



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO**



**Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales**

**“TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CUENCA CENTRAL DE MÉXICO. VALUACIÓN DE LOS MÉTODOS EMPLEADOS.”**

**T E S I S**

Que para obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS EN**

**METODOLOGIA DE LA CIENCIA**

**PRESENTA:**

**Alfredo Muñoz Cuevas**

**Director de Tesis: Dr. Rolando V. Jiménez Domínguez**

México, D.F

Febrero 2011.



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

## ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de MÉXICO, D.F. siendo las 10:00 horas del día 29 del mes de OCTUBRE del 2010 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIECAS para examinar la tesis titulada:

"TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CUENCA CENTRAL DE MÉXICO. VALUACIÓN DE LOS MÉTODOS EMPLEADOS"

Presentada por el alumno:

MUÑOZ

Apellido paterno

CUEVAS

Apellido materno

ALFREDO

Nombre(s)

Con registro: 

B	0	7	1	2	9	2
---	---	---	---	---	---	---

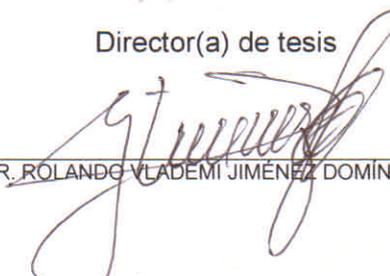
aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN METODOLOGÍA DE LA CIENCIA

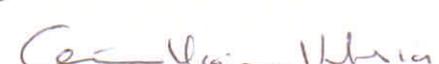
Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

### LA COMISIÓN REVISORA

Director(a) de tesis

  
DR. ROLANDO VLADEMI JIMÉNEZ DOMÍNGUEZ

  
DRA. MARÍA DEL PILAR LONGAR-BLANCO

  
DRA. HORTENSIA GÓMEZ VIQUEZ

  
DRA. ESPERANZA LOZOYA-MEZA

  
M. EN C. PEDRO MENDOZA ACOSTA

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

  
DR. ZACARÍAS TORRES HERNÁNDEZ

  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
CENTRO DE INVESTIGACIONES  
ECONÓMICAS ADMINISTRATIVAS



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

*CARTA CESIÓN DE DERECHOS*

En la Ciudad de México el día 11 del mes de noviembre del año 2010, el que suscribe **Alfredo Muñoz Cuevas**, alumno del Programa de Metodología de la Ciencia, con número de registro **B071292**, adscrito al **Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales**, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del **Dr. Rolando V. Jiménez Domínguez** y cede los derechos del trabajo intitulado “TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CUENCA CENTRAL DE MÉXICO. VALUACIÓN DE LOS MÉTODOS EMPLEADOS.”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: Lauro Aguirre 120, esquina Sor Juana Inés de la Cruz, Col. Agricultura, Del. Miguel Hidalgo, C. P. 11360. México D. F. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Alfredo Muñoz Cuevas.

Nombre y firma

## **AGRADECIMIENTOS.**

Esta tesis es el fruto de un diálogo que desde el invierno del 2007 dio inicio con el doctor Rolando V. Jiménez, el cual siempre se distinguió por la paciencia y el realismo, cualidades sin las que este trabajo no hubiera visto la luz; su acertada dirección permitió cristalizar este esfuerzo. Muchas gracias doctor. De la misma forma, las observaciones y correcciones que a lo largo de estos 3 años me proporcionaron tanto la doctora Hortensia Gómez Víquez como el Doctor Pedro Mendoza Acosta no solo le dieron forma sino también sentido a lo aquí expresado; razón por la cual su apoyo fue inestimable.

Agradezco también las críticas certeras y constructivas de las doctoras María del Pilar Longar Blanco y Esperanza Lozoya Meza, así como del Mijael Altamirano Santiago, las cuales mejoraron con mucho el contenido. Lo aprecio doblemente ya que las realizaron justo cuando el trabajo les abrumaba.

Como toda obra humana, este trabajo no existiría sin las aportaciones de los demás profesores y compañeros del CIECAS, entre ellos destacan el doctor Miguel Angel Vite Pérez, el cual me hizo descubrir a Pierre Bordieu, al doctor Benjamín Méndez Bahena, con sus textos de Zeelman, el doctor Fernando García Córdoba y los debates que sosteníamos sobre Bunge; de igual forma, la maestra Aida Castañeda Rodríguez que fue mi primer contacto con el CIECAS y por supuesto, no por ser enumerado al último es el menos importante, el doctor Humberto Monteón, el cual no solo fue un magnífico profesor sino un gran ser humano. Por último, a mis compañeros de generación, a Fanny, Laura, Aby, Esteban y Paco el inflexible, los cuales influyeron en mi perspectiva original. Gracias en donde ustedes se encuentren.

Debo agradecer el apoyo que me brindó la licenciada Sandra Aguilar Fonseca, directora del Colegio de Ciencias y Humanidades plantel Azcapotzalco de la Universidad Nacional Autónoma de México para las diferentes etapas de este trabajo. Un especial reconocimiento a la bióloga Ana María Sánchez Vázquez, y al M. en C. Oscar Cuevas, secretarios anterior y actual de la Secretaría Docente del plantel, los cuales al permitir tener abierta la sala PUSTE de forma ininterrumpida me permitieron elaborar la presente tesis.

Por otro lado, la motivación para trabajar en este problema nació cuando colabore hace 10 años con el doctor Pablo Moctezuma Barragán en Azcapotzalco y a lo largo de los años fui beneficiado no solo con su amistad sino también con la gran cantidad de material de apoyo. De la misma forma, quiero agradecer la oportunidad de haber podido trabajar en el laboratorio de Aguas Residuales de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa cuando cursé la Especialidad; fue inestimable lo ahí aprendido a lo largo de todos estos años, razón por la que agradezco el apoyo recibido en aquellos tiempos por el doctor Oscar Monroy y la doctora Mónica Meraz.

**A TODOS ELLOS MUCHAS GRACIAS.**

## DEDICATORIAS

A mi mama Hilda, la jefa, yo se que en estos últimos meses las cosas se han puesto color de hormiga brava para ella y para mí. Animo jefa, no se deje que este contratiempo (que pinta para ser un huracán) la venza. Maltrechos vamos a quedar, pero con el alma entera.

Bucita de mi vida, espero que me permitas seguir deambulando por esos caminos del mundo en tu compañía, pisándolos con nuestras patotas. Tu espíritu renegón es único en este mundo tan conformista. Tu bombillibu no solo es una parte de ti, sino también es un faro de luz para mi.

