

29  
134



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO Y REUSO  
DE AGUAS RESIDUALES EN CIUDADES MEDIAS**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERO CIVIL**  
P R E S E N T A  
**EDUARDO PELCASTRE TOVAR**

MEXICO, D.F.

1989.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



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.

## INDICE

	Página
<b>I. INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>II. CIUDADES MEDIAS</b>	
II.1 DEFINICION DE CIUDADES MEDIAS	4
II.2 POBLACION ACTUAL Y FUTURA EN CIUDADES MEDIAS	4
II.3 ESTADISTICAS DE COBERTURA DEL SERVICIO DE ALCANTARILLADO.	10
II.4 SITIOS DE DISPOSICION Y POSIBILIDADES DE REUSO.	19
<b>III. LEGISLACION SOBRE DESCARGA Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES</b>	
III.1 LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE Y NORMAS TECNICAS.	32
III.2 REGLAMENTO PARA LA PREVENCION Y CONTROL DE LA -- CONTAMINACION DE AGUAS.	45
<b>IV. ALTERNATIVAS DE REUSO Y DISPOSICION FINAL DE AGUAS RESIDUALES.</b>	
IV.1 CALIDAD MEDIA DE LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES.	53
IV.2 CALIDAD REQUERIDA SEGUN LAS ALTERNATIVAS DE REUSO Y VERTIDO.	62
IV.3 SITIOS DE DISPOSICION O POSIBILIDAD DE REUSO DE AGUAS RESIDUALES EN CIUDADES MEDIAS.	64

<b>V.</b>	<b>ALTERNATIVAS DE PROCESOS DE TRATAMIENTO.</b>	
V.1	PROCESOS DE TRATAMIENTO.	68
V.2	TRENES ALTERNATIVOS DE TRATAMIENTO Y COSTOS - ASOCIADOS.	78
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>	94
<b>ANEXO I.</b>		96
<b>ANEXO II.</b>		108
	<b>Referencias Bibliográficas.</b>	

I. INTRODUCCION

## I. INTRODUCCION.

La naturaleza ha proporcionado noblemente al hombre los elementos que son parte de ella para la supervivencia de éste. Sin embargo, el ser humano no sólo ha usado estos elementos naturales, sino que en su proceso de crecimiento e industrialización hasta ha abusado de ellos, causando daños al ambiente. El tema de la contaminación ambiental ha trascendido la barrera del -- idioma e incluso es considerado en todos los niveles de vida.-- En este sentido, Gianni De Michelis, Viceprimer ministro adjunto de Italia, en una conferencia internacional sobre la contaminación al medio ambiente celebrada en El Cairo, el día 13 de Diciembre de 1988, declaró:

"Pese a las grandes diferencias entre los países - industrializados... y aquellos menos industrializados del sur, todo el mundo está de acuerdo en que\_ tenemos que hacer algo sobre el medio ambiente. Es el único punto en común que tenemos, el tema que - la opinión pública puede usar para obligar a ac---tuar a los políticos".\*

Uno de los elementos del medio ambiente que actualmente se ha\_ convertido en preocupación diaria en las grandes ciudades, como es el caso de México, es el aire. Al respecto, en el ámbito mundial se ha tomado conciencia (obligada, por los efectos que se han producido en algunas ciudades) de conservar la calidad\_ del aire, adoptándose medidas tendientes a reducir la emisión - de contaminantes a la atmósfera.

\* ¡Salven de la contaminación al mediterráneo!  
Diario El Universal. México, D.F. - Miércoles 14 de Diciembre de 1988.

El agua es otro de los elementos, cuya participación en la vida del hombre es de singular importancia, y su contaminación, parte integral de las medidas en la prevención de la contaminación ambiental.

El agua, tanto la de los ríos como la de los océanos, se ha -- considerado tradicionalmente como un medio de evacuación de -- una parte de los desechos de las sociedades humanas. Hasta hace algunos años, los ciclos biológicos del agua aseguraban la reabsorción de tales restos, hasta el punto de que sólo con -- evitar el contacto o utilización de las aguas contaminadas vegetadas, las aguas fluviales y costeras se consideraban naturalmente decantadas y purificadas.

En nuestros días, en el río o en la costa no sólo van a parar restos orgánicos, y de modo relativamente difuso, sino, además de estos restos, masas cada vez más considerables de productos químicos de múltiples efectos nocivos: destructores directos de determinadas formas de vida, causando la muerte masiva de peces, pero asimismo, aniquilando algas y bacterias y, en consecuencia, responsables de bloquear el proceso de biodegradación de agentes contaminantes orgánicos y de otros químicos.

La contaminación de las aguas progresa a un ritmo tal que -- desafía a la imaginación, sin embargo, el hombre además de ser la fuente de contaminación, es también quien ha creado las -- alternativas tecnológicas para el tratamiento de las aguas -- residuales, para que dichas aguas estén en condiciones de volverse a utilizar.

En México, además del Distrito Federal, Guadalajara y Monterrey, que son consideradas como grandes ciudades, debido a su alto índice de población, se han formado otras, que aún cuando son menores, su potencial de recursos ha sido tal que han presentado un crecimiento sostenido en los últimos años, razón -- por la cual es digno tomar en cuenta sus requerimientos de servicios, así como prevenir la contaminación que se pueda causar al ambiente, para estar en condiciones de forjar ciudades -- correctamente planeadas. Estos núcleos de población, dadas sus características, son consideradas como Ciudades Medias.

Dado lo anterior, en el presente trabajo se indican todas aquellas ciudades que son consideradas como medias, la cobertura -- de sus sistemas de captación de aguas residuales, las alternativas de reuso y disposición final de dichas aguas, así como -- las alternativas de procesos de tratamiento de éstas. Asimismo, se propone un sistema de tratamiento de las aguas de desecho -- para cada una de estas ciudades, tomando en cuenta las posibilidades de reuso en cada localidad y el factor económico, resultado de un análisis comparativo de costos de los distintos sistemas de tratamiento presentados. Al respecto, cabe aclarar que los costos, en este sentido, son decisivos en la adopción -- de un sistema de tratamiento de aguas residuales.



**II. CIUDADES MEDIAS.**

**II.1 DEFINICION DE CIUDADES MEDIAS.**

**II.2 POBLACION ACTUAL Y FUTURA EN CIUDADES MEDIAS.**

**II.3 ESTADISTICAS DE COBERTURA DEL SERVICIO DE ALCANTARILLADO.**

**II.4 SITIOS DE DISPOSICION Y POSIBILIDADES DE REUSO.**

## II. CIUDADES MEDIAS

### II.1 DEFINICION DE CIUDADES MEDIAS

Ciudades Medias son aquellas favorables para alojar el futuro crecimiento demográfico y económico del país, en razón de que cuentan con recursos suficientes para propiciar la producción y los servicios, con población entre cien mil y un millón de habitantes para 1987.

En el grupo de localidades medias encontramos los 51 centros de población más importantes del país, sin considerar las zonas metropolitanas del D.F., Guadalajara y Monterrey.

En el cuadro II.2.1 se indica la relación de Ciudades Medias del país.

### II.2 POBLACION ACTUAL Y FUTURA EN CIUDADES MEDIAS.

En las Ciudades Medias habita el 23.1% de la población nacional, presentando una tasa de crecimiento promedio anual del 5.67% en el período 1980-1987.

Tradicionalmente las localidades que presentan niveles elevados, tanto en aspectos de ingreso, distribución de la riqueza como infraestructura económica e industrial, son las que cuentan en consecuencia con mayores niveles de servicio, primeramente por que tienen capacidad suficiente de pago, para

desarrollar las obras necesarias.

En segundo lugar, el tipo de actividad económica preponderante en la localidad, es asimismo, un factor importante, ya -- que define sus bases económicas y características de empleo\_ en la localidad, es decir, una localidad orientada en la - - actividad industrial, aparte de tener un mayor nivel económi\_ co, tiene una mayor absorción de mano de obra, por lo que -- concentra mayor número de habitantes, a la vez que exige un\_ mayor nivel de servicios (Cuadro II.2.1)

Cuadro II.2.1

## "POBLACION ACTUAL Y FUTURA EN CIUDADES MEDIAS"

ESTADO	LOCALIDAD	CRECIMIENTO (%)			POBLACION (Miles de habitantes).			
		1988	1994	2000	1987	1988	1994	2000
AGUASCALIENTES	AGUASCALIENTES	3.67	3.63	3.55	355.7	368.8	456.8	563.2
B. C. NORTE	ENSENADA	4.42	4.21	3.79	147.5	154.0	197.2	246.5
	MEXICALI	4.42	4.21	3.79	434.0	453.2	580.4	725.5
	TIJUANA	4.42	4.21	3.79	569.8	595.0	762.0	952.6
B. C. SUR	LA PAZ	4.21	4.08	3.70	115.9	120.8	153.6	191.0
CAMPECHE	CAMPECHE	4.26	4.15	3.83	155.1	161.7	206.4	258.6
CHIAPAS	TAPACHULA	2.57	2.54	2.15	100.5	103.1	119.8	136.1
	TUXTLA GUTIERREZ	2.57	2.54	2.15	155.4	159.4	185.3	210.5
CHIHUAHUA	CHIHUAHUA	2.97	2.82	2.45	473.6	487.7	576.3	666.4
	CIUDAD JUAREZ	2.97	2.82	2.45	668.8	688.7	813.8	941.0
COAHUILA	SALTILLO	3.12	3.13	2.75	352.1	363.1	436.9	514.1
	MONCLOVA	3.12	3.13	2.75	182.1	187.8	225.9	265.8
COLIMA	COLIMA	3.55	3.62	3.50	123.2	127.6	157.9	194.1
DURANGO	DURANGO	3.10	3.01	2.64	314.8	324.6	387.8	453.4

ESTADO	LOCALIDAD	CRECIMIENTO (%)			POBLACION (Miles de Habitantes).			
		1988	1994	2000	1987	1988	1994	2000
GUANAJUATO	CELAYA	3.02	2.98	2.89	196.8	202.7	241.8	286.9
	IRAPUATO	3.02	2.98	2.89	212.8	219.2	261.4	310.1
	LEON	3.02	2.98	2.89	751.4	774.1	923.2	1095.3
	SALAMANCA	3.02	2.98	2.89	134.4	138.5	165.2	196.0
GUERRERO	ACAPULCO	2.78	2.73	2.62	391.3	402.2	472.7	552.0
HIDALGO	PACHUCA	2.85	2.84	2.21	132.8	136.6	161.6	184.2
MEXICO	TOLUCA	4.33	4.24	3.61	267.1	287.7	357.6	442.4
MICHOACAN	MORELIA	3.14	3.11	3.03	372.5	384.2	461.7	552.3
	URUAPAN	3.14	3.11	3.03	156.4	161.3	193.8	231.8
	ZAMORA	3.14	3.11	3.03	108.2	111.6	134.1	160.4
MORELOS	CUERNAVACA	4.14	4.09	3.83	306.7	319.4	406.2	509.0
NAYARIT	TEPIC	3.50	3.41	3.11	177.9	184.1	225.1	270.5
OAXACA	OAXACA	1.90	1.87	1.80	187.7	191.3	213.8	238.0
PUEBLA	PUEBLA	3.57	3.51	0.88	1006.2	1042.1	1281.7	1350.9

ESTADO	LOCALIDAD	CRECIMIENTO (%)			POBLACION (Miles de Hab.)			
		1988	1994	2000	1987	1988	1994	2000
QUERETARO	QUERETARO	4.29	4.20	3.92	307.3	320.5	410.2	516.6
SAN LUIS POTOSI	CIUDAD VALLES	2.99	2.94	2.72	133.3	137.3	163.4	191.9
	SAN LUIS POTOSI	2.99	2.94	2.72	496.0	510.8	607.8	714.0
SINALOA	CUI.TACAN	4.06	4.18	4.33	392.8	408.7	522.5	673.8
	MAZATLAN	4.06	4.18	4.33	253.5	263.8	337.3	435.0
	MOCHILS	4.06	4.18	4.33	156.0	162.3	207.5	267.6
SONORA	HERMOSILLO	3.46	3.01	3.55	356.2	368.5	440.3	542.8
	CIUDAD OBREGON	3.46	3.01	3.55	209.7	217.0	259.3	319.7
TABASCO	VILLAHERMOSA	3.86	3.13	2.82	202.9	210.7	253.5	299.5
TAMPICO	TAMPICO	4.29	4.17	3.77	576.9	601.6	768.7	959.8
	REYNOSA	4.29	4.17	3.77	248.9	259.6	331.7	414.2
	MATAMOROS	4.29	4.17	3.77	232.2	242.2	309.5	386.4
	NUEVO LAREDO	4.29	4.17	3.77	250.6	261.4	334.0	417.0
	CIUDAD VICTORIA	4.29	4.17	3.77	171.8	179.2	229.0	285.9
VERACRUZ	COATZACOALCOS	2.91	2.74	2.53	158.5	163.1	191.8	222.8
	CORDOBA	2.91	2.74	2.53	120.7	124.2	146.1	169.7

ESTADO	LOCALIDAD	CRECIMIENTO (%)			POBLACION (Miles de Hab.)			
		1988	1994	2000	1987	1988	1994	2000
	JALAPA	2.91	2.74	2.53	255.8	263.2	309.5	359.6
	MINATITLAN	2.91	2.74	2.53	131.6	135.4	159.2	184.9
	ORIZABA	2.91	2.74	2.53	128.6	132.3	155.6	180.8
	POZA RICA	2.91	2.74	2.53	207.4	213.4	251.0	291.6
	VERACRUZ	2.91	2.74	2.53	341.8	351.7	413.6	480.5
YUCATAN	MERIDA	2.16	2.17	2.09	465.0	475.0	540.3	611.7
ZACATECAS	ZACATECAS	3.23	3.20	3.10	130.0	134.2	162.1	194.7

Fuente: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos  
Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica - Coordinación Regional de Infraestructura  
Hidráulica del Centro.

### II.3 ESTADISTICAS DE COBERTURA DEL SERVICIO DE ALCANTARILLADO.

Respecto a la cobertura del servicio de alcantarillado, se observan muy bajos porcentajes, encontrándose 21 Estados que están -- por debajo de la media nacional (48.7%). Existen casos críticos, como los Estados de Zacatecas, Chiapas y Oaxaca con niveles de -- cobertura del 21.42%, 23.27% y 24.06%, respectivamente. Estos -- también son Estados con mayores dificultades para la atención de este servicio. En 1987, se observaron niveles de cobertura similares a los de 1980 que no se han superado. (Figura II.3.1)

Como se mencionó anteriormente, la cobertura del servicio de -- alcantarillado es del 48.7%, a nivel nacional; si bien es cierto que esta cobertura no manifiesta a simple vista el desequilibrio que existe entre las áreas urbanas y las rurales. De hecho, es -- mayor la problemática si se distingue entre la población urbana -- y rural: en donde se cubre el 64.4% para la primera y sólo el -- 9.0% para la segunda en materia de alcantarillado sanitario. -- (Figura II.3.2).

**Figura II.3.2**  
DISTRIBUCION DE LOS SERVICIOS DE ALCANTARILLADO EN EL PAIS,  
DE LA POBLACION URBANA Y RURAL (1987)

P O B L A C I O N		COBERTURA %
URBANA	CON D.F.	64.4
	SIN D.F.	60.0
	D.F.	
RURAL		9.0
<b>TOTAL NACIONAL</b>		<b>48.7</b>

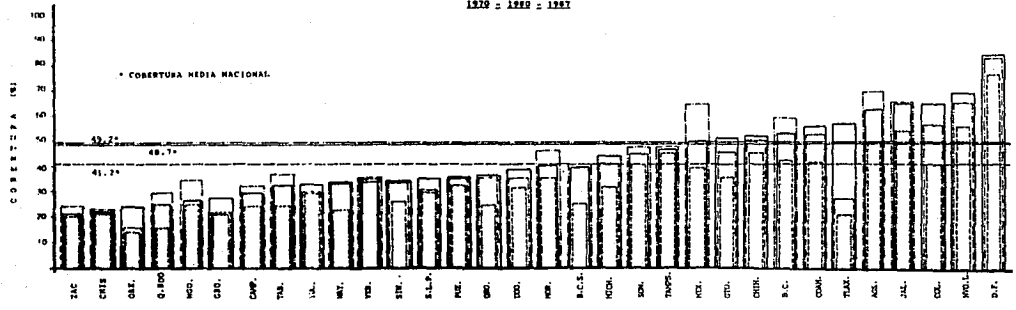
FUENTE: Programas Estatales de Agua Potable y Alcantarillado 1966-1988, Delegaciones SEDUE y Gobiernos de los Estados.



Figura 11.3.1

COBERTURA DE SERVICIOS DE ALCANTARILLADO POR ENTIDAD FEDERATIVA

1970 - 1980 - 1987



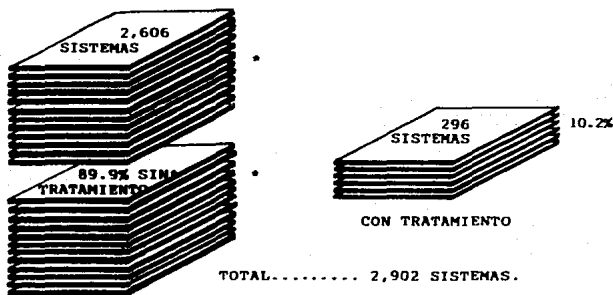
FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DE SERVICIOS Y VIVIENDA. ESTADÍSTICAS DE SERVICIOS DE ALCANTARILLADO - RELACIONES ENTRE Y CLASIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS

El Distrito Federal por ser la ciudad urbana más grande del país y con mayor nivel de servicios, genera un impacto en la cobertura de alcantarillado a nivel nacional de gran magnitud. En el estrato urbano del 60% sin el D.F., se incrementa con su participación al 64.4%.

Para 1985, existían 2,902 sistemas de alcantarillado, de los cuales sólo el 10.2% contaba con algún tipo de tratamiento y de éste el 42% requiere rehabilitarse (Figura II.3.3); lo que quiere decir que además de ser poca la infraestructura de tratamiento, un alto porcentaje de la existente se encuentra en mal estado o incluso sin funcionar. Lo anterior, presenta un panorama alarmante. Si aunado a esto, consideramos que la mayoría de las plantas de tratamiento existentes se encuentran en localidades menores de 15,000 habitantes, este problema se agrava, ya que las localidades mayores de 15,000 habitantes son las que más efluentes contaminantes generan.

