

41

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE INGENIERIA

APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
TRATADAS POR MEDIO DE LAGUNAS DE  
ESTABILIZACION PARA USO AGRICOLA EN  
ZONAS ARIDAS

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A N:

FLORES FARIAS ALBERTO CARLOS  
SOBARZO HADAD RODRIGO ISCANDAR

300177

FACULTAD DE  
INGENIERIA

ASESOR: M. I. CONSTANTINO GUTIERREZ PALACIOS



U N A M

Ciudad Universitaria

Noviembre 2001



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/134/01

Señor  
**ALBERTO CARLOS FLORES FARÍAS**  
**RODRIGO ISCANDAR SOBARZO HADAD**  
Presente

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

**"APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS POR MEDIO DE LAGUNAS  
DE ESTABILIZACIÓN PARA USO AGRÍCOLA EN ZONAS ÁRIDAS"**

- I. **INTRODUCCION**
- II. **ANTECEDENTES**
- III. **ZONAS ÁRIDAS EN MÉXICO**
- IV. **ASPECTOS BÁSICOS AGRÍCOLAS**
- V. **LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN PARA RIEGO**
- VI. **CONSTRUCCIÓN Y COSTOS**
- VII. **EJEMPLO DE APLICACIÓN**
- VIII. **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

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

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

Atentamente  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Cd. Universitaria a 20 de agosto de 2001  
EL DIRECTOR

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

**Agradecimientos**



**A**

Mi mamá Ma. Del Consuelo y a mi papá Alejandro  
Que han sido con su ejemplo mi inspiración.

**Rodrigo Iscandar**



**Dedicatoria**



***A mi familia.***

Con mucho cariño, que con su apoyo y confianza en mi, han motivado a superarme cada día.

**Rodrigo Iscandar**



**Agradecimientos**



***A mis padres***

Con mucho cariño por que siempre me han  
dado el amor para a realizar todos mis sueños  
y metas.

***A la UNAM***

Por su espíritu.

**Alberto Carlos**





Te paras frente al espejo y te miras fijamente a los ojos, bajas la mirada y piensas....

Me enseñaste a soñar y a hacer de tus fantasías una ilusión para mi.

Me enseñaste la mistad y la confianza en las demás personas.

Me enseñaste la verdad y me aconsejaste no con lo que quería oír sino con lo mejor para mi.

... Levantas la mirada, te ves nuevamente a los ojos, te das cuenta que dejas un gran pasado, y con una sonrisa en la boca, te das cuenta que te espera un mejor futuro.

**A**

Alvaro

Victor Manuel

Manuel

**Alberto Carlos**



**Aprovechamiento de aguas  
residuales tratadas por  
medio de lagunas de  
estabilización para uso  
agrícola en zonas áridas**

**FI - UNAM**

**Alberto Carlos Flores Farías  
Rodrigo Iscandar Sobarzo Hadad**

**TESIS**



**Ingeniería Civil**

**Ciudad Universitaria**

**noviembre 2001**

oo

## **TÍTULO**

Aprovechamiento de aguas residuales tratadas por medio de lagunas de estabilización para uso agrícola en zonas áridas.

## **OBJETIVOS**

### *General*

Explicar las bases para el tratamiento y uso de aguas residuales para riego de áreas agrícolas en zonas áridas del país.

### *Específicos*

- 1.- Aplicar una metodología para elaborar proyectos técnicos de plantas de tratamiento (lagunas de estabilización) para ciudades de 20,000 a 50,000 habitantes en zonas áridas del país.
- 2.- Analizar las ventajas y desventajas del uso de agua residual tratada mediante lagunas de estabilización para proveer agua para la agricultura en zonas áridas.

## **ALCANCES**

En este trabajo se pretende aplicar una metodología ya existente para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales por medio de lagunas de estabilización para riego agrícola en zonas áridas del país.

Se pretende hacer un estudio de las características afines de las zonas áridas en México, tales como temperatura, precipitación, demografía y agua residual proveniente del uso doméstico.

En la metodología propuesta solo se consideran poblaciones hasta de 50,000 habitantes que cuenten con una red de recolección de aguas residuales domésticas y que se localicen en las zonas áridas ya identificadas en México.

Se analizará la calidad que requiere el agua residual tratada con el objeto de ser reutilizada para riego agrícola y analizando como ésta afecta al suelo y a los cultivos

Se expondrá una alternativa económicamente atractiva para que poblaciones que aún no cumplen con lo establecido por las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes tengan una metodología para tratar sus aguas residuales y cuenten con un aprovechamiento en la disposición final de sus aguas residuales tratadas.

## **DESCRIPCIÓN**

Explicar una metodología adecuada para el diseño de lagunas de estabilización que sirvan para tratar las aguas residuales municipales en poblaciones hasta de 50,000 habitantes y reutilizar éstas para riego agrícola en zonas con escasez de agua.

.....



**INTRODUCCIÓN**

**I**

**I.- ANTECEDENTES**

**1**

<b>1.1 Contaminación del agua</b>	<b>3</b>
1.1.1 Fuentes de Aguas Residuales	3
1.1.2 Efectos de contaminación por las aguas residuales	3
1.1.3 Clasificación de las fuentes de contaminación	5
1.1.4 Situación actual del agua en México.	6
1.1.5 Calidad media de las aguas residuales municipales en el país	8
<b>1.2 Aprovechamiento de aguas residuales tratadas</b>	<b>10</b>
1.2.1 Problemática del reuso del agua	10
1.2.2 Por qué reusar el agua	10
1.2.3 Usos del agua en México	11
1.2.4 Reusos del agua	12
<b>1.3 Características Generales de las zonas áridas</b>	<b>14</b>
1.3.1 Identificación de las zonas áridas	14
1.3.2 Problemática de las zonas áridas	14
<b>1.4 Procesos de tratamiento de aguas residuales</b>	<b>15</b>
1.4.1 Procesos físicos	15
1.4.2 Procesos químicos	15
1.4.3 Procesos biológicos	16
<b>1.5 Marco legal</b>	<b>19</b>
1.5.1 Resumen de la NOM-001-ECOL-1996	19
1.5.2 Resumen de la NOM-003-ECOL-1997	21

**II.- ZONAS ÁRIDAS EN MÉXICO**

**24**

<b>2.1 Localización de zonas áridas nacionales</b>	<b>27</b>
<b>2.2 Factores abióticos en las zonas áridas</b>	<b>29</b>
2.2.1 Geomorfología	29
2.2.2 Edafología	29
2.2.3 Climatología	29
<b>2.3 Factores bióticos en las zonas áridas</b>	<b>31</b>
2.3.1 Importancias ecológicas de las zonas áridas	31
2.3.2 Vegetación y fauna	31
<b>2.4 Factores socioeconómicos en las zonas áridas</b>	<b>31</b>
2.4.1 Población	31
2.4.2 Actividades económicas	31
2.4.3 Infraestructura	33
<b>2.5 Evaluación del deterioro ambiental</b>	<b>33</b>
2.5.1 Capacidad agrícola	33
2.5.2 Erodabilidad en las zonas áridas	34
2.5.3 Uso inadecuado del suelo	34
<b>2.6 Selección de municipios</b>	<b>34</b>
2.6.1 Baja California	35
2.6.2 Baja California Sur	35
2.6.3 Chihuahua	35
2.6.4 Coahuila	35
2.6.5 Durango	35
2.6.6 Nuevo León	35
2.6.7 San Luis Potosí	35
2.6.8 Sinaloa	36

## Índice

---

2.6.9 Sonora	36
2.6.10 Zacatecas	36

### III.- ASPECTOS BÁSICOS AGRÍCOLAS 38

<b>3.1 Clasificación del agua para riego</b>	41
3.1.1 pH (Potencial hidrógeno)	41
3.1.2 Salinidad	41
3.1.3 Cloruros	42
3.1.4 Sodio	42
3.1.5 Boro	43
3.1.6 Metales Pesados	43
3.1.7 Biológicos	43
<b>3.2 Suelos</b>	44
3.2.1 Clasificación de los suelos	44
3.2.2 Clases de suelos y su relación con el riego con agua residual	47
3.2.3 Comportamiento en el suelo de la salinidad, boro y metales pesados aportados por el agua residual	48
3.2.4 Criterios técnicos de la relación agua residual suelo	49
3.2.5 Características de los suelos de las zonas áridas	50
<b>3.3 Cultivos</b>	50
3.3.1 Efectos de los parámetros contenidos en agua residual en cultivos	50
3.3.2 Agentes biológicos en los cultivos	54

### IV.- LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN PARA RIEGO 56

<b>4.1 Justificación del uso de lagunas de estabilización</b>	59
4.1.1 Generalidades	59
4.1.2 Ventajas y desventajas	59
4.1.3 Comparación de los modelos de diseño de las lagunas	59
4.1.4 Sistemas combinados	62
4.1.5 Utilización del método de Yáñez para diseño de lagunas de estabilización	63
<b>4.2 Factores de influencia</b>	63
<b>4.3 Principios de diseño</b>	64
4.3.1 Conceptos básicos	64
<b>4.4 Criterios de Diseño</b>	66
4.4.1 Lagunas anaerobias	66
4.4.2 Lagunas facultativas	67
4.4.3 Lagunas de pulimento	69
<b>4.5 Tanque almacenamiento</b>	71
4.5.1 Método de Blaney-Criddle	71

### V.- CONSTRUCCIÓN Y COSTOS 74

<b>5.1 Recomendaciones de construcción</b>	77
5.1.1 Selección del sitio	77
5.1.2 Construcción de lagunas	77
5.1.3 Impermeabilización	81
5.1.4 Obras auxiliares	83
<b>5.2 Costos de inversión</b>	87
<b>5.3 Recomendaciones de operación y mantenimiento</b>	90
5.3.1 Objetivos de operación y mantenimiento	90



5.3.2 Arranque	90
5.3.3 Acciones preventivas y correctivas	91
5.3.4 Dragado y disposición de lodos	92
5.3.5 Seguridad	92
5.3.6 Control	92
<b>5.4 Costos de operación y mantenimiento</b>	<b>93</b>
5.4.1 Costos de compuestos químicos	93
5.4.2 Costos de personal	93
<b>5.5 Costos totales</b>	<b>96</b>

**VI.- EJEMPLO DE APLICACIÓN** **100**

<b>6.1 Características del medio natural y socioeconómico del área de estudio</b>	<b>103</b>
6.1.1 Medio físico	103
6.1.2 Medio socioeconómico	106
<b>6.2 Gastos de diseño</b>	<b>107</b>
6.2.1 Diagrama de flujo	107
6.2.2 Gastos de diseño	107
6.2.3 Muestreo del agua residual	109
<b>6.3 Pretratamiento</b>	<b>111</b>
6.3.1 Canal de llamada	111
6.3.2 Rejillas	112
6.3.3 Canal Parshall	113
6.3.4 Desarenador	114
<b>6.4 Tratamiento</b>	<b>116</b>
6.4.1 Laguna anaerobia	116
6.4.2 Laguna facultativa	118
6.4.3 Laguna de pulimento	120
<b>6.5 Tanque de almacenamiento</b>	<b>128</b>
<b>6.6 Diseño Final</b>	<b>129</b>
6.6.1 Arreglo general	129
6.6.2 Volumen de excavación	130
6.6.3 Diseño de las lagunas	130
<b>6.7 Costos</b>	<b>133</b>

**VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES** **136**

7.1 Conclusiones	139
7.2 Recomendaciones	140

**ANEXOS** **141**

**TABLAS Y GRAFICAS** **172**

**BIBLIOGRAFÍA** **176**

## Introducción

oo

La generación de aguas residuales es un producto inevitable de la actividad humana. El rechazo de dichas aguas es necesario para poder aprovechar al máximo los cuerpos de agua y evitar problemas de insuficiencia de abastecimiento. Se puede pensar en infinidad de opciones para el manejo y aprovechamiento de las aguas residuales en este caso se plantea la opción de rechazo agrícola.

Las regiones áridas y semiáridas del mundo, han puesto su interés en las aguas residuales como la próxima fuente de agua para la agricultura. Mientras que la población crece, la demanda de agua doméstica de primer uso aumenta también. Las naciones ven imperativo limitar el agua de primer uso de la agricultura para alimentar a las ciudades. "El agua es un recurso natural escaso, y es un factor esencial para el desarrollo de cualquier región"

México es un país que cuenta con un vasto territorio, dentro del cual podemos encontrar varios tipos de ecosistemas. La zona norte del país se caracteriza por sus grandes zonas áridas cuyos paisajes están cubiertos de escasa vegetación, las características del clima de la región está dada por grandes sequías que repercuten en forma negativa sobre la economía regional.

El abastecimiento de agua potable en el norte del país, es en gran medida de aguas subterráneas, debido a las bajas precipitaciones y al consumo desmesurado los acuíferos no llegan a recargarse. El agua tratada puede ser considerada como una nueva fuente de agua, la cual puede agregar un balance a las regiones áridas. Esta nueva fuente puede sustituir al agua de primer uso utilizada en la agricultura.

Actualmente, el problema de la contaminación del agua está llevando a muchos municipios a tratar sus descargas para mantener el equilibrio ecológico y preservar sus fuentes de abastecimiento. Pero ¿Por qué no aprovechar esta inversión y, una vez elevada la calidad del agua residual, emplearla para otro uso?

Los centros urbanos generan aguas residuales, de las cuales solo se tratan una sexta parte en el país. El agua residual en la zona norte se puede aprovechar debido a que existe una buena infraestructura en la captación de dichas aguas.

En este momento de desaceleración económica, los datos incluidos en este estudio sobre el costo de los tratamientos constituye una herramienta útil para ayudar a los municipios a orientar sus decisiones.

Este trabajo se basa en proponer una solución a las comunidades que se encuentran aún afuera de la norma oficial NOM-001-ECOL-1996 desde un punto de vista que contemple una solución viable para la instalación de un tratamiento de aguas residuales de manera que estas sean aprovechables aumentando la producción agrícola.

La importancia de este trabajo se basa en que marca una alternativa para las ciudades con una población de 20,001 a 50,000 habitantes, deberán cumplir con la Norma Oficial Mexicana Ecológica NOM-001-ECOL-1996 para enero del 2005, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

# Antecedentes



# Capítulo uno

oo

**1.1 CONTAMINACIÓN DEL AGUA**

**1.1.1 Fuentes de aguas residuales**

La generación de aguas residuales es un acto inevitable de la actividad humana. El tratamiento y disposición apropiada de las aguas residuales supone el conocimiento de las características físicas, químicas y biológicas de dichas aguas; de su significado y de sus efectos principales sobre la fuente receptora.

En general, se consideran como aguas residuales domésticas, los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales. Se denominan aguas residuales municipales a los residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y se llaman aguas residuales industriales a las aguas provenientes de las descargas de industrias de manufactura o transformación. Para este trabajo, se analizará únicamente las aguas residuales municipales, que provengan de poblaciones entre 20 000 y 50 000 habitantes.

**1.1.2 Efectos de contaminación por las aguas residuales**

Toda agua residual afecta al entorno si no se le provee de un tratamiento adecuado, la calidad de las aguas municipales, se ven afectadas por descargas de aguas industriales que vierten ilegalmente sus aguas al alcantarillado público. En las tablas 1.1.1 a 1.1.3 se presentan, en forma muy breve y generalizada, los efectos más importantes de los principales agentes de contaminación de las aguas residuales.

**Tabla 1.1.1 Efectos indeseables de las aguas residuales.**

<b>Contaminante</b>	<b>Efecto</b>
Materia orgánica biodegradable	Desoxigenación del agua, muerte de peces olores indeseables.
Materia suspendida	Disposición en los lechos de los ríos; si es orgánica se descompone y flota mediante el empuje de los gases; cubre el fondo e interfiere con la reproducción de los peces o transforma la cadena alimenticia, también aumentan las condiciones anaerobias de las zonas de vertido.
Sustancias corrosivas, cianuros, metales, fenoles, etc.	Extinción de peces y vida acuática, destrucción de bacterias, interrupción de la autopurificación
Microorganismos patógenos	Las aguas residuales domésticas pueden transportar organismos patógenos, los residuos de curtiembre ántrax.
Sustancias que causan turbiedad, temperatura, color, olor, etc.	El incremento de temperatura disminuye la concentración de oxígeno disuelto y afecta a los peces; el color, olor y turbiedad hacen estéticamente inaceptable al agua para uso público.
Sustancias o factores que transforman el equilibrio biológico.	Pueden causar crecimiento excesivo de hongos plantas acuáticas las cuales alteran el ecosistema acuático, causan olores, etc.
Constituyentes minerales	Incrementan la dureza, limitan los usos industriales sin tratamiento especial, incrementan el contenido de sólidos disueltos a niveles perjudiciales para los peces o la vegetación, contribuyen a la eutroficación del agua.

Fuente: Klein, L. 1962. River Pollution II: Causas y efectos. Ed. Butter Worth.

## Antecedentes

Tabla 1.1.2 Contaminantes de importancia en aguas residuales

Contaminante	Causa de su importancia
Sólidos suspendidos	Pueden conducir al desarrollo de depósitos de lodos y condiciones anaerobias cuando se descargan aguas residuales crudas en un medio acuático. Además incrementan la turbiedad del agua, no hay una efectiva transferencia de la luz solar, se reduce o desaparece la fotosíntesis, hay disminución del oxígeno disuelto, puede favorecer el desarrollo de una actividad bacteriológica no deseada, puede haber mayor o menor afectación de bentos.
Materia orgánica biodegradable	Está compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas. Se mide en términos de DBO y DQO generalmente. Si no es previamente removida puede producir agotamiento del oxígeno disuelto de la fuente receptora y desarrollo de condiciones sépticas.
Patógenos	Producen enfermedades en el ser humano.
Materia orgánica refractaria	Resiste tratamiento convencional, el vertido de aguas que la contengan con elevada concentración puede contaminar las aguas naturales de productos tóxicos o, según algunos estudios, incluso cancerígenos. Ejemplos: detergentes, fenoles y plaguicidas.
Nutrientes	El C, N y P son nutrientes. Cuando se descargan en las aguas residuales pueden producir crecimiento de vida acuática indeseable. Cuando se descargan en cantidad excesiva sobre el suelo pueden producir contaminación del agua subterránea.
Metales pesados	Proviene de aguas residuales comerciales e industriales. Aunque algunos de estos metales son necesarios para el desarrollo de la vida biológica, las concentraciones elevadas de éstos pueden interferir en los procesos de depuración y, por supuesto, que su vertido al medio acuático podría poner en peligro el aprovechamiento de las aguas naturales dada su alta toxicidad, estos es posible que tengan que ser removidos para reuso del agua.
Sólidos inorgánicos disueltos	Algunos como el calcio, sodio y sulfatos son agregados al suministro doméstico original como resultado del uso y es posible que deban ser removidos para reuso del agua.

Fuente: Metcalf y Eddy. 1979. Waste Water Engineering. Ed. Mc. Graw Hill.

Tabla 1.1.3 Contaminantes de importancia en aguas residuales.

Contaminante	Parámetro típico de medida	Impacto ambiental
Materia orgánica biodegradable	DBO, DQO	Desoxigenación del agua, generación de olores indeseables
Materia suspendida	SST, SSV	Causa turbiedad en el agua, deposita lodos.
Patógenos	Coliformes fecales y totales	Hace el agua insegura para consumo y recreación, transmiten enfermedades contagiosas.
Amoniaco	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N	Desoxigena el agua, es tóxico para organismos acuáticos y puede estimular el crecimiento de algas.
Fósforo	Ortofosfatos	Puede estimular el crecimiento de algas.
Materiales tóxicos (metales pesados y pesticidas)	Como cada material tóxico	Peligroso para la vida vegetal y animal.
Sales inorgánicas	SDT	Limita los usos agrícolas e industriales del agua.
Energía térmica	Temperatura	Reduce la concentración de saturación de oxígeno en el agua, acelera el crecimiento de algunos organismos acuáticos.
Iones Hidrógeno	PH	Riesgo potencial para organismos acuáticos, es utilizado como índice de corrosión, algunos compuestos tóxicos incrementan su toxicidad en medios alcalinos.

Fuente: Rich, L. G. 1980. Low Maintenance, Mechanical Simple Waste Water Treatment Systems. Ed. Mc. Graw Hill.

1.1.3 Clasificación de las fuentes de contaminación

Las fuentes de contaminación de aguas se clasifican principalmente en:

- Sector Social
- Sector Industrial
- Sector Agropecuario

Sector Social

El sector social como fuente de aguas residuales produce principalmente aguas residuales domésticas, las cuales son el resultado de la utilización cotidiana de los habitantes de las ciudades. En la tabla 1.1.4 se puede observar la extracción de agua para uso rural y urbano, así como la cobertura de alcantarillado de dichas aguas.

Tabla 1.1.4 Coberturas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a nivel nacional. (Situación a diciembre de 1999).

Tipo de población	Población total (miles de hab.)	Agua Potable		Alcantarillado	
		Millones de habitantes	%	Millones de habitantes	%
Urbana	71.6	68.2	95	62.5	87
Rural	25.7	16.9	66	8.6	33
Total	97.3	85.1	87	71.1	73

Fuente: CNA. 2001. Compendio Básico del Agua en México.

- El 92.7 del agua que se suministra a las poblaciones recibe por lo menos desinfección.
- De las 390 plantas potabilizadoras inventariadas en el país, 324 operan con un gasto tratado de 78.2 m<sup>3</sup>/s, lo que representa el 25.2 % del volumen de agua suministrado a nivel nacional.
- Existen 1 000 plantas de tratamiento de aguas residuales construidas en México con un gasto de diseño de 67.5 m<sup>3</sup>/s, y en operación 777 con un gasto de operación de 42.4 m<sup>3</sup>/s.
- Los centros urbanos generan 239 m<sup>3</sup>/s (7.4 km<sup>3</sup>/año) de aguas residuales, de los cuales 178 m<sup>3</sup>/s (5.60 km<sup>3</sup>/año) se colectan en el alcantarillado y 42.4 m<sup>3</sup>/s (23.8 % de lo que se colecta) recibe tratamiento. (Ref.1.1)

Sector Industrial

Las industrias para sus diferentes operaciones utilizan agua ya sea de primer uso o de reuso, el agua se contamina en los diferentes procesos industriales para la cual se utiliza, es por eso que una fuente muy importante de generación de aguas residuales son las industrias.

Los giros industriales con mayores cargas contaminantes a cuerpos receptores se muestran en la tabla 1.1.5.

Tabla 1.1.5 Caudal descargado por diferentes tipos de industria (datos para 1999).

Industria	Caudal de aguas residuales (m <sup>3</sup> /s)	Materia orgánica generada (miles de ton/año)
Azucarera	45.6	1869
Química	13.4	635
Petrolera	7.0	1247
Celulosa y papel	4.5	85
Hierro y acero	4.5	93
Textil	2.9	196

Fuente: CNA. 2001. Compendio Básico del Agua en México.

## Antecedentes

- Existen 1354 plantas de tratamiento industriales con un volumen de tratamiento de 21.9 m<sup>3</sup>/s, de las cuales 469 plantas cumplen con las condiciones particulares de descarga con un gasto de 7.3 m<sup>3</sup>/s. (Ref.1.1)

### Sector Agropecuario

El sector agropecuario produce aguas residuales en los procesos de matanza (rastros) y de fumigación, por ejemplo:

Los vehículos de contaminación del agua en las zonas agrícolas más importantes son:

- Fumigación por avión.
- Escorrentía de zonas próximas.
- Lavado de recipientes que contengan pesticidas y fertilizantes.
- Infiltración.
- Accidentes en el transporte.
- Aplicación directa de herbicidas, algicidas, moluscocidas, arboricidas, etc.

En la 1.1.6 se puede observar la generación de aguas residuales por la actividad agrícola.

Tabla 1.1.6 Generación de aguas residuales por la actividad agrícola.

Año	Descarga millones de m <sup>3</sup>
1980	8056.8
1990	8345.0
2000	11085.0

Fuente: Vázquez, Alba. 2000. Apuntes de Contaminación del Agua. Facultad de Ingeniería.

### 1.1.4 Situación actual del agua en México

Para el desempeño de sus actividades la Comisión Nacional del Agua (CNA) cuenta con trece regiones administrativas; estas regiones pueden ayudar a dar un panorama más detallado de la situación actual del agua en nuestro país, en las tablas 1.1.7. a 1.1.10. se ilustra con más detalle.

Tabla 1.1.7 Regiones administrativas de la CNA

Región	Nombre	Ciudad Sede
I	Península de Baja California	Mexicali, B.C.
II	Noroeste	Hermosillo, Son.
III	Pacífico Norte	Culiacán, Sin.
IV	Balsas	Cuernavaca, Mor.
V	Pacífico Sur	Oaxaca, Oax.
VI	Río Bravo	Monterrey, N.L.
VII	Cuencas Centrales del Norte	Torreón, Coah.
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	Guadalajara, Jal.
IX	Golfo Norte	Cd. Victoria, Tamps.
X	Golfo Centro	Jalapa, Ver.
XI	Frontera Sur	Tuxtla Gutiérrez, Chis.
XII	Península de Yucatán	Mérida, Yuc.
XIII	Valle de México	México, D.F.

Fuente: CNA. 2001. Compendio Básico del Agua en México.

Tabla 1.1.8. Disponibilidad y usos del agua por región administrativa.

Región Administrativa		Precipitación media histórica (1941-1999) (mm)	Disponibilidad natural base media (hm <sup>3</sup> )	Disponibilidad natural base media per-cápita (población 99) (m <sup>3</sup> /hab)	Escurrimiento superficial virgen medio (hm <sup>3</sup> )	Recarga media de acuíferos (hm <sup>3</sup> )	Extracción total bruta de agua (1999) (hm <sup>3</sup> )
I	Península de Baja California	181	4102	1434	2552	1580	3589
II	Noroeste	429	8128	3415	5428	2700	7387
III	Pacífico Norte	869	25425	6570	23950	1475	10200
IV	Balsas	1099	28151	2835	24800	3351	9070
V	Pacífico Sur	1446	36061	9294	34238	1823	2010
VI	Río Bravo	430	12170	1316	7370	4800	10431
VII	Cuencas Centrales del Norte	391	5557	1470	3743	1814	4322
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	729	35377	1879	28191	7186	14208
IX	Golfo Norte	886	23505	4866	22031	1474	4763
X	Golfo Centro	1943	108638	11834	106539	2099	4056
XI	Frontera Sur	2365	157484	27152	151707	5777	2044
XII	Península de Yucatán	1194	35354	10912	4300	31054	1287
XIII	Valle de México	716	3319	171	2294	1025	5035
Nacional		772	483271	4964	417113	66158	78402

Fuente: CNA. 2001. Compendio Básico del Agua en México.

Tabla 1.1.9 Cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado por región administrativa. (Situación a diciembre de 1999)

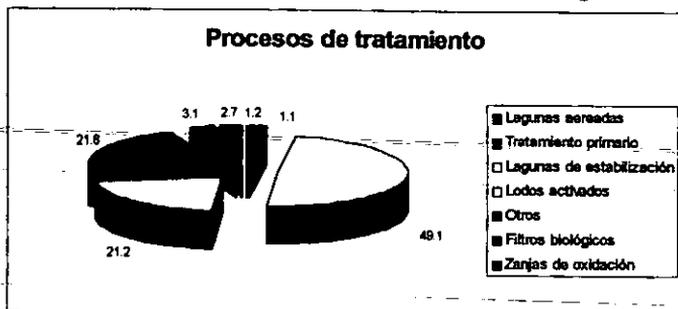
Región Administrativa		Agua Potable (%)	Alcantarilla (%)	Número de Plantas Potabilizadoras en Operación	Caudal de agua potabilizada (lps)
I	Península de Baja California	96	76	19	5897
II	Noroeste	97	76	21	2357
III	Pacífico Norte	94	70	132	5399
IV	Balsas	83	64	10	16455
V	Pacífico Sur	71	46	8	2486
VI	Río Bravo	98	89	39	12750
VII	Cuencas Centrales del Norte	95	76	4	234
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	94	80	22	12922
IX	Golfo Norte	72	45	24	4654
X	Golfo Centro	66	56	8	4115
XI	Frontera Sur	70	61	21	5245
XII	Península de Yucatán	91	53	10	4863
XIII	Valle de México	96	90	6	780
Nacional		87	73	324	78157

Fuente: CNA. 2001. Compendio Básico del Agua en México.

## Antecedentes

Se tienen inventariados 1000 sistemas de depuración de aguas residuales municipales con una capacidad instalada de 67.5 m<sup>3</sup>/s, de los cuales 777 se encuentran en operación con un gasto tratado de 42.4 m<sup>3</sup>/s; se recolectan en alcantarillado 178 m<sup>3</sup>/s, por lo que 23.8 % del total de las aguas residuales procedentes de localidades urbanas a nivel nacional reciben tratamiento. De los 42.4 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales tratadas, 29.3 m<sup>3</sup>/s cumplen con la norma ecológica NOM-001-ECOL-1996. (Ref 1.2).

Tabla 1.1.10 Situación actual de los procesos de tratamiento de aguas residuales en México



Fuente: CNA. 2001. Compendio Básico del Agua en México.

### 1.1.5 Calidad media de las aguas residuales municipales en el país

La variación en características de calidad de las aguas residuales generadas por ciudades, se debe principalmente al agua abastecida, influencia industrial, tamaño de población y clima prevaleciente. De acuerdo con esto, y manejando estadísticamente la mayoría de datos reportados sobre las características de las aguas residuales de ciudades mexicanas, se ha estimado la media (Fuente: SARH 1983) de los principales parámetros indicadores de la calidad del agua residual así como su intervalo de confianza donde se espera que la mayoría de valores reales se encuentre.

Los resultados se presentan en la siguiente tabla, donde se puede observar la caracterización de 33 parámetros de calidad del agua residual, representando que con un intervalo de confianza del 95% estos parámetros son característicos de las poblaciones mexicanas. En donde no se define intervalo de confianza significa que se presentan condiciones que son muy particulares de cada población.

Tabla 1.1.11. Características de calidad media del agua residual en poblaciones mexicanas

Parámetro	Media	Intervalo de confianza	
		Limite inferior	Limite superior
( Concentración de mg/L, excepto donde se indique)			
PH (Potencial Hidrógeno)	7.5	6.8	8.2
T °C (temperatura)	21.6	17.7	25.6
DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno)	243.7	191.1	296.4
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	508.0	425.4	590.6
SSe (Sólidos Sedimentables)	5.0	2.7	7.3
GyA (Grasas y Aceites)	81.5	55.4	107.6
ST ( Sólidos Totales)	1191.0	914.5	1467.5
SST (Sólidos Suspendedos Totales)	210.8	163.7	258.0
SDT (Sólidos Disueltos Totales)	981.4	755.4	1207.3
SSV (Sólidos Suspendedos Volátiles)	139.4	107.5	172.2
SSF (Sólidos Suspendedos Fijos)	96.8	39.4	154.1
SDV (Sólidos Disueltos Volátiles)	340.2	193.3	487.1
SDF (Sólidos Disueltos Fijos)	654.5	291.8	1017.2
Color (Unidades Pt-Co)	214.7	110.2	539.7
Coliformes (NMP/100 mL)	$3.6 \times 10^8$	-	$11.6 \times 10^8$
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	$1.6 \times 10^8$	-	$6.6 \times 10^8$
N-NO <sub>3</sub> (Nitratos)	0.5	-	0.9
Fenoles	0.1	-	-
N- NH <sub>3</sub> (Amoniaco)	19.3	14.5	24.2
N <sub>Total</sub> (Nitrógeno Total)	39.3	29.4	49.2
N <sub>orgánico</sub> (Nitrógeno Orgánico)	17.2	12.0	22.4
N-NO <sub>2</sub> (Nitritos)	0.5	-	-
Cloro Cl	140.8	58.5	223.1
PO <sub>4</sub> (Fosfatos Totales)	23.0	8.8	37.2
P <sub>Total</sub> (Fósforo Total)	17.0	1.5	32.5
P <sub>orgánico</sub> (Fósforo Orgánico)	3.0	-	-
P <sub>inorgánico</sub> (Fósforo Inorgánico)	8.8	-	-
Alcalinidad (Como CaCO <sub>3</sub> )	323.2	145.3	501.2
C.E. (Cond. Eléctrica mhos/cm)	1558.1	1162.3	1954.0
SAAM (Detergentes)	13.5	4.4	22.6
SO <sub>4</sub> (Sulfatos)	241.8	-	501.0
RAS (Radio de Absorción de Sodio s/u)	5.1	0.6	9.5
Boro	3.1	-	8.5

Fuente: Athié. 1983. Contaminación del agua en México

### 1.2 APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS.

#### 1.2.1 Problemática del reuso del agua

El problema del abastecimiento de agua para cubrir las necesidades, de desarrollo socioeconómico y crecimiento industrial, que plantea la sociedad moderna, no es nuevo en México ni en otra parte del mundo. En México, las soluciones propuestas hasta la fecha, como exportar agua de una cuenca a otra, explotar las aguas subterráneas o desalar agua de mar, han resuelto en mayor o menor grado el problema al poner en práctica estas soluciones. Uno de los principales problemas que han aumentado en magnitud es la disposición de las aguas residuales generadas por las actividades humanas. Por lo tanto, el reuso del agua se puede contemplar como una de las alternativas para solucionar algunos de los problemas mencionados, presentando mayores atractivos al considerar al agua residual como un recurso aprovechable. Es necesario resaltar el hecho de que en nuestro país las aguas residuales son muy estimadas y utilizadas por los agricultores. Sin embargo, en la actualidad se requiere extender el aprovechamiento de éstas aguas a otras actividades, aunque es un hecho que, las industrias reciclan sus aguas cuando es posible y se riegan parques y jardines con aguas residuales tratadas, el volumen aprovechado es mínimo en comparación con el utilizado en el riego agrícola.

Dada la tendencia de maximizar el aprovechamiento de los recursos, y las fuertes demandas que existen entre los diversos usos competitivos del agua, ya no es posible considerar que sólo la agricultura sea la que utilice las aguas residuales. Gran cantidad de industrias pueden utilizar agua de menor calidad que la potable en algunos de sus procesos y reciclar al máximo dentro de la misma industria, y posteriormente sus efluentes (convenientemente tratados) pueden ser utilizados para alguna otra actividad.

Como se puede observar en el párrafo anterior, es posible pensar en infinidad de opciones para el manejo y aprovechamiento de las aguas residuales, y todas las alternativas que se seleccionen tendrán validez en función de los beneficios que se obtengan y los riesgos en que se incurra.

#### 1.2.2. Por qué reusar el agua

En México, el control de la contaminación de los cuerpos de agua, a través del ordenamiento y la promoción del aprovechamiento de las aguas residuales, se considera como una política técnica y económicamente confiable. Esa política, involucra aplicar el principio de uso eficiente del agua en la economía general del país, liberando los volúmenes de agua de buena calidad utilizada en riego para abastecer a las poblaciones y en su lugar usar aguas residuales de origen municipal. Existe una gran posibilidad de recuperar los costos de tratamiento, con beneficios directos a la población al aligerar el pago de derechos y contar con mayor disponibilidad de agua de mejor calidad.

Para definir un proyecto de reúso, es necesario establecer cuales son los grupos de usuarios interesados y cuál es el nivel de tratamiento requerido. Cabe mencionar que, para propiciar el uso eficiente del agua, su precio para el usuario debe ser "justo"; es decir, que incluya, además de los cargos señalados en la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua por aprovechamiento y descarga, los costos de disponibilidad, extracción, potabilización, transporte, distribución, alcantarillado, tratamiento y disposición final sin perjuicio actual o futuro para el medio ambiente. Con ello, la actitud del público pasaría de la indiferencia a la concientización de su responsabilidad en la preservación del recurso.

La primera ventaja que obtendrían los municipios al efectuar el reúso es económica. En efecto, compartir los costos de tratamiento del agua con usuarios interesados en los efluentes, así como liberar a los organismos operadores del pago de derechos por descargas, y puede lograr un alivio importante, en la economía de la población. Para tener una idea de la magnitud que ello implica, considérese lo que ocurre en uno de los estados de la República, donde se emplean  $9 \text{ m}^3/\text{s}$  para abastecimiento municipal y se descargan  $6 \text{ m}^3/\text{s}$ ; por lo que los derechos correspondientes, solamente en 1994, fueron de \$-165 millones, 13% por el aprovechamiento del agua y 87% por la descarga de agua residual contaminada. Lo que llama la atención es que el costo anual de operación por el tratamiento del agua residual con

lodos activados equivaldría a 50 millones de pesos, es decir, un tercio del derecho por arrojar agua sin tratar a un cuerpo de agua nacional. Con el tratamiento para reúso, se aprovecharía la ventaja económica de eliminar el pago por los derechos de descarga y se prepararía agua para otro fin, además de tener los beneficios innegables de controlar la contaminación y preservar la calidad de las fuentes de abastecimiento. (Ref 1.2)

**1.2.3 Usos del agua en México**

En las tablas siguientes se muestran las extracciones brutas de agua en México para los diferentes usos. Podemos observar como para el uso agrícola se extrae el 82.7 % de las aguas, es importante resaltar que las aguas destinadas a uso agrícola, podrían ser aguas residuales tratadas y no de primer uso.

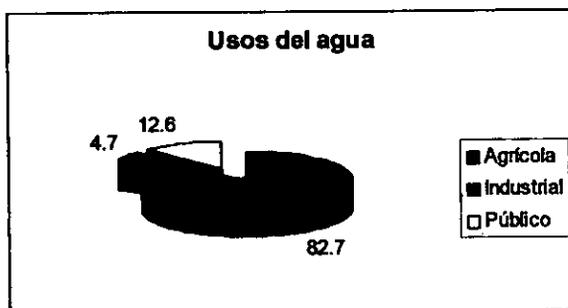
Tabla 1.2.1. Extracciones brutas de agua (Datos estimados para 1999).

Uso	Origen		Volumen total (km <sup>3</sup> )	Porcentaje de la extracción
	Superficial	Subterráneo		
Agrícola	47.9	16.9	64.8	82.7
Público (incluye industria y servicios)	3.1	6.8	9.9	12.6
Industrial (industria autoabastecida)	2.0	1.7	3.7	4.7
Total	53.0	25.4	78.4	100

Fuente: CNA. 2001. Compendio Básico del Agua en México.

En usos no consuntivos. Hidroeléctricas se extraen 143.2 km<sup>3</sup> (volumen considerado a agosto del 2000 para uso en hidroeléctricas).

Tabla 1.2.1. Usos que se le da al agua



Fuente: CNA. 2001. Compendio Básico del Agua en México.

Tabla 1.2.2. Extracciones brutas de agua por región administrativa. (Datos estimados para 1999) (hm<sup>3</sup>)

No.	Región administrativa	Extracción bruta total	Uso agrícola	Uso público	Uso industrial
I	Península de Baja California	3589	3294	283	12
II	Noroeste	7387	6956	377	54
III	Pacífico Norte	10200	9486	612	102
IV	Balsas	9070	7891	725	454
V	Pacífico Sur	2010	1669	301	40
VI	Río Bravo	10431	9131	1134	166
VII	Cuencas Centrales del	4322	3925	309	88

## Antecedentes

Norte					
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	14208	11840	1776	592
IX	Golfo Norte	4763	3903	402	458
X	Golfo Centro	4056	2135	811	1110
XI	Frontera Sur	2044	1317	403	324
XII	Península de Yucatán	1287	663	559	65
XIII	Valle de México	5035	2594	2225	216
Nacional		78402	64804	9917	3681

Fuente: CNA. 2001. Compendio Básico del Agua en México.

### 1.2.4 Reúso del agua

#### Agricultura

Las aguas residuales tratadas se pueden utilizar para riego agrícola, esto va relacionado con la calidad del agua y desde el punto de vista de contaminación, interesa el uso agrícola por el contacto directo con el hombre. Se consideran tres grupos para el agua destinada a riego:

1. Excelente a buena para todo cultivo
2. Buena a perjudicial o para ciertos cultivos y bajo condiciones especiales.
3. Perjudicial a insatisfactoria o nociva a la mayoría de los cultivos.

El objetivo principal de este trabajo es reutilizar las aguas para riego agrícola, mas adelante se tratara un capítulo específico donde se definirán las características del reúso agrícola.

#### Industrial

El reúso de las aguas tratadas en la industria puede tener varias aplicaciones dependiendo el tipo de industria y de proceso que se requiera, los reúso industriales más comunes son en calderas, procesos productivos, transporte de materiales y enfriamiento industrial entre otros.

#### Desarrollo y protección de fauna

Las aguas residuales se pueden reusar para la cría de animales, tiene el inconveniente de la calidad bacteriológica y de sustancias tóxicas que podrían matar a los animales.

Esta limitado según la salinidad para efectos de bebida de acuerdo a la tolerancia de algunos animales como puede ser la siguiente:

Tabla 1.2.3 Tolerancia de animales a la salinidad del agua

Animal	Concentración salina máxima (mg/L)
Aves de corral	2860
Cerdos	4250
Caballos	6435
Ganado lechero	7150
Ganado para carne	10000
Ovinos adultos	12900

Fuente: Vázquez, Alba. 2000. Apuntes de Contaminación del Agua. Facultad de Ingeniería.



**Piscicultura**

Las aguas residuales se pueden utilizar para la cría de peces. Interviene para este uso una gran cantidad de limitantes entre los cuales destacan las siguientes:

- a) Oxígeno disuelto no menor a 5 mg/L.
- b) pH de 6.7 a 8.6 con límites extremos de 6.3 a 9.0.
- c) Conductividad eléctrica a 25°C de 150 a 500  $\mu$ mhos por centímetro con un máximo de 1000 a 2000 en escurrimientos sobre áreas alcalinas.
- d) CO<sub>2</sub> libre 5.9 mg/L.
- e) Amoníaco no más de 1.5 mg/L.
- f) Sólidos suspendidos tales que permitan la penetración de la luz a no menos de 5 m.
- g) Coliformes, NMP no mayor de 70/100 mL. No más del 10 % de las muestras pueden sobrepasar un NMP de 230/100 mL.

En áreas restringidas el NMP puede ser hasta 10 veces mayor, pero debe desecharse si lo provocan descargas industriales. Existen otros límites más amplios pero si se aceptan debe ser solamente bajo vigilancia tanto para el desarrollo por ingestión o por el manejo al hacer la limpieza antes de cocinarlo. (Ref 1.3)

**Agua de natación**

Queda limitado por tres condiciones principales:

- 1. Agradable aspecto sin materia flotante ni color y olor ofensivos.
- 2. Sin sustancias tóxicas a la ingestión o a la irritación de la piel.
- 3. Libre razonablemente de organismos patógenos.

La más importante es la última, ya que se ha observado que durante las temporadas vacacionales se enferman de fiebre tifoidea una de cada 950 personas cuando existen 1000 colis por 100 mL y se enferman de diarrea una de cada 50 personas bajo esa misma cantidad de colis. (Ref 1.3)

Por seguridad debe adoptarse la siguiente clasificación:

Tabla 1.2.4 Límite máximo de colis para uso de agua para baño

Clase de agua para baño	NMP / 100 mL
Buena	0 – 50
Dudosa	51 – 500
Mala	501 – 1000
Muy mala	Más de 1000

Fuente: Vázquez, Alba. 2000. Apuntes de Contaminación del Agua. Facultad de Ingeniería.

**Canotaje y disfrute estético**

Las aguas para recreación pero no para natación, pueden contener valores del NMP hasta de 5000/100 mL durante las temporadas de vacaciones. La superficie debe estar libre de sólidos flotantes; el contenido de ABS (detergentes) no debe exceder de 1.0 mg/L a fin de evitar la formación de espuma. (Ref 1.3)

**Energía y navegación**

Para este uso el agua debe estar libre de sustancias tales como: ácidos, álcalis y salinidad excesiva que acelere la corrosión y deterioro de ductos y vehículos; de sólidos flotantes; sedimentos y sólidos suspendidos; materia orgánica putrecible que genere malos olores; algas. (Ref 1.3)

### 1.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS ZONAS ÁRIDAS

Las zonas áridas se definen como propio de las áreas desérticas, se caracteriza por altas temperaturas y escasez de precipitaciones. Se distinguen dos importantes variantes: el clima desértico cálido, con una temperatura media anual en torno a los 20°C, con una fuerte oscilación térmica que puede alcanzar los 20° y precipitaciones inferiores a los 500 mm, y el clima desértico costero, que presenta una temperatura media anual inferior a los 20 °C, con menor oscilación térmica en general por debajo de los 10° y precipitaciones insignificantes, por debajo de los 200 mm anuales. (Ref 1.4)

La FAO menciona en 1996 que casi un 40% de la superficie del planeta son tierras secas.

#### 1.3.1 Identificación de las zonas áridas

México se encuentra en las latitudes correspondientes a la inestabilidad climática que origina las zonas áridas, es decir, en la misma latitud del cinturón de los grandes desiertos del mundo. En el medio rural existen importantes polos de desarrollo representados por las grandes ciudades capitales del semidesierto y en el medio rural existen cerca de 25,000 pequeñas y dispersas localidades, en la mayoría con menos de 500 habitantes.

Debido a las características propias de las zonas áridas es frecuente la presencia de sequías, que afectan a los sistemas de producción, rompiendo los ciclos agrícolas y pecuarios con la consiguiente reducción de ingresos para los productores. Las sequías pueden prolongarse durante varios años provocando desertificación y pobreza.

#### 1.3.2 Problemática de las zonas áridas

El deterioro de los recursos naturales con los que cuentan las zonas áridas del país ha agravado las condiciones de la pobreza rural, ya que la disminución y en ocasiones el agotamiento del potencial productivo de los ecosistemas, impiden o limitan el incremento del ingreso de los productores.

Los principales problemas que existen en las zonas áridas son:

- Prolongados y recurrentes periodos de sequía.
- Escasas precipitaciones pluviales y altos índices de evapotranspiración.
- Insuficiencia de mantos acuíferos y abatimiento de fuentes permanentes de abastecimiento de agua.
- Sobreexplotación de recursos naturales.
- Sequía y altas temperaturas.

La ganadería en estas zonas, al igual que la agricultura, está limitada por las condiciones naturales adversas, por la raquítica vegetación de gramíneas y otras herbáceas, y por la mala calidad genética del ganado. En las áreas de influencia de las zonas irrigadas en que se producen granos y forrajes, existen unidades pecuarias con equipo, además ganado de alto registro y tecnología avanzada.

Por lo que concierne al manejo del agua, encontramos que los cultivos y praderas artificiales han llevado a la sobreexplotación de los mantos acuíferos en algunas regiones, ello tiende a abatir las reservas naturales y conduce a la desertización de la superficie. La sobreexplotación de los mantos acuíferos ha causado una intrusión de aguas salinas con penetración de alrededor de 100 km del territorio nacional y en la Comarca Lagunera se presenta una inversión en las corrientes subterráneas que acarrea arsénico a la zona agrícola.

La incapacidad para cultivar, debido a la degradación de la tierra o desertificación, es una de las causas de desempleo rural y pobreza en estas zonas. Se estima que cerca de 400 mil gentes abandonan el campo cada año como resultado directo de la problemática para subsistir de la tierra.

## 1.4 PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En este subcapítulo se hará una descripción de los diferentes métodos de tratamiento de aguas residuales.

La composición específica de los vertidos de cada industria en particular, la evacuación de las aguas tratadas (a alcantarillado, lechos de ríos, lagos, etc.), la disponibilidad de terreno en las inmediaciones de la empresa, la distancia a núcleos urbanos, la recuperación y reutilización de estas aguas, su posible utilización para riego, todos estos factores, en función de la legislación sobre vertidos y el estudio económico de aplicación, serán los que nos permitirán escoger el método más eficaz y económico de todos los que se describen.

