy creativo, pues las opciones dependen de las peculiaridades de cada empresa, de su experiencia, información y de la capacidad de sus equipos de trabajo. Las opciones pueden incluir la reducción en su origen, el reciclaje en el mismo proceso donde se generan, el reciclaje en otros procesos de la misma empresa, o la recuperación de materiales secundarios y el aprovechamiento del contenido energético de los residuos.

Generalmente las opciones de minimización incluyen el mejoramiento en las prácticas de control de calidad, la sustitución de materias primas, el tratamiento previo de las mismas, la optimización de reacciones químicas, la reformulación de productos, la modificación de equipos, cambios en la secuencia de producción o modificaciones de diseño. Esto que significa una modificación en los procesos productivos, puede traer ahorros importantes a través de un abatimiento en el consumo de materias primas, de energía, una reducción en los costos de manejo de residuos, incrementos en la capacidad de producción, mejoras en la calidad de los productos y reducción en los costos operativos.

### II.5.4 Proyectos y acciones

La minimización resulta de decisiones internas en las empresas, aunque desde luego estas decisiones pueden ser inducidas o favorecidas por un marco de incentivos adecuado que incluya normas, instrumentos económicos, promoción de autorregulación, información y concertación. En este sentido se plantea, para promover la minimización en empresas industriales, desarrollar las siguientes acciones:

- Fortalecimiento de la inspección y vigilancia para asegurar la internalización plena de costos en empresas industriales, de tal forma que la minimización se consolide como opción competitiva.
- Promoción y fomento de normas voluntarias a través de convenios de autorregulación que tiendan al cambio de insumos, rediseño de procesos, reciclaje o recuperación de materiales secundarios.
- Promoción de las normas ISO 14000 y su generalización entre las grandes empresas industriales.
- Identificación de corrientes críticas de residuos en la micro y pequeña industria, y diseño de mecanismos regulatorios o de concertación que tiendan a sustituir las materias primas precursoras (sustancias orgánicas cloradas, metales pesados).
- Documentación y difusión de tecnologías de minimización.

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

## CAPÍTULO III

### COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

Si bien la CNA es un organismo desconcentrado de la extinta Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y ahora de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), la LAN (Ley de Aguas Nacionales) le otorga de manera específica atribuciones y responsabilidades, que encuentran su congruencia con las acciones y política de la SEMARNAP.

La organización de la CNA permite ocuparse del carácter multisectorial del agua en el ámbito central y en el regional a través de sus Gerencias Regionales, mismas que progresivamente se establecen conforme a cuencas hidrológicas.

La Comisión Nacional del Agua consciente de las posibles implicaciones que la problemática del año 2000 pudiera ocasionar y con objeto de minimizarlas, ha realizado desde 1997 diversas acciones conforme a los lineamientos de la Comisión Nacional para la Conversión Año 2000 y de la Secretaría de Contraloría y Desarrollo Administrativo. La CNA ha llevado a cabo la revisión de Presas de Almacenamiento y Derivadoras (aproximadamente 4,000), Plantas de Bombeo (alrededor de 700) y Equipo de Medición del Servicio Meteorológico Nacional.

Tanto las presas como las Plantas de bombeo no cuentan con mecanismos automatizados de control programables que pudieran representar problemas en el año 2000. En el Servicio Meteorológico Nacional se han actualizado las versiones del software que manejan, y se han adecuado la mayor parte de los Sistemas.

Los esfuerzos realizados han sido llevados a cabo en forma mayoritaria, por personal del organismo, quienes enterados de la situación, se han abocado a la tarea de revisar y convertir la mayoría de los Sistemas y de verificar los equipos y aparatos que pudieran presentar problemas con la llegada del año 2000, lo que permitirá seguir operando como hasta ahora.

#### III.1 Función

Unidad administrativa desconcentrada de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), tiene las atribuciones que se establecen en la Ley de Aguas Nacionales, su Reglamento, el Reglamento interno de la SEMARNAP y las demás disposiciones aplicables<sup>28</sup>.

Entre sus funciones están: administrar y custodiar las aguas nacionales, así como los bienes que se vinculan a éstas, de conformidad con las disposiciones jurídicas aplicables, además de vigilar el cumplimiento de la Ley de Aguas Nacionales y proveer lo necesario para la preservación de su calidad y cantidad para lograr su uso integral sustentable.

<sup>28</sup> CNA (Comisión Nacional del Agua). Función de la Comisión Nacional del Agua. México D.F.

También está encargada de estudiar, normar, proyectar, promover, construir, vigilar, administrar, operar, conservar y rehabilitar la infraestructura hidráulica, así como las obras complementarias que correspondan al Gobierno Federal.

## **III.2 Organigrama**

### **III.2.1 Subdirección general de administración del agua**

La Subdirección General de Administración del Agua realiza una labor muy importante para la CNA, ya que es la responsable de dirigir la administración de las aguas nacionales y sus bienes inherentes en los términos previstos por la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento además de vigilar la ejecución de la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua a un nivel nacional.

Establece y mantiene el contacto con los Usuarios de Aguas Nacionales que usan y aprovechan dichas aguas nacionales y que requieren de una concesión (art. 20 LAN).

### **III.2.2 Subdirección general de construcción**

Su objetivo es dirigir, estudiar, proyectar, programar, supervisar, construir y normar las obras hidráulicas de acuerdo con los programas establecidos por la comisión nacional del agua.

### **III.2.3 Subdirección general técnica**

De acuerdo con el Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, la Subdirección General Técnica tiene las siguientes atribuciones:

1. Crear, mantener y promover las capacidades técnicas básicas que se requieren para que las obras, acciones y programas de la Comisión sean de calidad.
2. Proponer los lineamientos internos de carácter técnico y administrativo, Sistemas y procedimientos que permitan dar unidad a las acciones del Gobierno Federal en materia de aguas nacionales y coordinar su aplicación.
3. Proponer la reglamentación de la extracción y utilización de aguas nacionales el establecimiento de zonas de veda y la declaración de reserva de las aguas nacionales y vigilar su cumplimiento.
4. Promover el uso eficiente del agua y operar los servicios necesarios para la preservación, conservación y mejoramiento en todas las fases del ciclo hidrológico e impulsar una cultura del agua que considere a este elemento como un recurso vital y escaso.
5. Delimitar y demarcar las zonas federales en forma congruente con la declaratoria correspondiente.
6. Normar, organizar, dirigir, realizar y difundir los estudios, trabajos y servicios hidrológicos, geohidrológicos y meteorológicos, así como los de monitoreo de la calidad de las aguas nacionales y el inventario de disponibilidad y uso.
7. Desarrollar y operar, directamente o por contrato o convenio con terceros, redes meteorológicas, hidrométricas y geohidrológicas, e integrar para todas las cuencas

- hidrológicas del territorio un sistema de información sobre cantidad, calidad y usos del agua en las diversas fases del ciclo hidrológico, como base para planear y administrar los recursos hidráulicos.
8. Formular programas integrales de protección de los recursos hidráulicos en cuencas hidrológicas y acuíferos, considerando las relaciones existentes entre los usos del suelo y la cantidad y calidad del agua en coordinación con las unidades administrativas competentes.
  9. Verificar que los proyectos de nuevas obras de infraestructura hidráulica cumplan con las disposiciones jurídicas en materia de impacto ambiental.
  10. Efectuar los estudios y realizar las acciones que se requieran para elevar la eficiencia en la utilización del agua e incrementar su disponibilidad, mediante el desarrollo de proyectos y la ejecución de programas de tratamiento y reutilización de las aguas residuales.
  11. Fijar lineamientos internos de carácter técnico y administrativo, Sistemas y procedimientos para proporcionar seguridad a las construcciones y equipos que constituyen la infraestructura hidráulica a cargo de la Comisión y vigilar su cumplimiento. Fomentar la investigación científica y el desarrollo en materia de agua, su aplicación y la formación y capacitación de recursos humanos para los mismos fines.
  12. Promover la conservación del agua mediante la recarga de acuíferos, la protección y saneamiento de cuencas alimentadoras, el control de la erosión, la estimulación de lluvia y el aprovechamiento de las aguas estuarinas, salobres y salinas.
  13. Analizar y llevar el registro de la evolución de los almacenamientos en vasos y embalses, flujo de las corrientes en los ríos y la ocurrencia, magnitud y duración de las lluvias para pronóstico de avenidas, prevención de inundaciones y prevención de sequías.
  14. Coordinar la revisión colegiada de los proyectos ejecutivos y cambios de las obras que se realicen bajo la responsabilidad de la Comisión, así como realizar auditorías técnicas de los mismos y de su construcción.
  15. Establecer las bases técnicas conforme a las cuales se determinarán los derechos federales por las extracciones de aguas nacionales y por el uso de bienes nacionales inherentes, así como por las descargas de aguas residuales.
  16. Fomentar la evaluación y certificación de calidad de los proveedores de bienes y servicios del sector, divulgar los resultados respectivos y promover su uso.
  17. Dictaminar sobre la procedencia técnica de las solicitudes de usuarios acerca de nuevos aprovechamientos de aguas nacionales, modificación de las existentes y descarga de aguas residuales.
  18. Elaborar estudios, formular criterios y autorizar los proyectos de todo tipo de obra que afecten el control de ríos o el riesgo de avenidas, otorgar permisos de construcción o modificación de obras en zonas federales y coordinar el Comité

Técnico de Operación de Obras Hidráulicas, órgano interno de decisión en la materia.

Para cumplir con estas funciones, la Subdirección General Técnica cuenta con:

- Gerencia del Servicio Meteorológico Nacional
- Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos
- Gerencia de Aguas Subterráneas
- Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua
- Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas
- Consultivo Técnico
- Subgerencia de Administración

Adicionalmente, a nivel Regional y Estatal se tienen Subgerencias Técnicas, que dependen directamente de las Gerencias Regionales y Estatales, y realizan las funciones técnicas de sus áreas de competencia.

### **III.3 Leyes, códigos y reglamentos**

#### **III.3.1 Evolución de la Ley Federal de Derechos en materia de agua**

1982-1985.- A principios de 1982 entró en vigor el mencionado capítulo de la Ley Federal de Derechos. Del año de 1983 a 1985 este capítulo sufrió algunas reformas, principalmente de forma. En general, las principales características de los derechos de agua durante esos años fueron:

Se establecían cuotas por el uso y aprovechamiento del agua en función de la fuente (ya sea superficial o subterránea) y el uso (general, hidro y termoeléctrica, industrial, comercio, servicios, acuacultura y generación de fuerza motriz para servicios propios); se pagaba una cuota determinada a nivel nacional, independientemente del lugar en donde se aprovechara.

Todos los usos que extraían agua subterránea (a excepción de la utilizada en generación eléctrica) debían pagar el 75% de la cuota que se aplicaba en el sistema de agua potable del municipio de la extracción o el más cercano a éste.

1986.- Considerando que los costos de aprovechamiento del agua son diferentes en las distintas regiones y localidades del país, y que resultaba necesario promover la eficiencia en el uso del agua y orientar la localización de usos altamente consumidores en zonas de mayor disponibilidad del recurso, se introdujeron para este año de 1986 cuotas diferenciales en función de los balances de disponibilidad de agua (adecuada a límites estatales y municipales). De acuerdo a su disponibilidad, se dividió al país en cuatro zonas: zona 1: escasa, zona 2: equilibrio, zona 3: suficiente, y zona 4: abundante.

Como adición importante también para este año, se incorporan los derechos por servicios administrativos de trámite y expedición de asignaciones, concesiones o permisos para usar o aprovechar aguas nacionales, y para descarga de agua residual y el derecho por suministro de agua en bloque proveniente de obras hidráulicas.

1987.- Durante 1987, prácticamente no hay reformas y sólo se actualizan durante el año las cuotas.

1988.- Un avance para la actualización automática de los derechos, lograda ese año, es la indexación de los montos de las cuotas al incremento de los salarios mínimos, vigentes para el D.F.

Durante ese año también, se introducen nuevos derechos por servicios administrativos y por el servicio de suministro de aguas residuales tratadas para uso industrial.

Por último y como reforma trascendental, se consigue establecer en la Ley que los ingresos que se obtengan por todos los derechos de agua se destinarán a la dependencia administradora para cubrir los gastos de operación, conservación y mantenimiento de las obras de infraestructura hidráulica de las entidades federativas en las que se recauden los derechos.

1989.- Con el fin de garantizar un monto del derecho adecuado, cuando en zona 1 (de disponibilidad escasa) se aplica el 75% de una tarifa de agua potable baja, se estableció una cuota mínima a pagar en esas zonas. Se establece la mención de que los ingresos que se recauden por la aplicación de los derechos, se pagarán en las oficinas de la Comisión Nacional del Agua y serán destinados a la construcción, conservación y mantenimiento de las obras hidráulicas.

1990.- Los municipios con acuíferos sobreexplotados se integran a zona 1

Se mantiene la cuota mínima y se incorpora a tratamiento especial otra vez el uso del agua en generación geotérmica, regresándose al criterio de cobrar en todos los conceptos de generación de energía por los kilowatts-hora producidos. (y no por el volumen utilizado).

Una reforma importante que entra en vigor a partir de este año, es que los derechos se actualizarán trimestralmente en relación con los incrementos que tenga el índice nacional de precios al consumidor, con base en información publicada en el Diario Oficial de la Federación por el Banco de México.

1991-1994.- Aunque hay modificaciones importantes de 1993 a 1994, éstas obedecen más en los niveles de las cuotas. En 1991 es cuando realmente se observan los ajustes estructurales que conforman la ley vigente, ejemplo de ello es lo siguiente:

Se establece un nuevo derecho que grava la descarga de agua residual, incorporándose en la ley un nuevo Capítulo XIV denominado: "Derecho por uso o aprovechamiento de bienes el dominio público de la nación como cuerpos receptores de la descarga de aguas residuales", cuyas principales características son las siguientes:

Es aplicable a usuarios que descarguen aguas residuales con concentraciones de contaminantes arriba de las permisibles, medidas en demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST), y por m<sup>3</sup> descargado

También se establece un derecho específico por descarga de agua residual, aplicable a entidades que presten servicio de agua potable y alcantarillado, diferencial al grado de aportación de la descarga industrial respecto a la aportación total de la descarga.

Se determina que los contribuyentes que informen y que demuestren que tienen en proceso la realización del proyecto constructivo o la ejecución de las obras relativas a la calidad de descarga, no pagarán el derecho por un plazo que no se exceda de dos años.

Igual que el pago de derechos por uso o aprovechamiento de agua, se exenta de uso agrícola del pago de derechos por descarga de agua residual.

1995.- No se observan cambios sustanciales, sólo se actualizan las cuotas conforme el incremento porcentual del índice nacional de precios al consumidor.

1996.- En este año se presentan modificaciones importantes a la ley; las cuotas de los derechos por uso o aprovechamiento de aguas nacionales, que desde 1986 eran diferenciales a cuatro zonas de disponibilidad se amplían a nueve zonas. Se elimina la referencia de aplicar en la zona 1 el 75% de la tarifa vigente en el sistema de agua potable más cercano a donde se realice la extracción y se establecen, a cambio, cuotas específicas a cada zona. Adicionalmente, se exenta del pago de esos derechos a usos municipales para consumo doméstico en poblaciones rurales.

Respecto a los derechos por descarga o infiltración de aguas residuales que puedan contaminar las corrientes, el subsuelo o los acuíferos, se observan también cambios relevantes, al diferenciar las cuotas en función de la clasificación de cuerpos receptores. Se establecen cuotas diferenciales también a la concentración de los contaminantes vertidos, considerando en el cálculo la concentración de mayor peso entre la demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales. Igualmente se exenta del pago de estas cuotas a organismos que presten servicios de agua potable y alcantarillado a poblaciones rurales.

1997.- Salvo los incrementos nominales a las tarifas, para 1997 no se registran cambios importantes en las cuotas por uso y aprovechamiento de agua. Sin embargo, sí hay modificaciones trascendentales a los derechos de descarga. (Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, Diario Oficial de la Federación del 14 de febrero de 1997).

### III.3.2 Comité consultivo nacional de normalización del sector agua

Con base en el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, corresponde al C. Director General de la CNA presidir el Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua (CCNNSA). Por ello, en octubre de 1994 se instauró el CCNNSA, que cuenta además con un Coordinador, un Secretario y 36 Vocales.

Para el logro de sus objetivos, el CCNNSA se apoya en tres Subcomités, que están conformados por dependencias federales, empresas que prestan los servicios de agua y saneamiento, asociaciones de fabricantes e instituciones docentes, que responden al alto nivel de participación en los subsectores del ámbito del agua. Dichos Subcomités son:

- Subcomité de Normalización de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado.
- Subcomité de Normalización para la Protección de Acuíferos.
- Subcomité de Normalización de Obras Hidráulicas en Cauces y Zonas sujetas a riesgo de inundación.

A la fecha este Comité ha emitido cinco NOM's mediante las cuales se busca garantizar la hermeticidad de los Sistemas de alcantarillado, disminuir las pérdidas del agua potable en las tomas domiciliarias, conservar la calidad del agua de los mantos acuíferos y el uso racional en el consumo de agua en viviendas y servicios públicos mediante la instalación y uso de dispositivos domésticos de alta eficiencia. Asimismo, se tienen en proceso diez anteproyectos que están en discusión por grupos de trabajo coordinados por la CNA.

Normas Oficiales Mexicanas en materia de agua:

1. NORMA Oficial Mexicana NOM-001-CNA-1995, "Sistema de alcantarillado sanitario - Especificaciones de hermeticidad".

Esta Norma Oficial Mexicana establece las condiciones de hermeticidad que deben cumplir los Sistemas de alcantarillado sanitario que trabajen a superficie libre. La presente Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria para los responsables del diseño e instalación de los Sistemas de alcantarillado sanitario y los fabricantes de los componentes de los Sistemas de alcantarillado sanitario de manufactura nacional y extranjera que se comercialicen dentro del territorio nacional.

2. NORMA Oficial Mexicana NOM-002-CAN-1995 "Toma domiciliaria para abastecimiento de agua potable - Especificaciones y métodos de prueba"

Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones y métodos de prueba que debe cumplir la toma domiciliaria para el abastecimiento de agua potable, con el fin de preservar el recurso hidráulico, sin alterar sus propiedades fisicoquímicas. La presente Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria para los responsables de la fabricación y prueba de los elementos que integran la toma domiciliaria, de origen nacional y extranjero que se comercialicen dentro del territorio nacional, así como del proyecto e instalación de dichos elementos.

3. Norma Oficial Mexicana NOM-003-CNA-1996 ", Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos"

Esta Norma Oficial Mexicana establece los requisitos mínimos de construcción que se deben cumplir durante la perforación de pozos para la extracción de aguas nacionales y trabajos asociados, con objeto de evitar la contaminación de los acuíferos.

4. Norma Oficial Mexicana NOM-004-CNA-1996, "Proteger la calidad del agua en los acuíferos durante los trabajos de mantenimiento, rehabilitación y cierre de pozos, sea en forma temporal o definitiva.

Esta Norma Oficial Mexicana es aplicable a todos los pozos de exploración, monitoreo o producción que penetren total o parcialmente un acuífero, y que sean destinados a alguno de los usos de extracción de agua clasificados en esta Norma, así como a aquéllos que fueron perforados para otros usos y que han quedado abandonados. Su cumplimiento es exigible a los concesionarios y asignatarios de pozos de extracción de agua y a los dueños de pozos para otros usos y es independiente del trámite para la concesión o asignación del volumen de aguas nacionales.

5. Norma Oficial Mexicana NOM-005-CNA-1996, "Especificaciones y métodos de prueba que deben cumplir los fluxómetros para tazas de inodoros y mingitorios con el fin de asegurar el ahorro de agua en su uso y funcionamiento hidráulico"

Esta Norma es aplicable a fluxómetros de diferentes materiales de manufactura nacional y extranjera que se comercialicen dentro del territorio nacional. Corresponde a los fabricantes y proveedores de los mismos el cumplimiento de la presente Norma.

6. Norma Oficial Mexicana NOM-006-CNA-1997, "Especificaciones y métodos de prueba de las fosas sépticas prefabricadas, para el tratamiento preliminar de las aguas residuales de tipo doméstico, con el fin de asegurar su confiabilidad y contribuir a la preservación de los recursos hídricos y del ambiente"

Esta Norma Oficial Mexicana es aplicable a las fosas sépticas prefabricadas de fabricación nacional o de importación, que se comercialicen dentro del país. Corresponde a los fabricantes y proveedores el cumplimiento de la presente Norma. Esta Norma Oficial Mexicana, únicamente normará lo correspondiente a la primera parte del sistema de tratamiento, es decir, a la fosa séptica, entendiéndose su concepto tal como se describe en el capítulo 4. Definiciones.

7. Norma Oficial Mexicana NOM-007-CAN-1997, "Requisitos de seguridad que deben cumplirse en la construcción y operación de tanques de 3 000 m<sup>3</sup> de capacidad o mayores, que contengan agua y que se utilicen en los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.

Esta Norma Oficial Mexicana es aplicable a los tanques para agua, nuevos o existentes, dentro del territorio nacional. Corresponde a los concesionarios y asignatarios el cumplimiento de la presente norma.

### III.3.3 Catálogo de Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas relacionadas con el sector agua.

En julio de 1992 se expidió la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN), sus disposiciones son de orden público e interés social, su aplicación y vigilancia corresponden al Ejecutivo Federal, por conducto de las dependencias de la Administración Pública Federal que tengan competencia en las materias reguladas.

En relación con las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), la LFMN faculta a las dependencias del Ejecutivo Federal para su expedición. Con base en este ordenamiento, la Comisión Nacional del Agua ha emitido normas de acuerdo a sus atribuciones, que se complementan con otras expedidas por Secretarías del Gobierno Federal.

Por lo antes mencionado, es de suma importancia para los servidores públicos de esta institución y público en general, conocer y disponer para su consulta, de un catálogo que contenga las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), que son de carácter obligatorio y cobertura nacional y Normas Mexicanas (NMX), de carácter voluntario relacionadas con el sector hidráulico.

1. NOM-001-ECOL-1996 FEP: 1997-01-06 "Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales"

Esta norma abroga a las siguientes normas oficiales mexicanas:

NOM-003-ECOL-1993, NOM-004-ECOL-1993, NOM-005-ECOL-1993, NOM-006-ECOL-1993, NOM-007-ECOL-1993, NOM-008-ECOL-1993, NOM-009-ECOL-1993, NOM-010-ECOL-1993, NOM-011-ECOL-1993, NOM-012-ECOL-1993, NOM-013-ECOL-1993, NOM-014-ECOL-1993, NOM-015-ECOL-1993, NOM-016-ECOL-1993, NOM-017-ECOL-1993, NOM-018-ECOL-1993, NOM-019-ECOL-1993, NOM-020-ECOL-1993, NOM-021-ECOL-1993, NOM-022-ECOL-1993, NOM-023-ECOL-1993, NOM-024-ECOL-1993, NOM-025-ECOL-1993, NOM-026-ECOL-1993, NOM-027-ECOL-1993, NOM-028-ECOL-1993, NOM-029-ECOL-1993, NOM-030-ECOL-1993, NOM-032-ECOL-1993, NOM-033-ECOL-1993, NOM-063-ECOL-1993, NOM-064-ECOL-1993, NOM-065-ECOL-1993, NOM-066-ECOL-1993, NOM-067-ECOL-1993, NOM-068-ECOL-1993, NOM-069-ECOL-1993, NOM-070-ECOL-1993, NOM-071-ECOL-1993, NOM-072-ECOL-1993, NOM-073-ECOL-1993.

2. NOM-002-ECOL-1996 FEP: 1998-06-03 "Establece los límites máximos de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los Sistemas de alcantarillado".

(Esta norma abroga a la NOM-031-ECOL-1993).

3. NOM-003-ECOL-1997 FEP: 1998-09-22. "Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que sé reusen en servicios al público".
4. NOM-052-ECOL-1993 Norma técnica. "Establece los requisitos para la inspección y prueba en tanques de concreto reforzado, que contengan agua".

Esta Norma Técnica es aplicable a los tanques de regulación de agua, nuevos o existentes.

### **III.4 Sitios relacionados con la Comisión Nacional del Agua.**

#### **III.4.1 Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (Semarnap)**

La Semarnap es la dependencia del gobierno federal encargada de coordinar la administración y aprovechamiento de los recursos naturales para alcanzar un desarrollo sustentable, cuyos objetivos son generar un aprovechamiento duradero de los recursos naturales renovables y del medio ambiente, que faciliten el desarrollo actual y futuro de los mexicanos; permitir una mejor calidad de vida para todos; propiciar la superación de la pobreza, y contribuir a fortalecer una economía productiva basada en procesos y tecnologías que no degraden los recursos ni la calidad ambiental.

La Semarnap opera con tres subsecretarías: Planeación, Recursos Naturales y Pesca. Además, son órganos desconcentrados de este sector la Comisión Nacional del Agua, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, el Instituto Nacional de Ecología, el Instituto Nacional de la Pesca y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.

#### **III.4.2 Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)**

Realizar investigación, desarrollar, adaptar y transferir tecnología, prestar servicios tecnológicos y preparar recursos humanos calificados para el manejo, conservación y rehabilitación del agua, a fin de contribuir al desarrollo sustentable del país.

El Instituto fue creado mediante Decreto Presidencial publicado en el Diario Oficial de la Federación el 7 de agosto de 1986 sustituyendo a la Comisión del Plan Nacional Hidráulico (CPNH) que, a su vez, fue creada en 1976.

La necesidad de actualizar la tecnología y de mejorar la preparación de los técnicos y profesionales de la hidráulica, motivó que en 1986, aprovechando la experiencia del personal de la CPNH, naciera el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Como resultado de la modificación a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, el IMTA pasó a ser uno de los órganos desconcentrados de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, el 29 de diciembre de 1994.

Los objetivos actuales del IMTA se establecieron en correspondencia con el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 1995-2000, y con los Programas Hidráulicos y de Ciencia y Tecnología 1995-2000; sus funciones se definen en el Reglamento Interno de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Con ellas, se

asume el propósito de propiciar un manejo más eficiente del agua, que contribuya a un desarrollo económico orientado a mejorar el bienestar social e incrementar la productividad nacional desde una perspectiva de sustentabilidad.

Su misión es realizar investigación, desarrollar, adaptar y transferir tecnología, prestar servicios tecnológicos y preparar recursos humanos calificados para el manejo, conservación y rehabilitación del agua, a fin de contribuir al desarrollo sustentable del país.

Los proyectos realizados en el IMTA constituyen un aporte importante en los beneficios derivados a la sociedad. La evaluación potencial de algunos resultados relevantes permite asegurar la utilidad del Instituto en materia de investigación y desarrollo tecnológico del sector hidráulico y en general de desarrollo económico, regional y nacional.