Figura II.3.3

CALIDAD DE LOS SERVICIOS DE ALCANTARILLADO



A nivel regional se encuentran situaciones diversas que provocan desequilibrios en los niveles de servicio de alcantarillado. Se puede mencionar que la región centro del país es la que mayor cobertura del servicio presenta, debido, desde luego, a que en ella se encuentra el D.F. y a la cercanía que los Estados que la integran tienen con éste.

La región norte aparece en segundo término en relación con la cobertura del servicio, como consecuencia de ser una región con alta capacidad económica y atender más fácilmente sus necesidades.

La región sur integra a los Estados con menor nivel de servicio de alcantarillado, debido a que en su gran mayoría se encuentran alejados de la capital del país y tienen una economía eminentemente rural, orientada al autoconsumo para la subsistencia de su población y no así, para la industrialización, como sucede en la región norte.

En relación con los planes de desarrollo, se han tenido serias desviaciones en el cumplimiento de sus políticas y objetivos, -- causados éstos por el alto crecimiento urbano y poblacional, que no se ha regido por los planes, sino que ha sido de una manera anárquica; ocasionando ésto deficiencias para la atención del -- servicio de alcantarillado requerido, aumentando los rezagos.

En las ciudades medias la cobertura del servicio de alcantarillado en la década de 1970 a 1980 tuvo un incremento sustancial, -- lo que no sucedió de 1980 a 1987. En esta década la tendencia de la cobertura es decreciente, ya que pasó del 75.9% al 68.0%, como lo muestra la Figura II.3.4.

Lo anterior implica que, de mantener la misma política de inversión para el año 2000, la cobertura de alcantarillado sería del\_

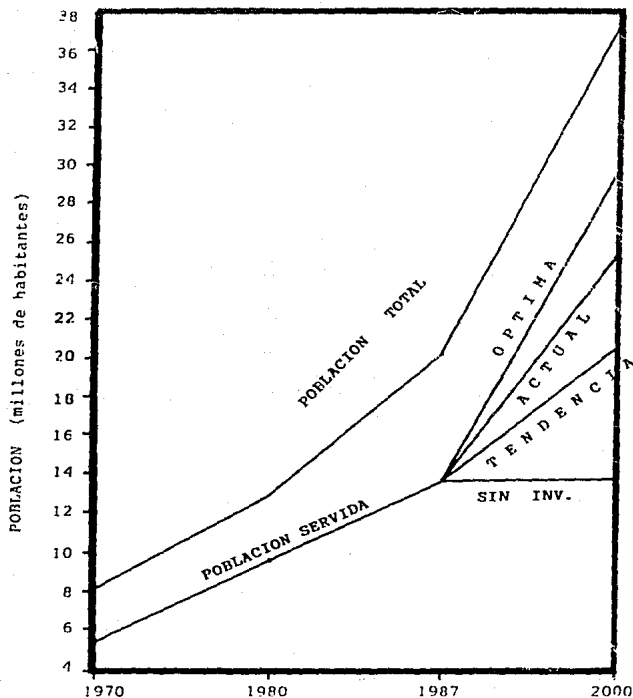
Figura II.3.4  
DISTRIBUCION DEL SERVICIO DE ALCANTARILLADO EN EL PAIS  
POR TIPO DE LOCALIDAD  
1970, 1980 y 1987

TIPO DE LOCALIDAD	POBLACION (MILES)			PARTI- CIPA- CION %	COBERTURA %		
	1970	1980	1987		1970	1980	1987
ZONAS METROPOLITANAS: MEXICO, - MONTERREY Y GUADAJALAJARA.	11641.8	18113.9	25283.7	28.7	75.8	81.0	82.7
CIUDADES MEDIAS	8109.4	12866.7	20231.3	23.1	67.2	75.9	68.0
CENTROS DE APOYO. LOCALIDADES DE 50,000 A 100,000 HAB. A 1987.	603.1	949.5	1371.0	1.6	80.0	67.1	63.8
LOCALIDADES MENORES DE 50,000 HAB. A 1987.	27870.9	34435.8	40985.2	46.6	18.3	22.3	17.6
NACIONAL	48225.2	66365.9	87971.2	100.0	41.2	49.2	48.7

FUENTE: Centros de Población y Vivienda.  
Programas Estatales de Mediano Plazo 1986-1988.  
Delegaciones SEDUE y Gobiernos de los Estados.

55.4%, como se muestra en la figura II.3.5; esto sin considerar el deterioro de la infraestructura existente y el daño que para el año 2000 aumentará sobre todo en sistemas viejos que actualmente funcionan con problemas críticos, lo que ocasionará que -

Figura II.3.5  
TENDENCIA DE LAS COBERTURAS  
EN CIUDADES MEDIAS



AÑO	POBLACION TOTAL		POBLACION SERVIDA		
	TENDENCIA	ACTUAL	OPTIMA	SIN INV.	
1970	8.1	5.4	5.4	5.4	5.4
1980	12.9	9.8	9.8	9.8	9.8
1987	20.3	13.8	13.8	13.8	13.8
2000	37.0	20.5	25.2	29.6	37.0

sistemas integrales dejen de funcionar. Considerando sólo estos dos factores se torna serio el problema y digno de tomar en cuenta con acciones más concretas.

Dado que la cobertura en los últimos 7 años, en materia de alcantarillado, ha presentado decrementos y desequilibrios por Estado como por tipo de población (urbano y rural), la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología ha presentado objetivos de planeación al respecto. En la figura II.3.5 se muestra una alternativa de crecimiento de la cobertura para la población urbana y rural. Esta alternativa supone que los Estados de menor cobertura -- crecerán a mayor ritmo que los demás pero nunca se perderá el equilibrio de crecimiento. Lo anterior, desde luego, responde a un crecimiento factible por los costos de inversión, con un reparto equitativo de la inversión con participación federal y buscando que las ciudades mayores obtengan recursos por fuentes crediticias.

Figura II.3.6

COBERTURAS OBJETIVO

TIPO	POBLACION %		COBERTURA %	
	AÑO 1987	AÑO 2007	ACTUAL	OBJETIVO 2007
URBANA	71.7	80.0	64.4	80.0
RURAL	28.3	20.0	9.0	20.0
NACIONAL	100.0	100.0	48.7	68.0

Para definir las coberturas objetivo al año 2007, se consideró que para este año se espera que el 80% de la población del país esté asentada en localidades urbanas y

el 20 % en localidades rurales, presentando coberturas objetivo por tipo de localidad con viabilidad de alcanzar, según se muestra en la figura II.3.6.

A continuación se muestra gráficamente las coberturas actual y objetivo al año 2007, así como la población atendida. (Figs. - II.3.7 y II.3.8)

Figura II.3.7

COBERTURAS ACTUALES

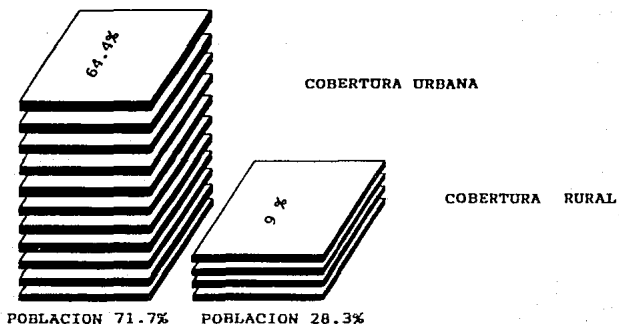
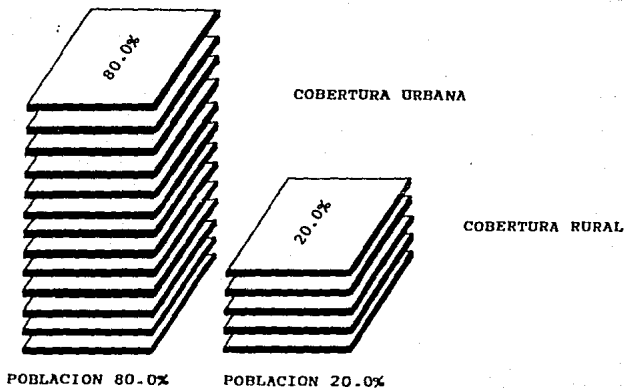


Figura II.3.8  
COBERTURAS OBJETIVO





#### II.4 SITIOS DE DISPOSICION Y POSIBILIDADES DE REUSO.

El problema de disponer de las aguas negras ha ido imponiéndose debido al uso del agua para recoger y arrastrar los productos de desecho de la vida humana. Antes de esto, los volúmenes de desecho, sin que el agua sirviese de vehículo, eran muy pequeños y su eliminación se limitaba a los excrementos familiares o individuales. El primer método consistía en dejar los de sechos corporales y las basuras en la superficie de la tierra, en donde eran gradualmente degradados por las bacterias (principalmente del tipo anaerobio). Esto originaba la producción de olores ofensivos. Después, la experiencia demostró que si estos desechos eran enterrados prontamente, se prevenía el desarrollo de tales olores. La siguiente etapa consistió en ente rrar los desechos de excrementos, que actualmente aún se practica en algunas localidades de nuestro país.

Con el desarrollo de los suministros de agua a las poblaciones y el uso del agua para arrastrar o transportar los desechos ca seros, se hizo necesario encontrar métodos para disponer no so lamente de los desechos mismos, sino para el agua portadora. - Se emplearon para ello los tres métodos posibles: irrigación, - disposición subsuperficial y dilución.

A medida que fue creciendo la población urbana, con el proporcional aumento de volumen de aguas negras y desechos orgáni---cos, resultó que todos los métodos de disposición eran tan poco satisfactorios que se hizo imperativo tomar medidas esencia les para remediarlos y se inició el desarrollo de los métodos de tratamiento, antes de la disposición final de las aguas negras. A continuación se explican los métodos de disposición --mencionados en el párrafo anterior:

**a) Disposición por irrigación.**

Consiste en derramar las aguas negras sobre la superficie del terreno, lo cual se hace generalmente mediante zanjas de regadío. Excluyendo una pequeña parte que se evapora, el resto se resume en la tierra y suministra humedad, así como pequeñas cantidades de ingredientes fertilizantes para la vida vegetal. Este método sólo es aplicable a pequeños volúmenes de aguas negras provenientes de poblaciones relativamente pequeñas en las que se dispone de la superficie necesaria. Su mejor aplicación es para las zonas áridas o semiáridas en las que tiene especial valor la humedad agregada al suelo. Si se cultivan las zonas de disposición, deben excluirse de los drenajes los desechos industriales que pudiesen ser tóxicos o impedir el desarrollo de la vegetación.

**b) Disposición subsuperficial.**

Este método consiste en hacer llegar las aguas negras a la tierra por debajo de su superficie, a través de excavaciones o enlozados. Usualmente así sólo se eliminan las aguas negras sedimentadas provenientes de instituciones o residencias en las que su volumen es muy limitado.

**c) Disposición por dilución.**

Este método consiste simplemente en descargar las aguas negras en aguas superficiales como las de un río, un lago o un mar. Esto da lugar a la contaminación del agua receptora. El grado de contaminación depende de la dilución, o sea del volumen de las aguas negras y de su composición, en comparación -

con el volumen de agua con que se mezclan. Cuando es pequeño el volumen de las aguas negras y su contenido orgánico, en comparación con el volumen del agua receptora, el oxígeno disuelto presente en el agua receptora es suficiente para que se produzca la descomposición aerobia de los sólidos orgánicos de las aguas negras, no desarrollándose condiciones molestas. Sin embargo, aunque las aguas receptoras mantengan su condición aerobia, la contaminación bacteriana si que siendo una amenaza para la salud, y si no se eliminan de las aguas negras los sólidos flotantes, éstos serán una evidencia de la contaminación.

En los casos en que el oxígeno disuelto del agua receptora no sea suficiente para mantener la descomposición aerobia, tendrá lugar la descomposición anaerobia y la putrefacción, resultando de esto condiciones indeseables. No es precisamente el volumen de aguas negras lo que puede considerarse como valor crítico, sino más bien la cantidad de materia orgánica de fácil descomposición que contengan las aguas negras. Por esto es que un determinado volumen de aguas negras que han sido tratadas para disminuir o eliminar su materia orgánica, puede descargarse en una superficie de agua natural sin crear condiciones indeseables, mientras que el mismo volumen de aguas negras crudas o sin tratar podrían producir molestias. El factor determinante es el oxígeno disuelto que contenga el agua receptora.

En relación con los sitios de disposición en ciudades medias, se puede decir que el 71% corresponde a corrientes, el 21% se descarga al mar y el 8% en acuíferos. (Figura II.4.2)

Es decir, de los 51 centros de población que constituyen las ciudades medias del país, 38 de ellas descargan sus aguas residuales en corrientes, 11 lo hacen al mar y 8 en acuíferos; pre

sentándose en algunos casos (Coatzacoalcos y Campeche), el - -  
vertido de aguas residuales en más de un cuerpo receptor, se--  
gún se muestra en el Cuadro II.4.1.

Cuadro II.4.1

SITUACION ACTUAL DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO, SITIOS DE DISPOSICION  
Y REJOS DE AGUAS RESIDUALES

CIUDAD	TIPO DE SISTEMA		NIVEL SERV. %	GASTO DESCARGADO L.P.S.	CAUDAL TRATADO L.P.S.	CUERPO RECEPTOR				R E U S O			
	SEPARADO	MIXTO				CORRIEN TE.	LAGU NA.	ACUIFE RO.	MAR	R I E G O		IND. m <sup>3</sup> /s	MUNICIP. m <sup>3</sup> /s
	%	%								VOL., m <sup>3</sup>	Has.		
AGUASCALIENTES	80.0	20.0	80.0	1275.0	0.0	1	0	0	0	40	1400	0.0	0.0
TIJUANA	0.0	100.0	53.0	1200.0	1000.0	0	0	0	1	0	0	0.0	0.0
MEXICALI	85.0	15.0	90.0	1773.0	1773.0	1	0	0	0	3	80	0.0	0.0
ENSENADA	100.0	0.0	70.0	271.0	100.0	0	0	0	1	32	100	0.0	0.0
LA PAZ	100.0	0.0	80.0	239.0	185.0	0	0	0	1	3	100	0.0	0.0
CAMPECHE	0.0	0.0	0.0	285.9	0.0	0	0	1	1	0	0	0.0	0.0
TUXTLA GUTZ.	100.0	0.0	80.0	650.0	333.0	1	0	0	0	0	0	0.0	0.0
TAPACHULA	100.0	0.0	40.0	280.0	25.0	1	0	0	0	0	0	0.0	0.0
CIUDAD JUAREZ	0.0	100.0	41.0	1418.0	0.0	1	0	0	0	1418	0	0.0	0.0
CHIHUAHUA	0.0	0.0	65.0	2550.0	0.0	1	0	0	0	580	250	0.0	0.0
SALTILLO	0.0	10.0	90.0	70.0	0.0	1	0	0	0	0	0	0.0	0.0
MONTELOVA	0.0	10.0	73.0	300.0	0.0	1	0	0	0	0	0	0.0	0.0
COLIMA	100.0	0.0	85.0	850.0	0.0	1	0	0	0	26	0	0.0	0.0
DURANGO	0.0	0.0	0.0	627.9	0.0	1	0	0	0	0	0	0.0	2.020
LEON	20.0	80.0	70.0	1500.0	0.0	1	0	0	0	0	0	0.0	0.0

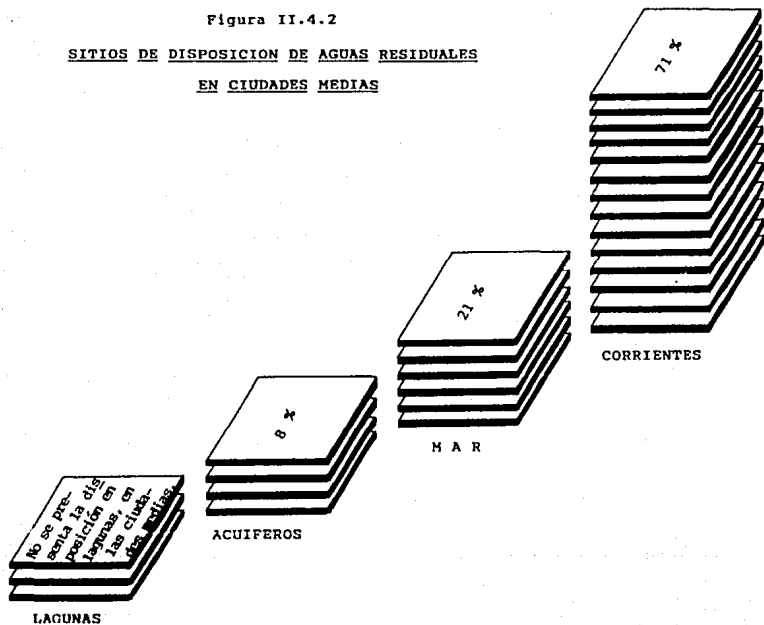
CIUDAD	TIPO DE SISTEMA		NIVEL. SERV. %	GASTO DESCARGADO L.P.S.	CAUDAL TRATADO L.P.S.	CUERPO RECEPTOR				REUSO			MUNICIPAL m <sup>3</sup> /s
	SEPARADO %	MIXTO %				CORRIEN-TE.	LAGU-NA.	ACUI-FERO.	MAR	RIEGO		IND. m <sup>3</sup> /s	
										VOL. m <sup>3</sup>	Has.		
TRAHUATO	90.0	10.0	80.0	600.0	0.0	1	0	0	0	20	600	0.0	0.0
CELAYA	60.0	40.0	80.0	700.0	0.0	1	0	0	0	0	600	0.0	0.0
SAJAMANCA	0.0	100.0	85.0	416.0	210.0	1	0	0	0	5	372	0.160	0.0
ACAPULCO	100.0	0.0	45.0	900.0	0.0	0	0	0	1	0	0	0.0	0.0
PACHUCA	0.0	100.0	65.0	215.0	0.0	1	0	0	0	7	0	0.0	0.0
TOLUCA	80.0	20.0	75.0	600.0	0.0	1	0	0	0	0	300	0.0	0.0
MORELIA	85.0	15.0	80.0	950.0	0.0	1	0	0	0	0	0	0.0	0.0
URUAPAN	0.0	100.0	65.0	730.0	0.0	1	0	0	0	23	0	0.0	0.0
ZAMORA	60.0	40.0	80.0	320.0	0.0	1	0	0	0	0	0	0.0	0.0
CUERNAVACA	20.0	80.0	70.0	1380.0	200.0	1	0	0	0	0	0	0.0	0.0
TEPIC	100.0	0.0	75.0	463.0	0.0	1	0	0	0	0	0	0.0	0.0
OAXACA	0.0	100.0	60.0	480.0	24.0	1	0	0	0	0	0	0.0	0.0
PUEBLA	70.0	30.0	80.0	3000.0	0.0	1	0	0	0	95	0	0.0	0.0
QUERETARO	30.0	70.0	80.0	820.0	0.0	1	0	0	0	25	1150	0.0	0.0
SAN LUIS POTOSI	0.0	0.0	80.0	1086.0	0.0	1	0	0	0	1000	0	0.0	0.0
CIUDAD VALLES	100.0	0.0	40.0	160.0	0.0	1	0	0	0	0	0	0.0	0.0
CULIACAN	100.0	0.0	85.0	1100.0	0.0	1	0	0	0	0	0	0.0	0.0
NAZATLAN	100.0	0.0	80.0	780.0	0.0	0	0	0	1	0	0	0.0	0.0
MOCHIS	100.0	0.0	85.0	630.0	0.0	0	0	0	1	0	0	0.0	0.0