Tania y Manuel, lamentablemente no he visto que sus almas tengan fuste. Sin eso, el alma se desvanece y las personas se desdibujan. Espero que algún día puedan reaccionar.

## **RESUMEN.**

El presente trabajo tiene el propósito de evaluar las diferentes propuestas referidas a la depuración de las aguas residuales por medios biológicos (aerobio, anaerobio, humedales y filtración del suelo, así como sus diferentes variantes) en la Cuenca central de México, a partir de indicadores derivados de criterios ecológicos, normativos y económicos; dicha evaluación se encuentra a su vez referida a la dinámica histórico social de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), mientras que por otro lado, la gran heterogeneidad de los trabajos aquí revisados, los cuales van desde el ámbito experimental, diseño de prototipos, plantas piloto y Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), obliga a cuestionar al esquema de la Ciencia y la Tecnología y en contraparte nos remite a la Tecnociencia como modelo alternativo. Los resultados muestran que si bien los sistemas de tratamiento anaerobios presentan los mejores resultados en cuanto a la depuración de la materia orgánica, el volumen de aguas tratadas que son reusadas en diferentes actividades (con la consiguiente ahorro por la liberación de uso del agua potable) son generadas por los sistemas de tratamiento aerobio, permitiendo mayores ahorros; por otro lado la emergencia de nuevos contaminantes obliga a replantearse la forma tradicional de depuración de las aguas residuales. Asimismo, se sugiere que más allá de las evaluaciones técnico-económicas, el problema principal está referido a la racionalidad estrecha que al subyugar la lógica ambiental puede articular un paradigma que en la actualidad se encuentra en crisis.

## **ABSTRACT**

The present study aims to evaluate the various proposals concerning the purification of wastewater by biological means (aerobic, anaerobic, soil and seepage wetlands and their variations) in the central basin of Mexico, based on indicators criteria derived from ecological, and economic policy, this assessment is in turn referred to the historical and social dynamics of the Metropolitan Area of Mexico City (MAMC), while on the other hand, the heterogeneity of the work reviewed here, They range from the experimental, prototyping, pilot plants and wastewater treatment plants (WWTP) requires questioning the scheme of Science and Technology and brings us to the counterparty Technoscience as an alternative model. The results show that while anaerobic treatment systems have the best results in terms of clearance of organic matter, the volume of treated water being reused in different activities (with the resulting savings to free potable water use) are generated by aerobic systems, allowing for greater savings, on the other hand the emergence of new chemicals requires rethinking the traditional way of purification of wastewater. It also suggests that beyond the technical and economic evaluations, the main problem is referred to the narrow rationality to subjugate environmental thinking can articulate a paradigm that is currently in crisis.

# INDICE GENERAL

---

<b>Resumen</b>	<b>2</b>
<b>Abstract</b>	<b>2</b>
<b>Índice de tablas, gráficas, figuras y recuadros</b>	<b>5</b>
<b>Glosario</b>	<b>8</b>
<b>Siglas</b>	<b>10</b>
<b>Fundamentos de la investigación</b>	<b>11</b>
<b>Introducción</b>	<b>12</b>
<b>Capítulo 1 La razón, sus joyas y sus engendros. De la Episteme y la Teckhné a la tecnociencia</b>	<b>14</b>
1.1 Los saberes y los haceres	14
1.2 La historia de las dos hermanas	17
1.3 Surge la tecnociencia	25
<b>Capítulo 2 Perspectiva del agua en el Mundo y en México</b>	<b>31</b>
2.1 El agua desde la perspectiva ambiental	31
2.2 El caso de México	33
2.3 Disponibilidad del agua	37
2.4 La zona metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM)	41
2.4.1 Hidrología	42
2.4.2. Evolución histórica	43
2.4.3. Disponibilidad natural del agua en la ZMCM	50
2.4.4 La expoliación del agua.	52
2.4.5 Sobreexplotación de los acuíferos	54
2.4.6 Hundimiento del subsuelo.	55
2.4.7 Las aguas residuales.	58
<b>Capítulo 3 Abordaje metodológico</b>	<b>63</b>
3.1 Definición de método, sistemas y esquemas.	63
3.2 Evaluación de los sistemas de depuración. Perfil	64
3.2.1 Generar el marco conceptual de evaluación. Descripción	64
3.2.2 Búsqueda y acumulación de información. Descripción	65
3.3 Generar el marco conceptual de evaluación	65
3.3.1 Criterios para la valoración de los métodos de depuración de las aguas residuales	65
3.3.2 Considerar la cuenca central y el valle del Mezquital son una misma unidad hidrográfica.	67
3.3.3 Elaboración de indicadores	68
3.4 Búsqueda y acumulación de información	72
3.4.1 Características del agua residual	72
3.4.2 Búsqueda sistemática en las bases de Datos	76
3.4.3 Características de los métodos de depuración	77
3.4.3.1 Principios básicos de la depuración de las aguas residuales	77
3.4.3.2 Esquemas de depuración generales	77
3.4.3.3 Esquemas de depuración biológicas. Esquema aerobio	77
3.4.3.4 Esquemas de depuración anaerobia y anóxica	78

3.4.3.5 Esquemas de depuración por humedales y filtración del suelo	78
3.5 Evaluación de los sistemas	80
3.5.1 Evaluación interna de la tecnología.	80
3.5.2 Evaluación externa de la tecnología	80
<b>Capítulo 4. Resultados y análisis</b>	<b>81</b>
4.1 Resultados obtenidos	81
4.2 Análisis	121
4.2.1 Comparación de los diferentes sistemas depuradores	121
4.2.1.1 Por volumen de agua depurada	121
4.2.1.2 Por cantidad de materia orgánica depurada	122
4.2.1.3 Subproductos generados por los sistemas de depuración	126
4.2.1.4 Costos de Inversión, Mantenimiento y Operación de los sistemas de depuración	128
<b>Capitulo 5 Discusión.</b>	<b>136</b>
5.1 Problemas de diseño	136
5.2 Heterogeneidad agua residual	138
5.3 Falta personal capacitado	140
5.4 El problema de los lodos	140
5.5 Las aguas residuales ¿Opción para el riego agrícola?	144
5.7 Evaluación interna de las tecnologías	149
5.8 Renovar los sistemas de tratamiento mediante la transferencia de tecnología	150
5.8.1 ¿Eliminar las plantas de tratamiento?	153
5.8.2 ¿Los sistemas anaerobios son la opción mas adecuada?	154
5.8.3 Las desventajas (cuando se saben sumar) son ventajas	155
5.8.4. Rediseñar las plantas de tratamiento de aguas residuales	155
5.8.5 Transferir tecnologías, rediseñar la ingeniería o simplemente racionalizar los procesos productivos.	160
5.9 El nudo de la racionalidad.	163
5.9.1 Evaluación externa de los sistemas depurativos.	169
<b>Conclusiones</b>	<b>172</b>
<b>Sugerencias y Recomendaciones</b>	<b>173</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>175</b>
Anexos	205
Anexo 1	205
Anexo 2	208
Anexo 3	210
Anexo 4	212
Anexo 5	216
Anexo 6	220
Notas	233