Cabe destacar que el presupuesto que en 1997 le fue asignado al IMTA representa el 1.29% del asignado a la CNA y el 0.89% del asignado a la Semarnap.

#### III.4.3 Servicio Meteorológico Nacional.

Su función primordial es vigilar y emitir información sobre las condiciones atmosféricas del país, así como pronosticar y alertar sobre eventos hidrometeorológicos que puedan ocasionar daños a la población o a las actividades productivas en el territorio nacional.

#### III.4.4 Organización Meteorológica Mundial (WMO)

La convención Meteorológica de la cual la organización mundial meteorológica fue creada, fue adoptada en la 20va conferencia de directores de la organización meteorológica internacional (IMO), la cual se llevo a cabo en Washington en 1947. Sin embargo, la convención se fortaleció hasta 1950, la WMO comenzó a operar como sucesor de la en 1951 y en ese mismo año se estableció como una agencia especializada de las Naciones Unidas por acuerdo entre la ONU y la WMO.

El propósito de la WMO es facilitar la cooperación internacional para establecer redes de estaciones para hacer observaciones meteorológicas, hidrológicas y otras, además de promover el rápido intercambio de información meteorológica, observaciones meteorológicas de estandarización, publicación uniforme de observaciones y estadísticos.

También sirve en la aplicación de meteorología a la aviación, navegación, problemas de agua, agricultura y otras actividades humanas. Promueve investigación en hidrología y entrenamiento en meteorología.

#### III.5 Reutilización y reciclaje del 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.

La reutilización 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 reutilizadas incidentalmente en puntos aguas abajo para aprovechamientos urbanos, agrícolas e industriales. La reutilización directa o planificada 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.

Como se puede observar en la siguiente figura, cada día aumenta el número de plantas de tratamiento de aguas residuales, por lo tanto, la reutilización del agua tratada debe aumentar de igual forma.

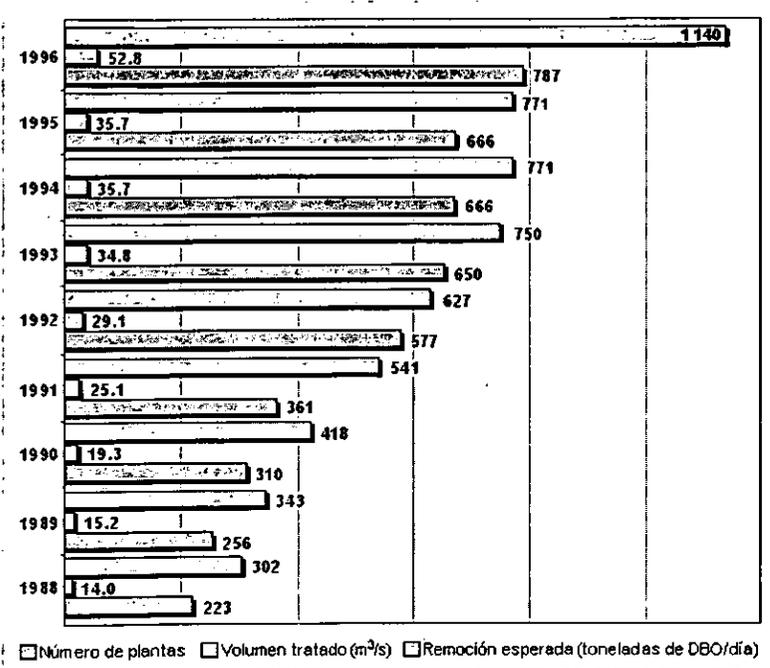


Figura III.1 Número de plantas de tratamiento instaladas de 1988-1996.

El notable desarrollo alcanzado por la reutilización directa 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 la utilización 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<sup>29</sup>.

El proceso de tratamiento necesario para que un agua residual pueda ser reutilizada 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, de igual manera que la regeneración de suelos y la regeneración de playas tratan de restaurar el estado y la forma que éstos tenían en el pasado.

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 de la regeneración de agua constituyen generalmente la faceta más discutida de todo programa de reutilización, 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 la reutilización de agua residual<sup>30</sup>.

El aprovechamiento de un agua regenerada requiere normalmente: 1) su transporte desde la planta de regeneración 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 reutilización planificada de agua residual.

La reutilización de agua regenerada 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 la reutilización planificada para riego agrícola y de jardinería en zonas urbanas ha alcanzado una notable aplicación en países desarrollados y con recursos hidráulicos tradicionalmente abundantes.

Los aspectos más importantes de la reutilización del agua se pueden resumir en los siguientes puntos:

<sup>29</sup> Organización Mundial de la Salud (OMS). Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Serie de informes técnicos 778. 1989. Ginebra, Suiza.

<sup>30</sup> United States Environmental Protection Agency and United States Agency for International Development. Manual on Guidelines for Water Reuse. 1992.

1. La reutilización planificada de agua residual se ha convertido en un componente esencial de la gestión integral de los recursos hidráulicos, especialmente en zonas costeras, donde puede contribuir de forma significativa al aumento neto de dichos recursos, tanto para su utilización directa como a través de su purificación y almacenamiento en acuíferos costeros.
2. Aunque los criterios y normas de calidad establecidos para diferentes usos del agua regenerada son variados y heterogéneos, se dispone de experiencia suficiente para planificar, proyectar y explotar Sistemas de reutilización de agua residual económicos y seguros, tanto desde el punto de vista sanitario como ambiental.
3. La regeneración de agua residual se concibe actualmente como un proceso destinado a obtener un producto de calidad. La elaboración y comercialización de este producto debe plantearse en un marco más amplio que el tradicional de lucha contra la contaminación, y con una nueva mentalidad en la planificación, concepción y explotación de los procesos de regeneración diferente a la adoptada generalmente en el tratamiento de agua residual.
4. La planificación adecuada de cualquier proyecto de reutilización requiere una definición clara de sus objetivos. Tradicionalmente, la reutilización se ha planteado como un medio de lucha contra la contaminación o bien como un medio de aumentar el suministro de agua.
5. La concepción actual de los proyectos de reutilización exige una coordinación institucional, reglamentaria, financiera, de ámbito geográfico de influencia y técnica, tanto durante la construcción como la explotación y mantenimiento, en un grado muy superior a la empleada tradicionalmente en la gestión de los recursos hidráulicos.
6. La utilización de agua residual regenerada para riego agrícola y de jardinería ofrece una alternativa práctica de gran interés para el tratamiento y vertido del agua residual.
7. Los proyectos de demostración de los diferentes tipos de reutilización planificada de agua residual contribuyen al desarrollo y aceptación de estas técnicas, permitiendo comprobar su capacidad para aportar recursos hidráulicos, reciclar elementos nutritivos y asegurar la calidad sanitaria y ambiental.

### III.5.1 Beneficios de la reutilización planificada del agua.

El balance hidráulico de una zona geográfica se obtiene como diferencia entre el aporte anual de agua, constituido por las precipitaciones y las aportaciones de los ríos, acuíferos y transvases de otras cuencas, y las pérdidas anuales de agua, o pérdidas irre recuperables, cuyo destino es la atmósfera o el mar. Cualquier actuación destinada a conservar agua que consiga reducir esas pérdidas irre recuperables ha de mejorar la disponibilidad de agua para su aprovechamiento a lo largo del año. Por este motivo, la regeneración y reutilización de agua residual únicamente resultará en un incremento real de los recursos hidráulicos aprovechables en una zona si esas aguas residuales se pierden actualmente de forma irre recuperable, mediante su vertido en el mar desde una población costera o a través de la evapotranspiración en zonas del interior. No obstante, la regeneración y reutilización de agua residual en zonas del interior pueden permitir en cualquier caso una gestión más adecuada de los recursos hidráulicos disponibles.

La reutilización planificada de agua residual puede tener múltiples beneficios, entre los que cabe destacar los siguientes:

1. Una disminución de los costos de tratamiento y de vertido del agua residual. La reutilización de un agua residual ofrecerá una clara ventaja económica cuando las exigencias de calidad de la alternativa de reutilización considerada sean menos restrictivas que las definidas por los objetivos de calidad del medio receptor en el que normalmente se venía realizando el vertido de ese agua residual.
2. Una reducción del aporte de contaminantes a los cursos naturales de agua, en particular cuando la reutilización se efectúa mediante riego agrícola, de jardinería o forestal. La reutilización de agua residual mediante riego permite que las sustancias orgánicas difíciles de mineralizar puedan ser degradadas biológicamente durante su infiltración a través del terreno de cultivo, donde sus componentes minerales serán posteriormente asimilados por las plantas.
3. El aplazamiento, la reducción o incluso la supresión de instalaciones adicionales de tratamiento de agua de abastecimiento, con la consiguiente reducción que ello representa tanto de los efectos desfavorables sobre los cursos naturales de agua como de los costos de abastecimiento de agua.
4. Un ahorro energético, al evitar la necesidad de aportes adicionales de agua desde zonas más alejadas a la que se encuentra la planta de regeneración de agua.
5. Un aprovechamiento de los elementos nutritivos contenidos en el agua, especialmente cuando el agua regenerada se utiliza para riego agrícola y de jardinería.
6. Una mayor fiabilidad y regularidad del caudal de agua disponible. El flujo de agua residual es generalmente mucho más fiable que el de la mayoría de los cauces naturales de agua.

### III.5.2 Planificación de proyectos de reutilización de aguas residuales.

La planificación y el análisis adecuados de cualquier proyecto de reutilización 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.

Uno de los conceptos erróneos que con más frecuencia se presentan a la hora de planificar un proyecto de reutilización de agua es el de considerar que el agua regenerada es una fuente alternativa de agua barata. En general, esta hipótesis sólo suele ser correcta cuando las instalaciones de regeneración 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 costo del sistema de distribución del agua regenerada suele constituir la partida principal del presupuesto del proyecto de reutilización.

Una condición esencial para la planificación adecuada de cualquier proyecto de reutilización 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 reutilización: si tiene un único objetivo prioritario o si se plantea con varios objetivos igualmente prioritarios. En general, los proyectos de reutilización de agua residual 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 planificación de la mayoría de los proyectos de reutilización suele plantearse con un único objetivo.

En el momento actual, sin embargo, esta concepción tradicional de los proyectos de reutilización, 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 reutilización, como actuaciones destinadas a satisfacer varios objetivos simultáneamente, ofrece a los planificadores posibilidades adicionales de gestión tales como compartir la responsabilidad y los costos 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.

La planificación de un proyecto de reutilización de agua consta básicamente de las siguientes etapas:

1. Realizar un estudio de mercado que permita definir la posible demanda de agua residual 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 la reutilización de agua, 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 reutilización de agua residual.
4. Realizar una primera selección de las alternativas de regeneración de agua, a fin de establecer sus exigencias técnicas, económicas, financieras, de venta del agua regenerada 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 la regeneración y la reutilización de agua residual son factibles y deseables, es posible continuar con la fase posterior de planificación 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 planificación de un proyecto de regeneración de agua residual es identificar los posibles usuarios que desean y saben como utilizar el agua regenerada.

Aunque los factores técnicos, ambientales y sociales son aspectos importantes en la planificación de un proyecto de reutilización de agua, 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.

Una vez aprobada la propuesta de realización de un proyecto de regeneración y reutilización de agua residual, 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 comprometan a utilizar el agua regenerada disponible. Hay dos posibilidades a este respecto: el uso obligatorio y el uso voluntario<sup>31</sup>.

### III.6 Tratamiento y reuso del agua en México.

Las actividades de reuso del agua en la Ciudad de México comenzaron de manera oficial en 1984, con el Programa Nacional de Uso Eficiente del Agua<sup>32</sup>. 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 Ciudad de México, 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 industriales 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.

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 mcs<sup>33</sup>.

Las industrias del Distrito Federal reciclan o reusan 2.4 mcs de aguas residuales, principalmente para procesos de enfriamiento. Esta cantidad representa un aumento de 25 por ciento con respecto al nivel de reuso en 1990 y del doble en relación con 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 zona metropolitana del valle de México (ZMVM),

<sup>31</sup> Asano, T. y R.A. Mills. Planning and analysis for water reuse projects. Journal of the American Water Works Association. 1990.

<sup>32</sup> Departamento del Distrito Federal. Reuso del agua en la ciudad de México, 1990b.

<sup>33</sup> Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento. Reuso del agua en el Estado de México. 1993.

iniciaron en 1989 un programa de reuso, para lo cual establecieron una compañía promotora con fines comerciales 'Aguas Industriales de Vallejo'<sup>34</sup>. 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 desarrolla 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. 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 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 mcs; 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 mcs 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 mcs, y

<sup>34</sup> World Bank. 1992.

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. Normalmente, el agua residual recuperada se usa para procesos que no requieren agua potable.

Un reporte reciente (1994) del Consejo Nacional de Investigación concluye que la recarga artificial con aguas residuales municipales recuperadas ofrece particularmente un potencial significativo para usos no potables, y puede reducir la demanda de agua pura 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 un suplemento de la fuente normal de abastecimiento de agua.

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.

En el Distrito Federal los valores máximos que se toleran en diversos parámetros para las siguientes aplicaciones son en: recarga de acuíferos, riego de áreas verdes, uso agrícola, usos recreativos, forrajes y pasturas, abrevaderos y vida silvestre, enfriamiento en la industria que están definidos en las Normas de Calidad de Agua Renovada para Reuso, del reglamento para el uso del Reuso del Agua en el Distrito Federal.

A su vez en el contexto nacional las Normas Técnicas Ecológicas NTE-CCA-033/91, sancionan la disposición final mediante riego agrícola y el riego de hortalizas y productos hortofrutícolas, respectivamente, la NOM-001-ECOL-1996, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Por su parte la Comisión Nacional del Agua plantea el manual técnico para el uso, aprovechamiento y manejo de aguas residuales en el riego agrícola.

## CAPITULO IV

### EVALUACION DEL PROYECTO (ESTUDIO DE FACTIBILIDAD)

Conviene destacar que lo esencial de un proyecto es que implica costos y beneficios para quien lo realiza. Es por ello que, muy probablemente, la gran mayoría de las decisiones humanas (si no es que todas) se pueden catalogar como proyectos. Sin embargo, de las miles o millones de decisiones que diariamente se adoptan y se llevan a cabo, existen muchas que son relativamente sencillas, en tanto que otras requieren de un análisis cuidadoso de su probable resultado y, por lo tanto, conviene tomar un cierto tiempo para asegurar, en lo posible, que dadas las circunstancias imperantes, los resultados que se obtengan sean los más convenientes.

Los proyectos surgen debido a que hay necesidades insatisfechas (problemas), o bien, oportunidades que se pueden aprovechar. Es decir, los proyectos son respuestas a algo y por tanto, no deberían surgir como ideas aisladas, sin ningún contacto con la realidad. Antes de proponer una idea de proyecto debe tenerse muy claro cuál es el problema a resolver, o la oportunidad a aprovechar.

Además, conviene plantear alternativas de solución (ya que casi siempre, para un mismo problema, existen diferentes soluciones), seleccionar las que parecen mejores y someterlas a un análisis cuidadoso de costos y beneficios a fin de optar finalmente por una de ellas, la que mayores probabilidades tenga de ser la más rentable.

En muchas ocasiones se proponen proyectos donde no se ha realizado, de manera cuidadosa, un "diagnóstico de la situación actual", lo cual conlleva un enorme riesgo de que las mismas constituyan "soluciones" muy costosas que pudieron haberse evitado (o postergado) mediante la adopción de alternativas relativamente más baratas, a veces administrativas, para "optimizar" dicha situación. Esta "optimización" tiene por objeto restaurar la capacidad operativa de los Sistemas; por ejemplo, hacer reparaciones menores o tomar medidas para tratar de aprovechar lo mejor posible lo que se tiene y proyectar que ocurriría si no se tuvieran recursos para realizar un proyecto. Además, esto permite establecer una situación "base", a partir de la cual puede compararse con lo que ocurriría una vez realizado el proyecto. El propósito es evitar asignarle a un proyecto beneficios que se obtendrían de todas formas y por medios más baratos, a través de la "optimización de la situación actual".

Por lo general se tiende a pensar que los proyectos son obras físicas, carreteras, puentes, edificios o fábricas. Sin embargo, también se puede decir que son proyectos un programa de salud o de educación, o una iniciativa para establecer una norma ambiental o comercial, o para modificar o crear una ley, debido a que su realización también implica costos o beneficios para la sociedad. Por lo tanto, también conviene realizar en principio el análisis cuantitativo de su posible resultado a fin de asegurar, en lo posible, una decisión correcta.

Por la sencilla razón de que los recursos son escasos, debemos preguntarnos cuál es el orden de prioridad que se debe asignar al uso de recursos públicos en un contexto donde existe un número interminable y creciente de necesidades. El razonamiento anterior también nos ayuda a definir acciones, o a tomar decisiones, de carácter personal, familiar o empresarial, que finalmente caen en la misma categoría: son

proyectos debido a que son fuente de costos y beneficios, en este caso para las personas, familias o empresas. Es por ello que resulta casi natural que los proyectos de inversión privada, donde los costos y beneficios recaen finalmente en las personas, deban evaluarse bajo el enfoque de calcular, en términos monetarios, a cuánto ascienden los costos y los beneficios esperados. Simplemente, porque si los costos son superiores a los beneficios esperados, difícilmente una persona o empresa iniciará un negocio, ya que esto redundaría en un deterioro de su patrimonio.

#### IV.1 Teoría de Evaluación de Proyectos (estudios de factibilidad).

Un estudio de factibilidad comprende como mínimo una evaluación técnica, una evaluación socioeconómica, un análisis financiero y por último un análisis de sensibilidad.

- Evaluación técnica

En la evaluación técnica se deben manifestar, (1) los antecedentes del proyecto, (2) los objetivos y suposiciones clave del proyecto, (3) el alcance de trabajo y las bases de diseño del proyecto, (4) la descripción del proceso, (5) el programa de actividades del proyecto y el tiempo de ejecución por medio de gráficas de ganta, (6) isométricos del sistema, (7) diagramas de tubería e instrumentación, (8) diagramas de flujo que muestren una tabla con el balance de materia y de requerirse de también de energía, y (9) arreglos de equipo y/o planta.

- Evaluación socioeconómica

En esta parte del estudio de factibilidad se muestran todos los costos y beneficios que envuelven el proyecto, así como también el impacto ambiental que se tendría de no llevarse a cabo el proyecto. También se puede incluir el impacto en la generación de empleos, la distribución de ingresos, la producción y el comercio.

- Análisis financiero

Existen tres métodos más ampliamente utilizados para evaluar financieramente proyectos de inversión, considerando sus limitaciones y ventajas de cada uno de éstos.

1. Método de período de recuperación.
2. Método de tasa interna de rendimiento.
3. Método de valor presente neto.

El primero de los métodos aun cuando conceptualmente no se considera apropiado es utilizado con mucha frecuencia. Los métodos 2 y 3 son más aceptables, y uno o el otro deberá utilizarse en la mayor parte de los casos<sup>35</sup>.

1. Método de Período de Recuperación.

Por medio de este método se calcula el tiempo el tiempo requerido para recuperar la inversión inicial. A continuación se enuncia un ejemplo:

<sup>35</sup> Block Stanley. Fundamentos de Administración Financiera. 1ª edición, CECSA. 1998. pp. 325-326.

Supongamos que se nos llama para que decidamos en invertir en el proyecto A o en el proyecto B, según aparece en la siguiente tabla:

Alternativas de Inversión (inversiones por valor de \$10 000)

Flujos de entradas de Efectivo

Año	Inversión A	Inversión B
1	\$5000	\$2000
2	5000	2000
3	2000	2000
4		6000
5		6000

El período de recuperación para la inversión A es de 2 años, en tanto que la inversión B requiere 3  $\frac{2}{3}$  años. Al utilizar el método de periodo de recuperación para seleccionar la inversión A, dos consideraciones muy importantes se pasan por alto. En primer término, no se toman en consideración los flujos de efectivo después del período de recuperación. Los \$2000 de flujo de efectivo para el año 3 de la inversión A pasa inadvertido, como también el flujo de \$6000 del año 5 para la inversión B. Inclusive si supusiéramos que el flujo de efectivo fuera de \$60000 en lugar de \$6000 tampoco tendría ningún impacto sobre la decisión.

En segundo término, el método no considera el concepto del valor del dinero en el tiempo. Si tuviéramos dos inversiones de \$10000 con el siguiente patrón de flujos de efectivo, el método de periodo de recuperación los habría de evaluar como igualmente atractivos.

Año	Flujos rápidos	Flujos tardados
1	\$9000	\$1000
2	1000	9000
3	1000	1000

Aun cuando ambas inversiones tienen un periodo de recuperación de dos años, la primera alternativa es evidentemente superior dado que los \$9000 se reciben en el primer año y no en el segundo año.

El método de periodo de recuperación posee ciertas cualidades que ayudan a justificar el porqué de su uso tan difundido entre las empresas norteamericanas. Constituye un método bastante fácil de comprender, y además enfatiza grandemente la liquidez. Será necesario que una inversión se recupere rápidamente o de lo contrario no habrá de ser aceptada (la mayor parte de las empresas utilizan un periodo máximo de recuperación de tres a cinco años). Un periodo rápido de recuperación podrá ser particularmente importante para industrias caracterizadas por avances rápidos en tecnología.

Sin embargo, el método de periodo de recuperación, al centrar su atención tan sólo en los primeros años de la inversión, fracasa en encontrar la solución óptima y más favorable, económicamente hablando, al problema de presupuesto de capital. El analista, por tanto, se verá obligado a considerar los métodos teóricamente más correctos<sup>36</sup>.

<sup>36</sup> Block Stanley. Fundamentos de Administración Financiera. 1ª edición, CECSA. 1998. pp. 326-327.

## 2. Método de Tasa Interna de Rendimiento.

Con este método se pretende determinar el rendimiento de una inversión, o sea, calcular la tasa de interés que sirva para igualar el monto de la inversión (costo) con los flujos de entrada de efectivo que se hayan de recibir posteriormente. El caso más sencillo es el de una inversión por \$100 que genera flujos de efectivo por \$120 después de un año, lo cual implica que se obtiene un 20% de tasa interna de rendimiento. Para casos más complicados, se utiliza el valor presente de un capital y el valor presente de una anualidad y las técnicas del valor del dinero en el tiempo. Por ejemplo, una inversión de \$1000 que produce una anualidad de \$244 por año por cinco años habrá de significar una tasa interna de rendimiento del 7%, conforme se señala a continuación<sup>37</sup>.

1. En primer término se divide la inversión (el valor presente) por la anualidad.

$$(\text{inversión}) / (\text{anualidad}) = \$1000/\$244 = 4.1 \text{ (Ifpva)}$$

2. A continuación se recurre a consultar una tabla para obtener el valor presente de una anualidad. El factor de 4.1 para cinco años nos indica un rendimiento del 7%.

Siempre que una anualidad se evalúa sin considerar valor de desecho o pago global al finalizar la vida del proyecto, se podrán utilizar factores de anualidades (Ifpva) para encontrar la solución final de la tasa interna de rendimiento. Cuando exista un flujo de entrada de efectivo que no sea uniforme, no se puede decir que la solución sea muy sencilla. Tendremos que utilizar el procedimiento de tanteo. Nuestro primer problema es determinar ¿en dónde debemos empezar? ¿Qué tasa de interés debemos utilizar para nuestra primera prueba? Supongamos que de nuevo se nos solicite que hagamos una evaluación de los dos proyectos o alternativas de inversión que se presentaron anteriormente, sólo que en este caso se habrá de utilizar la tasa interna de rendimiento para evaluar los dos proyectos. Puesto que ninguno de los dos proyectos representa una corriente uniforme o anualidad, necesariamente tendremos que seguir el enfoque de tanteos para que se pueda encontrar una respuesta. Empecemos con la inversión A.

### Flujos de entradas de Efectivo

Año	Inversión A	Inversión B
1	\$5000	\$2000
2	5000	2000
3	2000	2000
4		6000
5		6000

1. Con el fin de poder encontrar un porcentaje inicial con el cual habremos de efectuar nuestra primera prueba, procedemos a promediar las entradas de efectivo como si en efecto se tuviera una anualidad.

$$\begin{array}{r}
 \$5000 \\
 5000 \\
 2000 \\
 \hline
 \$12000/3 = \$4000
 \end{array}$$

<sup>37</sup> Block Stanley. Fundamentos de Administración Financiera. 1ª edición, CECSA. 1998. pp. 327-330.

2. A continuación dividimos la inversión por el valor de la anualidad "supuesta" del paso 1.

$$(\text{Inversión}) / (\text{Anualidad}) = \$10000 / \$4000 = 2.5 \text{ (Ifpva)}$$

3. Luego recurrimos a consultar las tablas de valor presente de una anualidad considerando el factor de 2.5 para poder tener una primera aproximación de la tasa interna de rendimiento.

$$\begin{aligned} n \text{ (período)} &= 3 \\ \text{factor Ifpva} &= 2.5 \end{aligned}$$

El factor queda comprendido entre el 9 y el 10%. Esto representa sólo una aproximación, la primera. Nuestra respuesta final se aproximará más al 10% o inclusive mayor de esta tasa dado que nuestro método de promediar los flujos de efectivo teóricamente trasladó las entradas de efectivo de los primeros dos años al último año. Este promedio subestimó la verdadera tasa de rendimiento. El mismo procedimiento habría de sobrestimar la tasa interna de rendimiento para la inversión B puesto que trasladaría flujos de los últimos dos años a los primeros tres años. Puesto que sabemos que los flujos de efectivo de los primeros años tienen mayor valor e incrementan nuestra tasa de rendimiento, podemos nosotros apreciar si nuestra primera aproximación está sobre estimada o subestimada.

4. Proseguimos a la etapa de tanteo para poder llegar a la respuesta final. Puesto que estos flujos de efectivo no son uniformes, o sea que no constituyen una anualidad, necesitamos consultar una tabla de valor presente de \$1, IFvp. Empezaremos con la tasa del 10% y luego haremos la prueba con el 12%.

Año	10%	Año	12%
1	$\$5000 \times 0.909 = \$5545$	1	$\$5000 \times 0.893 = \$4465$
2	$5000 \times 0.826 = 4130$	2	$5000 \times 0.826 = 3985$
3	$2000 \times 0.751 = 1502$	3	$2000 \times 0.751 = 1424$
	<b>\$10177</b>		<b>\$9874</b>

A una tasa del 10%, el valor presente de las entradas de efectivo supera a \$10000 y, por tanto, debemos utilizar una tasa de descuento más elevada.

A la tasa del 12% el valor presente de las entradas de efectivo es menor a \$10000 y eso implica que la tasa de descuento es muy elevada.

La respuesta deberá estar entre el 10% y 12%, lo cual nos señala que una respuesta aproximada del 11% es la correcta.