CIUDAD	TIPO DE SISTEMA		NIVEL SERV. %	GASTO DESCARGADO L.P.S.	CAUDAL TRATADO L.P.S.	CUERPO RECEPTOR				R E U S O			
	SEPARADO %	MIXTO %				CORRIENTE.	LAGUNA.	ACUI-FERO.	MAR	R I E G O		IND. m <sup>3</sup> /s	MUNICIPAL m <sup>3</sup> /s
										VOL. m <sup>3</sup>	Has.		
HERMOSILLO	100.0	0.0	70.0	1200.0	0.0	1	0	0	0	19	600	0.0	0.0
CD. OBREGON	100.0	0.0	71.0	563.0	507.0	1	0	0	0	0	0	0.0	0.0
VILLAHERMOSA	100.0	0.0	60.0	1108.9	125.0	1	0	0	0	0	0	0.0	0.0
TAMPICO	0.0	0.0	58.0	80.0	1.0	0	0	0	1	0	0	0.0	0.0
REYNOSA	0.0	0.0	70.0	703.0	0.0	1	0	0	0	22	0	0.0	0.0
MATAMOROS	0.0	0.0	50.0	500.0	0.0	1	0	0	0	0	0	0.0	0.0
NUEVO LAREDO	0.0	0.0	60.0	825.9	0.0	1	0	0	0	0	0	0.0	0.0
CIUDAD VICTORIA	0.0	0.0	68.0	421.0	0.0	0	0	1	0	13	0	0.0	0.0
COATZACOALCOS	100.0	0.0	0.0	330.9	0.0	0	0	1	1	0	0	0.0	0.0
CORDOVA	0.0	100.0	50.0	414.9	0.0	1	0	0	0	0	0	0.0	0.0
MINATITLAN	0.0	100.0	60.0	184.9	0.0	1	0	0	0	0	0	0.0	0.0
JALAPA	0.0	0.0	0.0	818.9	0.0	0	0	0	1	0	0	0.0	0.0
POZA RICA	100.0	0.0	30.0	495.9	0.0	1	0	0	0	0	0	0.0	0.0
VERACRUZ	20.0	80.0	70.0	1400.0	0.0	0	0	0	1	0	0	0.0	0.0
ORIZABA	0.0	100.0	50.0	864.9	0.0	1	0	0	0	0	0	0.0	0.0
MERIDA	100.0	0.0	20.0	1477.9	60.0	0	0	1	0	0	0	0.0	0.0
ZACATECAS	0.0	0.0	85.0	408.0	0.0	1	0	0	0	408	204	0.0	0.0

Fuente: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos - Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica.  
 Diagnóstico de la Problemática de Abastecimiento de Agua Potable a las Principales Ciudades -  
 del País.

Figura II.4.2

SITIOS DE DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES  
EN CIUDADES MEDIAS





Del total del gasto descargado de aguas negras ( $40.42 \text{ m}^3/\text{s}$ ), el caudal tratado ( $4.64 \text{ m}^3/\text{s}$ ), representa el 11.5% de las aguas -- residuales.

En las ciudades medias, las aguas residuales se utilizan para -- regar 5,756 Hectáreas, lo cual representa un volumen de agua de  $3,739 \text{ m}^3$  destinado a riego; asimismo, son aprovechados  $2.02 \text{ m}^3/\text{s}$  para reuso municipal.

### POSIBILIDADES DE REUSO.

Las Ciudades Medias, como ya se mencionó en este capítulo, --  
reunen características favorables para alojar el futuro creci-  
miento demográfico y económico del país, por ende, estas ciuda  
des deberán contar con los recursos que demanda la población -  
para su subsistencia e incremento de su calidad de vida. Para\_  
ello es necesario proteger y aprovechar al máximo los recursos  
que la naturaleza ha brindado al hombre para vivir. Uno de es-  
tos recursos es el vital líquido comúnmente conocido como --  
agua.

En épocas recientes, no solamente es necesario tener concien-  
cia del ahorro de agua por parte de los usuarios, sino que ade  
más, ya es necesaria su reutilización. En este sentido, cabe -  
mencionar que el hecho de reusar agua, implica una serie de --  
situaciones que limitan esta acción, y que si bien es posible,  
desde un punto de vista netamente técnico, obtener a partir de  
aguas residuales, un agua que satisfaga todos los requerimien-  
tos para ser considerada como agua potable, también es cierto\_  
que se rechazará por cualquier comunidad la sola idea de consu  
mir agua que originalmente haya sido de desecho, y que además\_  
es necesario considerar el aspecto económico, es decir, de los  
costos, que seguramente resultan mucho mayores para el caso de  
aguas residuales tratadas, hasta el punto en que puedan ser --  
consideradas potables.

La situación imperante en nuestro país, en relación al reuso -  
de las aguas no se puede afirmar que sea crítica, ya que en --  
los últimos años ha crecido en forma significativa el interés\_  
por reutilizar las aguas servidas, debido al incremento pobla-

cional y a la escasez del líquido.

A continuación se presentan las distintas opciones de reuso -- del agua:

#### 1. REUSO MUNICIPAL.

El riego de parques y jardines se ha convertido en el uso más frecuente, dentro de las ciudades, para las aguas tratadas, así como también ciertos usos con fines recreativos.

A la fecha, el estudio de emplear el agua servida como --- fuente de consumo humano, se encuentra en etapa experimental, aún cuando se cuenta con la suficiente experiencia y tecnología para hacer factible esta alternativa, sin embargo, esto no ha sido posible, toda vez que es indispensable someter las aguas servidas a condiciones de dilución en -- aguas naturales y a procesos de coagulación, filtración y cloración extensiva, lo cual representa un costo elevado, para realizar un tratamiento tan exhaustivo como el que se necesita para alcanzar las condiciones de calidad requeridas.

#### 2. REUSO INDUSTRIAL.

Las aguas de enfriamiento de desecho constituyen los volúmenes mayores de las aguas residuales industriales, pero -- su efecto contaminante es generalmente ligero. Se encuentran contaminadas principalmente por el calor. Las temperaturas del agua se pueden disminuir por dilución o por enfriamiento evaporativo. Del total, las aguas de enjuague -- constituyen el segundo volumen en importancia de agua de --

desecho. Grandes volúmenes se originan en industrias tan -  
diversas como el acabado de metales, el proceso de los - -  
textiles y el lavado de legumbres.

Dado lo anterior, se presentan alternativas sumamente a---  
tractivas, puesto que si se reusan las aguas en lugar de -  
utilizar aguas frescas, se tiene una repercusión en los --  
costos del proceso industrial.

### 3. REUSO AGRICOLA.

El uso de aguas residuales para el riego de superficies --  
agrícolas, se ha practicado ya desde hace mucho tiempo en\_  
nuestro país, sobre todo en zonas áridas, donde los proble  
mas de escasez de agua son agudos. El reaprovechamiento --  
más importante de agua para riego, se tiene en la zona - -  
agrícola del Valle del Mezquital, donde se han utilizado -  
las aguas residuales de la Ciudad de México por un espacio  
de ya casi 90 años; aún cuando se ha identificado la pre--  
sencia de organismos patógenos en los cultivos, implicando  
grave riesgo a la salud, principalmente en aquellos produc  
tos que se consumen crudos, sin embargo no se ha podido re  
lacionar de una forma determinante la mortandad y morbili  
dad por enfermedades hídricas por el riego con agua resi  
dual. Al respecto, en los Estados Unidos de Norteamérica -  
las consideraciones por motivos de salud, restringen e in  
cluso impiden el riego agrícola con aguas residuales sin -  
tratamiento.

### 4. REUSO RECREATIVO.

El efluente de una planta de tratamiento es utilizado con\_  
fines recreativos en los hoteles y clubes deportivos, en -

especial aquellos que cuentan con campos de golf, en donde las aguas son reutilizadas para el regado de los jardines\_ y además para el llenado de sus múltiples lagos.

El Bosque de Chapultepec es un caso en el que las aguas tra-  
tadas son usadas para regar sus áreas verdes, proveer de -  
agua a un lago, así como también para labores de limpieza\_  
en el zoológico.

### 3. RECARGA DE ACUIFEROS.

La recarga de acuíferos es una de las formas de aprovecha-  
miento de aguas tratadas más completa que existen, puesto\_  
que combina el reuso de las aguas con su disposición final.  
En zonas costeras que obtienen agua de los mantos acuífe--  
ros subyacentes, la inyección de aguas tratadas constituye  
no solo una forma de recargar éstos, sino de impedir la --  
intrusión de aguas salinas en ellos.

Dado lo anterior, se concluye lo siguiente:

- La calidad del agua restringe los usos a los que se puede\_  
destinar, para su reutilización.
- Los costos limitan en forma decisiva las características -  
de calidad que se pueden dar al agua.
- Es necesario analizar la relación costo de tratamiento de\_  
un agua y el uso que se le quiera dar, puesto que es inope-  
rante producir aguas tratadas, de origen residual, a un --  
costo elevado para ser empleadas en usos que requieren de  
calidades de agua menores.

**III. LEGISLACION SOBRE DESCARGA Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES.**

**III.1 LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION  
AL AMBIENTE.**

**III.2 REGLAMENTO PARA LA PREVENCION Y CONTROL DE LA CONTA  
MINACION.**

### III. LEGISLACION SOBRE DESCARGA Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES

#### III.1 LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE. Y NORMAS TECNICAS.

Los serios problemas involucrados en la disposición de las - - aguas negras y otros desperdicios por medios adecuados y eficaces que eliminen toda molestia, sin violar los derechos y bienestar de los individuos y de las comunidades, ha dado lugar a que se establezcan leyes y reglamentos que gobiernan tal disposición.

Se supone que en la antigüedad fueron apareciendo lentamente -- ciertas costumbres que regulaban la disposición de los desechos de los individuos y de los grupos. Al pasar el tiempo, las costumbres adquirieron fuerza de leyes dándose lugar a que, con el transcurso de los años, se formularan reglamentos legales, primero como leyes comunes y después como leyes estatales.

La Ley Mosaica es uno de los más antiguos reglamentos que se registran en la historia, relativos a la disposición de desechos, puede encontrarse en el capítulo 23 del Deuteronomio. Moisés, - como guía de su pueblo, consideró necesario establecer reglas - para la conducta de sus adeptos. Los versículos 12 al 14 de dicho capítulo contienen aquella parte de la Ley Mosaica que establece una responsabilidad personal para la disposición adecuada de excrementos y exigía que fuesen enterrados. Las investigaciones modernas no han alterado los principios fundamentales en -- que se apoya esa medida. El mayor conocimiento acerca de la - - transmisión de enfermedades de una persona a otra, así como la ~~necesidad de la~~ limpieza personal en la vida comunitaria, ha ~~da~~ do lugar a mejores prácticas y reglamentaciones para disponer - de estos productos de desecho.

Los principios generales del derecho común han sido aclarados\_ y modificados por leyes específicas y por los reglamentos relativos a la disposición de las aguas negras en las corrientes y otras masas de agua. Tal legislación se aplica no solamente a la contaminación de los cursos de agua, sino que controla la - instalación de medios para el tratamiento, requiriendo la apro- bación del diseño y la supervisión de la operación por parte - de alguna comisión gubernamental. En la legislación se inclu-- yen la disposición de los desechos industriales así como de las aguas negras domésticas.

Dentro del marco jurídico que norma la preservación y restaura- ción del equilibrio ecológico, así como la protección al ambien- te, en nuestro país, se crea la "Ley General del Equilibrio - - Ecológico y la Protección al Ambiente", la cual es el resultado de un proceso de mejoramiento en materia de legislación ambiental, que se remonta al año de 1972, en que se crea la "Ley Fede- ral para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental", posteriormente, a partir del 30 de Diciembre de 1981, se norma\_ al respecto, por la "Ley Federal de Protección al Ambiente", de la que a la fecha siguen vigentes las disposiciones reglamenta- rias, en tanto no se expidan las de la Ley General del Equili- brio Ecológico y la Protección al Ambiente, misma que entra en vigor el día 1º de Marzo de 1988.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al - - Ambiente, es reglamentaria de las disposiciones de la Constitu- ción Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así co- mo a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdic-- ción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto entre otras, la prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo.



En relación con la competencia a las entidades federativas y municipales, la Ley indica lo siguiente:

"ARTICULO 6o.-Compete a las entidades federativas y municipios, en el ámbito de sus circunscripciones territoriales y conforme a la distribución de atribuciones que se establezca en las leyes locales:

- VIII. La regulación del aprovechamiento racional y la prevención y el control de la contaminación de las aguas de jurisdicción de los estados;
- IX. La prevención y control de la contaminación de aguas federales que tengan asignadas y concesionadas para la -- prestación de servicios públicos y de las que se descarguen en las redes de alcantarillado de los centros de población, sin perjuicio de las facultades de la Federación, en materia de tratamiento, descarga, infiltración y reuso de aguas residuales, conforme a esta Ley y las demás aplicables;"

En relación con las Atribuciones de la Secretaría\* y Coordinación entre las Dependencias y Entidades de la Administración Pública Federal, que aparecen en el Capítulo III, la Ley señala que corresponde a la Secretaría, en materia de prevención y control de la contaminación del agua, formular los criterios ecológicos que se deben observar en la aplicación de la política general de ecología.

En relación con las atribuciones de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología y el Departamento del Distrito Federal, se -- indica lo siguiente:

**"A. Corresponde a la Secretaría:**

- . Establecer las condiciones de descarga de las aguas residuales de los sistemas de drenaje del Distrito Federal a los cuerpos receptores;
- . Expedir coordinadamente con las Secretarías de Agricultura y Recursos Hidráulicos y de Salud, las normas técnicas para regular el alejamiento, explotación, uso o aprovechamiento de aguas residuales;
- . Expedir las normas técnicas para la recolección, tratamiento y disposición de toda clase de residuos, en coordinación con la Secretaría de Salud."

**"B. Corresponde al Departamento del Distrito Federal:**

- . Aplicar las normas técnicas que expidan la Secretaría y la Secretaría de Salud, para regular las descargas de -- aguas al sistema de drenaje y alcantarillado del Distrito Federal;
- . Establecer y desarrollar la política de reuso de aguas - en el Distrito Federal, en coordinación con la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos;
- . Implantar y operar sistemas de tratamiento de aguas residuales de conformidad con las normas técnicas ecológicas aplicables;"

"C. La Secretaría y el Departamento del Distrito Federal se -- coordinarán cuando corresponda:

Aplicar, en las obras e instalaciones destinadas al - tratamiento de aguas residuales que se construyan en\_ el Distrito Federal, los criterios que emitan las autoridades federales, a efecto de que las descargas en cuerpos y corrientes de agua que pasen al territorio de otra u otras entidades federativas, satisfagan las normas técnicas ecológicas aplicables;

En relación con la Evaluación del Impacto Ambiental, la Sec--- ción V de la Ley menciona que cuando se puedan causar disequilibrios ecológicos o rebasar los límites y condiciones que se\_ señalan en la legislación ecológica, en la realización de - - obras o actividades públicas o privadas, será necesario obtener la autorización previa de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología o de las entidades federativas o municipales, -- conforme a su competencia; toda vez que se cumpla con los requisitos impuestos de la evaluación del impacto ambiental.

Para la obtención de la autorización anterior, será necesario\_ presentar ante la autoridad correspondiente, una manifestación de impacto ambiental. En su caso, dicha manifestación deberá - ir acompañada de un estudio de riesgo de la obra, de sus modificaciones o de las actividades previstas, consistente en las\_ medidas técnicas preventivas y correctivas para mitigar los - efectos adversos al equilibrio ecológico durante su ejecución, operación normal y en caso de accidente.

Cuando se trate de la evaluación del impacto ambiental por la realización de obras o actividades que tengan por objeto el -- aprovechamiento de recursos naturales, será necesario incluir la descripción de los posibles efectos que se tengan en el -- ecosistema de referencia.

Una vez evaluada la manifestación de impacto ambiental, se -- dicta la resolución correspondiente, misma que puede ser:

- a. Otorgamiento de autorización.
- b. Negativa de autorización.
- c. Otorgamiento condicionado a la modificación del -- proyecto.

En relación con el Aprovechamiento Racional de los Elementos -- Naturales, contenido en el Título Tercero, se señala el Aprovechamiento Racional del Agua y los Ecosistemas Acuáticos en el -- Capítulo I de la Ley, indicando la promoción del tratamiento -- de las aguas residuales y su reuso, por parte de las autoridades.

Por otro lado, indica que la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología y la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos deberán realizar las acciones necesarias para evitar, y en su -- caso controlar procesos de eutroficación, salinización y cualquier otro proceso de contaminación con las corrientes y cuerpos de aguas propiedad de la nación.

## CAPITULO II

Prevención y Control de la Contaminación del Agua  
y de los Ecosistemas Acuáticos

"ARTICULO 117.--Para la prevención y control de la contaminación del agua se considerarán los siguientes criterios:

- I. La prevención y control de la contaminación del agua, es fundamental para evitar que se reduzca su disponibilidad y para proteger los ecosistemas del país;
- II. Corresponde al Estado y la sociedad prevenir la contaminación de ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás -- depósitos y corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo;
- III. El aprovechamiento del agua en actividades productivas - susceptibles de reducir su contaminación, conlleva la -- responsabilidad del tratamiento de las descargas, para - reintegrarla en condiciones adecuadas para su utiliza--- ción en otras actividades y para mantener el equilibrio\_ de los ecosistemas;
- IV. Las aguas residuales de origen urbano deben recibir tratamiento previo a su descarga en ríos, cuencas, vasos, - aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, in\_ cluyendo las aguas del subsuelo; y
- V. La participación y corresponsabilidad de la sociedad es\_ condición indispensable para evitar la contaminación del agua."