### 1.4.1 Procesos físicos

Los procesos físicos de tratamiento de aguas residuales son todos aquellos en los que se emplean las fuerzas físicas para el tratamiento. En general, las operaciones físicas se emplean durante todo el proceso de tratamiento de las aguas residuales, aunque algunas son casi exclusivamente operaciones de pretratamiento (desbaste, dilaceración y homogenización de caudales).

Se hace una breve descripción de cada proceso y se indica la utilización de éste. El hecho de utilizar uno o varios de los procesos descritos dependerá del agua residual que tengamos que tratar.

Los principales procesos físicos son los siguientes:

- Desbaste
- Dilaceración
- Homogenización de caudales
- Mezclado
- Floculación
- Sedimentación
- Flotación
- Filtración

Para mayor descripción de los procesos mencionados anteriormente consultar el anexo 1.

### 1.4.2 Procesos químicos

Son todos aquellos procesos en los que la eliminación de los contaminantes del agua residual se lleva a cabo mediante la adición de reactivos químicos o bien mediante las propiedades químicas de diversos compuestos. Los procesos químicos se utilizan en la depuración de las aguas junto a operaciones físicas y procesos biológicos. Se hace una breve descripción de cada proceso y se indica la utilización de este. El hecho de utilizar uno o varios de los procesos descritos dependerá del agua residual que se necesite tratar.

Las principales operaciones químicas son las siguientes:

#### Precipitación química.

- Sulfato de aluminio.
- Sulfato ferroso. Sales férricas
- Hidróxido de calcio
- Eliminación de fósforo.

#### Transferencia de gases

Separación del amoníaco mediante arrastre con aire.

#### Adsorción.

## Antecedentes

---

### Desinfección.

- Desinfección con cloro
- Cloración al breakpoint (eliminación del nitrógeno).
- Ozono (eliminación de materia orgánica refractaria).

### Declaración.

- Declaración con dióxido de azufre.

### Eliminación de sustancias inorgánicas disueltas.

Para mayor descripción de los procesos mencionados anteriormente consultar el anexo 1.

## 1.4.3 Procesos biológicos

El tratamiento biológico de las aguas residuales se puede realizar en todo tipo de aguas y es generalmente un tratamiento secundario. Tiene como misión la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables en la decantación primaria así como la estabilización de la materia orgánica.

Se consigue biológicamente utilizando una variedad de microorganismos, principalmente bacterias.

En el tratamiento biológico el proceso consiste únicamente en transformar los nutrientes en tejido celular y diversos gases. El tejido celular es, ligeramente más pesado que el agua, en consecuencia, la separación se tendrá que hacer por sedimentación y decantación. Si no se eliminase el tejido celular del agua el nivel de DBO de las aguas disminuiría poco puesto que el tejido celular es materia orgánica y la disminución correspondería a la conversión bacteriana de nutrientes en productos gaseosos. Según el tipo de agua residual a tratar los objetivos en el tratamiento biológico pueden diferenciarse ligeramente; en el tratamiento de aguas, residuales domésticas los objetivos son la eliminación de la materia orgánica así como nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo; en aguas residuales industriales el tratamiento persigue la eliminación de compuestos orgánicos e inorgánicos teniendo en cuenta que algunos metales pesados son tóxicos para las bacterias utilizadas en ciertos procesos biológicos. En función del uso de las aguas residuales tratadas también se emplearán distintos tratamientos biológicos en nuestro caso, para usar las aguas tratadas en agricultura o riego el tratamiento va encaminado a la eliminación de nutrientes de plantas acuáticas).

Los principales procesos de tratamiento biológico utilizados en el tratamiento de aguas residuales en cuanto al tipo de microorganismos utilizados son: procesos aerobios, procesos anóxicos, procesos anaerobios y la combinación de los procesos aerobios con los anóxicos o anaerobios.

En cuanto a la situación de los microorganismos se dividen en: procesos de cultivos en suspensión, procesos de cultivo fijo o combinaciones de los mismos. Los microorganismos más utilizados en los tratamientos biológicos son: bacterias, hongos, algas, protozoos, rotíferos, crustáceos y virus. (Ref 1.5)

### Procesos aerobios de tratamiento

Son los procesos de tratamiento biológico, que sólo se dan en presencia de oxígeno. A las bacterias que únicamente pueden sobrevivir en presencia de oxígeno se les conoce con el nombre de aerobias obligadas.

### Procesos anaerobios de tratamiento

Los procesos anaerobios son utilizados para la estabilización de lodos, residuos industriales y residuos orgánicos diluidos. En estos procesos se produce la descomposición de la materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno. Los procesos anaerobios se dividen en cultivos en suspensión y cultivos fijos.

oo

Los principales procesos de cultivo en suspensión son: digestión anaerobia y procesos anaerobios de contacto

### Procesos de tratamiento aerobio de cultivo en suspensión

Estos son los procesos de tratamiento biológico, que sólo se dan en presencia de oxígeno, los microorganismos responsables del proceso se mantienen en suspensión dentro del líquido.

Estos tipos de tratamiento se utilizan generalmente para eliminar la materia orgánica y para la nitrificación de las aguas residuales domésticas e industriales. En estos tratamientos los microorganismos encargados de los procesos se mantienen en suspensión con los compuestos en disolución que contienen las aguas residuales a tratar. Los más ampliamente usados son:

- *Lodos activados*
- *Nitrificación*
- *Lagunas aireadas aerobias*
- *Lagunas de estabilización aerobia*

### Procesos aerobios de cultivo fijo

Son los procesos de tratamiento biológico en los que los microorganismos responsables del proceso están fijados a un medio inerte, especialmente diseñado, sólo se dan en presencia de oxígeno

Estos procesos tienen idéntica misión que los procesos en suspensión, pero en estos procesos los microorganismos se mantienen fijos en lechos formados por materiales muy permeables.

A continuación se enuncian algunos de los procesos más utilizados así como los tipos de filtros

- Filtros percoladores
- Filtros de pretratamiento

### Procesos anóxicos de cultivos en suspensión y fijos

Son procesos de tratamiento biológico por el cual el nitrógeno de los nitratos, se transforma en nitrógeno gas en ausencia de oxígeno. Los procesos anóxicos de cultivos en suspensión y fijos se utilizan para la eliminación del nitrógeno en forma de nitratos, por transformación biológica en nitrógeno gas. Este proceso se conoce con el nombre de desnitrificación y se realiza en condiciones anóxicas. La desnitrificación puede realizarse en cultivos en suspensión y fijos, así como en sistemas independientes con fuente exterior de carbono y en sistemas combinados de oxidación del carbono y nitrificación-desnitrificación.

### Combinación de procesos de tratamiento aerobios /anóxicos o anaerobios

Existen una serie de procesos combinados de los cuales ya se ha descrito el de nitrificación-desnitrificación para la eliminación del nitrógeno. Otros procesos combinados son los estanques facultativos.

### Sistemas de tratamiento por aplicación al terreno

La superficie y el perfil del suelo pueden proporcionar el tratamiento físico y químico de las aguas residuales, a la vez que un hábitat de los microorganismos para realizar procesos biológicos. El suelo puede eliminar la materia orgánica, el nitrógeno, el fósforo, los cationes intercambiables, metales a nivel de trazas así como microorganismos.

La oxidación de la materia orgánica por el suelo es, generalmente, un proceso aerobio de gran efectividad. Altas cargas orgánicas aplicadas a los suelos pueden crear condiciones anaerobias con la producción de olores; en consecuencia, la carga de materia orgánica debe ser intermitente, para permitir la entrada de aire en el suelo y la consiguiente oxidación aerobia. El nitrógeno se elimina por aplicación al terreno, mediante la incorporación en los cultivos y mediante procesos de desnitrificación.

## Antecedentes

.....

El fósforo se elimina por aplicación al terreno, mediante adsorción y precipitación química; algunos cultivos también captan ciertas cantidades de fósforo. El suelo es un buen intercambiador de iones lo cual produce una elevada retención de metales presentes en aguas residuales. Algunos de estos metales son esenciales para el crecimiento de las plantas pero pueden ser tóxicos en elevadas concentraciones, tanto para las plantas como para los microorganismos. En condiciones de pH ácido, algunos metales pueden sufrir lixiviación. Se debe prestar especial atención a los cationes intercambiables, tales como sodio, calcio y magnesio. El sodio, en grandes concentraciones, produce la dispersión de los suelos y disminuye su permeabilidad. El calcio se puede intercambiar con el hierro, propiciando la ausencia de este elemento y, en consecuencia, evitando el crecimiento de las plantas. (Ref 1.5)

Las bacterias son eliminadas por el terreno mediante retención, muerte, sedimentación, atrapamiento y adsorción.

La vegetación tiene como misión la eliminación de nutrientes, mantener la permeabilidad, reducir la erosión y servir como medio para los microorganismos.

En la aplicación de aguas residuales a terrenos se deben tener en cuenta los factores de salud pública siguientes:

- a) Agentes bacteriológicos y posible transmisión de enfermedades.
- b) Productos químicos que puedan llegar a aguas subterráneas.
- c) Calidad de los cultivos.

Mayoritariamente, son utilizados tres procesos de aplicación de aguas de residuales a terrenos y su utilización depende de las características necesarias del agua tratada, características del agua residual a tratar, disponibilidad de terreno, disponibilidad de agua potable, presencia de núcleos urbanos, cantidad de agua residual a tratar, climatología, niveles de la capa freática, permeabilidad del suelo y presencia de aguas subterráneas. Los tres tipos más importantes son:

- Riego.
- Infiltración rápida.
- Circulación superficial en lámina.

oo

**1.5 MARCO LEGAL**

El instituto Nacional de Ecología y la Comisión Nacional del Agua, para ejercer sus atribuciones en materia de prevención y control de la contaminación han expedido en forma coordinada tres Normas Oficiales Mexicanas, de las cuales para el reuso de ellas se deben conocer la primera y la tercera.

**1.5.1 Resumen de la NOM-001-ECOL-1996**

La NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales. Publicada en Diario Oficial de la Federación de fecha 6 de enero de 1997 y entró en vigor el día 7 de enero de 1997. Esta norma se complementa con la aclaración publicada en el mismo medio de difusión del día 30 de abril de 1997.

**Objetivo y campo de aplicación**

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

**Especificaciones**

La concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el valor indicado como límite máximo permisible en la Tablas 1.5.5 de esta Norma Oficial Mexicana. El rango permisible del potencial hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades.

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

El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego no restringido, y de cinco huevos por litro para riego restringido, lo cual se llevará a cabo de acuerdo a la técnica establecida en el anexo .

**Descargas de aguas**

Al responsable de la descarga de aguas residuales que antes de la entrada en vigor de esta Norma Oficial Mexicana se le hayan fijado condiciones particulares de descarga, podrá optar por cumplir los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma (Tabla 1.5.5), previo aviso a la Comisión Nacional del Agua.

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

- a) Las descargas municipales tendrán como plazo límite las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 1.2.1 El cumplimiento es gradual y progresivo, conforme a los rangos de población. El número de habitantes corresponde al determinado en el XI Censo Nacional de Población y Vivienda, correspondiente a 1990, publicado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- b) Las descargas no municipales tendrán como plazo límite hasta las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 1.2.2 El cumplimiento es gradual y progresivo, dependiendo de la mayor carga

## Antecedentes

contaminante, expresada como demanda bioquímica de oxígeno5 (DBO5) o sólidos suspendidos totales (SST), según las cargas del agua residual, manifestadas en la solicitud de permiso de descarga, presentada a la Comisión Nacional del Agua.

Las fechas de cumplimiento establecidas en las Tablas 1.5.1 Y 1.5.2 de esta Norma Oficial Mexicana podrán ser adelantadas por la Comisión Nacional del Agua para un cuerpo receptor en específico, siempre y cuando exista el estudio correspondiente que valide tal modificación

Tabla 1.5.1. Fecha de cumplimiento de la NOM -001-ECOL por rango de población

Fecha de cumplimiento a partir de:	Rango de población
1 de enero de 2000	mayor de 50,000 habitantes
1 de enero de 2005	de 20,001 a 50,000 habitantes
1 de enero de 2010	de 2,501 a 20,000 habitantes

Fuente: NOM-001-ECOL-1996.

Tabla 1.5.2. Fecha de cumplimiento de la NOM -001-ECOL por rango de DBO

Fecha de cumplimiento a partir de:	Carga	Contaminante
	Demanda Bioquímica de Oxígenos, t/d (tonelada/día)	Sólidos Suspendidos Totales t/d toneladas/día
1 de enero de 2000	mayor de 3.0	mayor de 3.0
1 de enero de 2005	de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0
1 de enero de 2010	menor de 1.2	menor de 1.2

Fuente: NOM-001-ECOL-1996.

El responsable de la descarga queda obligado a realizar el monitoreo de las descargas de aguas residuales para determinar el promedio diario y mensual. La periodicidad de análisis y reportes se indican en la Tabla 1.5.3 para descargas de tipo municipal y en la Tabla 1.5.4 para descargas no municipales. En situaciones que justifiquen un mayor control, como protección de fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, emergencias hidroecológicas o procesos productivos fuera de control, la Comisión Nacional del Agua podrá modificar la periodicidad de análisis y reportes. Los registros del monitoreo deberán mantenerse para su consulta por un periodo de tres años posteriores a su realización.

Tabla 1.5.3. Frecuencia del muestreo y reporte, según cantidad de población

Rango de población	Frecuencia de muestreo y análisis	Frecuencia de reporte
mayor de 50,000 habitantes	Mensual	trimestral
De 20,001 a 50,000 habitantes	Trimestral	semestral
De 2,501 a 20,000 habitantes	Semestral	anual

Fuente: NOM-001-ECOL-1996.

Tabla 1.5.4. Frecuencia del muestreo y reporte, según parámetros.

Demanda Bioquímica de Oxígeno t/d (toneladas/día)	Sólidos Suspendidos Totales t/d (toneladas/día)	Frecuencia de muestreo y análisis	Frecuencia de reporte
mayor de 3.0	mayor de 3.0	mensual	trimestral
de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0	trimestral	semestral
menor de 1.2	menor de 1.2	semestral	anual

Fuente: NOM-001-ECOL-1996.

**Limites máximos permisibles**

Tabla 1.5.5 Norma NOM-001-ECOL-1996 parámetros a cumplir para riego agrícola

PARAMETROS	SUELO	
	Uso en riego agrícola (A)	
(miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	P.M.	P.D.
Materia fíante	ausente	Ausente
Grasas y Aceites	15	25
Arsénico	0.2	0.4
Cadmio	0.5	0.1
Cianuro	2	3
Cobre	4	6
Cromo	0.5	1
Mercurio	0.005	0.01
Níquel	2	4
Plomo	5	10
Zinc	10	20

Fuente: NOM-001-ECOL-1996

Para más información sobre la norma NOM-001-ECOL-1996 ver anexo II

**1.5.2 Resumen de la NOM-003-ECOL-1997**

La NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997, establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Publicada en Diario Oficial de la Federación de fecha 6 de enero de 1997 y entró en vigor el día 21 de septiembre de 1998.

**Objetivo y campo de aplicación**

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

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

**Especificaciones**

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

Tabla 1.5.6 Norma NOM-003-ECOL-1997 parámetros a cumplir para reúso público

TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes Fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y Aceites mg/l	DBO <sub>5</sub> mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	£ 1	15	20	20
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	£ 5	15	30	30

- Fuente: NOM-003-ECOL-1997

La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada, de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006, referida en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana.

El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la columna que corresponde a embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola de la Tabla 3 de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, referida en el punto 2 de esta Norma.

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

Para más información sobre la norma NOM-003-ECOL-1997 ver anexo II



# Referencias □□□□

## .... Capítulo uno

- 1.1. CNA. 2001. Compendio Básico del agua en México.
- 1.2. Jiménez Cisneros Blanca. 1999. Reúso posible del agua residual en México. Facultad de Ingeniería
- 1.3. Vázquez, Alba. 2000. Apuntes de Contaminación del Agua. Facultad de Ingeniería.
- 1.4. Secretaría de Desarrollo Social. 1993. Ordenamiento Ecológico General del Territorio Nacional.
- 1.5. Ramón Sans Fonfría, Joan de Pablo Ribas. 1989. Ingeniería ambiental : Contaminación y tratamientos. España

**Zonas áridas  
en México**



**Capítulo dos**

**2.1 LOCALIZACIÓN DE LAS ZONAS ÁRIDAS NACIONALES**

En base en el Proyecto de Ordenamiento Ecológico General del Territorio del País (SEDESOL, 1993), la superficie de las zonas áridas es de 1,027,051 Km<sup>2</sup>, lo que representa aproximadamente el 52.47 % de la superficie total del país.

Dichas zonas se localizan al norte de la República Mexicana, aproximadamente en los paralelos 32°40' y 21°30' de latitud norte y los meridianos 97°50' y 117°08' longitud oeste comprendiendo las siguientes regiones:

**Desierto Sonorense:** Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa.

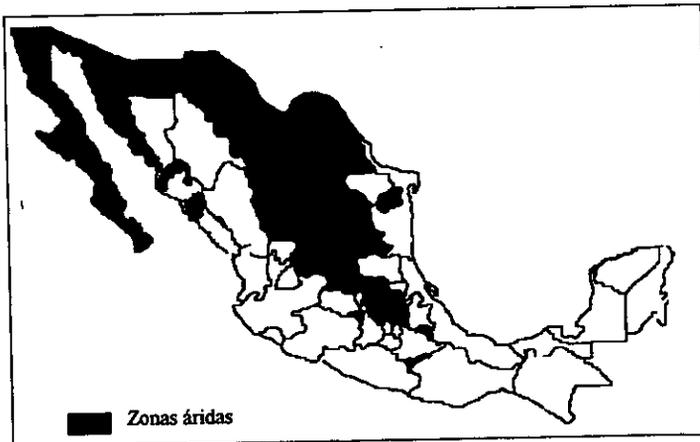
**Desierto Chihuahuense:** Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí y Zacatecas.

**Región Centro:** Aguascalientes, Guanajuato, Jalisco y México .

La zona árida se localiza al norte de la República Mexicana, aproximadamente entre los paralelos 32° 40' y 21° 30' de latitud norte y los meridianos 97° 50' y 117° 08' longitud oeste. Las unidades fisiográficas más importantes son: Sierra de Baja California, Llanura Sonorense, Sierras y Llanuras del Norte, Llanura Costera del Golfo Norte y la Mesa Central. Esta zona abarca el 52.47 % del país con una superficie aproximada de 1'027,051 km<sup>2</sup>. Comprende las siguientes entidades federativas: Baja California, Baja California Sur, Aguascalientes, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Zacatecas, México, Guanajuato, Durango, Sinaloa, Tamaulipas y Jalisco; el 100% de los territorios de los tres primeros estados corresponden a la zona árida mientras que el resto tienen solamente una fracción de esta zona. (Ref. 2.1)

La zona árida está constituida por 37 provincias ecológicas (PE) que a su vez están divididas en 966 sistemas ecogeográficos (SE). A continuación se enlistan las provincias ecológicas y el número de sistemas ecogeográficos que compone a cada una de ellas.

Figura 2.1.1 Localización de las zonas áridas



Fuente: Comisión Nacional de Zonas Áridas. 2001.

Tabla 2.1.1 Provincias ecológicas de las zonas áridas

PE	Nombre	SE
01.	Sierras de Baja California Norte	55
02.	Desierto de San Sebastián Vizcaíno	16
03.	Sierra de la Giganta	31
04.	Llanos de la Magdalena	13
05.	El Cabo	09
06.	Desierto de Altar	13
07.	Sierra del Pinacate	02
08.	Sierras y Llanuras Sonorenses	84
09.	Sierras y Valles del Norte	18
10.	Sierras y Cañadas del Norte	16
11.	Sierras y Llanuras Tarahumaras	24
14.	Sierras y Llanuras de Durango	09
17.	Sierras y Valles Zacatecanos	32
18.	Llanuras y Médanos del Norte	44
19.	Sierras Plegadas del Norte	54
20.	Bolsón de Mapimí	51
21.	Llanuras y Sierras Volcánicas	58
22.	Llanura de Mayran	01
23.	Sierras y Llanuras Coahuilenses	40
24.	Serranía del Burro	05
25.	Sierra de la Paila	22
26.	Pliegues Saltillo-Parras	15
27.	Sierras Transversales	36
29.	Sierras y Llanuras Occidentales	43
31.	Llanuras de Coahuila y Nuevo León	25
32.	Llanuras Costeras y Deltas de Sonora y Sinaloa	23
33.	Llanura Costera de Mazatlán	03
36.	Llanuras de la Costa Golfo Norte	19
37.	Llanura Costera Tamaulipeca	08
38.	Sierra de San Carlos	05
39.	Sierra de Tamaulipas	02
40.	Sierras y Lomeríos de Río Grande	24
41.	Sierras y Llanuras del Norte	19
42.	Llanuras y Sierras Potosino-Zacatecas	15
43.	Llanuras de Ojuelos-Aguascalientes	16
44.	Sierras y Llanuras del Norte de Guanajuato	26
52.	Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo	40
	<b>Subtotal</b>	<b>966</b>

Fuente: SEDESOL. 1993. Ordenamiento Ecológico General del Territorio Nacional.

## 2.2 FACTORES ABIÓTICOS EN LAS ZONAS ÁRIDAS

### 2.2.1 Geomorfología

El estudio geomorfológico implica una serie de análisis donde se puede relacionar la evolución del relieve y los factores de los agentes modeladores del paisaje, trayendo como consecuencia una geomorfología muy heterogénea en el área de la zona árida. En esta zona el relieve constantemente se modifica. Las principales unidades fisiográficas son (*Ref. 2.1*):

**Sierra de Baja California:** Eje Montañoso que forma un largo y estrecho apéndice a lo largo de la península y se extiende en sentido NW-SE, su altitud promedio se calcula en 3,060 m. A esta unidad pertenecen las provincias ecológicas (PE) : 01, 02, 03, 04, 05 y parte de la 06.

**Sierra Madre Occidental:** Se desarrolla paralela a la costa continental del Golfo de California, con una posición SSE-NNW. Su altitud promedio se calcula entre 2,100 y 2,200 hasta 3,300 m. Las PE que pertenecen a esta unidad son las 06,07,08,09,10,11 ,14, 17,32 y 33.

**Sierra Madre Oriental:** Esta unidad se localiza en dirección SE-NW entre el Altiplano Central y la Planicie Costera del Golfo, estableciendo contacto con el Eje Neovolcánico. Sus PE son 18,19,20,21,23,24,25,26,27 y 29.

**Altiplano Mexicano:** Esta unidad se compone de grandes serranías, las cuales influyen para que en la zona existan climas extremos y secos, típico de una condición semiárida y árida, sobresalen lomeríos aislados y prominencias de altitud notable. Le pertenecen las PE 41,42, 43 y 44.

**Llanuras del Golfo:** Se caracteriza por la existencia de dos cuencas sedimentarias y por tener extensas áreas de lomeríos y amplios llanos; en esta unidad se localizan las PE siguientes: 31,36,37 ,38 y 39.

**Eje Neo volcánico:** Se presenta a lo largo del paralelo 18, cruzando el territorio nacional entre el Golfo de México y el Océano Pacífico; tiene un origen volcánico que le confiere una topografía abrupta y escarpada sólo interrumpida en algunos sitios, posee las cumbres de mayor elevación en el país, a este lineamiento montañoso se le cataloga como una barrera biogeográfica que sirve de límite a dos grandes regiones continentales, la neártica y la neotropical; a esta unidad sólo le pertenece la PE 52. (*Ref. 2.1*)

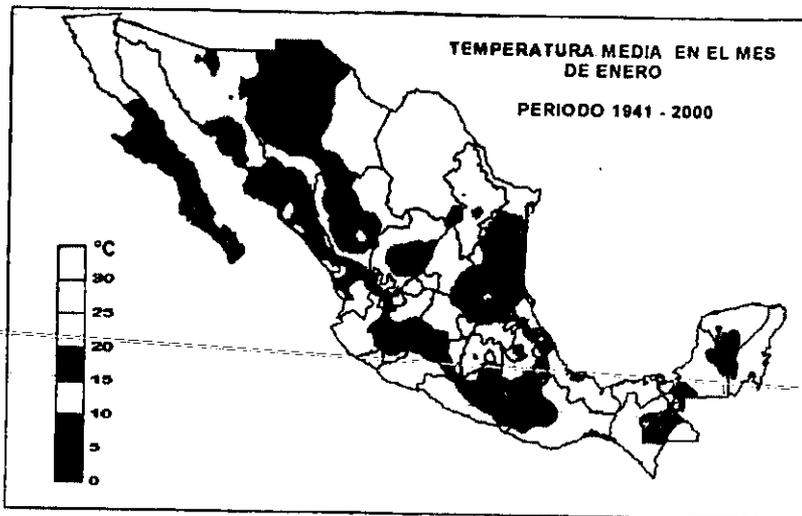
### 2.2.2 Edafología

El tipo de suelo predominante en esta zona es el regosol, con bajos porcentajes de materia orgánica y nutrientes como nitrógeno y fósforo. En general los suelos son someros y arenosos en geofomas planas o inclinadas, y al carecer de una cubierta vegetal en amplias extensiones, son , muy susceptible de sufrir procesos importantes de erosión eólica! hídrica, salinización y sodización.

### 2.2.3 Climatología

En la zona árida, se presentan los tipos climáticos existentes en las zonas áridas y semi-áridas mexicanas como son el BSo y BS1 principalmente y el BW en menor proporción. Según INEGI (1977), el clima BSo es el más seco con una relación de precipitación/temperatura menor de 22.9 y abarca aproximadamente el 14% de la superficie del país con 280,000 km<sup>2</sup> y el clima BS1, que es menos seco, presenta una relación precipitación/temperatura mayor que 22.9 y ocupa 320,000 km<sup>2</sup>, es decir el 16% del territorio. En general, la parte semiárida de Baja California (tomando como referencia Ensenada) y la Faja Occidental del Desierto Chihuahuense, se pueden considerar templadas con temperaturas anuales medias por debajo de los 18° C y con una temperatura media anual más baja de 10.2° C; el resto de las zonas áridas mexicanas pueden considerarse como calientes con una temperatura media anual de 22.5° C. (*Ref. 2.2*).

Figura 2.2.1 Mapa de temperaturas medias.



Fuente: Sistema Meteorológico Nacional. 2001.

La temporada de lluvias se presenta desde mayo alcanzando valores máximos en julio, con nuevas lluvias en septiembre como consecuencia de huracanes en el Caribe. Los meses más secos son noviembre, febrero y abril, llueve ligeramente en diciembre, enero y marzo. La distribución de la precipitación es irregular, los valores más bajos son menores de 100 mm presentes en las PE 01,02,04,06, 07 y 08; áreas con valores entre 100 y 300 mm, se ubican en las PE 01, 03,04 y 05 (Ref. 2.1).

Figura 2.2.2. Mapa de precipitaciones medias.



Fuente: Sistema Meteorológico Nacional. 2001.



## **2.3 FACTORES BIÓTICOS EN LAS ZONAS ÁRIDAS**

### **2.3.1 Importancias Ecológicas de las Zonas Áridas**

Esta zona es de gran interés en cuanto a evolución se refiere, debido a toda la gama de adaptaciones de la flora (características xerófitas) y fauna (cambios de los ritmos circadianos, o actividades nocturnas), obtenidas para su supervivencia en lugares áridos y semiáridos. Se podría decir que es el ecosistema que se transforma más fácilmente por el hombre y sus animales domésticos, en comparación con otras zonas ecológicas; por otro lado, los cambios del tiempo a corto plazo también determinan cambios muy rápidos no sólo en apariencia sino en potencialidades de las tierras.

### **2.3.2 Vegetación y Fauna**

La vegetación de la zona árida incluye una gran diversidad de tipos, consecuencia de una gran cantidad de microambientes que, sin embargo, tienen como denominador común una escasa precipitación y gran oscilación térmica. Las formas predominantes son las arbustivas o de matorral, en segundo lugar los pastizales y en menor proporción los bosques y selvas. Los matorrales se dividen en matorral desértico micrófilo, desértico rosetófilo, crasicauale y sus variantes, matorral espinoso y matorral halófilo, como las más relevantes; estas comunidades son las dominantes en las grandes áreas planas y lomeríos de escasa elevación.

La selva baja se presenta por manchones intercalados entre el matorral desértico y las zonas de trópico seco y templado, se distribuye de forma continua en una franja desde el centro de Sonora hasta el sur de Sinaloa, en los límites con la zona del trópico seco. En la planicie costera del Golfo de México hacia el centro y sur de Tamaulipas existen manchones asociados con matorral espinoso.

El pastizal natural está ampliamente distribuido en toda la parte norte del país y generalmente ocupa las áreas planas y lomeríos bajos; en Chihuahua (en donde alcanza su más amplia distribución), se asocia con matorral espinoso, bosque de encino y bosque de pino-encino (PE 9, 10 y 18); también se presentan estas asociaciones en Coahuila (PE 11, 14, 18, 20 y 21) y Saltillo (PE 26, 23 y 24). Durango y Zacatecas son los límites meridionales del pastizal natural (PE 14 y 17) (*Ref. 2.1*).

Al norte de la Península de Baja California (PE 1), se presenta el chaparral. Otras asociaciones importantes dentro de la zona árida son los bosques de pino-encino-enebro que ocupan las partes más altas de las serranías de clima templado.

Es sorprendente la riqueza faunística de la zona árida; las especies han desarrollado estrategias para vivir en condiciones extremas del clima, escasez de alimento y agua, depredadores naturales, etc. La biodiversidad incluye desde grandes mamíferos hasta infinidad de pequeños insectos.

## **2.4 FACTORES SOCIOECONÓMICOS EN LAS ZONAS ARIDAS**

### **2.4.1 Población**

En la zona árida son comunes los sistemas ecogeográficos (SE) con densidades apenas superiores a 1 hab/km<sup>2</sup>; sin embargo, al sur de la zona árida (PE 44 y 52), son comunes las densidades cercanas a 100 hab/km<sup>2</sup> integrados principalmente por población rural dedicada a las actividades agropecuarias e industriales. El crecimiento y distribución de la población están ligados al impulso oficial de actividades productivas ya su vez con la disponibilidad de recursos naturales.

### **2.4.2 Actividades económicas**

En esta zona, las principales actividades tienden a ser agropecuarias y forestales en los estados de Sonora (PE 08), Sinaloa (PE 32), Nuevo León (PE 26) y Chihuahua (PE 11,18), entre otros.

## Zonas áridas en México

Otras actividades con gran impulso, son las del comercio y servicios, sobre todo en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León y Zacatecas; también se presenta un desarrollo pesquero (acuacultura y camaronicultura) en las entidades de Baja California (PE 01, 05), Sonora (PE 08), Sinaloa (PE 32) y otras regiones interiores.

El aspecto turístico se encuentra representado en Baja California (PE 01), Sonora (PE 08), Sinaloa (PE 32), Tamaulipas (PE 37) y Nuevo León (PE 36).

### Agricultura en las zonas áridas

Los Distritos de riego que comprenden las zonas áridas son :

- Península de Baja California. Comprende las regiones de Baja California y Baja California Sur
- Noroeste: Sonora, Chihuahua
- Río Bravo: Chihuahua, Coahuila, Tamaulipas
- Cuencas centrales del norte: Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, Michoacán

Tabla 2.4.1 Tipos de cultivo en las zonas áridas

Cultivo	Península de Baja California	Noroeste	Río Bravo	Cuencas centrales del norte	Cultivo	Península de Baja California	Noroeste	Río Bravo	Cuencas centrales del norte
Ahuacate		X			Maíz	O	O	O	O
Acelga	X		X		Maíz forrajero			X	
Ajo	X	X			Maíz Palomero			X	
Alcachofa	X	X			Mandarina		X		
Alfalfa			X	O	Mango		X		
Alfalfa achicalada	O	O	O		Manzana		X	X	
Algodón	O	O	O	O	Melón	X	O	X	X
Apio	X	X			Naranja		O		
Avena		X	X		Nogal		O	O	O
Avena forrajera			O		Okra			O	
Bermuda	O	X	X		Olivo		O		
Betabel	X				O Industriales				O
Brócoli	X	X			O Hortalizas	O	X	X	
Cacahuate	X		O	X	O Cítricos	O	O	X	
Calabaza		O			O Cultivos	O	O	O	
Calabacita	X	X			O Forrajes	X	O	X	
Cártamo	O	O	O		O Frutales	O	X		
Cebada	X	X			O Pastos		X	O	
Cebolla	X	X	X		Papa	X	X		
Ciruelo		X			Papaya		X		
Col	X	X	X		Pepino	X	X	X	
Chabacano		X			Persimonio		X		
Chicharo	X	X			Pistache			X	
Chile Verde	X	O	O	X	Rábano	X			
Datil		X			Rye Grass	O	X	X	
Ejote		X	X		Sandía	X	X	X	X
Elote		X			Sorgo	O	X	O	X
Esparrago	O	O	X		Sorgo Escobero	X	X	X	
Espinaca	X				Sorgo forrajero	O	X	O	O
Frijol	O	O	O	X	Soya			X	
Garbanzo	O	O			Tomate	X	O	X	X

oo

Girasol		X	O		Toronja		X		
Granada		X			Trigo	O	O	O	
Jitomate	X	O	X		Trigo forrajero			X	
Jojoba		X			Vid (mesa)		O		
Kein grass			X		Vid (industrial)	X	O	X	X
Lechuga	O	X			Zanahoria	X			
Limón		X			Zempoalxochitl		X		

Fuente: Estadísticas Agrícolas de los distritos de riego, Años 1998-1999, CNA  
 Nota: X = Se siembra menor a 1000 ha    O = Se siembra mayor de 1000 ha

**2.4.3 Infraestructura**

La infraestructura con que cuenta la zona árida está constituida por carreteras de buena calidad, en los estados de Sonora (PE 38), Durango (PE 40 y 41 ), Coahuila (PE 24), Jalisco (PE 43) y Querétaro (PE 44). La red ferroviaria se ha impulsado en los estados de Sonora (PE 08), Sinaloa (PE 32), Chihuahua (PE 19 y 20), Tamaulipas (PE 37), San Luis Potosí (PE 27), Coahuila (PE 24), Durango (PE 40 y 41 ), Aguascalientes (PE 43) y Querétaro (PE 52). Los puertos establecidos con tendencia al desarrollo se presentan en Guaymas y Empalme, en Sonora; La Paz y Cabo San Lucas, en Baja California Sur (PE 03 y 05), y Topolobampo y Mazatlán en Sinaloa (PE 32 y 33). Esta zona también presenta aeropuertos en las principales ciudades de los estados que la conforman (*Ref. 2.1*).

**2.5 EVALUACIÓN DEL DETERIORO AMBIENTAL**

**2.5.1 Capacidad Agrológica**

Para determinar la capacidad del suelo con el fin de sostener actividades agropecuarias se evalúan los siguientes índices:

**Índice de capacidad para la agricultura de riego**

Basándose en las pendientes y en las unidades de suelo, se determinaron las áreas aptas para el desarrollo de la agricultura de riego. En las zonas áridas sólo es posible en áreas cercanas a cuerpos de agua o a partir de la extracción de aguas subterráneas; estas condiciones sólo se presentan en áreas aisladas. De acuerdo al índice, a nivel general todas las áreas donde actualmente hay agricultura de riego son aptas para este tipo de actividad. (*Ref. 2.1*)

**Índice de capacidad para la apertura de nuevas áreas al riego.**

La determinación de nuevas áreas para el desarrollo de la agricultura de riego se hizo considerando la pendiente de 0 a 8% (valles o planicies). En términos generales la aptitud determinada por este índice corresponde a sistemas ecogeográficos aislados y distribuidos en toda la zona árida, pudiéndose afirmar que no es posible abrir ya grandes superficies para agricultura de riego puesto que las que son aptas ya se encuentran en explotación. (*Ref. 2.1*)

**Índice de capacidad para la producción de pastizales**

Para la determinación de áreas aptas para sostener la producción de pastizales, se considera una pendiente menor de 30% y que las unidades de suelo sean aptas para esta actividad; así, las áreas aptas para el desarrollo de pastizal es son las provincias ecológicas en que la ganadería en pastizales naturales es más relevante son: la 08 y 09 en Sonora; 18, 19 y 20 en Chihuahua; 21 en los límites con Chihuahua y Coahuila, y 14 en Durango y Chihuahua. Es importante señalar que tradicionalmente las grandes planicies áridas del norte han tenido como actividad relevante la ganadería sustentada en

## Zonas áridas en México

.....

pastizal es naturales, por lo tanto, con el índice se refuerza la aptitud ganadera de estas áreas. En el resto de las provincias que resultaron aptas, la actividad ganadera se puede desarrollar con el aprovechamiento de arbustos forrajeros o la creación de praderas artificiales, en la medida en que por la disponibilidad de agua sea posible. (Ref. 2.1)

### 2.5.2 Erodabilidad en las Zonas Áridas

En esta zona ecológica las lluvias torrenciales disgregan el suelo separando las partículas que lo integran, el agua transporta este material depositándose en las partes más bajas, originándose el sepultamiento de suelos fértiles; no obstante, la causa dominante que provoca erodabilidad en la zona árida es el viento: aunque la erosión hídrica se presenta en forma aislada, la erosión eólica es más relevante. La erosión presente en la zona es "moderada" y "alta". Los suelos de la zona árida son moderadamente susceptibles a la erodabilidad, aunque existen áreas con materiales de potencialidad ligera o muy severa.

La deforestación es otro factor importante que acelera el proceso de erosión, ya sea por causas naturales o actividades antrópicas, dando como resultado un área sin cubierta vegetal y un suelo estéril, implicando la desertificación y dando lugar a una reducción en el potencial biológico, económico y social.

Para poder evaluar este fenómeno se aplicó el índice de erosión potencial que sirve para determinar la cantidad potencial del suelo perdido por procesos erosivos de tipo hídrico y/o eólico y para calificar la degradación atribuida a los procesos erosivos se obtuvieron los siguientes resultados:

Los suelos ligeramente erodables se ubican en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental en los estados de Sonora, Chihuahua y Zacatecas (PE 10 y 11 ), así como en la Mesa Central en los estados de Guanajuato (PE 52). En estas áreas la tala de la vegetación es escasa.

Los suelos con erodabilidad moderada se localizan en gran parte de la zona árida dominando en la Península de Baja California, Llanura Sonorense y norte de la Sierra Madre Occidental (PE 01, 02, 03, 04, 05, 06, 08 y 09). La vegetación dominante se compone por matorrales espinosos y crasicaules principalmente, por lo que la tala ha sido ligera, debido a su bajo valor comercial.

La erodabilidad fuerte o severa corresponde a los suelos que se localizan en forma puntual en la Península de Baja California (PE 01, 02 y 03), Llanura Sonorense (PE 08), Llanura Costera del Pacífico (PE 32), Sierras y Llanuras del Norte (PE 19 y 21) y en las Grandes Llanuras de Norteamérica (PE 31) (Ref. 2.1).

### 2.5.3 Uso Inadecuado del Suelo

En la zona árida, el manejo del suelo es "adecuado" predominando valores de 100%, aunque al sur de la misma, en las PE 43 y 17 predominan sistemas ecogeográficos con uso "semiadecuado"; en la provincia ecológica 52, además de algunos sistemas ecogeográficos con uso "semiadecuado", existen otros con uso "poco adecuado".

## 2.6 SELECCIÓN DE MUNICIPIOS

En este punto se mencionarán aquellos municipios de México que tienen una precipitación media anual menor a 500 mm (zonas áridas) (Ref. 2.2), con temperaturas promedio de 22.5°C, y temperaturas mensuales promedio del mes más frío de 10.5 °C. Así como los que se encuentren entre 20,000 y 50,000 habitantes que no cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.

Se incluyen municipios mayores a 50,000 habitantes ya que cabe mencionar que el municipio es diferente a la población y si bien, el municipio es mayor a 50,000 hab., este puede estar conformado por localidades menores de 50,000 hab (Ref. 2.3).



## Zonas áridas en México

---

Charcas	21,401
Santa María del Río	37,448
Villa de Ramos	32,484
Villa de Reyes	38,926
Zaragoza	21,235
Ciudad del maíz	30,260

### 2.6.8 Sinaloa

Ahome	358,668
Navolato	145,396
Culiacán	744,859

### 2.6.9 Sonora

Bacum	21,325
Benito Juárez	21,785
Cananea	32,074
Navojoa	140,495
San Luis Río Colorado	145,276

### 2.6.10 Zacatecas

Calera	31,818
Fresnillo	182,744
General Fco. Murgía	23,057
Juan Aldama	19,323
Loreto	39,931
Miguel Auza	21,581
Ojo Caliente	38,153
Pinos	64,153
Saín Alto	20,742



## **Referencias** □□□□

## **.... Capítulo dos**

- 2.1. Secretaría de Desarrollo Social. 1993. Ordenamiento Ecológico General del Territorio Nacional.
- 2.2. Sistema Metereológico Nacional. 2001.
- 2.3. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2000. Datos Preliminares CENSO de Población y Vivienda 2000.
- 2.4. Comisión Nacional del Agua. 1999. Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

**Aspectos básicos  
agrícolas**

---

**Capítulo tres**

**3.1. CLASIFICACIÓN DEL AGUA PARA RIEGO**

Los principales parámetros característicos de calidad del agua que determinan la conveniencia o limitación del agua con sus fines de utilización en riego agrícola, junto con su concentración limitante para su uso son:

**3.1.1 pH (Potencial Hidrógeno)**

Debido a que la mayoría de los efectos de la acidez y la alcalinidad en el agua de riego sobre los suelos y el crecimiento de los cultivos son indirectos no se recomiendan valores específicos de pH, sin embargo el agua con valores de pH en el rango de 4.5 a 9.0 podrán ser aprovechada siempre y cuando se considere el desarrollo de efectos indirectos perjudiciales por las condiciones químicas particulares del suelo.

**3.1.2 Salinidad**

Los parámetros más utilizados para estimar la salinidad del agua o contenido de sales solubles son la conductividad eléctrica (CE), la salinidad efectiva (SE) y la salinidad potencial (SP).

La conductividad eléctrica, generalmente se expresa como medida antagónica de la resistencia eléctrica dada en unidades de micromhos/cm, siendo además una medida indirecta del contenido de sales disueltas en el agua.

Mediante la relación de sólidos disueltos y conductividad eléctrica se ha determinado una clasificación del uso del agua en riego agrícola (*Ref. 3.1*). Dicha clasificación se presenta en la tabla 3.1.1.

La salinidad efectiva y la potencial que determinan una estimación más real de las sales solubles se basan en el cálculo de balances de aniones y cationes.

Tabla 3.1.1. Clasificación de aguas para riego por Conductividad Eléctrica.

Designación	Sólidos totales disueltos (mg/L)	Conductividad eléctrica (milimhos /cm)
Agua que no ocasiona efectos notables perjudiciales	5 - 500	0.75
Agua que puede ser perjudicial en cultivos sensibles	500 - 1000	0.75 - 1.50
Agua que puede tener efectos adversos sobre varias cosechas y requiere el cuidado en la práctica del manejo del suelo	1000 - 2000	1.50 - 3.00
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes a las sales con cuidadosas prácticas de manejo y sobre suelos permeables	2000 - 5000	3.00 - 7.50

Fuente: SARH. 1983. Criterios para el Aprovechamiento de Aguas Residuales en Riego Agrícola. México.

Tabla 3.1.2. Clasificación de aguas para riego de acuerdo a su salinidad efectiva o potencial.

Clase	Salinidad efectiva (SE) o Salinidad potencial (SP) (meq/L)
Buena	Menos de 3
Condicionada	3 - 15
No recomendable	Más de 15

Fuente: SARH. 1985. Evaluación de los Estudios Realizados para la Planeación del Reuso de las Aguas Residuales. México.

## Aspectos básicos agrícolas

### 3.1.3 Cloruros

Los cloruros en el agua de riego no son generalmente tóxicos a los cultivos, sin embargo, ciertos frutos son sensibles a ellos.

Las concentraciones permisibles de cloruros dependen del cultivo, de las condiciones ambientales y de las prácticas de riego. En la siguiente tabla se muestran las concentraciones de agua de riego que se han sugerido.

Tabla 3.1.3. Clasificación de las aguas de riego según el contenido de cloruros.

Clase	Contenido de Cloruros (meq/L)
Buena	Menos de 1.0
Condicionada	1.0 - 5.0
No recomendable	Más de 5.0

Fuente: SARH, 1983. Criterios para el Aprovechamiento de Aguas Residuales en Riego Agrícola. México.

### 3.1.4 Sodio

Las concentraciones altas de sodio en comparación con el calcio y el magnesio, reducen la permeabilidad del suelo obstruyendo el acceso del agua a la raíz, lo que se refleja en disminución del crecimiento del cultivo; los efectos del sodio sobre la permeabilidad, son medidos mediante la relación de absorción de sodio (RAS) definida por el cociente cuyo numerador es el valor de la concentración de sodio y el denominador, la raíz cuadrada de la semisuma de los valores de concentración de calcio y magnesio.

$$RAS = \frac{Na^+}{((Ca^{++} + Mg^{++})/2)^{1/2}} \quad (\text{Todo en meq/L})$$

Pesos Atómicos: Na = 23  
Ca = 40  
Mg = 24

Se considera que los valores de RAS menores de 10 son satisfactorios, entre 10 y 18 marginales y mayores de 18 dañinos.

Otras medidas para estimar el efecto probable del sodio contenido en el agua, sobre las características físicas del suelo son el carbonato de sodio residual (CSR) y el porcentaje de sodio posible (PSP).

El Carbonato de Sodio residual (CSR) se mide con la fórmula que sigue

$$CSR = (CO_3^{--} + HCO_3^-) - (Ca^{++} + Mg^{++}) \quad (\text{Todo en meq/L})$$

Pesos Atómicos: C = 12, O = 16, H = 1, Mg = 24,  
Ca = 40, CO<sub>3</sub> = 60, HCO<sub>3</sub> = 61

La clasificación de agua de riego para estos dos parámetros se da en las siguientes tablas.

Tabla 3.1.4. Clasificación de las aguas para riego de acuerdo al carbonato de sodio residual (CSR)

Clase	Carbonato de Sodio Residual, (mg/L) (CSR)
Buena	Menor de 1.25
Condicionada	1.25 - 2.50
No recomendable	Más de 2.50

Fuente: Saenz, F. 1986. Reuso de Aguas Residuales Pretratadas en la Agricultura. Perú.

Tabla 3.1.5. Clasificación de agua para riego de acuerdo al porcentaje de sodio posible (PSP)

Condición del suelo	Porcentaje de sodio posible (PSP)	Clasificación del agua para riego
Cualquiera	Menos del 50 %	Buena
Suelos orgánicos o de textura ligera	Menos del 50 % o mas del 50 % pero con menos de 10 me/L de Na	Buena
Suelos de texturas medias o pesadas con menos de 4% de CaCO <sub>3</sub> + MgCO <sub>3</sub>	Más del 50 % con más de 10 me/L de Na	Peligro de sodificación

Fuente: Saenz, F. 1986. Reuso de Aguas Residuales Pretratadas en la Agricultura. Perú.

**3.1.5 Boro**

En general en los cultivos sensibles se presenta toxicidad o concentraciones de 1 mg/L o menos, los cultivos semitolerantes de 1 a 2 mg/L y los cultivos tolerantes de 2 a 4 mg/L. A concentraciones superiores de 4 mg/L el agua de riego generalmente daña a la mayoría de los cultivos. En general se recomienda que la concentración de boro en el extracto de suelo debe ser menor a 0.7 mg/L

Tabla 3.1.6. Clasificación de aguas para riego por contenido de boro.