En el caso que deseáramos una respuesta más exacta, se podría proceder a interpolar los resultados. Puesto que la tasa interna de rendimiento se obtiene en el momento en que el valor presente de los flujos de entrada de efectivo (VP1) coincide con el valor presente neto de las salidas de efectivo (VP0) necesitamos encontrar aquella tasa de

descuento que iguale el VP1 con el costo de \$10000 (VP0). La diferencia total en dólares entre el 10% y el 12% es de \$303.

\$10177	PV1 @ 10%	\$10177	PV1 @ 10%
9874	PV1 @ 12%	10000	(costo)
\$303		\$ 177	

Nuestra solución habrá de encontrarse \$177 alejado del valor que corresponde al 10%. En efecto, nuestra solución se encuentra en  $(\$177/\$303)$  por ciento del camino entre el 10 y el 12%. Puesto que existe una diferencia del 2% entre las dos tasas utilizadas para evaluar los flujos de entrada de efectivo, necesitamos multiplicar la fracción por el 2% y luego añadir nuestra respuesta al 10% con el fin de obtener la solución final que es de:

$$10\% + (\$177/\$303)(2\%) = 11.6\% \text{ de tasa interna de rendimiento}$$

En la inversión B, el mismo proceso habrá de arrojar un resultado del 18.23%. Se observa que el empleo del método de evaluación de la tasa interna de rendimiento podrá llevarnos a escoger la inversión B con preferencia de la inversión A, exactamente lo contrario a la conclusión obtenida en el método de periodo de recuperación.

	Inversión A	Inversión B	Selección del mejor proyecto
Método de periodo de recuperación	2 años	3 2/3 años	Inversión A (tiene periodo de recuperación más corto)
Tasa Interna de Rendimiento	11.16%	18.23 %	Inversión B (tiene tasa de rendimiento más alta)

La selección de cualquier proyecto bajo el método de tasa interna de rendimiento habrá de depender que la tasa de rendimiento llegue a superar algún estándar mínimo de costo, como podría ser el costo de capital de la empresa.

### 3 Método de Valor Presente Neto.

El método final de selección de inversiones consiste en determinar el valor presente neto de una inversión. Esto se logrará descontando los flujos de efectivo que hayan de generar el proyecto a través de toda su vida para saber si son iguales o superan a la inversión requerida. La tasa de descuento que generalmente se utiliza lo habrá de constituir el costo de capital de la empresa. Derivado de esto, los flujos de efectivo que se hayan de recibir en los últimos años deberán proporcionar un rendimiento que al menos iguale el costo para financiar estos beneficios. Si nuevamente evaluamos las Inversiones A y B utilizando un costo de capital o tasa de descuento del 10% se pueden obtener las cifras siguientes respecto al valor presente neto<sup>38</sup>.

Inversión de \$10000 – tasa de descuento del 10%

<sup>38</sup> Block Stanley. Fundamentos de Administración Financiera. 1ª edición, CECSA. 1998. pp. 330-331.

Año	Inversión A	Año	Inversión B
1	$5000 \times 0.909 = \$4545$	1	$2000 \times 0.909 = \$1818$
2	$5000 \times 0.826 = 4130$	2	$2000 \times 0.826 = 1652$
3	$2000 \times 0.751 = 1502$	3	$2000 \times 0.751 = 1502$
	\$10177	4	$6000 \times 0.683 = 4098$
		5	$6000 \times 0.621 = 3726$
			\$12796
Valor presente de las entradas de efectivo	\$10177	Valor presente de las entradas de efectivo	\$12796
Valor presente de Erogaciones	\$10000	Valor presente de Erogaciones	\$10000
Valor presente neto	\$177	Valor presente neto	\$2796

Aun cuando ambos proyectos parecen ser aceptables, la inversión B tiene un valor presente neto más elevado que la inversión A. En la mayor parte de los casos los métodos de tasa interna de rendimiento y de valor presente neto habrán de conducir a soluciones teóricamente correctas, y es por esta razón que todos los demás comentarios habrán de girar en torno de estos dos enfoques. Un resumen de las diversas conclusiones a las que llegamos conforme los tres métodos se presentan a continuación.

	Inversión A	Inversión B	Selección del mejor proyecto
Método de periodo de recuperación	2 años	3 2/3 años	Inversión A (tiene periodo de recuperación más corto)
Tasa Interna de Rendimiento	11.16%	18.23 %	Inversión B (tiene tasa de rendimiento más alta)
Valor presente neto	\$177	\$2796	Inversión B (tiene el valor presente neto más elevado)

- Análisis de sensibilidad

Una característica clave de las técnicas de evaluación de proyectos es la habilidad de utilizar o desarrollar un análisis de sensibilidad sobre una solución esperada. Es decir, se puede probar que tan sensible es una solución dada cuando se presenta un cambio en algún parámetro, por ejemplo que datos se obtendrán del periodo de recuperación, de tasa interna de rendimiento y valor presente neto si se aumenta o disminuye el costo de la inversión total, si aumentan los costos de operación y mantenimiento, si disminuyen o aumentan los beneficios del proyecto, si la inflación es superior a la proyectada, etc<sup>39</sup>.

<sup>39</sup> William Stevenson. Production/Operations Management. Irwin. 2<sup>nd</sup> Edition. USA. Pp. 41-42.

#### IV.1.1 Propósito de evaluar los proyectos

"Probablemente la razón principal por la que las técnicas de evaluación empiezan a recobrar auge mundial en años recientes es que los líderes de los diferentes países (o de los diferentes niveles de gobierno de un país) se enfrentan diariamente a la decisión de cómo asignar los escasos recursos disponibles, en un ambiente en el que las necesidades de la población son no sólo innumerables sino crecientes o, peor aún, como ocurre en muchos de nuestros países, que dichas necesidades han rebasado con mucho la capacidad del Estado para satisfacerlas.

En este ambiente, el uso y aplicación de las técnicas de evaluación de proyectos puede aportar elementos sustanciales para que la sociedad tenga un mecanismo de información que le permita canalizar sus escasos recursos hacia sus mejores proyectos. Esto necesariamente conduce, a lo largo del tiempo, a que si las decisiones se adoptan sobre esa base, se estará maximizando el potencial de los recursos sociales, de modo que el crecimiento de nuestra economía tenga un sustento sólido y estable.

Si, por el contrario, no sólo no optimizamos el uso de los recursos disponibles, sino que además requerimos más dinero para proyectos de dudosa rentabilidad social (o que pudieron ser evitados o retrasados con un análisis riguroso), simplemente no habrá límite para la cantidad de ahorro o de crédito que necesitamos para construir las obras que el país requiere en los próximos años. Lo que hay que subrayar es que la prioridad radica en mejorar la calidad de nuestras inversiones y no sólo en aumentar su monto.

El mensaje básico de la evaluación de proyectos es en realidad muy simple: a la sociedad le conviene contar con un mecanismo informativo que le permita conocer, dentro de un cierto grado de error, si el monto de los beneficios que se espera derivar de la ejecución de un proyecto supera los costos que el mismo proyecto implica. Esta simple receta es aplicada normalmente cuando nos referimos a las decisiones que afectan al patrimonio de una familia o de una empresa.

Sin embargo, la planeación y el manejo de los recursos sociales son mucho más complicados, lo cual requiere incluso niveles de capacitación superiores a los del sector privado. Además, hay que reconocer que a la sociedad le conviene tener memoria en materia de proyectos públicos, es decir, que los estudios de factibilidad de los proyectos permanezcan (e incluso eventualmente sean de acceso público), a fin de evitar que la responsabilidad se diluya en el tiempo una vez que las autoridades que los aprobaron."

Es recomendable que los evaluadores de proyectos realicen una labor exhaustiva de identificación de costos y beneficios y que, en algún apartado del estudio, se precisen de manera especial aquellos que no pudieron cuantificarse ni valorarse. También, a pesar de que hay aspectos de muy difícil medición, la realidad es que las técnicas avanzan tan rápido que en la actualidad existen más de 20 metodologías de evaluación para sectores específicos: agua, plantas de tratamiento de aguas residuales, carreteras, puertos, aeropuertos, pavimentación de calles, entre otros."

#### IV.2 Evaluación técnica.

Una vez que empleamos el agua, es necesario que nos deshagamos de ella, y en casi todas las poblaciones, la única forma de lograr tal propósito, es a través de un sistema de tuberías que conducen las aguas residenciales, industriales y de servicios hacia un sistema general de drenaje, el cual cumple la función de retirar las aguas negras de

nuestras localidades. Si bien esta óptica de la realidad parece adecuada, en realidad sólo trasladamos el problema a otro sitio, sin pensar que en nuestro planeta no hay ningún lugar lejano para depositar nuestros contaminantes.

Aunque la conducta anterior parece apropiada, la realidad nos demuestra lo contrario, pues como nos revela el IX Censo General de Población y Vivienda de 1990 un porcentaje de los hogares mexicanos carecen por completo de sus propias tuberías y sus habitantes descargan sus desechos directamente en el suelo o en el agua. Pero lo verdaderamente grave es que la inmensa mayoría de los hogares mexicanos se deshacen de sus aguas contaminadas por las tuberías, las cuales necesariamente deben conectarse con un arrollo, río o drenaje que vierten todas estas aguas contaminadas a ríos, lagos y mares. Si bien la operación es sencilla, el precio es muy alto para nuestra salud.

#### IV.2.1 Antecedentes.

Se ha tomado como base para el desarrollo de la evaluación de este proyecto, una planta de tratamiento existente de una compañía de la industria alimenticia, la cuál está diseñada para una capacidad de 30 m<sup>3</sup>/hr (8.33 l/s), con una eficiencia de recuperación de agua tratada del 80%. Actualmente el agua que se recupera de esa planta de tratamiento se descarga directamente al drenaje, por lo que el presente proyecto plantea el darle un uso adecuado a esta agua al reusarla en baños y riego de áreas verdes.

La cantidad de usuarios de agua tratada es como sigue:

1. Baño de hombres del área de producción de la planta.
2. Baño de mujeres del área de producción de la planta.
3. Baño de hombres del área de mantenimiento de la planta.
4. Baño de mujeres del área de mantenimiento de la planta.
5. Baño de hombres del primer piso de las oficinas generales de la planta.
6. Baño de mujeres del primer piso de las oficinas generales de la planta.
7. Baño de hombres del segundo piso de las oficinas generales de la planta.
8. Baño de mujeres del segundo piso de las oficinas generales de la planta.
9. Baño de hombres del tercer piso de las oficinas generales de la planta.
10. Baño de mujeres del tercer piso de las oficinas generales de la planta.
11. Toma para riego de áreas verdes.

Es importante mencionar que el agua tratada ya ha sido clorada previamente en la planta de tratamiento de aguas existente en cualquier planta de la industria alimentaria. Sin embargo, por seguridad este proyecto incluye la instalación de un filtro de carbón activado para eliminar la materia orgánica remanente que pudiera estar presente en el agua y también se incluyen dos lámpara de luz ultravioleta para eliminar bacterias y virus que pudieran estar presentes en el agua, de cualquier forma, el agua sólo será alimentada a mingitorios, w.c. de baños y riego de áreas verdes, lo cual hace este proyecto muy atractivo en caso de que sea justificable. Por seguridad no se considera el suministro de agua para uso de regaderas y lavabos de baños.

Se considera que el efluente de la planta de tratamiento (no incluida en este proyecto) cumple con los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, de acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas para la protección ambiental específicamente la Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996 y NOM-001-ECOL-1996 .

#### IV.2.1.A *Estrategias Clave*

Reutilizar el agua tratada de dos formas:

- A) Agua tratada con o sin cloro de un carcamo de agua bruta para riego de áreas verdes.
- B) Agua tratada filtrada y con cloro para baños.

#### IV.2.1.B *Resultados del Proyecto*

- A) Recuperar costos del pago de abastecimiento de agua municipal, al ahorrarnos 1200 m3/mes que se consumen en baños.
- B) Darle uso al agua tratada en sanitarios (WC) y mingitorios de baños de oficinas y planta. Así mismo, se pretende utilizar el agua tratada para riego de áreas verdes.

#### IV.2.2 Normas aplicables al proyecto

##### IV.2.2.A *Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997*

De las Normas Oficiales Mexicanas para la Protección Ambiental la Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997 establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. (Publicada en el D.O.F. de fecha 21 de septiembre de 1998)<sup>40</sup>.

- **Objetivo y campo de aplicación**

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.

- **Referencias**

(1) Norma Mexicana NMX-AA-003 Aguas residuales-Muestreo, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de marzo de 1980.

(2) Norma Mexicana NMX-AA-005 Aguas-Determinación de grasas y aceites-Método de extracción solhlet, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de agosto de 1980.

(3) Norma Mexicana NMX-AA-006 Aguas-Determinación de materia flotante-Método visual con malla específica, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de diciembre de 1973.

<sup>40</sup> Sistema Nacional de Información Ambiental. Instituto Nacional de Ecología. Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997.

(4) Norma Mexicana NMX-AA-028 Aguas-Determinación de demanda bioquímica de oxígeno.- Método de incubación por diluciones, publicada en Diario Oficial de la Federación el 6 de julio de 1981.

(5) Norma Mexicana NMX-AA-034 Aguas-Determinación de sólidos en agua.- Método gravimétrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de julio de 1981.

(6) Norma Mexicana NMX-AA-42 Aguas -Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales. - Método de tubos múltiples de fermentación, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de junio de 1987.

(7) Norma Mexicana NMX-AA-102-1987 Calidad del Agua- Detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva.-Método de filtración en membrana, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de agosto de 1987.

(8) Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1997 y su aclaración, publicada en el citado Órgano Informativo el 30 de abril de 1997.

- 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 aquéllas 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<sub>5</sub> 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 IV.1 de esta Norma Oficial Mexicana.

TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes Fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y Aceites mg/l	DBO <sub>5</sub> 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

Tabla IV.1 Límites máximos permisibles de contaminantes.

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 previamente referida.

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 IV.3 de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, previamente referida.

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.

- Muestreo

Los responsables del tratamiento y reuso de las aguas residuales tratadas, tienen la obligación de realizar los muestreos como se establece en la Norma Mexicana NMX-AA-003, referida previamente. La periodicidad y número de muestras será:

Para los coliformes fecales, materia flotante; demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales y grasa y aceites, al menos 4 (cuatro) muestras simples tomadas en días representativos mensualmente.

Para los huevos de helminto, al menos 2 (dos) muestras compuestas tomadas en días representativos mensualmente.

Para los metales pesados y cianuros, al menos 2 (dos) muestras simples tomadas en días representativos anualmente.

- Observancia de esta norma

La vigilancia del cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, a través de la Comisión Nacional del Agua, y a la Secretaría de Salud, en el ámbito de sus respectivas atribuciones, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley General de Salud y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación. 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.

#### *IV.2.2.B Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996*

De las Normas Oficiales Mexicanas para la Protección Ambiental la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. (Publicada en el D.O.F. de fecha 6 de enero de 1997, aclaración; 30 de abril de 1997)<sup>41</sup>.

- Objetivo y campo de aplicación

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes separados de aguas pluviales.

- Referencias

(1) Norma Mexicana NMX-AA-003 Aguas residuales-Muestreo, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de marzo de 1980.

<sup>41</sup> Sistema Nacional de Información Ambiental. Instituto Nacional de Ecología. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.

- (2) Norma Mexicana NMX-AA-004 Aguas - Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales - Método del cono Imhoff, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de septiembre de 1977.
- (3) Norma Mexicana NMX-AA-005 Aguas-Determinación de grasas y aceites-Método de extracción solhlet, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de agosto de 1980.
- (4) Norma Mexicana NMX-AA-006 Aguas-Determinación de materia flotante-Método visual con malla específica, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de diciembre de 1973.
- (5) Norma Mexicana NMX-AA-007 Aguas- Determinación de la temperatura - Método visual con termómetro, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de julio de 1980.
- (6) Norma Mexicana NMX-AA-008 Aguas - Determinación de pH -Método potenciométrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de marzo de 1980.
- (7) Norma Mexicana NMX-AA-026 Aguas - Determinación de nitrógeno total - Método Kjeldahl, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de octubre de 1980.
- (8) Norma Mexicana NMX-AA-028 Aguas-Determinación de demanda bioquímica de oxígeno.- Método de incubación por diluciones, publicada en Diario Oficial de la Federación el 6 de julio de 1981.
- (9) Norma Mexicana NMX-AA-029 Aguas - Determinación de fósforo total - Métodos espectrofotométricos, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de octubre de 1981.
- (10) Norma Mexicana NMX-AA-034 Aguas-Determinación de sólidos en agua.- Método gravimétrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de julio de 1981.
- (11) Norma Mexicana NMX-AA-42 Aguas -Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales. - Método de tubos múltiples de fermentación, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de junio de 1987.
- (12) Norma Mexicana NMX-AA-046 Aguas - Determinación de arsénico en agua-Método espectrofotométrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de abril de 1982.
- (13) Norma Mexicana NMX-AA-051 Aguas - Determinación de metales - Método espectrofotométrico de absorción atómica, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de febrero de 1982.
- (14) Norma Mexicana NMX-AA-057 Aguas - Determinación de plomo - Método de la ditizona, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 29 de septiembre de 1981.
- (15) Norma Mexicana NMX-AA-058 Aguas - Determinación de cianuros - Método colorimétrico y titulométrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de diciembre de 1982.
- (16) Norma Mexicana NMX-AA-060 Aguas - Determinación de cadmio - Método de la ditizona, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26 de abril de 1982.

(17) Norma Mexicana NMX-AA-064 Aguas - Determinación de mercurio - Método de la ditizona, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de marzo de 1982.

(18) Norma Mexicana NMX-AA-066 Aguas - Determinación de cobre - Método de la neocuproina, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 16 de noviembre de 1981.

(19) Norma Mexicana NMX-AA-078 Aguas - Determinación de zinc - Métodos colorimétricos de la ditizona I, la ditizona II y espectrofotometría de absorción atómica, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 12 de julio de 1982.

(20) Norma Mexicana NMX-AA-079 Aguas Residuales- Determinación de nitrógeno de nitratos (Brucina), publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de abril de 1986.

(21) Norma Mexicana NMX-AA-099 - Determinación de nitrógeno de nitritos- Agua potable, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 11 de febrero de 1987.

- Definiciones

#### Aguas costeras

Son las aguas de los mares territoriales en la extensión y términos que fija el derecho internacional; así como las aguas marinas interiores, las lagunas y esteros que se comuniquen permanente o intermitentemente con el mar.

#### 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.

#### Aguas pluviales

Aquellas que provienen de lluvias, se incluyen las que provienen de nieve y granizo.

#### Bienes nacionales

Son los bienes cuya administración está a cargo de la Comisión Nacional del Agua en términos del artículo 113 de la Ley de Aguas Nacionales.

#### Carga contaminante

Cantidad de un contaminante expresada en unidades de masa por unidad de tiempo, aportada en una descarga de aguas residuales.

#### Condiciones particulares de descarga

El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus niveles máximos permitidos en las descargas de agua residual, determinados por la Comisión Nacional del Agua para el responsable o grupo de responsables de la descarga o para un cuerpo receptor específico, con el fin de preservar y controlar la calidad de las aguas conforme a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

### 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 puedan contaminar el suelo o los acuíferos.

### Descarga

Acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando éste es un bien del dominio público de la Nación.

### Embalse artificial

Vaso de formación artificial que se origina por la construcción de un bordo o cortina y que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.

### Embalse natural

Vaso de formación natural que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.

### Estuario

Es el tramo del curso de agua bajo la influencia de las mareas que se extiende desde la línea de costa hasta el punto donde la concentración de cloruros en el agua es de 250 mg/l.

### Humedales naturales

Las zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénegas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas donde el suelo es predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos originadas por la descarga natural de acuíferos.

### Metales pesados y cianuros

Son aquellos que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuros.

### Muestra compuesta

La que resulta de mezclar el número de muestras simples, según lo indicado en la Tabla IV.2. Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma.

Tabla IV.2 Frecuencia de muestreo.

FRECUENCIA DE MUESTREO			
HORAS POR DÍA QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE LA DESCARGA	NÚMERO DE MUESTRAS SIMPLES	INTERVALO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS)	
		MÍNIMO N.E.	MÁXIMO N.E.
Menor que 4	mínimo 2	-	-
De 4 a 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 y hasta 18	6	2	3
Mayor que 18 y hasta 24	6	3	4

N.E. = No especificado.

### Muestra simple

La que se tome en el punto de descarga, de manera continua, en día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente el o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos, un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento del muestreo.

### Parámetro

Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad física, química y biológica del agua.

### Promedio diario (P.D.)

Es el valor que resulta del análisis de una muestra compuesta. En el caso del parámetro grasas y aceites, es el promedio ponderado en función del caudal, y la media geométrica para los coliformes fecales, de los valores que resulten del análisis de cada una de las muestras simples tomadas para formar la muestra compuesta. Las unidades de pH no deberán estar fuera del rango permisible, en ninguna de las muestras simples.

### Riego no restringido

La utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas en forma ilimitada como forrajes, granos, frutas, legumbres y verduras.

### Riego restringido

La utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas, excepto legumbres y verduras que se consumen crudas.

## Río

Corriente de agua natural, perenne o intermitente, que desemboca a otras corrientes, o a un embalse natural o artificial, o al mar.

## Suelo

Cuerpo receptor de descargas de aguas residuales que se utiliza para actividades agrícolas.

### Tratamiento convencional

Son los procesos de tratamiento mediante los cuales se remueven o estabilizan los contaminantes básicos presentes en las aguas residuales.

### Uso en riego agrícola

La utilización del 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 público urbano

La utilización de agua nacional para centros de población o asentamientos humanos, destinada para el uso y consumo humano, previa potabilización.

**Helminto:** término designado a un amplio grupo de organismos que incluye a todos los gusanos parásitos (de humanos, animales y vegetales) y de vida libre, con formas y tamaños variados.

**Platyhelminetos:** gusano dorsoventralmente aplanado, algunos de interés médico son: *Taenia solium*, *Hymenolepis nana* e *H. diminuta*, entre otros.

**Nemathelminetos:** gusanos de cuerpo alargado y forma cilíndrica. Algunas especies enteroparásitas de humanos y animales son: *Ascaris lumbricoides*, *Toxocara canis*, *Enterobius vermicularis* y *Trichuris trichiura*, entre otros.

### Método difásico

Técnica de concentración que utiliza la combinación de dos reactivos no miscibles y donde las partículas (huevos, detritus), se orientan en función de su balance hidrofílico-lipofílico.

### Método de flotación

Técnica de concentración donde las partículas de interés permanecen en la superficie de soluciones cuya densidad es mayor. Por ejemplo la densidad de huevos de helminto se encuentra entre 1.05 a 1.18, mientras que los líquidos de flotación se sitúan entre 1.1 a 1.4.

- Especificaciones

La concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el valor

indicado como límite máximo permisible en las Tablas IV.3 y IV.4 de esta Norma Oficial Mexicana. El rango permisible del potencial hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades.

Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1,000 y 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario, respectivamente.

Para determinar la contaminación por parásitos se tomará como indicador los huevos de helminto. El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego no restringido, y de cinco huevos por litro para riego restringido.

Al responsable de la descarga de aguas residuales que antes de la entrada en vigor de esta Norma Oficial Mexicana se le hayan fijado condiciones particulares de descarga, podrá optar por cumplir los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma, previo aviso a la Comisión Nacional del Agua.

Los responsables de las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales deben cumplir con la presente Norma Oficial Mexicana de acuerdo con lo siguiente:

a) Las descargas municipales tendrán como plazo límite las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla IV.5. El cumplimiento es gradual y progresivo, conforme a los rangos de población. El número de habitantes corresponde al determinado en el XI Censo Nacional de Población y Vivienda, correspondiente a 1990, publicado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

b) Las descargas no municipales tendrán como plazo límite hasta las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla IV.6. El cumplimiento es gradual y progresivo, dependiendo de la mayor carga contaminante, expresada como demanda bioquímica de oxígeno<sub>5</sub> (DBO<sub>5</sub>) o sólidos suspendidos totales (SST), según las cargas del agua residual, manifestadas en la solicitud de permiso de descarga, presentada a la Comisión Nacional del Agua.

Las fechas de cumplimiento establecidas en las Tablas IV.5 y IV.6 de esta Norma Oficial Mexicana podrán ser adelantadas por la Comisión Nacional del Agua para un cuerpo receptor en específico, siempre y cuando exista el estudio correspondiente que valide tal modificación.



Tabla IV.4 Parámetros metales pesados y cianuros.

PARAMETROS (*)	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS																			
	RIOS				EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS				SUELO							
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)		HUMEDALES NATURALES (B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuros	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

(\*) Medidos de manera total.

P.D. = Promedio Diario

P.M. = Promedio Mensual

N/A. = No es aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

Tabla IV.5

DESCARGAS MUNICIPALES	
FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	RANGO DE POBLACIÓN
1 de enero de 2000	mayor de 50,000 habitantes
1 de enero de 2005	de 20,001 a 50,000 habitantes
1 de enero de 2010	de 2,501 a 20,000 habitantes

Tabla IV.6.

DESCARGAS NO MUNICIPALES		
	CARGA CONTAMINANTE	
FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO <sub>5</sub> t/d (toneladas/día)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)
1 de enero de 2000	mayor de 3.0	mayor de 3.0
1 de enero de 2005	de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0
1 de enero de 2010	menor de 1.2	menor de 1.2

Los responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales, cuya concentración de contaminantes en cualquiera de los parámetros básicos, metales pesados y cianuros, que rebasen los límites máximos permisibles señalados en las Tablas IV.3 y IV.4 de esta Norma Oficial Mexicana, multiplicados por cinco, para cuerpos receptores tipo B (ríos, uso público urbano), quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad del agua de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, en un plazo no mayor de 180 días naturales, a partir de la publicación de esta Norma en el Diario Oficial de la Federación.

Los demás responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales, que rebasen los límites máximos permisibles de esta norma, quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, en las fechas establecidas en las Tablas IV.7 y IV.8. Lo anterior, sin perjuicio del pago de derechos a que se refiere la Ley Federal de Derechos y a las multas y sanciones que establecen las leyes y reglamentos en la materia.