"ARTICULO 118.--Los criterios para prevención y control de la contaminación del agua serán considerados en:

- I. El establecimiento de criterios sanitarios para el uso, tratamiento y disposición de aguas residuales, para evitar riesgos y daños a la salud pública;
- II. La formulación de las normas técnicas que deberá satisfacer el tratamiento del agua para el uso y consumo humano;
- III. Los convenios que celebre el Ejecutivo Federal para entrega de agua en bloque a los sistemas usuarios o a usuarios, especialmente en lo que se refiere a la determinación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales que deban instalarse;
- IV. La restricción o suspensión de explotaciones y aprovechamientos que ordene la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en los casos de disminución, escasez o contaminación de las fuentes de abastecimiento, o para proteger los servicios de agua potable;
- V. Las concesiones, asignaciones, permisos y en general autorizaciones que deban obtener los concesionarios, asignatarios o permisionarios y en general los usuarios de las aguas propiedad de la nación, para infiltrar aguas residuales en los terrenos, o para descargarlas en otros cuerpos receptores distintos de los alcantarillados de las poblaciones; y
- VI. La organización, dirección y reglamentación de los trabajos de hidrología en cuencas, cauces y álveos de aguas -

nacionales, superficiales y subterráneos."

Por otra parte, también se menciona en esta Ley, que para prevenir y controlar la contaminación del agua, le corresponden a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, las siguientes acciones:

- a) Expedir, en coordinación con la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, y las demás autoridades competentes, las normas técnicas para el vertimiento de aguas residuales en redes colectoras, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, así como infiltrarlas en terrenos;
- b) Emitir los criterios, lineamientos, requisitos y demás condiciones que deban satisfacerse para regular el alejamiento, la explotación, uso o aprovechamiento de aguas residuales, a fin de evitar contaminación que afecte el equilibrio de los ecosistemas o a sus componentes, y en su caso, en coordinación con la Secretaría de Salud, cuando se ponga en peligro la salud pública.
- c) Expedir las normas técnicas ecológicas a las que se sujetará el almacenamiento de aguas residuales, con la intervención que en su caso compete a otras dependencias;
- d) Dictaminar las solicitudes de permisos para infiltrar o descargar aguas residuales en terrenos o cuerpos distintos de los alcantarillados;
- e) Fijar condiciones particulares de descarga cuando se trate de aguas residuales generadas en bienes y zonas de jurisdicción federal y de aquellas vertidas directamente en aguas de propiedad nacional;

- f) Fijar condiciones particulares de descarga a quienes generen aguas residuales captadas por sistemas de alcantarillado, cuando dichos sistemas viertan sus aguas en cuencas, vasos y demás depósitos o corrientes de aguas de propiedad nacional, sin observar las normas técnicas ecológicas o, en su caso, las condiciones particulares de descarga que hubiese fijado la Secretaría;
- g) Promover el reuso de aguas residuales tratadas en actividades agrícolas e industriales;
- h) Determinar los procesos de tratamiento de las aguas residuales, considerando los criterios sanitarios que en materia de salud pública emita la Secretaría de Salud, en función del destino de esas aguas y las condiciones del cuerpo receptor, que serán incorporados en los convenios que celebre el Ejecutivo Federal para la entrega de agua en bloque a -- sistemas usuarios o a usuarios, conforme a la Ley Federal de Aguas;
- i) Resolver sobre las solicitudes de autorización para el establecimiento de plantas de tratamiento y sus descargas conjuntas, cuando dichas descargas contaminantes provengan dedos o más obras, instalaciones o industrias de jurisdicción federal.
- j) Promover la incorporación de sistemas de separación de las aguas residuales de origen doméstico de aquellas de origen industrial en los drenajes de los centros de población, así como la instalación de plantas de tratamiento para evitar la contaminación de aguas."

En particular, a la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, corresponde resolver sobre las solicitudes de concesión, permiso o autorización para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas residuales.



En relación a descargas, la Ley advierte que para evitar la contaminación del agua, quedan sujetas a regulación federal o local: las de origen industrial, municipal y su mezcla incontrolada con otras descargas; así como las derivadas de actividades agropecuarias; de desechos, sustancias o residuos generados en las actividades de extracción de recursos no renovables; las infiltraciones que afecten los mantos acuíferos; la aplicación de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas; y el vertimiento de residuos sólidos en cuerpos y corrientes.

Por otra parte, también se indica que no se podrán descargar o infiltrar en cualquier cuerpo o corriente de agua o en el suelo o subsuelo, las aguas residuales que contengan contaminantes, sin previo tratamiento y el permiso o autorización correspondiente.

"ARTICULO 122.- Las aguas residuales provenientes de usos municipales, públicos o domésticos y las de usos industriales o agropecuarios que se descarguen en los sistemas de alcantarillado de las poblaciones o en las cuencas, ríos, cauces, vasos y demás depósitos o corrientes de agua, así como las que por cualquier medio se infiltren en el subsuelo, y en general, las que se derramen en los suelos, deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir:

- I. Contaminación de los cuerpos receptores;
- II. Interferencias en los procesos de depuración de las aguas; y
- III. Trastornos, impedimentos o alteraciones en los correctos aprovechamientos, o en el funcionamiento adecuado de los sistemas, y en la capacidad hidráulica en las cuencas, cauces, vasos, mantos acuíferos y demás depósitos de propiedad nacional, así como de los sistemas de alcan

tarillado"

"ARTICULO 123.--Todas las descargas en las redes colectoras, ríos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua y los derrames de aguas residuales en los suelos o su infiltración en terrenos, deberán satisfacer las normas técnicas ecológicas que para tal efecto se expidan, y en su caso, las condiciones particulares de descarga que determine la Secretaría o las autoridades locales. Corresponderá a quien genere dichas descargas, realizar el tratamiento previo requerido.

Cuando dichas descargas, derrames o infiltraciones contengan -- materiales o residuos peligrosos, deberán contar con la autorización previa de la Secretaría".

La Ley señala en relación con las aguas residuales provenientes del alcantarillado urbano, que podrán ser utilizadas en la industria y en la agricultura, si se someten en los casos que se requiera, al tratamiento que cumpla con las normas técnicas emitidas por la SEDUE. Asimismo, otorga asignaciones, autorizaciones, concesiones o permisos para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas en actividades económicas susceptibles de -- causar contaminación, condicionados al tratamiento previo necesario, de las aguas residuales que se produzcan.

#### Normas Técnicas Ecológicas

"Norma Técnica Ecológica, es el conjunto de reglas científicas\_ o tecnológicas emitidas por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, que establecen los requisitos, especificaciones, -- condiciones, procedimientos, parámetros y límites permisibles -- que se deben observar en el desarrollo de actividades o uso y -- destino de bienes, que causen o puedan causar desequilibrio --

ecológico o daño al ambiente, y, además que uniformen principios, criterios, políticas y estrategias en la materia".

"Las normas técnicas ecológicas, determinan los parámetros dentro de los cuales se garantizan las condiciones necesarias para el bienestar de la población y para asegurar la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente".

"ARTICULO 37.-Las actividades y servicios que originen emanaciones, emisiones, descargas o depósitos, que causen o puedan causar desequilibrio ecológico o producir daño al ambiente o afectar los recursos naturales, de salud, el bienestar de la población, o los bienes propiedad del Estado o de los particulares, deberán observar los límites y procedimientos que se fijan en las normas técnicas ecológicas aplicables".

A la fecha de realización del presente trabajo, se han publicado en el Diario Oficial de la Federación de los días 6 de Junio y 4 de Agosto de 1988 las Normas Técnicas Ecológicas que al momento se encuentran vigentes, en relación con las aguas residuales industriales; así mismo, no se han dado a conocer las correspondientes a aguas residuales municipales.

De acuerdo a los artículos comentados anteriormente, las descargas de aguas municipales se deben someter a tratamiento, a efecto de cumplir con las normas técnicas ecológicas y, en su caso, de acuerdo al uso de las aguas residuales o al sitio seleccionado para disposición, las condiciones particulares de descarga.

### III.3 REGLAMENTO PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS.

El presente Reglamento tiene por objeto dictar la normatividad que en materia de prevención y control de la contaminación de aguas se refiere, cualquiera que sea su régimen legal.

#### De la prevención y control de la contaminación de aguas

Se indican los siguientes procedimientos para la prevención y control de la contaminación de las aguas:

- . "Tratamiento de las aguas residuales para el control de sólidos sedimentables, grasas y aceites, materia flotante, temperatura y potencial hidrógeno (p. H.); y
- . Determinación y cumplimiento de las condiciones particulares de las descargas de aguas residuales, mediante el tratamiento de éstas, en su caso, de acuerdo con el resultado de los estudios realizados a los cuerpos receptores, su capacidad de asimilación, sus características de dilución y otros factores."

"ARTICULO 13o.-Los responsables de las descargas de aguas residuales que no sean arrojadas en el alcantarillado de las poblaciones, deberán dentro de un plazo de tres años contados a partir de la fecha del registro de la descarga, ajustarla a la siguiente tabla:

Tabla No. 1  
DE MAXIMOS TOLERABLES

I. Sólidos sedimentables	1.0 ml/l
II. Grasas y aceites	70 mg/l
III. Materia flotante	Ninguna que pueda ser retenida por malla de 3mm. de claro libre cuadrado.
IV. Temperatura	35 °C
V. Potencial Hidrógeno p.H.	4.5 - 10.0

Los métodos de muestreo y análisis de laboratorio para comprobar que los responsables de las descargas se ajustan a la tabla anterior, serán fijados por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, mediante instructivo que se publicará en el Diario Oficial de la Federación.

Por otra parte, se afirma que las Secretarías de Recursos Hidráulicos y de Salud, serán las encargadas de realizar los estudios de los cuerpos receptores, con objeto de clasificar las aguas - en función de sus usos, conocer su capacidad de asimilación y - de dilución, así como para señalar las condiciones particulares de las descargas de aguas residuales.

Con base en los estudios mencionados anteriormente y en el dictamen que emita la Secretaría de Salud, de una cuenca o región, la Secretaría de Recursos Hidráulicos deberá fijar las condiciones particulares de las descargas de aguas residuales, de acuer

do con la clasificación del agua del cuerpo receptor, su volumen o gasto y las tolerancias fijadas en las siguientes tablas: (Tablas Nos. 2 y 3).

Tabla 2

CLASIFICACION DE LAS AGUAS DE LOS CUERPOS RECEPTORES SUPERFICIALES EN FUNCION DE SUS USOS Y CARACTERISTICAS DE CALIDAD.

CLASE	USOS	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
		pH	TEMPERATURA °C	O.D. (mg/l)	BACTERIAS COLIFORMES MP (Organismos/100 ml)	ACEITES Y GRASAS (mg/l)	SOLIDOS DISUELTOS (mg/l)	TURBIDEZ (U.T.J.)	COLOR-ESCALA PLATINO-COBALTO.	OLOR Y SABOR	NUTRIENTES NITROGENO Y FOSFORO	MATERIA FLOTANTE.	SUBSTANCIAS TOXICAS
				Límite Mínimo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo		
DA	Abastecimiento para sistemas de agua potable e industrial, alimenticia con desinfección únicamente. Recreación (contacto primario) y libre para los usos DI, DII y DIII.	6.5 a 8.5	C.N. más 2.5 (a)	4.0	200 fecales (b)	0.76	No mayor de 1,000	10	20	Ausente.	(c)	Ausente	(d)
DI	Abastecimiento de agua potable con tratamiento convencional (coagulación, sedimentación, filtración y desinfección) e industrial.	6.0 a 9.0	C.N. más 7.5 (a)	4.0	1,000 fecales (c)	1.0	No mayor de 1,000	C.N.	(f)	(g)	(c)	Ausente	(d)
DII	Agua adecuada para uso recreativo, conservación de flora, fauna y usos industriales.	6.0 a 9.0	C.N. más 2.5 (a)	4.0	10,000 coliformes totales como promedio mensual; ningún valor mayor de 20,000. (h)	Ausencia de película visible	No mayor de 2,000	C.N.	C.N.	C.N.	(c)	Ausente	(d)
DIII	Agua para uso agrícola e industrial.	6.0 a 9.0	C.N. más 2.5 (a)	3.2	1,000 (j) y libre para los demás cultivos.	Ausencia de película visible	(i)	C.N.	C.N. más 10		(c)	Ausente	(d)

Fuente: Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas.

CLASE	LEXX	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
		pH	TEMPERATURA °C	O.D. (mg/l)	BACTERIAS COLIFORMES N.M.P. (Org./100 ml)	ACEITES Y GRASAS (mg/l)	SOLIDOS DISUELTOS. (mg/l)	TURBIDEZ (U.T.J.)	COLOR ESCALA PLATINO COBALTO	OLOR Y SABOR	NUTRIENTES NITROGENO Y FOSFORO	MATERIA FLOTANTE.	SUSTANCIAS TOXICAS
				Límite Mínimo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo		
DIV	Agua para uso industrial (excepto procesamiento de alimentos)	5.0 a 9.5		3.2									(d)

pH = Potencial hidrógeno

O.D. = Oxígeno Disuelto

N.M.P. = Número Más Probable

U.T.J. = Unidades de Turbiedad Jackson

mg/l = Miligramos por litro.

C.N. = Condiciones Naturales.

°C = Grados centígrados.



## Anexo de la Tabla No. 2

- a) Máximo 30 °C excepto cuando sea causada por condiciones naturales.

Medida en la superficie fuera de la zona de mezclado.

- b) Este límite, en no más del 10% del total de las muestras -- mensuales (5 mínimo), podrá ser mayor a 2,000 coliformes fe cales.

- c) No deben existir en cantidades tales que provoquen una hiperfertilización.

- d) El criterio con respecto a sustancias tóxicas es el siguiente:

Ninguna sustancia tóxica sola o en combinación con otras estará presente en concentraciones tales que conviertan el -- agua del cuerpo receptor en inadecuada para el uso específico a que se destinen.

La Tabla No. 3 resume algunas de las sustancias tóxicas que de acuerdo con la información disponible se encuentran bajo reglamentación y estudio en varias partes del mundo.

Los valores de las sustancias de esta tabla no son limitativos y están sujetos a modificación de acuerdo con el futuro avance tecnológico.

- e) Este límite, en no más del 10% del total de las muestras -- mensuales (5 como mínimo), podrá ser mayor a 2,000 coliformes fecales.

- f) No será permitido color artificial que no sea coagulable -- por tratamiento convencional.

- g) Removible por tratamiento convencional.

- h) 2,000 coliformes fecales como promedio mensual, ningún valor mayor de 4,000.

Tabla No. 3

VALORES MAXIMOS PERMISIBLES DE SUSTANCIAS TOXICAS  
EN LOS CUERPOS RECEPTORES

Límite máximo en miligramos por litro

Clasificación (Tabla 2)	DA	DI	DII	DIII
Bibliografía	w	w	x,y	w, x
Arsénico	0.05	0.05	1.0	5.00
Bario	1.00	1.00	5.00	---
Boro	1.00	1.00	----	2.0
Cadmio	0.01	0.01	0.01	0.005
Cobre	1.00	1.00	0.1	1.0
Cromo hexavalente	0.05	0.05	0.1	5.00
Mercurio	0.005z	0.005z	0.01	----
Plomo	0.05	0.05	0.10	5.00
Selenio	0.01	0.01	0.05	0.05
Cianuro	0.20	0.20	0.02	----
Fenoles	0.001	0.001	1.00	----
Sustancias activas al azul de metileno (detergentes)	0.50	0.50	3.0	----
Extractables con cloroformo	0.15	0.15	----	----
Plaguicidas				
Aldrin	0.017	0.017		
Clordano	0.003	0.003		
D.D.T.	0.042	0.042		
Dieldrin	0.017	0.017		
Endrin	0.001	0.001		
Heptacloro	0.018	0.018		
Epóxico de heptacloro	0.018	0.018		
Lindano	0.056	0.056		
Metoxicloro	0.035	0.035		
Fosfatos orgánicos con carbamatos	0.100	0.100		
Toxaleno	0.005	0.005		
Herbicidas totales	0.100	0.100		
Radiactividad	Picocuries por litro			
Beta	1.000	1.000	1.000	
Radio-226	3	3	3	
Estroncio	10	10	10	

- i) Conductividad no mayor de 2,000 umohs/cm. Si el valor de - - RAS es mayor de 6, la Secretaría de Recursos Hidráulicos fijará el valor definitivo.

RAS - igual a relación de absorción de sodio.

Boro 0.4 mg/l. Para valores superiores, la autoridad competente fijará el valor definitivo.

- j) Para riego de legumbres que se consuman sin hervir o frutas que tengan contacto con el suelo.

"ARTICULO 29o.-Fuera de los casos previstos en este Reglamento, queda prohibido arrojar o depositar basura u otros desechos humanos, sólidos gruesos, jalcas, lodos industriales y similares en ríos, cauces, vasos, estuarios y demás cuerpos receptores.

También se prohíbe depositar en las zonas inmediatas a los cuerpos receptores los desechos o residuos a que se refiere el párrafo anterior, susceptibles de ser arrastrados por las aguas."

**IV. ALTERNATIVAS DE REUSO Y DISPOSICION FINAL DE AGUAS RESIDUALES.**

**IV.1 CALIDAD MEDIA DE LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES.**

**IV.2 CALIDAD REQUERIDA SEGUN LAS ALTERNATIVAS DE REUSO Y -  
VERTIDO.**

**IV.3 SITIOS DE DISPOSICION O POSIBILIDAD DE REUSO DE AGUAS  
RESIDUALES EN CIUDADES MEDIAS.**

#### IV. ALTERNATIVAS DE REUSO Y DISPOSICION FINAL DE AGUAS RESIDUALES.

##### **IV.1 CALIDAD MEDIA DE LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES.**

Las aguas residuales son fundamentalmente las aguas de abastecimiento de una población, después de haber sido impurificadas por diversos usos. Desde el punto de vista de su origen, resultan de la combinación de los líquidos o desechos arrastrados por el agua, procedentes de las casas habitación, edificios comerciales e instituciones, y las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que puedan agregarse. Asimismo, cabe señalar que la calidad y cantidad de las aguas industriales -- es variable.

Las aguas residuales municipales pueden ser originadas por:

##### **a) Desechos humanos y animales.**

Son las exoneraciones corporales que llegan a formar parte de las aguas residuales, mediante los sistemas sanitarios y en cierto grado de los procedentes de los animales, que van a dar a las alcantarillas al ser lavadas en el suelo o en las calles. Estos desechos son los más importantes, en lo referente a la salud pública, porque pueden contener organismos perjudiciales al hombre, por lo que su tratamiento seguro y eficaz constituye el principal problema de acondicionamiento de las aguas residuales para su disposición.