# Índice de tablas y figuras

## Índice de tablas

Tabla 1.1. Ejemplo de Ciencia básica, aplicada y desarrollo técnico según Mario Bunge	21
Tabla 1.2 Perfiles generales del quehacer científico y tecnológico	23
Tabla 2.1. Estado general de las reservas del agua a nivel mundial: Shiklomanov en 1993, (Shiklomanov, L. 1993. World fresh water resources. Chap 2 in P. Gleick (edit). Water in crisis. Oxford. Univ. Press. Oxford. New York, USA	32
Tabla 2.2 Disponibilidad <i>per capita</i> del agua en el mundo	33
Tabla 2.3. Ciudades con conflictos en el abastecimiento de agua. (Jimenez y Ramos 1996, p. 65)	39
Tabla 2.4. Zonas hidrológicas de la cuenca central de México. Boletín hidrológico No 30. (1984) Datos del Valle de México correspondiente al año 1977. Comisión de aguas del Valle de México. SARH. Biblioteca Archivo Histórico del agua.	43
Tabla 2.5. Fechas de las principales inundaciones en el valle de México. Estadísticas históricas de México. México. Intituto Nacional de Estadística e informática. INAH, SPP. 1986. tomo1 p. 24 en Memoria y encuentros: La ciudad de México y el Distrito Federal (1824-1928)	48
Tabla 2.6. Distribución político-administrativa de la Cuenca central de México. INEGI. 2000. Estadísticas del medio ambiente del D.F. y zona metropolitana. México	50
Tabla 2.7. Caudales de agua potable y población de la Ciudad de México. Agua disponible por zonas hidrológicas (Según el boletines hidrológicos 13-15, 18-23)	55
Tabla 3.1. Criterios e indicadores relacionados	66
Tabla 3.2 Características de la Región XIII de la CNA “Valle de México” con respecto a sus principales parámetros	68
Tabla 3.3. Indicadores propuestos	69
Tabla 3.4. Calculo de los parámetros más relevantes para valorar los indicadores	70
Tabla 3.5. Costos de los diferentes esquemas depurativos, originalmente elaborado por José Sabino Sámano; Adalberto Noyola “Análisis del costo de inversión y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales para poblaciones pequeñas. Revista Federalismo y Desarrollo. Año 9. Abril-Mayo- Junio 1996 y modificado por (Fuentes 2001; p.71)	71
Tabla 3.6. Valores de biodegradabilidad de las aguas residuales	72
Tabla 3.7. Composición general de las aguas residuales y sus valores promedio	73
Tabla 3.8. Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la Ciudad de México.	74
Tabla 3.9 Prospectiva para el 2010 en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Elaboración propia	75
Tabla 3.10 Elementos para clasificar los documentos	76
Tabla 4.1 Volúmenes mensuales y anuales de agua depurada según los diferentes sistemas	122
Tabla 4.2... Depuración de la carga orgánica diaria (Como DQO y DBO)	123
Tabla 4.3. Comparación de los diferentes sistemas de depuración tanto en el Valle de México como en la República mexicana	124
Tabla 4.4. Comparación entre los diferentes sistemas aerobios, tanto por la producción de lodo como el costo asociado	126
Tabla 4.5. Comparación de producción de metano por los diferentes sistemas de depuración anaerobia (Teóricos) así como su posible valor en electricidad	128
Tabla 4.6. Relación de los costos de Inversión, Mantenimiento y Operación, así como los costos asociados tales como el costo por m <sup>3</sup> depurada y por Kg. de DQO depurada.	131
Tabla 4.7. Ahorro generado por los diferentes sistemas de depuración	133

## Índice de gráficas

Gráfica 2.1. Elaborado a partir de los datos de: Marquita K.Hill. 1997. Understanding environmental pollution. Cambridge university press. U,K	32
Gráfica 2.2. WRI. Disponibilidad de agua por habitante. The World Resources Institute et al., 2002-2004. Oxford University Press, New York, U.S.A., 2004.	33
Gráfica 2.3. Ciclo hidrológico en México. Sus componentes. SEMARNAT. CNA. Estadísticas del Agua en México, 2005. México, D.F.	34