Tabla IV.7

DESCARGAS MUNICIPALES	
RANGO DE POBLACIÓN	FECHA LÍMITE PARA PRESENTAR PROGRAMA DE ACCIONES
mayor de 50,000 habitantes	30 de junio de 1997
de 20,001 a 50,000 habitantes	31 de diciembre de 1998
de 2,501 a 20,000 habitantes	31 de diciembre de 1999

Tabla IV.8

CARGA CONTAMINANTE DE LAS DESCARGAS NO MUNICIPALES	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, Y/O SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)	FECHA LÍMITE PARA PRESENTAR PROGRAMA DE ACCIONES
mayor de 3.0	30 de junio de 1997
de 1.2 a 3.0	31 de diciembre de 1998
menor de 1.2	31 de diciembre de 1999

El responsable de la descarga queda obligado a realizar el monitoreo de las descargas de aguas residuales para determinar el promedio diario y mensual. La periodicidad de análisis y reportes se indican en la Tabla IV.9 para descargas de tipo municipal y en la Tabla IV.10 para descargas no municipales. En situaciones que justifiquen un mayor control, como protección de fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, emergencias hidroecológicas o procesos productivos fuera de control, la Comisión Nacional del Agua podrá modificar la periodicidad de análisis y reportes. Los registros del monitoreo deberán mantenerse para su consulta por un periodo de tres años posteriores a su realización.

Tabla IV.9

RANGO DE POBLACIÓN	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de 50,000 habitantes	MENSUAL	TRIMESTRAL
de 20,001 a 50,000 habitantes	TRIMESTRAL	SEMESTRAL
de 2,501 a 20,000 habitantes	SEMESTRAL	ANUAL

Tabla IV.10

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, t/d (toneladas/día)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de 3.0	mayor de 3.0	MENSUAL	TRIMESTRAL
de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0	TRIMESTRAL	SEMESTRAL
menor de 1.2	menor de 1.2	SEMESTRAL	ANUAL

El responsable de la descarga estará exento de realizar el análisis de alguno o varios de los parámetros que se señalan en la presente Norma Oficial Mexicana, cuando demuestre que, por las características del proceso productivo o el uso que le dé al agua, no genera o concentra los contaminantes a exentar, manifestándolo ante la Comisión Nacional del Agua, por escrito y bajo protesta de decir verdad. La autoridad podrá verificar la veracidad de lo manifestado por el usuario. En caso de falsedad el responsable quedará sujeto a lo dispuesto en los ordenamientos legales aplicables.

Cuando se presenten aguas pluviales en los sistemas de drenaje y alcantarillado combinado, el responsable de la descarga tiene la obligación de operar su planta de tratamiento y cumplir con los límites máximos permisibles de esta Norma Oficial

Mexicana, o en su caso con sus condiciones particulares de descarga, y podrá a través de una obra de desvío derivar el caudal excedente. El responsable de la descarga tiene la obligación de reportar a la Comisión Nacional del Agua el caudal derivado.

El responsable de la descarga de aguas residuales que, como consecuencia de implementar un programa de uso eficiente y/o reciclaje del agua en sus procesos productivos, concentre los contaminantes en su descarga, y en consecuencia rebase los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma, deberá solicitar ante la Comisión Nacional del Agua se analice su caso particular, a fin de que ésta le fije condiciones particulares de descarga.

- Muestreo

La Comisión Nacional del Agua llevará a cabo muestreos y análisis de las descargas de aguas residuales, de manera periódica o aleatoria, con objeto de verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos para los parámetros señalados en la presente Norma Oficial Mexicana.

- Observancia de esta norma

La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, por conducto de la Comisión Nacional del Agua, y a la Secretaría de Marina en el ámbito de sus respectivas atribuciones, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

#### IV.2.2.C *Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996*

De las Normas Oficiales Mexicanas para la Protección Ambiental la Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. (Publicada en el Diario Oficial de la Federación de fecha 3 de junio de 1998<sup>42</sup>).

- Objetivo y campo de aplicación

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.

- Referencias

<sup>42</sup> Sistema Nacional de Información Ambiental. Instituto Nacional de Ecología. Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996.

- (1) Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1997.
- (2) Norma Mexicana NMX-AA-003 Aguas residuales – Muestreo, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de marzo de 1980.
- (3) Norma Mexicana NMX-AA-004 Aguas - Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales - Método del cono Imhoff, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 15 de septiembre de 1977.
- (4) Norma Mexicana NMX-AA-005 Aguas -Determinación de grasas y aceites - Método de extracción soxhlet, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de agosto de 1980.
- (5) Norma Mexicana NMX-AA-006 Aguas - Determinación de materia flotante - Método visual con malla específica, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de diciembre de 1973.
- (6) Norma Mexicana NMX-AA-007 Aguas- Determinación de la temperatura - Método visual con termómetro, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de julio de 1980.
- (7) Norma Mexicana NMX-AA-008 Aguas – Determinación de pH - Método potenciométrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de octubre de 1980.
- (8) Norma Mexicana NMX-AA-044 Aguas - Análisis de Agua-Determinación de Cromo Hexavalente-Método colorimétrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1982.
- (9) Norma Mexicana NMX-AA-046 Aguas - Determinación de arsénico en agua- publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de abril de 1982.
- (10) Norma Mexicana NMX-AA-051 Aguas - Determinación de metales – Método espectrofotométrico de absorción atómica, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de febrero de 1982.
- (11) Norma Mexicana NMX-AA-057 Aguas - Determinación de plomo - Método colorimétrico de la ditizona, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 29 de septiembre de 1981.
- (12) Norma Mexicana NMX-AA-058 Aguas – Determinación de cianuros - Método colorimétrico y titulométrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de diciembre de 1982.
- (13) Norma Mexicana NMX-AA-060 Aguas – Determinación de cadmio - Método de la ditizona, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26 de abril de 1982.
- (14) Norma Mexicana NMX-AA-064 Aguas – Determinación de mercurio - Método de la ditizona, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de marzo de 1982.
- (15) Norma Mexicana NMX-AA-066 Aguas – Determinación de cobre- Método de la neocuproína, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 10 de marzo de 1982.

(16) Norma Mexicana NMX-AA-076 Aguas – Determinación de níquel, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 4 de mayo de 1982.

(17) Norma Mexicana NMX-AA-078 Aguas – Determinación de zinc, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de diciembre de 1982.

- Definiciones

#### Aguas residuales de proceso

Las resultantes de la producción de un bien o servicio comercializable.

#### Aguas residuales domésticas

Las provenientes del uso particular de las personas y del hogar.

#### Autoridad competente

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.

#### Condiciones particulares para descargas al alcantarillado urbano o municipal

El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus límites máximos permisibles en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, establecidos por la autoridad competente, previo estudio técnico correspondiente, con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas.

#### 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.

#### Instantáneo

Es el valor que resulta del análisis de laboratorio a una muestra de agua residual tomada de manera aleatoria o al azar en la descarga.

#### Punto de descarga

Es el sitio seleccionado para la toma de muestras, en el que se garantiza que fluye la totalidad de las aguas residuales de la descarga.

#### Sistema de alcantarillado urbano o municipal

Es el conjunto de obras y acciones que permiten la prestación de un servicio público de alcantarillado, incluyendo el saneamiento, entendiendo como tal la conducción, tratamiento, alejamiento y descarga de las aguas residuales.

- Especificaciones

Los límites máximos permisibles para contaminantes de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, no deben ser superiores a los indicados en la Tabla IV.11. Para las grasas y aceites es el promedio ponderado en función del caudal, resultante de los análisis practicados a cada una de las muestras simples.

Tabla IV.11

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES			
PARAMETROS(miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra).	Promedio mensual	Promedio diario	Instantáneo
Grasas y Aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables (milímetros por litros)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

Los límites máximos permisibles establecidos en la columna instantáneo, son únicamente valores de referencia, en el caso de que el valor de cualquier análisis exceda el instantáneo, el responsable de la descarga queda obligado a presentar a la autoridad competente en el tiempo y forma que establezcan los ordenamientos legales locales, los promedios diario y mensual, así como los resultados de laboratorio de los análisis que los respaldan.

El rango permisible de pH (potencial hidrógeno) en las descargas de aguas residuales es de 10 (diez) y 5.5 (cinco punto cinco) unidades, determinado para cada una de las

muestras simples. Las unidades de pH no deberán estar fuera del intervalo permisible, en ninguna de las muestras simples.

El límite máximo permisible de la temperatura es de 40 °C. (cuarenta Grados Celsius), medida en forma instantánea a cada una de las muestras simples. Se permitirá descargar con temperaturas mayores, siempre y cuando se demuestre a la autoridad competente por medio de un estudio sustentado, que no daña al sistema del mismo.

La materia flotante debe estar ausente en las descargas de aguas residuales, de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006, referida previamente.

Los límites máximos permisibles para los parámetros demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales, que debe cumplir el responsable de la descarga a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, son los establecidos en la Tabla IV.3 de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 referida previamente, o a las condiciones particulares de descarga que corresponde cumplir a la descarga municipal.

El responsable de la descarga de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal que no dé cumplimiento a lo establecido en el punto anterior, podrá optar por remover la demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales, mediante el tratamiento conjunto de las aguas residuales en la planta municipal, para lo cual deberá de:

- a) Presentar a la autoridad competente un estudio de viabilidad que asegure que no se generará un perjuicio al sistema de alcantarillado urbano o municipal.
- b) Sufragar los costos de inversión, cuando así se requiera, así como los de operación y mantenimiento que le correspondan de acuerdo con su caudal y carga contaminante de conformidad con los ordenamientos jurídicos locales aplicables.

No se deben descargar o depositar en los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, materiales o residuos considerados peligrosos, conforme a la regulación vigente en la materia.

La autoridad competente podrá fijar condiciones particulares de descarga a los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado, de manera individual o colectiva, que establezcan lo siguiente:

- c) Nuevos límites máximos permisibles de descarga de contaminantes.
- d) Límites máximos permisibles para parámetros adicionales no contemplados en esta Norma.

Dicha acción deberá estar justificada por medio de un estudio técnicamente sustentado presentado por la autoridad competente o por los responsables de la descarga.

Los valores de los parámetros en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal a que se refiere esta norma, se obtendrán de análisis de muestras compuestas, que resulten de la mezcla de las muestras simples, tomadas éstas en volúmenes proporcionales al caudal medido en el sitio y en el momento del muestreo, de acuerdo con la Tabla IV.12.

Tabla IV.12

## FRECUENCIA DE MUESTREO

HORAS POR DIA QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE LA DESCARGA	NUMERO DE MUESTRAS SIMPLES	INTERVALO MAXIMO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS)	
		MÍNIMO	MAXIMO
Menor que 4 De 4 a 8 Mayor que 8 y hasta 12 Mayor que 12 y hasta 18 Mayor que 18 y hasta 24	Mínimo 24466	-1223	-2334

Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples debe ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$VMS_i = VMC \times \frac{Q_i}{Q_t}$$

Donde:

VMS<sub>i</sub> = volumen de cada una de las muestras simples "i", litros.

VMC = volumen de la muestra compuesta necesario para realizar la totalidad de los análisis de laboratorio requeridos, litros.

Q<sub>i</sub> = caudal medido en la descarga en el momento de tomar la muestra simple, litros por segundo.

Q<sub>t</sub> = Σ Q<sub>i</sub> hasta Q<sub>n</sub>, litros por segundo

En el caso de que en el período de operación del proceso o realización de la actividad generadora de la descarga, ésta no se presente en forma continua, el responsable de dicha descarga deberá presentar a consideración de la autoridad competente la información en la que se describa su régimen de operación y el programa de muestreo para la medición de los contaminantes.

Los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal deben cumplir los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma, en las fechas establecidas en la Tabla IV.13. De esta manera, el cumplimiento es gradual y progresivo, conforme al rango de población, tomando como referencia el XI Censo General de Población y Vivienda, 1990.

Tabla IV.13

FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	RANGO DE POBLACION
1° de enero de 1999	mayor de 50,000 habitantes
1° de enero de 2004	de 20,001 a 50,000 habitantes
1° de enero de 2009	de 2,501 a 20,000 habitantes

Las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla IV.13 de esta Norma, para el o los responsables de descargas individuales o colectivas, pueden ser modificadas por la autoridad competente, cuando:

- a) El sistema de alcantarillado urbano o municipal cuente con una o varias plantas de tratamiento en operación y la o las descargas causen efectos nocivos a la misma, el responsable de la descarga queda obligado a presentar a la autoridad competente, en un plazo no mayor de 180 (ciento ochenta) días a partir de la fecha de publicación de esta Norma, un programa de acciones en el cual se establezca en tiempo y forma el cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana
- b) La autoridad competente, previo a la publicación de esta norma, haya suscrito formalmente compromisos financieros y contractuales para construir y operar la o las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales
- c) La Comisión Nacional del Agua oficialmente establezca emergencias hidroecológicas o prioridades en materia de saneamiento, y en consecuencia se modifique la fecha de cumplimiento establecida en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, referida previamente, para su descarga correspondiente.
- d) Exista previo a la publicación de esta norma, reglamentación local que establezca fechas de cumplimiento para los responsables de las descargas a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Cuando la autoridad competente determine modificar las fechas de cumplimiento, deberá notificarlo a los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, conforme a los procedimientos legales locales correspondientes.

Los responsables de las descargas tienen la obligación de realizar los análisis técnicos de las descargas de aguas residuales, con la finalidad de determinar el promedio diario o el promedio mensual, analizando los parámetros señalados en la Tabla IV.11 de la presente Norma Oficial Mexicana. Asimismo, deben conservar sus registros de análisis técnicos por lo menos durante tres años posteriores a la toma de muestras.

El responsable de la descarga podrá quedar exento de realizar el análisis de alguno o varios de los parámetros que se señalan en esta Norma, cuando demuestre a la autoridad competente que, por las características del proceso productivo, actividades que desarrolla o el uso que le dé al agua, no genera o concentra los contaminantes a exentar, manifestándolo ante la autoridad competente, por escrito y bajo protesta de decir verdad. La autoridad competente podrá verificar la veracidad de lo manifestado por el responsable. En caso de falsedad, el responsable quedará sujeto a lo dispuesto en los ordenamientos legales locales aplicables.

El responsable de la descarga, en los términos que lo establezca la legislación local, queda obligado a informar a la autoridad competente, de cualquier cambio en sus procesos productivos o actividades, cuando con ello modifique la calidad o el volumen del agua residual que le fueron autorizados en el permiso de descarga correspondiente.

El responsable de la descarga de aguas residuales que, como consecuencia de implantar o haber implantado un programa de uso eficiente y/o reciclaje del agua en sus procesos productivos, concentre los contaminantes en su descarga, y en consecuencia rebase los límites máximos permisibles establecidos en la presente

Norma, deberá solicitar ante la autoridad competente se analice su caso particular, a fin de que ésta le fije condiciones particulares de descarga

En el caso de que el agua de abastecimiento registre alguna concentración promedio diario o mensual de los parámetros referidos en la tabla IV.11 de esta Norma, la suma de esta concentración al límite máximo permisible correspondiente, es el valor que el responsable de la descarga está obligado a cumplir, siempre y cuando lo demuestre y notifique por escrito a la autoridad competente.

- Observancia de esta norma

La vigilancia del cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana corresponde a los Gobiernos Estatales, Municipales y del Distrito Federal, en el ámbito de sus respectivas competencias, cuyo personal realizará los trabajos de verificación, inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

La presente Norma Oficial Mexicana entró en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

Las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 3 de esta Norma Oficial Mexicana, no serán aplicables, cuando se trate de instalaciones nuevas o de incrementos en la capacidad o ampliación de las instalaciones existentes en fecha posterior a la entrada en vigor del presente instrumento, el responsable de la descarga deberá cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana, en un período no mayor de 180 (ciento ochenta) días naturales posteriores al inicio de la actividad u operación del proceso generador, debiendo notificar a la autoridad competente dicha fecha.

En tanto se alcanzan las fechas de cumplimiento establecidos en la Tabla 3 y en el caso de que las descargas a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal contengan concentraciones de contaminantes superiores a los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana, el responsable de la descarga no podrá descargar concentraciones de contaminantes mayores a las que descargó durante los últimos tres años, de acuerdo con sus registros y los informes presentados ante la autoridad competente.

#### IV.2.3 Objetivo y suposiciones clave del proyecto.

##### IV.2.3.A *Objetivo del proyecto.*

Se pueden enlistar los siguientes objetivos específicos:

- A) Recuperar costos del pago de abastecimiento de agua municipal y de pozo.
- B) Efectuar la inversión en el suministro e instalación de:
  - Tubería y accesorios en 2" de diámetro que se requieren para transportar el agua desde la planta de tratamiento hasta un tanque existente de almacenamiento de agua tratada de 400000 litros por medio de dos bombas con capacidad de 10.22 m<sup>3</sup>/hr cada una.
  - Tubería de succión para sistema hidroneumático.

- Sistema hidroneumático con capacidad de 1500 litros que servirá para transportar el agua a los sanitarios y de riego de áreas verdes.
- Tubería y accesorios en 2", 1 ½", ¾" y ½" de diámetro que servirá para transportar el agua a los sanitarios de producción, mantenimiento, oficinas y una toma para agua de riego por medio del sistema hidroneumático.
- Filtro de carbón activado
- 2 lámparas de luz ultravioleta
- Tanque de almacenamiento de 20m<sup>3</sup> (20000 litros) en acero al carbón con recubrimiento plástico interior.

#### IV.2.3.B *Suposiciones clave del proyecto.*

- Suposiciones clave.

Evitar la descarga de agua al drenaje teniendo un ahorro en el costo del pago de abastecimiento de agua municipal.

- Riesgos.

Que la calidad del agua no cumpla con las especificaciones o tenga un olor desagradable.

#### IV.2.4 Alcance de trabajo y bases de diseño.

El alcance de trabajo incluirá por lo menos lo siguiente:

- Todos los materiales: Tubería, válvulas, soportes y conexiones que se requieran, desglosando cada partida, se puede utilizar cualquier formato de lista de materiales la cuál deberá indicar sólo cantidades aproximadas, la cuál el contratista deberá confirmar.
- La mano de obra requerida para la instalación completa, tendido de tubería, accesorios y pintura.
- Equipo hidroneumático para 1500 litros, con tablero de control y operación automática, dos bombas y con presión de descarga mayor a 4 kg/cm<sup>2</sup> (60 psig). El sistema deberá ser capaz de manejar un gasto de 300-400 l/min.
- Se asume, que la planta cuenta con dos bombas centrífugas existentes para transferir el agua de retorno desde la planta de tratamiento de aguas hasta el tanque de almacenamiento existente de 20 m<sup>3</sup>. Este tanque es utilizado como tanque de almacenamiento de agua para el sistema contra incendio de la planta (agua proveniente del pozo), y también será utilizado como tanque de almacenamiento de agua de servicios ya que tiene la capacidad suficiente para soportar ambos servicios. De este tanque se conectará el sistema hidroneumático que abastecerá de agua a los baños (mingitorios y W.C) a una presión constante, así mismo este sistema suministrará agua para riego de áreas verdes.

- El efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales (existente) pasará por un filtro de carbón activado y posteriormente por dos lámparas de luz ultravioleta antes de llegar al tanque de almacenamiento de 20 m<sup>3</sup>.
- Se requiere que la oferta contenga: La descripción del equipo y la trayectoria propuesta, así como precios detallados en pesos de:

Equipo hidroneumático y tablero de control

Tuberías y soportes

Válvulas y accesorios

Construcción e instalación completas (Mano de obra e instalación eléctrica)

Programa de ejecución

- Se deberán especificar claramente las garantías de funcionamiento que correspondan al equipo y a la instalación, así como el cumplimiento con normas técnicas.
- Se requiere de aproximadamente 340 m de tubería de 2", 170 m de 1 ½", 40 m de 1" y 40 m de ½", la tubería deberá ser negra o pintada exteriormente en color negro. (A-53 o A-120 con extremos roscados y con costura).

#### IV.2.4.A Descripción del proceso

Las aguas residuales del área de producción (baños, procesos) y de los baños de oficinas de una planta x de la industria alimentaria son recolectados en un sistema de red de drenajes existente en la planta y posteriormente enviados a la planta de tratamiento de efluentes (existente) cuya capacidad considerada es de 30m<sup>3</sup>/hr (8.33 l/s), esta planta tiene una eficiencia de recuperación de agua tratada del 80% es decir se obtienen 24 m<sup>3</sup>/h (6.66 l/s) de agua tratada. El agua tratada (efluente) se almacena en una cisterna de agua bruta de 12 m<sup>3</sup> (existente).

A continuación se muestran dos diagramas de flujo de proceso, en la alternativa (a) se muestra un tren de tratamiento de aguas que incluye un tratamiento secundario con lodos activados, mientras que la alternativa (b) muestra de igual forma un tren típico de tratamiento de aguas residuales pero utilizando biofiltros o filtros de goteo. Los dos Sistemas muestran (1) pretratamiento con cribado y triturado, (2) tratamiento secundario con sedimentación o clarificador, (3) tratamiento secundario ya sea con lodos activados o filtro de goteo, (4) desinfección con cloro y (5) tratamiento de lodos provenientes del tratamiento primario y secundario.

Para este proyecto se considera que la planta de tratamiento de aguas residuales existente en la planta de la industria alimentaria cuenta con por lo menos los sistemas que se muestran en la figura IV.1 ya sea con un tratamiento secundario a base de lodos activados o con biofiltros de goteo. El tener este tipo de tren de tratamiento de aguas nos puede garantizar que los efluentes cumplan con las Normas Oficiales Mexicanas para la Protección Ambiental es decir, la Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los Sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

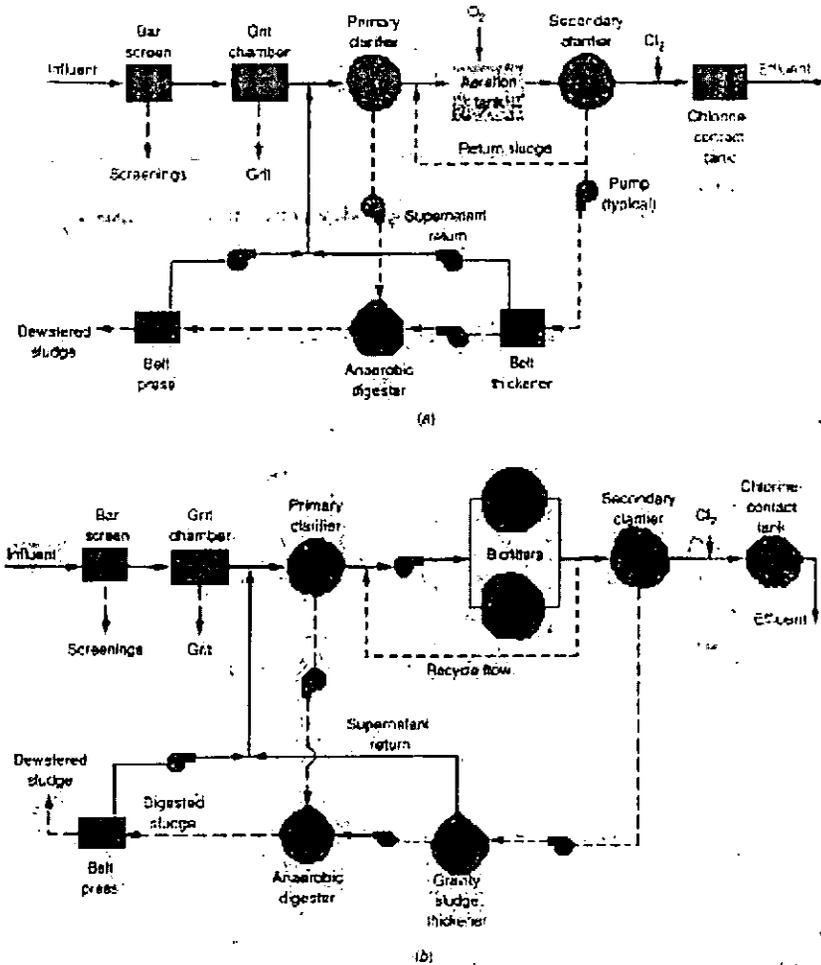


Figura IV.1 Ejemplos de alternativas de diagramas de flujo de proceso: (a) lodo activado, y (b) filtro de goteo.

El agua tratada se almacena en una cisterna de agua tratada de 20 m<sup>3</sup> (existente). Normalmente en las plantas de la industria alimentaria el agua tratada es enviada directamente al drenaje municipal, sin embargo este proyecto propone el enviar únicamente 4.68 m<sup>3</sup>/h (1.3 l/s) de los 24 m<sup>3</sup>/h (6.66 l/s) que se generan como efluente de la planta de tratamiento en cuestión, significa que el 80% del agua que se genera podría ser reutilizado en baños y riego de áreas verdes de una planta de la industria alimentaria.

Las bombas del cárcamo de agua tratada (B-02A/B, existentes) cuya capacidad es de 24 m<sup>3</sup>/h (6.66 l/s) succionan el efluente de la planta de tratamiento enviando un flujo de 4.68 m<sup>3</sup>/h (1.3 l/s) al drenaje municipal, el resto (19.3 m<sup>3</sup>/h, 5.36 l/s) se envía al

tanque de almacenamiento de agua de servicios Tk-01 que tiene una capacidad de 20 m<sup>3</sup> y será incluido en el alcance del proyecto.

Para asegurar el cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas para la Protección Ambiental y específicamente la Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se rehusen en servicios al público, se instalará un sistema de desinfección y remoción de materia orgánica remanente por medio de dos lámparas de luz ultravioleta (UV-01A/B) que matarán bacterias e inclusive virus que contenga el agua y un filtro de carbón activado (T-03) para retener materia orgánica y algunos metales pesados garantizando la potabilización del agua. Estos equipos serán instalados a la descarga de las bombas del cárcamo de agua tratada B-02A/B. El tiempo de residencia del agua en el tanque de almacenamiento será de una hora suponiendo que la planta de tratamiento de aguas opera continuamente.

El agua potable será distribuida a los diferentes baños de la planta y a una toma de agua para riego de áreas verdes, ver isométrico IV.2.5.

La tubería, accesorios y soportería desde las bombas de agua tratada hasta el tanque de agua potable son nuevos. A partir del tanque de agua potable todos los equipos, tubería, accesorios y soportería son nuevos.

#### IV.2.4.B Determinación de la capacidad del sistema hidroneumático.

El sistema hidroneumático (nuevo) alimentará de agua potable a los siguientes usuarios:

- 2 Baños (hombres y mujeres) del edificio de producción.
- 2 Baños (hombres y mujeres) del edificio de mantenimiento.
- 6 Baños (3 hombres y 3 mujeres) del edificio de oficinas.
- 2 tomas de agua para riego de áreas verdes.

La capacidad del sistema hidroneumático se obtuvo, (1) calculando el flujo de agua por baño<sup>43</sup>, (2) calculando el flujo para riego de áreas verdes, y (3) flujo total.