Clase de agua de riego	Cultivo (Concentración de Boro en mg/L)		
	Sensibles	Semitolerantes	Tolerantes
Excelente	Menos de 0.33	Menos de 0.67	Menos de 1.00
Buena	0.33 - 0.67	0.67 - 1.33	1.00 - 2.00
Permisible	0.67 - 1.00	1.33 - 2.00	2.00 - 3.00
Dudosa	1.00 - 1.25	2.00 - 2.50	3.00 - 3.75
Inadecuada	Más de 1.25	Más de 2.50	Más de 3.75

Fuente: Comisión hidrológica de la Cuenca del Valle de México, SRH. Uso Agrícola de Aguas Negras. México.

**3.1.6 Metales pesados**

Las aportaciones de metales pesados en aguas residuales se deben principalmente a descargas industriales.

Los principales efectos de los metales pesados, tales como Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Aluminio (Al), Arsénico (As) y Cromo (Cr), son manifestados después de largos períodos de riego, dependiendo su mayor o menor acentuación, del tipo de suelo y cultivo que se maneje en el área agrícola de riego.

Los estudios realizados y reportados en la literatura aún no han concordado en que la concentración de estos, en todos los casos, se magnifiquen a través de la cadena alimenticia, pero si ha quedado dilucidado el efecto acumulativo y el daño potencial a la salud humana que la presencia de estos metales pesados representa.

De acuerdo a la norma NOM-00-ECOL-1996 de calidad para agua de irrigación utilizada en forma continua, en todo tipo de suelos, las concentraciones recomendables de plomo, cadmio y cromo son 0.2, 0.2 y 0.5, mg/L respectivamente (en promedio mensual). Para suelos de textura fina o para uso esporádico del agua residual se pueden tolerar valores mayores.

**3.1.7 Biológicos**

La contaminación microbiológica causada por la presencia de microorganismos patógenos que provienen principalmente de descargas domésticas y de descargas de hospitales, rastros y tenerías, provoca, una serie de daños representados principalmente por la contaminación biológica de los productos irrigados con agua residual, la contaminación de acuíferos y los problemas de salud debidos a los agentes infecciosos que entre otras causan las siguientes enfermedades entéricas: Disentería

## Aspectos básicos agrícolas

ambiana y bacilar, cólera, fiebre tifoidea y paratifoidea, gastroenteritis e infecciones provocadas por helmintos, protozoarios y virus, incluyendo el causante de la poliometritis.

La densidad de la población de los microorganismos, depende en gran medida de la cantidad y calidad de sustrato disponible que es la materia orgánica la cual, a su vez depende del número de población infestada, localización geográfica de la comunidad y de la estación del año; así, se han reportado concentraciones promedio en el agua residual del orden de  $10^5$  número de organismos por mililitro de Enterobacterias, Clostridium  $10^2 - 10^3$  Streptococcus fecales  $10^3 - 10^4$  y en menor proporción, Salmonella y Mycobacterium tuberculosis. El contenido promedio de bacterias medidas, como coliformes en México, es de  $10^8$  organismos por mililitro de agua residual cruda (Ref. 3.2).

El reglamento vigente estipula que el agua que se vierte a cuerpos receptores no debe exceder de 1000 y 2000 NMP (número más probable) de coliformes fecales por cada 100 mL de promedio mensual y diario respectivamente. A su vez el límite máximo permisible de huevos de helminto para riego restringido es de 5 por litro; para riego irrestricto es de 1 por litro.

### 3.2. SUELOS

#### 3.2.1. Clasificación de los suelos

Como se menciona anteriormente, las relaciones que existen entre la práctica de regar con aguas residuales y el tipo de cultivo, están condicionadas por el tipo de suelo que prevalezca en las áreas agrícolas. Las características de cada tipo de suelo definen las propiedades hidrodinámicas, tales como: La capacidad retentiva del suelo, que es la cantidad máxima de agua que puede retener contra la gravedad y el grado de captación o velocidad de adsorción del agua de riego. Los dos aspectos anteriores determinan:

- a) el tipo de riego a aplicar
- b) cantidad de agua retenida por el suelo
- c) cantidad de agua aprovechable por el cultivo

Por otra parte es necesario asociar las características físicas de los suelos de las zonas potenciales de riego, para esto se utiliza el sistema FAO/UNESCO (tabla 3.2.1) que permite clasificar los tipos de suelos en las zonas agrícolas detectadas con posibilidad de utilizar agua residual, posteriormente se le deberán asociar las propiedades físicas más importantes de los suelos que son la textura y la estructura del suelo

#### Textura

La textura del suelo esta relacionada con el tamaño de las partículas minerales, o sea, se refiere a la proporción relativa de los varios grupos de partículas de un suelo dado. La estructura del suelo consiste en la disposición de las partículas del suelo en grupos agregados. Estas propiedades ayudan a determinar no sólo la facilidad por los sólidos del suelo de abastecer nutrientes, sino también de agua y aire. La clasificación se observa en la tabla 3.2.2.

Tabla 3.2.1. Principales características de unidades de suelo en el sistema FAO/UNESCO

UNIDAD	SÍMBOLO	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS
FLUVISOL	J	Suelos formados a partir de depósitos aluviales recientes puede presentar las siguientes horizontes A. Ocrico color muy claro, muy escaso en materia orgánica y muy delgado. O. Por lo menos de 30 cm de espesor, textura de migajón arenoso, o textura más fina que este, en la fracción de suelo menor de 2 mm y más de 15% de arcilla.
XEROSOL	X	Suelos secos de regiones semiáridas Lluvia < 300 mm, y semiárido entre 300 y 800 mm



		con un horizonte. A. Ocrico desarrollado y un régimen de humedad arídico, son bajos en materia orgánica.
YERMOSOL	Y	Suelos correspondientes a clima árido (desiertos) Horizonte A. Ocrico poco desarrollado
ANDOSOL	T	Suelos de origen volcánico. Los horizontes que presentan estos suelos son: Gléyico, contiene alto contenido de materia orgánica, es fértil (café y cacao) A. Cambrico infértil se utiliza para caña de azúcar y maíz para autoconsumo.
SOLONCHAK	Z	Suelo con acumulación de sales solubles. Los horizontes que presenta son : O. Gléyico y Cambriano
FEOZEM	H	Suelos oscuros y lixiviados, se encuentran en varias condiciones climáticas. El horizonte Feozem calcares es un suelo fértil.
REGOSOL	R	Suelos delgados sobre materiales no consolidados, pueden presentar los siguientes horizontes A. Ocrico, Gléyico a más de 50 cm de superficie
VERTISOL	V	Suelos que se invierten, ricos en arcilla montmorilonítica

Fuente: Tejeda. 1985. Evaluación del Control de la Contaminación por el Reuso Agrícola de Agua Residual. México.

Tabla 3.2.2. Clasificación de las partículas del suelo

Fracción del suelo	Sistema del Depto. de Agricultura de Estados Unidos	Sistema Internacional
	Diámetro límite (mm)	Diámetro límite (mm)
Arena muy gruesa	2 - 1	
Arena gruesa	1 - 0.5	2 - 0.2
Arena media	0.5 - 0.25	
Arena fina	0.25 - 0.10	0.2 - 0.02
Arena muy fina	0.10 - 0.05	0.02 - 0.002
Limo	0.05 - 0.002	
Arcilla	Menos de 0.002	Menos de 0.002

Fuente: Tejeda. 1985. Evaluación del Control de la Contaminación por el Reuso Agrícola de Agua Residual. México.

Las características hidrodinámicas y su relación con la textura y la estructura, se refieren a la capacidad que tiene el suelo para la circulación y retención del agua.

En el cuadro siguiente se relacionan las texturas con el comportamiento hidrodinámico.

Tabla 3.2.3. Relación de la textura con el comportamiento hidrodinámico

Textura	Velocidad de Infiltración (cm/hr)	Capacidad de retención de agua (%)
Arena	> 6	10
Franca	2 - 6	20
Arcilla	0.5	30

Fuente: SARH. 1983. Criterios para el Aprovechamiento de Aguas Residuales en Riego Agrícola. México.

## Aspectos básicos agrícolas

3.2.4 Tabla Propiedades típicas de diferentes suelos

Textura Del Suelo	Razón de Infiltración cm/día	Porosidad %	Densidad Bruta G/cm <sup>3</sup>	Contenido de humedad % por peso		
				A la capacidad de campo	Al punto de marchitamiento	Disponible
Arena limo	60-120-600	38	1.65	6-12	2-6	4-6
Barro arenoso	30-60-180	43	1.5	10-18	4-8	6-10
Barro (loam)	18-30-50	47	1.4	18-26	8-12	10-14
Barro con arcilla	6-18-36	49	1.35	23-31	11-15	12-16
Limo con arcilla	1-6-12	51	1.3	27-35	13-17	14-18
Arcilla (clay)	< 1-2.5	53	1.25	31-39	15-19	16-20

Fuente: 1985. Sáenz F. Rodolfo. Reúso de aguas residuales. Perú,

### Notas:

- 1) Las razones de infiltración con las finales después de un periodo prolongado (no iniciales) 1 cm/día= 100 m<sup>3</sup>/ha d
- 2) La capacidad de campo y la humedad disponible aumentan conforme la textura es más fina
- 3) La proporción de arcilla es <10% en suelos arenosos, y >35% en suelos arcillosos
- 4) Una disminución de 5 al 10% en la porosidad puede impedir el crecimiento seriamente. El sodio provoca la reducción de la porosidad al alterar las arcillas
- 5) La rotación de cultivos mejora los suelos. Los cultivos mismos mejoran la razón de infiltración.

Tabla 3.2.5. Laminas Promedio de los distritos de riego en las zonas áridas

Distrito de riego	Lamina Bruta media
Península de Baja California	97.0 cm
Noroeste	100.6 cm
Río Bravo	113.9 cm
Cuencas centrales del norte	106.0 cm

Fuente: Superficies regadas y Volúmenes de agua distribuidos en los distritos de riego, 1998-1999

### Salinidad

La calidad de un suelo es función del porcentaje de sodio intercambiable referido a su capacidad de intercambio y del contenido de sales solubles totales, expresado en términos de conductividad eléctrica. En el siguiente cuadro se presenta la clasificación de los suelos en términos de conductividad eléctrica y porcentaje de sodio cambiante.

Tabla 3.2.6. Clasificación de suelos en función de la C.E. y el % de Na

Clase de suelo	Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	Na Intercambiable (%)
Normal	0 - 4	0 - 15
Salino	> 4	0 - 15
Sódico	0 - 4	> 15
Salino sódico	> 4	> 15

Fuente: SARH. 1983. Criterios para el Aprovechamiento de Aguas Residuales en Riego Agrícola. México.

Los suelos salinos son fácilmente reconocidos por la presencia de costras blancas de sal sobre la superficie. El sodio frecuentemente constituye menos de la mitad de los cationes solubles. Los aniones de mayor importancia son: cloruros, sulfatos y algunas veces nitratos. Pueden existir pequeñas cantidades de bicarbonatos, los carbonatos solubles se encuentran rara vez.

Los suelos salinos además pueden contener sales poco solubles, tales como sulfato de calcio (yeso) y carbonatos de calcio y magnesio (cal).

Los suelos salinos sódicos son el resultado de los procesos de salinización y sodificación combinados. La apariencia y las propiedades son semejantes a los suelos salinos. Por el exceso de sales se lixivian, las propiedades del suelo pueden cambiar marcadamente y volverse similares a los suelos sódicos. Algunas veces los suelos salinos sódicos contienen yeso y cuando esto sucede el calcio se disuelve y reemplaza al sodio intercambiable simultáneamente con la remoción de sales en exceso.

Los suelos sódicos generalmente se localizan en zonas áridas y semiáridas, en pequeñas áreas, sus pH varían de 8.5 a 10, y si el yeso no se encuentra presente en estos suelos o en las aguas con que se riega, el drenaje y la lixiviación dan lugar a la formación de los suelos sódicos (*Ref. 3.3*). El sodio intercambiable que se encuentra en este tipo de suelos tiene gran influencia en las propiedades físicas y químicas volviéndose disperso a medida que la proporción de sodio intercambiable aumenta. Los aniones están presentes en grandes cantidades como son los cloruros, los sulfatos y los bicarbonatos. Los cationes que comúnmente se determinan en los suelos salinos y sódicos son: calcio, magnesio, sodio y potasio. Los aniones son: los carbonatos, sulfatos y cloruros, ocasionalmente nitratos y silicatos.

### **3.2.2. Clases de suelos y su relación con el riego con agua residual**

Como los suelos están compuestos de partículas que varían tanto en tamaño como en forma, es necesario definir bajo términos específicos que estén de acuerdo con su estructura y nos den una indicación de sus propiedades físicas, para esto se consideran tres grandes grupos fundamentales y generales de suelos: arenas, suelos francos y arcillas.

#### **Arenas**

El grupo de las arenas, incluye todos los suelos de los cuales a través del tamizado la arena da más de un 70% o más de todo el material en peso (*Ref. 3.4*).

Los suelos arenosos tienen como característica su elevada capacidad de drenaje lo que los hace aceptables para el riego con aguas residuales urbanas, es aconsejable para aquellos cultivos cuyas raíces no admitan exceso de agua durante largos períodos de tiempo.

Se define como suelo con buen drenaje los que tienen un nivel de infiltración igual o superior a 5 cm/día.

#### **Arcillas**

Para que un suelo sea designado como una arcilla debe llevar como mínimo un 35% de fracción arcillosa, y en la mayor parte de los casos no menos del 40% o más, las características de ésta son dominantes y la clase se llama arcilla arenosa, arcilla limosa, o simplemente arcilla, las arcillas arenosas contienen casi siempre más arena que arcilla (*Ref. 3.2*).

Los suelos de textura fina y pesados, como el arcilloso, tienen muy mal drenaje. El elevado contenido en arcilla hace que los horizontes sean casi impermeables por lo que en el riego con aguas residuales siempre aparecerá el problema de exceso de aplicación de agua y el peligro de encharcamiento.

#### **Suelos francos**

Los suelos francos presentan propiedades adecuadas para la agricultura ya que la mezcla de partículas de arena, limo calcáreo y arcilla se encuentra en iguales proporciones. En los suelos francos que predomina la arena, se denomina franco arenoso por lo mismo existirán además, franco calcáreo o limoso, franco arenoso limoso y franco arcilloso (*Ref. 3.2*).

El estudio de las posibilidades de aplicación de aguas residuales a un tipo de suelo debe considerar la pirámide de texturas, que involucra los porcentajes en tres dimensiones de arcillas, limos y arenas.

## Aspectos básicos agrícolas

Las láminas que pueden retener los suelos en función de su textura, siendo estos valores aproximados y pudiendo variar en función de otros parámetros.

Los suelos pesados y de textura fina, como los arcillosos, debido a su deficiente drenaje sólo es factible regar con aguas residuales mediante escorrentía superficial y en este tipo de suelos el riego debe ser controlado ya que siempre existirá el problema del encharcamiento.

### 3.2.3 Comportamiento en el suelo de la salinidad, boro y metales pesados aportados por el agua residual.

#### Efecto de las sales en los suelos

Como ya se ha mencionado concentraciones altas de sodio y cloruros en suelos afectan el crecimiento de los cultivos, asimismo los suelos con altos niveles de sodio intercambiable propician propiedades físicas tales como drenaje deficiente. Debido a que los iones sodio están cargados positivamente son atraídos por los sitios negativos de las arcillas y por partículas orgánicas, de esta manera el suelo deja libre los iones de sodio y cloro. Siendo más severa la toxicidad por sales cuando el suelo está seco, de tal modo que los suelos sódicos deben ser lavados por un largo periodo antes de ser productivos.

#### Boro

El boro soluble se encuentra en los estratos de los suelos salinos en concentraciones de 2 a 100 mg/kg. El contenido de boro es un factor decisivo para el diagnóstico de un suelo. Los boratos solubles tienden a acumularse conjuntamente a otras sales solubles en suelos de regiones áridas ocasionando un desarrollo anormal de las plantas (Ref. 3.4).

#### Metales pesados

Se ha reportado en la bibliografía por numerosas fuentes que la cantidad de elementos traza existentes en el suelo en forma soluble o asimilable es más importante que su contenido total el cual incluye también el precipitado o insoluble. El comportamiento de los efectos de los metales pesados en suelos, está asociado necesariamente con el tipo de cultivo.

El arsénico es adicionado al suelo mediante productos arsenicales para el control de plagas e insectos obteniéndose concentraciones de 9.8 a 125 ppm.

El arsénico agregado o presente en el suelo es absorbido por la mayoría de los cultivos vegetales en pequeñas cantidades.

Los micronutrientes que esencialmente se requieren en pequeñísimas cantidades por las plantas son fierro, manganeso, cobre, zinc, boro, molibdeno y cloruros. las concentraciones normales en el suelo se presentan en el siguiente cuadro.

Tabla 3.2.7. Concentraciones de micronutrientes en el suelo.

Nutrientes	Contenido total en suelos
Fierro	1 - 5%
Manganeso	100 - 4000 ppm
Cobre	2 - 100 ppm
Zinc	10 - 30 ppm
Boro	2 - 100 ppm
Molibdeno	0.2 - 5 ppm
Cloruros	50 - 500 ppm

Fuente: SARH. 1984. Manual de Calidad de Agua y Suelos en la Agricultura. México.

3.2.4. Criterios técnicos de la relación agua residual suelo.

El suelo es una de las limitantes de primer orden en el riego agrícola con aguas residuales, ya que éstas últimas en un momento dado es posible acondicionarlas a las características deseadas, lo que es menos factible realizarlo en el suelo, de aquí lo importante que es definir las consideraciones técnicas necesarias para la óptima incorporación de áreas agrícolas al riego con aguas residuales, previniendo los problemas que puedan presentarse a corto y largo plazo en los distintos tipos de suelos.

Se han identificado de la revisión bibliográfica una serie de recomendaciones y conclusiones que se aplican al riego con aguas residuales y que se presentan a continuación (Ref. 3.2).

- En suelos extremadamente arenosos con bajo contenido de materia orgánica es recomendable mantener el pH en el rango de 6.0 a 9.0.
- En suelos neutros o alcalinos con alta capacidad de adsorción se ha encontrado que concentraciones de 2 mg/L de boro en agua puede ser usada por algún tiempo sin daño a plantas sensibles al boro.
- En análisis de los suelos de Werribee, Australia en el cual se usó agua residual cruda para el riego, se encontró un incremento de zinc, cobre, cadmio, cromo, cobalto y plomo en la parte superior (2.5 cm) del suelo. Los incrementos fueron aproximadamente equivalentes a las concentraciones de estos metales en el agua residual aplicada. La aportación de la materia orgánica en el suelo por un largo período de tiempo regando con agua residual cruda protege a las plantas de los efectos tóxicos de los metales pesados también presentes en el agua residual.
- En suelos ácidos se ha encontrado mayor concentración de cadmio, lo que apoya que la concentración de cadmio en el suelo depende del pH de éste.
- Una de las limitantes en el riego agrícola con aguas residuales es la posible contaminación del agua subterránea por virus, los cuales en general presentan largos períodos de sobre vivencia. Este tipo de contaminación depende del tipo de virus y del tipo de suelo.
- Se ha encontrado que los virus se pueden mover rápidamente a través del subsuelo, logrando gran dispersión.
- Los materiales arcillosos adsorben eficientemente virus sobre un rango de pH mientras que los suelos orgánicos y los suelos larenosos son adsorbentes pobres, por lo que la mayoría de los virus en este caso se incorporan a los retornos agrícolas.
- En suelos ácidos y neutros se favorece la adsorción del virus.
- Otro aspecto a considerar es la permeabilidad del suelo, el cual depende de la velocidad de infiltración de las aguas de vertido. La permeabilidad es reducida cuando se sustituye calcio y magnesio por sodio el cual forma agregados organominerales del suelo.
- Los carbonatos y bicarbonatos en suelos calizos afectan la permeabilidad por la competencia que se establece entre el calcio del carbonato y el sodio de las aguas de riego.
- Cuando las sales solubles del suelo como cloruros y sulfatos, se concentran por efecto de alta evaporación y/o drenaje deficientes ocurre el fenómeno de salinidad.
- Se considera salino aquel suelo cuya conductividad es 4 milimhos/cm<sup>2</sup> a 24°C y están libres del problema de sodicidad siendo el pH del suelo inferior a 8.5.
- Se dice que un suelo es sódico cuando el porcentaje de sodio intercambiable es superior al 15% del total de la capacidad de intercambio catiónico. En este caso el pH del suelo es 8.5.
- Cuando se presentan las dos condiciones tanto de salinidad como de sodicidad actuando simultáneamente, se trata de un suelo salino-sódico, en este caso el pH es superior o muy cercano al valor de 8.5.
- La salinidad se puede corregirse con lavados, ya que con estos existe lixiviación que elimina las sales solubles del suelo.
- Las propiedades físicas de algunos suelos alcalinos incluyendo el grado de captación pueden mejorarse al agregar sustancias químicas por medio de las cuales el sodio intercambiable puede sustituirse por calcio. Uno de estos químicos más comunes y baratos es el sulfato de calcio o yeso.
- En donde existe sodicidad, esta se puede corregir agregando yeso (sulfato de calcio) y luego proceder con el lavado, si se invierte el orden, de primero el lavado y después la adición de yeso se puede agravar el problema.

## Aspectos básicos agrícolas

.....

- En las regiones húmedas, el agua de lluvia que se infiltra en el suelo lixivia la mayoría de las substancias acumuladas. En cambio en regiones áridas es necesario el lavado para eliminar periódicamente las sales solubles del suelo.
- Las altas concentraciones de cloruro de sodio o sulfato de sodio son perjudiciales. Si la concentración del sodio es alta, la estructura del suelo sufre trastornos y con el tiempo se dispersan los coloides, trayendo como resultado un suelo duro o de consistencia parecida a la del caucho reduciendo la permeabilidad. Este tipo de selladura puede observarse incluso en suelos arenosos.
- Los suministros eventuales de agua cenagosa (limo) pueden ser benéficos en suelos arenosos gruesos, porque los sedimentos mejoran las condiciones en la zona de la raíz y reducen el grado de percolación del agua.

### 3.2.5. Características de los suelos de las zonas áridas

La descomposición de materia mineral y orgánica es más lenta en ausencia de agua, por consiguiente en el climas muy secos la degradación es lenta y la lixiviación es mínima y algunos minerales altamente solubles, particularmente el carbonato de calcio, sales como el cloruro de sodio y potasio y el sulfato de sodio, así como álcalis se concentran en el suelo. La presencia de sales solubles en grandes cantidades causa coagulación de las partículas de arena. El enriquecimiento del suelo en sales de sodio modifica la estructura del suelo como resultado de la dispersión y los apelmazamientos de las arenas sódicas generalmente lo transforman en impermeable.

El cambio en la estructura del suelo debido a la acción de sales diferentes, tiene una influencia importante sobre el comportamiento del suelo en las condiciones del drenaje. El nivel de salinidad del agua de irrigación y el efecto de lixiviación de sales debe ser considerado en los cambios estructurales que se llevan a cabo en el suelo.

El agua subterránea en regiones áridas está siempre mineralizada en algún grado, las sales solubles se mueven por acción capilar y enriquecen la superficie del suelo con sales grises o blancas dependiendo del clima y la acumulación de sales como cloruros o sulfatos; el carbonato de sodio transforma el suelo en color negro. (Ref. 3.3).

## 3.3. CULTIVOS

### 3.3.1. Efectos de los parámetros contenidos en agua residual en cultivos

En la actualidad se han correlacionado totalmente los daños a cultivos, con las concentraciones de los contaminantes más comunes presentes en agua residual. La revisión indica que existen estudios aislados que han concluido y publicado los daños posibles a determinado cultivo, como la acumulación de metales pesados y por otra parte existen algunos parámetros que por su efecto directo en el rendimiento del cultivo sí han sido ampliamente estudiados como es el caso de la salinidad y el boro.

#### Detergentes

Uno de los problemas que se cuestionan en primer término en el riego con aguas residuales, es el efecto que produce la presencia de detergentes en cultivos, ya que es palpable la alta espumación que se produce en los canales de riego, por ejemplo a concentraciones de 30 ppm que es el caso del agua residual procedente de la ciudad de México.

Se han realizado estudios en los siguientes cultivos: alfalfa, avena, cebada, frijol, jitomate, lechuga y zanahoria, los cuales se han regado con agua de riego con concentraciones de 10, 30, 50 y 70 ppm de ABS (Alquil Bencil Sulfonato, ingrediente activo en detergentes) sin encontrar efecto negativo en las plantas para ningún nivel de ABS probado. Entre los efectos benéficos se observó que el ABS abate la tensión superficial de la solución del suelo ocasionando mayor absorción de agua por las plantas, además en lechuga hubo incrementos de un 30 % en rendimiento debido a las aplicaciones de 70 ppm

de ABS. Por otra parte, se ha observado toxicidad en frijol y lechuga cuando la solución del suelo contenía 40 y 60 ppm de ABS respectivamente, en cambio a concentración de 20 ppm se estimuló el crecimiento (*Ref. 3.5*).

**Salinidad**

Con respecto a la salinidad se ha leído en la bibliografía que el rendimiento de tomate crudo en parcelas salinizadas artificialmente fue reducido en un 10 % por cada aumento de 1.5 milimhos/cm en la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo arriba de 2.0 milimhos/cm y, que la reducción en la absorción del agua como resultado de un incremento en la salinidad del suelo, se relacionó directamente con la reducción en el rendimiento del fruto (*Ref. 3.6*). En el cuadro 3.3.1 se presenta la correlación entre el por ciento de disminución de rendimiento del cultivo y la salinidad expresado como conductividad eléctrica.

Tabla 3.3.1. Tolerancia de los cultivos a la salinidad del extracto de saturación del suelo expresada en CE x 10<sup>3</sup>, para diferentes porcentajes de disminución del rendimiento del cultivo.

CULTIVOS COMUNES	10 % (mmhos/cm)	20 % (mmhos/cm)	50 % (mmhos/cm)
Cebada	12	16	18
Remolacha	10	11	16
Algodón	10	12	16
Centeno	8		10
Cártamo	77	11	14
Trigo	7	10	14
Sorgo	6	9	12
Soya	5	7	9
Arroz	5	6	8
Maíz	5	6	7
Avena	4	8	10
Sesbania	4	6	9
Haba	4	5	7
Lanaza	3	5	7
Frijol	1	2	3
<b>FRUTALES</b>			
Palma datilera	8		
Granada	6		
Higuera	5		
Olivo	4		
Vid	4		
Naranja	3		
Toronjo	2.5		
Limonero	2.5		
Manzano	2.5		
Peral	2.5		
Ciruelo	2.5		
Ciruelo de Damasco	2.5		
Duraznero	2.5		
Albaricoque	3.5		
Almendro	2.5		
Zarzamora	2		
Frambueso	1.5		
Aguacate	2		
Fresa	1.5		

Fuente: SARH. 1983. Comisión del Plan Nacional Hidráulico. México.

## Aspectos básicos agrícolas

### Boro

El boro es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas. Los rendimientos óptimos de algunas plantas son obtenidos con concentraciones de décimos de mg/L. En general, los cultivos sensibles muestran toxicidad a concentraciones de 1 mg/L y los tolerantes de 2 a 4 mg/L. A concentraciones superiores de 4 mg/L el agua de riego generalmente daña a la mayoría de los cultivos (tabla 3.3.2.).

En muchos países se han reportado toxicidades de boro en plantas en las cuales el problema está más asociado con el uso de aguas de irrigación altas en boro (*Ref. 3.6*), que en suelos altos en este elemento, sin embargo los boratos solubles tienden a acumularse a otras sales solubles en suelos de regiones áridas ocasionando un desarrollo anormal de las plantas. En cultivos de alfalfa se reporta que un contenido normal de boro en sus tejidos es del orden de 50 ppm, siendo deficientes cantidades menores de 20 ppm y mayores de 250 ppm causan toxicidad. (*Ref. 3.2*)

Tabla 3.3.2. Tolerancia relativa de las plantas al boro.

TOLERANTES	SEMITOLERANTES	SENSIBLES
Athel ( <i>Tamarix aphylla</i> )	Girasol	Nuez
Espárragos	Papa	Nogal
Pluma ( <i>Phoenix canariensis</i> )	Algodón	Chula o coluta
Remolacha azucarera	Jitomate	Olmo americano
Remolacha forrajera	Chícharo dulce	Ciruelo
Alfalfa	Rábano	Peral
Gладиоla	Chícharos	Manzano
Haba	Olivo	Uva
Cebolla	Cebada	Níspero
Nabo	Trigo	Higo
Col	Maíz	Cereza
Lechuga	Sorgo	Melocotón
Zanahoria	Avena	Albaricoque
	Calabacita	Zarzamora sin espinas
	Pimiento	Naranja
	Camote	Aguacate
	Frijol	Toronja
	Lima	Limonero

Fuente: SARH. 1984. Manual de Calidad de Agua y Suelos en la Agricultura. México.

### Cadmio

En la literatura se menciona que la acumulación del cadmio por las plantas, obteniéndose que la mayor acumulación se presentaba en suelos ácidos (*Ref. 3.6*). Acondicionando el suelo mediante encalado se incrementa el pH de 5.9 a 7.2 obteniéndose que mediante esta práctica se inhibe la absorción de cadmio por las plantas.

A concentraciones de 0.2 ppm de cadmio se obtuvieron reducciones de un 50 % en el rendimiento de frijol, así como en lechuga y maíz con 1 ppm, en tomate y centeno con 5 ppm y en calabaza con 9 ppm, además se comprobó que la concentración en las hojas aumentaba conforme se incrementaba el cadmio en la solución.

El cadmio a una concentración de 0.10 mg/L produce una reducción en el rendimiento de la col, la cebada, frijol, remolacha y nabo en el orden del 20 %. Se ha analizado el cadmio en un gran número de cultivos obteniéndose niveles entre 0.01 y 0.45 ppm. En el reglamento vigente en México los valores máximos permisibles de cadmio es de 0.005 ppm, siendo el mismo que el límite en Estados Unidos. Sin embargo en este último para suelos de textura fina se tiene un máximo de 0.05 ppm.

oo

**Arsénico**

Las concentraciones muy bajas de arsenatos estimulan el crecimiento de las plantas, la presencia excesiva de arsénico soluble en el agua de riego reduce el rendimiento de los cultivos, siendo el principal efecto la destrucción de clorofila en el follaje (Ref. 3.6). Suponiendo que el arsénico es mezclado en una profundidad del suelo de 15 cm y que se encuentra en forma de arsenato, las cantidades que producen toxicidad en plantas sensibles varía de 112 kg/ha para suelos arenosos a 336 kg/ha para suelos arcillosos.

Se ha encontrado que los alimentos procesados de plantas, rara vez contienen más de 1 ppm de As y no se ha demostrado que sea esencial para plantas y animales. Las aplicaciones de arsénico como arseniatos para el combate de plagas incrementa el nivel de arsénico desde 0.02 hasta 0.57 ppm en los cultivos tales como maíz, papa y frijol. Por otra parte se plantea que las cantidades de arsénico absorbidas por las plantas son insignificantes (mucho menores de 0.5 ppm) aún en suelos que se aplica continuamente, pero el riego por aspersión puede elevar los niveles arsenicales arriba de 0.5 ppm. En Estados Unidos el contenido de arsénico de frutas y vegetales es de 1.4 ppm. En México el valor máximo permisible de arsénico es de 5 ppm, en Estados Unidos 1 ppm para uso continuo y para suelo de textura fina 10 ppm (Ref. 3.2).

**Cromo**

El cromo se ha encontrado tóxico a las plantas a concentraciones de 5 mg/L produciendo clorosis. El cromo está presente en cantidades traza en los suelos pero no hay evidencias de que sea esencial o benéfico para la nutrición de las plantas. Se ha publicado el efecto estimulante de los cromatos sobre el crecimiento de los cultivos, así como de sus efectos tóxicos. En tejidos vegetales normales se encontraron de 0.01 a 1.0 ppm y el nivel medio entre 0.1 a 0.5 ppm. En análisis practicados en pastura y paja de avena se ha encontrado menos de 0.1 y 0.2 ppm de cromo, respectivamente. Se ha encontrado que los efectos tóxicos de cromo se asocian con un contenido reducido de nitrógeno en plantas de avena (Ref. 3.6).

**Mercurio**

Se ha reportado que en la India hubo una epidemia por envenenamiento con granos de centeno y trigo contaminados con mercurio, las concentraciones detectadas fueron de 0.2 a 12 ppm. Sin embargo los granos no contaminados usualmente contenían concentraciones menores de 0.02 ppm (Ref. 3.6).

**Aluminio**

Para un gran número de cultivos se ha reportado toxicidad a concentraciones de aluminio de 1 mg/L. En el trigo y el naranjo la concentración que reduce el crecimiento es de 0.1 mg/L. A valores de pH entre 5.5 y 8.0 los suelos tienen gran capacidad para precipitar el aluminio soluble y eliminar su toxicidad. También ésta se puede eliminar con encalados hasta lograr un pH en el suelo mayor de 5.5; a un pH de 4.3, se observó toxicidad que se manifestó en desarrollo anormal de las raíces de algunos cultivos (Ref. 3.2).

**Plomo**

La concentración de plomo en los cultivos se ha asociado principalmente a la cercanía de éstos con la carretera y al arrastre en la atmósfera por la lluvia, que después es llevado por el drenaje en el caso de riego aguas negras.

La fitotoxicidad del plomo es relativamente baja. Se ha encontrado que una concentración de nitrato de plomo de 25 mg/L causó toxicidad a las plantas de tomate y avena. Mientras que el plomo soluble contenido en suelos sea usualmente de 0.05 a 5.0 mg/kg se puede esperar poca toxicidad. Esto demuestra que la presencia del plomo en las plantas es más atribuible a la precipitación del plomo atmosférico por las lluvias que a la absorción de plomo en los suelos. El nitrato de plomo en

## Aspectos básicos agrícolas

concentraciones de 1.5 a 25 mg/L tuvo un efecto estimulante en cultivos de avena y papa, pero en concentraciones de más de 50 mg/L todas las plantas murieron en el lapso de una semana. Se ha encontrado que los metales traza se acumulan en diferentes partes de los cultivos a diferentes proporciones; las frutas tienen un contenido menor de cadmio y plomo que los vegetales frondosos. En el Reglamento vigente de México se establece que el límite máximo permisible de plomo en aguas de uso continuo es de 0.2 mg/L (promedio máximo mensual).

### 3.3.2. Agentes biológicos en los cultivos

Debido a la desecación ya la exposición a la luz del sol, los huevos de helmintos depositados sobre las superficies de las plantas mueren más rápidamente. Se ha encontrado que los cigotos (huevos) de *ascaris* rociados sobre tomate y lechuga son completamente degradados después de un período que va de 27 a 35 días. Debido al crecimiento de los cultivos, a la presencia de la gente en los sitios de irrigación y a la longevidad de los cigotos de helmintos, es aconsejable aplicar un tratamiento primario antes del riego.

Uno de los aspectos importantes en el riego de forrajes con aguas residuales son los riesgos a la salud de animales y potencialmente en el hombre asociado con el pastoreo del ganado sobre forrajes regados con aguas residuales, en las cuales se presenta frecuentemente un incremento de infecciones en la carne debidas a quistes de *Cysticercus bovis*, los cuales infectan al hombre al consumir la carne y se desarrolla al parásito *Taenia saginata*. Esta enfermedad está ampliamente distribuida en los animales y en el hombre, esta es considerada como un serio problema de salud pública en muchas áreas del mundo.

En Werribee, Australia, el agua residual que ha sido tratada por un proceso de sedimentación es aplicada a los pastos. La tierra es regada por uno o dos días, después se deja secar de 5 a 8 días y sólo entonces se permite que el ganado y las ovejas pasten. La carne de estos animales, requiere de una rígida inspección (Ref. 3.2).

Los microorganismos presentes en agua residual y que son depositados en los cultivos mediante el riego muestran tiempos de sobrevivencia que van desde 3 días como es el caso de la *Entamoeba histolytica* hasta 3 meses como el caso de la *Shigella*, ambas producen enfermedades gastrointestinales. Los períodos más comunes se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3.3.3. Tiempo de sobre vivencia de organismos patógenos en cultivos regados con agua residual.

Organismo	Medio	Tiempo de Sobre Vivencia (días)
Cigoto de <i>Ascaris</i>	Sobre vegetales	27 a 35
Coliformes	Sobre vegetales	31
	Sobre pastos	14
	Sobre hoja de clavo	12 a 14
	Sobre tomates	35
<i>Entamoeba histolytica</i>	Sobre vegetales	3
Lumbricoide	Dentro de la hierba casi seca	Arriba de un año
Salmonella	Sobre clavo	12
	Sobre vegetales	7 a 40
	Sobre betabel	3 semanas
	Sobre papas	40
	Sobre zanahorias	10
	Sobre cí y arbustos	5
<i>Shigella</i>	Sobre vegetales	35 a 63
Bacilo tuberculoso	Sobre pastos	10 a 14

Fuente: SARH. 1983. Criterios para el Aprovechamiento de Aguas Residuales en Riego Agrícola. México.

Referencias □□□□

.... Capítulo tres

- 3.1. Sáenz Forero. 1986. Reúso de Aguas Residuales Pretratadas en la Agricultura. Perú.
- 3.2. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1983. Criterios para el Aprovechamiento de Aguas Residuales en Riego Agrícola. México.
- 3.3. Tejeda, González. 1985. Evaluación del Control de la Contaminación por el Reúso Agrícola del Agua Residual. México.
- 3.4. Galván G., Reynoso, A., Moreno A. 1984. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Manual de Calidad de Agua y Suelos en la Agricultura. México.
- 3.5. Gallina A. 1986. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Manual de Aprovechamiento de Aguas Residuales en Riego Agrícola. México.
- 3.6. Gaviria J. 1990. Criterios de Calidad de Aguas Residuales en Riego agrícola. Madrid.

**Lagunas de  
estabilización  
para riego**



**Capítulo cuatro**



## Lagunas de estabilización para riego

En cuanto a los modelos tradicionales de rectores bioquímicos que combinan la cinética en el sentido de introducir el tiempo necesario del proceso con patrones de flujo, esto tiene la gran limitación de que hay que suponer antes de construir la laguna. Por último, los modelos teóricos requieren muchas determinaciones a nivel laboratorio que se aproximan en forma vaga a lo que sucede en la laguna debido al gran tamaño y complejidad ecológica de estas.

La forma de clasificar y, por consiguiente, de diseñar lagunas de estabilización es muy variable y diferente. La mayoría de los países han establecido criterios de diseño con base en cargas orgánicas superficiales, cargas orgánicas volumétricas y/o tiempos de retención, con el objeto principal de asegurar un efluente de calidad tal que satisfaga las normas y requerimientos de descarga de un efluente secundario. Sin embargo, es muy común encontrar que dichos criterios de diseño no aseguran efluentes de calidad secundaria permanente debido al efecto de la pérdida de sólidos suspendidos a la salida de la laguna. Un resumen de los diferentes criterios de diseño y de las innumerables calidades obtenidas de DBO, sólidos suspendidos y coliformes fecales, en efluentes de lagunas de estabilización, indicaría que en condiciones promedio los modelos de diseño permiten cuantificar las estructuras requeridas para las remociones exigidas comúnmente de DBO y coliformes fecales. Sin embargo, la variabilidad de calidad de efluentes, en lo referente a sólidos suspendidos, muestra la necesidad de continuar con la investigación de causas y métodos que conduzcan a procesos de diseño, operación y mantenimiento que produzcan consistentemente efluentes con contenido mínimo de sólidos suspendidos.

Teniendo en cuenta la existencia de tan gran cantidad de criterios o modelos de diseño es, prácticamente, imposible seleccionar un único o mejor modelo para predecir las características obtenibles en un efluente de lagunas de estabilización. (Ref 4.1)

A continuación se presenta los tres tipos de lagunas básicas.

Tabla 4.1.1 Características de las lagunas de estabilización

Tipo	Afluente	Carga Orgánica	Tiempo de retención	Dimensión	Observaciones
Aerobia	Tratado en otros procesos previos	85 - 170 kg DBO/ha.d	10 - 40 d	Profundidad de 30 a 45 cm.	Producen efluente con DBO soluble procesos baja y SS algales altos. Maximiza producción de algas y remoción de nutrientes al cosechar las algas
Facultativa	Agua residual cruda Efluente primario o tratado Previa-mente	22 - 67 kg DBO/ha.d	5 - 30 d	Profundidad 1.2 a 2.5 m Área de 4-60 ha.	Las más usadas. Para cargas mínimas puede ser predominantemente proceso aerobio.
Anaerobia	Residuos Industrial o municipal	100 - 300 DBO/ha.d	1 - 5 d	Profundidad de 2.5 a 5 m	Generalmente hay olores y el efluente requiere tratamiento adicional.

Fuente: Romero, Jairo. 1999. Tratamiento de Aguas Residuales por Lagunas de Estabilización.

### Modelo de mezcla completa y cinética de primer orden

En el modelo de mezcla completa se supone que las partículas del fluido afluente son dispersadas instantáneamente a través de todo el volumen del reactor y que no existen gradientes de concentración dentro del sistema; por lo tanto, la concentración del efluente del reactor es la misma concentración de cualquier punto en el reactor.

$$\theta = 1/K (C_0/C - 1) \quad (A)$$

Donde: Q = caudal, m<sup>3</sup>/d  
C<sub>0</sub> = concentración de DBO en el afluente, mg/L

- C = concentración de DBO en el efluente, mg/L
- K = constante de reacción de primer orden para remoción de DBO, d<sup>-1</sup>
- V = volumen del reactor, m<sup>3</sup>
- θ = tiempo de retención en el reactor, d

**Modelo de flujo arbitrario**

En 1958 Wehner y Wilhelm desarrollaron una ecuación para reactor en flujo no ideal (flujo con dispersión entre flujo pistón y flujo en mezcla completa), dispersión axial, tasa de remoción de sus trato de primer orden y condiciones arbitrarias de entrada y salida:

$$C / Co = \frac{4ae^{(1/2d)}}{(1+a)^2 e^{(a/2d)} - (1-a)^2 e^{(a/2d)}} \tag{B}$$

- Donde:
- C = concentración del efluente
  - Co = concentración del afluente
  - a = raíz (1 + 4Kθd) = constante de reacción de primer orden, d<sup>-1</sup>
  - θ = tiempo de retención, d
  - d = número de dispersión del flujo, adimensional. Generalmente entre 0.2 y 4.0; típicamente menor de 1.0 para lagunas de estabilización

**Modelo de flujo pistón**

En el modelo de flujo en pistón, con cinética de remoción de primer orden se tiene:

$$C = Co e^{-Kθ} \tag{C}$$

- Donde:
- C = concentración del efluente
  - Co = concentración del afluente
  - e = base de los logaritmos naturales, 2.7183
  - K = constante de reacción de primer orden, flujo pistón, d<sup>-1</sup>
  - θ = tiempo de retención hidráulico, d

**Modelos de carga superficial**

Las lagunas de estabilización facultativas se han diseñado con base en cargas orgánicas superficiales que la experiencia ha demostrado son aceptables para este tipo de estanques. Se parte de la premisa de que mientras no se sobresature de materia orgánica la laguna en una área reducida, esta trabajará bien, obviamente, dichas cargas de trabajo son muy variables dependiendo del área geográfica, de la temperatura, de la profundidad del agua, de la concentración de sólidos sedimentables y demás características de influencia sobre el proceso. Este modelo será explicado con el desde en mayor detalle posteriormente bajo el criterio de Yáñez.

Tabla 4.1.2 Cargas orgánicas superficiales para diseño de lagunas facultativas

COS. hg DBO/ha.d	Observaciones
< 10	Zonas muy frías con cobertura de hielo estacional, aguas con temperatura uniforme baja y nubosidad variable.
10- 50	Clima frío con cobertura de hielo estacional y temperatura templada de verano en una estación corta.
50- 150	Clima entre templado y semitropical, cobertura ocasional de hielo, sin nubosidad persistente.
150 -300	Clima tropical, sol y temperatura uniformes, sin nubosidad estacional.

Fuente: Gloyna, 1976 Estanques de Estabilización de Aguas Residuales, OMS

## Lagunas de estabilización para riego

### Modelos de Carga Orgánica Volumétrica

Es utilizado este criterio para el diseño de lagunas anaerobias y los rangos de remoción varía dependiendo del autor, lo que se observa en general es que a temperaturas menores de 10° C, la descomposición biológica es insignificante, pero que al actuar como grandes sedimentadores logran una disminución alta de DBO sedimentable y que temperaturas elevadas conducen a una tasa alta de digestión anaerobia; la remoción de DBO se puede suponer como se indica en la siguiente tabla 4.1.3

Tabla 4.1.3 Remoción de DBO en lagunas anaerobias.

Temperatura, °C	Eficiencia de Remoción de DBO%
< 10	40
11 - 20	50
21 - 25	60
> 25	70

Fuente: Jairo. Tratamiento de Aguas Residuales por Lagunas de Estabilización.

### Autores

Cada autor se ayuda de modelos de flujos ya establecidos y por medio de experimentaciones, encuentran diferentes ecuaciones, por esto existe una amplia gama de factores y recomendaciones que cambian significativamente de autor a autor, a continuación se muestra en la tabla 4.1.3 un resumen de que modelos utilizan algunos autores.

Tabla 4.1.4 Resumen de algunos autores por métodos utilizado y áreas de investigación

Tipo de lagunas	Carga Superficial	Carga Volumétrica	Modelo en Equilibrio y Mezcla Completa	Correlaciones Empíricas	Modelo Flujo Disperso
Anaerobias	Yañez McGarry & Pescod	Mara y Pearson	-	Vincent	-
Facultativas	Yañez Mara Gloyna	-	Hermann Gloyna Marais	McGarry & Pescod Yáñez	Thirimurthy
Maduración	-	-	Marais	-	Saenz Fisher Lui Yañez Polprasert & Bhattarai

Fuente: Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento, IMTA, 1994

### 4.1.4 Sistemas Combinados

Se pueden establecer sistemas lagunares múltiples e integrados, así se forma un tratamiento más económico y seguro que los sistemas convencionales y se diseñan de la misma forma que los individuales.

Los sistemas en serie se aceptan cuando se tiene disponibilidad de terreno y cuando, a partir de un balance económico, se obtiene un volumen mínimo total.

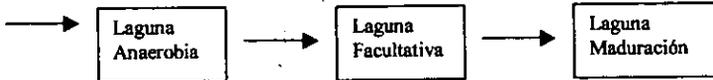
Para agua residual de origen doméstico o equivalente los sistemas más adecuados son:

- Facultativa + aerobia
- Facultativa + facultativa + aerobia.
- Anaerobia + facultativa + aerobia.
- Anaerobia + facultativa + maduración.
- Facultativa + facultativa + maduración.

El establecimiento de líneas en paralelo es interesante en el caso de que exista fuerte estacionalidad y es útil en las lagunas para evitar problemas de funcionamiento, facilitar el secado y la limpieza de lodos.