Gráfica 2.4 Disponibilidad natural media de agua <i>per cápita</i> en México (1970-2025) Elaborado a partir de las estadísticas del agua en México. CONAGUA 2007, p. 27.	<b>35</b>
Gráfica 2.5. Serie Histórica de la distribución del agua a poblaciones urbanas y rurales en México. Gráfica elaborada a partir de: Toledo. 2006 Secretario General del 4 <sup>a</sup> foro Mundial del agua. A long-term forecast for the future of water resource in Mexico.	<b>35</b>
Gráfica 2.6 . Descargas municipales en el país. Estadísticas del agua en México.2007. CONAGUA SEMARNAT	<b>36</b>
Gráfica 2.7. Descargas de aguas residuales a nivel Nacional. Estadísticas del agua en México. 2007. CONAGUA SEMARNAT.	<b>36</b>
Gráfica 2.8. Descargas de aguas residuales municipales (DBO descargado). Estadísticas del agua en México. 2007. CONAGUA SEMARNAT	<b>37</b>
Gráfica 2.9. Disponibilidad natural media per capita. Valle de México. Estadísticas del agua en México. 2007. CONAGUA SEMARNAT	<b>51</b>
Gráfica 2.10. Comparación entre el crecimiento poblacional de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y la demanda de agua potable (Tomado de Sánchez 2000)	<b>52</b>
Gráfica 2.11. Proyecciones de la disponibilidad natural media de agua per capita en México 206-2030. Estadísticas del agua en México 2007 CONAGUA SEMARNAT, p.156.	<b>54</b>
Gráfica 2.12. Gráfica 2.12. Caudal de aguas residuales municipales tratadas.Ciudad de México. Estadísticas del agua en México.. Disponibilidad natural media per capita por región	<b>59</b>
Gráfica 2.13. Descargas de aguas municipales e industriales en la cuenca de México. Estadísticas del agua en México. 2007. CONAGUA SEMARNAT. Disponibilidad natural media per capita por región hidrológica administrativas. Solo comprende la región XIII.	<b>59</b>
Gráfica 2.14 Contaminación orgánica de las aguas residuales en la Cuenca central de México (como toneladas de DBO AÑO) Estadísticas del agua en México. 2007 CONAGUA SEMARNAT.. Solo comprende la región XIII.	<b>60</b>
Gráfica 4.1 Comparación de los diferentes sistemas según por volumen depurado	<b>121</b>
Grafica 4.2. Volúmenes depurados mensuales	<b>121</b>
Grafica 4.3 Carga orgánica depurada (como DQO)	<b>122</b>
Gráfica 4.4. Comparación de materia orgánica depurada diaria (Como DQO)	<b>123</b>
Grafica 4.5. Carga orgánica depurada al mes por los diferentes sistemas	<b>124</b>
Gráfica 4.6. Comparación de los diferentes sistemas aerobios de depuración tanto en la cuenca central de México como en la República mexicana	<b>125</b>
Gráfica 4.7 Comparación de los diferentes sistemas anaerobios de depuración tanto en el valle de México como en la República mexicana	<b>125</b>
Grafica 4.8. Comparación de la biodegradabilidad en algunos de los casos revisados.	<b>126</b>
Gráfica 4.9. Producción de lodos por los diferentes sistemas aerobios	<b>126</b>
Gráfica 4.10. Costo de confinamiento de los lodos producidos por los diferentes sistemas de depuración aerobia en cumplimiento de la NOM-004-ECOL	<b>127</b>
Gráfica 4.11. Comparación de los diferentes sistemas de depuración anaerobia a partir de su producción teórica de metano	<b>127</b>
Gráfica 4.12. Comparación de los diferentes sistemas de depuración anaerobia a partir de su producción teórica de metano.	<b>128</b>
Gráfica 4.13. Comparación de la relación costo (Mantenimiento y Operación)/depuración DQO de los diferentes sistemas de depuración	<b>129</b>
Gráfica 4.14. Costo de Inversión de los sistemas aerobios	<b>130</b>
Gráfica 4.15. Costo de operación y mantenimiento por los diferentes sistemas aerobios	<b>130</b>
Gráfica 4.16. Costo de inversión de los sistemas de depuración anaerobios	<b>131</b>
Gráfica 4.17. Ahorro en multas por incumplimiento de la NOM-002-ECOL por los distintos sistemas de depuración	<b>132</b>
Gráfica 4.18. Ahorro al sustituir agua potable por agua tratada según los diferentes sistemas de depuración	<b>132</b>
Gráfica 4.19. Ahorro total (por multas no pagadas y por no consumo de agua potable) de los diferentes sistemas de depuración	<b>133</b>
Grafica 4.20. Relación entre el costo de operación y el ahorro total de los diferentes sistemas depuradores	<b>134</b>
Gráfica 4.21. Relación entre el costo de Mantenimiento y Operación con el ahorro total de los diferentes sistemas depuradores	<b>134</b>
Gráfica 4.22 Relación entre la carga orgánica depurada y el ahorro total	<b>135</b>

## Índice de figuras.

Figura 2.1. Posición del eje neovolcánico (Tomado de Demat 1978: p. 173)	41
Figura 2.2 Cuenca de México. Siglo XVI. (Tomado de <a href="http://archaeology.asu.edu/tm/pages/mtm04.htm">http://archaeology.asu.edu/tm/pages/mtm04.htm</a> )	46
Figura 2.3. Disposición del sistema exportador de agua para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Sistema Cutzamala. (Tomado del IMTA).	53
Figura 2.4. Mapa que muestra la subsidencia en la Ciudad de México en la actualidad. Los números indican el hundimiento en metros. (Tomado de la SMA GDF).	56
Figura 2.5. Pérdida de la pendiente en el sistema de drenaje de la zona metropolitana de la ciudad de México (Tomado de la Academia de la Investigación Científica, 1995)	57

## Índice de recuadros (ANEXO 6) Recuadros con información especializada

Recuadro I. El agua en México.	222
Recuadro II. Los nuevos patógenos emergentes del sistema hidráulico en México	223
Recuadro III. Las chinampas	223
Recuadro IV. El sistema lacustre en el siglo XIX y la opinión médica	223
Recuadro V. El ocaso del lago y del sistema chinampero	224
Recuadro VI. El sistema hidráulico de la ZMCM	224
Recuadro VII. La gestión del agua potable en la ciudad de México. De la inequidad a la irracionalidad	224
Recuadro VIII. Los nuevos contaminantes emergentes	225
Recuadro IX. Documentos científicos	225
Recuadro X. Documentos tecnológicos	225
Recuadro XI. Diferentes formas en la que puede intervenir la iniciativa privada en la depuración de aguas.	226
Recuadro XII. Un caso exitoso de transferencia de tecnología para depurar el agua residual	226
Recuadro XIII. Ejemplos de tecnología endogenizada	226
Recuadro XIV. Ejemplos de tecnología apropiada.	228
Recuadro XV. Un ejemplo de racionalización en la industria de la curtiduría.	231
Recuadro XVI. Ejemplos de racionalización de los procesos industriales.	231

# GLOSARIO

**Acuífero.** Está formado por los sedimentos permeables o formaciones rocosas que contienen reservas de aguas explotables, es decir, que pueden extraerse por medios naturales o mecánicos. Los diversos tipos de acuíferos se caracterizan por la forma en que se encuentran “atrapados”. Según el artículo II de la ley de aguas nacionales, un acuífero es “cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas subterráneas que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento.

**Aerobio.** Organismo que realiza sus funciones metabólicas en presencia del oxígeno, utilizándolo como aceptor de electrones.

**Afluente.** Es la entrada del agua residual al sistema depurativo. Por lo general entra sin tratamiento previo

**Aguas residuales según la NOM-001.** “Aguas de composición variada, provenientes de las descargas de uso municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamiento y en general de cualquier otro uso, axial como la mezcla de ellas.