##### (1) Flujo de agua por baños

- Baños del edificio de Producción

Baño de Hombres (Muebles)	Cantidad	Unidades mueble (u.m.) Ver tabla 3.	Unidades mueble Total (u.m.)	Gasto probable De tabla 5 (l/min)
Mingitorios (tanque)	3	5	15	45.6
W.C. con fluxometro	4	6	24	141.6
Total	7			

Baño de Mujeres (muebles)	Cantidad	Unidades mueble (u.m.)	Unidades mueble Total (u.m.)	Gasto probable De tablas (l/min)
Mingitorios (válvula)				
W.C. con fluxometro	10	6	60	208.2
Total	10			

<sup>43</sup> Manual para cálculo de instalaciones hidráulicas y sanitarias. Procedimiento BA9-01-36. ICA Fluor Daniel S. De R.L. de C.V.

Los gastos probables son como si todos los muebles estuvieran trabajando al mismo tiempo pero eso no es cierto, entonces de tablas se obtiene un porcentaje de simultaneidad como sigue:

Baño de hombres (muebles)	Cantidad	% de simultaneidad ver tabla 4	Gasto prob. X %= Gasto instantáneo (l/min)
Mingitorios (tanque)	3	67	30.55
W.C. con fluxometro	4	30	42.48
<b>Total</b>	<b>7</b>		<b>73.03</b>

Baño de Mujeres (muebles)	Cantidad	% de simultaneidad	Unidades mueble Total (u.m.)
Mingitorios (válvula)			
W.C. con fluxometro	10	20	41.64
<b>Total</b>	<b>10</b>		<b>41.64</b>

• Baños del edificio de Mantenimiento

Baño de Hombres (Muebles)	Cantidad	Unidades mueble (u.m.)	Unidades mueble Total (u.m.)	Gasto probable De tablas (l/min)
Mingitorios (tanque)	3	5	15	45.6
W.C. con fluxometro	5	6	30	155.4
<b>Total</b>	<b>8</b>			

Baño de Mujeres (muebles)	Cantidad	Unidades mueble (u.m.)	Unidades mueble Total (u.m.)	Gasto probable De tablas (l/min)
Mingitorios (tanque)				
W.C. con fluxometro	8	6	48	189.6
<b>Total</b>	<b>8</b>			

Los gastos probables son como si todos los muebles estuvieran trabajando al mismo tiempo pero eso no es cierto, entonces de tablas se obtiene un porcentaje de simultaneidad como sigue:

Baño de Hombres (muebles)	Cantidad	% de simultaneidad	Gasto prob. X %= Gasto instantáneo (l/min)
Mingitorios (válvula)	3	67	30.55
W.C. con fluxometro	5	25	38.85
<b>Total</b>	<b>8</b>		<b>69.40</b>

Baño de Mujeres (muebles)	Cantidad	% de simultaneidad	Unidades mueble Total (u.m.)
Mingitorios (válvula)			
W.C. con fluxometro	8	25	47.40
<b>Total</b>	<b>8</b>		<b>47.40</b>

- Baños de oficinas

Baño de Hombres (Muebles)	Cantidad	Unidades mueble (u.m.)	Unidades mueble Total (u.m.)	Gasto probable De tablas (l/min)
Mingitorios	9	5	45	101.4
W.C. con tanque	9	6	54	116.4
<b>Total</b>	<b>18</b>			

Baño de Mujeres (muebles)	Cantidad	Unidades mueble (u.m.)	Unidades mueble Total (u.m.)	Gasto probable De tablas (l/min)
Mingitorios (válvula)				
W.C. con tanque	9	6	54	116.4
<b>Total</b>	<b>11</b>			

Los gastos probables son como si todos los muebles estuvieran trabajando al mismo tiempo pero eso no es cierto, entonces de tablas se obtiene un porcentaje de simultaneidad como sigue:

Baño de hombres (muebles)	Cantidad	% de simultaneidad	Gasto prob. X % = Gasto instantáneo (l/min)
Mingitorios	9	30	30.42
W.C. con fluxometro	9	20	23.28
<b>Total</b>	<b>18</b>		<b>53.70</b>

Baño de Mujeres (muebles)	Cantidad	% de simultaneidad	Unidades mueble Total (u.m.)
Mingitorios (válvula)			
W.C. con fluxometro	11	20	23.28
<b>Total</b>	<b>11</b>		<b>23.28</b>

Entonces el flujo total en baños se obtiene de la suma de todos los flujos individuales como sigue:

	Flujo l/min
Baños del edificio de producción hombres	73.03
Baños del edificio de producción mujeres	41.64
Baños del edificio de mantenimiento hombres	69.40
Baños del edificio de mantenimiento mujeres	47.40
Baños de oficinas hombres	53.70
Baños de oficinas mujeres	23.28

Flujo total por baños **308.45 l/min=5.14l/s**

Existe otra forma muy rápida de estimar el flujo de agua para un sistema hidroneumático y es de acuerdo a la cantidad de agua que normalmente una persona consume durante un día, por lo tanto, si se conoce el número de empleados que laboran en la planta se puede determinar un flujo.

Una persona consume de 10 a 100 gal galones (40-400 litros) por día<sup>44</sup>. De tal forma que para efectos del proyecto se consideran 1250 personas que laboran en la plata de la industria alimentaria X, las cuales consumen 350 litros de agua al día. Cabe mencionar que este se modificará en la parte de análisis de sensibilidad.

Flujo de agua potable en baños = 1250 personas \* 350 litros/día = 437500 litros/día  
 = 303 l/min = 5.1 l/s

(2) Flujo de agua por riego de áreas verdes

Se considera un área de 100 m<sup>2</sup>. Se selecciona el tipo de aspersor de la tabla de aspersores "Rain bird" de circulo completo tipo agrícola<sup>45</sup>.

Tabla IV.13

Modelo	Tipo	Cat. no	Forma de riego	Alcance mts	Presión Kg/cm <sup>2</sup>	Gasto lpm
14-TNT	½ Y		Cir. completo	20 D	3.15	6.5
14 V-TNT	½ Y		Cir. completo	20 D	3.15	6.5
20	½ Y		Cir. completo	24 D	2.8	16.6
30 <sup>o</sup> -73	½ Y		Cir. completo	17 D	2.45	22
30	¾ Y		Cir. completo	30 D	3.15	32.5
40B	¾ Y		Cir. completo	31 D	3.15	38.5
30B	1 Y		Cir. completo	41 D	3.85	74.5
50 B TNT	¼ Y		Cir. completo	53 D	4.95	170
90	2 ½ Y		Cir. completo	78 D	6.62	630
100 B	3 Y		Cir. completo	106 D	6.35	1250
84	3 Y		Cir. completo	95 D	5.62	665
204	3 Y		Cir. completo	130 D	6.35	790

De esa tabla se seleccionó el modelo 14-TNT de ½", circulo completo con un alcance de 20mts y un gasto de 6.50 lpm. Si tenemos 100 m<sup>2</sup> de área significa que se requieren 3, por lo tanto tenemos un gasto total de **19.5 lpm**.

(3) Flujo total de agua potable para determinar la capacidad del sistema hidroneumático.

La capacidad total del sistema hidroneumático es 303 l/min + 19.5 l/min= 322.5 l/min = **5.36 l/s**.

Considerando que este flujo se presenta durante 3 horas al día ( ½ hr Desayuno, 2 hr comida y ½ hr cena) de Lunes a Viernes en los dos turnos de operación de la planta que son de 8 horas cada uno, entonces el flujo diario sería de **1159 m<sup>3</sup>/mes** llevado a **1200m<sup>3</sup>/mes**

<sup>44</sup> Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering. Treatment, Disposal, Reuse. McGraw-Hill International Editions. Third Edition 1991. USA. Pp. 17.

<sup>45</sup> Ing. Sergio Zepeda. Manual de instalaciones hidráulicas. Editorial LIMUSA. México. Pp-260.

**IV.2.4.C Condiciones de entrada y salida del agua (sistema de desinfección con luz ultravioleta y filtros de carbón activado).**

• Condiciones de entrada del agua

El agua que entra al sistema de desinfección (lámparas de luz ultravioleta y filtros de carbón activado) y que proviene de cualquier planta de tratamiento de aguas residuales de la industria alimentaria debe cumplir con los parámetros mostrados en la tabla IV. 14 obtenidos de la mezcla de parámetros de las Normas Oficiales Mexicanas NOM-002-ECOL-1996 y NOM-001-ECOL-1996 que se refieren a los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los Sistemas de alcantarillado urbano o municipal y los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Tabla IV.14 Condiciones de entrada del agua.

<b>LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES</b>			
<b>PARAMETROS(miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra).</b>	<b>Promedio mensual</b>	<b>Promedio diario</b>	<b>Instantáneo</b>
Temperatura °C	40	40	40
Materia flotante	ausente	Ausente	ausente
Grasas y Aceites	15	25	50
Sólidos sedimentables (milímetros por litros)	1	2	5
Sólidos suspendidos totales	75	125	150
Demanda bioquímica de oxígeno	75	150	150
Arsénico total	0.1	0.2	0.5
Cadmio total	0.1	0.2	0.5
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	4	6	10
Cromo hexavalente	0.5	1	1.5
Fósforo	20	30	30
Mercurio total	0.005	0.01	0.015
Níquel total	2	4	6
Nitrógeno total	40	60	60
Plomo total	0.2	0.4	1
Zinc total	6	9	12

- Condiciones de salida del agua

El agua que sale del sistema de desinfección (lámparas de luz ultravioleta y filtros de carbón activado) debe cumplir con los parámetros mostrados en la tabla IV.15 obtenidos de las Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se rehusen en servicios al público.

Es de esperar que con las dos lámparas de luz ultravioleta y el filtro de carbón activado, los parámetros marcados por la norma NOM-003-ECOL-1997 sean cumplidos sin ningún problema de tal forma que se asegure el suministro de agua a baños y riego de áreas verdes con una calidad muy aceptable.

Tabla IV.15 Condiciones de salida del agua.

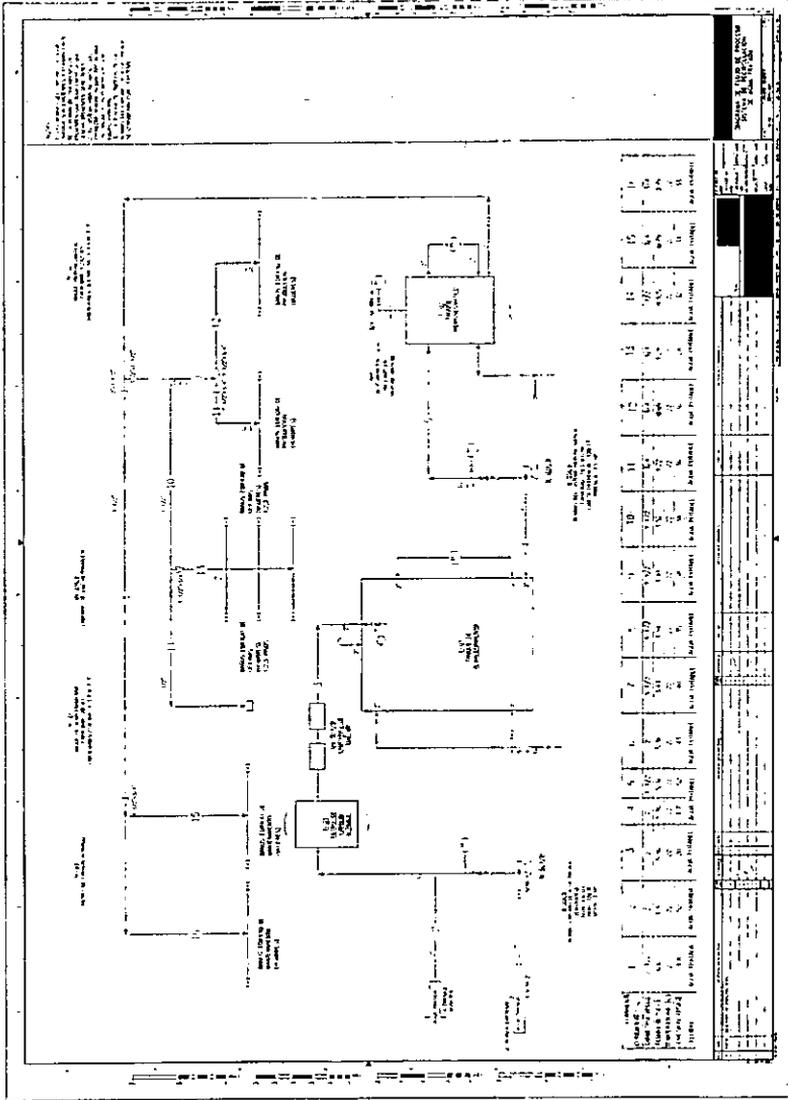
TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes Fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y Aceites mg/l	DBO <sub>5</sub> mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	£ 1	15	20	20
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	£ 5	15	30	30

Como se puede observar en esta tabla, existen dos tipos de reuso del agua (1) reuso del agua para servicios al público con contacto directo y (2) reuso del agua para servicios al público con contacto indirecto u ocasional, sin embargo con el sistema de desinfección que se propone, cualquiera de los servicios pueden ser cumplidos sin mayor problema.

Como ya ha sido mencionado con anterioridad, las lámparas de luz ultravioleta eliminarán bacterias y virus, mientras que el filtro de carbón activado eliminará trazas de materia orgánica, grasas, aceites y sólidos suspendidos totales que todavía pudiera contener el efluente de la planta de tratamiento de aguas existente en cualquier planta de la industria alimentaria.

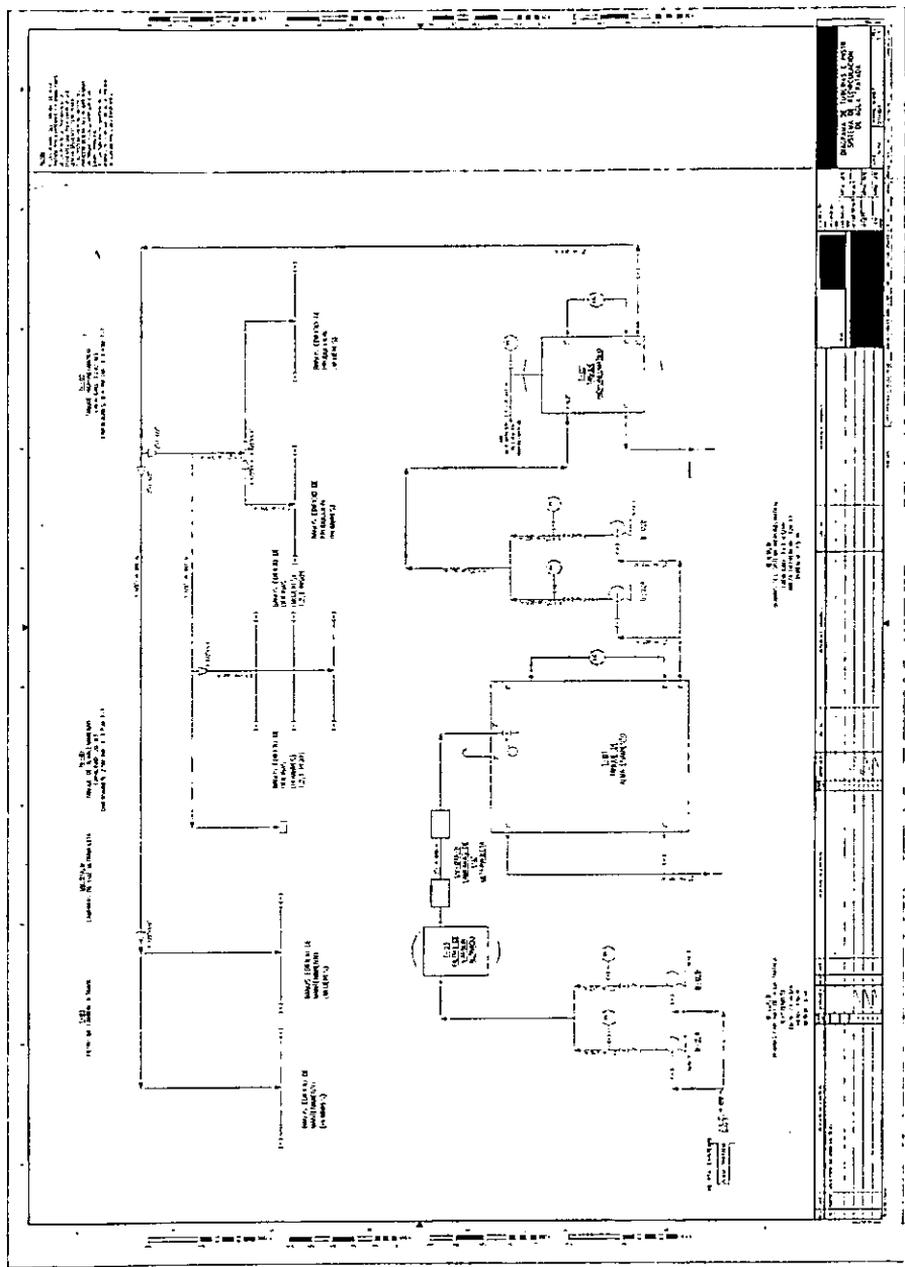


IV.2.6 Diagrama de Flujo de Proceso (alcance del proyecto)

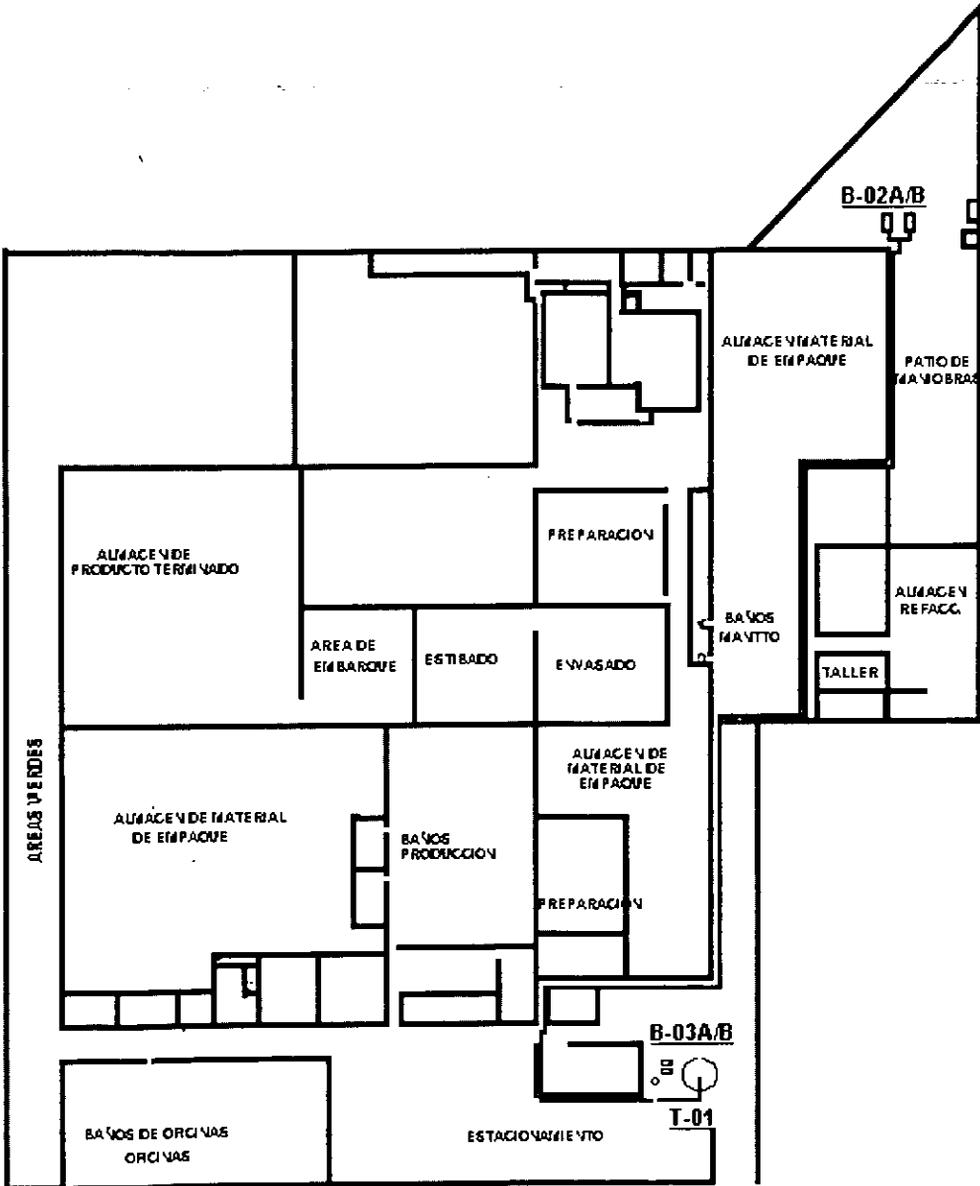




IV.2.8 Diagrama de Tuberías e Instrumentación



## V.2.9 Arreglo de planta y equipo.



IV.2.10 Programa de actividades (Gantt)

Activity ID	Description	Orig Dur	Early Start	Early Finish	2007 JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV
10	Estudio y alternativas	25d	01JUN00	1003JUL00	A
11	Selección del área	5d	01JUN00	07JUN00	
12	Revisión de tecnología existente	5d	08JUN00	14JUN00	
13	Estudios Preliminares	10d	08JUN00	21JUN00	
14	Arreglo (Lay-Out) propuesto	10d	22JUN00	06JUL00	
15	Propuesto Proveedores	25d	01JUN00	06JUL00	
20	Estimaciones	30d	01JUN00	13JUL00	
21	Alcance	20d	22JUN00	20JUL00	
22	Criterios de Diseño	20d	22JUN00	20JUL00	
23	Ingeniería Preliminar	20d	21JUL00	17AUG00	
24	Revisión de propuestas	30d	14JUL00	24AUG00	
26	Estudio Costo Beneficio	25d	18AUG00	21SEP00	
27	Selección de Proveedores	30d	25AUG00	05OCT00	
30	Elaboración del CAAP	30d	18AUG00	28SEP00	
31	Llenado de formato	1d	29SEP00	29SEP00	
40	Ingeniería de Detalle	90d	18AUG00	21DEC00	
41	Bases de Diseño	5d	21JUL00	27JUL00	
42	Elaboración diagrama de flujo	5d	18AUG00	24AUG00	
43	Evaluación de ofertas	5d	25AUG00	31AUG00	
44	Aprobación de presupuesto	2d	29SEP00	02OCT00	
45	Colocación de pedido y/o conizato	2d	06OCT00	09OCT00	
46	Supervisión	60d	06OCT00	29DEC00	
47	Programa de inst. y construcción	5d	21JUL00	27JUL00	
48	Elaboración de Diagramas DTI's	15d	25AUG00	14SEP00	
49	Elaboración de hojas de datos	5d	15SEP00	21SEP00	
50	Construcción e instalación	25d	22DEC00	29JAN01	
51	Embarque	5d	10OCT00	16OCT00	
52	Recepción de equipo	2d	10OCT00	11OCT00	
53	Elaboración diagramas As built	8d	30JAN01	08FEB01	
54	Elaboración filosofía de operación	3d	10OCT00	12OCT00	
55	Elaboración descripción del proceso	2d	13OCT00	16OCT00	
60	Arriague y operación	10d	30JAN01	12FEB01	
61	Pruebas hidrostáticas	15d	02JAN01	22JAN01	
62	Elaboración Manuales de operación	5d	09FEB01	15FEB01	

Estudio y alternativas  
 Selección del área  
 Revisión de tecnología existente  
 Estudios Preliminares  
 Arreglo (Lay-Out) propuesto  
 Propuesto Proveedores  
 Estimaciones  
 Alcance  
 Criterios de Diseño  
 Ingeniería Preliminar  
 Revisión de propuestas  
 Estudio Costo Beneficio  
 Selección de Proveedores  
 Elaboración del CAAP  
 Llenado de formato  
 Ingeniería de Detalle  
 Bases de Diseño  
 Elaboración diagrama de flujo  
 Evaluación de ofertas  
 Aprobación de presupuesto  
 Colocación de pedido y/o contrato  
 Supervisión  
 Programa de inst. y construcción  
 Elaboración de Diagramas DTI's  
 Elaboración de hojas de datos  
 Construcción e instalación  
 Embarque  
 Recepción de equipo  
 Elaboración diagramas As built  
 Elaboración filosofía de operación  
 Elaboración descripción del proceso  
 Arriague y operación  
 Pruebas hidrostáticas  
 Elaboración Manuales de operación

### IV.3 Evaluación socioeconómica

#### IV.3.1 Inversión Total (Costo del proyecto)

La inversión total de este proyecto consta de los siguiente puntos:

##### 1. Equipo

- Sistema Hidroneumático (Incluye Un Tanque, Un compresor y Dos bombas).
- Tanque de almacenamiento de agua potable
- Filtro de carbón activado
- (2) dos lámparas de luz ultravioleta
- Tanque almacenamiento de agua 20m3, A.C. con recubrimiento plástico

##### 2. Construcción

- Material y mano de obra (Instalación) de accesorios y tubería principal.
- Tubería y accesorios no cuantificados (Dentro de baños).
- Obra civil (reparación de baños).
- Instalación Mecánica y Eléctrica del sistema hidroneumático, filtro de carbón activado y lámparas de luz ultravioleta.
- Fabricación e Instalación de techo para cubrir sistema hidroneumático.

##### 3. Contingencias

Es importante mencionar que el monto total de la inversión para este proyecto se obtuvo tomando como referencia dos cotizaciones; Una para el costo del equipo hidroneumático (Proveedor PICSA) y otra para el costo de construcción (Proveedor IPPPSA). Ambas cotizaciones se muestran en la parte de Anexos y Tablas.

#### IV.3.1.A Costo del equipo

##### Sistema hidroneumático

- Costo actual a Junio del 2000<sup>46</sup>.

\$70,629.97

##### Filtro de carbón activado

- Costo actual a Junio del 2000<sup>47</sup>.

\$1,044.00

<sup>46</sup> Cotización "Bombas y sistemas S.A. de C.V.". 5605-93-66, México D.F. 7 Junio 2000.

<sup>47</sup> Cotización "Ingeniería y mantenimiento industrial S.A. de C.V. 5583-91-11 México D.F. Junio 2000.

(2) dos lámparas de Luz ultravioleta

- Costo actual a Junio del 2000<sup>48</sup>.

\$19,134.00

Tanque de almacenamiento de agua de 20m3.

- Costo actual a junio del 2000<sup>49</sup>

\$99,000.00

#### IV.3.1.B Costo construcción

A) Material y mano de obra (Instalación) de accesorios y tubería principal.