El arreglo que se propone es Anaerobia + facultativa + pulimento, ya que es el tratamiento que más remueve coliformes fecales y huevos de helminto y es el que evita que los sedimentos pasen a las lagunas y las ensucien, ya que estos permanecen en la anaerobia. (Ref 4.2)

#### Línea de remoción de patógenos



#### 4.1.5 Utilización del método de Yáñez para diseño de lagunas de estabilización

El método de Yáñez, ya que es un modelo semi-empírico ya que toma datos obtenidos por experiencias y a su vez retoma algunos modelos teóricos. Se propone este modelo con algunas adecuaciones hechas por la CNA para las condiciones de México.

- Fue aprobado por la Comisión Nacional del Agua y recomendado en su manual de diseño.
- Su enfoque está dirigido a la remoción de coliformes (patógenos) a diferencia de otros que se enfocan principalmente a la remoción de materia orgánica, ayudando de esta manera al rendimiento de los cultivos.
- Remueve en su totalidad los huevos de helminto.

### 4.2 FACTORES DE INFLUENCIA

Una laguna de estabilización contiene principalmente algas y bacterias en suspensión. El oxígeno liberado por las algas, a través del metabolismo fotosintético, es usado por las bacterias en la descomposición aerobia de la materia orgánica. A la vez, los nutrientes y el dióxido de carbono producidos por la actividad bacteriana son usados por las algas. Otros organismos, como los rotíferos y los protozoarios, tienen como función depurar el efluente.

La combinación de la actividad bacteriana, aerobia y anaerobia, da origen al tipo de lagunas más comunes en el tratamiento de aguas residuales conocidas como lagunas de estabilización facultativas.

En lagunas aerobias deben predominar condiciones aerobias en toda la profundidad de la laguna; en lagunas facultativas la capa superior debe ser, predominantemente aerobia y actuar como barrera contra el agua anaerobia con contenido de  $H_2S$ ; en lagunas anaerobias dominan condiciones anaerobias en toda la laguna.

Los estudios realizados sobre tratamiento de aguas residuales, por lagunas de estabilización, han considerado como factores de influencia importante sobre el proceso, entre otros, los siguientes:

- Fotosíntesis
- Oxígeno Disuelto
- pH
- Radiación Solar
- Profundidad
- Temperatura
- Nutrientes
- Tiempo de retención
- Sedimentación de lodos

## Lagunas de estabilización para riego

- Infiltración y Evaporación
- Vientos
- Geometría de la laguna
- Sulfuros
- DBO y Sólidos Suspendedos

Para consultar la descripción de cada uno de estos conceptos ver el anexo III.

### 4.3 PRINCIPIOS DE DISEÑO

La selección de lagunas de estabilización como sistema de tratamiento de aguas residuales municipales o industriales se hace con base en los siguientes principios de diseño:

- El dinero disponible para tratamiento de aguas residual es escaso, por lo tanto las obras de control de contaminación deben satisfacer los requerimientos de tratamiento a un costo de operación y mantenimiento mínimo.
- Las lagunas de estabilización constituyen el proceso de tratamiento biológico más confiable por su resistencia máxima a cargas choque de materiales orgánicos y tóxicos, por su sensibilidad mínima a la operación intermitente y porque requieren una destreza operativa ínfima.
- Lagunas en serie permiten diseños más eficientes y por lo tanto más económicos.
- Las lagunas primarias tienen como propósito básico la remoción de DBO, coliformes fecales y sólidos suspendidos.
- Las lagunas secundarias tienen como función primordial la remoción de DBO y coliformes fecales.
- Las lagunas terciarias y posteriores proveen, esencialmente, remoción natural adicional de coliformes fecales.

#### 4.3.1 Conceptos básicos

Para realizar en forma apropiada el diseño de una laguna se deben tomar en cuenta los siguientes conceptos que son utilizados por varios autores

**Tiempo de retención ( $\theta$ ).** Es el tiempo que teóricamente pasa el agua dentro del sistema de tratamiento biológico y que se utiliza en el diseño.

$$\theta = V / Q \quad (4.1)$$

Donde:  $V$  = Volumen total del líquido contenido dentro de la laguna,  $m^3$   
 $Q$  = Gasto,  $m^3 / d$

**Volumen efectivo ( $V_e$ ).** Es el volumen donde se realiza efectivamente el tratamiento biológico y es menor que  $V$  debido que se toman en consideración cortos circuitos y zonas muertas en la laguna. De la utilización de este volumen, se deriva el concepto de tiempo real de retención hidráulica.

$$t_r = V_e / Q < \theta \quad (4.2)$$

Donde:  $t_r$  = Tiempo promedio real de retención hidráulica, obtenida a partir de un estudio de trazado,  $d$   
 $V_e$  = Volumen efectivo de la laguna,  $m^3$

**Carga Orgánica ( $C_{co}$ ).** Es la masa de sustrato (materia orgánica medida como  $DBO_5$ ) que se aplica diariamente a la laguna y que será estabilizada. Su valor se expresa en  $kg$  de  $DBO_5$  por unidad de tiempo, se obtiene mediante

$$C_{co} = S_i / Q \quad (4.3)$$



Donde:  $S_i$  = Se refiere a la DBO<sub>5</sub>, mg/L o su equivalente en kg./ m<sup>3</sup>  
 $Q$  = Gasto, m<sup>3</sup> / d

**Carga Orgánica Superficial (Cs).** Es la masa diaria de sustrato aplicado a la laguna por unidad de área superficial. Se expresa en kg. DBO / m<sup>2</sup>.d

$$C_s = S_i Q / A \quad (4.4)$$

Donde:  $A$  = Es el área superficial de la laguna, m<sup>2</sup>  
 $Q$  = Gasto, m<sup>3</sup> / d  
 $S_i$  = Se refiere a la DBO<sub>5</sub>, mg/L o su equivalente en kg./ m<sup>3</sup>

**Carga Orgánica Volumétrica (Cv).** Es la masa diaria de sustrato aplicado a la laguna por unidad de volumen y tiempo. Se expresa en kg. DBO o DQO / m<sup>3</sup>.d

$$C_v = S_i Q / V \quad (4.5)$$

Donde:  $A$  = Es el área superficial de la laguna, m<sup>2</sup>  
 $Q$  = Gasto, m<sup>3</sup> / d  
 $S_i$  = Se refiere a la DBO<sub>5</sub>, mg/L o su equivalente en kg./ m<sup>3</sup>  
 $V$  = Volumen total del líquido contenido dentro de la laguna, m<sup>3</sup>

**Relación largo/ancho (X).** Es utilizada para la relación de una superficie de una laguna. Se expresa en forma adimensional

$$\begin{aligned} X &= L / W \\ W &= (A / X)^{1/2} \\ L &= W / X \end{aligned} \quad (4.6)$$

Donde:  $X$  = Relación largo ancho.  
 $W$  = Ancho de la laguna, m.  
 $L$  = Largo de la laguna, m.  
 $A$  = Área, m<sup>2</sup>.

**Volumen (V).** Se calcula con la siguiente ecuación. Se expresa en m<sup>3</sup>.

$$V = A h \quad (4.7)$$

Donde:  $V$  = Volumen, m<sup>3</sup>.  
 $A$  = Área, m<sup>2</sup>.  
 $h$  = Altura, m.

## Lagunas de estabilización para riego

### 4.4 CRITERIOS DE DISEÑO

A continuación se presentan la metodología para el diseño de lagunas de estabilización por el criterio de Yáñez.

#### 4.4.1 Lagunas anaerobias

Las lagunas anaerobias son lagunas con cargas orgánicas tan altas que no poseen zona aerobia, excepto, posiblemente, en su superficie. Típicamente son usadas como lagunas primarias para aguas residuales domésticas y municipales así como para tratamiento de aguas residuales industriales con DBO > 1000 mg/L.

- Para el diseño de este tipo de lagunas se recomienda lo siguiente:
  - ✓ Tiempo de retención de 1 a 5 días.
  - ✓ Carga orgánica superficial  $\leq$  a 3000 kg DBO / ha.d.
  - ✓ Profundidad de 2 a 5 m.
  - ✓ Mezclado natural

Básicamente, se diseñan con criterios de carga orgánica volumétrica y/o tiempo de retención. La acumulación de lodo primario se supone es de aproximadamente 0.04 m<sup>3</sup>/año. Teniendo en cuenta los riesgos de olores se prefieren localizarlas lejos de núcleos habitacionales importantes, a una distancia mayor de 200 m.

- Para calcular la carga permisible, primero se aplica la ecuación de Mara y Pearson tabla 4.4.1

**Carga Orgánica Volumétrica (Cv).** Se incrementa con la temperatura pero existen pocos datos que permiten el desarrollo de una adecuada ecuación de diseño, la tabla 4.1.1 se recomienda para propósitos de diseño en México.

Tabla 4.4.1 Valores de diseño para cargas volumétricas permisibles en función de la temperatura

Temperatura °C	Carga Volumétrica g/m <sup>3</sup> d	Remoción de DBO %
< 10	100	40
10 - 20	20T - 100	2T + 20
> 20	300	60*

T :Temperatura del aire del mes más frío

\* :Valores más altos pueden utilizarse si la experiencia local indica que es apropiado

Fuente: Recomendaciones generales de Mara y Pearson (1986 en CNA e IMTA, 1994).

- Con la carga orgánica volumétrica seleccionada, se puede obtener el volumen de mediante la ecuación 4.5.
- El tiempo de residencia hidráulica esta dada en la ecuación 4.1.
- Se propone una cierta profundidad en base a la tabla 4.1.1 generalmente varía de 2 a 4 metros
- Y además se considera un volumen adicional por la acumulación de lodos generados por población proyectada para 20 años de vida útil. Se puede utilizar como aproximado 40 L/hab/día.
- A continuación se propone una relación largo ancho (X) este es generalmente se utiliza L/W =3 luego se calculan valores ancho y largo ecuación 4.6.
- La remoción de DBO se encuentra dada por la tabla 4.1.1.
- Generalmente se considera despreciable la remoción de coliformes fecales en lagunas anaerobias.

4.4.2 Lagunas facultativas

Las lagunas facultativas son las más utilizadas en el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. También se les denomina lagunas de oxidación de agua residual doméstica o laguna fotosintética, se recomienda que se diseñe bajo la base de carga superficial.

- Para el diseño de este tipo de lagunas se recomienda lo siguiente:
  - ✓ Tiempo de retención de 5 a 30 días.
  - ✓ Carga orgánica superficial  $\leq$  a 350 kg DBO / ha.d.
  - ✓ Profundidad de 1.50 a 2 m.
  - ✓ Tamaño de la laguna 0.8 a 4 ha por celda.
  - ✓ Mezclado natural
  - ✓ Bordo libre de 0.5 a 0.8 m
- Se comienza el diseño obteniendo la Carga Orgánica Superficial, para una laguna facultativa, este es el principal criterio de diseño, este valor, debe de ser determinado atendiendo a las condiciones climáticas que afectan a la laguna tales como temperatura, radiación solar, velocidad del viento, etc.

*Carga orgánica superficial (Cs)* en México se propuso la siguiente ecuación (CNA, Manual de Diseño de Lagunas de Estabilización)

$$Cs = 250(1.085)^{T-20} \tag{4.8}$$

Donde: Cs = Carga superficial Kg DBO / ha.d  
T = Temperatura promedio del mes más frío, °C

- Después se obtiene la carga superficial removida con el método de Yáñez como se indica a continuación como se indica a continuación.

*Carga superficial de DBO removida (Csr)*. El uso de este tipo de ecuaciones con correlaciones permite estimar la calidad del efluente de las lagunas primarias en función de la carga orgánica, parámetro que ha sido empleado y considerado como un factor importante de diseño.

Se calcula con la siguiente fórmula:

$$Csr = B Cs + A \tag{4.9}$$

Donde: A, B = Se obtienen de la tabla 4.4.2 de coeficientes de correlaciones de cargas de DBO de Yáñez, cuando es una laguna primaria se utiliza la correlación de 4 primarias primera fase  
C<sub>sr</sub> = Carga superficial de DBO removida, kg / ha.d  
C<sub>s</sub> = Carga orgánica superficial. Kg DBO / m<sup>2</sup>.d

Tabla 4.4.2 Coeficientes de correlaciones de carga de DBO.

Tipo de lagunas	Coeficientes		Correlación %	Intervalo kg/ha.d
	A	B		
4 primarias <sup>a</sup>	7.67	0.806	99.6	200 – 1158
1 primaria <sup>b</sup>	-23.46	0.998	98.9	113 – 364
5 primarias <sup>c</sup>	20.51	0.777	99.0	113 – 1158
4 primarias <sup>c</sup>	1.46	0.801	97.9	467 – 1158

## Lagunas de estabilización para riego

3 primarias <sup>c</sup>	0.75	0.906	85.7	251 - 335
4 primarias + 1 secundaria <sup>b</sup>	-7.81	0.819	99.8	42 - 1158
1 secundaria <sup>a</sup>	-0.80	0.765	98.6	42 - 248
1 secundaria <sup>b</sup>	-7.14	0.923	94.7	31 - 114
1 terciaria <sup>b</sup>	-7.16	0.941	97.0	18 - 90
Primaria + secundaria + terciaria <sup>b</sup>	-8.53	0.942	99.6	18 - 466

<sup>a</sup> Primera fase, <sup>b</sup> Segunda fase, <sup>c</sup> Primera y segunda fase

Fuente: Yáñez. 1993.

- Para obtener el área que comprenderá esta laguna facultativa se debe tomar en cuenta el sustrato de entrada, el gasto y la carga superficial, utilizando la fórmula 4.4 quedando la fórmula de la siguiente manera:

$$A = \frac{S_i Q}{C_s}$$

- A partir de lo datos de la ecuación anterior se puede obtener el volumen mediante la ecuación 4.7
- Proponiendo una relación ancho largo (X) esta generalmente se encuentra entre 3 y 8 se calcula la longitud, el ancho y el largo, ver la ecuación 4.6, y después de esto se calcula el tiempo de retención. (Ref 4.1)

**Tiempo de retención ( $\theta$ ).** Se calcula a partir de la tasa de evaporación neta (e), y se expresa en días:

$$\theta = \frac{2 A h}{2 Q - 0.001 A e} \quad (4.10)$$

Donde:  
 e = Tasa de evaporación neta, mm/d.  
 A = Área, ha.  
 Q = Gasto, m<sup>3</sup>/d.  
 $\theta$  = Tiempo de retención, d.

- Con el tiempo de retención y la forma de la laguna, obtendremos la remoción de coliformes fecales, modelándolo como flujo arbitrario.

**Remoción de coliformes fecales.** El método de Yáñez basándose en la fórmula de Chick, propone las siguientes constantes. El coeficiente de remoción de coliformes fecales ( $K_{CF}$ ) se calcula con la siguiente ecuación:

$$K_{CF} = 0.841 (1.07)^{T-20} \quad (4.11)$$

Donde:  $K_{CF}$  = Coeficiente de remoción de coliformes fecales, d<sup>-1</sup>.  
 T = Temperatura, °C.

**Dispersión (d),** a concentración de coliformes fecales a la salida de la laguna facultativa esta dada por la ecuación de Thirumurthi empleado con la relación largo ancho de la laguna:

$$d = \frac{X}{-0.26118 + 0.25392X + 1.01360X^2} \quad (4.12)$$



Donde: X = Relación largo / ancho, m.

d = Factor de dispersión, adimensional.

- De la ecuación de Wehner y Wilhelm (B) se puede calcular el efluente de coliformes fecales a la salida.

Coliformes fecales del efluente (CFe). Una vez calculados los valores de la ecuación anterior se sustituyen en la siguiente fórmula para obtener el factor "a" y con este a su vez conocer CFe.

$$a = (1 + 4K_{CF} \theta d)^{1/2}$$

$$\frac{CF_e}{CF_i} = \frac{(4 a) e^{(1/2d)}}{(1 + a)^2 e^{(a/2d)} - (1 - a)^2 e^{(-a/2d)}} \quad (4.13)$$

Donde: a = factor adimensional.  
 θ = Tiempo de retención, días.  
 K<sub>CF</sub> = Coeficiente de remoción de coliformes fecales, d<sup>-1</sup>.  
 CFe = Coliformes fecales de entrada, NMP/100 mL.  
 CFi = Coliformes fecales de salida, NMP/100 mL.  
 d = Factor de dispersión, adimensional.

- Finalmente se evalúa la DBO del efluente, de la ecuaciones siguientes.

**Carga superficial Soluble (C<sub>ss</sub>)** . Esta dada por la siguiente ecuación

$$C_{ss} = 1000 \frac{(C_s - C_{sr}) A}{Q} \quad (4.14)$$

Donde: C<sub>ss</sub> = Carga orgánica superficial soluble, mg DBO / L.  
 C<sub>s</sub> = Carga superficial kg DBO / ha.d.  
 A = Área, ha.  
 Q = Gasto, L.

**Carga Orgánica superficial remanente (S<sub>Te</sub>)**.

$$S_{Te} = 2 C_{ss}$$

Donde: S<sub>Te</sub> = Sustrato de salida, mg DBO<sub>5</sub> / L (4.15)

#### 4.4.3 Lagunas de pulimento

La desinfección de las aguas residuales es uno de los objetivos de los sistemas de tratamiento e incluye la destrucción de patógenos, virus, parásitos y demás organismos perjudiciales. Las lagunas de estabilización en serie proveen un remedio de remoción natural de organismos coliformes fecales para satisfacer así el propósito de desinfectar las aguas residuales.

## Lagunas de estabilización para riego

Una persona promedio descarga  $10^{11}$  a  $4 \times 10^{11}$  organismos coliformes por día en 45 g de excrementos secos. La relación de coliformes totales a coliformes fecales en aguas residuales domésticas es de 2/1 a 4/1 y la relación de coliformes fecales a estreptococos fecales es de 4/1 a 8/1. Se han encontrado relaciones de coliformes a virus entéricos de 92000/1. (Ref 4.3)

- Para el diseño de este tipo de lagunas se recomienda lo siguiente:
  - ✓ Tiempo de retención de 5 a 20 días.
  - ✓ Carga orgánica superficial  $\leq$  a 170 kg DBO / ha.d.
  - ✓ Profundidad de 0.9 a 1.50 m.
  - ✓ Tamaño de la laguna 0.8 a 4 ha por celda.
  - ✓ Mezclado natural.
- Para calcular una laguna de pulimento se calcula el área dependiendo del tiempo de retención y la altura propuesta. De la ecuación 4.7 se sustituye el volumen en la ecuación 4.1 y se despeja el área.
- Se propone una relación largo/ancho para obtener las dimensiones (fórmula 4.6), con esta y tomando como base el ancho de la laguna anterior se forma un muro común se saca el largo.
- Se revisa la carga orgánica superficial de la laguna de pulimento para evitar una sobrecarga con la ecuación 4.4, pero esta vez con el área de la laguna de pulimento y con el sustrato de salida de la laguna anterior.
- Se sigue el mismo procedimiento empleado en el cálculo de remoción de coliformes fecales en la laguna facultativa.

### Condiciones del efluente

- De la ecuación de lagunas facultativas 4.9 y modificando los valores de A y B de la tabla 4.4.1 para una laguna secundaria en primera fase se obtendrá el valor de carga superficial removida.
- Para calcular la carga remanente soluble  $C_{ss}$  se utiliza la ecuación 4.13 pero ahora con el área de la laguna de pulimento y para calcular la carga remanente total se calcula con la siguiente ecuación:

### Carga Orgánica superficial remanente ( $S_{Te}$ ).

$$S_{Te} = 2.3 C_{ss} \quad (4.17)$$

Donde:  $S_{Te}$  = Sustrato de salida, mg DBO<sub>5</sub> / L  
 $C_{ss}$  = Carga orgánica superficial soluble, mg DBO / L.

- Se calcula la SST con la ecuación 4.16 y la remoción de huevos de helminto para cada laguna.

### Remoción de huevos de helminto ( $R_{HH}$ ).

La siguiente ecuación se aplica de tal manera que el número de huevos de helminto del efluente final pueda ser calculado. El cálculo se hace para cada laguna, y se basa en la ecuación de Yáñez que tiene un límite de confianza del 95 %:

$$R_{HH} = 100 ( 1 - 0.4^{(-0.38 \theta + 0.0085 \theta^2)} ) \quad (4.18)$$

Donde:  $R_{HH}$  = Porcentaje de Remoción de huevos de helminto.  
 $\theta$  = Tiempo de retención, días.



**4.5 TANQUE DE ALMACENAMIENTO**

Este tanque servirá para regar los predios adyacentes, regulando los tiempos de regado y los tiempos entre cosecha y cosecha.

Se propone el método de Blaney Criddle para el calculo de las extracciones del tanque de almacenamiento:

**4.5.1 Método de Blaney-Criddle**

Este método toma en cuenta, además de la temperatura y las horas de sol diarias, el tipo de cultivo, la duración de su ciclo vegetativo, la temporada de siembra y la zona.

El ciclo vegetativo de un cultivo es el tiempo que transcurre entre la siembra y la cosecha y por supuesto, varía de cultivo a cultivo. (Ref. 4.4)

Si se desea estimar la evapotranspiración durante un ciclo vegetativo completo se puede emplear la formula :

$$Et = Kg F \tag{4.19}$$

Donde: Et = evapotranspiración durante el ciclo vegetativo, cm  
 F = factor de temperatura y luminosidad  
 Kg = Coeficiente global de desarrollo (varia entre 0.5 y 1.2) para mayor información (Ref 4.4)

El factor de luminosidad se calcula como:

$$F = \sum_{i=1}^n f_i \tag{4.20}$$

$$f_i = P_i (T_i + 17.8) / 21.8 \tag{4.21}$$

Donde: n = numero de meses que dura el ciclo vegetativo  
 fi = porcentaje de horas del mes i con respecto al año (Ref. 4.4)  
 Ti = temperatura media del mes i en ° C

Cuando la zona en cuestión es árida, los valores de fi , se multiplican por un factor de corrección K<sub>fi</sub> que se calcula como sigue:

$$K_{fi} = 0.03114t_i + 0.2396 \tag{4.22}$$

Para determinar los valores de la evapotranspiración en periodos más coros que un ciclo vegetativo, por ejemplo de un mes se usa:

## Lagunas de estabilización para riego

---

$$E_{ti} = K_{ci} f_i \quad (4.23)$$

### Extracciones de un almacenamiento para riego

Los valores de la evapotranspiración se calculan para plantas con desarrollo normal. El volumen  $D_i$  que es necesario extraer del almacenamiento durante el periodo  $i$  será entonces:

$$D_i = E_{ti} A_r - h_{pi} A_r + h_{evi} A_{co} + W_i \quad (5.24)$$

Donde:

$A_r$  = área de riego

$h_{pi}$  = altura de precipitación media en zonas de riego en el periodo  $i$

$A_{co}$  = área superficial de las conducciones (canales, etc)

$W_i$  = volumen de desperdicio

$h_{evi}$  = altura de evaporación media en la zona de riego en el periodo



## **Referencias** □□□□

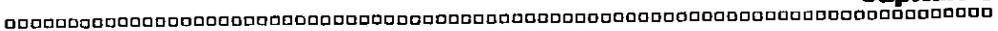
### **....Capítulo** cuatro

- 4.1 CNA. 1996. Diseño de lagunas de Estabilización.
- 4.2 IMTA & CNA. 1994. Manual de Diseño de Agua Potable y Alcantarillado. Libro II
- 4.3 Romero Rojas Jairo, 1999, Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización. Alfaomega 3era edición.
- 4.4 Aparicio Mijares Fco. 1997. Fundamentos de Hidrología. Limusa

# **Construcción y costos**

---

## **Capítulo cinco**



## 5.1 RECOMENDACIONES DE CONSTRUCCIÓN

### 5.1.1 Selección del sitio

Lo más importante en la construcción es la selección del sitio de ubicación de la planta . Las lagunas anaerobias, facultativas y de maduración, deben colocarse al menos 1000, 500 y 100 m respectivamente , viento debajo de la comunidad que ellas sirven y estar alejadas de algún área de expansión poblacional.

Se debe escoger un terreno preferentemente al final del sistema de drenaje , donde ya no haya más aportaciones del caudal, ahorrando así el bombeo del agua que queda por abajo del nivel de la laguna, debe considerarse que las lagunas se encuentren alejadas de los aeropuerto ya que las aves son atraídas por estas se recomienda una distancia mínima de 2 kilómetros.

El sitio deberá de ser llano o de pendiente suave para minimizar el movimiento de tierras, es indispensable hacer un estudio de mecánica de suelos para estimar compresibilidad, permeabilidad, capacidad de carga , esto permitirá una mejor selección en la adquisición (Ref. 5.1).

### 5.1.2 Construcción de Lagunas

#### Diseño de Bordos

Los bordos suelen diseñarse recurriendo a la técnicas usuales para la construcción de pequeñas presas, destacando los siguientes aspectos.

#### *Tipo de material constitutivo del bordo*

El bordo puede construirse con muy diversos materiales térreos. Si la laguna va ser impermeabilizada con revestimiento continuo, el material puede ser incluso permeable. Generalmente, la sección transversal del bordo es de tipo homogéneo modificado con filtro horizontal o vertical. Para bordos sin revestimiento deben seleccionarse los materiales tomando en cuenta su clasificación dentro del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos y su correspondiente susceptibilidad a la erosión, el agrietamiento, etc.

#### *Ancho de Corona*

Este debe de tener una ancho mayor que el requerido para que el equipo de compactación pueda trabajar en buenas condiciones (generalmente más de 3 m)

#### *Bordo libre*

Se consideran generalmente los efectos por:

- a) Sobre elevación del agua causada por el viento al actuar sobre el área de almacenamiento

Para lagunas grandes el bordo libre puede ser calculado de la ecuación siguiente (Oswald, 1975):

$$F = (\log A)^{0.5} - 1 \quad (5.1)$$

Donde: F = Bordo libre, m.  
A = área de la laguna al nivel del espejo de agua, m<sup>2</sup>

La altura puede ser calculada por otra forma mediante la ecuación de Henny modificada (Fred 1938)

$$h_{ol} = ( 0.005v - 0.068 ) ( Fe / 1000 )^{0.5} \quad (5.2)$$

Donde. h<sub>ol</sub> = altura del oleaje, m  
V = velocidad máxima del viento km/h

## Construcción y costos

$Fe$  = Fetch (longitud de mayor distancia en línea recta sobre el nivel del agua), m

La altura de la obra muerta es la altura que se construye como factor de seguridad para evitar el derrame de la presa. Se recomienda los siguientes valores, en función del Fetch:

Tabla 5.1.1 Bordo libre propuesta para diferentes Fetch

Fetch del recipiente (m)	$h_{ol}$ (m)
$0 < Fe < 200$	0.3
$200 < Fe < 400$	0.5
$400 < Fe < 800$	0.6

Fuente CNA. 1996. Diseño de Lagunas de Estabilización. México.

b) Altura de rodamiento de las olas sobre el talud arriba del nivel de agua de referencia.

Esta altura es del orden de la ola máxima (cresta a valle) para bordos con protección pétreo y taludes de 2 a 3 horizontal por 1 de vertical, puede alcanzar el doble para superficies lisas, en particular en elementos sintéticos.

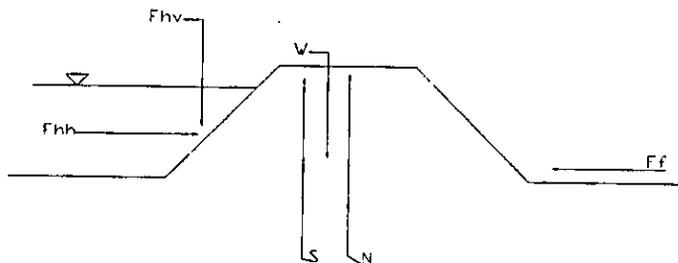
c) Asentamiento de corona

El asentamiento de corona depende del tipo de material de cimentación y del empleado para la construcción del bordo, puede estimarse por técnicas usuales de mecánica de suelos.

### Estabilidad de taludes

La estabilidad de taludes de los bordos perimetrales no plantea generalmente problemas serios puesto que los terraplenes son de poca altura. Además la pendiente de los terraplenes queda frecuentemente definida por el tipo de cimentación o revestimiento que recubren, más que por la estabilidad del bordo. Es conveniente revisar la seguridad en la estabilidad de taludes sobre todo en la condición que se vacíe rápidamente.

Figura 5.1.1 Fuerzas que actúan en un bordo



La Suma de las fuerzas horizontales y verticales bederá de caer en el neutral de la base esto es en el tercio medio de la base. Y la sumatoria de momentos deberá de dar cero.

Donde:  $Fhh$ : Empuje hidráulico horizontal;  $Fhh = \gamma H^2/2$   
 $Fhv$ : Empuje hidráulico vertical;  $Fhv = \gamma V_{\text{agua}}$   
 $W$ : Peso propio del bordo;  $W = \gamma_{\text{material}} V_{\text{material}}$   
 $Ff$ : Fuerza de fricción;  $N = \mu N$

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

- S: Posible fuerza de supresión;  $S = \gamma H B/2$
- N: Fuerza Normal;  $N = W \text{ Cos } \theta$
- H: Altura del tirante
- B: Base de la cortina
- $\theta$ : ángulo de desplante de la cortina

Las pendientes del terraplén son comúnmente de 1V a 3H en el talud internos y de 1V a 2H externamente. Taludes escarpados o de mayor pendiente, pueden ser usados si el suelo lo permite, la estabilidad de la pendiente puede ser asegurada siguiendo procedimientos estándares de mecánica de suelos para pequeños diques de tierra.

**Protección contra oleaje y erosión**

La protección con enrocamiento es la más común en el caso de bordos no revestidos. La dimensión de las rocas y el espesor dependen de la pendiente del talud y la altura de la ola máxima esperada. Los bordos también pueden protegerse con suelo cemento, concreto hidráulico o asfáltico .

En el talud externo puede ser protegido de la erosión de las tormentas disponiendo de un drenaje adecuado, se puede plantar pasto en el terraplén para incrementar la estabilidad, y en el talud interno requiere protección contra la erosión por la acción de olas y para esto el mejor método es el acabado con roca al nivel de la superficie, previniendo también que emerja la vegetación del terraplén y dentro de la laguna, creando un habitat a viboras y mosquitos.

**Seguridad de la cimentación**

Es importante verificar la posibilidad de falla por deslizamiento a lo largo de una superficie que pase por un material de baja resistencia. Conviene tomar en cuenta la presencia de agua que reblandece los materiales y revisar una posible tubificación.

**Geometrías de las lagunas**

Usualmente la geometría óptima de la laguna, que incluye no solamente el tamaño de la laguna sino también la posición relativa de las entradas y las salidas, es la que minimiza los cortos circuitos hidráulicos. Las lagunas anaerobias y facultativas primarias, podrían ser rectangulares, con relación largo ancho de 2 o 3 a 1, evitando bancos de lodos cercanos en las entradas. Las lagunas secundarias y de maduración podrían, de ser posible, tener relaciones largo ancho más grandes entre 3 y 8 con el objetivo de que se aproximen mejor al flujo pistón

Para calcular el volumen de las lagunas anaerobias, la EPA recomienda la siguiente formula:

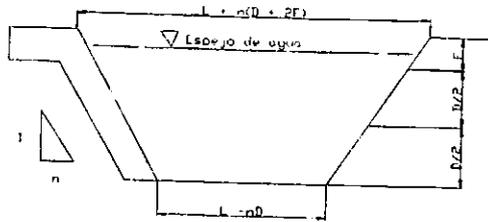
$$V_a = [ (LB + (L-2sD) (B-2sD) + 4(L-2sD)) (B-sD) ] [D/6] \quad (5.3)$$

- Donde:
- $V_a$  = volumen de la laguna anaerobia,  $m^3$ .
  - L = longitud de la laguna al nivel del agua, m.
  - B = ancho de la laguna al nivel del agua, m.
  - s = factor de pendiente horizontal
  - D = Profundidad del nivel hidráulico, m.

Para el calculo de las dimensiones entre la superficie y el fondo de la laguna se puede utilizar las siguientes formulas presentadas en la figura 5.1.2 tomando como datos la profundidad media y la pendiente.

## Construcción y costos

Figura 5.1.2 Calculo de las dimensiones entre la superficie y fondo de la laguna



Donde:  $L$  = longitud de la laguna al nivel del agua, m.  
 $n$  = factor de pendiente horizontal  
 $D$  = Profundidad del nivel hidráulico, m.  
 $F$  = Bordo libre, m.

### Profundidad efectiva

Esta comúnmente se encuentra en los siguientes rangos:

- Laguna anaerobia: de 2 a 5 m
- Laguna facultativa: de 1 a 2 m.
- Laguna de maduración: de 1 a 1.5 m

La profundidad de las lagunas facultativas y de maduración no debe ser menor a 1 metro a fin de evitar el crecimiento de la vegetación sobre la base de la laguna, con un consecuente desarrollo de mosquitos y serpientes.

### Filtros

La incorporación de un filtro dentro del cuerpo del terraplén es una precaución costosa pero frecuentemente justificada, en particular en los siguientes casos:

Si existe peligro de agrietamiento vertical por asentamientos diferenciales debido a la diferente compresibilidad

Si los materiales constitutivos del bordo son erosionables o dispersos.

Existen dos tipos de filtros:

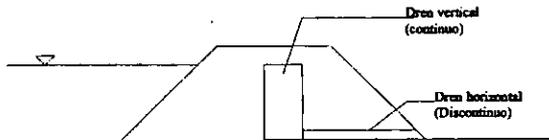
- Filtro horizontal más económico; si embargo su eficiencia en abatir la línea superior de flujo depende de la relación de permeabilidad horizontal y vertical obtenida en el cuerpo del bordo, la cual puede ser muy sensible.

Figura 5.1.3 Filtro tipo horizontal



- b) Filtro con chimenea vertical presenta mayor probabilidad de buen comportamiento. Su ancho no debe de ser menor de 60 cm. Es necesario evitar la contaminación de la arena con material más fino del terraplén. Generalmente, la arena se compacta por vibración.

Figura 5.1.4 Filtro tipo chimenea vertical



### 5.1.3 Impermeabilización

Se deberá realizar una investigación geotécnica con el objetivo de asegurar el correcto diseño de terraplén y determinar si el suelo es impermeable o si requiere ser impermeabilizada.

Al proponer la localización de la laguna deberán ser medidas las propiedades del suelo y determinación del manto freático.

Los suelos orgánicos, turbosos y con arena de cuarzo, no son útiles para la construcción de terraplenes. Si no existe un suelo útil que al menos proporcione un corazón del terraplén, deberá ser acarreado al sitio a un costo extra.

Si la permeabilidad del suelo es mayor que la máxima permisible, la laguna deberá ser impermeabilizada.

La permeabilidad máxima permisible de la capa superior de la base de la laguna puede ser determinada por la ley de D'Arcy.

$$K = (Q_s / 86400 A) (\Delta L / \Delta h) \quad (5.4)$$

Donde:

K = permeabilidad máxima permisible.

Q<sub>s</sub> = flujo de infiltración máximo permisible (= ρ<sub>1</sub> - 0.001A<sub>e</sub>) m<sup>3</sup>/ día.

A = área del fondo de la laguna, m<sup>2</sup>

ΔL = profundidad entre el fondo de laguna y el nivel freático, m

Δh = Altura hidráulica (Profundidad de la laguna + ΔL), m.

A continuación se muestra tabla 5.1.2 con diferentes valores de coeficientes de permeabilidad K.

Tabla 5.1.2 Tipo de suelo dependiendo su coeficiente de permeabilidad K y su uso

Coefficiente de permeabilidad K	Características del suelo
$K > 10^{-6}$ m/s	Suelo demasiado permeable, las lagunas deberán ser impermeabilizadas
$K > 10^{-7}$ m/s	Algunas infiltraciones pueden ocurrir, pero se puede utilizar para las lagunas
$K > 10^{-8}$ m/s	Las lagunas sellaran naturalmente
$K > 10^{-9}$ m/s	No existe el riesgo generalmente de contaminación del acuífero.

Fuente CNA & IMTA. 1994 Manual de Diseño de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento

## Construcción y costos

Hay una gran variedad de técnicas para impermeabilizar una laguna. La impermeabilización de suelos puede ser por tres medios:

- Selladores naturales y tratamientos químicos
- Revestimientos rígidos
- Revestimientos flexibles

Tabla 5.1.3 Productos y Técnicas de impermeabilización

Selladores	Revestimientos rígidos	Revestimientos Flexibles
Arcillas bentónicas Tratamientos Químicos del suelo Aditivos al agua		Membranas sintéticas Membranas asfálticas Paneles asfálticos Suelos compactados
Continuos	Discontinuos	
Membranas sintéticas Membranas asfálticas Paneles asfálticos	Suelos compactados Concreto lanzado Concreto hidráulico Suelo cemento Arcillas bentónicas Aditivos	
Impermeables	Semi-impermeables	
Membranas sintéticas Paneles asfálticos	Suelos compactados Concreto lanzado Concreto hidráulico Concreto asfáltico Suelo cemento Arcillas bentónicas Aditivos	

Fuente: Auvinet Gabriel, 1986, Impermeabilización de lagunas artificiales

Las lagunas pueden impermeabilizarse en forma natural mediante 3 mecanismos:

- Taponamiento físico de los poros del suelo con sólidos sedimentados
- Taponamiento químico de los poros por intercambio iónico
- Taponamiento biológico y orgánico por crecimiento biológico sobre el recubrimiento de la laguna.

El taponamiento físico se puede estimular aplicando un polímero orgánico con bentonita cuando la laguna esta desocupada. Los métodos para aplicar la bentonita son los siguientes.

- Se coloca sobre el área a revestir un suspensión de bentonita en agua al 0.5% de tal manera que la bentonita se sedimente, sobre el suelo, formando una capa delgada
- Se mezcla la bentonita con el suelo superficial en una proporción de 4.5 kg/m<sup>2</sup> de suelo.
- Se prepara un lecho de grava de 15 cm de espesor y sobre él se aplica bentonita en agua al 0.5%. la bentonita se sedimenta a través de la capa de grava y sella los espacios vacíos.
- Se riegan 2.5 cm de bentonita y se cubren con un lecho de 20 a 30 cm de tierra y grava para proteger la membrana formada de bentonita
- Se mezcla bentonita con arena en relación 1/8 en volumen. La mezcla se coloca, de un espesor de 5 a 10 cm, sobre el fondo de la laguna y se cubre con una capa de protección de arena o suelo. Este método consume 13.5 Kg. De bentonita /m<sup>2</sup>.

Si se requiere cero permeabilidad se recurre a las geomembranas , pero generalmente es más caro que el costo de impermeabilizar con bentonita.

5.1.4 Obras Auxiliares

Tratamiento preliminar

Deberán ser instalados equipos de cribado, para remover arena de todos los sistemas lagunares como rejillas y desarenadores.

**Rejillas.**

Son dispositivos formados por barras metálicas paralelas del mismo espesor e igual espaciamento. Protegen las bombas, los registros, tuberías, evitan el taponamiento y abrasión de estas piezas y también la acumulación de basura en las lagunas.

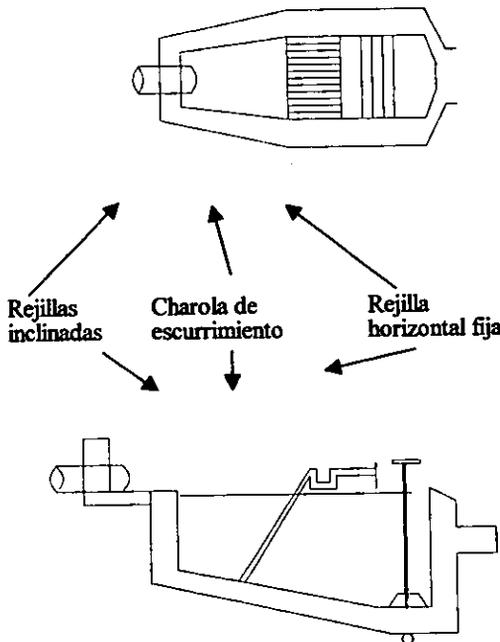
Tabla 5.1.4 Tamaño de la abertura de las rejillas en función de su uso

Abertura (mm)	Uso
51 a 153	Protección de las bombas de agua residual y del desarenador
19 a 51	Protección del proceso

Fuente : Adaptación de WPCF, 1997

Se recomienda para este tipo de lagunas rejillas de limpieza manual. Ya que esta no requieren un mantenimiento cuidadoso. Están formadas de acero pueden ser verticales pero con frecuencia se encuentran inclinadas (con ángulos de 60° a 80° ) sobre la horizontal para facilitar su empleo. La limpieza manual de las rejillas es desagradable y este es el principal motivo de mal funcionamiento.

Figura 5.1.5 Dibujo en planta y perfil de rejillas de limpieza manual



La cantidad de material retenido por las rejillas varía entre 0.010 a 0.25 L/ m<sup>3</sup> , de acuerdo con las condiciones locales, hábitos de la población, época del año y abertura de las rejillas

## Construcción y costos

Tabla 5.1.5 Variación de la cantidad de material retenido en función de la abertura de la reja

Abertura de la reja (cm)	Material retenido, (L/ m <sup>2</sup> )
2.0	0.038
2.5	0.023
3.5	0.012
4.0	0.009

Fuente : Adaptación de WPCF, 1997

El material retenido esta constituido principalmente por papel, trapos, desechos de cocina y material introducido a pared por pozos de visita. Su descomposición es del orden de 70 a 90% de agua, pesando 0.70 a 1.0 kg/L.

Se requiere tener un lugar adecuado para la disposición higiénica de los desechos del cribado y las arenas. Normalmente el entierro en zanjas es el método más apropiado.

### **Desarenadores.**

Son tanques que evitan la decantación de arena en las lagunas primarias cerca de la entrada, protegen al equipo mecánico de la abrasión y el desgaste; reduce la obstrucción de los conductos causada por la deposición de partículas en las tuberías o canales. El material retenido se caracteriza por ser inorgánico y tener una velocidad de sedimentación mayor que la correspondiente a la materia orgánica biodegradable.

El material retenido en los desarenadores se caracteriza por ser teóricamente inorgánico y tener una velocidad de sedimentación mayor que la correspondiente a la materia orgánica biodegradable. Los materiales que caen en esta categoría son partículas de arena, grava, de minerales, y orgánicos no putrescibles fácilmente como las semillas. En general, retienen materiales en suspensión cuya granulometría es mayor de 0.2 mm

### **Medidores de flujo.**

En cualquier tratamiento es muy importante conocer el flujo que entra. En las lagunas, los dispositivos mas empleados son los vertedores y los canales Parshall que no requieren equipo electromecánica, son de fácil mantenimiento y operación.

Gastos de aguas negras arriba de 6 veces el gasto de diseño de estiaje podría estar sujeto a cribado y remoción de arena. Algunos flujos que excedan 6 veces el gasto de estiaje producto de una tormenta, deberá ser desviada por la estructura de desviación para recibirse en un canal de excedencias.

Las lagunas anaeróbicas no deben recibir más que 3 veces el gasto de diseño de estiaje, con el objeto de prevenir el lavado de las bacterias acidogénicas y metanogénicas, un exceso de flujo de entre 3 y 6 veces el gasto de estiaje es desviado a través de una estructura de desviación de reboso hacia las lagunas facultativas.

Después del cribado y remoción de arenas y si se ha instalado la estructura de desviación del reboso para 6 veces el gasto de estiaje, el flujo de las aguas negras podría ser medido en un tubo Venturi estándar, vertedores o en una canaleta Parshall. Esto es esencial para asegurar el desempeño de la cuidadosa calibración y mantenimiento regular. A menudo es mejor leer la profundidad del canal, aguas arriba mediante una regla calibrada de latón y entonces calcular el flujo por formulas para canales (Ref. 5.1).

### **Estructuras de entrada y salida**

Las entradas a las lagunas primarias anaerobias deberán descargar bien abajo del nivel del líquido tal que minimicen los cortos circuitos especialmente en las lagunas poco profundas, y de esta manera reducir la cantidad de natas (lo cual es importante en las lagunas facultativas). Las entradas en las lagunas facultativas y de maduración deberán también descargar debajo del nivel del líquido preferentemente a la profundidad media para reducir la posibilidad de corto circuito

Las salidas de todas las lagunas deben estar protegidas, proveyéndolas de trampas de natas. El desnivel del efluente, el cual es controlado por la profundidad de la trampa de natas, es importante puesto que tiene una influencia significativa en la calidad del efluente. Se recomiendan los siguientes niveles de extracción

- Laguna anaerobia 300mm
- Laguna facultativa 600 mm
- Laguna de maduración 50 mm

La estructura de salida de una laguna final en un arreglo en serie deberá descargar dentro de un dispositivo simple de medición de gasto tales como un vertedor triangular o rectangular. Dado que el gasto de la primera laguna es también medido, se puede calcular la tasa de evaporación e infiltración y si la evaporación es medida separadamente entonces se puede calcular la tasa de infiltración (Ref. 5.2).

**Obra de derivación**

Es necesario una derivación e la laguna anaerobia tal que la laguna facultativa pueda ser cargada primero y también durante las operaciones de eliminación de lodos.

Cuando el coeficiente de escurrimiento es alto entre 0.7 y 0.9, y la intensidad de lluvia es grande 150 mm de lámina, con áreas de afluencia grande y drenaje combinado es necesario construir una estructura de derivación pluvial.

El gasto pluvial será :

$$Q_p = 2.778 A_c i C_e \tag{5.5}$$

- Donde:
- $Q_p$  = gasto pluvial, L/s
  - $A_c$  = área de captación pluvial, ha
  - $i$  = intensidad de lluvia, mm/h
  - $C_e$  = coeficientes de escurrimiento, adimensional

La altura del lecho alto superior del tubo de vertido (h) a la altura de la obra de descarga se calcula en función del flujo máximo ( $Q_{max}$ ) de descarga, para evitar que el sistema laguna se lave.

$$H = ( Q_{max} / 0.7854 C_d D^2 )^2 (1/2g) \tag{5.6}$$

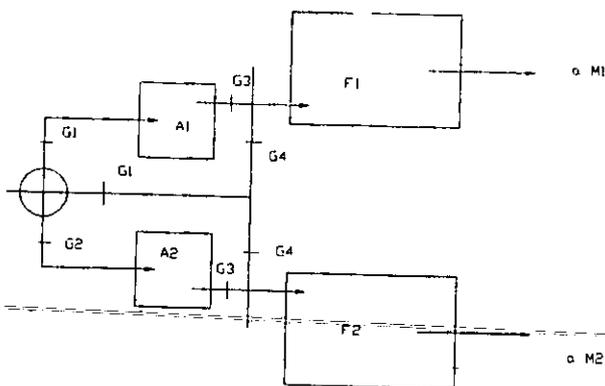
- Donde:
- H = altura, m
  - $C_d$  = coeficiente de descarga para pared gruesa (generalmente 0.6)
  - D = diámetro de entrada a la laguna que es mayor de 4"
  - G = gravedad 9.8 m/ s<sup>2</sup>

La derivación pluvial tendrá la composición

$$C = \frac{Q_{med} C_{dom} + (2.778 A_c i C_e) C_x}{(2.778 A_c i C_e) + Q_{med}} \tag{5.7}$$

- Donde :
- C = concentración de DBO o CF de la derivación mg/L
  - $Q_{med}$  = Gasto medio L/s
  - $C_{dom}$  = concentración de DBO o CF en las descargas domiciliarias mg/L
  - $A_c$  = area de captación pluvial, ha
  - $i$  = intensidad de lluvia mm/h
  - $C_e$  = coeficiente de escurrimiento entre 0.8 a 0.9 para cemento, adimensional
  - $C_x$  = coeficiente de DBO o de CF en las aguas de escorrentía, mg/L

Figura 5.1.6. Sistema de ruta alterna para lagunas anaerobias



Durante operación normal, las puertas G1 y G3 están abiertas y G2 y G4 permanecen cerradas. Para alternar la ruta de una (o ambas) se cierran las puertas de las lagunas anaerobias G1 y G3 y la puerta G2 y una (o ambas) de las puertas G4 se debe abrir.