##### **b) Desperdicios caseros.**

Proceden de las manipulaciones domésticas de lavado de ropa, baño, desperdicios de cocina, limpieza y preparación -

de los alimentos y lavado de la loza. Casi todos estos desechos contienen jabones, detergentes sintéticos que generalmente tienen agentes espumantes y que son de uso común en las labores domésticas. Los desechos de cocina tienen partículas de alimentos y grasas que, con el uso cada vez mayor de aparatos domésticos para moler basura, se están convirtiendo en la parte más importante de los desechos caseros.

c) **Corrientes pluviales.**

Las lluvias depositan cantidades variables de agua en la tierra y gran parte de ella lava la superficie, al escurrir arrastrando polvo, arena, hojas y otras basuras. En algunas poblaciones se deja que estos escurrimientos pluviales vayan al alcantarillado o drenajes que sirven para colectar los desechos propios de la comunidad, formando parte importante de las aguas residuales. En otras, se colectan aparte estos escurrimientos para su disposición y no se mezclan con las aguas de la comunidad. El volumen de las corrientes pluviales varía según la intensidad de la precipitación, la topografía y las superficies pavimentadas y techadas.

d) **Infiltraciones de aguas subterráneas.**

El drenaje o alcantarillado que es el dispositivo para colectar las aguas residuales, en muchas ocasiones queda debajo del nivel de los mantos de agua subterráneos, especialmente cuando dicho nivel es muy alto a causa de una excesiva precipitación en la temporada de lluvias. Como las juntas entre las secciones de tubería que forman las alcantarillas no quedan perfectamente ajustadas, existe siempre la posibilidad de que se infiltre el agua subterránea. Los

drenajes colectores usualmente no funcionan a presión, sino que el flujo a través de ellos es meramente gravitatorio y por esto es que las infiltraciones no solamente son posibles, sino que son siempre considerables. El volumen de agua subterránea que se infiltra no puede determinarse con exactitud, porque depende de la estructura del suelo, del tipo de alcantarilla que se haya construido, de las condiciones del agua subterránea, de las lluvias y de otras condiciones climatológicas.

Las aguas residuales municipales son líquidos turbios que contienen material sólido en suspensión. Cuando son frescas, su color es gris y tienen un olor a moho no desagradable. Flotan en ellas cantidades variables de materia: sustancias fecales, trozos de alimentos, basura, papel, desperdicios y otros residuos de las actividades cotidianas de los habitantes de una comunidad. Con el transcurso del tiempo, el color cambia gradualmente del gris al negro, desarrollándose un olor ofensivo y desagradable; y sólidos negros aparecen flotando en la superficie o en todo el líquido.

Puesto que las aguas residuales municipales consisten de agua, de los sólidos disueltos en ella y de los sólidos suspendidos en la misma, es importante señalar que la cantidad de sólidos es generalmente muy pequeña, casi siempre menos de 0.1 por ciento en peso, pero es la fracción que presenta el mayor problema para su tratamiento y disposición adecuados. El agua provee solamente el volumen y es el vehículo para el transporte de los sólidos.

Los sólidos de las aguas residuales pueden clasificarse en dos grupos generales según su composición o su condición física. Se tienen así, sólidos orgánicos e inorgánicos, los cuales a su vez pueden estar suspendidos y disueltos.

• **Sólidos orgánicos.**

En general son de origen animal o vegetal, que incluyen -- los productos de desecho de la vida animal y vegetal, la materia animal muerta, organismos o tejidos vegetales; pero pueden incluirse también compuestos orgánicos sintéticos. Son sustancias que contienen carbono hidrógeno y oxígeno, pudiendo estar combinadas algunas con nitrógeno, azufre o fósforo. Los grupos principales son las proteínas, los hidratos de carbono y las grasas, junto con sus productos de descomposición. Están sujetos a degradación o descomposición por la actividad de las bacterias y otros organismos vivos.

• **Sólidos inorgánicos.**

Son sustancias inertes que no están sujetas a la degradación. Ciertos compuestos minerales hacen excepción a estas características, como los sulfatos, los cuales bajo ciertas condiciones pueden descomponerse en sustancias más simples, como sucede en la reducción de los sulfatos a sulfuros. A los sólidos inorgánicos se les conoce frecuentemente como sustancias minerales: arena, grava y sales minerales del abastecimiento de agua que producen su dureza y contenido mineral.

• **Sólidos suspendidos.**

Son aquellos que están en suspensión y que son perceptibles a simple vista en el agua. Son los sólidos que pueden separarse del agua residual por medios físicos o mecánicos, como son la sedimentación y la filtración. Están constituidos aproximadamente por un 70 por ciento de sólidos orgánicos y por un 30 por ciento de sólidos inorgánicos, siendo



la mayor parte de estos últimos arena y polvos.

Los sólidos suspendidos se dividen en dos partes: sólidos sedimentables y sólidos coloidales.

\* **Sólidos sedimentables.**

Son la porción de los sólidos suspendidos cuyo tamaño y peso es suficiente para que se sedimenten en un período determinado, que generalmente es de una hora.- Están constituidos aproximadamente de un 75 por ciento de sólidos orgánicos y 25 por ciento de inorgánicos.

\* **Sólidos coloidales.**

Se definen algo indirectamente como la diferencia entre los sólidos suspendidos totales y los sólidos suspendidos sedimentables. Constituyen la fracción de los sólidos suspendidos totales (cerca del 40 por ciento) que no pueden eliminarse fácilmente recurriendo a tratamientos físicos o mecánicos. Su composición es orgánica en unas dos terceras partes, e inorgánica en el resto; están sujetos a una rápida degradación y son un factor importante en el tratamiento y disposición de las aguas.

\* **Sólidos disueltos.**

El término sólidos disueltos, no es técnicamente correcto. No todos estos sólidos están verdaderamente disueltos, puesto que se incluyen algunos sólidos en estado coloidal. De los sólidos disueltos totales, aproximadamente un 90 por ciento está verdaderamente disuelto y un 10 por ciento

en estado coloidal. El total de sólidos disueltos está --- compuesto aproximadamente por 40 por ciento de orgánicos y 60 por ciento de inorgánicos. La porción coloidal contiene mayor porcentaje de materia orgánica que la verdaderamente disuelta, debido a que ésta incluye a todas las sales minerales del agua de abastecimiento.

• **Sólidos totales.**

Como lo indica el mismo término, bajo este nombre se dis--tinguen todos los constituyentes sólidos de las aguas re--siduales. Son la totalidad de sólidos orgánicos e inorgánicos, o la totalidad de sólidos suspendidos y disueltos. En las aguas residuales domésticas de composición media, cerca de la mitad son orgánicos y la otra mitad inorgánicos y aproximadamente unas dos terceras partes están en solución y una tercera parte en suspensión. Es esta mitad orgánica\_ de los sólidos sujeta a degradación la que constituye el -problema principal del tratamiento de aguas.

Las aguas residuales municipales contienen también incontables organismos vivos, la mayoría de los cuales son demasiado pequños para ser visibles, excepto bajo el microscopio. Son la parte viva natural de la materia orgánica que se encuentra en las aguas residuales y su presencia es de suma importancia porque\_ son uno de los motivos para el tratamiento de estas aguas, y -su éxito, incluyendo la degradación y descomposición, depende\_ de sus actividades.

Estos organismos microscópicos vivos pertenecen a dos tipos -- generales: bacterias y otros organismos vivos más complejos.

\* **Bacterias.**

Las bacterias son organismos vivos, de tamaño microscópico, que constan de una sola célula y su proceso vital, así como sus funciones, son similares a los de los vegetales. Algunas bacterias son móviles, es decir, que son capaces de moverse libremente por su propia fuerza, y otras son inmóviles. Las bacterias requieren, como todos los organismos vivos, alimentos, oxígeno y agua. Sólo pueden existir cuando el medio ambiente provee a estas necesidades. Como resultado de sus procesos vitales, las bacterias dan origen, a su vez a productos de desecho.

Las bacterias se clasifican en dos grupos principales: bacterias parásitas y bacterias saprófitas.

\* **Bacterias parásitas.**

Son las que viven normalmente a expensas de otro organismo vivo, llamado huésped, porque necesitan recibir el alimento ya preparado para consumirlo: generalmente no se desarrollan fuera del cuerpo del huésped. Las bacterias parásitas que tienen importancia en las aguas residuales, provienen por lo general del tracto intestinal de las personas y de los animales cuyas deyecciones van a parar a estas aguas. Entre las bacterias parásitas se incluyen ciertos tipos específicos que, durante su desarrollo en el cuerpo del huésped, producen compuestos tóxicos o venenosos que causan enfermedad al huésped. Estas bacterias se conocen como bacterias patógenas. Pueden estar presentes en las aguas residuales que reciban las deyecciones de personas afectadas por enfermedades tales como la fiebre tifoidea, la disentería, el cólera, u otras infecciones intestinales. La posible presencia de estos microorganismos en las aguas residuales, es una de las razones por las cuales deben colec-

tarse cuidadosamente, tratarse en forma adecuada y disponer de ellas de manera segura, para prevenir cual---quier transmisión de estas bacterias patógenas de una\_ a otra persona.

\* **Bacterias saprófitas.**

Son las que se alimentan de materia orgánica muerta, - descomponiendo los sólidos orgánicos para obtener el\_ sustento necesario, y produciendo a su vez sustancias\_ de desecho que consisten en sólidos orgánicos e inor--gánicos. Por esta actividad son de suma importancia en los métodos de tratamiento de aguas ideados para faci--litar o acelerar la descomposición natural de los sólidos orgánicos. Tales procesos de descomposición no progresarían sin su actividad. En ausencia de vida bacte--riana no tiene lugar la descomposición.

Una vez señalados los orígenes, consistencia, composición y -- algunos de los organismos que intervienen en las aguas residua\_ les municipales, a continuación se muestran los parámetros y - valores que indican la calidad media de estas aguas.

- 1) **DBO - Demanda Bioquímica de Oxígeno.**- Indica el contenido\_ de la materia orgánica biodegradable contenida en el residuo líquido (pruebas de laboratorio efectuadas a 5 días y a 20°C).
- 2) **DQO - Demanda Química de Oxígeno.**- Indica el contenido to--tal de materia orgánica, tanto degradable como re---fractaria.

- 3) SS - Sólidos Suspendidos  
SSV - Sólidos Suspendidos Volátiles.
- 4) ST - Sólidos Totales
- 5) pH - potencial de Hidrógeno.- Indica el grado de basicidad o acidez.
- 6) N - Nitrógeno  
P - Fósforo
- 7) Metales pesados y sólidos inorgánicos.

CALIDAD MEDIA DE LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES

Sólidos Suspendidos		1/dm	115
---------------------	--	------	-----

Sólidos Volátiles		mg/l	217
-------------------	--	------	-----

Sólidos Sedimentables		1/dm	3.3
-----------------------	--	------	-----

Sólidos Suspendidos Volátiles		mg/l	120
-------------------------------	--	------	-----

DBO		1/dm	147
-----	--	------	-----

DQO		mg/l	288
-----	--	------	-----

Sólidos Totales		1/dm	453
-----------------	--	------	-----

Cloruros		mg/l	35
----------	--	------	----

pH			7.2
----	--	--	-----

#### IV.2 CALIDAD REQUERIDA SEGUN LAS ALTERNATIVAS DE REUSO Y VERTIDO.

El objetivo general de las normas de calidad para las aguas -- que sirven primordialmente como receptoras de aguas residuales, es la protección de la salud pública, la prevención de molestias y la conservación de la belleza de las masas de agua naturales. Para esto, las aguas receptoras no deben recibir organismos patógenos, sustancias tóxicas, cancerígenas, etc., ni tampoco cargas muy altas que les impartan olores ofensivos, ni contener sólidos visibles flotantes o sedimentables, aceite o depósitos de lodos. Puesto que la descomposición anaeróbica -- desprende olores objetables, las descargas de residuos no deben agotar el contenido de OD de las aguas receptoras.

Se mantienen las condiciones deseadas cuando el volumen (y si es necesario, la calidad) del agua receptora están en proporción adecuada con el volumen y concentración de la descarga de agua residual.

Respecto a las corrientes, en el transcurso del tiempo, se han establecido tres clases de normas para las aguas receptoras:

- \* Normas que protegen la calidad del agua receptora al -- prescribir el grado de dilución de las aguas residuales que aporta la corriente receptora.
- \* Normas para los efluentes, que prescriben el grado de -- calidad requerido para que se permita descargar los mismos en las aguas receptoras.
- \* Normas respecto a las corrientes, que prescriben la -- calidad requerida en las aguas receptoras en sí, después de que han recibido las aguas residuales o efluentes.

El Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas, constituye indiscutiblemente el documento, desde el punto de vista técnico, más importante actualmente, en tanto no se publique la norma técnica ecológica relativa al vertido de aguas residuales municipales. Las principales acciones de este Reglamento, según se desprende de lo indicado en el Capítulo III del presente trabajo, son básicamente:

1. Todas las descargas de aguas residuales deben cumplir con ciertos valores máximos tolerables de cinco parámetros de contaminación.
2. Cada descarga de aguas residuales debe cumplir con una serie de requisitos de calidad denominadas condiciones particulares de las descargas, que serán fijadas en función de las características y usos del cuerpo receptor al que vierta.

En el Anexo I de este trabajo, se presentan las tablas de calidad requerida según las alternativas de reuso y vertido de las aguas residuales.

#### IV.3 SITIOS DE DISPOSICION O POSIBILIDAD DE REUSO DE AGUAS RESIDUALES EN CIUDADES MEDIAS.

Las políticas de reuso del agua en las ciudades medias constituyen indudablemente un hecho determinante en el aprovechamiento racional de los recursos hidráulicos.

Por ello, la potencialidad de reuso es un factor importante de evaluar, para analizar el incremento potencial en la disponibilidad de agua para reutilización agrícola, municipal e industrial.

Para la estimación de los volúmenes potenciales de reuso en cada ciudad se consideraron los siguientes elementos: la existencia y cobertura de los sistemas de alcantarillado, la localización de las descargas y el tipo de industria existente en la zona.

Con base en lo anterior, se establecieron tres rangos para evaluar el volumen potencial de reuso: alto, medio y bajo. Se consideró alto cuando se apreció posible reusar del 50 al 60% de la demanda urbana y del 60 al 75% de la demanda industrial; medio cuando se estimó posible reusar del 30 al 50% de las aguas urbanas y del 40 al 60% de las aguas industriales; y bajo cuando se consideró que se podría reusar menos del 30% de las aguas urbanas y menos del 40% de las aguas industriales.

A continuación se presenta la estimación del volumen potencial de reuso en cada una de las ciudades medias. (Cuadro IV.3.1)



Cuadro IV.3.1  
SITIOS DE DISPOSICION Y VOLUMEN POTENCIAL DE REUSO DE  
AGUAS RESIDUALES EN CIUDADES MEDIAS

CIUDAD	SITIOS DE DISPOSICION	VOLUMEN POTENCIAL DE REUSO
AGUASCALIENTES	CORRIENTE	ALTO.
MEXICALI	CORRIENTE	ALTO.
TIJUANA	MAR	ALTO. La demanda agrícola se - puede satisfacer con reuso de - aguas urbanas.
ENSENADA	MAR	ALTO. 60% de aguas urbanas.
LA PAZ	MAR	MUY BAJO. Debido a la configu- ración topográfica.
CAMPECHE	ACUIFERO - MAR	BAJO.
TUXTLA GUTIERREZ	CORRIENTE	BAJO.
TAPACHULA	CORRIENTE	ALTO.
CHIHUAHUA	CORRIENTE	ALTO.
CIUDAD JUAREZ	CORRIENTE	ALTO. 60% de las aguas urbanas.
SALTILLO	CORRIENTE	ALTO. 60% de las aguas urbanas. 75% de las aguas ind.
MONCLOVA	CORRIENTE	MEDIO. En aguas urbanas. ALTO. 75% de las aguas ind.
COLIMA	CORRIENTE	MEDIO.
DURANGO	CORRIENTE	ALTO.
CELAYA	CORRIENTE	ALTO. Se recomienda el reuso - debido a la sobre-explotación - del Acuífero (zona de veda).
IRAPUATO	CORRIENTE	ALTO. Se recomienda reuso.
LEON	CORRIENTE	ALTO. 60% de las aguas urbanas.

CIUDAD	SITIOS DE DISPOSICION	VOLUMEN POTENCIAL DE REUSO
SALAMANCA	CORRIENTE	ALTO. 60% de las aguas urbanas 75% de las aguas industriales.
ACAPULCO	MAR	BAJO.
PACHUCA	CORRIENTE	MEDIO.
TOLUCA	CORRIENTE	ALTO. Se recomienda reuso.
MORELIA	CORRIENTE	ALTO. Se recomienda reuso.
URUAPAN	CORRIENTE	ALTO.
ZAMORA	CORRIENTE	ALTO. 60% de las aguas urbanas
CUERNAVACA	CORRIENTE	BAJO. En aguas urbanas.
		ALTO. 75% de las aguas industriales.
TEPIC	CORRIENTE	ALTO. 60% de las aguas urbanas. 75% de las aguas industriales.
OAXACA	CORRIENTE	ALTO.
PUEBLA	CORRIENTE	ALTO. 60% de las aguas urbanas 75% de las aguas industriales.
QUERETARO	CORRIENTE	MEDIO.
S.L.P.	CORRIENTE	ALTO. 60% de las aguas urbanas 75% de las aguas industriales.
CIUDAD VALLES	CORRIENTE	ALTO.
CULIACAN	CORRIENTE	ALTO. 60% de las aguas urbanas 75% de las aguas industriales.
MAZATLAN	MAR	BAJO
MOCHIS	MAR	ALTO. 60% de las aguas urbanas 75% de las aguas industriales.
HERMOSILLO	CORRIENTE	ALTO. 60% de las aguas urbanas
CIUDAD OBREGON	CORRIENTE	ALTO. 60% de las aguas urbanas

CIUDAD	SITIOS DE DISPOSICION	VOLUMEN POTENCIAL DE REISO
VILLAHERMOSA	CORRIENTE	MEDIO.
TAMPICO	MAR	ALTO.
REYNOSA	CORRIENTE	ALTO. 60% de las aguas urbanas 75% de las aguas industriales.
MATAMOROS	CORRIENTE	ALTO. 60% de las aguas urbanas 75% de las aguas industriales
NUEVO LAREDO	CORRIENTE	ALTO. 60% de las aguas urbanas 75% de las aguas industriales.
CIUDAD VICTORIA	ACUIFERO	MEDIO.
VERACRUZ	MAR	BAJO.
JALAPA	MAR	BAJO
POZA RICA	CORRIENTE	ALTO.
COATZAC. - MINAT.	ACUIFERO - MAR	
CORDOBA	CORRIENTE	ALTO.
ORIZABA	CORRIENTE	MEDIO.
MERIDA	ACUIFERO	BAJO.
ZACATECAS	CORRIENTE	ALTO. 60% de las aguas urbanas

Fuente: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos  
 Comisión del Plan Nacional Hidráulico  
 Planeación del Abastecimiento de Agua a las Poblaciones y a la  
 Industria.