Tabla. Costo Tubería y accesorios (Junio 1994)

No.	Descripción	Diam. plg.	Unidad	Can t.	P.U. material	Importe Material	P.U. m. obra	Importe M.O.	P.U. total	Importe Total
1	Tubería A.C. ced 40	2	ML	405	81.63	33061.31	42.02	17018.84	123.65	50080.15
2	Tubería A.C. ced 40	1 1/2	ML	192	60.57	11629.76	32.98	6332.40	93.55	17962.17
3	Tubería A.C. ced 40	3/4	ML	54	30.30	1635.43	16.50	890.49	46.77	2525.93
4	Codo roscado de 150#	2	pza	32	32.98	1055.40	79.12	2531.89	112.10	3587.29
5	Codo roscado de 150#	1 1/2	pza	3	22.50	67.50	63.45	190.35	85.95	257.85
6	Codo roscado de 150#	3/4	pza	5	11.25	56.25	31.74	158.64	42.99	214.89
7	Tee roscada de 150#	2	pza	4	47.54	190.18	135.17	540.69	182.72	730.87
8	Tee roscada de 150#	1 1/2	pza	3	32.64	97.94	102.19	306.57	134.83	404.51
9	Tee roscada de 150#	3/4	pza	8	16.33	130.58	51.09	408.77	67.43	539.35
10	Tuerca unión roscada	2	pza	68	76.07	5173.07	96.43	6557.41	172.51	11730.48
11	Tuerca unión roscada	1 1/2	pza	32	58.53	1872.93	74.16	2373.31	132.69	4246.25
12	Tuerca unión roscada	3/4	pza	7	29.26	204.85	37.09	259.59	66.36	464.45
13	Reducción camp.	2x11/2	pza	2	28.22	56.45	89.83	179.67	118.06	236.12
14	Reducción camp.	11/2x3/4	pza	4	29.39	117.59	67.60	270.41	97.00	388.00
15	Válvula compuerta	2	pza	7	616.53	4315.72	119.50	836.52	736.03	5152.24
16	Válvula compuerta	1 1/2	pza	1	390.38	390.38	106.31	106.31	496.69	496.69
17	Válvula compuerta	3/4	pza	18	195.20	3513.46	53.17	956.79	248.34	4470.25
18	Medidor de Agua	2	pza	1	5314.57	5314.57	123.62	123.62	5438.19	5438.19
19	Pintura (Sum., aplic.)	2, 11/2	ML	597	6.99	4177.84	13.99	8355.68	20.99	12533.52
20	Pintura (Sum., aplic.)	3/4	ML	54	3.48	188.04	13.99	755.79	17.47	943.83
21	Soportería necesaria		pza	114	116.55	13287.40	41.21	4698.87	157.77	17986.28
22	Materiales de consumo		lte	1	12581.6	12581.6		0.00	12581.6	12581.60
23	Conexion en sanitarios		lte	10	205.08	2050.86	1318.7	13187.49	1523.83	15238.35
	Total								22697.5	168209.3

- Costo actual a Junio del 2000<sup>50</sup>.

<sup>48</sup> Cotización "Ingeniería y mantenimiento industrial S.A. de C.V. 5583-91-11 México D.F. Junio 2000.

<sup>49</sup> Cotización "Mekano", junio 2000.

<sup>50</sup> Cotización "Ingeniería de proyectos en plantas de procesos, S.A. de C.V. 5374-00-36.

\$168,209.29

B) Tubería y accesorios no cuantificados (Dentro de baños).

- Costo actual a Junio del 2000.

Se consideró el 20% de \$168209.29 (costo de tuberías y accesorios).

\$33,641.86

C) Obra civil (reparación de baños).

- Costo actual a Junio del 2000.

Se consideró el 20% de \$201851.15 (168209.29 + 33641.86, costo de tuberías y accesorios + no cuantificables).

\$40,370.23

D) Instalación Mecánica y Eléctrica del sistema hidroneumático.

Par tida	Descripción	Diámetr o plg.	Unidad	Canti dad	P.U. material	Importe Material	Precio U. m. obra	Importe M.O.	P.U. total	Importe Total
1	Instalación		lte	1		0	11317.9	11317.97	11317.9	11317.97

- Costo actual a Junio del 2000<sup>51</sup>.

\$11,317.97

E) Fabricación e Instalación de techo para cubrir sistema hidroneumático.

Par tida	Descripción	Dim. Metros	Unidad	Canti dad	P.U. material	Importe Material	Precio U. m. obra	Importe M.O.	P.U. total	Importe Total
1	Instalación de techo	3x3x3.2	lte	1	1171.44	1171.44	468.23	468.23	1639.68	1639.68
2	Fabricación de estructura	3x3x3.2	kg	156	7.93	1236.52	15.99	2493.31	23.93	3729.83
3	Placa de base		kg	26.4	15.83	418.05	15.99	422.32	31.83	840.41
	Total									6209.92

- Costo actual a Junio del 2000.

\$6,209.92

<sup>51</sup> Cotización "Ingeniería de proyectos en plantas de procesos, S.A. de C.V. 5374-00-36.

#### IV.3.1.C Costo contingencias

- Costo actual a Junio del 2000.

Se tomo como contingencias el 10% de los costos de equipo más los costos de construcción (\$449557.24):

\$44,955.72

#### IV.3.1.D Inversión total

La siguiente tabla resume los costos que dan origen a la inversión total de este proyecto. Se muestra la inversión total para Junio del 2000. Por razones obvias esté proyecto se evalúa con la inversión total a Junio del 2000.

Descripción	INVERSION TOTAL
1. Costo del Equipo	
• Sistema hidroneumático	\$70,629.97
• Filtro de carbón activado	\$1,044.00
• Dos lámparas de luz UV	\$19,134.00
• Tanque de almacenamiento	\$99,000.00
2. Costo Construcción	
• Material y mano de obra (Instalación) de accesorios y tubería principal.	\$168,209.29
• Tubería y accesorios no cuantificados (Dentro de baños).	\$33,641.86
• Obra civil (reparación de baños).	\$40,370.23
• Instalación Mecánica y Eléctrica del sistema hidroneumático.	\$11,317.97
• Fabricación e Instalación de techo para cubrir sistema hidroneumático.	\$6,209.92
3. Contingencias (10%)	\$44,955.72
4. Inversión Total (1+2+3)	<b>\$494,512.96</b>

Por lo tanto, la inversión total de este proyecto es de \$494,512.96 pesos.

### IV.3.2 Beneficios

#### IV.3.2.A Costo del agua para tomas de uso no doméstico

Los propietarios o poseedores de Inmuebles con tomas de Agua de Uso No Doméstico, deben considerar los siguientes lineamientos contemplados en el Código Financiero del Distrito Federal.

#### TARIFA VIGENTE PARA 2000 TOMAS DE USO NO DOMESTICO

El pago para 2000 de los derechos para tomas de agua instaladas en inmuebles de uso no doméstico se hará conforme al volumen de consumo medido en ese período de acuerdo a la siguiente<sup>52</sup>:

CONSUMO EN M3		TARIFA	
LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	MONTO BASE	\$ M3ADICIONAL
0	10.00	63.42	0.00
10.1	20.00	126.7	0.00
20.1	30.00	190.18	0.00
30.1	60.00	190.18	9.42
60.1	90.00	472.83	12.25
90.1	120.00	840.34	15.08
120.1	240.00	1,292.70	17.90
240.1	420.00	3,440.80	20.73
420.1	660.00	7,172.35	23.56
660.1	960.00	12,826.91	26.53
960.1	1,500.00	20,785.12	29.71
1500.1	EN ADELANTE	36,829.11	30.48

En el caso de que no haya medidor instalado, se pagará una cuota fija bimestral, considerando el diámetro de la toma, conforme a lo siguiente:

#### TARIFA

Diámetro de la toma en Milímetros	Cuota Bimestral \$
13	596.61
Más de 13 a 15	3,997.89
Más de 15 a 19	6,541.49
Más de 19 a 26	12,718.99
Más de 26 a 32	19,624.94
Más de 32 a 39	28,710.42
Más de 39 a 51	50,879.02
Más de 51 a 64	76,317.12
Más de 64 a 76	109,025.16
Más de 76 a 102	221,683.57
Más de 102 a 150	479,708.93
Más de 150 a 200	850,396.05
Más de 200 a 250	1,330,104.98
Más de 250 a 300	1,915,205.39
Más de 300 en adelante	2,031,500.70

<sup>52</sup> Tesorería del Distrito Federal. Suministro de agua de uso no doméstico.

Las personas físicas y las morales que usen y aprovechen agua residual o residual tratada que suministre el Distrito Federal en el caso de contar con excedentes, así como de agua potable proporcionada por el mismo Distrito, pagarán derechos conforme a las siguientes cuotas:

1. Tratándose de agua potable

- De tomas de válvula de tipo cuello de garza \$17.00 por m3
- Cuando se surta en camiones cisternas para su comercialización incluyendo transporte en el distrito federal \$47.00 por m3

2. Agua residual \$ 1.00 por m3

3. Agua residual tratada a nivel secundario

- De tomas de válvula de tipo cuello de garza, el 60% de la cuota prevista en el Código Financiero
- Cuando exista toma en el inmueble, el 60% de la cuota prevista en el código financiero
- Cuando se surta en camiones cisternas para su comercialización, incluyendo el transporte en el Distrito Federal, el 60% de la cuota prevista en el Código Financiero

4. Agua residual tratada a nivel terciario

- De tomas de válvulas tipo cuello de garza, el 70% de la cuota prevista en el código financiero
- Cuando exista toma en el inmueble, el 70% de la cuota prevista en el código financiero
- Cuando se surta en camiones cisternas para su comercialización, incluyendo el transporte en el Distrito Federal, el 80% de la cuota prevista en el código Financiero

*IV.3.2.B Beneficios*

Como se mencionó en el punto de la evaluación técnica, el flujo de agua que se consume en baños y riego de áreas verdes es de 1200 m3 por mes.

De acuerdo con el punto anterior, el costo de agua para un consumo de 960.1 m3 para el límite inferior es de \$20785.12 pesos, sin embargo como se consumen 1200 m3 por mes es decir 239.9 m3 adicionales a 960.1 m3, entonces se tiene que pagar \$29.71 pesos por m3 extra, con lo cuál se tendría un costo de \$7127.43 pesos por 239.9 m3 extras. El costo total por 1200 m3 sería de \$27912.55 pesos por mes.

El ahorro es de \$27,912.55 pesos por mes de agua que se dejaría de pagar al municipio.

### IV.3.3 Costos de operación, mantenimiento y energía.

#### IV.3.3.A Costos de operación

El agua que será reutilizada en baños, en algún momento tuvo que ser tratada en la planta de tratamientos de agua, por lo tanto es importante considerar el costo de tratar 1200 m<sup>3</sup> por mes.

Para el tratamiento físico-químico (pretratamiento y tratamiento primario) se considera un costo de \$3 pesos por cada metro cúbico de agua que se produce, de tal forma que si se producen 1200 m<sup>3</sup> al mes, el costo sería de \$3600.00 pesos mensuales para el año 2000.

Para el tratamiento biológico (secundario) se considera un costo de \$5 pesos por cada m<sup>3</sup> de agua que se produce o trata, de tal forma que si se producen 1200 m<sup>3</sup> al mes, el costo sería de \$6000.00 pesos mensuales para el año 2000.

El costo de operación total es de \$9,600.00 pesos mensuales o \$115,200 anuales (año 2000).

#### IV.3.3.B Costos de mantenimiento

Como costos de mantenimiento se considera el reemplazo cada año del carbón activado, los focos de las lámparas de luz ultravioleta y el cambio de los tubos de las lámparas de luz ultravioleta.

- Reemplazo del carbón activado \$273.00 pesos
- (2) dos focos \$378.00 pesos
- (2) dos tubos de las lámparas de luz UV \$450.00 pesos

El costo de mantenimiento anual es de \$1,101.00 pesos.

#### IV.3.3.C Costos de energía

Se tienen dos bombas de 7.5 h.p (5.6 kw), una en operación y la otra en espera. Suponiendo que la bomba trabaja 3 horas al día serían 16.8 kw/h al día y el kw/h cuesta \$0.73 pesos por kw/h<sup>53</sup>. Es decir \$12 pesos al día o \$245.00 pesos al mes.

### IV.3.4 Beneficio social

El beneficio principal del agua potable desinfectada es la protección de la salud pública, a través de las enfermedades transmitidas por el agua. Con una buena desinfección se pueden controlar los agentes patógenos en el agua que causan las enfermedades como tifoidea y cólera.

Los abastecimientos de agua potable sin tratar o con un tratamiento inadecuado, siguen siendo la mayor amenaza para la salud pública, especialmente en países como el nuestro que se encuentran en desarrollo donde casi la mitad de la población consume agua contaminada. En países como el nuestro las enfermedades como el cólera, tifoidea y disentería crónica son endémicas, y matan a jóvenes y ancianos. En 1990, más de tres millones de niños menores de 5 años murieron por enfermedades diarreicas, de ahí la importancia de desinfectar el agua tratada antes de reutilizarla en baños.

<sup>53</sup> Comisión Federal de Electricidad. Servicio de agua potable o negras, de servicio público.

Este beneficio de igual forma se refiere a la cantidad de agua de mala calidad que se dejará de descargar directamente al drenaje municipal, considerando que las plantas de tratamiento municipales no tienen la capacidad suficiente para satisfacer los requerimientos de la población.

Una estrategia para disminuir la problemática del abastecimiento de agua a la ciudad de México, que cada vez se vuelve más costoso y complejo, es incrementar el reúso del agua residual tratada en aplicaciones que no ameritan el grado de potabilidad como son el riego de áreas verdes, reposición de niveles de canales y lagos recreativos así como enfriamiento industrial.

#### IV.4 Análisis financiero

A continuación se muestra la inflación proyectada al año 2005 (fuente: CIEMEX-WEFA)

INFLACION PROYECTADA						
Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Inflación	12.3	11.5	10.7	10.3	9.8	9.1

La inflación proyectada es utilizada para determinar el beneficio anual proyectado, de acuerdo a la siguiente tabla:

BENEFICIO ANUAL PROYECTADO (pesos)						
Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Beneficio	376,150	419,407	464,284	512,105	562,291	613,459

##### IV.4.1 Estado de resultados y flujo de entrada de efectivo

El estado de resultados se resume en la siguiente tabla:

ESTADO DE RESULTADOS						
Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Ventas	376,150	419,407	464,284	512,105	562,291	613,459
Costos 10%	49,451	49,451	49,451	49,451	49,451	49,451
Inversión (Depreciación)						
Costos de operación	129,370	144,248	159,683	176,130	193,391	210,990
Costos de mantenimiento	1,236	1,378	1,525	1,682	1,847	2,015
Costos de energía	3,302	3,682	4,076	4,496	4,937	5,386
Utilidad Bruta	192,791	220,648	249,549	280,346	312,665	345,617
Gastos	0	0	0	0	0	0
Utilidad Antes de Impuesto	192,791	220,648	249,549	280,346	312,665	345,617
Impuestos (40%)	77,116	88,259	99,820	112,138	125,066	138,247
Utilidad (pesos)	115,675	132,389	149,729	168,208	187,599	207,370

El flujo de entrada de efectivo es como sigue:

	<b>Flujo de entrada de Efectivo</b>
<b>Año</b>	<b>Inversión de 494,513 pesos</b>
2000	\$ 115,675
2001	\$ 132,389
2002	\$ 149,729
2003	\$ 168,208
2004	\$ 187,599
2005	\$ 207,370

#### IV.4.2 Período de Recuperación

Con este método calculamos el tiempo requerido para recuperar la inversión inicial. La inversión es por un valor de \$494,513 pesos. De acuerdo con el flujo de entrada de efectivo mostrada en el punto anterior, se obtiene que el período de recuperación para este proyecto es de 3 años y 7 meses es decir,  $3 \frac{7}{12}$  años. Se puede considerar que este es un tiempo de recuperación muy aceptable para cualquier proyecto.

#### IV.4.3 Tasa Interna de Rendimiento

Con la tasa interna de rendimiento se determina el rendimiento de una inversión, es decir se calcula la tasa de interés que sirva para igualar el monto de la inversión (costo) con los flujos de entrada de efectivo que se hayan de recibir posteriormente.

Debido a que el flujo de entrada de efectivo para este proyecto no es uniforme, se utiliza el procedimiento de "tanteo" para determinar la tasa de rendimiento. De tal forma que debemos preguntarnos ¿en dónde debemos comenzar? ¿Qué tasa de interés debemos utilizar para nuestra primera prueba?

La siguiente tabla nos muestra los flujos de entrada de efectivo:

#### **Inversión de \$494,513 pesos**

<b>Año</b>	<b>Flujo de entrada de Efectivo</b>
2000	\$ 115,675
2001	\$ 132,389
2002	\$ 149,729
2003	\$ 168,208
2004	\$ 187,599
2005	\$ 207,360

1. Primero se determina un porcentaje inicial con el cuál se realiza la primera prueba. Este porcentaje inicial se obtiene promediando las entradas de efectivo como si en efectivo se tuviera una anualidad uniforme.

\$ 115,675
\$ 132,389
\$ 149,729
\$ 168,208
\$ 187,599
\$ 207,360
\$960,960 / 6 = \$160,160

2. Se divide la inversión por el valor de la anualidad "supuesta" del punto anterior.

$$\frac{\text{(inversión)}}{\text{(Anualidad)}} = \frac{\$494,513}{\$160,160} = 3.09 \text{ (IF pva)}$$

3. Con la tabla 1 de la parte de tablas y anexos, considerando un factor de 3.09, se tiene una primera aproximación de la tasa interna de rendimiento.

$$\begin{aligned} N \text{ (periodo)} &= 6 \\ \text{Factor IF pva} &= 3.09 \end{aligned}$$

El factor queda entre 20% y 25%, lo cuál representa tan sólo una aproximación, sabemos que nuestra repuesta final se aproxima al 25%. Podemos mencionar que esta aproximación puede subestimar la verdadera tasa interna de rendimiento.

4. En el siguiente paso, tenemos la etapa de tanteo para llegar a la respuesta final. Debido a que los flujos de efectivo no son uniformes, es decir no son una anualidad, tenemos que consultar la tabla 2. Empezaremos con la tasa del 20% y luego probaremos con otra.

Año	Tasa del 25%
2000....	\$ 115,675 x 0.800 = \$92,540
2001....	\$ 132,389 x 0.640 = \$84,729
2002....	\$ 149,729 x 0.512 = \$76,661
2003....	\$ 168,208 x 0.410 = \$68,965
2004....	\$ 187,599 x 0.320 = \$60,032
2005....	\$ 207,360 x 0.262 = \$54,328
	\$437,255

Se observa que con una tasa de 25% no llegamos a la inversión inicial de \$494,513, por lo tanto, se debe considerar una tasa más pequeña 20% para aumentar la inversión obtenida con 25%.

Año	Tasa del 20%
2000....	\$ 115,675 x 0.833 = \$96,357
2001....	\$ 132,389 x 0.694 = \$91,878
2002....	\$ 149,729 x 0.579 = \$86,693
2003....	\$ 168,208 x 0.482 = \$81,076
2004....	\$ 187,599 x 0.402 = \$75,415
2005....	\$ 207,360 x 0.335 = \$69,466
	<u>\$500,885</u>

La respuesta deberá estar entre 20% y 25%. Para encontrar la respuesta exacta, se pueden interpolar los resultados. Ya que la tasa interna de rendimiento se obtiene una vez que el valor presente de los flujos de entrada de efectivo (VP1) coincide con el valor presente de las salidas de efectivo (VPo) necesitamos encontrar aquella tasa de descuento que iguale el VP1 con el costo de \$494,513 pesos Vpo. La diferencia total en pesos entre el 20% y el 25% es de \$63,630.

\$500,885	....PV1 @ 20%	\$500,885	....PV1 @ 20%
\$437,255	....PV1 @ 25%	\$494,513	
\$ 63,630		\$ 6,372	

Entonces, la solución estará \$6,372 alejado del valor que corresponde al 20%, con una diferencia del 5% entre las tasa de retorno de referencia. El valor correcto de la tasa de retorno se obtiene como sigue:

$$20\% + (\$6,372/\$63,630) * (5\%) = 20.5\%$$

El resultado real de la tasa interna de retorno para este proyecto es de 20.5%.

#### IV.4.4 Valor presente neto

Se determina el valor presente neto de la inversión. Para esto, se descuentan los flujos de efectivo que haya de generar el proyecto a través de toda su vida para saber si son iguales o supérar a la inversión requerida, de tal forma que los flujos de efectivo que se hayan de recibir en los últimos años deberán proporcionar un rendimiento que al menos iguale el costo para financiar estos beneficios.

Utilizando una tasa de descuento del 11%, y una inversión total de \$494,513 pesos, utilizando la tabla 2, podemos calcular el valor presente neto para este proyecto.

Año	Tasa de descuento del 11%
2000....	\$ 115,675 x 0.901 = \$104,223
2001....	\$ 132,389 x 0.812 = \$107,500
2002....	\$ 149,729 x 0.731 = \$109,452
2003....	\$ 168,208 x 0.659 = \$110,849
2004....	\$ 187,599 x 0.593 = \$111,246
2005....	\$ 207,360 x 0.535 = \$110,938
	<u>\$654,208</u>

Valor presente de las entradas de efectivo.....\$654,208

Valor presente de erogaciones.....\$494,513

Valor presente neto ..... \$159,695

#### IV.5 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad nos ayuda a predecir un comportamiento de los métodos de evaluación de proyectos es decir período de recuperación, tasa interna de rendimiento y valor presente neto si se aumenta o disminuye el costo de la inversión total, si aumentan los costos de operación y mantenimiento, si disminuyen o aumentan los beneficios del proyecto, si la inflación es superior a la proyectada, etc

##### IV.5.1 Disminución y/o aumento de la inversión total.

La inversión se disminuye en un 20% y se aumenta en un 10%, 20% y 40% de acuerdo a la siguiente tabla.

DISMINUCION O AUMENTO DE LA INVERSION				
Inversión al 80%	Inversión Base	Inversión al 110%	Inversión al 120%	Inversión al 140%
\$395,610.00	\$494,513.00	\$543,964.00	\$593,416.00	\$692,318.00

Se considera la misma inflación proyectada al año 2005 (fuente: CIEMEX-WEFA)

INFLACION PROYECTADA						
Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Inflación	12.3	11.5	10.7	10.3	9.8	9.1

En este caso se mantiene el beneficio anual proyectado, de acuerdo a la siguiente tabla:

BENEFICIO ANUAL PROYECTADO (pesos)						
Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Beneficio	376,150	419,407	464,284	512,105	562,291	613,459

IV.5.1.A Estado de resultados y flujo de entrada de efectivo

El estado de resultados para una inversión de \$395,610 pesos se resume en la siguiente tabla:

ESTADO DE RESULTADOS PARA INVERSION AL 80%						
Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Ventas	376,150	419,407	464,284	512,105	562,291	613,459
Costos 10% Inversión (Depreciación)	39,561	39,561	39,561	39,561	39,561	39,561
Costos de operación	129,370	144,248	159,683	176,130	193,391	210,990
Costos de mantenimiento	1,236	1,378	1,525	1,682	1,847	2,015
Costos de energía	3,302	3,682	4,076	4,496	4,937	5,386
Utilidad Bruta	202,681	230,538	259,439	290,236	322,555	355,507
Gastos	0	0	0	0	0	0
Utilidad Antes de Impuesto	202,681	230,538	259,439	290,236	322,555	355,507
Impuestos (40%)	81,072	92,215	103,766	116,094	129,022	142,203
Utilidad (pesos)	121,609	138,323	155,673	174,142	193,533	213,304

- Aplicando formula:

Utilidad (pesos) para inversión al 80% = (U.A.I. de inversión base + Depreciación (10%) de inversión base - Depreciación del 10% para inversión al 80%) x (1 - (U.A.I. de inversión base + Depreciación (10%) de inversión base - Depreciación del 10% para inversión al 80%) x impuestos(40%))

Utilidad para inversión al 80% año 2000 = (\$192,791 + \$49,451 - \$39,561) x (1 - (\$192,791 + \$49,451 - \$39,561) \* 0.4) = \$121,609

ESTADO DE RESULTADOS PARA INVERSION BASE						
Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Ventas	376,150	419,407	464,284	512,105	562,291	613,459
Costos 10% Inversión (Depreciación)	49,451	49,451	49,451	49,451	49,451	49,451
Costos de operación	129,370	144,248	159,683	176,130	193,391	210,990
Costos de mantenimiento	1,236	1,378	1,525	1,682	1,847	2,015
Costos de energía	3,302	3,682	4,076	4,496	4,937	5,386
Utilidad Bruta	192,791	220,648	249,549	280,346	312,665	345,617
Gastos	0	0	0	0	0	0
Utilidad Antes de Impuesto	192,791	220,648	249,549	280,346	312,665	345,617
Impuestos (40%)	77,116	88,259	99,820	112,138	125,066	138,247
Utilidad (pesos)	115,675	132,389	149,729	168,208	187,599	207,370

ESTADO DE RESULTADOS PARA INVERSION AL 110%						
Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Ventas	376,150	419,407	464,284	512,105	562,291	613,459
Costos 10% Inversión (Depreciación)	54,397	54,397	54,397	54,397	54,397	54,397
Costos de operación	129,370	144,248	159,683	176,130	193,391	210,990
Costos de mantenimiento	1,236	1,378	1,525	1,682	1,847	2,015
Costos de energía	3,302	3,682	4,076	4,496	4,937	5,386
Utilidad Bruta	187,845	215,702	244,603	275,400	307,719	340,671
Gastos	0	0	0	0	0	0
Utilidad Antes de Impuesto	187,845	215,702	244,603	275,400	307,719	340,671
Impuestos (40%)	75,138	86,281	97,841	110,160	123,088	136,268
Utilidad (pesos)	112,000	129,421	146,762	165,240	184,631	204,403

ESTADO DE RESULTADOS PARA INVERSION AL 120%						
Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Ventas	376,150	419,407	464,284	512,105	562,291	613,459
Costos 10% Inversión (Depreciación)	59,342	59,342	59,342	59,342	59,342	59,342
Costos de operación	129,370	144,248	159,683	176,130	193,391	210,990
Costos de mantenimiento	1,236	1,378	1,525	1,682	1,847	2,015
Costos de energía	3,302	3,682	4,076	4,496	4,937	5,386
Utilidad Bruta	182,900	210,757	239,658	270,455	302,704	335,726
Gastos	0	0	0	0	0	0
Utilidad Antes de Impuesto	182,900	210,757	239,658	270,455	302,704	335,726
Impuestos (40%)	73,160	84,303	95,863	108,182	121,110	134,290
Utilidad (pesos)	109,740	126,454	143,795	162,273	181,594	201,436

ESTADO DE RESULTADOS PARA INVERSION AL 140%						
Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Ventas	376,150	419,407	464,284	512,105	562,291	613,459
Costos 10% Inversión (Depreciación)	69,232	69,232	69,232	69,232	69,232	69,232
Costos de operación	129,370	144,248	159,683	176,130	193,391	210,990
Costos de mantenimiento	1,236	1,378	1,525	1,682	1,847	2,015
Costos de energía	3,302	3,682	4,076	4,496	4,937	5,386
Utilidad Bruta	173,010	200,867	229,768	260,565	292,884	325,836
Gastos	0	0	0	0	0	0
Utilidad Antes de Impuesto	173,010	200,867	229,768	260,565	292,884	325,836
Impuestos (40%)	69,204	80,347	91,907	104,226	117,154	130,334
Utilidad (pesos)	103,806	120,520	137,861	156,339	175,730	195,502

El flujo de entrada de efectivo es como sigue:

Año	Flujo de entrada de Efectivo				
	Inversión de \$395,610 pesos	Inversión de 494,513 pesos	Inversión de \$543,964 pesos	Inversión de \$593,416 pesos	Inversión de \$692,318 pesos
2000	\$121,609	\$ 115,675	\$112,000	\$109,740	\$ 103,806
2001	\$138,323	\$ 132,389	\$129,421	\$126,454	\$ 120,520
2002	\$155,673	\$ 149,729	\$146,762	\$143,795	\$ 137,861
2003	\$174,142	\$ 168,208	\$165,240	\$162,273	\$ 156,339
2004	\$193,533	\$ 187,599	\$184,631	\$181,594	\$ 175,730
2005	\$213,304	\$ 207,370	\$204,403	\$201,436	\$ 195,502

#### IV.5.1. B Período de recuperación

Con este método calculamos el tiempo requerido para recuperar la inversión inicial. De acuerdo con el flujo de entrada de efectivo mostrada en el punto anterior, se obtiene que el período de recuperación para este análisis de sensibilidad es como sigue:

| Período de Recuperación En años |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Inversión de \$395,610 pesos    | Inversión de \$494,513 pesos    | Inversión de \$543,964 pesos    | Inversión de \$593,416 pesos    | Inversión de \$692,318 pesos    |
| 2 años, 10.5 meses              | 3 años, 7 meses                 | 3 años, 11.3 meses              | 4 años, 4 meses                 | 4 años, 11.9 meses              |

#### IV.5.1.C Tasa Interna de Rendimiento

Con la tasa interna de rendimiento se determina el rendimiento de una inversión, es decir se calcula la tasa de interés que sirva para igualar el monto de la inversión (costo) con los flujos de entrada de efectivo que se hayan de recibir posteriormente.