#### **Cortina Rompevientos y malla ciclónica**

Es importante tener letreros y señales de peligro ya que al tener un reservorio de agua, se podría malinterpretar como un balneario público, por esto se recomienda recar el predio con una malla y contar con letrero de prohibido el paso, aguas de desecho, entre otros.

Por otra parte en áreas deforestadas deberá proveerse de un cinturón de árboles para impedir que el arrastre de arenas por viento este siendo depositado en las lagunas. El cinturón de árboles puede ser también por razones estéticas si el sitio se encuentra cerca de asentamientos humanos. Estos árboles deberán ser plantados como barrera del viento que se origina en la laguna de estabilización y comprende arriba de 5 hileras, como sigue (a partir del sitio donde se levanta el viento):

- a) 1-2 hileras de arbustos tales como Latana, Hibiscus y Nero.
- b) 1-2 hileras de árboles de Casuarina
- c) 1 hilera de mezcla de árboles altos tales como Ponciana regia, Tipoana tipu, Khaya senegalensis y Albizia Lebbeck.

Los botánicos locales deben de tener información sobre las especies nativas más apropiadas; aquellas que sean adecuadas para zonas áridas y semiáridas. Tales cinturones de árboles se colocarán alrededor de 40 a 60 metros de ancho.



## Construcción y costos

- Suelo tipo B (tepetate) \$ 25.17 /m<sup>3</sup>.
- Suelo tipo C (rocoso) no aplica pues el costo se vuelve prohibitivo para la excavación.

**Construcción.**- Con respecto a las actividades asociadas a la obra civil y equipamiento para los sistemas lagunares se presenta la tabla 5.1.2.

Tabla 5.2.2. Principales conceptos de obra para presupuestación a plantas de tratamiento.

Conceptos	Pretratamiento	Lagunas facultativas	Lagunas aereadas
<b>OBRA CIVIL</b>			
Limpieza y despalme de terreno a mano	X		
Limpieza y despalme de terreno con medios mecánicos		X	X
Trazo y nivelación para despalme de estructuras	X	X	X
Excavación por medios manuales	X		
Plantilla de concreto pobre de 8 cm de espesor de 100 kg/cm <sup>2</sup>	X		
Concreto simple de 200 kg/cm <sup>2</sup>	X	X	
Acero de refuerzo con una resistencia de 4200 kg/cm <sup>2</sup>	X	X	
Pretratamiento		X	X
Excavación por medios mecánicos		X	X
Relleno compactado con producto de excavación para formar bordos		X	X
Relleno compactado para impermeabilización del fondo		X	
Suministro y colocación de paso en bordos		X	
Zampeado con piedra braza, junteada con mortero cemento - arena.			X
Suministro y colocación de pasto en bordos			X
<b>OBRA ELECTROMECAÁNICA</b>			
Estructuras de acero	X		
Fontanería con tuberías, válvulas y piezas especiales.		X	X
Subestación eléctrica			X
Aereadores flotantes de alta velocidad			X
Terreno			
Disponibilidad de terreno			
Mayor		X	X
Menor	X		

Fuente: CNA. 1996. Diseño de Lagunas de Estabilización. México.

**Costo de impermeabilización.**- Como guía se proporcionarán los siguientes datos para el material, sin considerar mano de obra:

- Impermeabilización con bentonita 25.5 \$/m<sup>3</sup>
- Geomembrana de polietileno de alta densidad 83.8 \$/m<sup>3</sup>
- Impermeabilizante con cloruro de vinilo 45.6 \$/m<sup>3</sup>

**Costos por obras auxiliares.**- Se deben considerar las obras que permiten una mejor operación del sistema de tratamiento como:

- Bordos e interconexiones
- Caseta de vigilancia
- Cerca Perimetral
- Vialidades
- Drenaje externo
- Señalización

En las tablas 5.2.3 y 5.2.4, se presenta una estimación del costo del terreno y de la inversión para lagunas facultativas y aereadas para poblaciones de 2,500 a 40,000 hab. con base en un estudio comparativo de diversos sistemas de tratamiento realizado en 1992 por Suzán y Aguilar actualizado a junio del 2001 con los datos de la inflación correspondiente.

**Tabla 5.2.3. Estimación de costo de terreno para lagunas facultativas y aereadas.**

Sistema		Lagunas Facultativas		Lagunas aereadas	
Pob. Serida (hab.)	Caudal del agua tratada (L/s)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Costo (\$)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Costo (\$)
2500	5	16000	82469	8500	43820
5000	10	25500	131464	12350	67478
7500	15	34000	175284	15750	81208
10000	20	42250	217827	18950	97698
15000	30	58000	299005	24900	128369
20000	40	73250	364991	30450	156991
30000	60	103000	531007	41200	212404
40000	80	131500	677935	51450	322244

Fuente: CNA. 1996. Diseño de Lagunas de Estabilización. México.

Actualizado con base en el índice de inflación de 1996 a junio del 2001 equivale a un factor de 1.8996.

**Tabla 5.2.4. Estimación de costos de inversión para junio del 2001.**

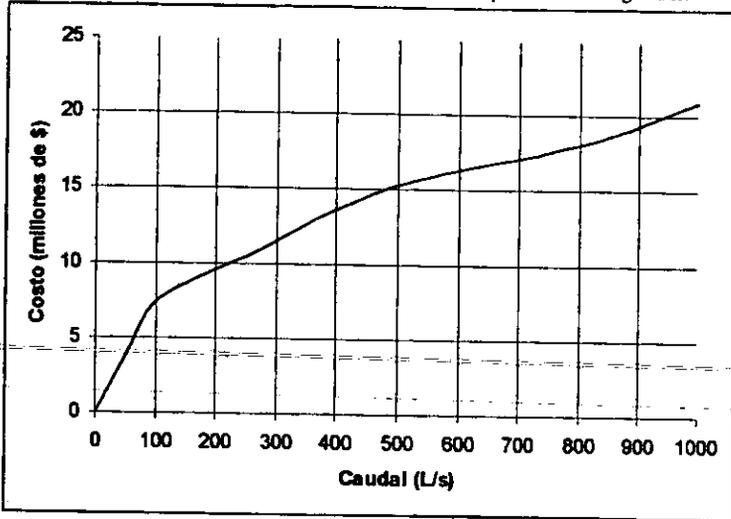
Sistema	Población (hab.)	Costos por módulos en pesos					
		5000	10000	15000	20000	30000	40000
	<b>Concepto</b>						
Lagunas facultativas	Obra Civil	1919156	3288175	4489984	5551938	7511824	9437306
	Obra electromecánica	21372	42764	53440	64125	74812	85497
	Terreno	131093	217825	299014	377642	531005	677935
	Inversión total	2202715	3766783	5141452	6371348	8591659	10878673
Lagunas aereadas	Obra civil	1121043	1817788	2380508	2884691	3754056	4541222
	Obra electromecánica	874999	1465067	1863052	2208156	2986255	3759065
	Terreno	63678	97706	128369	147713	212402	265256
	Inversión total	2123232	3476369	4500299	5388272	7165042	8830802

Fuente: CNA. 1996. Diseño de Lagunas de Estabilización. México.

Actualizado con base en el índice de inflación de 1996 a junio del 2001 equivale a un factor de 1.8996.

En la figura 5.2.1 se puede observar la tendencia de los costos de inversión total en base al caudal para sistemas lagunares en México, con base a la Comisión Nacional del Agua.

Figura 5.2.1. Costos de inversión total considerados para sistemas lagunares.



Fuente: CNA. 1996. Diseño de Lagunas de Estabilización. México.

### 5.3 RECOMENDACIONES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

#### 5.3.1 Objetivos de Operación y mantenimiento

Las lagunas tienen requerimientos de operación y mantenimientos mínimos que, sin embargo, deben revisarse y cumplirse periódicamente, por el operador, con el objeto de eliminar los problemas.

En un gran número de casos las lagunas se han puesto a trabajar con ausencia de supervisión en la operación y en el mantenimiento, lo que a ocasionado fallas en funcionamiento, disminución en la eficiencia del tratamiento y en otras ocasiones el cierre de ellas.

Los objetivos de la operación y el mantenimiento pretenden:

- Homogenizar los procesos de operación y mantenimiento .
- Establecer criterios para establecer la cantidad y calidad de recursos humanos requeridos.
- Describir los procesos del funcionamiento, así como la indicación de los principales parámetros de diseño, operación y mantenimiento.
- Señalar los principales problemas de operación y mantenimiento, sus efectos a corto plazo y su solución.

#### 5.3.2 Arranque

Una laguna no puede aceptar inmediatamente la carga completa para la que fue diseñada, por lo que necesita un periodo de ajuste equivalente a diferentes periodos de residencia hidráulico; esto puede hacerse aumentando gradualmente el gasto, con la finalidad de tener tiempos de residencia altos, hasta llegar al gasto de diseño. El tiempo que toma el alcanzar el equilibrio o la estabilización dependerá del tipo de desecho, tipo de laguna y condiciones meteorológicas locales; el periodo de arranque deberá hacerse durante la época más cálida, para lograr una estabilización rápida del agua residual.



## Construcción y costos

### 5.3.4 Dragado y disposición de lodos

Las lagunas anaerobias requieren dragarse cuando un tercio de su volumen esta ocupado por lodos. Esto ocurre cada  $n$  años.

$$n = V / 3 P s \quad (5.8)$$

Donde:  $V$  = volumen de la laguna anaerobia  $m^3$   
 $P$  = población servida, hab.  
 $s$  = tasa de acumulación de lodos ( generalmente es de 0.04),  $m^3$ / hab. año

Una forma de remoción de lodos puede llevarse a cabo utilizando una bomba de lodos, montada en una balsa el lodo es descargado dentro de una laguna de lodos adyacente o en contenedores que los trasporten a su disposición final.

### 5.3.5 Seguridad

Las lagunas deberán ser cercadas por vallas de púas o ciclónica y las válvulas resguardarse con candados. Avisos de cuidado, en lenguajes apropiados adheridos a las vallas, advirtiendo que las lagunas son un sistema de tratamiento y por lo tanto son peligrosas para la salud, son esenciales para desanimar a los visitantes a las lagunas. Los niños son especialmente un riesgo, porque pueden ser tentados a nadar en las lagunas. Observadores de aves y cazadores son también atraídos a las lagunas porque existe una variedad de vida silvestre, y ellos pueden no ser advertidos que las lagunas que son sistemas de tratamiento de aguas residuales (Ref. 5.3).

### 5.3.6 Control

El control adecuado del proceso de tratamiento exige el registro, por el operador de los caudales de aguas residuales y de las características del afluente, contenido de las lagunas y efluente.

Las determinaciones típicas del control en lagunas de estabilización y su frecuencia de análisis se resume en la tabla 5.3.1

Tabla 5.3.1 Controles típicos de operación

Parámetro	Influyente	Laguna	Efluente	Frecuencia
Caudal	*	-	*	Diaria
Color	*	*	*	Diaria
Temperatura	*	*	*	Diaria
PH	*	*	*	Diaria
OD	*	*	*	Diaria
DBO	*	-	*	Quincenal
DQO	*	-	*	Quincenal
SS	*	-	*	Quincenal
CF	*	-	*	Quincenal

(\*) Significa que si se debe de medir

(-) Significa que no debe ser medido

Fuente : Romero, Jairo. 2000. Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización. México

Otros parámetros útiles para el control, son los de la DBO y DQO solubles, nitrógeno amoniacal, sulfatos, sulfuros, clorofila A, y profundidad de lodos.

Los informes de control deberán incluir las características promedio del agua residual cruda y de los efluentes; así como las cargas orgánicas promedio, los tiempos de retención y las remociones porcentuales de DBO, DQO, SS y CF.



**5.4 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

Los costos de operación y mantenimiento son los referidos al funcionamiento de una planta de tratamiento para hacer producir la capacidad instalada. Estos costos se estiman por vigencias anuales de acuerdo con las proyecciones de producción que establezcan.

Para las plantas de tratamiento, los costos de operación y mantenimiento comprenden por lo común los siguientes factores:

- Materiales y materias primas
- Servicios públicos (energía eléctrica y agua potable)
- Combustibles
- Personal
- Mantenimiento preventivo y correctivo
- Seguros
- Gastos varios

Para la mayor parte de los procesos de tratamiento los costos de operación y mantenimiento están influenciados en gran medida por el consumo de energía, de ahí que las lagunas resulten económicas.

**5.4.1 Costos de Compuestos Químicos**

Los compuestos químicos en los sistemas lagunares se emplean sólo cuando se desea realizar una mejora al sistema existente. Básicamente consisten en coagulantes añadidos durante la filtración o algún tratamiento primario fisicoquímico y el cloro para la desinfección final.

**5.4.2 Costos de Personal**

Las distintas clases de personal requeridos para obtener y mantener una planta de tratamiento están en función de la capacidad de la planta, la complejidad y el grado de equipamiento. Para establecer con precisión los requerimientos de personal, deben considerarse las características y necesidades locales y la estructura social de la comunidad, por lo que cada planta tendrá condiciones únicas.

Se debe destacar que los requerimientos de personal no sólo incluyen a los operadores de la instalación, sino también a los directores responsables de emplear y distribuir el personal requerido, los técnicos y oficiales necesarios para el mantenimiento y el personal de laboratorio para supervisar las operaciones, e incluso las medidas para su entrenamiento.

Asimismo deben considerarse las prestaciones establecidas por la Ley Federal de Trabajo entre las cuales están:

- Aguinaldo (mínimo 15 días de trabajo).
- Reparto de utilidades
- Pago de días festivos y horas extras
- Pago de prima dominical
- Vacaciones
- Servicio Médico (IMSS o ISSSTE)
- Créditos de INFONAVIT, FONACOT y SAR

Con respecto al turno de trabajo es conveniente considerar tres turnos de ocho horas en función de las costumbres regionales ya que podría aumentar o disminuir la duración sin nunca rebasar 24 horas de trabajo continuo.

Para el cálculo de los costos de operación y mantenimiento Suzán y Aguilar (1992) emplearon las tablas 5.4.1 y 5.4.2, más las consideraciones siguientes:

- Para los costos por el manejo de lodos: Una producción promedio laguna facultativa 0.30 L/hab.d y nula en lagunas aereadas.

## Construcción y costos

- Para el costo de transporte y desalojo de lodos: En el primer kilómetro en 17.8 por metro cúbico, y de 2.13 pesos por metro cúbico en los kilómetros subsecuentes, estimándose un recorrido de 5 km.
- Para estimar los costos de energía: Se consideró 0.6 pesos kW/h y la cantidad de HP instalados por sistema.
- El costo anual: Por concepto de mantenimiento preventivo del equipo electromecánico varía entre 1.5 y 2.5 % del valor total de los equipos.

Tabla 5.4.1. Costo de personal actualizado

Personal	Sueldo base	Sueldo mas prestaciones	Importe anual
S = Superintendente	9067	12329	147959
A = Operador calificado	4464	6070	72840
A' = Operador	3346	4552	54630
B = Ayudante	2240	3035	36423
C = Cuadrilla de mantenimiento	2091		100423

Fuente: CNA. 1996. Diseño de Lagunas de Estabilización. México.

Actualizado con base en el Índice de inflación de junio de 1996 a junio de 2001 para salarios mínimos que equivale un factor de 1.8185

Tabla 5.4.2. Personal considerado para operación de sistemas lagunares por turno.

Población	Sistema	Personal
2500	Facultativas	1A + 1C
	Aereadas	1A + 1B + 1C
5000	Facultativas	1A + 1C
	Aereadas	1A' + 2B
7500	Facultativas	1A + 1C
	Aereadas	1A' + 1B + 1C
10000	Facultativas	1A + 1B + 1C
	Aereadas	1A' + 2B + 1C
15000	Facultativas	1A + 1B + 1C
	Aereadas	1A' + 2B + 1C
20000	Facultativas	1A + 1B + 1C
	Aereadas	2A' + 2B + 1C
30000	Facultativas	1A + 2B + 1C
	Aereadas	2A' + 3B + 1C
40000	Facultativas	1A + 2B + 1C
	Aereadas	3A' + 3B + 1C

Fuente: CNA. 1996. Diseño de Lagunas de Estabilización. México.

La tabla 5.4.3. presenta los costos de operación y mantenimiento para diversos sistemas, dentro de los cuales los tanques Imhoff y las lagunas facultativas son los más económicos. La sedimentación primaria y las lagunas aeradas tienen costos intermedios y, la aeración extendida y las zanjas de oxidación resultan los tratamientos de mayor costo.

Tabla 5.4.3. Costos anuales por operación y mantenimiento actualizados a junio, 2001.

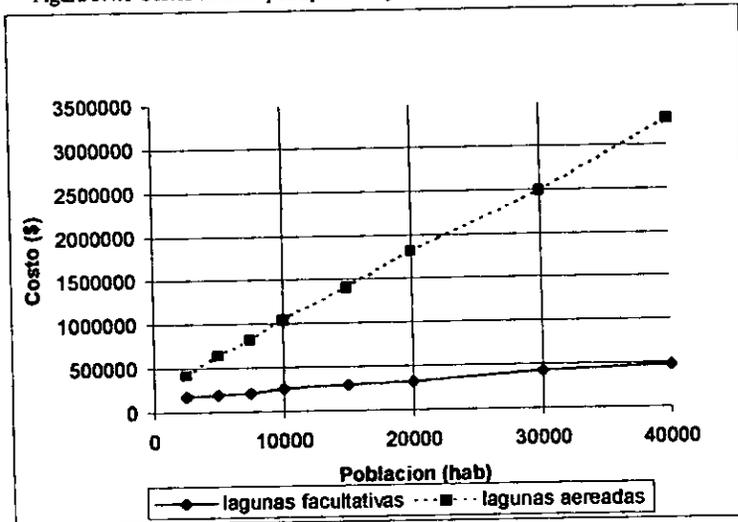
Población (hab)	Sistema	Personal	Manejo de lodos		Energía			Mantenimiento de equipo		Suma de totales (\$)
		Pesos \$	m <sup>3</sup> /año	Pesos (\$)	HP inst	Kw/h.año	Pesos (\$)	Costo equipo	Pesos (\$)	
5000	Facultativas	161967	548	29495	---	---	---	2109	388	193959
	Aereadas	219037	913	49158	38	235164	272239	86299	15299	642032
10000	Facultativas	200015	1095	58929	---	---	---	4217	726	263887
	Aereadas	257084	1825	98255	71	450731	521843	144529	25641	1047352
15000	Facultativas	200015	1643	88424	---	---	---	5271	937	294647
	Aereadas	257084	2738	147413	107	685895	794069	183790	32607	1414963
20000	Facultativas	200015	2190	117920	---	---	---	6326	1113	325374
	Aereadas	333173	3650	196510	137	881865	1020980	217835	38638	1807136
30000 (**)	Facultativas	238062	3285	176849	---	---	---	7380	1324	423615
	Aereadas	371220	5475	294717	197	1273805	1474728	294567	52224	2487456
40000 (**)	Facultativas	238062	4380	235788	---	---	---	8434	1493	483777
	Aereadas	447308	7300	392976	265	1711471	1981478	405711	65779	3293252

\*\* Para estos niveles de población no se recomienda zanjas de oxidación y aeración extendida por sus altos costos.

Fuente: CNA. 1996. Diseño de Lagunas de Estabilización. México.

Actualizado con base en el índice de inflación de junio de 1996 a junio de 2001 que equivale a un factor de 1.8996

Figura 5.4.1 Costos anuales por operación y mantenimiento para distintas lagunas



Fuente: CNA. 1996. Diseño de Lagunas de Estabilización. México.

Actualizado con base en el índice de inflación de junio de 1996 a junio de 2001 que equivale a un factor de 1.8996

## Construcción y costos

### 5.5 COSTOS TOTALES

Una vez conocidos los costos por operación, mantenimiento y de inversión se puede calcular como se comportan estos en un lapso determinado de tiempo, ya sea para sistemas lagunares o para sistemas aireados.

Para tener una estimación de cómo se comportan estos costos, se estimará un proyecto de 20 años con una tasa de interés del 12% anual.

Tabla 5.5.1 Gastos de una laguna para una población de 5,000 hab' en valor presente

año	aereadas	facultativas	aereadas	facultativas	aereadas	facultativas	
	Inversión inicial		costos anuales de operación		Costos en valor presente		
0	2,123,232	2,202,715	642,032	193,959	2,765,264	2,396,674	
1	0	0	642,032	193,959	573,243	173,178	
2	0	0	642,032	193,959	511,824	154,623	
3	0	0	642,032	193,959	456,986	138,056	
4	0	0	642,032	193,959	408,023	123,264	
5	0	0	642,032	193,959	364,306	110,058	
6	0	0	642,032	193,959	325,273	98,266	
7	0	0	642,032	193,959	290,423	87,737	
8	0	0	642,032	193,959	259,306	78,337	
9	0	0	642,032	193,959	231,523	69,944	
10	0	0	642,032	193,959	206,717	62,450	
11	0	0	642,032	193,959	184,569	55,759	
12	0	0	642,032	193,959	164,794	49,784	
13	0	0	642,032	193,959	147,137	44,450	
14	0	0	642,032	193,959	131,372	39,688	
15	0	0	642,032	193,959	117,297	35,436	
16	0	0	642,032	193,959	104,729	31,639	
17	0	0	642,032	193,959	93,508	28,249	
18	0	0	642,032	193,959	83,490	25,222	
19	0	0	642,032	193,959	74,544	22,520	
20	0	0	642,032	193,959	66,557	20,107	
					<b>Total</b>	<b>7,560,885.83</b>	<b>3,845,439.82</b>

Tabla 5.5.2 Gastos de una laguna para una población de 10,000 hab. En Valor Presente

año	aereadas	facultativas	aereadas	facultativas	aereadas	facultativas
	Inversión inicial		costos anuales de operación		Costos en valor presente	
0	3,476,369	3,766,783	1,047,352	263,887	4,523,721	4,030,670
1	0	0	1,047,352	263,887	935,136	235,613
2	0	0	1,047,352	263,887	834,943	210,369
3	0	0	1,047,352	263,887	745,484	187,830
4	0	0	1,047,352	263,887	665,611	167,705
5	0	0	1,047,352	263,887	594,296	149,737
6	0	0	1,047,352	263,887	530,621	133,693
7	0	0	1,047,352	263,887	473,769	119,369
8	0	0	1,047,352	263,887	423,008	106,580
9	0	0	1,047,352	263,887	377,686	95,160
10	0	0	1,047,352	263,887	337,219	84,965
11	0	0	1,047,352	263,887	301,089	75,861
12	0	0	1,047,352	263,887	268,829	67,733
13	0	0	1,047,352	263,887	240,026	60,476
14	0	0	1,047,352	263,887	214,309	53,997
15	0	0	1,047,352	263,887	191,347	48,211
16	0	0	1,047,352	263,887	170,846	43,046
17	0	0	1,047,352	263,887	152,541	38,434



18	0	0	1,047,352	263,887	136,197	34,316
19	0	0	1,047,352	263,887	121,605	30,639
20	0	0	1,047,352	263,887	108,576	27,356
				<b>Total</b>	<b>12,346,857.72</b>	<b>6,001,759.07</b>

Tabla 5.5.3 Gastos de una laguna para una población de 20,000 hab. en valor presente

Año	Aereadas facultativas inversión inicial		Aereadas facultativas costos anuales de operación		aereadas	facultativas
0	5,388,272	6,371,348	1,807,136	325,374	7,195,408	6,696,722
1	0	0	1,807,136	325,374	1,613,514	290,513
2	0	0	1,807,136	325,374	1,440,638	259,386
3	0	0	1,807,136	325,374	1,286,284	231,595
4	0	0	1,807,136	325,374	1,148,468	206,781
5	0	0	1,807,136	325,374	1,025,417	184,626
6	0	0	1,807,136	325,374	915,551	164,845
7	0	0	1,807,136	325,374	817,457	147,183
8	0	0	1,807,136	325,374	729,872	131,413
9	0	0	1,807,136	325,374	651,671	117,333
10	0	0	1,807,136	325,374	581,849	104,762
11	0	0	1,807,136	325,374	519,508	93,537
12	0	0	1,807,136	325,374	463,847	83,515
13	0	0	1,807,136	325,374	414,149	74,567
14	0	0	1,807,136	325,374	369,776	66,578
15	0	0	1,807,136	325,374	330,157	59,445
16	0	0	1,807,136	325,374	294,783	53,076
17	0	0	1,807,136	325,374	263,199	47,389
18	0	0	1,807,136	325,374	234,999	42,312
19	0	0	1,807,136	325,374	209,821	37,778
20	0	0	1,807,136	325,374	187,340	33,730
				<b>Total</b>	<b>20,693,708.47</b>	<b>9,127,084.75</b>

Tabla 5.5.4 Gastos de una laguna para una población de 30,000 hab. en valor presente

año	aereadas facultativas inversión inicial		aereadas facultativas costos anuales de operación		aereadas	facultativas
0	7,165,042	8,591,659	423,615	2,487,456	7,588,657	11,079,115
1	0	0	423,615	2,487,456	378,228	2,220,943
2	0	0	423,615	2,487,456	337,703	1,982,985
3	0	0	423,615	2,487,456	301,521	1,770,522
4	0	0	423,615	2,487,456	269,215	1,580,823
5	0	0	423,615	2,487,456	240,371	1,411,449
6	0	0	423,615	2,487,456	214,617	1,260,223
7	0	0	423,615	2,487,456	191,622	1,125,199
8	0	0	423,615	2,487,456	171,091	1,004,642
9	0	0	423,615	2,487,456	152,760	897,002
10	0	0	423,615	2,487,456	136,393	800,894
11	0	0	423,615	2,487,456	121,779	715,084
12	0	0	423,615	2,487,456	108,731	638,468
13	0	0	423,615	2,487,456	97,082	570,061
14	0	0	423,615	2,487,456	86,680	508,983
15	0	0	423,615	2,487,456	77,393	454,449
16	0	0	423,615	2,487,456	69,101	405,758
17	0	0	423,615	2,487,456	61,697	362,284
18	0	0	423,615	2,487,456	55,087	323,468
19	0	0	423,615	2,487,456	49,185	288,810
20	0	0	423,615	2,487,456	43,915	257,867
				<b>Total</b>	<b>10,752,825.36</b>	<b>29,659,027.36</b>

## Construcción y costos

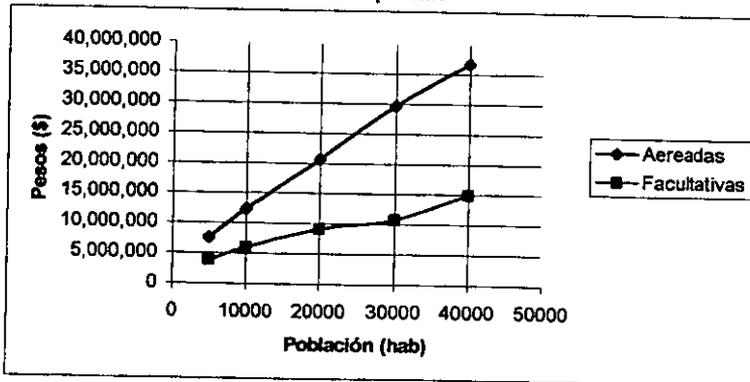
Tabla 5.5.5 Gastos de una laguna para una población de 30,000 hab. en valor presente

año	inversión inicial		costos anuales de operación		costos anuales de operación	
	Aereadas	facultativas	aereadas	facultativas	aereadas	facultativas
0	8,830,802	10,878,673	3,293,252	483,777	12,124,054	11,362,450
1	0	0	3,293,252	483,777	2,940,404	431,944
2	0	0	3,293,252	483,777	2,625,360	385,664
3	0	0	3,293,252	483,777	2,344,072	344,343
4	0	0	3,293,252	483,777	2,092,921	307,449
5	0	0	3,293,252	483,777	1,868,680	274,508
6	0	0	3,293,252	483,777	1,668,464	245,096
7	0	0	3,293,252	483,777	1,489,700	218,836
8	0	0	3,293,252	483,777	1,330,089	195,389
9	0	0	3,293,252	483,777	1,187,580	174,455
10	0	0	3,293,252	483,777	1,060,339	155,763
11	0	0	3,293,252	483,777	946,731	139,074
12	0	0	3,293,252	483,777	845,296	124,174
13	0	0	3,293,252	483,777	754,728	110,869
14	0	0	3,293,252	483,777	673,865	98,990
15	0	0	3,293,252	483,777	601,665	88,384
16	0	0	3,293,252	483,777	537,201	78,915
17	0	0	3,293,252	483,777	479,644	70,459
18	0	0	3,293,252	483,777	428,253	62,910
19	0	0	3,293,252	483,777	382,369	56,170
20	0	0	3,293,252	483,777	341,401	50,152
				<b>Total</b>	<b>36,722,814</b>	<b>14,975,995</b>

Tabla 5.5.6 Resumen de los gastos de lagunas para 20 años con el 12% de interés en valor presente

Población	5000	10000	20000	30000	40000
Aereadas	7,560,886	12,346,858	20,693,708	29,659,027	36,722,814
Facultativas	3,845,440	6,001,759	9,127,085	10,752,825	14,975,995

Figura 5.5.1 Gastos totales de lagunas para un tiempo de 20 años con una tasa de interés de 12% en valor presente



Teniendo en cuenta esta gráfica se puede interpretar que siempre conviene utilizar lagunas de estabilización en vez de lagunas aereadas, no se cumple siempre este proceder ya que se menciona en la bibliografía que se utilizará como mínimo 1 hectárea por cada 10 L/s de agua residual a tratar por medio de lagunas facultativas, esto significa que con grandes gastos de agua residual se ocupará mucho terreno y no siempre se puede disponer de el.



## **Referencias** □□□□

### **.... Capítulo cinco**

- 5.1. CNA. 1996. Diseño de lagunas de estabilización.
- 5.2. Romero Rojas Jairo. 1999. Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización. Alfa-omega 3era edición.

**Ejemplo de  
aplicación**



**Capítulo seis**

6.1 CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO NATURAL Y SOCIOECONÓMICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

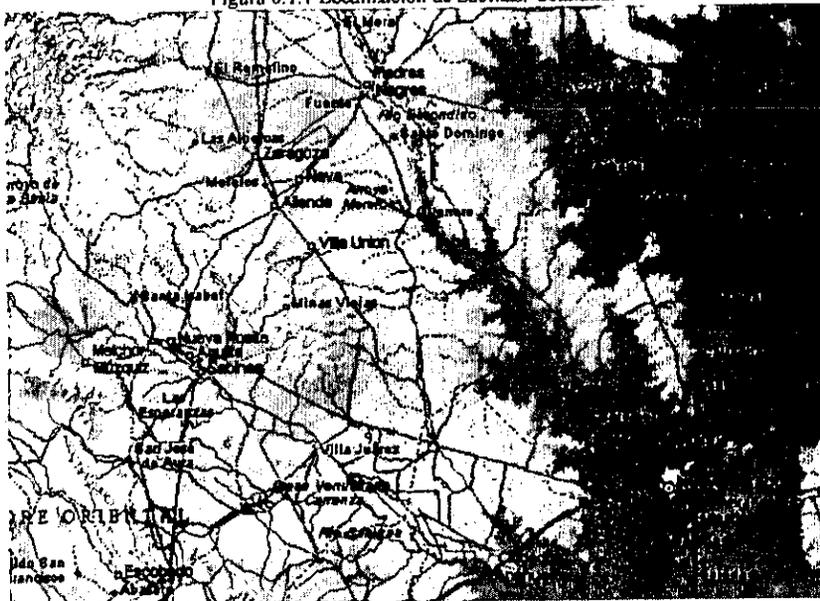
6.1.1 Medio físico

El municipio de Sabinas Coahuila, limita al Norte con el municipio de Morelos, al Sur con Progreso, al Este con los municipios de Villa Unión y Juárez y al Oeste con los municipios de San Juan de Sabinas y Múzquiz. Se encuentra a 113 Km. de la frontera más cercana, Piedras Negras, y a 55 Km. de la presa más cercana, Venustiano Carranza.

Localización de Sabinas, Coahuila.

Ubicado al noreste del estado de Coahuila se encuentra en una región plana, a una latitud 28° 15' a 27° 38' Norte y a una longitud 100° 54' a 101° 22' Oeste. Tiene una altitud de 330 metros sobre el nivel del mar. A continuación se presenta el mapa de localización de Sabinas en la siguiente figura.

Figura 6.1.1 Localización de Sabinas, Coahuila.



Fuente: Atlas Mundial. 1997. Encarta

Climatología

En cuanto a su clima, predomina el desértico extremoso con lluvias durante el verano, aunque muy escasas. En la sierra es semidesértico o estepario, con lluvias un poco más abundantes que en las restantes regiones.

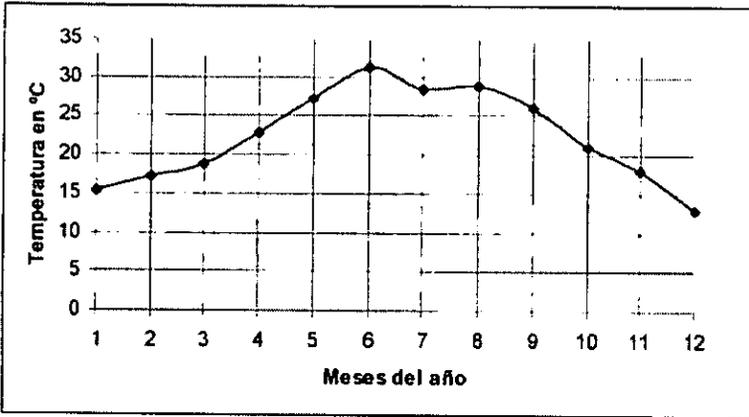
En cuanto a temperaturas registradas, para el mismo periodo de 1943 a 1998 se registraron las siguientes temperaturas.

Tabla 6.1.1 Temperaturas promedio de 1943 a 1998 en la estación de Sabinas

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
15.4	17.1	18.8	22.9	27.4	31.4
Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
28.6	28.9	26.1	21.1	18	13

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2000.  
 Datos Estadísticos del municipio de Sabinas.

Figura 6.1.2 Temperaturas promedio de 1943 a 1998 en la estación Sabinas



Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2000.  
 Datos Estadísticos del municipio de Sabinas.

Temperatura promedio de 22.4° C

## Hidrología

La Precipitación promedio de las años 1943 a 1998 en milímetros se muestran en la tabla 6.12!

Tabla 6.1.2 Precipitaciones promedio de 1943 a 1998 en la estación de Sabinas

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
127	136	122	329	677	617
Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
433	511	844	443	160	119

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2000.  
 Datos Estadísticos del municipio de Sabinas.

La precipitación promedio es de 376.5 mm.

En la tabla 6.1.3. se presentan las evaporaciones de la presa Venustiano Carranza a 55 km. de la localidad de Sabinas.



Tabla 6.1.3. Evaporaciones medias históricas de la Presa Venustiano Carranza (Sabinas Coahuila).

Año	Mes mas Caliente Diciembre	Mes mas frío Junio	Unidad	Año	Mes mas Caliente Diciembre	Mes mas frío Junio	Unidad
1930	54	168	mm/mes	1966	42	174	mm/mes
1931	2	166	mm/mes	1967	48	189	mm/mes
1932	40	248	mm/mes	1968	69	182	mm/mes
1933	76	180	mm/mes	1969	34	211	mm/mes
1934	40	281	mm/mes	1970	59	172	mm/mes
1935	-17	50	mm/mes	1971	43	-125	mm/mes
1936	41	215	mm/mes	1972	56	53	mm/mes
1937	23	197	mm/mes	1973	87	83	mm/mes
1938	34	214	mm/mes	1974	174	194	mm/mes
1939	49	209	mm/mes	1975	68	197	mm/mes
1940	21	-111	mm/mes	1976	-8	213	mm/mes
1941	20	100	mm/mes	1977	77	215	mm/mes
1942	60	193	mm/mes	1978	48	141	mm/mes
1943	11	140	mm/mes	1979	54	126	mm/mes
1944	11	161	mm/mes	1980	34	269	mm/mes
1945	52	203	mm/mes	1981	62	18	mm/mes
1946	103	115	mm/mes	1982	30	140	mm/mes
1947	76	152	mm/mes	1983	51	109	mm/mes
1948	52	98	mm/mes	1984	25	219	mm/mes
1949	-3	115	mm/mes	1985	21	163	mm/mes
1950	59	118	mm/mes	1986	-26	5	mm/mes
1951	84	154	mm/mes	1987	62	139	mm/mes
1952	93	213	mm/mes	1988	56	185	mm/mes
1953	102	332	mm/mes	1989	20	211	mm/mes
1954	92	208	mm/mes	1990	70	216	mm/mes
1955	51	189	mm/mes	1991	-45	124	mm/mes
1956	83	278	mm/mes	1992	4	74	mm/mes
1957	48	202	mm/mes	1993	4	98	mm/mes
1958	23	173	mm/mes	1994	60	189	mm/mes
1959	107	218	mm/mes	1995	54	168	mm/mes
1960	4	208	mm/mes	1996	-2	166	mm/mes
1961	61	172	mm/mes	1997	40	248	mm/mes
1962	43	196	mm/mes	1998	76	180	mm/mes
1963	26	198	mm/mes				
1964	76	235	mm/mes	prom mes	45.57	164.10	mm/mes
1965	0	189	mm/mes	prom dia	1.45	5.47	mm/d

Fuente: CNA. Gerencia de Distritos de Riego y Unidades de Riego.

### Hidrografía

El municipio se encuentra en la región hidrológica RH-24 "Sabinas".

#### Cuerpos de Agua

- P. El Indio Ubicación RH24Dg
- B. Charco Redondo Ubicación RH24De
- B. Nuevo Ubicación RH24De
- B. Bustamante Ubicación RH24De

6.1.2 Medio socioeconómico

**Economía**

En lo que respecta a la agricultura, sus cultivos principales son el algodón, trigo, maíz, además de otros como la alfalfa verde, el cártamo, la papa y el sorgo. Es un estado con vocación ganadera: se cría ganado bovino para abasto de carne y leche. La cría de ganado en los municipios del norte tiene como finalidad principal la exportación. También cuenta con una gran región carbonífera, por lo que parte de la población se dedica a la minería.

**Servicios**

Se cuanta en la localidad una aportación de 250 L/hab d y el 88% de las descargas de agua residual generada en la localidad están conectadas a los emisores.

**Población**

La población actual del municipio es de 52,386 habitantes siendo el de la localidad de 46,938 hab. conformando el 88% de la población municipal.

Los datos estadísticos municipales de 1950 al 2000 se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 6.1.4 Estadísticas del municipio de Sabinas, Coahuila 1950-2000

ANO X	POBLACIÓN Y
1950	20588
1960	25675
1970	29194
1980	39515
1990	47030
1995	51129
2000	52386

Fuente: INEGI, 2000, Estadísticas del estado de Coahuila

Por medio de regresión lineal se obtiene la siguiente ecuación, la cual muestra el crecimiento del municipio.

$$Y = 683.6778 X - 1,314,286.0512 \quad (6.1)$$

Donde:

- X = El año que se desea pronosticar.
- Y = La población pronosticada (hab).

Ya que solo se cuenta con los datos municipales se proyecta la población a 20 años y luego se divide por la parte proporcional de la población local siendo esta el 88% de la población municipal.

Tabla 6.1.5 Modelo de crecimiento en Sabinas, Coahuila

Año	Población municipio	Población localidad	Población con drenaje	gasto L/s
2000	52,386	46,938	41,446	119.93
2001	53,753	48,163	42,528	123.06
2002	54,437	48,775	43,069	124.62
2003	55,121	49,388	43,610	126.19
2004	55,804	50,001	44,151	127.75
2005	56,488	50,613	44,691	129.32
2006	57,172	51,226	45,232	130.88
2007	57,855	51,838	45,773	132.45
2008	58,539	52,451	46,314	134.01
2009	59,223	53,064	46,855	135.58
2010	59,906	53,676	47,396	137.14
2011	60,590	54,289	47,937	138.71
2012	61,274	54,901	48,478	140.27
2013	61,957	55,514	49,019	141.84
2014	62,641	56,126	49,560	143.40
2015	63,325	56,739	50,101	144.97
2016	64,008	57,352	50,641	146.53
2017	64,692	57,964	51,182	148.10
2018	65,376	58,577	51,723	149.66
2019	66,059	59,189	52,264	151.23
2020	66,743	59,802	52,911	153.09

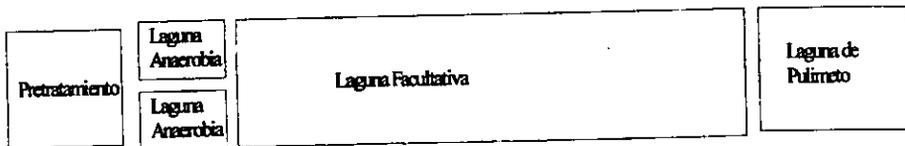
Esta tabla muestra que para el año 2020 habrá 59,805 hab. en la localidad de Sabinas, esto significa que solo habrá crecido un 27% de la cantidad de población actual.

## 6.2 GASTOS DE DISEÑO

### 6.2.1 Diagrama de Flujo

Se presenta a continuación el diagrama de flujo (fig 6.2.1), el cuales representa la combinación de las operaciones y procesos unitarios utilizados para tratar las aguas residuales para riego agrícola.

Figura 6.2.1 Diagrama de Flujo



### 6.2.2 Gastos de Diseño

Para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales es necesario conocer los gastos con los cuales se proyectará la misma (gasto medio, mínimo, máximo instantáneo y máximo extraordinario), el gasto más importante de estos es el gasto medio ya que es el gasto base que se utiliza para el diseño de todos los elementos de la planta. La planta debe cumplir para los casos extremos, es decir, se diseña para el gasto medio y se revisa para el máximo extraordinario,

### Ejemplo de aplicación

---

De los datos generales

Población de proyecto = 52911 hab.

Coefficiente de aportación = 0.8

La dotación es 312.5 l/hab/día

#### Gasto medio de aguas Residuales ( $Q_m$ )

El gasto medio representa como su nombre lo indica, la cantidad de agua media por unidad de tiempo que llega del emisor a la planta.

Datos

Fórmula

a = aportación

Pp = población de proyecto

86400 segundos que tiene un día

$$Q_m = P_p * a / 86400$$

$$\frac{52911 * 312.5 * 0.8}{86400} = 153.09 \text{ l/s}$$

El gasto  $Q_m = 153.09$  l/s, será el gasto de diseño del proceso de tratamiento ya que se cantará con tanque de igualación.

#### Gasto mínimo ( $Q_{\min}$ )

El gasto mínimo representa la cantidad de agua residual mínima que puede llegar a la planta.

$$Q_{\min} = \frac{1}{2} Q_m$$

$$Q_{\min} = 0.5(150) = 76.54 \text{ l/s}$$

#### Gasto máximo instantáneo

Se define como el gasto medio por el coeficiente de mayoración de Harmon y este coeficiente está en función de la población.

Variables

Fórmula

M = Coeficiente de mayoración de Harmon

p = Población en miles de hab

$$Q_M = M * Q_m$$

$$M = \frac{1 + 14}{4 + \sqrt{p}} = 2.241$$

$$M = 1 + 14 / (4 + \text{raiz}(p))$$

$$Q_M = (2.24) * (150) = 343.21 \text{ l/s}$$

#### Gasto máximo extraordinario ( $Q_{ME}$ )

Es la condición más crítica que se puede presentar. Este gasto se define como el gasto máximo instantáneo por el coeficiente de previsión el cual es un factor de seguridad

Variables

CP = Coeficiente de previsión generalmente 1.5

Fórmula

$$Q_{ME} = CP * Q_M$$

$$Q_{ME} = 1.5(343.21) = 514.82 \text{ l/s}$$



**6.2.3 Muestreo del agua residual**

Para diseñar un planta de tratamiento de aguas residuales es necesario conocer la calidad del agua del influente, para esto se tiene que tomar muestras compuestas para determinar los diferentes contaminantes que pudiese llegar a tener el agua. Una vez conocidos estos parámetros se pueden determinar las características que debe de contener las lagunas, para tener la mayor eficiencia en su remoción. El muestreo se lleva a cabo haciendo las siguientes consideraciones:

Se toma la muestra en un punto de un colector donde existe un buen mezclado de las aguas residuales, se excluyen todo tipo de partículas grandes (mayores a 6 mm) y los sedimentos así como crecimientos de plantas y material flotante y se empleo refrigeración en las muestras ya que el laboratorio.

El tipo de muestreo debe ser de muestras compuestas, ya que hacen tomas instantáneas Para elaborar una muestra compuesta de 3 litros para cada día del muestreo

$$\frac{3000 \text{ ml}}{\Sigma \text{ caudales}} = \frac{x}{\text{caudal}}$$

En donde x es la cantidad en ml de la muestra instantánea para preparar una muestra compuesta caudal es el gasto que hay en el momento de tomar la muestra instantánea A cada muestra x se le miden la temperatura, pH y la conductividad eléctrica. Una vez que se obtienen estos valores, se calculan las medias ponderadas de acuerdo al caudal de cada muestra. A partir de las medias ponderadas de los tres se calculan las medias aritméticas.

**Resultados del Agua Residual**

Ya que para el ejemplo de Sabinas no se cuenta con el análisis de estas aguas municipales se utilizara la tabla 6.2.1

Tabla 6.2.1 características de calidad de agua residual para poblaciones mexicanas mayores a 10,000 hab.

Parámetro	Media
concentración en mg/l (excepto donde se indique)	
pH (unidades pH)	7.5
T°C (temperatura)	21.6
DBO (demanda bioquímica de oxígeno)	243.7
DQO (demanda química de oxígeno)	508
Ssed (sólidos sedimentables)	5
G y A (grasas y aceites)	81.5
ST (sólidos totales)	1191
SST (sólidos suspendidos totales)	210.8
SDT (sólidos disueltos totales)	981.4
SSV (sólidos volátiles suspendidos)	139.9
SSF (sólidos suspendidos fijos)	96.8
SDV (sólidos disueltos volátiles)	340.2
SDF (sólidos disueltos fijos)	654.5
Color (unidades pt-Co)	214.7
Coliformes (NMP/100 ml)	6.00E+08
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	1.60E+08
N-NO3 (nitratos)	0.5
Fenoles	0.1
N-NH3 (amoníaco)	19.3
N- total (nitrogeno total)	39.3

## Ejemplo de aplicación

N2 oxígeno (nitrogeno orgánico)	17.2
N-NO2 (nitritos)	0.5
Cloro (Cl)	140.8
P-PO4 (fosfatos totales)	23
P total (fosforo total)	17
P orgánico (fosforo orgánico)	3
P inorganico (fosforo inorgánico)	8.8
Alcalinidad (CaCO3)	323.2
C.E. (conductividad electrica mhos/cm)	1558.1
S.A.A.M (detergentes)	13.5
SO4 (sulfatos)	241.8
RAS (relación de adsorción de sodio)	5.1
Boro	3.1

Fuente: Athié, 1987. Contaminación del agua en México

### Calidad Requerida del efluente de la planta de tratamiento

La NOM-001-ECOL-1996 establece los máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, esta norma tiene las siguientes especificaciones.

1. Establece la concentración de contaminantes básicos y tóxicos para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales.
2. El límite máximo permisible para la concentración de contaminantes patógenos para las descargas de aguas residuales vertidas a cuerpos es de 1000 y 2000 el número más probable de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario, respectivamente.