**Anaerobio.** Organismo que realiza sus funciones metabólicas en un ambiente libre de oxígeno, es decir, usando como oxidantes al azufre o al carbón.

**Biodegradabilidad.** Evaluación de la operación y eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales a base de filtros rociadores.

**Biodegradabilidad.** Es la capacidad de una sustancia a ser transformada en una estructura química más simple por vía microbiana. Esta biodegradación puede ser primaria o última. La última o completa se refiere a la desaparición de la sustancia original y por lo tanto a los estados iniciales de este proceso. En consecuencia, es la transformación completa de una sustancia orgánica compleja en CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y en constituyentes de materiales celulares (biomasa)

**Biotecnología:** Viene definida por un conjunto de tecnologías de características horizontales que abarcan una serie de técnicas derivadas o relacionadas con la biología molecular (que utiliza las propiedades de los seres vivos o de algunos de sus componentes para desarrollar nuevos procesos industriales, bienes o servicios.

**Capacidad.** Se entiende por capacidades tecnológicas a las habilidades de una empresa para adquirir el control (asimilar, adaptar, difundir y mejorar) de las nuevas tecnologías y utilizarlas con éxito en la comercialización de sus productos. Las capacidades tecnológicas pueden referirse a capacidades de inversión, producción o vinculación.

**Cuenca hidrológica.** Se le puede concebir como el territorio donde las aguas corren al mar. Según la ley de aguas nacionales. Las cuencas hidrológicas constituyen junto con los acuíferos “unidades de gestión”. Actualmente en el país existen 314 cuencas hidrológicas.

**Cuerpo receptor.** Corriente o depósito natural de agua, presas, cauces, zonas marítimas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran dichas aguas, cuando pueden contaminar el suelo o los acuíferos.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>x</sub>).** Los organismos que se encuentran en las aguas residuales consumen una cierta cantidad de oxígeno a lo largo de un periodo de tiempo (por lo general 5 días). A la cantidad de oxígeno disuelto en agua que consumen los microorganismos a lo largo de ese periodo se le conoce como DBO<sub>5</sub>

**Demanda Química de Oxígeno (DQO).** Además de los microorganismos que se encuentran en las aguas residuales, existen también sustancias químicas las cuales se oxidan en presencia del

oxígeno disuelto en agua. A la suma de oxígeno consumido por la DBO con el oxígeno consumido por estas sustancias se le llama DQO.

Efluente. Es la salida del agua después de un tratamiento, con una menor cantidad de materia orgánica, patógena y parásita. A este líquido se le conoce como agua tratada.

Externalidades. Aquellas aquellas situaciones en las que las acciones cumplidas por otros tienen efectos sobre nuestra ganancia, sin reflejarse en los precios y por lo tanto, sin ser coordinadas por el mercado. Un mercado ideal cesa en sus funciones—del modo en que fuera descrito por la teoría—en cuanto se presentan exterioridades: Significativamente llamamos “fallas del mercado” a las situaciones que derivan de la manifestación de exterioridades.

Humedal. Proceso biológico basado en la fitoremediación, la cual consiste en pasar aguas residuales (por lo general con un tratamiento previo) y hacerlo pasar a través de ellas.

Innovación. Según Schumpeter la innovación es posible sin nada que podamos identificar como invención y la invención no necesariamente induce innovación sino que en si misma puede no producir ningún efecto económicamente importante en absoluto. Mas adelante Schumpeter insiste que el proceso social que genera las innovaciones es claramente diferente “en lo económico y en lo sociológico”

Lixiviado. Es un líquido percolado producido por la descomposición de la materia orgánica y por las lluvias que se infiltran en el relleno sanitario, mediante un sistema de drenaje se conduce fuera del relleno a un lugar donde se puedan tratar correctamente. Las características de este lixiviado varían dependiendo de la composición de los desechos que ahí se confinan.

Metabolito. Son los productos específicos de las reacciones bioquímicas dirigidas por enzimas y que pueden ser reaccionantes, compuestos intermedios o productos.

Normas oficiales mexicanas.. Las normas oficiales mexicanas constituyen una parte importante dentro de la regulación ambiental en México, ya que estas establecen de manera específica en que debe cumplirse con las disposiciones de carácter general al establecer parámetros y cantidades límites máximos a la contaminación permitidos a las descargas de aguas residuales.

Percolación. Es el paso del agua a través de un medio granulado, al cual se han fijado una comunidad bacteriana, la cual va consumiendo la materia orgánica contenida en dicha agua, depurándola en dicho trayecto

Tren de tratamiento. Para la depuración de las aguas residuales, se combinan diferentes procesos químicos, físicos y biológicos. Este ordenamiento se le conoce como tren de tratamiento.

## SIGLAS

**CNDH. Comisión Nacional de Derechos Humanos.**

**CACM. Comisión de Aguas de la Ciudad de México.**

**CNA. Comisión Nacional del Agua.**

**DGCOH. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (Extinta).**

**GDF. Gobierno del Distrito Federal**

**IMTA. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua**

**NOM. Norma Oficial Mexicana.**

**ZMCM. Zona Metropolitana de la Ciudad de México.**

## FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.

El trabajo que aquí se presenta se **origina** ante la doble paradoja de que en el periodo histórico en el que la zona metropolitana de la Ciudad de México recibe la mayor cantidad de recursos hídricos es cuando mayor escasez de agua potable existe; en el periodo cuando se publican por diversos medios la mayor cantidad de experimentos y de propuestas para tratar y de reusar las aguas residuales es justo cuando se genera un problema mayúsculo con las inundaciones de aguas negras. **Lo anterior lleva a cuestionar** por los procedimientos biológicos disponibles que han sido aplicados en esta región. **El propósito de lo anterior** es proponer, dentro de la extensa panoplia revisada las opciones mas adecuadas para la dinámica particular de la Cuenca Central de México. En consecuencia, **el objetivo principal** es generar el marco evaluador de dichas propuestas (que van de lo experimental a lo industrial) para valuar, como **objetivos específicos** dichos sistemas en sus dimensiones ambiental, tecnocientífico y normativo; es decir ¿Qué sistemas de depuración biológicos descontaminan mas y a un costo menor?

Lo anterior no solo implicó la revisión de material documental muy diverso sino que obligó a revisar la relación agua-sociedad en esta cuenca; por otro lado llevó a comparar varios indicadores tales como la carga orgánica y el costo (en pesos constantes, base 100 junio 2002) como anclaje y finalmente a cuestionar la visión tradicional de ciencia y tecnología.