Debido a que el flujo de entrada de efectivo para este proyecto no es uniforme, se utiliza el procedimiento de "tanteo" para determinar la tasa de rendimiento. De tal forma que debemos preguntarnos ¿en dónde debemos comenzar? ¿Qué tasa de interés debemos utilizar para nuestra primera prueba?.

La siguiente tabla nos muestra los flujos de entrada de efectivo:

	Flujo de entrada de Efectivo				
Año	Inversión de \$395,610 pesos	Inversión de 494,513 pesos	Inversión de \$543,964 pesos	Inversión de \$593,416 pesos	Inversión de \$692,318 pesos
2000	\$121,609	\$ 115,675	\$112,000	\$109,740	\$ 103,806
2001	\$138,323	\$ 132,389	\$129,421	\$126,454	\$ 120,520
2002	\$155,673	\$ 149,729	\$146,762	\$143,795	\$ 137,861
2003	\$174,142	\$ 168,208	\$165,240	\$162,273	\$ 156,339
2004	\$193,533	\$ 187,599	\$184,631	\$181,594	\$ 175,730
2005	\$213,304	\$ 207,370	\$204,403	\$201,436	\$ 195,502

Se determina el porcentaje inicial con el cuál se realiza la primera prueba. Este porcentaje inicial se obtiene promediando las entradas de efectivo como si el efectivo se tuviera una anualidad uniforme.

	Flujo de entrada de Efectivo				
Año	Inversión de \$395,610 pesos	Inversión de 494,513 pesos	Inversión de \$543,964 pesos	Inversión de \$593,416 pesos	Inversión de \$692,318 pesos
2000	\$121,609	\$115,675	\$112,000	\$109,740	\$ 103,806
2001	\$138,323	\$132,389	\$129,421	\$126,454	\$120,520
2002	\$155,673	\$149,729	\$146,762	\$143,795	\$137,861
2003	\$174,142	\$168,208	\$165,240	\$162,273	\$156,339
2004	\$193,533	\$187,599	\$184,631	\$181,594	\$175,730
2005	\$213,304	\$207,370	\$204,403	\$201,436	\$195,502
Total	\$996,584	\$960,970	\$942,457	\$925,292	\$889,758
<b>Anualidad Promedio</b>					
Prom.	\$166,097	\$160,162	\$157,076	\$154,215	\$148,293

Se divide la inversión por el valor de la anualidad "supuesta" del punto anterior.

Factor IF pva = (inversión/anualidad promedio)				
Inversión de \$395,610 pesos	Inversión de 494,513 pesos	Inversión de \$543,964 pesos	Inversión de \$593,416 pesos	Inversión de \$692,318 pesos
2.38	3.09	3.46	3.85	4.67

Con la tabla 1 de la parte de tablas y anexos, considerando los factores IF pva y un periodo de 6 años, se tiene una primera aproximación de la tasa interna de rendimiento.

Tasa interna de rendimiento aproximada, en %				
Inversión de \$395,610 pesos	Inversión de 494,513 pesos	Inversión de \$543,964 pesos	Inversión de \$593,416 pesos	Inversión de \$692,318 pesos
35%	20.5%	18.5%	14.5%	7.5%

#### IV.5.1.D Valor Presente Neto

Se determina el valor presente neto de la inversión. Para esto, se descuentan los flujos de efectivo que haya de generar el proyecto a través de toda su vida para saber si son iguales o superan a la inversión requerida, de tal forma que los flujos de efectivo que se hayan de recibir en los últimos años deberán proporcionar un rendimiento que al menos iguale el costo para financiar estos beneficios.

Utilizando una tasa de descuento del 11%, y una inversión total de \$494,513 pesos, utilizando la tabla 2, podemos calcular el valor presente neto para este proyecto.

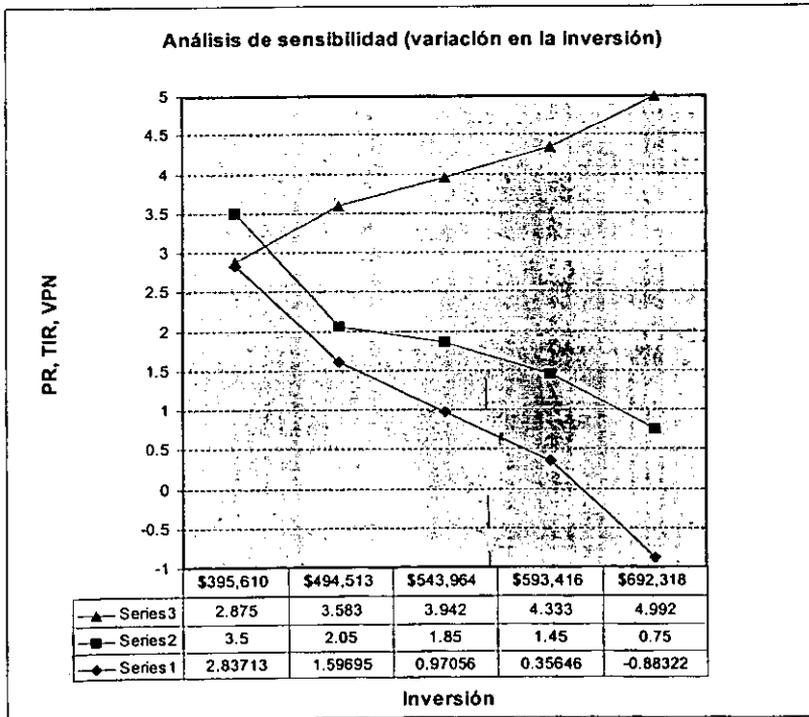
	Inversión de \$395,610 pesos	Inversión de 494,513 pesos	Inversión de \$543,964 pesos	Inversión de \$593,416 pesos	Inversión de \$692,318 pesos
Año	Anualidad x tasa de descuento del 11%				
2000	\$121,609x0.901= \$109,570	\$115,675x0.901= \$104,223	\$112,000x0.901= \$100,912	\$109,740x0.901= \$98,876	\$103,806x0.901= \$93,529
2001	\$138,323x0.812= \$112,318	\$132,389x0.812= \$107,500	\$129,421x0.812= \$105,090	\$126,454x0.812= \$102,681	\$120,520x0.812= \$97,862
2002	\$155,673x0.731= \$113,797	\$149,729x0.731= \$109,452	\$146,762x0.731= \$107,283	\$143,795x0.731= \$105,114	\$137,861x0.731= \$100,776
2003	\$174,142x0.659= \$114,760	\$168,208x0.659= \$110,849	\$165,240x0.659= \$108,893	\$162,273x0.659= \$106,938	\$156,339x0.659= \$103,027
2004	\$193,533x0.593= \$114,765	\$187,599x0.593= \$111,246	\$184,631x0.593= \$109,486	\$181,594x0.593= \$107,685	\$175,730x0.593= \$104,208
2005	\$213,304x0.535= \$114,118	\$207,360x0.535= \$110,938	\$204,403x0.535= \$109,356	\$201,436x0.535= \$107,768	\$195,502x0.535= \$104,594
Total	\$679,328	\$654,208	\$641,020	\$629,062	\$603,996

Valor presente de las entradas de efectivo				
Anualidad x tasa de descuento del 11%	Anualidad x tasa de descuento del 11%	Anualidad x tasa de descuento del 11%	Anualidad x tasa de descuento del 11%	Anualidad x tasa de descuento del 11%
\$679,328	\$654,208	\$641,020	\$629,062	\$603,996

Valor presente de erogaciones				
\$395,610	494,513	\$543,964	\$593,416	\$692,318

VALOR PRESENTE NETO				
\$283,718	\$159,695	\$97,056	\$35,646	(\$88,322)

IV.5.1.E *Gráfica de sensibilidad del período de recuperación, tasa interna de retorno y valor presente neto.*



En la gráfica anterior tenemos la siguientes definiciones:

- Series 3 = Período de recuperación en años.
- Series 2 = Tasa interna de retorno en  $\% \times 10^1$ .
- Series 1 = Valor presente neto en  $\$ \times 10^5$ .

## IV.5.2 Disminución y/o aumento de los beneficios.

Los beneficios se aumentan en un 20% y se disminuyen en un 10%, 20% y 40% de acuerdo a la siguiente tabla.

DISMINUCION O AUMENTO DE LOS BENEFICIOS (Ventas)				
Beneficios al 120%	Beneficios Base	Beneficios al 90%	Beneficios al 80%	Beneficios al 60%
\$451,380.00	\$376,150.00	\$338,535.00	\$300,920.00	\$225,690.00

Se considera la misma inflación proyectada al año 2005 (fuente: CIEMEX-WEFA)

INFLACION PROYECTADA						
Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Inflación	12.3	11.5	10.7	10.3	9.8	9.1

En este caso se mantiene la inversión total, de acuerdo a la siguiente tabla:

BENEFICIO ANUAL PROYECTADO (pesos)	
Año	2000
Inversión	494,513

#### IV.5.2.A Estado de resultados y flujo de entrada de efectivo

El estado de resultados para beneficios de \$451,380 pesos se resume en la siguiente tabla:

ESTADO DE RESULTADOS PARA BENEFICIOS AL 120%						
Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Ventas	451,380	503,289	557,141	614,527	674,751	736,153
Costos 10% Inversión (Depreciación)	49,451	49,451	49,451	49,451	49,451	49,451
Costos de operación	129,370	144,248	159,683	176,130	193,391	210,990
Costos de mantenimiento	1,236	1,378	1,525	1,682	1,847	2,015
Costos de energía	3,302	3,682	4,076	4,496	4,937	5,386
Utilidad Bruta	268,021	304,530	342,406	382,768	425,125	468,311
Gastos	0	0	0	0	0	0
Utilidad Antes de Impuesto	268,021	304,530	342,406	382,768	425,125	468,311
Impuestos (40%)	107,208	121,812	136,962	153,107	170,050	187,324
Utilidad (pesos)	160,813	182,718	205,444	229,661	255,075	280,987

El estado de resultados considerando los beneficios base sigue siendo como se muestra en la siguiente tabla:

ESTADO DE RESULTADOS PARA INVERSION BASE						
Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Ventas	376,150	419,407	464,284	512,105	562,291	613,459
Costos 10% Inversión (Depreciación)	49,451	49,451	49,451	49,451	49,451	49,451
Costos de operación	129,370	144,248	159,683	176,130	193,391	210,990
Costos de mantenimiento	1,236	1,378	1,525	1,682	1,847	2,015
Costos de energía	3,302	3,682	4,076	4,496	4,937	5,386
Utilidad Bruta	192,791	220,648	249,549	280,346	312,665	345,617
Gastos	0	0	0	0	0	0
Utilidad Antes de Impuesto	192,791	220,648	249,549	280,346	312,665	345,617
Impuestos (40%)	77,116	88,259	99,820	112,138	125,066	138,247
Utilidad (pesos)	115,675	132,389	149,729	168,208	187,599	207,370

Las siguientes tres tablas muestran el estado de resultados cuando se disminuyen los beneficios en un 10, 20 y 40 %.

<b>ESTADO DE RESULTADOS PARA BENEFICIOS AL 90%</b>						
<b>Año</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>
Ventas	338,535	367,467	406,786	448,685	492,656	537,488
Costos 10% Inversión (Depreciación)	49,451	49,451	49,451	49,451	49,451	49,451
Costos de operación	129,370	144,248	159,683	176,130	193,391	210,990
Costos de mantenimiento	1,236	1,378	1,525	1,682	1,847	2,015
Costos de energía	3,302	3,682	4,076	4,496	4,937	5,386
Utilidad Bruta	155,176	168,708	192,051	216,926	243,030	269,646
Gastos	0	0	0	0	0	0
Utilidad Antes de Impuesto	155,176	168,708	192,051	216,926	243,030	269,646
Impuestos (40%)	62,070	67,483	76,820	86,770	97,212	107,858
Utilidad (pesos)	93,106	101,225	115,231	130,156	145,818	161,788

<b>ESTADO DE RESULTADOS PARA BENEFICIOS AL 80%</b>						
<b>Año</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>
Ventas	300,920	335,526	371,427	409,684	449,833	490,768
Costos 10% Inversión (Depreciación)	49,451	49,451	49,451	49,451	49,451	49,451
Costos de operación	129,370	144,248	159,683	176,130	193,391	210,990
Costos de mantenimiento	1,236	1,378	1,525	1,682	1,847	2,015
Costos de energía	3,302	3,682	4,076	4,496	4,937	5,386
Utilidad Bruta	117,561	136,767	156,692	177,925	200,207	222,926
Gastos	0	0	0	0	0	0
Utilidad Antes de Impuesto	117,561	136,767	156,692	177,925	200,207	222,926
Impuestos (40%)	47,024	54,707	62,677	71,170	80,083	89,170
Utilidad (pesos)	70,537	82,060	94,015	106,755	120,124	133,756

## ESTADO DE RESULTADOS PARA BENEFICIOS AL 60%

Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Ventas	225,390	251,310	278,200	306,855	336,927	367,587
Costos 10% Inversión (Depreciación)	49,451	49,451	49,451	49,451	49,451	49,451
Costos de operación	129,370	144,248	159,683	176,130	193,391	210,990
Costos de mantenimiento	1,236	1,378	1,525	1,682	1,847	2,015
Costos de energía	3,302	3,682	4,076	4,496	4,937	5,386
Utilidad Bruta	42,031	52,551	63,465	75,096	87,301	99,745
Gastos	0	0	0	0	0	0
Utilidad Antes de Impuesto	42,031	52,551	63,465	75,096	87,301	99,745
Impuestos (40%)	16,812	21,020	25,386	30,038	34,920	39,898
Utilidad (pesos)	25,219	31,531	38,079	45,058	52,381	59,847

El flujo de entrada de efectivo es como sigue:

Año	Flujo de entrada de Efectivo				
Año	Beneficio de \$451,380 pesos	Beneficio de \$376,150 pesos	Beneficio de \$338,535 pesos	Beneficio de \$300,920 pesos	Beneficio de \$225,390 pesos
2000	\$160,813	\$ 115,675	\$93,106	\$70,537	\$25,219
2001	\$182,718	\$ 132,389	\$101,225	\$82,060	\$31,531
2002	\$205,444	\$ 149,729	\$115,231	\$94,015	\$38,079
2003	\$229,661	\$ 168,208	\$130,156	\$106,755	\$45,058
2004	\$255,065	\$ 187,599	\$145,818	\$120,124	\$52,381
2005	\$280,987	\$ 207,370	\$161,788	\$133,756	\$59,847

#### IV.5.2. B Período de Recuperación

Con este método calculamos el tiempo requerido para recuperar la inversión inicial. De acuerdo con el flujo de entrada de efectivo mostrada en el punto anterior, se obtiene que el período de recuperación para este análisis de sensibilidad es como sigue:

Inversión inicial de \$494,513 pesos				
Período de Recuperación En años	Período de Recuperación En años	Período de Recuperación En años	Período de Recuperación En años	Período de Recuperación En años
Beneficio de \$451,380 pesos	Beneficio de \$376,150 pesos	Beneficio de \$338,535 pesos	Beneficio de \$300,920 pesos	Beneficio de \$225,390 pesos
2 años, 8.8 meses	3 años, 7 meses	4 años, 4.5 meses	5 años, 1.9 meses	8 años, 2.4 meses

#### IV.5.2.C Tasa Interna de Rendimiento

Con la tasa interna de rendimiento se determina el rendimiento de una inversión, es decir se calcula la tasa de interés que sirva para igualar el monto de la inversión (costo) con los flujos de entrada de efectivo que se hayan de recibir posteriormente.

Debido a que el flujo de entrada de efectivo para este proyecto no es uniforme, se utiliza el procedimiento de "tanteo" para determinar la tasa de rendimiento. De tal forma que debemos preguntarnos ¿en dónde debemos comenzar? ¿Qué tasa de interés debemos utilizar para nuestra primera prueba?

La siguiente tabla nos muestra los flujos de entrada de efectivo:

Año	Flujo de entrada de Efectivo				
	Beneficio de \$451,380 pesos	Beneficio de \$376,150 pesos	Beneficio de \$338,535 pesos	Beneficio de \$300,920 pesos	Beneficio de \$225,390 pesos
2000	\$160,813	\$ 115,675	\$93,106	\$70,537	\$25,219
2001	\$182,718	\$ 132,389	\$101,225	\$82,060	\$31,531
2002	\$205,444	\$ 149,729	\$115,231	\$94,015	\$38,079
2003	\$229,661	\$ 168,208	\$130,156	\$106,755	\$45,058
2004	\$255,065	\$ 187,599	\$145,818	\$120,124	\$52,381
2005	\$280,987	\$ 207,370	\$161,788	\$133,756	\$59,847

Se determina el porcentaje inicial con el cual se realiza la primera prueba. Este porcentaje inicial se obtiene promediando las entradas de efectivo como si el efectivo se tuviera una anualidad uniforme.

Año	Flujo de entrada de Efectivo				
	Beneficio de \$451,380 pesos	Beneficio de \$376,150 pesos	Beneficio de \$338,535 pesos	Beneficio de \$300,920 pesos	Beneficio de \$225,390 pesos
2000	\$160,813	\$ 115,675	\$93,106	\$70,537	\$25,219
2001	\$182,718	\$ 132,389	\$101,225	\$82,060	\$31,531
2002	\$205,444	\$ 149,729	\$115,231	\$94,015	\$38,079
2003	\$229,661	\$ 168,208	\$130,156	\$106,755	\$45,058
2004	\$255,065	\$ 187,599	\$145,818	\$120,124	\$52,381
2005	\$280,987	\$ 207,370	\$161,788	\$133,756	\$59,847
Total	\$1,314,688	\$960,970	\$747,324	\$607,247	\$252,115
<b>Anualidad Promedio</b>					
Prom.	\$219,115	\$160,162	\$124,554	\$101,208	\$42,019

Se divide la inversión por el valor de la anualidad "supuesta" del punto anterior.

Factor IF pva = (inversión/anualidad promedio) para inversión de 494,513				
2.26	3.09	3.97	4.89	11.77

Con la tabla 1 de la parte de tablas y anexos, considerando los factores IF pva y un período de 6 años, se tiene una primera aproximación de la tasa interna de rendimiento.

Tasa interna de rendimiento aproximada, en %				
Beneficio de \$451,380 pesos	Beneficio de \$376,150 pesos	Beneficio de \$338,535 pesos	Beneficio de \$300,920 pesos	Beneficio de \$225,390 pesos
38%	20.5%	13%	6.2%	0.1%

#### IV.5.2.D Valor presente neto

Se determina el valor presente neto de la inversión. Para esto, se descuentan los flujos de efectivo que haya de generar el proyecto a través de toda su vida para saber si son iguales o superan a la inversión requerida, de tal forma que los flujos de efectivo que se hayan de recibir en los últimos años deberán proporcionar un rendimiento que al menos iguale el costo para financiar estos beneficios.

Utilizando una tasa de descuento del 11%, y una inversión total de \$494,513 pesos, utilizando la tabla 2, podemos calcular el valor presente neto para este proyecto.

Año	Beneficio de \$451,380 pesos Anualidad x tasa de descuento del 11%	Beneficio de \$376,150 pesos Anualidad x tasa de descuento del 11%	Beneficio de \$338,535 pesos Anualidad x tasa de descuento del 11%	Beneficio de \$300,920 pesos Anualidad x tasa de descuento del 11%	Beneficio de \$225,390 pesos Anualidad x tasa de descuento del 11%
2000	\$160,813x0.901= \$144,893	\$115,675x0.901= \$104,223	\$93,106x0.901= \$83,889	\$70,537x0.901= \$63,554	\$25,219x0.901= \$22,722
2001	\$182,718x0.812= \$148,317	\$132,389x0.812= \$107,500	\$101,225x0.812= \$82,195	\$82,060x0.812= \$66,633	\$31,531x0.812= \$25,603
2002	\$205,444x0.731= \$150,180	\$149,729x0.731= \$109,452	\$115,231x0.731= \$84,234	\$94,015x0.731= \$68,725	\$38,079x0.731= \$27,836
2003	\$229,661x0.659= \$151,347	\$168,208x0.659= \$110,849	\$130,156x0.659= \$85,773	\$106,755x0.659= \$60,352	\$45,058x0.659= \$29,693
2004	\$255,065x0.593= \$151,254	\$187,599x0.593= \$111,246	\$145,818x0.593= \$86,470	\$120,124x0.593= \$71,234	\$52,381x0.593= \$31,062
2005	\$280,987x0.535= \$150,328	\$207,360x0.535= \$110,938	\$161,788x0.535= \$86,557	\$133,756x0.535= \$71,559	\$59,847x0.535= \$32,018
Total	\$896,319	\$654,208	\$509,118	\$402,057	\$168,934

**Valor presente de las entradas de efectivo**

| Anualidad x tasa de descuento del 11% |
|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| \$896,319                             | \$654,208                             | \$509,118                             | \$402,057                             | \$168,934                             |

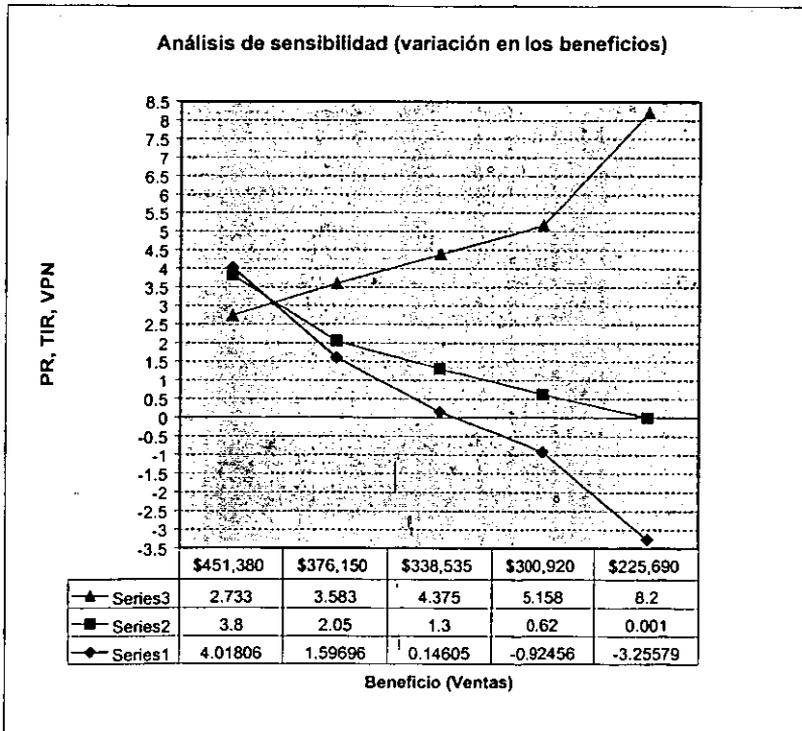
**Valor presente de erogaciones**

\$494,513

**VALOR PRESENTE NETO**

\$401,806	\$159,695	\$412,062	(\$92,456)	(\$325,579)
-----------	-----------	-----------	------------	-------------

IV.5.2.E *Gráfica de sensibilidad del periodo de recuperación, tasa interna de retorno y valor presente neto.*



En la gráfica tenemos la siguientes definiciones:

Series 3 = Período de recuperación en años.

Series 2 = Tasa interna de retorno en %  $\times 10^1$ .

Series 1 = Valor presente neto en \$  $\times 10^5$ .

## CAPÍTULO V

### RESUMEN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En este capítulo se hace un condensado de los objetivos del proyecto, los resultados que se obtuvieron de la evaluación del proyecto y se concluye la viabilidad del mismo.

#### V.1 Resumen del Proyecto y Resultados

A continuación se presenta un formato que sirve para resumir el proyecto, sus objetivos y los estimados financieros. También puede ser utilizado para comparar datos estimados con los actuales durante la evaluación final.

#### DATOS GENERALES

NOMBRE DEL TESISISTA:	Ing. Dagoberto Marin Marin
TITULO DEL PROYECTO:	Evaluación de un proyecto de Reutilización de Agua Tratada en Baños y Riego de Areas Verdes, para la Industria Alimentaria.
ORIGINADOR:	Ing. Dagoberto Marin Marin
DESCRIPCION:	Instalación de Tubería y Sistema hidroneumático para retomo de agua tratada a baños y riego de áreas verdes.

#### 1. DESCRIPCION RESUMIDA

Actualmente el agua recuperada o tratada de la mayoría de las empresas de la Industria Alimentaria se esta descargando directamente al drenaje, por lo que la intención de este proyecto es darle un uso al enviarla a baños y riego de áreas verdes.