Fecha del cumplimiento para el caso de la población de Sabinas, Coahuila, por tener una población de 47,000 hab. es 1 de enero del 2005. Las lagunas de estabilización descargaran el efluente a campos de cultivo, la normatividad a cumplir es la siguiente

Tabla 6.2.2 Norma NOM-001-ECOL-1996. Parámetros a cumplir para riego agrícola

PARAMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	SUELO	
	Uso en riego agrícola (A)	
	P.M.	P.D.
Materia	au-	au-
Flotante	sen-	sen-
Grasas y Aceites	15	25
Arsénico	0.2	0.4
Cadmio	0.5	0.1
Cianuro	2	3
Cobre	4	6
Cromo	0.5	1
Mercurio	0.005	0.01
Níquel	2	4
Plomo	5	10
Zinc	10	20

Fuente: NOM-001-ECOL-1996

6.3 PRETRATAMIENTO

El pretratamiento sirve para remover sólidos flotantes grandes y arenas, de esta manera se protegen los equipos posteriores y se mantienen limpias las lagunas.

Figura 6.3.1 Diagrama de flujo del pretratamiento a emplear



6.3.1 Canal de llamada

El canal de llamada es el canal que sirve de transición del emisor al módulo de pretratamiento

Datos:

Población 52911 hab.  
Aportación 250 L/hab.día

Consideraciones de diseño:

No. de canales: 1  
Tipo de flujo: Horizontal canal rectangular  
Material: Concreto,  $n = 0.013$

Cálculo de los gastos de diseño

$Q_{med} = P A / 86400$	$Q_{med} = 153.0989583$	L/s
$Q_{min} = 0.5 Q_{med}$	$Q_{min} = 76.54947917$	L/s
$Q_{max} = (1 + 14/4 + (P)^{1/2}) Q_{med}$	$Q_{max} = 343.2166104$	L/s
$Q_{maxext} = 1.5 Q_{max}$	$Q_{maxext} = 514.8249157$	L/s

Se elige una velocidad con el rango de velocidades admisibles ( $0.3 < V < 0.6$  m/s)

$V = 0.3$	m/s
$A = Q_{min} / V$	$A = 0.255164931$ m <sup>2</sup>

Se supone un ancho de canal

$b = 1.8$	m
$t_1 = A / b$	$t_1 = 0.141758295$ m

Se calcula la pendiente con Manning

$RH = A / P$	$RH = 0.122468394$	m
$So = (Vn/RH^{2/3})^2$	$So = 0.00025009$	m

Se calculan los tirantes para los demás gastos iterando

$t_2 = 0.22129$  m  
 $t_3 = 0.378542$  m  
 $t_4 = 0.500757$  m

Se revisan las velocidades con Manning

$V = 1/n (So)^{1/2} (RH)^{2/3}$

## Ejemplo de aplicación

Tabla 6.3.1 velocidades y gastos del canal de llamada

GASTO	Q (L/s)	V (m/s)
mínimo	76.54947917	0.3
medio	153.0989583	0.384381791
máximo	343.2166104	0.503732101
máximo extraordinario	514.8249157	0.571184479

Revisión del flujo para evitar turbulencias

$$t_c = (q^2/g)^{1/3}$$

$$t_{c1} = 0.056914574 \text{ m}$$

$$t_{c2} = 0.090346254 \text{ m}$$

$$t_{c3} = 0.154753635 \text{ m}$$

$$t_{c4} = 0.202784629 \text{ m}$$

Tabla 6.3.2 Resumen de los parámetros del canal de llamada

GASTO	Q (L/s)	V (m/s)	T normal (m)	T crítico (m)
Mínimo	76.54947917	0.3	0.141758295	0.056914574
Medio	153.0989583	0.384381791	0.22129	0.090346254
Máximo	343.2166104	0.503732101	0.378542	0.154753635
máximo extraordinario	514.8249157	0.571184479	0.500757	0.202784629

Bordo libre BL = 0.5 m

### 6.3.2 Rejillas

Las rejas se diseñan con el propósito de evitar el atascamiento de sólidos gruesos en los equipos electromecánicos, principalmente en bombas.

#### Consideraciones de diseño:

No de rejillas: 1

Tipo de limpieza: manual

Material : ángulos y barras de acero al carbón

Ancho 1/2"

Profundidad 1"

Barras rectangulares con aristas afiladas

Separación entre barras 1"

Inclinación de la reja 60°

#### Pérdida

$$h = (V_2 - v_2) / 2g \quad (1/0.7)$$

$$V = Q (s+w / As)$$

$$h = 0.029689769 \text{ m}$$

$$V = 0.856744415 \text{ m/s}$$

cumple < 15 cm

#### Número de barras

$$n = b / s + w$$

$$n = 47.24409449$$

Tablas 6.3.3 Dimensiones de las rejillas

47 barras de 1.27 cm de ancho	59.69
46 separaciones de 2.54 cm	116.84
2 espacios laterales de 1.735 cm	3.47
Suma	180

oo

**Longitud**

$$l = h / \text{sen } q$$

$$h = t4 + BL$$

$$h = 1 \text{ m}$$

$$l = 1.154700538 \text{ m}$$

**6.3.3 Canal Parshall**

Se empleará como dispositivo de medición de caudales un canal Parshall; ya que su forma no permite la acumulación de sólidos en parte alguna del canal (Ver anexo IV).

Las dimensiones de los aforadores Parshall están estandarizadas y son función del gasto de diseño; al ser el gasto máximo un dato, simplemente se ha seleccionado el Parshall adecuado.

Siguiendo las estandarizaciones mencionadas se ha seleccionado el canal Parshall adecuado para el multiaforador. Se escoge un canal Parshall (Ackers) de las siguientes dimensiones

Tabla 6.3.4 Características del canal Parshall

Ancho de garganta w (mm)	Intervalo de descarga		Ec del gasto	Intervalo de carga hidráulica		Límite modular hw/h
	Qmin (L/s)	Qmax (L/s)	Q (m3/s) h (m)	Min h (m)	Max h (m)	
457.2	4.8	695	1.0560 h <sup>1.538</sup>	0.03	0.76	0.7

W	A	B	C	D	E	L	G	K	M	N	P	X	Y
457.2	1448	1419	762	1026	914	610	914	76	381	229	1676	51	76

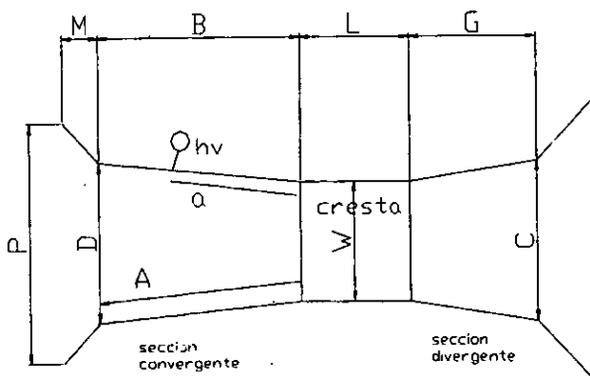
Nota : medidas en milímetros

**Longitud total del Parshal**

$$M+B+L+G = 3324 \text{ mm}$$

La estructura será construida con muros de tabique rojo recocido, aplanados con mezcla de mortero cemento a razón 1:5:1 y firme de concreto. Las dimensiones y especificaciones de construcción del canal Parshall se presentan en los anexos 3.2.5 y 3.2.6

Figura 6.3.2 Planos para el canal Parshall



Parshall en planta. (Ackers, 1978).

## Ejemplo de aplicación

### 6.3.4 Desarenador

El desarenador es parte importante del sistema de tratamiento primario pues es ahí donde se separa la arena del material orgánico que vienen en el agua residual, esto para evitar depósitos de arena en tanques de aireación, taponamiento de tuberías, desgaste de rastras en sedimentadores y el desgaste en general del equipo mecánico y electromecánico. El objetivo es separar minerales de hasta 0.2 mm de diámetro con densidad de 2650 kg/m<sup>3</sup>, este último valor corresponde a arenas muy finas, como la ceniza volcánica, etc.

Se diseñará un desarenador tipo canal de flujo horizontal para remover partículas de 0.2 mm o más, y densidad específica de 2.65.

#### Datos:

$Q_{med}$ =	153.0989583	L/s
$Q_{min}$ =	76.54947917	L/s
$Q_{max}$ =	343.2166104	L/s
$Q_{max_{ext}}$ =	514.8249157	L/s

#### Consideraciones de diseño:

Canal de flujo horizontal de sección rectangular de concreto armado  $n = 0.013$   
 Número de canales: 1 en limpieza y 2 en operación  
 Se dividirá el gasto en dos para que operen por igual ambos canales

#### Características de las partículas a remover:

Diámetro promedio	$D = 0.21$	mm
Grv. Específica	$GE = 2.65$	

Se fija una velocidad mínima en el canal y se calcula el área hidráulica correspondiente. Para las condiciones críticas, se utiliza  $Q_{max_{ext}} / 2$

$Q_{max_{ext}} / 2$	= 257.4124578	L/s
Velocidad	$V = 0.3$	m/s
$A = Q / V$	$A = 0.858041526$	m <sup>2</sup>

Se calcula el tirante para este gasto, suponiendo un ancho de canal

Ancho de canal	$b = 1.8$	m
$t_4 = A / b$	$t_4 = 0.476689737$	m

Se calcula la pendiente con Manning

$RH = A / P$	$RH = 0.311632136$	m
$So = (Vn/RH^{2/3})^2$	$So = 7.19901E-05$	m

Se calculan los tirantes para los demás gastos iterando

Para $Q_{max} / 2$	$t_3 = 0.360847$	m
Para $Q_{med} / 2$	$t_2 = 0.211372$	m
Para $Q_{min} / 2$	$t_1 = 0.135569$	m

Se revisan las velocidades

$$V = Q / A$$

Tabla 3.3.5 Revisión de las velocidades en el desarenador

GASTO	Q (L/s)	V (m/s)		
minimo / 2	38.27473958	0.156848131	< 0.3 m/s	OK
medio / 2	76.54947917	0.20119736	< 0.3 m/s	OK
maximo / 2	171.6083052	0.264206013	< 0.3 m/s	OK
maximo extraordinario / 2	257.4124578	0.3	< 0.3 m/s	OK

oo

**Revisión del flujo para evitar turbulencias**

$tc = (q^2/g)^{1/3}$

- $tc_1 = 0.000918153 \text{ m}$
- $tc_2 = 0.001083952 \text{ m}$
- $tc_3 = 0.001299842 \text{ m}$
- $tc_4 = 0.001414738 \text{ m}$

Tabla 3.3.6 Resumen de las características del desarenador

GASTO	Q (L/s)	V (m/s)	T normal (m)	T crítico (m)
minimo / 2	38.27473958	0.156848131	0.135569	0.000918153
medio / 2	76.54947917	0.20119736	0.211372	0.001083952
maximo / 2	171.6083052	0.264206013	0.360847	0.001299842
maximo extraordinario / 2	257.4124578	0.3	0.476689737	0.001414738

**Cálculo del área superficial**

- Diámetro promedio  $D = 0.21 \text{ mm}$
- Grv. Especifica  $GE = 2.65$
- Carga superficial  $CS = 1890 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$
- $As = 11.76742664 \text{ m}^2$

**Longitud teórica**

$L = As / b \qquad L = 6.537459246 \text{ m}$

**Longitud real**

- Debe estar en el rango  $2D \text{ ---- } 0.5L$
- Si  $D = t_4 \qquad D = 0.476689737 \text{ m}$
- $2D = 0.953379473$
- $0.5L = 3.268729623$

Se escoge 3.0 m      Para el diseño se escoge:

- $L = 14 \text{ m}$
- $L = 3 \text{ m}$
- $Lt = 20 \text{ m}$

**Tiempos de retención**

Debe estar en el rango 45 --- 90 s

- $tr_4 = Vol / Q$
- $tr_4 = 89.25831599 \checkmark$
- $tr_3 = 69.58341791 \checkmark$
- $tr_2 = 52.98895289 \checkmark$
- $tr_1 = 46.66666667 \checkmark$

**Cantidad de arenas**

- Rango 0.0037 ---- 0.2  $\text{m}^3$  de arena / 103  $\text{m}^3$  de agua
- Se escoge 0.015  $\text{m}^3$  / 103  $\text{m}^3$
- Cantidad diaria de arena  $Cant = 333.6065453 \text{ m}^3 / \text{dia}$
- Limpieza semanal  $Vol_{camara} \qquad Vol \text{ cam} = 2335.245817 \text{ m}^3$
- altura de la cámara  $h = Vol_{cam}/b*L \qquad h = 92.66848482 \text{ m}$
- se recomienda de altura  $h = 1.5 \text{ m}$

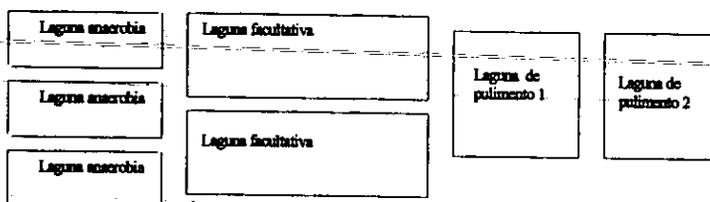
## Ejemplo de aplicación

### 6.4 TRATAMIENTO

El tratamiento de las aguas residuales será de tipo biológico por medio de lagunas de estabilización. Tiene como misión primordial la remoción de coliformes fecales, así como la estabilización de la materia orgánica, esto se consigue biológicamente utilizando una variedad de microorganismos, principalmente bacterias.

El arreglo de lagunas que se propone es el siguiente: 2 anaerobias en paralelo y una de reserva + 2 facultativas en paralelo + varias lagunas de pulimento conectadas en serie hasta obtener los parámetros deseados.

Figura 6.4.1 Arreglo de lagunas para el tratamiento de aguas residuales municipales



#### 6.4.1 Laguna Anaerobia

En estos procesos se produce la descomposición de la materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno.

##### Datos de entrada

Q =	13226.976	m <sup>3</sup> /d
DBO =	243.7	mg/l
CFe =	1.60E+08	nmp
T diseño =	13	°C
Tasa evap =	1.45	mm/d
Población =	52911	habitantes
H de Helminto	600	H/L

##### Se dividiendo el caudal en dos

Q =	6613.488	m <sup>3</sup> /d
DBO =	243.7	mg/l
CFe =	1.60E+08	Nmp
T diseño =	13	°C
Tasa evap =	1.45	mm/d
Población =	26456	Habitantes
H de Helminto	600	H/L

#### Cálculo de la Laguna Anaerobia

Para la anaerobia se calcula con el modelo de Mara y Pearson

Carga volumétrica

$$Cv = 20 T - 100 \quad Cv = 160 \quad g/m^3 d$$

Volumen de la laguna anaerobia

$$V = S_i Q / C_v \quad V = 10073.17 \quad m^3$$

Se considera una profundidad de 4 metros

Area de la laguna anaerobia

$$A_{an} = V/h \quad A_{an} = 2518.29 \quad m^2$$

Considerando que se acumula (40 L/persona d) de lodos

$$VL = 40 (\text{Población proyecto})$$

$$VL = 1058220.00 \quad L$$

$$VL = 1058.22 \quad m^3$$

Considerando una profundidad adicional para el lodo de 0.8 metros

Ahora la profundidad es 4.8 y el área total de la laguna anaerobia es

$$A_t = (VL + V) / h \quad A_t = 2319.04 \quad m^2$$

Si la relación X (L/W) es 1

$$W = \text{raiz} (A_t/x) \quad W = 48.16 \quad m$$

$$L = W X \quad L = 48.16 \quad m$$

El tiempo de retención es

$$O = V / Q \quad O = 1.52 \quad d$$

La remoción de DBO esta dado por

$$R = 2T + 20 \quad R = 46 \quad \%$$

Por lo que la BDO del efluente será

$$BDO_e = BDO_i (1 - \text{remoción}/100)$$

$$BDO_e = 131.60 \text{ mg/l}$$

Calculo de la remoción de coliformes

Constante de decaimiento

$$K_{cf} = 0.841(1.07)^{(T-20)} \quad K_{cf} = 0.5237$$

Calculo de la dispersión

$$d = \frac{X}{-0.26118 + 0.25392 X + 1.01460 X^2} \quad d = 0.9927$$

$$a = (1 + 4 K_{cf} O d)^{0.5} \quad a = 2.0415$$

$$CF_e = \frac{CF_i(4)(a)e^{1/2a}}{(1+a)^2 e^{a/2d} - (1-a)^2 e^{-a/2d}}$$

$$CF_e = 83,588,066.92 \text{ NMP}/100 \text{ ml}$$

Condiciones del efluente

Porcentaje de remoción de huevos de Helminto

$$RHH = 100 (1 - 0.4^{(-0.38 O + 0.0085 O^2)})$$

$$RHH = 42.21 \quad \%$$

Huevos Helminto = (1 - RHH/100) Numero de huevos

$$HH = 347$$

## Ejemplo de aplicación

Gasto en la salida  $Q_n = Q - (.001 e A)$   
 $Q_n = 6609.83 \text{ m}^3/\text{d}$

De las operación que se indican en los anexos de la memoria de calculo se tiene como resultado:

Carga Orgánica removida	112.10	mg/L
Tiempo de Retención	1.5	dias
Área de la laguna	2518.29	m <sup>2</sup>
Profundidad	4.8	m
Volumen dela laguna	11131.39	m <sup>3</sup>
Ancho	48.16	m
Largo	48.16	m
Relación X	1	
Carga org. sup. remanente	131.60	mg/L
Huevos de Helminto	347	H Helminto
CFe	83,588,067	NMP/100 ml
Gasto de Salida $Q_n$	6,609.83	m <sup>3</sup> /d

### 6.4.2 Laguna Facultativa

Estos son los procesos de tratamiento biológico, que se dan en una zona en presencia de oxígeno, y en otra en ausencia de esta, los microorganismos responsables del proceso se mantienen en suspensión dentro del líquido.

Datos de Entrada

$Q_n =$	6609.83	m <sup>3</sup> /d
DBO =	131.60	mg/l
CFe =	8.36E+07	nmp
T diseño =	13	°C
Tasa evap =	1.45	mm/d
H Helminto =	347	H/L

### Calculo de las Lagunas Facultativas

Carga de diseño por el metodo de Yánez

$$C_s = 250(1.085)^{(T-20)} \quad C_s = 141.23 \text{ kg DBO/ ha d}$$

La carga removida es

$$C_{sr} = 0.765C_s - 0.8 \quad C_{sr} = 107.24 \text{ kg DBO/ ha d}$$

Obteniendo el área de la laguna facultativa

$$A_f = S_i Q / (1000 C_s) \quad A_f = 6.16 \text{ ha}$$

$$A_f = 61589.67 \text{ m}^2$$

Si consideramos una profundidad de 2 metros

$$V = h A \quad V = 123179.35 \text{ m}^3$$

Si se considera una relación X de

$$W = \text{raiz} (A_f / X) \quad W = 110.99 \text{ m}$$

$$L = W X \quad L = 554.93 \text{ m}$$



Calculando el tiempo de retención

$$O = 2 A h / (2Q - 0.001 A f e)$$

$$O = 18.65 \text{ d}$$

Calculo de la remoción de coliformes

Constante de decaimiento

$$K_{cf} = 0.841(1.07)^{(T-20)} \quad K_{cf} = 0.5237$$

Calculo de la dispersión

$$d = \frac{X}{-0.26118 + 0.25392 X + 1.01460 X^2}$$

$$d = 0.1896$$

$$a = (1 + 4 K_{cf} O d)^{0.5} \quad a = 2.8994$$

$$C_{Fe} = \frac{C_{Fi}(4)(a)e^{-(1-a/2d)}}{(1+a)^2} \quad C_{Fe} = 425,574.67 \text{ NMP/100 ml}$$

Condiciones del efluente

Restando la carga superficial con la carga superficial removida  
Obtenemos la carga superficial soluble

$$C_{ss} = 1000 (C_s - C_{rs}) A / Q \quad C_{ss} = 31.67 \text{ mg/l}$$

Asi obtenemos la Carga orgánica superficial remanente

$$S_{et} = 2 C_{ss} \quad S_{et} = 63.34 \text{ mg/l}$$

Porcentaje de remoción de huevos de Helminto

$$R_{HH} = 100 (1 - 0.4^{(-0.38 O + 0.0085 O^2)})$$

$$R_{HH} = 99.99 \%$$

Huevos Helminto = (1 - RHH/100) Numero de huevos

$$HH = 0$$

Gasto en la salida

$$Q_n = Q - (.001 e A)$$

$$Q_n = 6520.428051 \text{ m}^3/\text{d}$$

**Resultado para ambas lagunas de maduración**

Carga Orgánica superficial	141.23	kg DBO/ha d
Carga Orgánica removida	107.24	kg DBO/ha d
Tiempo de Retención	18.65	dias
Área de la laguna	6.16	ha
Profundidad	2.00	m
Volumen de la laguna	123,179.35	m <sup>3</sup>
Ancho	110.99	m
Largo	554.93	m
Relación X	5	
Carga orgánica soluble	31.67	mg/L
Carga org. sup. remanente	63.34	mg/L
Huevos de Helminto	0	H Helminto
Cfe	425,575	NMP/100 ml
Gasto de Salida Qn	6,520.43	m <sup>3</sup> /d

## Ejemplo de aplicación

### 6.4.3 Laguna de Pulimento

Estas lagunas funcionan muy parecido a las facultativas pero su principal función es la desinfección de las aguas residuales destruyendo patógenos, virus, parásitos y demás organismos perjudiciales.

Datos de entrada de la 1er laguna pulimento

Qn =	13040.9	m <sup>3</sup> /d
DBO =	63.34	mg/l
CFe =	4.26E+05	nmp
T diseño =	13	°C
Tasa evap =	1.45	mm/d
Población =	52805	habitantes

#### Calculo de Pulimento 1

Se proponen 5 días de retención

Calculando el volumen de la laguna de maduración

$$V = O Q \quad V = 65204.28051 \text{ M}^3$$

Asumiendo una profundidad 1.5m

Entonces el área de la laguna de maduración es

$$A = V / h \quad A = 4.35 \text{ ha}$$

$$A = 43469.52 \text{ m}^2$$

Si se considera una relación X de 3.2

$$W = \text{raiz} (A/x) \quad W = 116.55 \text{ m}$$

$$L = W X \quad L = 372.96 \text{ m}$$

Se revisa la carga sobre la laguna de pulimento para evitar sobrecarga

$$C_s = S_i Q / (1000 A_m) \quad C_s = 190.03 \text{ kg DBO/ ha d}$$

La carga removida es

$$C_{sr} = 0.765 C_s - 0.8 \quad C_{sr} = 144.57 \text{ kg DBO/ ha d}$$

Calculo de la remoción de coliformes

Constante de decaimiento

$$K_{cf} = 0.841(1.07)^{(T-20)} \quad K_{cf} = 0.5237$$

Calculo de la dispersión

$$d = \frac{X}{-0.26118 + 0.25392 X + 1.01460 X^2}$$

$$d = 0.29248$$

$$a = (1 + 4 K_{cf} O d)^{0.5} \quad a = 2.01585$$

$$CF_e = \frac{CF_i(4)(a)e^{(1/2a)}}{(1+a)^2 e^{(a/2d)} - (1-a)^2 e^{(-a/2d)}}$$

$$CF_e = 66,447.43 \text{ NMP/100 ml}$$

Condiciones del efluente

Restando la carga superficial con la carga superficial removida  
 Obtenemos la carga superficial soluble

$$C_{ss} = 1000 (C_s - C_{rs}) A / Q \quad C_{ss} = 15.15 \text{ mg/l}$$

Asi obtenemos la Carga organica superficial remanente

$$S_e = 2.3 C_{ss} \quad S_e = 34.85 \text{ mg/l}$$

Porcentaje de remoción de huevos de Helminto

$$R_{HH} = 100 (1 - 0.4^{(-0.38 O + 0.0085 O^2)})$$

$$R_{HH} = 85.57 \%$$

Huevos Helminto = (1 - RHH/100) Numero de huevos

$$HH = 0$$

Gasto en la salida  $Q_n = Q - (.001 e A)$

$$Q_n = 12,977.76 \text{ m}^3/\text{d}$$

**Resultados de la 1er laguna de pulimento**

Carga Orgánica superficial	190.03	kg DBO/ ha d
Carga Orgánica removida	144.57	kg DBO/ ha d
Tiempo de Retención	5.00	días
Área de la laguna	4.35	ha
Profundidad	1.50	m
Volumen dela laguna	65204.28	m <sup>3</sup>
Ancho	116.55	m
Largo	372.96	m
Relación X	3.2	
Carga orgánica soluble	15.15	mg/L
Carga org. sup. remanente	34.85	mg/L
Huevos de Helminto	0	H Helminto
CFe	66,447	NMP/100 ml
Gasto de Salida Qn	12,977.76	m <sup>3</sup> /d

**Datos de entrada de la 2da laguna pulimento:**

Qn =	12977.8	m <sup>3</sup> /d
DBO =	34.85	mg/l
CFe =	6.64E+04	nmp
T diseño =	13	°C
Tasa evap =	1.45	mm/d
Población =	52805	habitantes
Huevos =	0	H/L

**Calculo de Pulimento 2**

Se proponen 5 días de retención

Calculando el volumen de la laguna de maduración

$$V = O Q \quad V = 64888.77593 \text{ m}^3$$

### Ejemplo de aplicación

Asumiendo una profundidad 1.5 m

Entonces el área de la laguna de maduración es

$$\begin{aligned} A &= V / h & A &= 4.33 \text{ ha} \\ & & A &= 43259.18 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Si se considera una relación X de 2

$$\begin{aligned} W &= \text{raiz} (A/x) & W &= 147.07 \text{ m} \\ L &= W X & L &= 294.14 \text{ m} \end{aligned}$$

Se revisa la carga sobre la laguna de pulimento para evitar sobrecarga

$$C_s = S_i Q / (1000 A_m) \quad C_s = 104.55 \text{ kg DBO/ ha d}$$

La carga removida es

$$C_{sr} = 0.765 C_s - 0.8 C_{sr} = 79.18 \text{ kg DBO/ ha d}$$

Calculo de la remoción de coliformes

Constante de decaimiento

$$\begin{aligned} K_{cf} &= 0.841(1.07)^{(T-20)} \\ K_{cf} &= 0.5237 \end{aligned}$$

Calculo de la dispersión

$$d = \frac{X}{-0.26118 + 0.25392 X + 1.01460 X^2}$$

$$d = 0.46457$$

$$a = (1 + 4 K_{cf} O d)^{0.5} \quad a = 2.42202$$

$$C_{Fe} = \frac{C_{Fi}(4)(a)e^{1/2a}}{(1+a)^2 e^{(a/2d)} - (1-a)^2 e^{-(a/2d)}}$$

$$C_{Fe} = 11,897.98 \text{ NMP/100 ml}$$

Condiciones del efluente

Restando la carga superficial con la carga superficial removida

Obtenemos la carga superficial soluble

$$C_{ss} = 1000 (C_s - C_{sr}) A / Q \quad C_{ss} = 8.46 \text{ mg/l}$$

Asi obtenemos la Carga orgánica superficial remanente

$$S_{et} = 2.3 C_{ss} \quad S_{et} = 19.45 \text{ mg/l}$$

Porcentaje de remoción de huevos de Helminto

$$\begin{aligned} R_{HH} &= 100 (1 - 0.4^{(-0.38 O + 0.0085 O^2)}) \\ R_{HH} &= 85.57 \% \end{aligned}$$

Huevos Helminto = (1 - R<sub>HH</sub>/100) Numero de huevos

$$HH = 0$$

Gasto en la salida

$$Q_n = Q - (.001 e A)$$

$$Q_n = 12,914.96 \text{ m}^3/\text{d}$$

**Resultados de la 2da laguna de pulimento**

Carga Orgánica superficial	104.55	kg DBO/ ha d
Carga Orgánica removida	79.18	kg DBO/ ha d
Tiempo de Retención	5.00	días
Area de la laguna	4.33	ha
Profundidad	1.50	m
Volumen dela laguna	64888.78	m3
Ancho	147.07	m
Largo	294.14	m
Relación X	2	
Carga orgánica soluble	8.456332571	mg/L
Carga org. sup. remanente	19.44956491	mg/L
Huevos de Helminto	0	H Helminto
CFe	11,898	NMP/100 ml
Gasto de Salida Qn	12,914.96	m3/d

**Datos de entrada de la 3era laguna pulimento**

Qn =	12915.0	m <sup>3</sup> /d
DBO =	8.46	mg/l
CFe =	1.19E+04	Nmp
T diseño =	13	°C
Tasa evap =	1.45	mm/d
Población =	52805	Habitantes

**Calculo de Pulimento 3**

Se proponen 4 días de retención

Calculando el volumen de la laguna de maduración

$$V = O Q \quad V = 51659.83838 \text{ m}^3$$

Asumiendo una profundidad 1.5 m

Entonces el área de la laguna de maduración es

$$A = V / h \quad A = 3.44 \text{ ha}$$

$$A = 34439.89 \text{ m}^2$$

Si se considera una relación X de 1.6

$$W = \text{raiz} ( A/x) \quad W = 146.71 \text{ m}$$

$$L = W X \quad L = 234.74 \text{ m}$$

Se revisa la carga sobre la laguna de pulimento para evitar sobrecarga

$$Cs = Si Q / (1000 Am) \quad Cs = 31.71 \text{ kg DBO/ ha d}$$

La carga removida es

$$Csr = 0.765 Cs - 0.8 \quad Csr = 23.46 \text{ kg DBO/ ha d}$$

Calculo de la remoción de coliformes

Constante de decaimiento

$$Kcf = 0.841(1.07)^{(T-20)} \quad Kcf = 0.5237$$

### Ejemplo de aplicación

Calculo de la dispersión

$$d = \frac{X}{-0.26118 + 0.25392 X + 1.01460 X^2}$$

$$d = 0.58342$$

$$a = (1 + 4 Kcf O d)^{0.5} \quad a = 2.42670$$

$$CFe = \frac{CFi(4)(a)e^{1/2a}}{(1+a)^2 e^{a/2d} - (1-a)^2 e^{-a/2d}}$$

$$CFe = 2,895.88 \quad \text{NMP/100 ml}$$

### Condiciones del efluente

Restando la carga superficial con la carga superficial removida  
Obtenemos la carga superficial soluble

$$C_{ss} = 1000 (C_s - C_{rs}) A / Q \quad C_{ss} = 2.20 \text{ mg/l}$$

Así obtenemos la Carga orgánica superficial remanente

$$S_{et} = 2.3 C_{ss} \quad S_{et} = 5.06 \text{ mg/l}$$

Porcentaje de remoción de huevos de Helminto

$$RHH = 100 (1 - 0.4^{(-0.38 O + 0.0085 O^2)})$$

$$RHH = 78.07 \%$$

Huevos Helminto =  $(1 - RHH/100)$  Numero de huevos

$$HH = 0$$

Gasto en la salida

$$Q_n = Q - (.001 e A)$$

$$Q_n = 12,864.97 \text{ m}^3/\text{d}$$

### Resultados de 3era laguna de pulimento

Carga Orgánica superficial	31.71	kg DBO/ ha d
Carga Orgánica removida	23.46	kg DBO/ ha d
Tiempo de Retención	4.00	días
Area de la laguna	3.44	ha
Profundidad	1.50	m
Volumen dela laguna	51659.84	m <sup>3</sup>
Ancho	146.71	m
Largo	234.74	m
Relación X	1.6	
Carga organica soluble	2.200571488	mg/L
Carga org. sup. remanente	5.061314421	mg/L
Huevos de Helminto	0	H Helminto
CFe	2,896	NMP/100 ml
Gasto de Salida Qn	12,864.97	m <sup>3</sup> /d



**Datos de entrada de la 4ta laguna pulimento**

Qn =	12915.0	m <sup>3</sup> /d
DBO =	8.46	mg/l
CFe =	1.19E+04	Nmp
T diseño =	13	°C
Tasa evap =	1.45	mm/d
Población =	52805	Habitantes

**Calculo de Pulimento 4**

Se proponen 4 días de retención

Calculando el volumen de la laguna de maduración

$$V = O Q \quad V = 51459.86481 \text{ m}^3$$

Asumiendo una profundidad 1.5m

Entonces el área de la laguna de maduración es

$$A = V / h \quad A = 3.43 \text{ ha}$$

$$A = 34306.58 \text{ m}^2$$

Si se considera una relación X de 2

$$W = \text{raiz} ( A/x) \quad W = 130.97 \text{ m}$$

$$L = W X \quad L = 261.94 \text{ m}$$

Se revisa la carga sobre la laguna de pulimento para evitar sobrecarga

$$Cs = Si Q / (1000 Am) \quad Cs = 18.98 \text{ kg DBO/ ha d}$$

La carga removida es

$$Csr = 0.765 Cs - 0.8 \quad Csr = 13.72 \text{ kg DBO/ ha d}$$

Calculo de la remoción de coliformes

Constante de decaimiento

$$Kcf = 0.841(1.07)^{(T-20)} \quad Kcf = 0.5237$$

Calculo de la dispersión

$$d = \frac{X}{-0.26118 + 0.25392 X + 1.01460 X^2}$$

$$d = 0.46457$$

$$a = (1 + 4 Kcf O d)^{0.5} \quad a = 2.21200$$

$$CFe = \frac{CFi(4)(a)e^{(1/2a)}}{(1+a)^2 e^{(a/2d)} - (1-a)^2 e^{(-a/2d)}}$$

$$CFe = 673.85 \text{ NMP/100 ml}$$

Condiciones del efluente

Restando la carga superficial con la carga superficial removida

Obtenemos la carga superficial soluble

$$C_{ss} = 1000 (Cs - C_{sr}) A / Q \quad C_{ss} = 1.40 \text{ mg/l}$$

### Ejemplo de aplicación

Así obtenemos la Carga orgánica superficial remanente

$$Set = 2.3 \text{ Css} \quad Set = 3.23 \text{ mg/l}$$

Porcentaje de remoción de huevos de Helminto

$$RHH = 100 (1 - 0.4^{-(0.38 O + 0.0085 O^2)})$$

$$RHH = 78.07 \%$$

Huevos Helminto =  $(1 - RHH/100)$  Numero de huevos

$$HH = 0$$

Gasto en la salida

$$Q_n = Q - (.001 e A)$$

$$Q_n = 12,815.17 \text{ m}^3/\text{d}$$

Resultados de la 4ta laguna pulimento

Carga Orgánica superficial	18.98	kg DBO/ ha d
Carga Orgánica removida	13.72	kg DBO/ ha d
Tiempo de Retención	4.00	Días
Area de la laguna	3.43	Ha
Profundidad	1.50	m
Volumen dela laguna	51459.86	m <sup>3</sup>
Ancho	130.97	M
Largo	261.94	M
Relación X	2	
Carga organica soluble	1.402742222	mg/L
Carga org. sup. remanente	3.226307111	mg/L
Huevos de Helminto	0	H Helminto
CFe	674	NMP/100 ml
Gasto de Salida Qn	12,815.17	m <sup>3</sup> /d

En la tabla 6.4.1 se muestra que se cumple con los parámetros establecidos por las normas NOM-001-ECOL-1996 y NOM-003-ECOL-1997 para los límites máximos permisibles de contaminantes

Tabla 6.4.1 Revisión de los parámetros del tratamiento biológico

Parámetro	Unidad	Influyente	Efluente	NOM-001- ECOL-1996	NOM-003- ECOL-1997
DBO	mg/l	243.7	3.23	N.A.	30
Cfe	NMP/100 ml	1.60E+08	673.85	menor a 1000	menor a 1000
H de Helminto	H/L	600	0.00	menor a 1	menor a 5

En la tabla 6.4.2a y 6.4.2b se muestra el resumen de los cálculos de las lagunas

Tabla 6.4.2a Resumen de los cálculos de las lagunas anaerobias y facultativas

	Unidades	Anaerobia		Facultativa
		2 en paralelo	+ 1 reserva	2 en paralelo
Numero de unidades				
Carga Organica superficial	kg DBO/ ha d	N.A.		141.23
Carga Organica removida	kg DBO/ ha d	112.10		107.24
Tiempo de Retención	dias	1.52		18.65
Area de la laguna	ha	0.25		6.16
Profundidad	m	4.80		2.00
Volumen de la laguna	m <sup>3</sup>	11131.39		123179.35
Ancho	m	48.16		110.99
Largo	m	48.16		554.93
Relación X		1.00		5.00
Carga organica soluble	mg/L	N.A.		31.67
Carga org. sup. remanente	mg/L	131.60		63.34
Huevos de Helminto	H Helminto	346.72		0.03
CFe	NMP/100 ml	83588066.92		425574.67
Gasto de Salida Qn	m <sup>3</sup> /d	6609.83		6520.43

Tabla 6.4.2b Resumen de los cálculos de las lagunas de pulimento

	Unidades	Pulimento 1	Pulimento 2	Pulimento 3	Pulimento 4
		1 en serie	1 en serie	1 en serie	1 en serie
Numero de unidades					
Carga Organica superficial	kg DBO/ ha d	190.03	104.55	31.71	18.98
Carga Organica removida	kg DBO/ ha d	144.57	79.18	23.46	13.72
Tiempo de Retención	dias	5.00	5.00	4.00	4.00
Area de la laguna	ha	4.35	4.33	3.44	3.43
Profundidad	m	1.50	1.50	1.50	1.50
Volumen de la laguna	m <sup>3</sup>	65204.28	64888.78	51659.84	51459.86
Ancho	m	116.55	147.07	146.71	130.97
Largo	m	372.96	294.14	234.74	261.94
Relación X		3.20	2.00	1.60	2.00
Carga organica soluble	mg/L	15.15	8.46	2.20	1.40
Carga org. sup. remanente	mg/L	34.85	19.45	5.06	3.23
Huevos de Helminto	H Helminto	0.00	0.00	0.00	0.00
Cfe	NMP/100 ml	66447.43	11897.98	2895.88	673.85
Gasto de Salida Qn	m <sup>3</sup> /d	12977.76	12914.96	12864.97	12815.17

Suma del área requerida para el tratamiento biológico

<b>Total de Lagunas</b>			
Lagunas anaerobias	3	1.36	ha
Lagunas facultativas	2	13.44	ha
Laguna pulimento 1		4.56	ha
Laguna pulimento 2		3.96	ha
Laguna pulimento 3		3.27	ha
Laguna pulimento 4		3.12	ha
<b>Total de hectáreas</b>		<b>29.71</b>	<b>ha</b>

## Ejemplo de aplicación

### 6.5 TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Para obtener una primera aproximación de lo que se puede regar, se puede calcular por medio de laminas de riego promedio empleadas en la zona de Sabinas teniendo en cuenta que se utiliza lamina de riego bruta de alrededor de 96 cm esto da una idea de cuantas hectáreas pueden sembrar. (Ref 6.1)

Cálculos: 6 meses x 30 días = 180 días x 12815 m<sup>3</sup>/d = 2,300,000 m<sup>3</sup> de agua disponible.  
Esta agua se divide entre lamina promedio y se divide entre 10,000 m<sup>3</sup> para obtener las hectáreas regables promedio = 240 ha

- Proponiendo regar algodón en Sabinas que tiene una latitud 28° 30'
- La fecha de siembra es el 1 de abril.

Las temperaturas, alturas de precipitación medias mensuales son:

Tabla 6.5.1 Datos físicos de Sabinas

meses	temp (°C)	bev (cm)	bp (cm)
abril	22.6	85.2	0
mayo	25.4	91.5	6
junio	27	82.3	8
julio	26.7	85.2	10
agosto	26.1	80.1	7
septiembre	24.2	75.9	0

Se forma una tabla como la siguiente, considerando un 10% de pérdidas:

Perdidas	220,000	m <sup>3</sup>
Área de conducción	0	m <sup>2</sup>
Área de siembra	2,200,000	m <sup>2</sup>

meses	I	Pi	Kti	fi	Kci	Eti (cm)	Di (m <sup>3</sup> )
abril	1	8.63	0.94	15.99	0.25	4.00	307,963
mayo	2	9.35	1.03	18.53	0.60	11.12	332,575
junio	3	9.26	1.08	19.03	0.95	18.08	441,721
julio	4	9.47	1.07	19.33	1.00	19.33	425,281
agosto	5	9.09	1.05	18.31	0.75	13.73	368,034
septiembre	6	8.31	0.99	16.01	0.45	7.20	378,500

Donde:

Pi = Porcentaje de horas de Sol (Ref 6.1)

Kti = Se obtiene de la ecuación 4.22

Di = ecuación 2.24

Suma 2,254,074

Fi = Se obtiene de la ecuación 4.21

Kci = Desarrollo de la planta (Ref 6.1)

Eti = ecuación 5.6.5 Di = ecuación 4.23

De esta manera comparando lo disponible y lo requerido se puede hacer un tanque lo mínimo indispensable para que no falte agua en las 220 ha.

Q requerido	Q influente d	Q effluente mes	sumas	Vol tanque
307,963	12,800	383,329	75,366	75,366
332,575	12,800	383,329	50,753	
441,721	12,800	383,329	-58,393	58,393
425,281	12,800	383,329	-41,953	
368,034	12,800	383,329	15,295	
378,500	12,800	383,329	4,829	

Volumen disponible = 2,299,972 Vol del tanque = 133,759

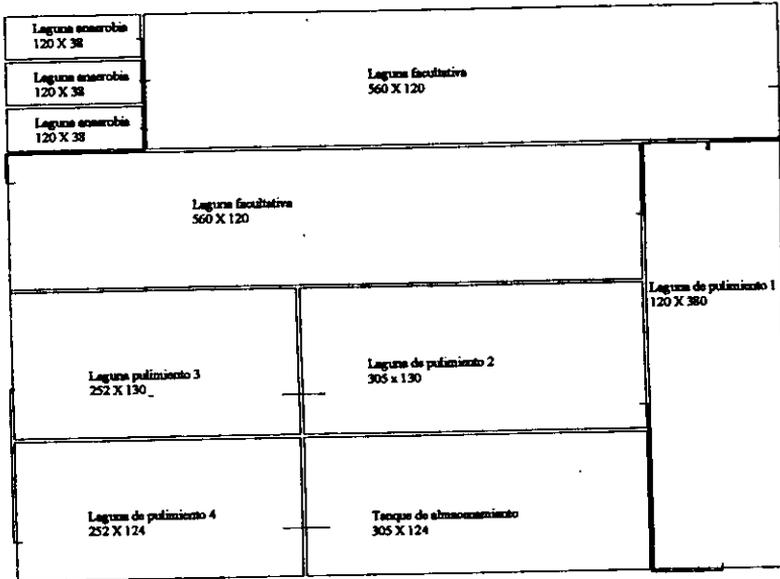
Con la suma de los máximos positivo y negativo se calcula el volumen del tanque.

6.6 DISEÑO FINAL

6.6.1 Arreglo general

Al realizar el diseño final de la obra se deben verificar que los volúmenes ideales de las lagunas ya que se pierde volumen con los taludes internos del las lagunas. El arreglo final se describe en la siguiente figura 6.6.1

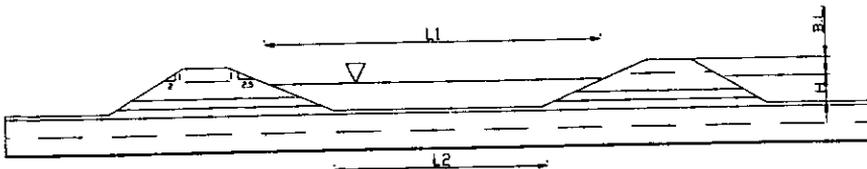
Figura 6.6.1 Arreglo final de las lagunas de estabilización



Nota: Se muestra en las líneas exteriores el posible trazo de tuberías. Todas las medidas se encuentran en metros.

En la figura 6.6.2 se muestra la disposición general que se propone para las lagunas de estabilización, en donde se muestra como el talud interno es de 2.5 a 1 y el talud externo es de 2 a 1, a su vez se propone un bordo libre de 0.5 m para todas las lagunas.

Figura 6.6.2 Dibujo general de laguna de estabilización propuesta



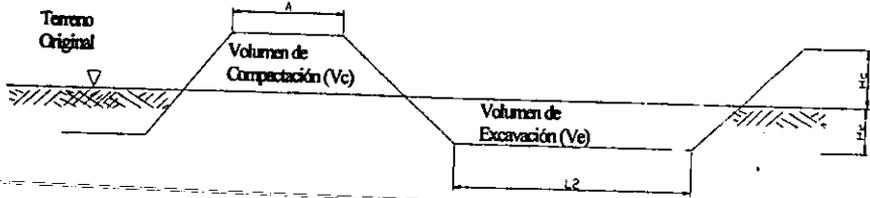
Donde: H = Altura efectiva de la laguna de estabilización  
 B.L. = Bordo libre de la laguna  
 L1 = Ancho del espejo de agua  
 L2 = Ancho del fondo de la laguna

## Ejemplo de aplicación

### 6.6.2 Volumen de excavación

Al diseñar la plantilla de excavación se debe compensar el volumen extraído producto de la excavación con el volumen que se requiere para la formación de los bordos o diques.

Figura 6.6.3 Volumen de excavación



Donde:  $H_c$  = Altura del dique referenciado a la plantilla del terreno original.  
 $H_e$  = Altura de la excavación referenciado a la plantilla del terreno original  $A$  = Ancho de corona.  
 $L_2$  = Fondo de la laguna .

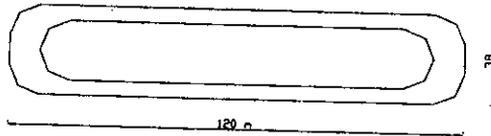
Para el ejemplo de aplicación se utilizó una altura del dique ( $H_e$ ) de 2 y un ancho de corona de 3 metro, por lo que en todas las lagunas sobresale la misma altura en el dique y lo que cambia es la altura de excavación.

### 6.6.3 Diseño de las lagunas

#### Laguna Anaerobia

Se propone la construcción de tres lagunas de anaerobias, para que trabajen dos en paralelo y una que se encuentre en mantenimiento.

Figura 6.6.4 Laguna anaerobia



La laguna tiene las siguientes dimensiones:

Ancho = 38 m

Largo = 120 m

Altura efectiva = 4 m

Volumen efectivo = 11920 m<sup>3</sup>

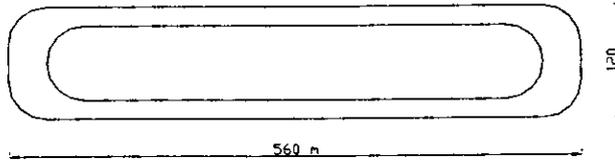
Bordo libre = 0.5 m

Volumen de excavación = 5860 m<sup>3</sup>

#### Laguna facultativa

Se propone la construcción de dos lagunas facultativas que trabajaran en paralelo

Figura 6.6.5 Laguna facultativa



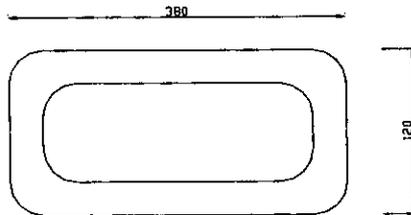
La laguna tiene las siguientes dimensiones:

- Ancho = 120 m
- Largo = 560 m
- Altura efectiva = 2m
- Volumen efectivo = 127600 m<sup>3</sup>
- Bordo libre = 0.5 m
- Volumen de excavación = 30166.75 m<sup>3</sup>

**Laguna de Pulimento 1**

Se recomienda un arreglo de cuatro lagunas de pulimento, continuación se describe la primera de ellas.