**V. ALTERNATIVAS DE PROCESOS DE TRATAMIENTO.**

**V.1 PROCESOS DE TRATAMIENTO.**

**V.2 TRENES ALTERNATIVOS DE TRATAMIENTO Y COSTOS -  
ASOCIADOS.**

## V. ALTERNATIVAS DE PROCESOS DE TRATAMIENTO

### V.1 PROCESOS DE TRATAMIENTO.

La disposición satisfactoria de las aguas negras, ya sea por irrigación, por el método subsuperficial o por el de dilución, depende del tratamiento previo a su disposición. Para la disposición por dilución o para el reuso, se necesita un tratamiento apropiado para prevenir la contaminación de las aguas receptoras a un grado que pueda interferir con su mejor empleo, ya sea como agua de abastecimiento, para fines recreativos, para la pesca o cualquier otro propósito. Siempre es necesario algún tratamiento para evitar el crear condiciones ofensivas, -- aún cuando una masa de agua no tenga otra aplicación que la disposición de aguas negras o desechos industriales.

El propósito del tratamiento de las aguas residuales, previo a su disposición por dilución, consiste en separar de ellas la cantidad suficiente de sólidos que permita que los que quedan al ser descargados a las aguas receptoras no interfieran con el mejor o más adecuado empleo de éstas, tomando en cuenta la capacidad de las aguas receptoras para asimilar la carga que se agregue. Los sólidos que se eliminan son principalmente orgánicos, pero se incluyen también sólidos inorgánicos. Como el mejor -- empleo de las aguas receptoras puede variar desde ser una agua para beber o para fines culinarios, la cantidad o grado de tratamiento que se dé a las aguas negras o a los desechos debe variar de acuerdo con ello. Debe procurarse un tratamiento para los sólidos y líquidos que se eliminan como lodos, y puede -- también necesitarse un tratamiento para controlar los olores, -

para retardar las actividades biológicas o destruir los organismos patógenos.

A pesar de que son muchos los métodos usados para el tratamiento de las aguas negras, todos pueden incluirse en los procesos siguientes:

### 1. Procesos unitarios físicos.

Son aquellos en los que la forma de eliminación de los contaminantes se logra mediante la aplicación de fuerzas físicas. Dentro de éstos se encuentran comprendidos el tamizado, mezclado, sedimentación y filtración.

### 2. Procesos unitarios químicos.

Se conoce así a los procesos de tratamiento en los que -- tanto la eliminación como la conversión de contaminantes -- se logra mediante reacciones químicas tales como la precipitación, transferencia de gases, adsorción y desinfección.

### 3. Procesos unitarios biológicos.

Así se denomina a los procesos en los cuales la eliminación de contaminantes se logra mediante la actividad biológica. Estos procesos son empleados para eliminar materia orgánica biodegradable, tanto coloidal como disuelta. Esta materia se convierte principalmente en gases que se liberan en la atmósfera y en tejido celular que se deposita y se elimina mediante la sedimentación. Otro objetivo del -- tratamiento biológico de las aguas residuales es la eliminación de elementos conocidos como nutrientes, constituidos principalmente por compuestos de nitrógeno y fósforo.

Dependiendo de los fines que se persigan, en cuanto a la calidad de agua que se obtenga del efluente de una planta de tratamiento, será el nivel de tratamiento que será necesario aplicar para lograr dicha calidad. En general se contemplan los siguientes niveles de tratamiento:

a) Tratamiento preliminar

En la mayoría de las plantas, el tratamiento preliminar sirve para proteger el equipo de bombeo y hacer más fáciles los procesos subsecuentes del tratamiento. Los dispositivos para el tratamiento preliminar están destinados a eliminar o separar los sólidos mayores o flotantes, a eliminar los sólidos inorgánicos pesados y eliminar cantidades excesivas de aceites o grasas. En algunos casos como, por ejemplo, en la disposición por dilución en aguas marinas, pueden ser suficientes los resultados que se logren por el tratamiento preliminar.

Para alcanzar los objetivos de un tratamiento preliminar se emplean comúnmente los siguientes dispositivos:

- 1) Rejas de barras o más finas.
- 2) Desmenuzadores, ya sea molinos, cortadoras o trituradoras.
- 3) Desarenadores.
- 4) Tanques de preacreción.

Además de los anteriores, a veces se hace la cloración en el tratamiento preliminar. Como la cloración puede usarse en cualquier etapa de un tratamiento, se considera su participación en páginas posteriores.

Los dispositivos para el tratamiento preliminar, requieren un diseño y operación cuidadosos.

**b) Tratamiento primario.**

Por este tratamiento se separan o eliminan la mayoría de los sólidos suspendidos en las aguas negras, o sea aproximadamente de 40 a 60 por ciento, mediante el proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación. Cuando se agregan ciertos productos químicos en los tanques primarios, se eliminan casi todos los sólidos coloidales, así como los sedimentables, o sea un total de 80 a 90 por ciento de los sólidos suspendidos. La actividad biológica en las aguas negras durante este proceso, tiene escasa importancia.

El propósito fundamental de los dispositivos para el tratamiento primario, consiste en disminuir suficientemente la velocidad de las aguas negras para que puedan sedimentarse los sólidos. Por consiguiente, a estos dispositivos se les puede distinguir bajo el nombre de tanques de sedimentación. Debido a la diversidad de diseños y operación, los tanques de sedimentación pueden dividirse en cuatro grupos generales, que son:

- 1) Tanques sépticos.
- 2) Tanques de doble acción, como son los de Imhoff y algunas otras unidades patentadas.
- 3) Tanques de sedimentación simple con eliminación mecánica de lodos.
- 4) Clarificadores de flujo ascendente con eliminación mecánica de lodos.

Cuando se usan productos químicos, se emplean otras unidades auxiliares, que son:



- 1) Unidades alimentadoras de reactivos.
- 2) Mezcladores.
- 3) Floculadores.

Son de tal naturaleza los resultados que se logran mediante el tratamiento primario, junto con los que se logran -- por la digestión anaeróbica de los lodos que se describe -- más adelante, que pueden ser comparados con la zona de degradación de la autpurificación de las corrientes. El uso del cloro en el tratamiento primario se describirá posteriormente, cuando se aborde el tratamiento por cloración.

En muchos casos el tratamiento primario es suficientemente adecuado para que se pueda permitir la descarga del efluente a las aguas receptoras, sin que se interfiera con el -- uso adecuado subsecuente de dichas aguas.

**c) Tratamiento secundario.**

Este tratamiento debe hacerse cuando las aguas negras toda vía contienen, después del tratamiento primario, más sólidos orgánicos en suspensión o solución que los que puedan ser asimilados por las aguas receptoras sin oponerse a su uso normal adecuado. El tratamiento secundario depende -- principalmente de los organismos aerobios, para la descomposición de los sólidos orgánicos hasta transformarlos en sólidos inorgánicos o en sólidos orgánicos. Este tratamiento es comparable a la zona de recuperación de la autpurificación de una corriente.

Los dispositivos que se utilizan en el tratamiento secundario - son:

- \* Procesos biológicos
  - \*\* Medio suspendido
    - Lagunas
    - Lodos activados
    - Zanjas de oxidación
  - \*\* Medio fijo
    - Discos biológicos
    - Filtros rociadores
  
- \* Procesos fisicoquímicos

d) **Tratamiento Avanzado.**

Es el nivel de tratamiento que tiene como finalidad remover aquellos contaminantes que permanecen en el agua, aún después de recibir un tratamiento secundario, tales como los nutrientes, compuestos que causan olor, color y turbiedad, compuestos orgánicos que provocan demanda de oxígeno, sales inorgánicas, metales pesados, organismos patógenos, etc. Dentro de este nivel de tratamiento se encuentran la coagulación, filtración, carbón activado, ósmosis inversa, procesos de nitrificación, intercambio iónico, microtamizado, etc.

e) **Desinfección.**

La desinfección de las aguas y aguas residuales, es posible lograrla a través de medios físicos y químicos. La de-

sinfección química ofrece mayores posibilidades de éxito - que la física.

Los patógenos de todos tipos y clases, son removidos del -- agua y las aguas residuales, en un grado variable por la - mayoría de los procesos convencionales de tratamiento. En\_ el curso del tratamiento, los patógenos también mueren o - son destruidos en cantidades significativas. En cambio la\_ desinfección intencional de las aguas y aguas residuales - tiene la misión específica de matar, en forma selectiva si es necesario, aquellos organismos vivientes que pueden di- fundir o transmitir infecciones a través del agua o en ella.

Para que los desinfectantes del agua sean de utilidad prác- tica, es necesario que reunan las siguientes propiedades:

- \* Deben destruir las clases y número de patógenos que se\_ pueden introducir a las aguas o aguas residuales municij pales, y además, hacerlo dentro de un lapso considera-- ble de tiempo, de una gama esperada en la temperatura - del agua, y de las posibles fluctuaciones en composi--- ción, concentración y condición de las aguas o aguas re- siduales sujetas a tratamiento.
- \* En las concentraciones requeridas, no deben ser tóxicos al hombre ni a sus animales domésticos, ni de sabor de- sagradable u objetables por alguna otra razón.
- \* Deben ser aplicables a un costo razonable, ser seguros\_ y fáciles de almacenar, transportar, manipular y apli-- car.
- \* Su concentración en el agua tratada debe ser determina- ble con facilidad, rapidez y de preferencia, automática- mente.

- \* Deben persistir en el agua desinfectada con la concentración suficiente para proporcionar una protección residual razonable contra la posible recontaminación del agua antes de utilizarla.

#### Luz ultravioleta:

La luz solar es un desinfectante natural, principalmente como agente desinfectante. La irradiación por la luz ultravioleta intensifica la desinfección y la convierte en un agente controlable. La fuente más común de luz ultravioleta es una lámpara de vapor de mercurio construida con cuarzo o vidrio especial igualmente transparente a la luz intensa, destructiva e invisible de  $2537 \text{ \AA} (10^{-8} \text{ cm})$  emitida por el arco de vapor de mercurio. Para asegurar la desinfección, el agua se debe encontrar libre de sustancias que absorben la luz, por ejemplo, los compuestos fenólicos y aromáticos de otro tipo, y de materia suspendida que interponga una sombra a los organismos contra la luz; debe ser adecuado el producto tiempo-intensidad de la exposición, y el agua debe estar sujeta a una buena mezcla durante la exposición en películas relativamente delgadas, con objeto de contrarrestar su adsorividad propia. Existen otras formas de energía radiante y sónica que destruyen los microorganismos, pero aún no encuentran una aplicación dentro de la ingeniería en la desinfección de aguas.

#### Ozono:

El Ozono,  $O_3$ , es empleado efectiva y eficientemente como un desodorante, decolorante y desinfectante de las aguas.

Bajo el aspecto de un desinfectante, cabe destacar que el Ozono posee propiedades que pueden ser de una efectividad

- \* Unidad Angstrom.

total o también nula, lo cual implica, que produce una desinfección esencialmente nula por debajo de una concentración crítica, pero también, prácticamente completa sobre dicha concentración.

#### Cloración:

Una de las medidas más comúnmente empleadas, en la desinfección de aguas, es la cloración, la cual puede utilizarse para muy diversos propósitos, en todas las etapas de un tratamiento de aguas negras y aún antes del tratamiento preliminar. Generalmente se aplica el cloro a las aguas residuales con los siguientes propósitos:

1. Desinfección o destrucción de organismos patógenos.
2. Prevención de la descomposición de las aguas negras para:
  - \* Controlar el olor
  - \* Protección de las estructuras de la planta.
3. Como auxiliar en la operación de la planta para:
  - \* La sedimentación
  - \* En los filtros goteadores
  - \* El abultamiento de los lodos activados
4. Ajuste o abatimiento de la demanda bioquímica de oxígeno

#### f) Tratamiento de los lodos.

Los lodos de las aguas negras están constituidos por los sólidos que se eliminan en las unidades de tratamiento primario y secundario, junto con el agua que se separa con ellos. Mientras que en algunos cuantos casos es satisfactoria la disposición de ellos sin someterlos a tratamien--

to, generalmente es necesario tratarlos en alguna forma para prepararlos o acondicionarlos para disponer de ellos -- sin originar condiciones inconvenientes. Este tratamiento tiene dos objetivos, siendo el primero de éstos eliminar - parcial o totalmente el agua que contienen los lodos para disminuir su volumen en fuerte proporción y, en segundo lugar, para que se descompongan todos los sólidos orgánicos putrescibles transformándose en sólidos minerales o sólidos orgánicos relativamente estables. Esto se logra con la - - combinación de dos o más de los métodos siguientes:

1. Espesamiento
2. Digestión, con o sin aplicación de calor
3. Secado en lechos de arena, cubiertos o descubiertos
4. Acondicionamiento con productos químicos
5. Elutriación
6. Filtración al vacío
7. Secado aplicando calor
8. Incineración
9. Oxidación húmeda
10. Flotación con productos químicos y aire
11. Centrifugación.

## V.2 TRENES ALTERNATIVOS DE TRATAMIENTO Y COSTOS ASOCIADOS.

Para seleccionar el tren de procesos de tratamiento de aguas residuales más apropiado, es indispensable conocer la alternativa más adecuada de disposición del efluente y en consecuencia la calidad requerida, así como considerar los costos que se deriven de ello.

Para obtener satisfactoriamente la calidad requerida en los efluentes de una planta de tratamiento de aguas residuales y las condiciones que satisfagan su reutilización, en la actualidad, se conoce una gran diversidad de procesos que al ser combinados, proporcionan las eficiencias de remoción y de ecología deseadas.

La figura V.2.1 presenta, en forma comparativa, las principales características de algunos procesos de tratamiento de aguas residuales, que proporcionan una idea general de las ventajas y desventajas de diferentes procesos, para que en forma rápida y objetiva se normen los criterios de selección de alternativas.

En la figura V.2.2 se muestra la reducción de organismos coliformes para diversos niveles de tratamiento de aguas residuales.

En el presente trabajo se contemplaron algunas de las alternativas más frecuentemente consideradas en un sistema de tratamiento de aguas residuales y sus costos de construcción, operación y mantenimiento.

**Figura V.2.1**  
**COMPARACIONES CUALITATIVAS DE LAS PRINCIPALES CARACTERISTICAS**  
**DE LOS DIFERENTES PROCESOS**

PROCESO	NECESIDADES DE TERRENO	COSTOS DE CONSTRUCCION	NECESIDADES DE OP. Y MPTO.	RESULTADOS DE TRATAM.
SEDIMENTACION PRIMARIA	MINIMAS	BAJOS	MEDIAS	REGULAR
LAGUNAS DE ESTABILIZACION	MUY GRANDES	BAJOS	MINIMAS	BUENO
LAGUNAS DE AERACION	MEDIAS	MEDIOS	MEDIAS	MUY BUENO
ZANJAS DE OXIDACION	MEDIAS	ALTOS	MINIMAS	MUY BUENO
LODOS ACTIVADOS	MINIMAS	ALTOS	MUY GRANDES	MUY BUENO
DISCOS BIOLÓGICOS	MINIMAS	ALTOS	GRANDES	MUY BUENO

**ESTA TESIS NO DEBE  
 SALIR DE LA BIBLIOTECA**



FIGURA V.2.2

REDUCCION DE ORGANISMOS COLIFORMES PARA DIVERSOS  
NIVELES DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES

NIVEL DE TRATAMIENTO	SIN CLORACION (%)	CON CLORACION (%)
PRETRATAMIENTO	16.25	52.125
SEDIMENTACION PRIMARIA	50.00	99.00
PRECIPITACION QUIMICA	60.00	99.20
LODOS ACTIVADOS	94.00	99.94
DISCOS BIOLOGICOS	92.50	99.925

FUENTE: Metcalf & Eddy, Inc. "Wastewater Engineering; treatment, disposal, reuse" - McGraw-Hill Book Company, New York, 1979. Water Pollution Control Federation. Wastewater Treatment Plant Design. Manual of practice No. 8. Washington, D.C. 1977. Culp/Wesner/Culp.

Con objeto de establecer un marco de referencia respecto a inversiones requeridas en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales para diversos procesos, en este trabajo se elaboró un análisis de costos, segregando cada uno de los procesos que componen un tren de tratamiento e integrando siete alternativas de trenes de procesos.

- \* Lagunas aeradas
- \* Lodos activados
- \* Zanjas de oxidación
- \* Sedimentación primaria con cloración y manejo de lodos
- \* Lagunas de estabilización
- \* Discos biológicos
- \* Sedimentación primaria con emisor submarino.

Estas alternativas se manejaron en base a los costos asociados a cada unidad de procesos para tres valores de caudales (43.8 - 1/s, 438.2 1/s y 2191 1/s) y a las inversiones requeridas en la integración de las unidades de procesos formando un tren de tratamiento. Asimismo, se descartó el costo del terreno en el cálculo de los costos unitarios, con el objeto de establecer en forma comparativa los casos en que se tuviera igualdad de condiciones de ubicación, cuando se hubiere asignado previamente el terreno para alojar la planta de tratamiento (Anexo II)

Para la determinación del tren de procesos de tratamiento más adecuado a cada rango analizado, se partió de los valores estimados en la Figura V.2.3.

CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES EN CIUDADES MEDIAS PARA  
POBLACION ESTIMADA (AÑO 2000)

C I U D A D	POBLACION ESTIMADA (AÑO 2000)	DOTACION l/HAZ/DIA	GASTO AGUAS RESIDUALES (l/s)
AGUASCALIENTES	563,200	350	1,825.19
MEXICALI	725,500	350	2,351.16
TIJUANA	952,600	350	3,087.13
ENSENADA	246,500	350	798.84
LA PAZ	191,000	350	618.98
CAMPECHE	258,600	350	838.06
TUXTRA GUTIERREZ	210,500	350	682.18
TAPACHULA	136,100	300	378.06
CHIHUAHUA	666,400	350	2,159.63
CIUDAD JUAREZ	941,000	350	3,049.54
SALTILLO	514,100	350	1,666.06
MONCLOVA	265,800	350	861.39
COLIMA	194,100	350	629.03
DURANGO	453,400	350	1,469.35
CELAYA	286,900	350	929.77
IRAPUATO	310,100	350	1,004.95
LEON	1'095,300	350	3,549.58
SALAMANCA	196,000	350	635.19
ACAPULCO	552,000	350	1,788.89
PACHUCA	184,200	350	596.94
TOLUCA	442,400	350	1,433.70
MORELIA	552,300	350	1,789.86
URUAPAN	231,800	350	751.20
ZAMORA	160,400	350	519.81
CUERNAVACA	509,000	350	1,649.54
TEPIC	270,500	350	876.62
OAXACA	238,000	350	771.30
PUEBLA	1'350,900	350	4,377.92
SAN LUIS POTOSI	714,000	350	2,213.89

C I U D A D	POBLACION ESTIMADA (AÑO 2000)	DOTACION 1/HAH/DIA	GASTO AGUAS RESIDUALES (1/s)
QUERETARO	516,600	350	1,674.17
CIUDAD VALLES	191,900	350	621.90
CULIACAN	673,800	350	2,183.61
MAZATLAN	435,000	350	1,409.72
MOCHIS	267,600	350	867.22
HERMOSILLO	542,800	350	1,759.07
CIUDAD OBREGON	319,700	350	1,036.06
VILLAHERMOSA	299,500	350	970.60
TAMPICO	959,800	350	3,110.46
REYNOSA	414,200	350	1,342.31
MATAMOROS	386,400	350	1,252.22
NUEVO LAREDO	417,000	350	1,351.39
CIUDAD VICTORIA	285,900	350	926.43
VERACRUZ	480,500	350	1,557.18
COATZACOALCOS	222,800	350	722.04
MINATITLAN	184,900	350	599.21
CORDOBA	169,700	350	549.95
ORIZABA	180,800	350	585.93
JALAPA	359,600	350	1,165.37
POZA RICA	291,600	350	945.00
MERIDA	611,700	350	1,982.36
ZACATECAS	194,700	350	630.97

Es importante mencionar que para fines del análisis comparativo entre los procesos de tratamiento incluidos, se consideraron -- los requerimientos de espacio físico que se indican en la -- -- **Figura V.2.4.**

Se establecieron los rangos de población y caudal de aguas residuales mostrados en la **Figura V.2.5** para la obtención de sus -- correspondientes costos de terreno, construcción e inversión -- -- **Figuras V.2.6, V.2.7 y V.2.8** respectivamente.

**Figura V.2-4**  
**REQUERIMIENTOS DE AREA POR UNIDAD**  
**DE PROCESOS**  
**(m<sup>2</sup>)**

PROCESO	Q = 150 (l/s)	Q = 300 (l/s)	Q = 500 (l/s)	Q = 700 (l/s)	Q = 900 (l/s)
LODOS ACTIVADOS	18,298	25,716	35,170	48,695	62,090
ZANJAS DE OXIDACION	36,033	54,996	-	-	-
LAGUNAS AERADAS	18,656	37,312	62,098	86,938	111,777
LAGUNAS DE ESTABILIZACION	46,640	93,279	155,229	217,320	279,412
DISCOS BIOLOGICOS	46,956	70,192	-	-	-
SEDIMENTACION PRIMARIA	531	1,051	1,766	2,472	3,179

Figura V.2-5

RANGOS DE CLASIFICACION EN CIUDADES MEDIAS  
POR NUMERO DE HABITANTES.

RANGO	POBLACION (hab.)	CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES (l/s)
I	>800,000	900
II	600,000 - 800,000	700
III	400,000 - 600,000	500
IV	200,000 - 400,000	300
V	<200,000	150

Figura V.2.6

**COSTOS DE TERRENO**  
(Millones de pesos)  
(Nov. 1980)

PROCESO	*Q = 150	Q = 300	Q = 500	Q = 700	Q = 900
LODOS ACTIVADOS	403	566	774	1,071	1,366
ZANJAS DE OXIDACION	793	1,210	-	-	-
LAGUNAS AERADAS	410	821	1,366	1,913	2,459
LAGUNAS DE ESTAB.	1,026	2,052	3,415	4,781	6,147
DISCOS BIOLOGICOS	1,033	1,544	-	-	-
SEDIMENTACION PRIMARIA	12	22	39	54	70

\* Caudal de aguas residuales en l/s.

Se consideró costo de terreno \$ 22,000.00/m<sup>2</sup> en base a "IV CONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL" (MEMORIA).



Figura V.2.7  
**COSTOS DE CONSTRUCCION**  
 (Millones de pesos)

PROCESO	*Q = 150	Q = 300	Q = 500	Q = 700	Q = 900
LODOS ACTIVADOS	6,927	10,587	14,819	19,377	23,674
ZANJAS DE OXIDACION	4,096	6,845	-	-	-
LAGUNAS AERADAS	1,720	2,653	3,679	4,621	5,480
LAGUNAS DE ESTAB.	1,500	2,276	3,107	3,853	4,525
DISCOS BIOLOGICOS	10,483	17,926	27,266	38,364	47,995
SEDIMENTACION PRIMARIA	3,362	5,078	7,012	8,995	10,833
SEDIMENTACION PRIMARIA CON EMISOR SUBMARINO	5,272	6,904	8,692	10,774	12,618

\* Caudal de aguas residuales en l/s.

**Figura V.2.8**  
**C O S T O S   D E   I N V E R S I O N**  
 (Millones de pesos)  
 (Nov. 1988)

PROCESO	*Q = 150	Q = 300	Q = 500	Q = 700	Q = 900
LODOS ACTIVADOS	7,330	11,153	15,593	20,448	25,040
ZANJAS DE OXIDACION	4,889	8,055	-	-	-
LAGUNAS AERADAS	2,130	3,474	5,045	6,534	7,939
LAGUNAS DE ESTAB.	2,526	4,328	6,522	8,634	10,672
DISCOS BIOLOGICOS	11,516	19,470	-	-	-
SEDIMENTACION PRIMARIA	3,374	5,101	7,051	9,049	10,903
SEDIMENTACION PRIMARIA CON EMISOR SUBMARINO	5,284	6,927	8,732	10,828	12,718

\* Caudal de aguas residuales en l/s.

Tradicionalmente las asignaciones presupuestales en materia de tratamiento de aguas residuales no han sido suficientes para cubrir la demanda de las ciudades medias. Si bien se observó un auge en las inversiones en este renglón durante el período 1966 - 1976, cuando se destinaron importantes porcentajes presupuestales, también se han depreciado, debido al alto crecimiento demográfico y a las inversiones posteriores.

Cada una de las ciudades medias presenta diferente problemática en sus sistemas existentes, por lo que las erogaciones realizadas en la década 1977-1987, no se orientaron a un sólo concepto, sino que se distribuyeron de acuerdo a los requerimientos de cada sistema. En este sentido, se tiene que del total del monto invertido en este lapso, el 30.52% correspondió a la recolección de aguas residuales, el 9.76% al tratamiento de las aguas de desecho y el 2.82% a la construcción de emisores para el alejamiento de las aguas negras.

En la Figura V.2.9 se presentan los procesos de tratamiento recomendados para cada una de las ciudades medias, así como la inversión total que se requiere en ellas.

Si se analiza la inversión efectuada por el Gobierno Federal en materia de tratamiento de aguas residuales en la década 1977-1987, misma que fué de \$ 11,249.51\* Millones de Pesos\*\*, se puede observar que esta cantidad representa el 3.78% de las necesidades del país, lo cual nos conduce a considerar que de mantenerse este ritmo, serán necesarios más de 200 años para cubrir los requerimientos actuales en materia de tratamiento de las aguas de desecho.

\* Fondo de Inversiones Financieras para Agua Potable y Alcantarillado (FIFAPA) Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C.

\*\* Cantidad a precios corrientes - 15 de Abril de 1988.

Figura V.2.9

PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y COSTOS ASOCIADOS  
EN CIUDADES MEDIAS

RANGO	POBLACION (Miles de hab.)	CIUDAD	PROCESO DE TRATAMIENTO RECOMENDADO	C O S T O S		
				UNITARIO (Millones de pesos)	GLOBAL (Millones pesos)	TOTAL - RANGO (Millones de pesos)
I	> 800	PUERLA LEON TAMPICO CD. JUAREZ	SEDIMENTACION PRIMARIA	10,903	43,612	51,551
		TIJUANA	LAGUNAS AERADAS	7,939	7,939	
II	600 - 800	CHIHUAHUA CULIACAN SAN LUIS POTOSI MEXICALI	SEDIMENTACION PRIMARIA	9,049	36,196	42,730
		MERIDA	LAGUNAS AERADAS	6,534	6,534	
III	400 - 600	AGUASCALIENTES NVO. LAREDO CUERNAVACA HERMOSILLO REYNOSA DURANGO MORELIA QUERETARO TOLUCA SALTILLO	SEDIMENTACION PRIMARIA	7,051	70,510	85,645
		ACAPULCO VERACRUZ MAZATLAN	LAGUNAS AERADAS	5,045	15,135	

Figura V.2.9

PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y COSTOS ASOCIADOS  
EN CIUDADES MEDIAS

RANGO	POBLACION (Miles de hab.)	CIUDAD	PROCESO DE TRATAMIENTO RECOMENDADO	C O S T O S		
				UNITARIO (Millones de pesos)	GLOBAL. (Millones pesos)	TOTAL. - RANGO (Millones de pesos).
I	> 800	PUEBLA LEON TAMPICO CD. JUAREZ	SEDIMENTACION PRIMARIA	10,903	43,612	51,551
		TIJUANA	LAGUNAS AERADAS	7,939	7,939	
II	600 - 800	CHIHUAHUA CULIACAN SAN. LUIS POTOSI MEXICALI	SEDIMENTACION PRIMARIA	9,049	36,196	42,730
		MERIDA	LAGUNAS AERADAS	6,534	6,534	
III	400 - 600	AGUASCALIENTES NVO. LAREDO CUERNAVACA HERMOSILLO REYNOSA DURANGO MORELIA QUERETARO TOLUCA SALTILO	SEDIMENTACION PRIMARIA	7,051	70,510	85,645
		ACAPULCO VERACRUZ MAZATLAN	LAGUNAS AERADAS	5,045	15,135	

RANGO	POBLACION (Miles de Hab.)	C I U D A D	PROCESO DE TRATAMIENTO RECOMENDADO	C O S T O S		
				UNITARIO (Millones de pesos)	GLOBAL (Millones de pesos)	TOTAL - RANGO (Millones de pesos)
IV	200 - 400	MATAMOROS POZA RICA MONCLOVA COATZACOALCOS CELAYA TEPIC CD. OBREGON CD. VICTORIA MOCHIS VILAHERMOSA URUAPAN IRAPUATO OAXACA	SEDIMENTACION PRIMARIA	5,101	66,313	80,209
		JALAPA CAMPECHE ENSENADA TUXTLA GTZ.	LAGUNAS AERADAS	3,474	13,896	
V	<200	SALAMANCA ZACATECAS COLIMA CD. VALLES LA PAZ MINATITLAN PACHUCA ORIZABA CORDOBA ZAMORA TAPACHULA	SEDIMENTACION PRIMARIA	3,374	37,114	37,114

I N V E R S I O N   T O T A L   297,249

Para el caso en que el gasto de diseño de la planta no coincida con los valores considerados en este trabajo, se puede emplear el siguiente modelo para determinar los costos asociados de construcción, operación y mantenimiento para valores de caudales intermedios:

$$C_x = C_i \left( \frac{Q_x}{Q_i} \right)^{\alpha_n}$$

donde:

- $C_x$  = Costos asociados a un valor de caudal "x"
- $C_i$  = Costos asociados al valor de caudal inferior al caudal "x"
- $Q_x$  = Caudal "x" (gasto de diseño)
- $Q_i$  = Caudal inferior al caudal "x"
- $\alpha_n$  = Factor de escalamiento  $\alpha_n$  para caudales entre 43.82 l/s y 438.2 l/s y  $\alpha_n$  para caudales comprendidos entre 438.2 l/s y 2191 l/s.

**VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**



## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- \* Dado el incremento poblacional y por consiguiente el aumento en la demanda de servicios por parte de los habitantes, es necesario considerar tanto las actuales ciudades medias, como aquellas que a corto plazo se podrán considerar en esta clasificación, como una necesidad latente de planeación, ordenamiento y control en el aprovechamiento de los recursos naturales, así como los efectos nocivos que se puedan ocasionar al ambiente por su uso indiscriminado.
  
- \* La práctica de la reutilización de las aguas residuales, es una realidad que cada vez se hace más necesaria, siempre y cuando se reúnan ciertas condiciones que minimicen sus riesgos y éstas estén enmarcadas en una reglamentación adecuada.
  
- \* Aún cuando en México se cuenta con una amplia experiencia, que va más allá de los 30 años, en la construcción, operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales, la información relacionada con los costos de este tipo de instalaciones, además de ser deficiente se encuentra dispersa; situación que obliga a realizar, en muchos casos, extrapolaciones erróneas de casos documentados en el extranjero. Esto es originado por la falta de un registro de datos sobre los costos de más de 300 plantas construídas por numerosas instituciones públicas y privadas.
  
- \* El factor económico es determinante en la selección de la opción más adecuada en el tratamiento de las aguas residua

les, aún cuando la calidad requerida y las eficiencias de los trenes de procesos alternativos para satisfacer dicho requisito son indispensables.

- \* Es conveniente que el Gobierno Federal establezca un marco de referencia sobre costos de construcción, operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales, dada la gran cantidad de este tipo de instalaciones que se requieren construir en México, en base a datos reales que puedan ser actualizados de acuerdo a una metodología apropiada.
  
- \* Una gran cantidad de proyectos de plantas de tratamiento de aguas residuales no se han construido por los presupuestos tan altos que involucran, y en otros casos, las instalaciones han sido abandonadas por no haberse determinado adecuadamente las erogaciones por concepto de operación y mantenimiento correspondientes.
  
- \* Es importante destacar que la inversión realizada en materia de plantas de tratamiento de aguas residuales, por parte del Gobierno Federal, en la década 1977 - 1987 fue de \$ 11,249.51 Millones de Pesos y la inversión total requerida es de \$ 297,249 Millones de Pesos, y dada la actual situación económica del país, se puede considerar que las inversiones en este renglón seguirán las tendencias de años recientes, y que los rezagos serán mayores si no se efectúan inversiones que sean acordes con las necesidades que demanda la población.

A N E X O

I

CLASIFICACION DE LAS AGUAS DULCES SUPERFICIALES SEGUN SU USO



Para abastecimiento de sistemas de agua potable e industrial alimenticia con desinfección únicamente. Recreación de contacto primario.



Para abastecimiento de agua potable con tratamiento convencional (coagulación, sedimentación, filtración y desinfección) e industrial.



Agua adecuada para uso recreativo, conservación de flora y fauna y usos industriales.



Agua para uso agrícola e industrial.



Agua para uso industrial (excepto procesamiento de alimentos).

La clasificación de las aguas de los cuerpos receptores superficiales en función de sus usos y características, así como -- los valores máximos permisibles de sustancias tóxicas en los -- cuerpos receptores, se encuentran contenidos en el Capítulo -- III, Tablas 2 y 3 del presente trabajo.

CLASIFICACION DE LAS AGUAS COSTERAS SEGUN SU USO.



Cultivo de mariscos para consumo directo y áreas de acuacultura y todos los demás -- usos.



Recreación con contacto primario y todos los demás usos -- excepto C1.



Usos recreativos sin contacto primario y todos los demás -- usos excepto los anteriores.



Explotación pesquera de especies de escama y todos los -- demás usos excepto los anteriores.

Fuente: Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas.

CLASIFICACION DE LAS AGUAS COSTERAS EN FUNCION DE SUS USOS  
Y CARACTERISTICAS DE CALIDAD (1)

CLASE	1 pH	2 TEMPERATURA °C	3 O.D. (mg/l) Límite mínimo	4 BACTERIAS COLIFORMES NMP (Organismos/100 ml)	5 ACEITTES Y GRASAS (mg/l)	6 TRANSPA- RENCIA	7 COLOR, OLOR Y SABOR	8 MATERIA FLOTANTE	9 SUBSTAN- CIAS TOXICAS.
C1	CN ± 0.3	CN ± 10%  (b)	90% de CN  (c)	La concentración - media deberá ser - menor ó igual a 70 (f)	(j)	(k)	(m)	Ausente	(n)
C2	CN ± 0.3	CN ± 10% (b)	90% de CN (d)	Menor que 1000 (g)	(j)	(k)	(m)	Ausente	(n)
C3	CN ± 0.4	CN ± 10% (b)	90% de CN (d)	Menor que 2000 (h)	(j)	(l)	(m)	Ausente	(n)
C4	CN ± 0.4	CN ± 10% (b)	90% de CN (e)	La concentración - media mensual será menor ó igual a -- 10,000 (i)	(j)	(l)	(m)	Ausente	(n)

pH = Potencial hidrógeno  
OD = Oxígeno disuelto  
NMP = Número más probable

CN = Condiciones naturales  
mg/l = Miligramos por litro  
°C = Grados centígrados

(1) Dichas características deberán obtenerse de muestras que permitan representar el área afectada por las aguas residuales fuera de la zona inicial de mezclado (a).

Fuente: Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas.

- a) Se considerará como zona de mezclado en aguas costeras al volumen adyacente al sitio de descarga en el cual se mezclan las aguas residuales con las aguas costeras debido al momento de descarga y a la diferencia de densidades.
- b) Nunca podrá exceder de 32°C.
- c) Nunca deberá ser menor que 4.0 mg/l
- d) Nunca deberá ser menor que 3.0 mg/l.
- e) Nunca deberá ser menor que 5.0 mg/l.
- f) No más del 10% del total de las muestras en un período mensual deberá exceder de 230/100 ml.
- g) No más del 20% del total de las muestras mes (5 muestras por lo menos) deberá exceder de 1000/100 ml; ni ninguna muestra simple tomada durante un período verificativo de 48 hrs. debe exceder de 10,000/100 ml.
- h) No más del 20% del total de las muestras deberá exceder el valor considerado en un período mensual. Ni en un período verificativo de 48 hrs., podrá exceder de 10,000/100 ml.
- i) No más del 20% del total de las muestras deberá exceder de 10,000/100 ml en un período mensual, ni ninguna excedera de 20,000/100 ml.
- j) Ningún aceite o producto del petróleo debe ser descargado en cantidades que:
  - I. Pueda ser detectado como una película visible, o
  - II. Pueda causar manchas en peces y/o organismos invertebrados, o
  - III. Forme depósitos de lodo aceitoso en la costa o en el



fondo del cuerpo receptor, o

IV. Se vuelva tóxico.

- k) La media mensual de este parámetro no podrá disminuirse en más de una desviación estándar de la media determinada en el mismo período para los niveles naturales.
- l) La media mensual de este parámetro no podrá disminuirse -- más de una y media veces la desviación estándar, de la media determinada durante el mismo período para los niveles naturales.
- m) No deberá descargarse ningún efluente con estas características a menos que se haya demostrado que no es perjudicial para el desarrollo de la vida acuática, la apariencia física o el uso óptimo del cuerpo receptor.
- n) Se seguirá el siguiente criterio, para asignar de acuerdo con el cuadro IV.2. las concentraciones máximas permisibles de las descargas.