# INTRODUCCIÓN

Posiblemente el siglo XXI sea conocido como el siglo de “los conflictos del agua” por la carencia cada vez más marcada de este vital recurso a nivel no solo nacional sino mundial, donde la escasez del agua potable y la mala gestión de las aguas residuales son las dos caras del mismo problema. Es por ello que el trabajo que a continuación se presenta recopila las experiencias que se han llevado a cabo en los años recientes sobre la depuración de las aguas residuales, en especial en la Cuenca Central de México, con el objetivo de evaluar su desempeño con respecto al entorno de la zona que coloquialmente se le denomina “Valle de México” aún cuando en realidad es una cuenca endorreica, es decir, cerrada, (aunque artificialmente tiene salida al Golfo de México a través de la Cuenca del Pánuco). El propósito que se persigue es contribuir, de alguna forma, a la discusión sobre esta situación que tal parece ha llegado a cristalizar en crisis severas en la última década, con el fin de sugerir algunas vías de solución.

Abordar este reto significó no solo recopilar una gran cantidad de material generado en diferentes instituciones (tanto de gobierno como de educación superior), así como una gran diversidad de enfoques disciplinarios (ingenierías, químico-biológicas y jurídicas-sociales); asimismo, las experiencias relatadas en dichos documentos mostraban trabajos a nivel técnico, otros más como propuestas de diseño, reportes experimentales, informes de prototipos, plantas piloto, diseños teóricos para escalar plantas de tratamiento. Esto nos llevó a reflexionar sobre la Ciencia y la Tecnología, en el sentido de re-flexionar, a flexionarse sobre ellas, a retomar el hilo histórico siempre presente, a discurrir la concepción heredada del binomio de Ciencia-Tecnología y la transferencia lineal y casi mecánica de conocimientos de la primera a la segunda a través de la escala de **ciencia pura--ciencia aplicada** así como su culminación en **el desarrollo tecnológico**. Por ello sin negar la existencia de los campos de **los saberes y los haceres** (es decir, sin negar la existencia de la ciencia y la tecnología en muchas áreas del quehacer humano) se propone visualizarlo a través del esquema de la Tecnociencia, como visión hegemónica actual y sus posibles alternativas, como son la endogenización de la tecnología y de la tecnología apropiada.

El análisis de las propuestas de depuración no podía darse con los pies en el vacío, sin visualizar el lugar donde está se ha aplicado, la Cuenca Central de México, donde se asienta la mayor concentración del mundo, la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) lugar donde surgió una alta cultura ancestral que se distinguió por su

manejo del recurso hidráulico, mismo que a su vez conformó sus principales rasgos culturales. Sin embargo, a lo largo de los siglos se puede ver la imposición de un paradigma que ve al agua como un problema y por supuesto, en la actualidad tenemos un problema muy serio con este recurso. Dentro de este contexto que se fue formando dentro de la investigación surge, a mi parecer, el verdadero núcleo del problema: La racionalidad. El problema de la racionalidad, que no es sencillo, es demasiado grande como para ser abordado en el presente trabajo, sin embargo, se dibuja de manera muy breve a manera de esbozo, entendiéndose como un tipo de racionalidad (que siguiendo a algunos autores, llamaremos limitada) se impone a una racionalidad mas amplia, la racionalidad ambiental a través de las externalidades. Lo anterior sugiere que la racionalidad limitada articula el actual paradigma del agua y por lo que parece, dicho paradigma se encuentra en crisis. Es por ello que con este trasfondo se discuten los resultados obtenidos y de alguna manera, se pone distancia con la búsqueda de soluciones que implica la transferencia de tecnología y en contraposición se valora la endogenización de la tecnología y la tecnología apropiada como herramienta plausible para esta situación.

Lo que nos parece hoy irracional ha tenido que imponerse, nunca fue inmediatamente

reconocido como tal. La racionalidad es una construcción y puede construirse sobre irracionalidades que ella misma ha generado.

Ikram Antaki (2002) Ciencias p. 11

## CAPITULO 1.

### La razón, sus joyas y sus engendros. De la *Episteme* y la *Techné* a la tecnociencia

#### 1.1 Los saberes y los haceres.

La razón invita a pensar y a ver la relación con el mundo desde la *ratio*, es decir, desde la proporción de los eventos que ocurren con la visión de los mismos, Por eso, al pensar y reflexionar entre los fenómenos y la interpretación se elabora el entendimiento, el cual puede encontrarse dentro del extenso entramado de creencias que, bordeando lo fantástico, se encuentra asentada como *doxa*, la cual forma parte del basamento cultural de la humanidad, enriquecida sin duda por la *empíria*, la interminable cadena del ensayo y error que a través de innumerables generaciones van conformando los saberes tradicionales. Sin embargo, el reflexionar sobre la razón; esta se flexiona sobre ella, de forma tal que la razón permite que el entendimiento discorra sobre ella misma<sup>1</sup>. Hacerlo así no solo muestra el camino andado, sino también los caminos que se pueden recorrer. Esto significa que el reconocerse como sujeto cognoscente ejerciendo su voluntad, impulsa desde la subjetividad a saltar los diques donde se contiene el entendimiento, al tiempo de advertir sobre la tentativa de tratar de explicar la realidad desde la plataforma de la teoría (Zemelman 2005: p. 30), ya que para tal fin busca explicarla elaborando conceptos, los cuales tienen en si un déficit frente a dicha realidad<sup>2</sup>, mermando la capacidad cognoscitiva; en contraparte muestra que se puede tener una visión vigilante y preteórica: “Decir preteórica significa decir construcción de la relación con la realidad (...) significa que se está colocando frente a las circunstancias que queremos estudiar sin precipitar un juicio” recorrer los caminos alerta que la mirada teórica tiene de si un desfase, ya que al estar en una disciplina, busca delimitar, marcar fronteras, lo cual merma la capacidad cognitiva del individuo y en consecuencia caer en el reduccionismo (Zemelman 1981:p.10); en contraparte, muestra que se puede tener una visión vigilante<sup>3</sup>, epistémico y preteórica Y tal camino es que la razón ha mostrado, desde los albores

del siglo V a.c. , cuando el *Logos* (la razón) define 3 actividades: del pensar, el hablar y el del hacer las cosas de acuerdo con un conocimiento racional, generando la primera cosecha de la racionalidad, cuando la *Episteme* y la *Teckhné* van conformando la mirada al mundo, es decir, cuando se produce la primera cosecha de la racionalidad<sup>4</sup> (Gallego 2001: p 33)

La búsqueda de un conocimiento eficaz que le permitiera enfrentar los retos del ambiente fue derivando a lo largo de los siglos, en un pensamiento causal. La elaboración de este tipo de pensamiento permitió trascender primero del tradicional conocimiento de prueba y error y después, al irse generando desde el siglo IX a.c. hasta el siglo VI a.c., fue anclando también no solo los “saberes” de los pueblos áticos, sino también los “haceres” es decir, la forma de gobernarse entre iguales por iguales, incrementando la complejidad de dicho conocimiento, con lo cual se procedió a incorporarlo a la estructura social. Tal fue el florecimiento de la Grecia Clásica.