Figura 6.6.6 Laguna de pulimento 1



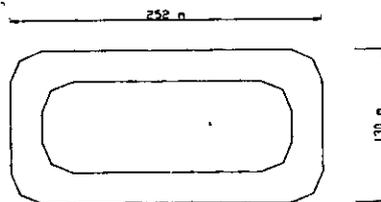
La laguna tiene las siguientes dimensiones:

- Ancho = 120 m
- Largo = 380 m
- Altura efectiva = 1.5 m
- Volumen efectivo = 65587 m<sup>3</sup>
- Bordo libre = 0.5 m
- Volumen de excavación = 0 m<sup>3</sup>

**Laguna de pulimento 2**

Para la segunda laguna de pulimento se recomienda lo siguiente

Figura 6.6.7 Laguna de pulimento 2



## Ejemplo de aplicación

La laguna tiene las siguientes dimensiones:

Ancho = 130 m

Largo = 252 m

Altura efectiva = 1.5 m

Volumen efectivo = 57028 m<sup>3</sup>

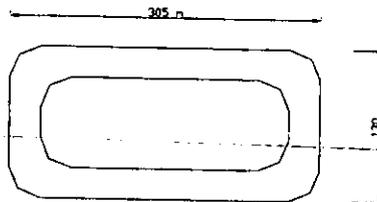
Bordo libre = 0.5 m

Volumen de excavación = 0 m<sup>3</sup>

### Laguna de Pulimento 3

En la tercera laguna de pulimento se recomiendan los siguientes valores

Figura 6.6.8 Laguna pulimento3



La laguna tiene las siguientes dimensiones:

Ancho = 130 m

Largo = 305 m

Altura efectiva = 1.5 m

Volumen efectivo = 46991 m<sup>3</sup>

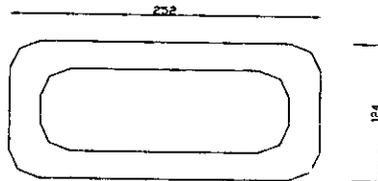
Bordo libre = 0.5 m

Volumen de excavación = 0 m<sup>3</sup>

### Laguna de pulimento 4

Se propone la construcción de una cuarta laguna de pulimento con las siguientes características.

Figura 6.6.9 Laguna de pulimento 4



La laguna tiene las siguientes dimensiones:

Ancho = 124 m

Largo = 252 m

Altura efectiva = 1.5 m

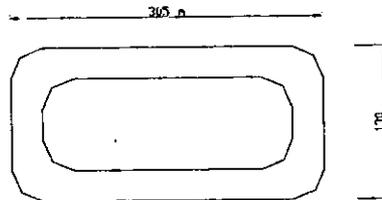
Volumen efectivo = 44757 m<sup>3</sup>

Bordo libre = 0.5 m

Volumen de excavación = 0 m<sup>3</sup>

**Tanque de almacenamiento**  
Se propone la construcción

Figura 6.6.10 Tanque de almacenamiento



La laguna tiene las siguientes dimensiones:

- Ancho = 124 m
- Largo = 305 m
- Altura efectiva = 4m
- Volumen efectivo = 134120 m<sup>3</sup>
- Bordo libre = 0.5 m
- Volumen de excavación = 78678 m<sup>3</sup>

En cuanto a la construcción de diques se construirán 2348 metros lineales de diques exteriores con un área transversal de 16 m<sup>2</sup> lineales y 2794 metros lineales de diques interiores con un área transversal de 15 m<sup>2</sup> dando un total de 83820 m<sup>3</sup>.

Se tiene coeficiente de 1.36 si se divide el volumen excavado contra el volumen requerido para la formación de bordos. Esto resulta ideal ya que es lo que se contempla al compactar los bordos.

**6.7 COSTOS**

A continuación se presenta un catálogo de obra con los costos directos de la construcción más representativos en las lagunas de estabilización. (Ref. 6.3)

Los costos fueron actualizados con base al índice de inflación de junio de 1994 a julio del 2001.

**Resumen**

Obras Preliminares	365,680
Obra civil del pretratamiento	120,335
Obra civil del tratamiento	16,011,416
Obras finales	59,176
Terreno y equipo	916,000
<b>TOTAL</b>	<b>\$17,472,609</b>

**Catalogo**

Obras preliminares (OP)

Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	C. directo	Importe
OP-01	Desmante para densidad 100% de vegetación tipo monte de regiones áridas o semiáridas con tractor Komatsu D53A-17 de 124 HP	HA	34	\$7,026.52	\$238,901.68
OP-02	Despalme en material tipo A	m3	68000	\$1.37	\$93,119.20

### Ejemplo de aplicación

	desperdiciando material. En cortes y adicionales debajo de la subrasante				
OP-03	Localización y trazo estableciendo ejes y referencias	m	14,960	\$2.25	\$33,660.00

#### Obra civil en pretratamiento (OCP)

Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	C. directo	Importe
OCP-01	Concreto hidráulico $f'c = 200$ kg/cm <sup>2</sup> en estructuras diversas, incluye cimbra	m <sup>3</sup>	68.2	\$1,138.23	\$77,627.29
OCP-02	Acero de refuerzo $f_y = 4200$ kg/m <sup>2</sup> puot en estructuras	kg	13640	\$3.08	\$42,011.20
OCP-03	Plantilla de concreto $f'c 100$ de 10 cm	m <sup>2</sup>	15.8	\$44.12	\$697.12

#### Obra civil en tratamiento (OCT)

Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	C. directo	Importe
OCT-01	Excavación de prestamos laterales dentro de la faja de 100m de ancho. En material tipo A	m <sup>3</sup>	114705.	\$16.24	\$114,704.75
OCT-02	Formación y compactación de terraplenes al 100%	m <sup>3</sup>	83820	\$18.52	\$83,820.00
OCT-03	Impermeabilización con bentonita, grava y arena		379534	\$25.50	\$9,678,125.67
OCT-04	Zampeado con piedra braza, juntada con mortero	m <sup>3</sup>	58426.3	\$105.00	\$6,134,766.29

#### Obras finales (OF)

Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	C. directo	Importe
OF-01	Tendido de tubo simple de 30 cm de diametro juntado con mortero cemento arena 1:4 incluye acarreo y maniobras locales	M	912.1	\$60.17	\$54,881.15
OF-02	Cama de arena para apoyar tuberias compactada con pison manual	m <sup>3</sup>	72.96	\$5.29	\$386.24
OF-03	excavación c/maq cepas para mat A de 0 a 2 m de prof. Inc	m <sup>3</sup>	437.76	\$3.64	\$1,593.45
OF-04	Relleno de material producto de la excavación	m <sup>3</sup>	437.76	\$5.29	\$2,315.75

#### Terreno y equipo (TE)

Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	C. directo	Importe
TE-01	terreno cerca de poblaciones medianas en zonas áridas	Ha	34	\$20,000.0	\$680,000.00
TE-02	Bomba Autocebante Mod.30 M,152 L/s, 20HP	Pza	2	\$118,000.0	\$236,000.00

**TOTAL            \$17,472,609**

**Conclusiones y  
recomendaciones**

---

**Capítulo siete**

7.1 CONCLUSIONES

Una de las grandes ventajas encontradas en el reúso del agua es la liberación de los volúmenes de agua de primer uso utilizada en riego (82.7 % de la extracción nacional, CNA 2001) ,y usar las aguas residuales tratadas de origen municipal para la agricultura.

Este proceso no es nada nuevo y se está dando en todos los países, encabezando la lista Israel, que en su plan nacional tienen contemplado el reúso de sus aguas al 90% para el año 2010 ( Water Research Institute. Technion. Israel)

En México el 52.47 % del territorio nacional es árido, y por lo mismo con gran escasez de agua, por ello el aprovechar las aguas residuales provenientes de los municipios en riego es una alternativa no sólo para preservar los cuerpos de agua de primer uso, sino también para elevar la producción agrícola en dichas zonas del país.

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 es necesario que las poblaciones cuenten con un sistema de tratamiento de aguas residuales para las fechas establecidas. El tratar el agua no sólo es una obligación municipal, sino también una responsabilidad que se puede aprovechar para elevar la actividad económica del municipio, utilizando el agua residual en sus actividades agrícolas.

La opción presentada en el proyecto de tesis cuenta con la desventaja de un costo elevado de inversión ya que estas lagunas no llevan ningún tratamiento de desinfección que no sea por medio de las mismas lagunas.

Los costos más significativos están dados por los conceptos de impermeabilización, y zampeado por ello se debe de investigar a otros métodos que sean más económicos.

El número de hectáreas regadas no es muy grande para el ejemplo de aplicación, ya que se pueden regar alrededor de 220 ha. Por lo cual es fácil de llegar a un acuerdo con los agricultores que les interese comprar esta agua. Se estima como mínimo \$170 pesos el valor del agua para el riego de una hectárea de algodón (Gerencia de Distritos de Riego de CNA) esto da aproximadamente 37,400 pesos cada temporada, por lo que se analiza que no es negocio, pero sirve para impulsar un poco la economía regional y utilizar este fondo para el mantenimiento de las lagunas.

## 7.2 RECOMENDACIONES

Se recomiendan el uso de lagunas de estabilización como opción de tratamiento en las zonas áridas ya que hay disponibilidad de grandes terrenos para su construcción, además de que las características climatológicas de las zonas áridas nacionales son adecuadas para las lagunas de estabilización.

Se deben analizar otros proyectos de lagunas de estabilización, para verificar qué es más económico; estos pueden ser por medio de un tratamiento primario y luego un método de desinfección, ya sea por ozono, cloro o rayos ultravioleta; o bien el método de reservorios de almacenamiento de efluentes propuesto por el Dr. Juanico.

Se recomienda el asesoramiento de industrias bioquímicas que produzcan cepas de microorganismos con rendimientos mayores a los microorganismos cultivados sin ningún control.

Es necesario estudiar el comportamiento en el suelo de la salinidad, boro y metales pesados aportados por las aguas residuales. La salinidad en los suelos afecta al crecimiento de los cultivos y el drenaje del mismo. El boro en grandes concentraciones es un factor decisivo en el desarrollo normal de las plantas. Algunos metales pueden absorberse en los cultivos ocasionando daños a la salud del hombre.

Para la construcción de las lagunas se recomienda planear perfectamente los volúmenes de movimientos de tierras que se van a efectuar, ya que con la tierra excavada se pueden construir los bordos de las mismas lagunas, es necesario hacer un buen acomodo de las lagunas en el terreno para hacer más eficiente el tren de tratamiento y requerir menos terreno, además se pueden utilizar muros comunes en las lagunas, tal como se realizó en el ejemplo de aplicación.

Es importante el monitoreo de las aguas tratadas en el efluente ya que aparte de garantizar la disminución de patógenos, también se debe de controlar la salinidad del suelo, ya que esta podría alterar la permeabilidad del suelo.

También se debe de verificar que no se descarguen aguas industriales en el alcantarillado público, ya que podría traer metales pesados y compuestos tóxicos afectando el rendimiento de las aguas.

Si el suelo donde se van a construir las lagunas es demasiado arenoso, se puede considerar la opción de un geotextil para impermeabilizar las lagunas.



## Anexo I

### PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

#### PROCESOS FÍSICOS

##### Desbaste

La operación de desbaste consiste en la eliminación de sólidos gruesos y sedimentables por retención en las superficies

Los elementos utilizados para el desbaste son las rejas y los tamices. Las rejas presentan aberturas mayores de 25 mm mientras que en los tamices no serán superiores a 6 mm.

Las rejas se utilizan para separar los sólidos grandes, que puedan producir daños y obturaciones en bombas, válvulas, conducciones u otros elementos; El tamiz se usa tanto para el tratamiento primario como para la eliminación de sólidos en suspensión en el tratamiento secundario. La limpieza de las rejas y tamices se puede realizar mecánica o manualmente.

##### Dilaceración

La dilaceración es la trituración de sólidos gruesos en tamaños menores y más homogéneos. Esta operación se realiza para mejorar los procesos, posteriores y evitar los problemas que pueden causar los sólidos de diferentes tamaños. Según algunos autores es conveniente dilacerar los sólidos que quedan en las rejas y tamices para que pueden ser devueltos a la corriente para su eliminación en los procesos posteriores. El apartar de las aguas los sólidos de las rejas y tamices, o proceder a su dilaceración, dependerá de los estudios de eficacia para cada caso concreto.

##### Homogenización de caudales

La homogenización de caudales se realiza en los tratamientos de aguas residuales para tener caudales de tratamiento iguales y concentraciones de contaminantes mucho más homogéneas. Esta operación produce una mayor efectividad en los tratamientos posteriores.

La homogenización de caudales puede realizarse en todo el caudal de agua que llegue a la planta de depuración (disposición en línea), o bien sólo se homogeneiza el caudal que excede a la media diaria, añadiéndolo a la depuración cuando el caudal de agua residual que llega es menor que el de la media (disposición en derivación). En este caso el gasto de bombeo es mínimo pero las concentraciones de contaminantes no son tan uniformes.

En aguas residuales de ciertos tipos de industrias es indispensable la homogenización; puesto que los vertidos son puntuales y las aguas residuales homogenizadas serán de más fácil tratamiento que por separado,

La ubicación de los homogenizadores en una planta depende del tipo de planta que se tenga pero, de una forma general, podemos decir que se encuentran entre el desarenador y el tratamiento primario. En algunos, casos puede ser interesante situarlos entre el tratamiento primario y el secundario.

##### Mezclado

La operación de mezclado es una operación importante en muchas fases del tratamiento de aguas residuales. Se utiliza cuando sea necesario que una sustancia determinada, se homogenice totalmente en el seno de otra. Debe realizarse el mezclado en la precipitación química; en los procesos biológicos el aire se debe mezclar con los lodos activados; en el proceso de desinfección, las aguas procedentes del último tratamiento se deben mezclar con el cloro o el hipoclorito sódico.

La mezcla se puede realizar por los siguientes procedimientos: En tanques, con ayuda de elementos mecánicos, por saltos hidráulicos en canales, en bombas, en conducciones y en tubos Venturi.

##### Floculación

La floculación es la operación en que las partículas en suspensión aumentan su superficie de contacto. Este aumento de la superficie de contacto es debido a la adición de productos químicos en los procesos de precipitación química o químicamente asistida. Debido a la floculación las partículas se agregan en partículas mayores (coagulación) y alcanzan la masa suficiente para sedimentar.

## Anexo I

.....

La floculación se ve favorecida por una agitación moderada, ya que un mayor contacto entre las partículas favorece la formación de flóculos. Debe tenerse cuidado de que la agitación no sea excesivamente brusca puesto que podría destruir los flóculos formados; así mismo debe de tenerse en cuenta el tiempo de floculación (antes de la sedimentación), tanto si se realiza en tanques unitarios como si se realiza en tanques separados. La agitación puede realizarse por medios mecánicos o por aire, debiendo prestarse una especial atención a que la agitación al final del tanque sea menor que al principio para evitar la rotura de algunos flóculos ya formados.

### Sedimentación

La sedimentación es la separación de los componentes del agua en dos fases, una fase sólida, que corresponde a los lodos y que está formada por partículas de sólidos suspendidos, más pesados que el agua, y que, por gravedad se depositan en el fondo, y una fase líquida formada por el agua y compuestos en disolución.

La sedimentación se utiliza en muchos puntos de la depuración de aguas residuales, siendo una de las operaciones físicas más empleadas. Se aplica en el desarenador, en el tanque de decantación primaria, después del proceso biológico, después del tratamiento químico de precipitación con coagulantes y en la concentración de sólidos en los espesadores de lodos.

La principal misión de la decantación es la producción de un efluente clarificado, después de haber realizado el tratamiento correspondiente del agua residual.

La sedimentación puede ser muy diferente según el proceso realizado anteriormente y la concentración de partículas en el agua residual. Podemos considerar cuatro tipos diferentes de sedimentación discreta, floculante, zonal y por compresión.

En la sedimentación de partículas discretas las partículas sedimentan como entes individuales y no hay interacción de unas partículas con otras. En general son sólidos en suspensión con una masa relativamente grande y en suspensiones no muy concentradas.

Este tipo de sedimentación se produce de una forma casi única en los desarenadores y parcialmente en los tanques de decantación primaria, así como en la precipitación química, si no existe tratamiento primario.

En la sedimentación floculante los sólidos en suspensión floculan, esta floculación produce una unión entre las partículas y adquieren suficiente masa para sedimentar. Corresponden a partículas mucho más pequeñas que en el caso de sedimentación discreta. En general corresponde a sólidos en suspensión, con partículas mucho más pequeñas que en el caso anterior y sin excesiva concentración de sólidos ya los procesos de coagulación.

Este tipo de sedimentación se produce, generalmente, en los tanques de decantación primaria, en las zonas superiores de los decantadores secundarios y en los tanques de sedimentación química.

En la sedimentación zonal, las partículas que sedimentan sufren interacciones entre sí, de tal forma que la posición de una partícula respecto a otra permanece prácticamente constante, sedimentando todas las partículas como una zona o unidad.

Este tipo de sedimentación se produce generalmente en los tanques de decantación secundaria, posteriores al tratamiento biológico, así como en los tanques de sedimentación de la precipitación química.

La compresión, implica la formación de una estructura de partículas sedimentadas y sólo puede darse mayor sedimentación por compresión de dicha estructura. La compresión es debida al peso de las partículas que van sedimentando desde la superficie a los lodos del fondo del tanque de sedimentación. Cuanto mayor sea la compresión menor será el volumen de los lodos que se obtengan, como es lógico la compresión se realiza en las capas inferiores de la masa del lodo.

Este tipo de sedimentación se produce poco en los tanques de tratamiento primario y mayoritariamente ocurre en los tanques de sedimentación procedentes de la precipitación química y en los del proceso secundario.

### Flotación

La flotación se utiliza para separar las partículas líquidas y sólidas del agua residual. Los líquidos y sólidos con una densidad menor que la del agua flotan en ésta y, en consecuencia, se pueden recoger superficialmente. Los sólidos se separan introduciendo burbujas de aire en el agua, las burbujas se adhieren a las partículas sólidas en suspensión haciendo que asciendan a la superficie, de esta forma se pueden eliminar sólidos en suspensión con una densidad mayor que la del

líquido. Este proceso favorece también la flotación de líquidos de menor densidad que el agua. Las partículas muy pequeñas, que por sedimentación tardarían mucho tiempo en depositarse, pueden ser eliminadas fácilmente por flotación. Los métodos más usuales de flotación son: flotación por aire disuelto, aireación a presión atmosférica y flotación por vacío.

En los tanques de flotación se recogen, jabón, espumas, madera, corcho, residuos vegetales y partículas en suspensión de tamaño pequeño.

Los tanques de flotación pueden ser individuales o ir combinados con los tanques de decantación primaria

### **Filtración**

La operación de filtración permite la eliminación de sólidos en suspensión, procedentes de las aguas después del tratamiento y sedimentación biológica, así como la precipitación química.

La filtración se realiza, generalmente a través de lechos filtrantes, compuestos de material granular, con o sin adición de productos químicos. También se pueden utilizar micro tamices. La filtración en medios granulares se realiza a través de varios mecanismos de eliminación tales como el tamizado, interceptación, impacto, sedimentación y adsorción.

Si un proceso de depuración de aguas residuales realiza una operación de filtración debe tenerse en cuenta que la pérdida de eficiencia del proceso del filtro se presenta cuando el agua del efluente contiene una concentración de sólidos por encima del nivel prefijado, o bien se produce una pérdida de carga mayor de la estudiada; cuando se llega a este punto, el sistema de filtrado debe ser lavado, con agua a contracorriente. Las aguas a de lavado contendrán todos los sólidos y, en consecuencia, deben ser recirculadas a las instalaciones de tratamiento primario o bien al proceso de tratamiento secundario.

## **PROCESOS QUÍMICOS**

### **Precipitación química**

La precipitación química consiste en añadir ciertos productos químicos al agua residual para conseguir que éstos alteren el estado físico de los sólidos disueltos o en suspensión y se produzca una eliminación por sedimentación.

La precipitación química puede ser el principal y único método de depuración de aguas residuales industriales; en otros casos puede ayudar a la operación de sedimentación cuando exista una gran concentración de sólidos disueltos y en suspensión, y se pueda utilizar como un tratamiento anterior a un proceso biológico.

Mediante la precipitación química puede obtenerse un agua casi exenta de sólidos en suspensión y en estado coloidal. En general se elimina del 80% al 90% de la materia total en suspensión, del 40% al 70% de la DBO, del 30% al 60% de DCO y del 80% al 90% de bacterias. Tiene especial interés la eliminación de fósforo y de sustancias orgánicas disueltas.

El uso de la precipitación química presenta dos problemas fundamentales frente a otros procedimientos de depuración.

El volumen de lodos obtenidos es más elevado que mediante los procesos biológicos, y la precipitación de algunos metales pesados que se puedan encontrar disueltos en las aguas residuales producirá problemas en la estabilización de lodos mediante procedimientos de digestión anaerobia.

Al utilizar reactivos químicos aumentará la concentración de los componentes de dichos reactivos en las aguas residuales tratadas, lo cual, puede ser un grave inconveniente si estas aguas (mayoritariamente en procesos industriales) quieren ser reutilizadas.

Los productos químicos más utilizados como agentes precipitantes son: sulfato de aluminio hidratado, sulfato ferroso hidratado y sales férricas (cloruro y sulfato).

### **Transferencia de gases**

La transferencia de gases es el proceso mediante el cual el gas es transferido de una fase a otra. En el tratamiento de aguas residuales, la transferencia se hace generalmente desde el gas al líquido, excepto en casos donde nos interesa eliminar el gas que se produce en un tratamiento determinado. En todos los procesos aerobios, tales como la filtración biológica, lodos activados y digestión aerobia; es necesario que el agua residual contenga la suficiente cantidad de oxígeno para que se realice el proceso, en consecuencia debe aportarse aire u oxígeno puro al proceso puesto que, debido a la baja solubilidad del oxígeno en agua no es suficiente el que se obtiene a través de la interfase aire-superficie del agua.

## Anexo I

.....

En las plantas de tratamiento de aguas residuales la aireación se realiza introduciendo aire en el agua hasta diversas profundidades. Los sistemas de aireación están formados por placas y tubos porosos; tubos perforados y difusores. También se utilizan aparatos de cizalladura hidráulica y mezcladores de turbina. Otra forma de aireación es con los denominados aireadores de superficie que introducen grandes cantidades de oxígeno en las aguas y que consisten en turbinas de alta o baja velocidad, así como en unidades flotantes de alta velocidad que giran en la superficie del líquido parcialmente sumergidas. Estos aireadores cumplen la doble misión de introducir oxígeno en el agua y mezclar el líquido en el tanque.

### Adsorción

El proceso por el cual los iones, o las moléculas, son retenidos sobre la superficie de un sólido, es lo que se denomina adsorción. El sólido recibe el nombre de adsorbente y la sustancia que es adsorbida el nombre de adsorbato. En el tratamiento de aguas residuales el proceso de flotación puede considerarse una adsorción, en donde el adsorbente son los sólidos en suspensión y el adsorbato es el aire o el gas utilizado.

El carbón activo es el adsorbente utilizado en el tratamiento de aguas residuales. Los procesos de adsorción en el tratamiento de aguas residuales son, por lo general, muy poco utilizados y su mayor utilización se encuentra en el refinado de las aguas procedentes de tratamientos químicos o de tratamientos biológicos, con adsorción de la materia orgánica residual disuelta la eliminación de la materia particulada. En aguas residuales municipales, en donde la aportación de aguas residuales industriales sea importante y supongan una problemática para el tratamiento por procesos biológicos, puede ser interesante tratamiento total de estas aguas con carbón activado.

### Desinfección

La desinfección de las aguas consiste en la eliminación de los organismos presentes en las aguas que pueden producir enfermedades. Se debe diferenciar entre la desinfección y la esterilización, ya que esta última implica la destrucción total de los organismos, mientras que la primera implica la destrucción de organismos que, por ingestión, pueden producir enfermedades en los hombres o en los animales. Los tres principales organismos que pueden producir enfermedades son las bacterias, los virus y los quistes amebianos.

La desinfección puede realizarse mediante productos químicos, agentes físicos, medios mecánicos y radiación. Los productos químicos utilizados como desinfectantes son los siguientes: cloro y sus compuestos, bromo, yodo, ozono, fenol y compuestos fenólicos, alcoholes, metales pesados, colorantes, detergentes, agua oxigenada, ácidos y álcalis. Los productos más empleados son el cloro y sus compuestos, ozono y agua oxigenada. Los agentes físicos, son el calor, la luz y la radiación ultravioleta.

Los medios mecánicos no son especialmente utilizados como destructores de organismos, sino que su actuación es consecuencia de un proceso secundario de su misión principal.

La desinfección por radiación se realiza fundamentalmente por radiación electromagnética de rayos gamma. La radiación gamma se utiliza tanto para desinfectar y esterilizar las aguas residuales como las aguas potables.

### Declaración

La declaración de las aguas residuales consiste en la eliminación de todo el cloro residual combinado. El cloro reacciona con compuestos orgánicos, algunos de estos compuestos pueden ser altamente tóxicos para la flora y fauna del medio en que se vierten las aguas. Algunos estudios han llegado a la conclusión de que las aguas municipales cloradas después de un tratamiento biológico o de precipitación química, aumentan de toxicidad; de aquí la necesidad de la declaración, para eliminar todos estos posibles compuestos tóxicos. Los mejores agentes de declaración son el dióxido de azufre y el carbón activado. También se puede utilizar el sulfito sódico y el metabisulfito sódico.

### Eliminación de sustancias inorgánicas disueltas

La eliminación de sustancias inorgánicas en disolución se puede realizar con las operaciones siguientes: precipitación química, intercambio iónico, ósmosis inversa y ultrafiltración. De las cuatro operaciones indicadas, quizá la de mayor aplicación sea la precipitación química, mencionada anteriormente. Los procesos de intercambio iónico, ósmosis inversa y ultrafiltración son procesos viables y de futuro, sobre todo en el tratamiento de aguas residuales industriales, ya que dichos tratamientos permitirán la reutilización mayoritaria de estas aguas residuales.

ANEXO II

NOM-001-ECOL-1996

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES

Publicada en Diario Oficial de la Federación de fecha 6 de enero de 1997

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

JULIA CARABIAS LILLO, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 32 Bis fracciones I, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 85, 86 fracciones I, III y VII, 92 fracciones II y IV y 119 de la Ley de Aguas Nacionales; 5o. fracciones VIII y XV, 8o. fracciones II y VII, 36, 37, 117, 118 fracción II, 119 fracción I inciso a), 123, 171 y 173 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 45, 46 fracción II y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, he tenido a bien expedir la siguiente Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales; y

CONSIDERANDO

Que en cumplimiento a lo dispuesto en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 24 de junio de 1996, a fin de que los interesados en un plazo de 90 días naturales presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la protección Ambiental, sito en avenida Revolución 1425, mezaninne planta alta, colonia Tlacopac, código postal 01040, de esta ciudad.

Que durante el plazo a que se refiere el considerando anterior y de conformidad con lo dispuesto en el artículo 45 del ordenamiento legal citado, estuvieron a disposición del público los documentos a que se refiere dicho precepto.

Que de acuerdo con lo que disponen las fracciones II y III del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, los comentarios presentados por los interesados fueron analizados en el seno del citado Comité, realizándose las modificaciones procedentes a dicha Norma; las respuestas a los comentarios de referencia fueron publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 24 de diciembre de 1996.

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de Normas Oficiales Mexicanas, el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 30 de octubre de 1996, aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, por lo que he tenido a bien expedir la siguiente:

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES

INDICE

1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias
3. Definiciones
4. Especificaciones
5. Métodos de prueba
6. Verificación
7. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales
8. Bibliografía

## Normas oficiales mexicanas

---

9. Observancia de esta Norma
10. Transitorio
11. Anexo I

### 1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

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

### 2. REFERENCIAS

Norma Mexicana NMX-AA-003 a NMX-AA-099

### 3. DEFINICIONES

#### **Aguas Costeras**

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

#### **Aguas Nacionales**

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

#### **Aguas Residuales**

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

#### **Aguas Pluviales**

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

#### **Bienes Nacionales**

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

#### **Carga Contaminante**

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

#### **Condiciones Particulares de Descarga**

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

#### **Contaminantes Básicos**

Son aquellos compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl, de nitritos y de nitratos, expresadas como mg/litro de nitrógeno), fósforo total, temperatura y pH.

Contaminantes Patógenos y Parasitarios

Son aquellos microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los coliformes fecales y los huevos de helminto.

Cuerpo Receptor

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

Descarga

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

Embalse Artificial

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

Embalse Natural

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

Estuario

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

Humedales Naturales

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

Límite Máximo Permissible

Valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales.

Metales Pesados y Cianuros

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

Muestra Compuesta

La que resulta de mezclar el número de muestras simples, según lo indicado en la Tabla 1. Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma.

**TABLA 1**

Frecuencia de muestreo			
Horas por día que opera el proceso generador de la descarga	Número de muestras simples	INTERVALO MUESTRAS	ENTRE TOMA DE SIMPLES
		(H O R A S)	
		MINIMO N.E.	MÁXIMO N.E.
Menor que 4	mínimo 2	-	-
De 4 a 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 y hasta 18	6	2	3
Mayor que 18 y hasta 24	6	3	4

N.E. = No especificado

## Normas oficiales mexicanas

.....

### Muestra Simple

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

El volumen de cada muestra simple necesario para formar la muestra compuesta se determina mediante la siguiente ecuación:

$$VMS_i = VMC \times (Q_i/Q_t)$$

Donde:

VMS<sub>i</sub> = volumen de cada una de las muestras simples "i", litros.

VMC = volumen de la muestra compuesta necesario para realizar la totalidad de los análisis de laboratorio requeridos, litros.

Q<sub>i</sub> = caudal medido en la descarga en el momento de tomar la muestra simple, litros por segundo.

Q<sub>t</sub> =  $\sum$  Q<sub>i</sub> hasta Q<sub>n</sub>, litros por segundo.

### Parámetro

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

### Promedio Diario (P.D.)

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

### Promedio Mensual (P.M.)

Es el valor que resulte de calcular el promedio ponderado en función del caudal, de los valores que resulten del análisis de al menos dos muestras compuestas (Promedio diario).

### Riego No Restringido

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

### Riego Restringido

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

### Río

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

### Suelo

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

### Tratamiento Convencional

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

### Uso en Riego Agrícola

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

Uso Público Urbano

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

4. ESPECIFICACIONES

4.1 La concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el valor indicado como límite máximo permisible en las Tablas 2 y 3 de esta Norma Oficial Mexicana. El rango permisible del potencial hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades.

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

4.3 Para determinar la contaminación por parásitos se tomará como indicador los huevos de helminto. El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego no restringido, y de cinco huevos por litro para riego restringido, lo cual se llevará a cabo de acuerdo a la técnica establecida en el anexo I de esta Norma.

TABLA 2  
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS

PARAMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	RIOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES (B)	
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)			
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos Sedimentables (m/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno5	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

- P.D. = Promedio Diario; P.M. = Promedio mensual;
- N.A. = No es aplicable
- (A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos
- (1) Instantáneo
- (2) Muestra Simple Promedio Ponderado
- (3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006

**TABLA 3**  
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS

Parámetros (*) (miligramos por litro)	RIOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO							
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales naturales (B)					
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.		
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.5	0.1	0.1	0.2
Cianuro	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	5	10	0.2	0.2
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

(\*) Medidos de manera total. P.D. = Promedio Diario — P.M. = Promedio Mensual — N.A. = No es aplicable — (A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

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

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

- Las descargas municipales tendrán como plazo límite las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 4. El cumplimiento es gradual y progresivo, conforme a los rangos de población. El número de habitantes corresponde al determinado en el XI Censo Nacional de Población y Vivienda, correspondiente a 1990, publicado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Las descargas no municipales tendrán como plazo límite hasta las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 5. El cumplimiento es gradual y progresivo, dependiendo de la mayor carga contaminante, expresada como demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) o sólidos suspendidos totales (SST), según las cargas del agua residual, manifestadas en la solicitud de permiso de descarga, presentada a la Comisión Nacional del Agua.

**TABLA 4**  
DESCARGAS MUNICIPALES

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

**TABLA 5**  
DESCARGAS MUNICIPALES

Fecha de cumplimiento a partir de:	CARGA CONTAMINANTE	
	DBO	SST
	U/d (tonelada/día)	U/d toneladas/día
1 de enero de 2000	mayor de 3.0	mayor de 3.0
1 de enero de 2005	de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0
1 de enero de 2010	menor de 1.2	menor de 1.2

4.6 Las fechas de cumplimiento establecidas en las Tablas 4 y 5 de esta Norma Oficial Mexicana podrán ser adelantadas por la Comisión Nacional del Agua para un cuerpo receptor en específico, siempre y cuando exista el estudio correspondiente que valide tal modificación.

4.7 Los responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales, cuya concentración de contaminantes en cualquiera de los parámetros básicos, metales pesados y cianuros, que rebasen los límites máximos permisibles señalados en las Tablas 2 y 3 de esta Norma Oficial Mexicana, multiplicados por cinco, para cuerpos receptores tipo B (ríos, uso público urbano), quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad del agua de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, en un plazo no mayor de 180 días naturales, a partir de la publicación de esta Norma en el Diario Oficial de la Federación.

Los demás responsables de las descargas de aguas residuales municipales no municipales, que rebase los límites máximos permisibles de esta norma quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, en las fechas establecidas en las Tablas 6 y 7.

Lo anterior, sin perjuicio del pago de derechos a que se refiere la Ley Federal de Derechos y a las multas y sanciones que establecen las leyes y reglamentos en la materia.

**TABLA 6  
DESCARGAS MUNICIPALES**

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

**TABLA 7  
CARGA CONTAMINANTE DE LAS DESCARGAS NO MUNICIPALES**

DBO y/O SST t/d (toneladas/día)	Fecha límite para presentar programa de acciones
mayor de 3.0	30 de junio de 1997
de 1.2 a 3.0	31 de diciembre de 1998
menor de 1.2	31 de diciembre de 1999

4.8 El responsable de la descarga queda obligado a realizar el monitoreo de las descargas de aguas residuales para determinar el promedio diario y mensual. La periodicidad de análisis y reportes se indican en la Tabla 8 para descargas de tipo municipal y en la Tabla 9 para descargas no municipales. En situaciones que justifiquen un mayor control, como protección de fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, emergencias hidroecológicas o procesos productivos fuera de control, la Comisión Nacional del Agua podrá modificar la periodicidad de análisis y reportes. Los registros del monitoreo deberán mantenerse para su consulta por un periodo de tres años posteriores a su realización.

**TABLA 8**

Rango de población	Frecuencia de muestreo y análisis	Frecuencia de reporte
mayor de 50,000 habitantes	MENSUAL	TRIMESTRAL
de 20,001 a 50,000 habitantes	TRIMESTRAL	SEMESTRAL
de 2,501 a 20,000 habitantes	SEMESTRAL	ANUAL

**TABLA 9**

DBO t/d (toneladas/día)	SST t/d (toneladas/día)	Frecuencia de muestreo y análisis	Frecuencia de reporte
mayor de 3.0	mayor de 3.0	MENSUAL	TRIMESTRAL
de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0	TRIMESTRAL	SEMESTRAL
menor de 1.2	menor de 1.2	SEMESTRAL	ANUAL

4.9 El responsable de la descarga estará exento de realizar el análisis de alguno o varios de los parámetros que se señalan en la presente Norma Oficial Mexicana, cuando demuestre que, por las características del proceso productivo o el

## Normas oficiales mexicanas

uso que le dé al agua, no genera o concentra los contaminantes a exentar, manifestándolo ante la Comisión Nacional del Agua, por escrito y bajo protesta de decir verdad. La autoridad podrá verificar la veracidad de lo manifestado por el usuario. En caso de falsedad, el responsable quedará sujeto a lo dispuesto en los ordenamientos legales aplicables.

4.10 En el caso de que el agua de abastecimiento registre alguna concentración promedio mensual de los parámetros referidos en los puntos 4.1, 4.2 y 4.3 de la presente Norma Oficial Mexicana, la suma de esta concentración al límite máximo permisible promedio mensual, es el valor que el responsable de la descarga está obligado a cumplir, siempre y cuando lo notifique por escrito a la Comisión Nacional del Agua.

4.11 Cuando se presenten aguas pluviales en los sistemas de drenaje y alcantarillado combinado, el responsable de la descarga tiene la obligación de operar su planta de tratamiento y cumplir con los límites máximos permisibles de esta Norma Oficial Mexicana, o en su caso con sus condiciones particulares de descarga, y podrá a través de una obra de desvío derivar el caudal excedente. El responsable de la descarga tiene la obligación de reportar a la Comisión Nacional del Agua el caudal derivado.

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

### 5. METODOS DE PRUEBA

Para determinar los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, se deberán aplicar los métodos de prueba indicados en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana. El responsable de la descarga podrá solicitar a la Comisión Nacional del Agua, la aprobación de métodos de prueba alternos. En caso de aprobarse, dichos métodos podrán ser autorizados a otros responsables de descarga en situaciones similares.

Para la determinación de huevos de helminto se deberán aplicar las técnicas de análisis y muestreo que se presentan en el Anexo 1 de esta Norma Oficial Mexicana

### 6 VERIFICACION

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

### 7 GRADO DE CONCORDANCIA CON NORMAS Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES

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

### 8 BIBLIOGRAFIA

- 8.1 APHA, AWWA, WPCF, 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. U.S.A. (Métodos normalizados para el análisis del agua y aguas residuales. 19a. Edición. E.U.A.)
- 8.2 Code of Federal Regulations, Title 40. Parts 100 to 149; 400 to 424; and 425 to 629. Protection of Environment 1992. USA. (Código de Normas Federales. Título 40. Partes 100 a 149; 400 a 424; y 425 a 629. Protección al Ambiente. E.U.A.)
- 8.3 Ingeniería sanitaria y de aguas residuales, 1988. Gordon M. Fair, John Ch. Geyer, Limusa, México.
- 8.4 Industrial Water Pollution Control, 1989. 2nd Edition. USA (Control de la contaminación industrial del agua Eckenfelder W.W. Jr. 2a. Edición McGraw-Hill International Editions. E.U.A.)
- 8.5 Manual de Agua para Usos Industriales, 1988. Sheppard T. Powell, Ediciones Ciencia y Técnica, S.A. 1A. EDICIÓN. Volúmenes 1 al 4. México
- 8.6 Manual de Agua, 1989. Frank N. Kemmer, John McCallion Ed. McGraw-Hill. Volúmenes 1 al 3. México.
- 8.7 U.S.E.P.A. Development Document for Effluent Limitation Guidelines And New Source Performance Standard For The 1974 (Documento de Desarrollo de La U.S.E.P.A para guías de límites de efluentes y estándares de evaluación de nuevas fuentes para 1974).

- 8.8 Water Treatment Chemicals. An Industrial Guide, 1991. (Tratamiento químico del agua. Una guía industrial) Flick, Ernest W. Noyes Publications. E.U.A.
- 8.9 Water Treatment Handbook, 1991. (Manual de tratamiento de agua. Degremont 6a. Edición Vol. I y II. E.U.A.)
- 8.10 Waster water Engineering Treatment. Disposal, Reuse, 1991, 3rd. Edition. U.S.A. (Ingeniería en el tratamiento de aguas residuales. Disposición y reuso. Metcalf And Eddy. Mcgraw-Hill International Editions. 3a. Edición E.U.A.)
- 8.11 Estudio de Factibilidad del Saneamiento del Valle de México. Informe Final. Dic. 1995. Comisión Nacional del Agua, Departamento del Distrito Federal, Estado de Hidalgo y Estado de México.
- 8.12 NMX-AA-0871995-SCFI. Análisis de Agua.- Evaluación de Toxicidad Aguda con *Daphnia Magna* Straus (Crustacea-Cladocera).- Método de Prueba).
- 8.13 NMX-AA-110-1995-SCFI. Análisis de Agua.- Evaluación de Toxicidad Aguda con *Artemia Franciscana* Kelloggs (Crustácea Anostraca).- Método de Prueba.
- 8.14 NMX-AA-112-1995-SCFI. Análisis de Agua y Sedimento.- Evaluación de Toxicidad aguda con *Photobacterium Phosphoreum*.- Método de Prueba.

## 9 OBSERVANCIA DE ESTA NORMA

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

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

## TRANSITORIO

UNICO. A partir de la entrada en vigor de esta Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, el responsable de la descarga de aguas residuales:

1) Que cuente con planta de tratamiento de aguas residuales, está obligado a operar y mantener dicha infraestructura de saneamiento, cuando su descarga no cumpla con los límites máximos permisibles de esta Norma.

Puede optar por cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, o los establecidos en sus condiciones particulares de descarga, previa notificación a la Comisión Nacional del Agua.

En el caso de que la calidad de la descarga que se obtenga con dicha infraestructura no cumpla con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, debe presentar a la Comisión Nacional del Agua, en los plazos establecidos en las Tablas 6 y 7, su programa de acciones u obras a realizar para cumplir en las fechas establecidas en las Tablas 4 y 5, según le corresponda.

Los que no cumplan, quedarán sujetos a lo dispuesto en la Ley Federal de Derechos.

En el caso de que el responsable de la descarga opte por cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana y que descargue una mejor calidad de agua residual que la establecida en esta Norma, puede gozar de los beneficios e incentivos que para tal efecto establece la Ley Federal de Derechos.

2) Que se hubiere acogido a los Decretos Presidenciales que otorgan facilidades administrativas y fiscales a los usuarios de Aguas Nacionales y sus Bienes Públicos inherentes, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 11 de octubre de 1995, en la materia, quedará sujeto a lo dispuesto en los mismos y en lo conducente a la Ley Federal de Derechos.

3) No debe descargar concentraciones de contaminantes mayores a las que descargó durante los últimos tres años o menos, si empezó a descargar posteriormente, de acuerdo con sus registros y/o con los informes presentados ante la Comisión Nacional del Agua en ese periodo si su descarga tiene concentraciones mayores a las establecidas como límite

## Normas oficiales mexicanas

máximo permisible en esta Norma. Los responsables que no cumplan con esta especificación quedarán sujetos a lo dispuesto en la Ley Federal de Derechos.

4) Que establezca una nueva instalación industrial, posterior a la publicación de esta Norma Oficial Mexicana en el Diario Oficial de la Federación, no podrá acogerse a las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 5 de esta Norma y debe cumplir con los límites máximos permisibles para su descarga, 180 días calendario después de iniciar la operación del proceso generador, debiendo notificar a la Comisión Nacional del Agua dicha fecha.

5) Que incremente su capacidad o amplíe sus instalaciones productivas, posterior a la publicación de esta Norma Oficial Mexicana en el Diario Oficial de la Federación, éstas nuevas descargas no podrán acogerse a las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 5 de esta Norma y debe cumplir con los límites máximos permisibles para éstas, 180 días calendario después de iniciar la operación del proceso generador, debiendo notificar a la Comisión Nacional del Agua dicha fecha.

6) Que no se encuentre en alguno de los supuestos anteriores, deberá cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana; sujeto a lo dispuesto en la Ley Federal de Derechos, en lo conducente.

México, Distrito Federal, a los once días del mes de diciembre de mil novecientos noventa y seis.- La Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Julia Carabias Lillo.- Rúbrica.

## TECNICA PARA LA DETERMINACION Y CUANTIFICACION DE HUEVOS DE HELMINTO

### 1. OBJETIVO

Determinar y cuantificar huevos de helminto en lodos, afluentes y efluentes tratados.

### 2. CAMPO DE APLICACIÓN

Es aplicable para la cuantificación de huevos de helminto en muestras de lodos, afluentes y efluentes de plantas de tratamiento.

### 3. DEFINICIONES

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

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

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

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

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

### 4. FUNDAMENTO

Utiliza la combinación de los principios del método difásico y del método de flotación, obteniendo un rendimiento de un 90%, a partir de muestras artificiales contaminadas con huevos de helminto de Ascaris.

### 5. EQUIPO

Centrífuga: Con intervalos de operación de 1000 a 25000 revoluciones por minuto

Periodos de operación de 1 a 3 minutos

Temperatura de operación 20 a 28°C

Bomba de vacío: Adaptada para control de velocidad de succión 1/3 hp

Microscopio óptico: Con iluminación Köhler  
Aumentos de 10 a 100X; Platina móvil; Sistema de microfotografía

Agitador de tubos: Automático  
Adaptable con control de velocidad

Parrilla eléctrica: Con agitación

Hidrómetro: Con intervalo de medición de 1.1 a 1.4 g/cm<sup>3</sup>

Temperatura de operación: 0 a 4°C

## 6. REACTIVOS

- Sulfato de zinc heptahidratado
  - Acido sulfúrico
  - Eter etílico
  - Etanol
  - Agua destilada
  - Formaldehído
- 6.1 Solución de sulfato de zinc, gravedad específica de 1.3
- Fórmula
  - Sulfato de zinc 800 g
  - Agua destilada 1,000 ml

Preparación: Disolver 800 g de sulfato de zinc en 1,000 ml de agua destilada y agitar en la parrilla eléctrica hasta homogeneizar, medir la densidad con hidrómetro. Para lograr la densidad deseada agregar reactivo o agua, según sea el caso.

## 6.2 Solución de alcohol-ácido

- Fórmula
- Acido sulfúrico 0.1 N 650 ml
- Etanol 350 ml

Preparación: Homogeneizar 650 ml del ácido sulfúrico al 0.1 N, con 350 ml del etanol para obtener un litro de la solución alcohol-ácida. Almacenarla en recipiente hermético.

## 7. MATERIAL

- Garrafrones de 8 litros
- Tamiz de 160 mm (micras) de poro
- Probetas graduadas (1 litro y 50 ml)
- Gradillas para tubos de centrifuga de 50 ml
- Pipetas de 10 ml de plástico
- Aplicadores de madera
- Recipientes de plástico de 2 litros
- Guantes de plástico
- Vasos de precipitado de 1 litro
- Bulbo de goma
- Magneto
- Cámara de conteo Doncaster
- Celda Sedgwick-Rafter

## 8. CONDICIONES DE LA MUESTRA

1. Se transportarán al laboratorio en hieleras con bolsas refrigerantes o bolsas de hielo.
2. Los tiempos de conservación en refrigeración y transporte deben reducirse al mínimo
3. Si no es posible refrigerar la muestra líquida, debe fijarse con 10 ml de formaldehído al 4% o procesarse dentro de las 48 horas de su toma
4. Una muestra sólida debe refrigerarse y procesarse en el menor tiempo posible

9. INTERFERENCIAS

La sobreposición de estructuras y/o del detritus no eliminado en el sedimento, puede dificultar su lectura, en especial cuando se trata de muestras de lodo. En tal caso, es importante dividir el volumen en alícuotas que se consideren adecuadas.

10. PRECAUCIONES

1. Durante el proceso de la muestra, el analista debe utilizar guantes de plástico para evitar riesgo de infección.
2. Lavar y desinfectar el área de trabajo, así como el material utilizado por el analista.