Se deberá determinar mediante bioensayos el límite medio - de tolerancia, de 96 hrs. (TLmg6). De preferencia se harán bioensayos con flujo continuo, utilizándose la etapa de vida más sensible de las especies de importancia ecológica o económica, con el siguiente factor de aplicación:

1/20 para todas las especies.

Cuando debido a la supervivencia de las especies no sea posible determinar el TLmg6 se deberá calcular mediante la - expresión:

$$TLmg6 = \frac{170}{\log(100-S)}$$

donde:

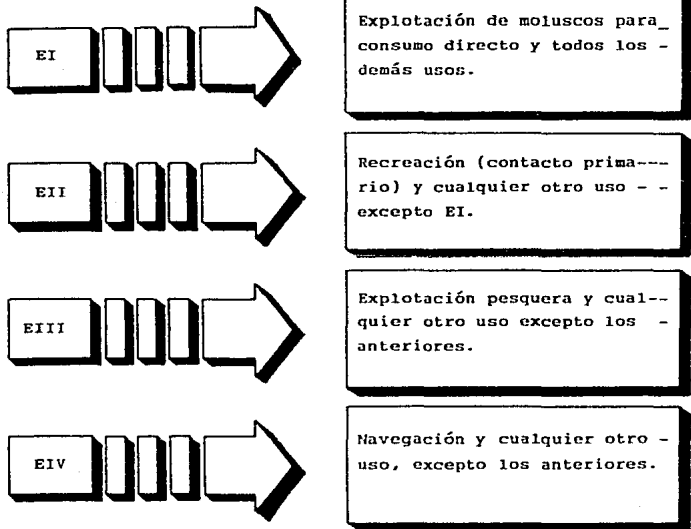
S = Porcentaje de supervivencia para el 100% de desecho.

**VALORES MAXIMOS PERMISIBLES DE SUSTANCIAS TOXICAS  
EN AGUAS COSTERAS**

Los valores de las sustancias de este cuadro no son limitativos y están sujetos a modificación de acuerdo con el futuro avance tecnológico.

	<u>mg/l</u>	<u>Plaguicidas</u>	<u>µg/l</u>
Arsénico	0.100	Aldrin	0.04
Cadmio	0.001	BHC	2.00
Cobre	0.005	Clordano	2.00
Cromo hexavalente	0.001	Endrin	0.20
Mercurio	0.0005	Heptacloro	0.20
Plomo	0.001	Lindano	0.20
Fenoles	0.001	D.D.T.	0.60
Substancias activas al azul de metileno (Detergentes)	0.001	Dieldrin	0.30
Niquel	0.008	Endosulfán	0.20
Zinc	0.010	Metoxiclor	4.00
Cianuro	0.001	Perthane	3.00
Amoniaco	0.100	TDE	3.00
		Toxafeno	3.00
		Coomaphos	2.00
		Dursban	3.00
		Fenthion	0.03
		Naled	3.00
		Paration	1.00
		Donnel	5.00
		Arsenicales	10.00
		Naturales	10.00
		Carbonatos	10.00
		Derivados de 2,4 - D	10.00
		Derivados de 2,4,5 -T	10.00
		Comp.de ácido ftálico	10.00
		Derivados de triazina	10.00
		Derivados de urea	10.00

Fuente: Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas.

CLASIFICACION DE LAS AGUAS DE ESTUARIOS SEGUN SU USO

Fuente: Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas.

CLASIFICACION DE LAS AGUAS DE ESTUARIOS EN FUNCION DE SUS USOS Y CARACTERISTICAS DE CALIDAD

CLASE	<sup>(1)</sup> pH	<sup>(2)</sup> TEMPERATURA °C	<sup>(3)</sup> O.D. (mg/l)	<sup>(4)</sup> BACTERIAS COLIFORMES NMP (Organismos/100 ml)	<sup>(5)</sup> ACETTES Y GRASAS (mg/l)	<sup>(6)</sup> SOLIDOS DISUELTOS (mg/l)	<sup>(7)</sup> TURBIDEAD. (U.T.J.)	<sup>(8)</sup> COLOR, OLORES Y SABOR	<sup>(9)</sup> NUTRIENTES NITROGENO Y FOSFORO	<sup>(10)</sup> MATERIA SEDIMENTABLE	<sup>(11)</sup> SUBSTANCIAS TOXICAS.
		Límite Máximo	Límite Mínimo	Límite Máximo							
EI	6.5 a 8.5	C.N. más 2.5 (a)	4.0	70 promedio	(d)	(e)	(j)	(g)	(h)	ausente (i)	(j)
EII	6.5 a 8.5	C.N. más 2.5 (a)	4.0	200 fecales (b)	(d)		(f)	(g)	(h)	ausente (i)	(j)
EIII	6.3 a 2.5	C.N. más 2.5 (a)	4.0	10 000 promedio mensual (c)	(d)	(e)	(j)	(g)	(h)	ausente (i)	(j)
EIV	5.0 a 9.0		3.0		(d)				(h)	ausente (i)	(j)

mg/l = Miligramos por litro

pH = potencial Hidrógeno

O.D. = Oxígeno Disuelto

NMP = Número más probable

UTJ = Unidades de turbiedad Jackson

C.N. = Condiciones naturales

°C = Grados centígrados

(1) Los valores de la tabla se refieren a las aguas fuera de las zonas de mezclado (k) excepto el correspondiente a temperatura

Fuente: Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas.

- a) Medida en la superficie de la zona de mezclado.
- b) No más del 10% del total de las muestras mensuales (5 mímo) podrá exceder de 2000 coliformes fecales.
- c) Ningún valor deberá exceder de 20,000 coliformes totales.
- d) Ningún aceite o producto del petróleo deberá ser descargado en cantidades que:
  - I) Pueda ser detectado como una película visible.
  - II) Pueda causar manchas en peces y/o organismos invertebrados, o
  - III) Forme depósitos de lodo aceitoso en la costa, ribera, o en el fondo del cuerpo receptor, o
  - IV) Se vuelva tóxico.
- e) No deberán hacerse cambios en la geometría de la cuenca ó\_ en las entradas de agua dulce que puedan causar cambios -- permanentes en los patrones de comportamiento de la isohalina de  $\pm 10\%$  de la variación natural.
- f) Se aplicarán los siguientes límites:
  - C.N. + 5%, si la turbiedad natural está entre 0 y 50 U.T.J.
  - C.N. + 10%, si la turbiedad natural está entre 50 y 100 -- U.T.J.
  - C.N. + 20%, si la turbiedad natural es mayor o igual a 100\_ U.T.J.
- g) No deberá descargarse ningún efluente con estas características a menos que se haya demostrado que no es perjudicial a la flora y fauna acuática ni impida el uso óptimo del -- cuerpo receptor.
- h) No debe existir en cantidades tales que puedan provocar -- hiperfertilización.

- i) Cualquier desecho susceptible de sedimentarse y que pueda ocasionar consumo de oxígeno, opacidad ó interferencia a los organismos bentónicos en su respiración o nutrición.
- j) Se seguirá el siguiente criterio para asignar las concentraciones máximas permisibles de las descargas:
- \* Se deberá determinar mediante bioensayos el límite medio de tolerancia de 96 hrs, de preferencia se harán bioensayos con flujo continuo, utilizándose la etapa de vida más sensible de las especies de importancia ecológica o económica con los siguientes factores de aplicación:
    - 1/100 para plaguicidas y metales
    - 1/20 para sulfatos
    - 1/100 para todas las demás sustancias tóxicas
- k) La zona de mezclado para cada descarga será de 1/3 del área y/o volumen en la sección considerada. Aquella se ampliará hasta 2/3 del área y/o volumen, siempre y cuando las características de la descarga y del cuerpo receptor así como del número de descargas localizadas en la vecindad de la zona de mezclado así lo permitan. En todos los casos deberá quedar en el estuario una zona de paso libre para especies migratorias no menor que 1/3 de área y/o volumen en la sección considerada.

## VALORES MAXIMOS PERMISIBLES DE SUSTANCIAS TOXICAS EN ESTUARIOS

Los valores de las sustancias de este cuadro no son limitativos y están sujetos a modificación de acuerdo con el futuro avance tecnológico. Todos los valores están expresados en mg/l.

Arsénico	1.00	<u>Plaguicidas:</u>	
Cadmio	0.01	Aldrin	0.0004
Cobre	0.05	BHC	0.020
Cromo hexavalente	0.01	Clordano	0.020
Mercurio	0.005	Endrin	0.002
Plomo	0.100	Heptacloro	0.002
Fenoles	0.100	Lindano	0.002
Substancias activas al azul de metileno (detergentes)	0.500	D.D.T.	0.006
Niquel	0.100	Dieldrin	0.003
Zinc	10.000	Endosulfan	0.002
Cianuro	0.500	Metoxiclor	0.040
Fluoruros	1.500	Perthane	0.030
Amoniaco	0.800	TDE	0.030
Creosoles	1.500	Toxafeno	0.030
		Couma phos	0.020
		Pursban	0.030
		Fenothion	0.0003
		Naled	0.030
		Paratión	0.010
		Ronnel	0.050
		Arsenicales	0.010
		Naturales	0.100
		Carbonatos	0.100
		Derivados de 2,4 - D	0.100
		Derivados de 2,4 - r	0.100
		Derivados de triazina	0.100
		Derivados de urea	0.100

Fuente: Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas.

A N E X O

I I



En este anexo se presentan las tablas de REQUERIMIENTOS DE AREA POR UNIDAD DE PROCESOS, COSTOS DE TERRENO, COSTOS DE CONSTRUCCION Y DE INVERSION que se utilizaron como base en el análisis de costos para  $Q = 1$  MGD,  $Q = 10$  MGD y  $Q = 50$  MGD. Asimismo, se presentan en forma gráfica los costos unitarios de algunos trenes de procesos de tratamiento de aguas residuales, para los mismos caudales.

REQUERIMIENTOS DE AREA POR UNIDAD  
DE PROCESOS (m<sup>2</sup>)

PROCESO	Q = 1 MGD (43.82 l/s)	Q = 10 MGD (438.2 l/s)	Q = 50 MGD (2191 l/s)
Pretratamiento	65	320	2230
Sedimentador Primario	155	1550	7742
Sedimentador Secundario	193	1550	6580
Tanque de Aeración	307	3070	15515
Espesador de Lodos Primarios	20	102	256
Espesador de Lodos Secundarios	20	39	193
Zanjas de Oxidación	17010	68850	-
Digestión Anaeróbica	186	1858	9290
Lagunas Aeradas	5450	54500	272471
Lagunas de Maduración	13625	136235	681178
Filtros de Vacío	-	12	58
Discos Biológicos	23000	88000	160000

Fuente: SMISAAC - MEMORIA IV CONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA -  
SANITARIA Y AMBIENTAL.

A-II.2  
**C O S T O S   D E   T E R R E N O**  
 (Millones de pesos)  
 (Nov. 1988)

P R O C E S O	Q = 1 MGD	Q = 10 MGD	Q = 50 MGD
SEDIMENTACION PRIMARIA	176	330	1,606
LAGUNAS DE ESTABILIZACION	1,848	18,502	92,510
LAGUNAS AERADAS	902	9,020	45,078
ZANJAS DE OXIDACION	836	3,124	- - -
LODOS ACTIVADOS	220	682	3,234
DISCOS BIOLOGICOS	220	682	3,234

Fuente: Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A.C.  
 Memoria IV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

## A-II.3

## COSTOS DE CONSTRUCCION

(Millones de pesos)

(Nov. 1988)

PROCESO	Q = 1 MGD	Q = 10 MGD	Q = 50 MGD
LODOS ACTIVADOS	3,261	13,340	48,106
ZANJAS DE OXIDACION	1,645	9,068	- - -
LAGUNAS AERADAS	797	3,364	10,012
LAGUNAS DE ESTABILIZACION	716	2,855	7,998
DISCOS BIOLOGICOS	4,043	24,016	112,924
SEDIMENTACION PRIMARIA	1,616	6,360	20,932
SEDIMENTACION PRIMARIA CON EMISOP SUBMARINO	3,266	7,991	22,220

Fuente: SMISAAC - Memoria IV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

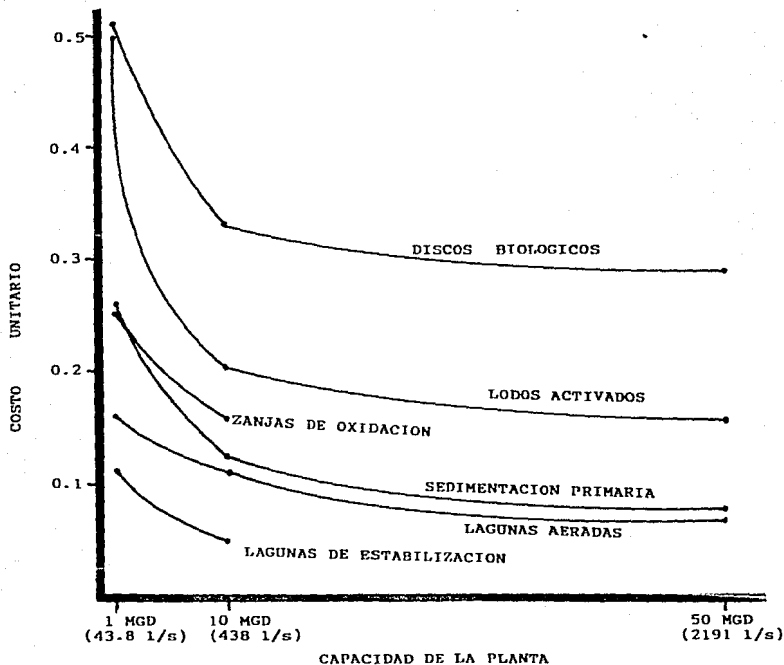
## A-II.4

**COSTOS DE INVERSION**  
 (Millones de pesos)  
 (Nov. 1988)

PROCESO	Q = 1 MGD	Q = 10 MGD	Q = 50 MGD
FILOS ACTIVADOS	3,481	14,022	51,340
ZANJAS DE OXIDACION	2,481	12,192	- - -
LAGUNAS AERADAS	1,699	12,384	55,090
LAGUNAS DE ESTABILIZACION	2,564	21,357	100,508
DISCOS BIOLOGICOS	4,263	24,698	116,158
SEDIMENTACION PRIMARIA	1,792	6,690	22,538
SEDIMENTACION PRIMARIA CON EMISOR SUBMARINO	3,266	7,991	23,936

Fuente: SMISAC - Memoria IV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

A-II.5  
 COSTOS UNITARIOS DE ALGUNOS TRENES DE PROCESOS  
 DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
 (US\$/m<sup>3</sup>)



Fuente: SMISAAC - Memoria IV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

De la Figura A-II.5, se desprenden las siguientes observaciones:

- \* En todos los casos el costo más elevado corresponde al proceso de Discos biológicos.
- \* Para los dos primeros casos de caudales ( $Q = 1$  MGD y  $Q = 10$  MGD) el costo mínimo es el correspondiente al proceso de lagunas de estabilización.
- \* Para el tercer valor de caudal ( $Q = 50$  MGD), el costo unitario más bajo es el que corresponde al proceso de lagunas aeradas.

## Referencias Bibliográficas

- \* **ABASTECIMIENTO DE AGUA Y REMOCION DE AGUAS RESIDUALES.**  
Fair, Geyer y Okun.  
Editorial LIMUSA, México, 1983.
- \* **ALCANTARILLADO Y TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS.**  
Harold E. Babitt y E. Robert Baumann  
Editorial C.E.C.S.A., México, 1983.
- \* **CENSOS DE POBLACION Y VIVIENDA**  
Programa de mediano plazo 1986 - 1988.  
Delegaciones SEDUE.
- \* **DIAGNOSTICO DE LA PROBLEMÁTICA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA -  
POTABLE A LAS PRINCIPALES CIUDADES DEL PAIS.**  
Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.  
Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica.
- \* **EL MEDIO AMBIENTE**  
Pierre George  
Ediciones Orbis, S.A. - Barcelona, España 1986.
- \* **EVALUACION, EFECTOS Y SOLUCION DE LA CONTAMINACION DEL AGUA**  
M. en I. Ernesto Murguía Vaca.  
Universidad Nacional Autónoma de México.
- \* **LEGISLACION AMBIENTAL DE MEXICO**  
"REGLAMENTO PARA LA PREVENCION Y CONTROL DE LA CONTAMINA--  
CION DE AGUAS".  
S.S.A. - México, 1977.
- \* **LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL --  
AMBIENTE.**  
SEDUE - Diario Oficial de la Federación - Jueves 28 de - -  
Enero de 1988.
- \* **MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS**  
Depto. de Sanidad del Estado de New York.  
Editorial LIMUSA - 1983.



- \* MEXICO: SUS NECESIDADES, SUS RECURSOS  
Cutberto Díaz Gómez  
Editorial Técnica, S.A. - México, 1970.
  
- \* PLANEACION DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA A LAS POBLACIONES Y  
A LA INDUSTRIA.  
SARH.- Comisión del Plan Nacional Hidráulico  
México, 1978.
  
- \* PLAN NACIONAL HIDRAULICO  
SARH.- México, 1978.
  
- \* PROGRAMAS ESTATALES DE MEDIANO PLAZO DE ALCANTARILLADO  
1986 - 1988 - SEDOE.
  
- \* PURIFICACION DE AGUAS Y TRATAMIENTO Y REMOCION DE AGUAS --  
RESIDUALES.  
Fair, Geyer y Okun  
Editorial LIMUSA, México, 1984.
  
- \* WASTEWATER ENGINEERING, TREATMENT, DISPOSAL, RESUE.  
Metcalf and Eddy  
McGraw-Hill book Company - U.S.A. 1979.