En los siglos VII y VI a.c., en las ciudades griegas de la costa Jonia, tanto Tales como Anaximandro, ambos de la ciudad jonia de Mileto como Anaxímedes después, se caracterizaron por conjugar la búsqueda de un conocimiento que fuera eficaz en sus relaciones con la naturaleza—es decir, que revela, sin tener que recurrir a los mitos, la naturaleza de las cosas, inquiriendo a la *Dike*<sup>5</sup>, es decir, la Justicia, el principio rector que gobierna las relaciones en el cosmos y en la sociedad de los hombres. Y ya que la *teckhne* y la *episteme* se enraizaban en el concepto de justicia, nada de raro tiene, si seguimos a Sánchez Millán (1997: pp 88-89) que la ética, al tener que ver con las acciones, tuviese un elemento fundamental en la técnica; de tal manera que el saber era la búsqueda de la verdad mientras que el hacer era la búsqueda de lo bueno<sup>6</sup> (como valor supremo). De hecho, a los primeros pensadores jonios, si bien podían distinguir entre la búsqueda de un conocimiento no mítico—el cual posteriormente fue conocido como episteme—y las capacidades de transformar el entorno – el cual fue conocido como *teckhne* – no les concebían en un ámbito tan separado como ahora se mira. De hecho, Anaximandro al enunciar su teoría cosmológica, se inspira en el trabajo artesanal de los forjadores del metal. Al respecto, (Gallego 1998: p. 80) indica que:

Para los griegos, empiria era un simple hacer por la experiencia técnica, un actuar con conocimiento de causa. En este sentido, el técnico estaba por encima del empírico, al igual que los procedimientos técnicos superaban las ejecutorias empíricas. Esta forma de estar por encima de la *teckhné* era un saber objetivo y sistematizado con

categoría de universal en cuanto se apoyaba en el conocimiento de causalidades, es decir, era explicación y no meramente descriptivo. Por tanto, el técnico se hallaba en condiciones intelectuales de elaborar explicaciones mientras que el empírico solo era capaz de describir sin apuntar al *logos* de esas ejecuciones descritas. El técnico sabía de la etiología de la explicación por causa. La empiria era una experiencia derivada del hacer, del carácter evidentemente privado, particular, en fin, un tesoro al cual se llegaba por ensayo y por error. No era propiamente un saber.

Cuando a resultas de la invasión persa a Jonia (en Asia menor, por Ciro el Grande) el centro de gravedad del pensamiento clásico pasó a Grecia (principalmente a Atenas) donde comenzó a remarcarse la distinción entre la *teckhne* y la *episteme* derivado del marco socioeconómico que imperaba en las ciudades estado y que demeritaba el trabajo manual como no apto para los “hombres libres”; es en estas circunstancias cuando, en el lapso de unos pocos siglos, de forma nunca antes vista, se modela el pensamiento universal, ya que nacen a la par la ciencia, la filosofía, el teatro y la democracia<sup>7</sup>.

Para la formación del pensamiento causal, si bien la aportación de Parménides primero y Zenón luego, es con Platón el que va a señalar su importancia, ya que en su Menon (98<sup>a</sup>) al buscar delimitarla de la *Doxa* señala cual debería ser el recto entendimiento para llegar a la ciencia, sostenía que cuando un razonamiento se puede encadenar a un razonamiento causal, fijándose en consecuencia (Medina 2000; p. 12); Aristóteles fue mas allá, ya que en sus “Analíticos posteriores” incide aun mas en la causalidad, el cual junto con la demostración, eran la principal demarcación de la doxa, ayudados por el rigor de la lógica y de la dialéctica. En cuanto al “saber hacer”, este autor mostró una mayor flexibilidad que la mayoría de sus compañeros, ya que afirmaba en su metafísica que la *episteme* y la *teckhne*<sup>8</sup> compartían la misma base de conocimientos delimitando con claridad los campos del “poder hacer” y del “poder conocer” sin que por ello la *teckhne* fuera menospreciada (Op. cit: p.15). Como hemos podido revisar, la ciencia y la técnica nacen bajo un influjo social innegable y si bien se caracterizan por situarse en campos diferentes—como el saber y el hacer, es decir, en tratar de conocer la realidad y como transformar dicha realidad—también es cierto que no se fueron diferenciando demasiado, ya que la técnica, según Broncano se refiere a:

La técnica se entiende como una serie de actividades o sistemas de acciones artesanales, artísticas, dirigidas hacia el propio cuerpo y su entorno inmediato, de carácter socialmente estructurado, pero no directamente integrado

en los modernos procesos productivos industriales ni vinculados a la actividad científica. Las técnicas son pues, en primer lugar, sistemas de acciones articuladas según reglas de carácter social, no acciones aisladas y ocasionales. (Broncano 1995: p 25)

## **1.2 La historia de las dos hermanas.**

La nueva perspectiva que comenzó a emerger desde fines del Renacimiento y se expresa de forma vigorosa a partir del siglo XVIII, redescubriendo la razón del periodo clásico, pero que a diferencia de esta, se quiere conocer la realidad pretendiendo estar fuera de esta, tomando distancia de los fenómenos y utilizar a la razón de forma operativa, es decir, instrumentalista, de forma que se pueda arrojar luces sobre dicho segmento de la realidad. Las luces de la Ilustración que alumbraron desde el siglo XVIII mostraban que bajo la razón era posible no solo guiar el entendimiento hacia el conocimiento, sino que este último podía tener una posibilidad emancipatoria al liberar al hombre de las ataduras y cadenas que anteriormente lo habían mantenido aherrojado<sup>9</sup>, es decir, “desencantando el mundo”, perdiendo su dimensión mítica, perdiéndose pues, la significación mística de la naturaleza, nulificando así los anteriores patrones de apropiación del recurso (Leff 2001: p. 29) y al despojarlo de estos ropajes, se articula una nueva forma de apropiación donde se maximiza el beneficio económico bajo una nueva racionalidad (Op. cit: p.35) racionalidad que a su vez pone su impronta en la nueva ciencia y tecnología. (Buch 2001: p.19),