11. PROCEDIMIENTO

1. Muestreo
  - a) Preparar recipientes de 8 litros, desinfectándolos con cloro, enjuagándolos con agua potable a chorro y con agua destilada.
  - b) Tomar 5 litros de la muestra (ya sea del afluente o efluente).
  - c) En el caso de que la muestra se trate de lodo, preparar en las mismas condiciones recipientes de plástico de 1 litro con boca ancha.
  - d) Tomar X gramos de materia fresca (húmeda) que corresponda a 10 g de materia seca.
2. Concentrado y centrifugado de la muestra.
  - a) La muestra se deja sedimentar durante 3 horas o toda la noche.
  - b) El sobrenadante se aspira por vacío sin agitar el sedimento.
  - c) Filtrar el sedimento sobre un tamiz de 160 mm (micras), enjuagando también el recipiente donde se encontraba originalmente la muestra y lavar en seguida con 5 litros de agua (potable o destilada).
  - d) Recibir el filtrado en los mismos recipientes de 8 litros.
  - e) En caso de tratarse de lodos, la muestra se filtrará y enjuagará en las mismas condiciones iniciando a partir del inciso c.
  - f) Dejar sedimentar durante 3 horas o toda la noche.
  - g) Aspirar el sobrenadante al máximo y depositar el sedimento en una botella de centrifuga de 250 ml, incluyendo de 2 a 3 enjuagues del recipiente de 8 litros.
  - h) Centrifugar a 400 g por 3 minutos (1,400 - 2,000 rpm por 3 minutos, según la centrifuga).
  - i) Decantar el sobrenadante por vacío (asegurarse de que exista la pastilla) y resuspender la pastilla en 150 ml de  $ZnSO_4$  con una densidad de 1.3.
  - j) Homogeneizar la pastilla con el agitador automático, o aplicador de madera.
  - k) Centrifugar a 400 g por 3 minutos (1,400 - 2,000 rpm por 3 minutos).
  - l) Recuperar el sobrenadante vertiéndolo en un frasco de 2 litros y diluir cuando menos en un litro de agua destilada.
  - m) Dejar sedimentar 3 horas o toda la noche.
  - n) Aspirar al máximo el sobrenadante por vacío y resuspender el sedimento agitando, verter el líquido resultante en 2 tubos de centrifuga de 50 ml y lavar de 2 a 3 veces con agua destilada el recipiente de 2 litros.
  - o) Centrifugar a 480 g por 3 minutos (2,000 - 2,500 rpm por 3 minutos, según la centrifuga).
  - p) Reagrupar las pastillas en un tubo de 50 ml y centrifugar a 480 g por minutos (2,000 - 2,500 rpm por 3 minutos).
  - q) Resuspender la pastilla en 15 ml de solución de alcohol-ácido ( $H_2SO_4$  1 N) +  $C_2H_5OH$  a 33-35% y adicionar 10 ml de éter etílico.
  - r) Agitar suavemente y abrir de vez en cuando los tubos para dejar escapar el gas (considerar que el éter es sumamente inflamable y tóxico).
  - s) Centrifugar a 660 g por 3 minutos (2,500 - 3,000 rpm por 3 minutos, según la centrifuga).
  - t) Aspirar al máximo el sobrenadante para dejar menos de 1 ml de líquido, homogeneizar la pastilla y proceder a cuantificar.
3. Identificación y cuantificación de la muestra.
  - a) Distribuir todo el sedimento en una celda de Sedgwick-Rafter o bien en una cámara de conteo de Doncaster.
  - b) Realizar un barrido total al microscopio.

oo

**11. CALCULOS**

1. Para determinar los rpm de la centrifuga utilizada, la fórmula es:  

$$\text{rpm} = (\text{kg/r})^{1/2}$$

Donde:

- g: fuerza relativa de centrifugación
  - K: constante cuyo valor es 89,456
  - r: radio de la centrifuga (spindle to the centre of the bracker) en cm
- La fórmula para calcular g es:

2. Para expresar los resultados en número de huevecillos por litro es importante tomar en cuenta el volumen y tipo de muestra analizada.

**NOM-003-ECOL-1997****Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997**

Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.  
 (Publicada en el D.O.F. de fecha 21 de septiembre de 1998)

JULIA CARABIAS LILLO, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, con fundamento en lo dispuesto en los artículos 32 Bis fracciones I, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 5º fracciones V y XI, 6o, 36, 37, 37 Bis, 117, 118 fracción I, 119, 121, 126, 171 y 173 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 118 fracción III y 122 de la Ley General de Salud; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 45, 46 y 47 fracciones III y IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y

**CONSIDERANDO**

Que en cumplimiento a lo dispuesto en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 14 de enero de 1998, a fin de que los interesados, en un plazo de 60 días naturales, presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en avenida Revolución 1425, Mezaninne planta alta, colonia Tlacopac, Delegación Álvaro Obregón, código postal 01040, de esta ciudad.  
 Que durante el plazo a que se refiere el considerando anterior y de conformidad con lo dispuesto en el artículo 45 del ordenamiento legal citado, estuvieron a disposición del público los documentos a que se refiere dicho precepto.  
 Que de acuerdo con lo que disponen las fracciones II y III del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, los comentarios presentados por los interesados fueron analizados en el seno del citado Comité, realizándose las modificaciones procedentes a dicha Norma; las respuestas a los comentarios de referencia fueron publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 14 de agosto de 1998.  
 Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de normas oficiales mexicanas, el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 22 de abril de 1998, aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, por lo que he tenido a bien expedir la siguiente

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

# Normas oficiales mexicanas

## 1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

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

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

## 2. DEFINICIONES

## 3. REFERENCIAS

## 4. ESPECIFICACIONES

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

TABLA 1

TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes Fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y Aceites mg/l	DBO <sub>5</sub> mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	£ 1	15	20	20
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	£ 5	15	30	30

4.2 La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada, de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006, referida en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana.

4.3 El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la columna que corresponde a embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola de la Tabla 3 de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, referida en el punto 2 de esta Norma.

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

## 5. MUESTREO

Los responsables del tratamiento y reúso de las aguas residuales tratadas, tienen la obligación de realizar los muestreos como se establece en la Norma Mexicana NMX-AA-003, referida en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana. La periodicidad y número de muestras será:

5.1 Para los coliformes fecales, materia flotante, demanda bioquímica de oxígeno<sub>5</sub>, sólidos suspendidos totales y grasa y aceites, al menos 4 (cuatro) muestras simples tomadas en días representativos mensualmente.

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

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

oo

**6. MÉTODOS DE PRUEBA**

Para determinar los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, se deben aplicar los métodos de prueba indicados en las Normas Mexicanas a que se refiere el punto 2 de esta Norma. Para coliformes fecales, el responsable del tratamiento y reuso del agua residual, podrá realizar los análisis de laboratorio de acuerdo con la NMX-AA-102-1987, siempre y cuando demuestre a la autoridad competente que los resultados de las pruebas guardan una estrecha correlación o son equivalentes a los obtenidos mediante el método de tubos múltiples que se establece en la NMX-AA-42-1987. El responsable del tratamiento y reuso del agua residual, puede solicitar a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, la aprobación de métodos de prueba alternos. En caso de aprobarse, éstos pueden ser aplicados por otros responsables en situaciones similares. Para la determinación de huevos de helminto se deben aplicar las técnicas de análisis que se señala esta Norma.

**7. GRADO DE CONCORDANCIA CON NORMAS Y LINEAMIENTOS INTERNACIONALES Y CON LAS NORMAS MEXICANAS TOMADAS COMO BASE PARA SU ELABORACIÓN**

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

**9. OBSERVANCIA DE ESTA NORMA**

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

9.2 La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación. Las plantas de tratamiento de aguas residuales referidas en esta Norma que antes de su entrada en vigor ya estuvieran en servicio y que no cumplan con los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en ella, tendrán un plazo de un año para cumplir con los lineamientos establecidos en la presente Norma.

México, Distrito Federal, a los diecisiete días del mes de julio de mil novecientos noventa y ocho.

### Anexo III

#### FACTORES DE INFLUENCIA

##### Fotosíntesis

La materia orgánica del agua residual es oxidada por las bacterias heterotróficas, utilizando el oxígeno producido por las algas. Las algas, utilizando energía solar, con el  $\text{CO}_2$  y el amoníaco producido por las bacterias, sintetizan materia orgánica y producen oxígeno. La radiación solar provee luz de longitud de onda corta para la fotosíntesis algal. La energía requerida para fotosíntesis puede obtenerse solamente de luz con longitud de onda entre 400 y 700 nm, la cual corresponde aproximadamente a un 40% de la energía total de la radiación solar. Además, las algas se saturan de luz a intensidades muy inferiores a las de la luz solar plena, lo cual hace que la eficiencia de utilización luminosa, por las algas, en fotosíntesis, sea realmente baja.

Durante el día, las algas pueden producir oxígeno en exceso del requerido para respiración y crear condiciones de sobre saturación y pérdida de OD a la atmósfera. La oxidación fotosintética permite cargas de DBO de hasta 25 g DBO/m<sup>3</sup>d; pero en ausencia de oxigenación fotosintética, la oxigenación atmosférica sólo permite cargas de hasta 5 g DBO/m<sup>3</sup>d, para condiciones aerobias.

El crecimiento algal procede gracias a la presencia de nitrógeno, fósforo y carbono inorgánico. En muchos casos, las algas obtienen el carbón necesario para su crecimiento a partir del ión bicarbonato, cambiando los componentes de la alcalinidad y haciendo que predominen los carbonatos y los hidróxidos. Si el agua contiene concentraciones altas de calcio, el calcio se precipitará como carbonato y ayudará a prevenir el aumento continuo de pH.

En lagunas anaerobias, con penetración de luz solar, las bacterias rojas del azufre son capaces de efectuar fotosíntesis, usando  $\text{H}_2\text{S}$  en vez de  $\text{H}_2\text{O}$  como donante de hidrógeno. Si la población de bacterias del azufre es muy numerosa, el agua puede tomar color rojo cereza.

En las lagunas fotosintéticas, las algas verdes producen, generalmente, un color verde intenso y el conteo de algas puede ser tan alto como 10<sup>8</sup> células/mL.

En lagunas donde la carga orgánica y el tiempo de retención permite el predominio de crustáceos y/o rotíferos, consumidores de plancton, las algas pueden desaparecer y la oxigenación fotosintética algal deja de ser importante. Las especies de algas más comunes, entre las algas verdes, son miembros de los géneros Euglena, Chlorella, Chlamydomonas y Scenedesmus; así como Oscillatoria, Anabaena, Phormidium y Anacystis entre las algas azul verdosas.

##### Oxígeno Disuelto

La actividad fotosintética intensa de las horas diurnas del día, se refleja en las concentraciones de oxígeno disuelto (OD), en la laguna. Dependiendo de cada estanque, en una laguna facultativa la capa oxigenada superficial presenta una variación diurna de OD y puede que el oxígeno disminuya notablemente durante la noche; pero también puede ocurrir que se observen concentraciones de sobresaturación de OD durante el día, hasta valores determinados, en algunos estudios, de 36 mg/L. Para tener en cuenta la variación de OD, el muestreo de una laguna de estabilización debe incluir, preferiblemente, períodos de 24 horas.

La capa aerobia superficial de una laguna facultativa actúa como barrera contra el agua anaerobia del fondo, con contenido de  $\text{H}_2\text{S}$  y  $\text{CH}_4$ . Los productos de la descomposición anaerobia de los lodos depositados en el fondo son oxidados en la capa superficial; si la capa superficial aerobia desaparece pueden ocurrir malos olores. La profundidad de penetración del OD, o localización de la oxipausa, es función de diferentes factores como la carga orgánica superficial, la temperatura, la radiación solar, la fotosíntesis y el grado de mezcla y reaireación superficial.

##### pH

Como se indicó previamente, la actividad fotosintética demanda un consumo grande de  $\text{CO}_2$  por las algas. Además, el uso factible de carbono, a partir del ión bicarbonato y la producción de ión OH hace que se obtengan períodos de pH altos en las lagunas facultativas o aerobias. Durante las últimas horas diurnas se pueden observar valores de pH superiores a 9. El desarrollo de un pH demasiado alto hace que la actividad bacteriana disminuya, se reduce la producción de  $\text{CO}_2$  y se limita el proceso simbiótico.

oo

La utilización casi completa del CO<sub>2</sub>, por fotosíntesis, puede aumentar el pH a valores tan altos como 11.0. La precipitación de calcio, en aguas duras, como carbonato, ayuda a prevenir el aumento continuo de pH, como lo indica la ecuación siguiente:



El pH afecta, también, la mortalidad bacterial en lagunas de estabilización. En general, la constante de mortalidad de coliformes fecales, Kb, aumenta con el incremento de pH. El valor de pH letal para coliformes varía de un estudio a otro, pero en general es superior a 9.0.

**Radiación Solar**

La radiación solar es la radiación total de luz directa, difusa o dispersa, recibida sobre una superficie horizontal, por día. Se expresa en Langley/d, calorías por centímetro cuadrado por día, cal/cm<sup>2</sup>d. Algunas estaciones meteorológicas disponen de equipo para registro continuo de radiación solar.

La cantidad de radiación solar recibida depende del ángulo con el cual los rayos solares inciden sobre la tierra, de la latitud y del clima. En general, es máxima en el ecuador y disminuye con el incremento en latitud. La variación diurna está fuertemente influida por la nubosidad, por la elevación sobre el nivel del mar y por la contaminación atmosférica.

La absorción de energía solar, por el agua, en lagunas de maduración es muy importante porque afecta la utilización de energía radiante, a través de la fotosíntesis, por las algas; incide sobre la destrucción de organismos patógenos, sobre la disminución del color natural y sobre la temperatura de la laguna.

La absorción de la radiación solar es selectiva pues depende de la longitud de onda; en aguas naturales la absorción de luz ultravioleta desinfectante de 253.7 nm es apreciable y la disminución de color natural, para aguas poco profundas, es de aproximadamente un 20% por mes.

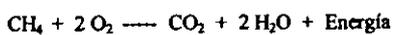
La capacidad calorífica del agua es muy grande, es decir se requiere mucho calor para calentarla y mucho frío para enfriarla. La capacidad calorífica del agua o calor específico, o cantidad de calor requerido para elevar a 1 gramo de agua un grado centígrado de temperatura, a presión atmosférica, es de 1 cal/g°C o 4.186 J/g°C.

Las lagunas actúan como un medio natural de desinfección gracias a la exposición del agua a la luz solar durante un período relativamente prolongado y a la posible producción de sustancias antibióticas por las algas.

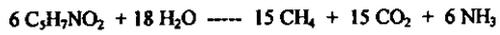
La insolación total, o energía diaria sobre un lugar determinado, incluye la radiación ultravioleta, visible e infrarroja, y es muy variable durante todo los días del año. La radiación visible o radiación de longitud de onda entre 400 y 700 nm es considerada como la energía disponible para fotosíntesis.

**Profundidad**

Si se tiene en cuenta que una gran proporción de la demanda de oxígeno es ejercida por los lodos sedimentados, la profundidad tiene efecto sobre el consumo de oxígeno. La oxidación bioquímica del metano requiere grandes cantidades de oxígeno:



La digestión anaerobia de la biomasa bacteriana sedimentada puede representarse así:



En las poco profundas el metano escapa a la atmósfera, en lagunas profundas puede demandar mucho oxígeno de las capas superiores; el dióxido de carbono es usado para síntesis algal.

La profundidad controla el crecimiento de vegetación indeseable; en la mayoría de los casos las lagunas tienen profundidades mayores de 1 m, lo cual es suficiente para prevenir dichos crecimientos. La intensidad de la mezcla es función de la profundidad; a menor profundidad el viento provee mayor mezcla y, además, se tendrá mayor área superficial con el consecuente incremento de aireación superficial. La profundidad también afecta la temperatura de la laguna,

## Factores de influencia

estanques profundos pierden menos calor y permiten una descomposición más intensa. En diseños por carga superficial, la profundidad aumenta con el tiempo de retención y constituye un factor determinante de las dimensiones físicas de la laguna para proveer eficiencias específicas de remoción de coliformes fecales. En los últimos años se ha promovido el uso de profundidades mayores de 1.5 m con el objeto de proveer volumen adicional para almacenamiento de lodos y porque en algunos casos parece que la eficiencia de remoción de DBO es más función de la carga orgánica volumétrica que de la carga orgánica superficial.

### Temperatura

La actividad bacteriana, a temperatura menos que la óptima, aumenta con el incremento en temperatura y se retarda a temperaturas mayores. En general, se ha considerado que la tasa de crecimiento microbiano se duplica para un incremento de 10°C en temperatura, hasta una temperatura máxima de 35°C.

Los organismos de agua fría, criófilicos o psicófilicos, viven a la temperatura de 0 a 10°C y tienen, en general, una tasa de crecimiento bajo. Tanto la descomposición aerobia y anaerobia, es mucho más lenta a temperaturas bajas. Los organismos mesófilicos viven a temperaturas de 10 a 40°C y los termófilicos organismos de aguas cálidas viven a temperaturas de 40 a 70°C.

La temperatura y la luz solar son los dos factores físicos más influyentes sobre la fotosíntesis. Las algas diatomeas tienen una temperatura crítica, para efectuar fotosíntesis, inferior a la de las algas azul verdosas, las cuales son más tolerables a aguas cálidas. En general las algas verdes son tolerantes a un intervalo amplio de temperaturas. En lagunas de estabilización, la tasa máxima de crecimiento algal mesófilico ocurre entre los 30 y 35°C.

La temperatura tiene también un efecto importante sobre la mezcla del agua en la laguna, especialmente si se observa la formación de una termoclina o capa de agua que separa una zona caliente superior y una zona inferior más fría. La fuente principal de calor hacia la laguna es la radiación solar; dicho calor se intercambia por medio de la evaporación y con los caudales afluente y efluente así como con la precipitación. Durante los días de sol, la laguna incrementa su contenido calorífico gracias a la mayor cantidad de radiación solar; durante los días sin sol, la laguna pierde energía calorífica hacia su entorno. Como los dos metros superiores de agua tienden a absorber aproximadamente el 50% de la radiación solar, la laguna tiende a calentarse. Cuando el agua afluente es fría, se puede inducir estratificación pues el agua fría, más densa, (la densidad máxima del agua ocurre a 4°C), permanece en el fondo y el agua cálida en la superficie.

En lagunas poco profundas, el viento continuo induce circulación y promueve la mezcla del agua para producir un perfil de temperatura aproximadamente uniforme. Sin embargo, sin vientos y con clima cálido se pueden desarrollar estratificaciones térmicas transitorias y formarse una termoclina o capa de fuerte disminución de temperatura, la cual puede desaparecer durante el tiempo frío y ventoso. La mezcla térmica del agua y la presencia de la termoclina depende, por lo tanto, de las condiciones específicas ambientales de cada laguna.

En los modelos de diseño de lagunas de estabilización se usa tanto la temperatura del aire como la temperatura del agua. Las condiciones ambientales hacen que la relación entre dichas temperaturas cambie de un lugar a otro.

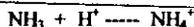
La temperatura del agua en las lagunas es 2 a 3°C superior a la temperatura ambiental en el invierno y 2 a 3°C menor que la temperatura ambiental durante el verano. La temperatura, además, incide sobre la tasa de mortalidad de coliformes. En general, la tasa de mortalidad de coliformes fecales se incrementa cuando la temperatura aumenta.

### Nutrientes

Entre los nutrientes esenciales para el crecimiento algal, además del carbono, se mencionan generalmente al nitrógeno, al fósforo, al calcio y magnesio.

El nitrógeno entra a la laguna de estabilización con el agua residual e forma de nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico y nitratos; además, algunas especies de algas pueden fijar nitrógeno atmosférico.

Las proteínas son desunidas, mediante hidrólisis, en aminoácidos, los cuales son descompuestos por las bacterias en amoníaco. El amoníaco soluble se combina con el ión H<sup>+</sup> para formar ión amonio:





## Factores de Influencia

---

### Infiltración

La percolación permisible, a través del fondo de la laguna, varía de acuerdo con las normas de diseño; valores típicos oscilan entre 0 y 10 mm/d.

La infiltración inicial, en lagunas no impermeabilizadas, puede ser importante en zonas áridas. Sin embargo, dicha infiltración se va reduciendo con el tiempo gracias a la sedimentación de lodos, algas y bacterias. En suelos porosos, las lagunas pueden sellarse en unos 3 meses.

La percolación en una laguna es función de tantas variables que es muy difícil predecir su valor, aún con estudios de suelos profundos. El sellamiento o impermeabilización natural de las lagunas ocurre con base en tres mecanismos: (1) taponamiento físico de los poros del suelo por los sólidos sedimentados, (2) taponamiento químico de los poros del suelo por intercambio iónico y (3) taponamiento orgánico y biológico debido al crecimiento biológico. El tratamiento químico introduce cambios en la naturaleza del suelo para asegurar un sellamiento. En suelos, con un contenido mínimo de 8% de arcilla y 10% de limo, el sellado con aditivos como bentonita, carbonato de sodio, trifosfato de sodio y compactación ha sido efectivo.

### Vientos

La mezcla de las aguas de una laguna de estabilización depende de varios factores, entre ellos el viento. La energía del viento disipada en mezcla es función de la extensión superficial de la laguna; por ello, las lagunas grandes tienden a tener mejor mezcla que las lagunas pequeñas.

La mezcla es importante porque proporciona una distribución más uniforme de la temperatura, del oxígeno de las algas en todo el estanque. El viento puede así establecer condiciones aerobias hasta el fondo de la laguna. El efecto máximo del viento se obtiene cuando se permite un espacio libre de obstáculos para su acción ("fetch") de 100 a 200 m. Para favorecer la acción del viento, se trata de construir las lagunas con su longitud, o dimensión mayor, paralela a la dirección predominante del viento. Sin embargo, para minimizar corto circuito causado por acción del viento, se debe alinear el eje entrada-salida de la laguna perpendicularmente a la dirección predominante del viento, colocar pantallas para proveer guías de conducción del flujo de agua y mejorar la eficiencia del tratamiento.

En una laguna estratificada, de flujo lento, las algas se sedimentan sobre el lodo y se reduce la producción fotosintética de oxígeno en la zona aerobia.

En muchas lagunas se ha observado, por las mañanas, durante tiempo cálido y con buenos vientos, color verde debido a la presencia superficial de las algas verdes y una coloración gris a medida que las algas verdes se alejan de la zona fótica y de las capas superficiales más calientes.

### Geometría de la Laguna

La forma de una laguna de estabilización depende básicamente de la topografía. Las lagunas pueden tener cualquier forma geométrica, pero se prefieren estanques con bordes uniformes continuos que impidan el estancamiento del agua y la formación de zonas muertas o la incidencia de cortocircuitos.

Algunos autores recomiendan unidades en paralelo para facilitar mantenimiento, permitir expansión modular cuando aumenta el caudal y la posibilidad de interconexión y/o recirculación de efluentes. Yáñez recomienda una relación de longitud/ancho de 5 en lagunas facultativas y 2 en lagunas de pulimento o menores para asegurar un mejor rendimiento.

### Sulfuros

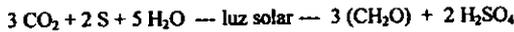
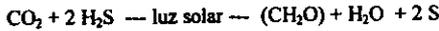
La existencia de compuestos de azufre, en el agua residual afluente, afecta la biota de las lagunas de estabilización, como a cualquier proceso biológico, al promover un cambio de las algas verdes por algas azul-verdosas.

La bacteria reductora *Desulfovibrio* utiliza el sulfato como aceptador inorgánico de hidrógeno y produce una gran cantidad de sulfuros en un medio anaerobio.

Si el pH permanece alto, el azufre reducido permanece en solución como ión hidrosulfuro. Algunos estudios indican que los sulfuros son tóxicos para las algas en concentraciones de 6 a 7 mg/L; aunque concentraciones hasta de 8 mg/L, por pocos días, no afectan apreciablemente la remoción de DBO.



Existen dos tipos de bacterias que oxidan compuestos reducidos de azufre. El primer grupo son las bacterias incoloras, estrictamente aerobias que utilizan el oxígeno molecular como aceptador de electrones. Estas bacterias son poco comunes en lagunas de estabilización y, en caso de encontrarlas, su ambiente óptimo es la capa superficial de la laguna. El segundo grupo son las bacterias fotosintéticas del azufre, estrictamente anaerobias, que utilizan luz solar y sulfuros así como CO<sub>2</sub> como aceptadores de hidrógeno. Estas bacterias imparten un color rojo al agua y ocurren cuando existen sulfuros y anaerobiosis. La oxidación del sulfuro ocurre en dos etapas:



Como puede verse en las ecuaciones anteriores, este tipo de fotosíntesis no produce oxígeno ni reducción de DBO.

#### DBO y Sólidos Suspendedos

La producción de efluentes, con DBO alta, en muchas lagunas de estabilización, es el resultado de crecimiento de biomasa suspendida en la laguna y no del escape de DBO del afluente a través de ella; como lo confirman los ensayos de DBO sobre efluentes filtrados y no filtrados.

Lo anterior realza la capacidad de las lagunas para tratar aguas residuales, pero también enfatiza la necesidad de separar apropiadamente la biomasa algal y bacterial del efluente, si se desean efluentes de alta calidad en términos de DBO y sólidos suspendidos totales.

Si una laguna de estabilización logra producir biomasa sedimentable, fácil de retener, el efluente será de muy buena calidad. En general, se puede suponer que una sola laguna pequeña deja escapar cantidades grandes de biomasa y que varias lagunas, en serie, permiten una mayor sedimentación de biomasa y, por lo tanto, un efluente con remoción mayor de sólidos suspendidos. Para determinar las condiciones óptimas para obtener este propósito se requiere aún más investigación y estudio del proceso.

## Anexo IV

### AFORADOR PARSHALL.

#### Teoría de los medidores de régimen crítico.

En el estudio generalizado de los canales se comprueba que en un canal existe un tirante límite estrechamente relacionado con los regímenes de flujo: el lento y el rápido. Es el tirante crítico.

El régimen crítico en la sección de un canal esta caracterizado por múltiples condiciones, entre ellas:

- La energía específica es mínima para un gasto dado.
- El gasto es máximo para una energía específica dada.
- La carga de velocidad es igual a la mitad del tirante "y" en un canal de pendiente pequeña.
- El numero de froude es igual a la unidad.
- La velocidad de flujo en un canal de pendiente pequeña con una distribución uniforme de velocidades es igual a la celeridad de pequeñas ondas de gravedad en la superficie del agua a causa de las turbulencias locales.

La ecuación general de régimen critico es:  $Q^2 / g = A / T$

Para un canal rectangular, donde  $A = by$ ,  $T = b$  y  $q = Q/b$ , la ecuación general de régimen critico con el tirante critico  $Y_c$  despejado queda:

$$Y_c = \text{raiz cúbica} ( q^2 / g )$$

Si el tirante  $Y_c$  es conocido, puede despejarse el gasto  $Q$  de la ecuación anterior quedando:

$$Q = \text{raiz} ( Y_c^3 b^2 g )$$

Diversos investigadores, han diseñado estructuras que permitan que en determinadas secciones se presente el tirante critico, pudiendo servir para conocer el gasto que pasa por dicha sección. Uno de los medidores de régimen critico más conocido es el aforador Parshall.

#### Dimensiones del medidor

Los medidores Parshall son indicados nominalmente, por el ancho de la garganta; así, un Parshall de  $W=9"$  mide 22.86 cm. en la menor sección transversal. El fondo a nivel en la primera sección, es indicado en la garganta con un declive de 9 vertical: 24 horizontal, cualquiera que sea su tamaño.

En la sección divergente, el fondo es ascendente a razón de 1 vertical: 6 horizontal en el caso de los medidores de 1 a 8 pies. Para estos medidores, la diferencia de nivel entre aguas arriba y el extremo aguas abajo es de 3 pulgadas.

Los menores medidores empleados son de 1" (0.0254 m) y puede haber hasta de 50 ft (15.24 M.), teniendo estos una capacidad de 530 cfs (85 m<sup>3</sup>/s). Para el diseño de los canales Parshall, se utilizan las dimensiones que se proporcionan en la siguiente:

- w Ancho nominal del medidor, en pulgadas o pies.
- A Longitud de la pared lateral de la sección convergente.
- B Longitud axial de la sección convergente.
- C Ancho final del canal aguas abajo.
- D Ancho inicial del canal aguas arriba.
- E Profundidad del canal
- F Longitud de garganta.
- G Longitud de la sección divergente.
- K Diferencia entre el nivel más bajo al final del canal y la cresta.
- N Profundidad de la depresión en la garganta.
- R Radio de las curvas de entrada.
- M Longitud horizontal de entrada.
- p Ancho entre el final de las curvas de entrada.

oo

- x Distancia horizontal del medidor Hb al punto inferior de la garganta.
- y Distancia vertical del medidor Ha al punto inferior de la garganta.

W	A	B	C	D	E	F	G	K	N	R	M	P	X
Cm	Cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
7.62	46.67	45.72	17.78	25.88	60.96	15.24	30.48	2.54	5.72	40.64	30.48	76.84	2.54
15.24	62.07	60.96	39.37	39.69	60.96	30.48	60.96	7.62	11.43	40.64	30.48	90.17	5.08
22.86	87.95	86.36	38.1	57.47	76.20	30.48	45.72	7.62	11.43	40.64	30.48	107.95	5.08
30.48	137.16	134.3	60.96	84.46	91.44	60.96	91.44	7.62	22.86	50.80	38.10	149.23	5.08
45.72	144.78	141.92	76.2	102.55	91.44	60.96	91.44	7.62	22.86	50.80	38.10	167.64	5.08
60.96	152.40	149.54	91.41	120.65	91.44	60.96	91.44	7.62	22.86	50.80	38.10	185.42	5.08
91.44	167.64	164.47	121.92	157.16	91.44	60.96	91.44	7.62	22.86	50.80	38.10	222.25	5.08
121.92	182.88	179.39	152.4	193.68	91.44	60.96	91.44	7.62	22.86	60.96	45.72	271.15	5.08
152.4	198.12	194.31	182.88	230.19	91.44	60.96	91.44	7.62	22.86	60.96	45.72	307.98	5.08
182.88	213.36	209.23	213.36	266.70	91.44	60.96	91.44	7.62	22.86	60.96	45.72	344.17	5.08
213.36	228.60	224.16	243.84	303.21	91.44	60.96	91.44	7.62	22.86	60.96	45.72	381.00	5.08

Y	Cfs	Cfs	I/s	I/s
Cm	Min	Max	Min	Max
3.81	0.03	1.9	0.85	53.80
7.62	0.05	3.90	1.42	110.44
7.62	0.09	8.90	2.56	252.02
7.62	0.11	16.10	3.11	455.90
7.62	0.15	24.60	4.25	696.51
7.62	0.42	33.10	11.89	937.29
7.62	0.61	50.40	17.27	1427.17
7.62	1.30	67.90	36.81	1922.71
7.62	1.60	85.60	45.31	2423.92
7.62	2.60	103.50	73.62	2930.79
7.62	3.00	121.40	84.95	3437.67

**Condiciones de Descarga**

El flujo a través de un medidor Parshall se puede verificar en dos condiciones diferentes correspondientes a dos regímenes distintos:

- a) flujo a descarga libre;
- b) ahogamiento o sumersión.

En el primer caso, la descarga se hace libremente como en los vertedores, en que la vena vertiente es independiente de las condiciones aguas abajo. El segundo caso ocurre cuando el nivel aguas abajo es suficientemente elevado para influir y retardar el flujo a través del medidor; es el régimen comúnmente señalado como descarga sumergida de características diferentes a las que se emplean para los vertedores.

El ahogamiento es provocado por condiciones aguas abajo, obstáculos existentes, falta de declive o niveles obligados en tramos o unidades subsecuentes. En el caso de flujo libre es suficiente medir la carga Ha para determinar el caudal. Si el medidor es ahogado, será necesario medirse también una segunda carga Hb, en un punto próximo a la sección final de la garganta.

La relación Ha/Hb es la relación de sumersión. Si el valor de Hb/Ha es igual o inferior a 0.60 (60%), para los Parshall de 3,6 o 9 pulgadas o igual e inferior a 0.70 (70%) para los medidores de 1 a 8 pies; la descarga será libre, Si estos límites son excedidos, habrá ahogamiento y el gasto será reducido. Será entonces necesario medir las dos alturas para poder calcular el gasto. Entonces, la descarga real será inferior a la obtenida con Ha,

## Aforador Parshall

En la práctica, siempre que sea posible se tratará de tener la descarga libre, por el hecho de quedar restringido a una medición de carga único. A veces esa conducción no puede ser conseguida o establecida, debido a circunstancias locales o a limitaciones impuestas. De cualquier forma, la sumersión no debe nunca exceder el límite práctico de 95%, pues arriba de este valor, no puede contarse con la precisión deseable, ya que se presenta el ahogamiento casi total y un remanso considerable hacia aguas arriba, siendo indispensable aplicar una corrección negativa.

### Puntos de medición

Con la descarga libre, la única medida de carga  $H_a$ , necesaria y suficiente para conocerse el caudal, es hecha en la sección convergente, en un punto localizado a dos terceras partes de la dimensión B (o 2/3 de A). En esta posición se puede medir el tirante del agua con una regla o se instala junto al muro, una escala para lecturas. Se puede asentar también un pozo, como el mostrado en el esquema, de uno a dos pulgadas de diámetro con una boya o un limnómetro de gancho en su interior.

Si las condiciones de flujo fuesen las de sumersión, además de la medida en la posición especificada arriba, será necesario medir la altura del nivel del agua  $H_b$ , en un punto máximo de la sección final de la garganta. La posición de esta torre se muestra en el esquema del canal parshall y depende de las dimensiones de X y Y.

Las dos cargas  $H_a$  y  $H_b$  son medidas a partir de la misma referencia: cota de fondo de la sección convergente.

### Fórmulas y tablas

Los numerosos experimentos y observaciones hechos con medidores parshall llevaron a resultados correspondientes a expresiones del tipo:

$$Q = K H_a^n$$

En la tabla 3.2.2 se muestra los coeficientes K y los del exponente n tanto en un sistema métrico como en sistema inglés, en tanto que en la tabla 3.2.3 es una relación de gastos en función del tamaño del medidor y la carga  $H_a$ , útil para una determinación más directa e los gastos

W			N	K	
ft	in	m		U. Ing.	U. Met.
	3	0.0762	1.547	0.992	0.176
	6	0.1524	1.58	2.06	0.381
	9	0.2286	1.53	3.07	0.535
1		0.3048	1.522	4	0.69
1	6	0.4572	1.538	6	1.054
2		0.6096	1.55	8	1.426
3		0.9144	1.566	12	2.182
4		1.2192	1.578	16	2.935
5		1.524	1.587	20	3.728
6		1.8288	1.595	24	4.515
7		2.1336	1.601	28	5.306
8		2.4384	1.606	32	6.101

figura 3.2.2 Valores del exponente n y del coeficiente K.

### Medidores ahogados

Si las condiciones de flujo son tales que se verifica el ahogamiento, serán necesarias dos medidas de nivel de agua para la determinación del porcentaje de sumersión. El ahogamiento retarda el flujo, habiendo una reducción de descarga. En estas condiciones, el caudal real será inferior a aquel que se obtendría por medio de la fórmula o tablas. Para la determinación del caudal será indispensable la aplicación de una corrección.

$$Q_{\text{real}} = Q_{\text{descarga libre}} - Q_{\text{corregido}}$$

**Pérdidas de Carga**

La geometría y el funcionamiento propios de canal Parshall provocan una pérdida de carga importante. Esta pérdida debe ser tomada en consideración cuando se diseña un Parshall, dependiendo de las condiciones aguas abajo que se tengan.

Para la determinación de la pérdida de carga, se pueden utilizar los ábacos propuestos por Choy, en unidades de sistema inglés, o los propuestos por Azebedo y Acosta en unidades derivadas del sistema internacional.

	W	3"	6"	9"	1'	1.5'	2'	3'	4'
Ha [cm]	K	0.176	0.381	0.535	0.69	1.054	1.426	2.182	2.935
	N	1.547	1.58	1.53	1.522	1.538	1.55	1.566	1.578
3		0.776	1.495	2.502	3.319	4.794	-	-	-
4		1.21	2.356	3.886	5.143	7.461	-	-	-
5		1.709	3.352	5.467	7.222	10.516	13.725	20.019	-
6		2.266	4.471	7.226	9.532	13.92	18.208	26.634	34.636
7		2.877	5.704	9.149	12.503	17.644	23.122	33.906	44.175
8		3.537	7.044	11.222	14.769	21.667	28.439	41.792	54.536
9		4.244	8.485	13.438	17.669	25.97	34.135	50.257	65.675
10		4.995	10.021	15.789	20.742	30.538	40.19	59.273	77.555
11		5.788	11.65	18.268	23.98	35.359	46.588	68.814	90.142
12		6.622	13.367	20.869	27.376	40.422	53.315	78.859	103.408
13		7.495	15.169	23.588	30.922	45.718	60.358	89.39	117.333
14		8.406	17.053	26.42	34.614	51.237	67.705	100.39	131.886
15		9.352	19.017	29.361	38.447	56.973	75.346	111.844	147.055
16		10.334	21.059	32.408	42.415	62.918	83.273	123.739	162.821
17		11.351	23.176	35.558	46.515	69.067	91.478	136.062	179.166
18		12.4	25.366	38.808	50.743	75.414	99.952	148.803	196.078
19		13.482	27.628	42.155	55.095	81.953	108.69	161.951	213.541
20		14.595	29.961	45.596	59.569	88.68	117.684	175.496	231.544
25		20.612	42.626	64.151	83.659	124.989	166.613	248.902	329.274
30		27.329	56.856	84.791	110.415	165.445	220.626	331.151	439.041
35		34.689	72.536	107.344	139.611	209.709	280.172	421.566	559.948
40		42.648	89.574	131.676	171.074	257.519	344.598	519.614	691.288
45		51.172	107.895	157.677	204.663	308.661	413.618	624.864	832.487
50		-	-	185.258	240.26	362.958	486.993	736.956	983.066
55		-	-	214.343	277.767	420.26	564.523	855.584	1142.616
60		-	-	244.864	317.099	480.438	646.032	980.482	1310.783
65		-	-	-	358.182	543.377	731.367	1111.417	1487.255
70		-	-	-	400.948	608.978	820.392	1248.183	1671.756

Figura 3.2.3 Gastos en medidores Parshall (l/s)

## Tablas y gráficas

Tabla 3.2.7. Concentraciones de micronutrientes en el suelo.	48
Tabla 3.3.1. Tolerancia de los cultivos a la salinidad del extracto de saturación del suelo expresada en CE x 10 <sup>3</sup> , para diferentes porcentajes de disminución del rendimiento del cultivo.	51
Tabla 3.3.2. Tolerancia relativa de las plantas al boro.	52
Tabla 3.3.3. Tiempo de sobre vivencia de organismos patógenos en cultivos regados con agua residual.	54

### Capítulo IV

Tabla 4.1.1 Características de las lagunas de estabilización	60
Tabla 4.1.2 Cargas orgánicas superficiales para diseño de lagunas facultativas	61
Tabla 4.1.3 Remoción de DBO en lagunas anaerobias.	62
Tabla 4.1.4 Resumen de algunos autores por métodos utilizado y áreas de investigación.	62
Tabla 4.4.1 Valores de diseño para cargas volumétricas permisibles en función de la temperatura	66
Tabla 4.4.2 Coeficientes de correlaciones de carga de DBO.	67

### Capítulo V

Tabla 5.1.1 Bordo libre propuesta para diferentes Fetch	78
Tabla 5.1.2 Tipo de suelo dependiendo su coeficiente de permeabilidad K y su uso	81
Tabla 5.1.3 Productos y Técnicas de impermeabilización	82
Tabla 5.1.4 Tamaño de la abertura de las rejillas en función de su uso	83
Tabla 5.1.5 Variación de la cantidad de material retenido en función de la abertura de la rejilla	84
Tabla 5.2.1. Elementos que componen los costos de inversión.	87
Tabla 5.2.2. Principales conceptos de obra para presupuestación a plantas de tratamiento.	88
Tabla 5.2.3. Estimación de costo de terreno para lagunas facultativas y aereadas.	89
Tabla 5.2.4. Estimación de costos de inversión para junio del 2001.	89
Tabla 5.3.1 Controles típicos de operación	92
Tabla 5.4.1. Costo de personal actualizado	94
Tabla 5.4.2. Personal considerado para operación de sistemas lagunares por turno.	94
Tabla 5.4.3. Costos anuales por operación y mantenimiento actualizados a junio, 2001.	95
Tabla 5.5.1 Gastos de una laguna para una población de 5,000 hab. en valor presente	96
Tabla 5.5.2 Gastos de una laguna para una población de 10,000 hab. En Valor Presente	96
Tabla 5.5.3 Gastos de una laguna para una población de 20,000 hab. en valor presente	97
Tabla 5.5.4 Gastos de una laguna para una población de 30,000 hab. en valor presente	97
Tabla 5.5.5 Gastos de una laguna para una población de 30,000 hab. en valor presente	98
Tabla 5.5.6 Resumen de los gastos de lagunas para 20 años con el 12% de interés en valor presente.	98

### Capítulo VI

Tabla 6.1.1 Temperaturas promedio de 1943 a 1998 en la estación de Sabinas	104
Tabla 6.1.2 Precipitaciones promedio de 1943 a 1998 en la estación de Sabinas	104
Tabla 6.1.3 Evaporaciones netas históricas de la Presa Venustiano Carranza	105
Tabla 6.1.4 Estadística del municipio de Sabinas, Coahuila, 1950-2000	106



**Tablas**

	<b>Pag.</b>
<b>Capítulo I</b>	
Tabla 1.1.1 Efectos indeseables de las aguas residuales.	3
Tabla 1.1.2 Contaminantes de importancia en aguas residuales	4
Tabla 1.1.3 Contaminantes de importancia en aguas residuales.	4
Tabla 1.1.4 Coberturas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a nivel nacional. (Situación a diciembre de 1999).	5
Tabla 1.1.5 Caudal descargado por diferentes tipos de industria (datos para 1999).	5
Tabla 1.1.6 Generación de aguas residuales por la actividad agrícola.	6
Tabla 1.1.7 Regiones administrativas de la CNA	6
Tabla 1.1.8. Disponibilidad y usos del agua por región administrativa.	7
Tabla 1.1.9 Cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado por región administrativa. (Situación a diciembre de 1999)	7
Tabla 1.1.10 Situación actual de los procesos de tratamiento de aguas residuales en México	8
Tabla 1.1.11. Características de calidad media del agua residual en poblaciones mexicanas	9
Tabla 1.2.1. Extracciones brutas de agua (Datos estimados para 1999).	11
Tabla 1.2.2 Extracciones brutas de agua por región administrativa.	11
Tabla 1.2.3 Tolerancia de animales a la salinidad del agua	12
Tabla 1.2.4 Límite máximo de coliformes para uso de agua para baño	13
Tabla 1.5.1. Fecha de cumplimiento de la NOM-ECOL-001 por rango de población	20
Tabla 1.5.2. Fecha de cumplimiento de la NOM-ECOL-001 por rango de DBO	20
Tabla 1.5.3. Frecuencia del muestreo y reporte, según cantidad de población	20
Tabla 1.5.4. Frecuencia del muestreo y reporte, según parámetros	20
Tabla 1.5.5 Norma NOM-001-ECOL-1996 parámetros a cumplir para riego agrícola	21
Tabla 1.5.6 Norma NOM-003-ECOL-1996 parámetros a cumplir para reúso público	22
<b>Capítulo II</b>	
Tabla 2.1.1 Provincias ecológicas de las zonas áridas	28
Tabla 2.4.1 Tipos de cultivo en las zonas áridas	32
<b>Capítulo III</b>	
Tabla 3.1.1. Clasificación de aguas para riego por Conductividad Eléctrica.	41
Tabla 3.1.2. Clasificación de aguas para riego de acuerdo a su salinidad efectiva o potencial.	41
Tabla 3.1.3. Clasificación de las aguas de riego según el contenido de cloruros.	42
Tabla 3.1.4. Clasificación de las aguas para riego de acuerdo al carbonato de sodio residual (CSR)	42
Tabla 3.1.5. Clasificación de agua para riego de acuerdo al porcentaje de sodio posible (PSP)	43
Tabla 3.1.6. Clasificación de aguas para riego por contenido de boro.	43
Tabla 3.2.1. Principales características de unidades de suelo en el sistema FAO/UNESCO	44
Tabla 3.2.2. Clasificación de las partículas del suelo	45
Tabla 3.2.3. Relación de la textura con el comportamiento hidrodinámico	45
Tabla 3.2.4 Propiedades típicas de diferentes suelos	46
Tabla 3.2.5. Laminas Promedio de los distritos de riego en las zonas áridas	46
Tabla 3.2.6. Clasificación de suelos en función de la C.E. y el % de Na	46

## Tablas y gráficas

Tabla 6.1.5 Modelo de crecimiento en Sabinas, Coahuila	107
Tabla 6.2.1 características de calidad de agua residual para poblaciones mexicanas mayores a 10,000 habitantes	109
Tabla 6.2.2 Norma NOM-001-ECOL-1996 parámetros a cumplir para riego agrícola	110
Tabla 6.3.1 velocidades y gastos del canal de llamada	112
Tabla 6.3.2 Resumen de los parámetros del canal de llamada	112
Tablas 6.3.3 Dimensiones de las rejillas	112
Tabla 6.3.4 Características del canal Parshall	113
Tabla 6.3.5 Revisión de las velocidades en el desarenador	114
Tabla 6.3.6 Resumen de las características del desarenador	115
Tabla 6.4.1 Revisión de los parámetros del tratamiento biológico	126
Tabla 6.4.2a Resumen de los cálculos de las lagunas anaerobias y facultativas	127
Tabla 6.4.2b Resumen de los cálculos de las lagunas de pulimento	127
Tabla 6.5.1 Datos físicos de Sabinas	128

## Gráficas

	Pag.
Figura 2.1.1 Localización de zonas áridas.	27
Figura 2.2.1 Mapa de temperaturas medias.	30
Figura 2.2.2. Mapa de precipitaciones medias	30
Figura 5.1.1 Fuerzas que actúan en un bordo	78
Figura 5.1.2 Calculo de las dimensiones entre la superficie y fondo de la laguna	80
Figura 5.1.3 Filtro tipo horizontal	80
Figura 5.1.4 Filtro tipo chimenea vertical	81
Figura 5.1.5 Dibujo en planta y perfil de rejas de limpieza manual	83
Figura 5.1.6. Sistema de ruta alterna para lagunas anaerobias	86
Figura 5.2.1. Costos de inversión total considerados para sistemas lagunares.	90
Figura 5.4.1 Costos anuales por operación y mantenimiento para distintas lagunas	95
Figura 5.5.1 Gastos totales de lagunas para un tiempo de 20 años con una tasa de interés de 12% en valor presente.	98
Figura 6.1.1 Localización de Sabinas, Coahuila.	103
Figura 6.1.2 Temperaturas promedio de 1943 a 1998 en la estación Sabinas	104
Figura 6.2.1 Diagrama de Flujo	107
Figura 6.3.1 Diagrama de flujo del pretratamiento a emplear	111
Figura 6.3.2 Planos para el canal Parshall	113
Figura 6.4.1 Arreglo de lagunas para el tratamiento de aguas residuales municipales	116
Figura 6.6.1 Arreglo final de las lagunas de estabilización	129
Figura 6.6.2 Dibujo general de laguna de estabilización propuesta	129
Figura 6.6.3 Volumen de excavación	130
Figura 6.6.4 Laguna anaerobia	130
Figura 6.6.5 Laguna facultativa	131
Figura 6.6.6 Laguna de pulimento 1	131
Figura 6.6.7 Laguna de pulimento 2	131
Figura 6.6.8 Laguna de pulimento 3	132
Figura 6.6.9 Laguna de pulimento 4	132
Figura 6.6.10 Tanque de almacenamiento	133