#### 2. RESULTADOS A SER OBTENIDOS

##### 2.1 ESTRATEGIAS CLAVE

Utilizar el agua tratada de dos formas:

- 1) Agua tratada con o sin cloro para riego de áreas verdes.
- 2) Agua tratada filtrada y con cloro para baños.

## 2.2 RESULTADOS DEL PROYECTO

Los resultados esperados una vez que el proyecto arranque son:

- 1) Recuperar costos del pago de abastecimiento de agua municipal al utilizar agua tratada (pretratamiento, tratamiento primario y secundario), con lo que se dejarían de consumir 1200 m<sup>3</sup>/mes. Sin embargo a los beneficios que genera el dejar de consumir agua de municipio se le deben restar los costos de operación, mantenimiento y energía que generan el tratar esos 1200 m<sup>3</sup>/mes de agua.
- 2) Darle uso al agua tratada al utilizarla en sanitarios (WC) y mingitorios de baños de oficinas, producción y mantenimiento de una planta alimenticia y al mismo tiempo darle un uso para riego de áreas verdes.

## 3. RESUMEN

### 3.1 SUPOSICIONES CLAVE

Evitar la descarga de agua al drenaje teniendo un ahorro en el costo del pago de abastecimiento de agua municipal.

### 3.2 RIESGOS

Que la calidad del agua no cumpla con las especificaciones o tenga un color desagradable.

Como lo muestra el análisis de sensibilidad desarrollado en el capítulo anterior, si la inversión aumentará en un 40% se tendría un período de recuperación de la inversión de casi 5 años, una TIR del 7.5% y un valor presente neto negativo, por lo que en ese caso podríamos considerar que el proyecto no sería rentable. Por otro lado, si los beneficios o ventas disminuyen en un rango del 20% al 40% tendríamos periodos de recuperación de la inversión de 5 a 8 años, tasas internas de retorno del 0.01% al 6.2% y valores presentes netos negativos lo cuál indicaría que a esas tasas de ventas el proyecto so sería rentable.

## 4. CATEGORIA DE JUSTIFICACION

A. Expansión	
B. Desarrollo de Nuevos Productos	
C. Reducción de Costos	X
D. Apoyo a Instalaciones	
E. Regulatorio	X
F. Otros	

## 5. CLASIFICACIÓN

A. Inversión por Crecimiento	
B. Mantenimiento y Participación en el mercado	
C. Efectivo Generado	X
D. Tanto inversión por crecimiento y/o Efectivo Generado	

## 6. CONDICIÓN

A. Preliminar	
B. Final (Pronóstico)	
C. Final (Substitución)	
D. Final (Nuevo)	X
E. Regular	X
F. Mayor	

## 7. DETALLE DE INVERSIÓN

	INVERSION TOTAL
<b>Descripción</b>	
1. Costo del Equipo	
• Sistema Hidroneumático	\$70,629.97
• Filtro de carbón activado	\$ 1,044.00
• (2) Lámparas de Luz UV	\$19,134.00
• Tanque de almacenamiento	\$99,000.00
2. Costo Construcción	
• Material y mano de obra (Instalación) de accesorios y tubería principal.	\$168,209.29
• Tubería y accesorios no cuantificados (Dentro de baños).	\$33,641.86
• Obra civil (reparación de baños).	\$40,370.23
• Instalación Mecánica y Eléctrica del sistema hidroneumático.	\$11,317.97
• Fabricación e Instalación de techo para cubrir sistema hidroneumático.	\$ 6,209.92
3. Contingencias (10%)	\$44,955.72
4. Inversión Total (1+2+3)	\$494,512.96

## 8. RENDIMIENTOS FINANCIEROS

A.	Período de Recuperación	3 7/12 años
B.	Tasa Interna de Rendimiento	20.5%
C.	Valor Presente Neto	\$159,695 pesos
D.	Período de Recuperación a VPN	4 6/12 años

### VI.2 Conclusiones

El agua es un recurso limitado y por lo tanto, requiere cuidado. El agua se utiliza anualmente en la agricultura, la industria y los servicios municipales, de tal forma que no toda el agua utilizada es tratada por métodos primarios, secundarios y/o terciarios y mucho menos reciclada, por lo que, gran parte del agua se desperdicia ya que no se reutiliza. La escasez creciente del agua, su uso irracional y explotación están siendo un problema prioritario a ser considerado por las nuevas generaciones que habiten este planeta. El agua es indispensable para los seres vivos (plantas, animales y seres humanos) de tal forma que los usos variados del agua pueden generar contaminación y agotamiento de las fuentes del agua causando daño a todos los seres vivos.

El agua puede contraer contaminantes químicos inorgánicos, químicos orgánicos, radionucleidos y microorganismos. Los seres humanos que consumen agua contaminada pueden contraer diversas enfermedades, por lo tanto es indispensable tratar el agua residual para evitar enfermedades.

El tratamiento del agua residual podrá consistir de un pretratamiento, un tratamiento primario, un tratamiento secundario y de ser necesario un tratamiento terciario.

La Comisión Nacional del Agua tiene atribuciones establecidas en la ley de aguas nacionales, el reglamento de la SEMARNAP y las demás disposiciones aplicables. Se encarga de custodiar y administrar las aguas nacionales.

Existen tres normas que deben ser tomadas en cuenta cuando se quiera llevar a cabo un proyecto de reutilización de agua (1) Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, (2) Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996 que establece los límites máximos de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado, y (3) 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.

Es importante recordar que la reutilización del agua es la práctica de recuperar aguas degradadas para emplearlas, luego de aplicarles un nivel de tratamiento adecuado para volver a usarlas en el mismo proceso que las generó.

Para evaluar la rentabilidad del proyecto fue necesario elaborar un estudio técnico, un estudio económico, un análisis financiero y por último un análisis de sensibilidad, con el cuál se determinaron los riesgos de invertir en este proyecto.

De acuerdo con la evaluación del proyecto, se puede concluir que el proyecto es potencialmente rentable, sin embargo, la rentabilidad puede no ser tan buena si se modifican algunos parámetros como son la inversión y los beneficios. La inversión del proyecto a un nivel base se recupera bastante rápido, aún a valor presente neto. La tasa interna de rendimiento a ese nivel es tres veces mayor a los intereses que nos podría dar el banco, por lo que es mejor invertir en este proyecto que tener el dinero en el banco, así mismo el valor presente neto es muy alto.

Sin embargo, el análisis de sensibilidad nos muestra que la inversión en este proyecto tiene algunos riesgos. La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos del análisis de sensibilidad.

<b>Aumento o disminución de la Inversión Base \$494,513</b>					
<b>Método de evaluación</b>	<b>Inversión al 80%</b>	<b>Inversión Base</b>	<b>Inversión al 110%</b>	<b>Inversión al 120%</b>	<b>Inversión al 140%</b>
	<b>\$395,610</b>	<b>\$494,513</b>	<b>\$543,964</b>	<b>\$593,416</b>	<b>\$692,318</b>
Período de Recuperación (años)	2.875	3.583	3.942	4.333	4.992
TIR (%)	35	20.5	18.5	14.5	7.5
VPN (\$)	283,713	159,695	97,056	35,646	(88,322)
<b>Aumento o disminución de los Beneficios Base \$376,150</b>					
<b>Método de evaluación</b>	<b>Beneficio al 120%</b>	<b>Beneficio Base</b>	<b>Beneficio al 90%</b>	<b>Beneficio al 80%</b>	<b>Beneficio al 60%</b>
	<b>\$451,380</b>	<b>\$376,150</b>	<b>\$338,535</b>	<b>\$300,920</b>	<b>\$225,690</b>
Período de Recuperación (años)	2.733	3.583	4.375	5.158	8.200
TIR (%)	38	20.5	13	6.2	0.01
VPN (\$)	401,806	159,695	14,605	(92,456)	(325,579)

De acuerdo con la tabla de resultados, se puede observar que se tiene un mayor riesgo cuando los beneficios o ventas se disminuyen que cuando se aumenta la inversión.

Cuando se disminuye la inversión el proyecto es muy rentable, sin embargo cuando se incrementa la inversión en un 40% el proyecto se consideraría no rentable, por lo tanto ese sería un riesgo del proyecto.

Cuando se aumentan los beneficios en un 20%, el proyecto es muy rentable, sin embargo si los beneficios se disminuyen en un rango del 20 al 40% el proyecto se consideraría no rentable de tal forma que ese sería otro riesgo del proyecto. El riesgo de que el proyecto no sea rentable se presenta cuando la inversión se aumenta en un 40% y/o cuando las ventas (beneficios) se disminuyen en un rango del 20 al 40%.

El proyecto es rentable a flujo contable, de tal forma que si se considerarán flujos a costo de capital el proyecto sería aún más rentable.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alambique (1996), Didáctica de las ciencias experimentales, No. 7.
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) 815-F-00-007. Abril 2000.
- Asano, T. y R.A. Mills (1990). Planning and Analysis for Water Reuse Projects, Journal of the American Water Works Association. Enero 1990.
- Block Stanley, Fundamentos de Administración Financiera, 1a edición, CECSA, 1998.
- CAN (Comisión Nacional del Agua), Función de la Comisión Nacional del Agua, México D.F.
- Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento. Reuso del Agua en el Estado de México, 1993.
- Comisión Federal de Electricidad, Servicio de Agua Potable o negras, de Servicio Público.
- Cotización "Bombas y sistemas S.A. de C.V." México D.F., Junio 2000.
- Cotización "Ingeniería de Proyectos en Plantas de Procesos, S.A. de C.V. México.
- Cotización "Ingeniería y Mantenimiento Industrial S.A. de C.V., México D.F. Junio 2000.
- Cotización "Mekano", Junio 2000.
- D'Angelo, S. (1993). Reusing water in the nineties. Water Environment and Technology, vol 5, no. 2
- Departamento del Distrito Federal, Reuso del Agua en la Ciudad de México, 1990b.
- Evaluación de la Toxicidad de Descargas Municipales. Comisión Nacional del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Noviembre de 1993.
- Estudio de la Desinfección del Efluente Primario Avanzado. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1994-1995.
- Gordon M. Fair, John Ch. Geyer, Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales, Limusa, México, 1988.
- Guía Para el Manejo, Tratamiento y Disposición de Lodos Residuales de Plantas de Tratamiento Municipales. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial. México, 1994

- Kemmer Frank, Manual del Agua su Naturaleza, Tratamiento y aplicaciones, 1a Edición, Mc Graw Hill, 1979.
- Manual para Cálculo de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias, Procedimiento BA9-01-36, ICA Fluor Daniel S. de R.L. de C.V.
- Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse. McGraw-Hill International Editions, Third Edition, USA, 19991.
- Mujeriego, R. (Editor) (1990). Manual Práctico de Riego con Agua Residual Municipal Regenerada. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Munansinghe, M., Water Supply and Environmental Management: Developing World Applications, Westview Press, Boulder, Colorado, 1992.
- Newnham, D.F. (1993). Dual distribution systems. Water Environment and Technology, vol 5, no. 2.
- Norman N Potter, La Ciencia de los Alimentos, Editorial Harla, México, 1978.
- Organización Mundial de la Salud (OMS), Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura, Serie de Informes Técnicos 778., Ginebra, Suiza, 1989.
- Paret, M. y M. Elsner (1993). Reclaimed water perspectives. Water Environment and Technology, vol 5, no. 2.
- Reglamento para la prevención y Control de la Contaminación de Aguas.
- Robert h. Perry, Perry's Chemical Engineer's Handbook, Mc Graw Hill.
- Sistema Nacional de Información Ambiental. Instituto Nacional de Ecología. Norma Oficial NOM-001-ECOL-1997.
- Sistema Nacional de Información Ambiental. Instituto Nacional de Ecología. Norma Oficial NOM-002-ECOL-1997.
- Sistema Nacional de Información Ambiental. Instituto Nacional de Ecología. Norma Oficial NOM-003-ECOL-1997.
- Sistemas Alternativos de Tratamiento de Aguas Residuales y Lodos Producidos. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial. México, 1994.
- Standard Methods for de Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, Water Works Association y Water Pollution, Control Federation.- 13th. Edition
- Tratabilidad del Agua Residual Mediante el Proceso Primario Avanzado. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1994-1995.
- Tesorería del Distrito Federal, Suministro de Agua de Uso no Doméstico.

- Ing. Sergio Zepeda, Manual de Instalaciones Hidráulicas, Editorial LIMUSA, México.
- Kemmer Frank, Manual del Agua su Naturaleza, Tratamiento y aplicaciones, 1a Edición, Mc Graw Hill, 1979.
- Manual para Cálculo de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias, Procedimiento BA9-01-36, ICA Fluor Daniel S. de R.L. de C.V.
- Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse. McGraw-Hill International Editions, Third Edition, USA, 19991.
- Mujeriego, R. (Editor) (1990). Manual Práctico de Riego con Agua Residual Municipal Regenerada. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Munansinghe, M., Water Supply and Environmental Management: Developing World Applications, Westview Press, Boulder, Colorado, 1992.
- Newnham, D.F. (1993). Dual distribution systems. Water Environment and Technology, vol 5, no. 2.
- Norman N Potter, La Ciencia de los Alimentos, Editorial Harla, México, 1978.
- Organización Mundial de la Salud (OMS), Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura, Serie de Informes Técnicos 778., Ginebra, Suiza, 1989.
- Paret, M. y M. Elsner (1993). Reclaimed water perspectives. Water Environment and Technology, vol 5, no. 2.
- Reglamento para la prevención y Control de la Contaminación de Aguas.
- Robert h. Perry, Perry's Chemical Engineer's Handbook, Mc Graw Hill.
- Sistema Nacional de Información Ambiental. Instituto Nacional de Ecología. Norma Oficial NOM-001-ECOL-1997.
- Sistema Nacional de Información Ambiental. Instituto Nacional de Ecología. Norma Oficial NOM-002-ECOL-1997.
- Sistema Nacional de Información Ambiental. Instituto Nacional de Ecología. Norma Oficial NOM-003-ECOL-1997.
- Sistemas Alternativos de Tratamiento de Aguas Residuales y Lodos Producidos. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial. México, 1994.
- Standard Methods for de Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, Water Works Association y Water Pollution, Control Federation.- 13th. Edition
- Tratabilidad del Agua Residual Mediante el Proceso Primario Avanzado. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1994-1995.

- Turk, Wittes (1973). Ecología, Contaminación, Medio-Ambiente, Editorial Interamericana, México.
- United States Environmental Protection Agency and United States Agency for International Development. Manual on Guidelines for Water Reuse, 1992.
- Water Treatment Handbook, 1991. (Manual de tratamiento de agua. Degremont 6ª Edición Vol. I y II. E.U.A.
- William Stevenson. Production/Operations Management. Irwin, 2<sup>nd</sup> Edition, USA.
- Zepeda Sergio, Manual de Instalaciones Hidráulicas, Editorial LIMUSA, México.

- Tesorería del Distrito Federal, Suministro de Agua de Uso no Doméstico.
- Turk, Wittes (1973). Ecología, Contaminación, Medio Ambiente, Editorial Interamericana, México.
- United States Environmental Protection Agency and United States Agency for International Development. Manual on Guidelines for Water Reuse, 1992.
- Water Treatment Handbook, 1991. (Manual de tratamiento de agua. Degremont 6ª Edición Vol. I y II. E.U.A.
- William Stevenson. Production/Operations Management. Irwin, 2<sup>nd</sup> Edition, USA.
- World Bank, 1992.

Tabla 1. Valor presente de una anualidad de \$1, IF vap  $A=R((1-(1/(1+i)^n)/i))$ 

Periodo	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	11%	12%
1	0.980	0.971	0.962	0.952	0.943	0.935	0.926	0.917	0.909	0.901	0.893
2	1.942	1.913	1.886	1.859	1.833	1.808	1.783	1.759	1.736	1.713	1.690
3	2.884	2.829	2.775	2.723	2.673	2.624	2.577	2.531	2.487	2.444	2.402
4	3.808	3.717	3.630	3.546	3.465	3.387	3.312	3.240	3.170	3.102	3.037
5	4.713	4.580	4.452	4.329	4.212	4.100	3.993	3.890	3.791	3.696	3.605
6	5.601	5.417	5.242	5.076	4.917	4.767	4.623	4.486	4.355	4.231	4.111
7	6.472	6.230	6.002	5.786	5.582	5.389	5.206	5.033	4.868	4.712	4.564
8	7.325	7.020	6.733	6.463	6.210	5.971	5.747	5.535	5.335	5.146	4.968
9	8.162	7.786	7.435	7.108	6.802	6.515	6.247	5.995	5.759	5.537	5.328
10	8.983	8.530	8.111	7.722	7.360	7.024	6.710	6.418	6.145	5.889	5.650
11	9.787	9.253	8.760	8.306	7.887	7.499	7.139	6.805	6.495	6.207	5.938
12	10.575	9.954	9.385	8.863	8.384	7.943	7.536	7.161	6.814	6.492	6.194
13	11.348	10.635	9.986	9.394	8.853	8.358	7.904	7.487	7.103	6.750	6.424
14	12.106	11.296	10.563	9.899	9.295	8.745	8.244	7.786	7.367	6.982	6.628
15	12.849	11.939	11.118	10.380	9.712	9.108	8.559	8.061	7.606	7.191	6.811
16	13.578	12.561	11.652	10.838	10.106	9.447	8.851	8.313	7.824	7.379	6.974
17	14.292	13.166	12.166	11.274	10.477	9.763	9.122	8.544	8.022	7.549	7.102
18	14.992	13.754	12.659	11.690	10.828	10.059	9.372	8.756	8.201	7.702	7.250
19	15.678	14.324	13.134	12.085	11.158	10.336	9.604	8.950	8.365	7.839	7.366
20	16.351	14.877	13.590	12.462	11.470	10.594	9.818	9.129	8.514	7.963	7.469
25	19.523	17.413	15.622	14.094	12.783	11.654	10.675	9.823	9.077	8.422	7.843
30	22.396	19.600	17.292	15.372	13.765	12.409	11.258	10.274	9.427	8.694	8.055
40	27.355	23.115	19.793	17.159	15.046	13.332	11.925	10.757	9.779	8.951	8.244
50	31.424	25.730	21.482	18.256	15.762	13.801	12.233	10.962	9.915	9.042	8.304

Tabla 1. (continuación)

Periodo	14%	15%	16%	17%	18%	19%	20%	25%	30%	35%	40%
1	0.877	0.870	0.862	0.855	0.847	0.840	0.833	0.800	0.769	0.741	0.714
2	1.647	1.626	1.605	1.585	1.566	1.547	1.528	1.440	1.361	1.289	1.224
3	2.322	2.283	2.246	2.210	2.174	2.140	2.106	1.952	1.816	1.696	1.589
4	2.914	2.855	2.798	2.743	2.690	2.639	2.589	2.362	2.166	1.997	1.849
5	3.433	3.352	3.274	3.199	3.127	3.058	2.991	2.689	2.436	2.220	2.035
6	3.889	3.784	3.685	3.589	3.498	3.410	3.326	2.951	2.643	2.385	2.168
7	4.288	4.160	4.039	3.922	3.812	3.706	3.605	3.161	2.802	2.508	2.263
8	4.639	4.487	4.344	4.207	4.078	3.954	3.837	3.329	2.925	2.598	2.331
9	4.946	4.772	4.607	4.451	4.303	4.163	4.031	3.463	3.019	2.665	2.379
10	5.216	5.019	4.833	4.659	4.494	4.339	4.192	3.571	3.092	2.715	2.414
11	5.453	5.234	5.029	4.836	4.656	4.486	4.327	3.656	3.147	2.752	2.438
12	5.660	5.421	5.197	4.988	4.793	4.611	4.439	3.725	3.190	2.779	2.456
13	5.842	5.583	5.342	5.118	4.910	4.715	4.533	3.780	3.223	2.799	2.469
14	6.002	5.724	5.468	5.229	5.008	4.802	4.611	3.824	3.249	2.814	2.478
15	6.142	5.847	5.575	5.324	5.092	4.876	4.675	3.859	3.268	2.825	2.484
16	6.265	5.994	5.668	5.405	5.162	4.938	4.730	3.887	3.283	2.834	2.489
17	6.373	6.047	5.749	5.475	5.222	4.988	4.775	3.910	3.295	2.840	2.492
18	6.467	6.128	5.818	5.534	5.273	5.033	4.812	3.928	3.304	2.844	2.494
19	6.550	6.198	5.877	5.584	5.316	5.070	4.843	3.942	3.311	2.848	2.496
20	6.623	6.259	5.929	5.628	5.353	5.101	4.870	3.954	3.316	2.850	2.497
25	6.873	6.464	6.097	5.766	5.467	5.195	4.948	3.985	3.329	2.856	2.499
30	7.003	6.566	6.177	5.829	5.517	5.235	4.979	3.995	3.332	2.857	2.500
40	7.105	6.642	6.233	5.871	5.548	5.258	4.997	3.999	3.333	2.857	2.500
50	7.133	6.661	6.246	5.880	5.554	5.262	4.999	4.000	3.333	2.857	2.500

Tabla 2. Valor presente de \$1, IFvp  $P=S((1/(1+i)^n))$ 

Periodo	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	11%	12%
1	0.980	0.971	0.962	0.952	0.943	0.935	0.926	0.917	0.909	0.901	0.893
2	0.961	0.943	0.925	0.907	0.890	0.873	0.857	0.842	0.826	0.812	0.797
3	0.942	0.915	0.889	0.864	0.840	0.816	0.794	0.772	0.751	0.731	0.712
4	0.924	0.885	0.855	0.823	0.792	0.763	0.735	0.708	0.683	0.659	0.636
5	0.906	0.863	0.822	0.784	0.747	0.713	0.681	0.650	0.621	0.593	0.567
6	0.888	0.837	0.790	0.746	0.705	0.666	0.630	0.596	0.564	0.535	0.507
7	0.871	0.813	0.760	0.711	0.665	0.623	0.583	0.547	0.513	0.482	0.452
8	0.853	0.789	0.731	0.677	0.627	0.582	0.540	0.502	0.467	0.434	0.404
9	0.837	0.766	0.703	0.645	0.592	0.544	0.500	0.460	0.424	0.391	0.361
10	0.820	0.744	0.676	0.614	0.558	0.508	0.463	0.422	0.386	0.352	0.322
11	0.804	0.722	0.650	0.585	0.527	0.475	0.429	0.388	0.350	0.317	0.287
12	0.788	0.701	0.625	0.557	0.497	0.444	0.397	0.356	0.319	0.286	0.257
13	0.773	0.681	0.601	0.530	0.469	0.415	0.368	0.326	0.290	0.258	0.229
14	0.758	0.661	0.577	0.505	0.442	0.388	0.340	0.299	0.263	0.232	0.205
15	0.743	0.642	0.555	0.481	0.417	0.362	0.315	0.275	0.239	0.209	0.183
16	0.728	0.623	0.534	0.458	0.394	0.339	0.292	0.252	0.218	0.188	0.163
17	0.714	0.605	0.513	0.436	0.371	0.317	0.270	0.231	0.198	0.170	0.146
18	0.700	0.587	0.494	0.416	0.350	0.296	0.250	0.212	0.180	0.153	0.130
19	0.686	0.570	0.475	0.396	0.331	0.277	0.232	0.194	0.164	0.138	0.116
20	0.673	0.554	0.456	0.377	0.312	0.258	0.215	0.178	0.149	0.124	0.104
25	0.610	0.478	0.375	0.295	0.233	0.184	0.146	0.116	0.092	0.074	0.059
30	0.552	0.412	0.308	0.231	0.174	0.131	0.099	0.075	0.057	0.044	0.033
40	0.453	0.307	0.208	0.142	0.097	0.067	0.046	0.032	0.022	0.015	0.011
50	0.372	0.228	0.141	0.087	0.054	0.034	0.021	0.013	0.009	0.005	0.003





**Tabla 5. Gasto Probable en Litros por segundo en Función del Número de Unidades Mueble Método de Hunter**

No. de Unid. Mueble	Gastos Probables		No. de Unid. Mueble	Gastos Probables		No. de Unid. Mueble	Gastos Probables	
	Tanque	Válvula		Tanque	Válvula		Tanque	Válvula
1	0.10		80	2.40	3.91	255	4.71	6.43
2	0.15		85	2.48	4.00	260	4.78	4.48
3	0.20	No hay	90	2.57	4.10	265	4.86	6.54
4	0.26	No hay	95	2.68	4.20	270	4.93	6.60
5	0.38	1.51	100	2.78	4.29	275	5.00	6.66
6	0.42	1.56	105	2.88	4.36	280	5.07	6.71
7	0.46	1.61	110	2.97	4.42	285	5.15	6.76
8	0.49	1.67	115	3.06	4.52	290	5.22	6.83
9	0.53	1.71	120	3.15	4.61	295	5.29	6.89
10	0.57	1.77	125	3.22	4.71	300	5.36	6.94
12	0.63	1.86	130	3.28	4.80	320	5.61	7.13
14	0.70	1.95	135	3.35	4.86	340	5.86	7.32
16	0.76	2.03	140	3.41	4.92	360	6.12	7.52
18	0.83	2.12	145	3.48	5.02	380	6.37	7.71
20	0.89	2.21	150	3.54	5.13	400	6.62	7.90
22	0.96	2.29	155	3.60	5.18	420	6.87	8.09
24	1.04	2.36	160	3.66	5.24	440	7.11	8.28
26	1.11	2.44	165	3.73	5.30	460	7.36	8.17
28	1.19	2.51	170	3.79	5.36	480	7.60	8.66
30	1.26	2.59	175	3.85	5.41	500	7.85	8.85
32	1.31	2.65	180	3.91	5.42	520	8.08	9.02
34	1.36	2.71	185	3.98	5.56	540	8.32	9.20
36	1.42	2.78	190	4.04	5.58	560	8.55	9.37
38	1.46	2.84	195	4.10	5.60	580	8.79	9.55
40	1.52	2.90	200	4.15	5.63	600	9.02	9.72
42	1.58	2.96	205	4.23	5.70	620	9.24	9.89
44	1.63	3.03	210	4.29	5.76	640	9.46	10.05
46	1.69	3.09	215	4.34	5.80	680	9.88	10.38
48	1.74	3.16	220	4.39	5.84	700	10.10	10.55
50	1.80	3.22	225	4.42	5.92	720	10.32	10.74
55	1.94	3.35	230	4.45	6.00	740	10.54	10.93
60	2.08	3.47	236	4.50	6.10	760	10.76	11.12
65	2.18	3.57	240	4.54	6.20	780	10.98	11.31
70	2.27	3.66	245	4.59	6.30	800	11.20	11.50
75	2.34	3.78	250	4.64	6.37	820	11.40	11.66