Este tipo de pensamiento se caracterizo por tener una distancia objetivante del sujeto impersonal y anónimo, desligado de las relaciones sociales e históricas que mantenían anteriormente al individuo ligado al sistema tradicional de evidencias y verdades, requiriendo para la nueva descripción de la realidad la presencia de instrumentos cada vez mas sensibles. De ahí, que según postula Ladiere (1978: p 24) que estos nuevos campos se muestran como emergentes, como mundos aparte de la cultura<sup>10</sup>, principalmente en el hecho es que los nuevos saberes y haceres no eran ni contemplativos ni sapienciales ni hermenéuticos, sino mas bien operativos. A nivel conceptual, una de las características más importantes que conviene resaltar es la irrupción de una nueva racionalidad, la racionalidad instrumental<sup>11</sup>, por lo que de forma retrospectiva Touraine (1992: p 10) indica:

“Occidente remplazó, poco a poco la visión racionalista del universo y de la acción humana por una concepción mas modesta, puramente instrumentalista de la racionalidad, al poner esta cada vez mas al servicio de las demandas y necesidades que de manera creciente se escapaban ( en la medida de que avanza en

una sociedad de consumo de masas) a la regla obligada de un racionalismo que solo corresponde a una sociedad de producción centrada en la acumulación que es el consumo de mayor número de personas.

Si bien en los siglos subsiguientes se continuo distinguiendo como campos separados los saberes (pronto denominado conocimiento, generado por la ciencia) y los haceres, subordinando en teoría la segunda a la primera, pronto fue evidente los cambios de ambos campos, ya que al incorporar el trabajo artesanal a las manufacturas, concentrándolo primero en un solo lugar y posteriormente fragmentando las tareas, se modifica transformandose esta en tecnología,, donde pronto se distingue la sistematización de procesos y reglas socioeconómicas en el sentido que le da Broncano (Op cit.: p16)

Se define como las actividades o sistemas de acciones socialmente estructuradas pero esta vez sumamente integradas en los procesos productivos e industriales y estrechamente vinculados al conocimiento científico. Sus raíces se hunden en la revolución científica industrial del siglo XVIII. Por tanto, la tecnología se caracteriza por

- 1.- Conjunto sistemático de **acciones** de transformación dirigidas por **reglas** y articuladas en **planes**
- 2.- Las reglas involucran **procesos naturales regulares** o legales que pueden estar mejor o peor conocidos al tiempo de formular el **plan o diseño**.

- 3.- Un diseño es un **modelo** que representa las acciones que han de llevarse a cabo de una **manera abstracta**. No las representa en su totalidad.

Sin embargo, en vísperas de la Revolución Industrial, comienza a verse una nueva visión del mundo que para legitimizarse ya no recurra a la fe, sino en la ciencia. Es posible trazar una línea clara entre Francis Bacon a Comte, donde las ideas de “progreso”, “ciencia”, “avance”, entre otros, comienza a ser utilizados desde los más diversos ámbitos, pero siempre midiendo sobre un diseño mas racional de la sociedad.

Este nuevo campo del saber fue valorado por Bertrand Russell (1931), el cual no deja de hacer notar las relaciones entre el conocimiento y el “poder manipulador”, óptica que posteriormente fue reinterpretada<sup>12</sup> a finales del siglo XX.

La ciencia, como su nombre lo indica, es conocimiento. Convendríamos en que es conocimiento de un determinado género, un conocimiento que busca leyes generales, relacionando ciertos hechos particulares. Generalmente, sin embargo, el aspecto de la ciencia como conocimiento es desplazado a segundo término por el aspecto de la ciencia como poder manipulador. Para conferirnos la ciencia este poder de manipulación, es por lo que tiene más importancia social que el arte. La ciencia, como persecución de la verdad, es igual pero no superior al arte. (p. 52)

Por supuesto, tiene el buen sentido de incluir al arte, ya que son las formas en como el hombre tiene contacto con la realidad, es decir, como conoce la realidad (ciencias), como la mira y la disfruta (arte) o como la modifica<sup>13</sup> (técnica). Asimismo, no dejo de hacer notar que el pensamiento científico no es únicamente generador de conocimiento, sino también de poder<sup>14</sup>. Russell nunca se distinguió por ser un espíritu conformista<sup>15</sup>, sino más bien vio con ojo crítico algunos rasgos que le parecían preocupantes,<sup>16</sup> preocupación que desde diferente perspectiva fue compartida posteriormente por Heidegger<sup>17</sup> en la siguiente interpretación (Sutzi 2004: p 73) el cual dilucida a la tecnología no como un sistema neutral, sino como el creador de su propio marco de “pensamiento calculador” el cual tiene su propio sistema de valores *“Cuando uno se queda dentro del marco de lo que Heidegger denominaba el pensamiento calculador entonces la ética solo puede considerarse en la forma de su reducción técnica: la ética y el funcionamiento de la técnica convergen lo bueno es lo que funciona”* Según esta opinión, los sistemas tecnológicos facilitan el control para el sistema, pero “exige una gran cantidad de violencia”, para terminar mas adelante con *“lo que significa que el instrumentalismo no facilita ninguna relación libre con la técnica porque es, el mismo un producto de la técnica y solo permite tres formas de relación: Una afirmación ciega ( la técnica como progreso), un rechazo romántico ( la técnica como extrañamiento) o el instrumentalismo (la técnica como herramienta neutral)”* (Ibíd.: p. 85)

Estas líneas sugieren que la forma de conocer el mundo indica también como se debe cambiar, como o de que manera la forma de conocer el mundo sirve para modificar parte de la realidad, al percibirse como puede esta ser mejorada o corregida. En consecuencia, es común encontrar amplias explicaciones de las diferentes graduaciones que existen entre el conocer y el transformar o lo que es lo mismo, como se va graduando el paso de conocimientos desde la ciencia a la tecnología. Una corriente de autores, como Mario Bunge sostiene que se puede elaborar un agrupamiento de los conocimientos científicos en su lenta graduación a los conocimientos tecnológicos, donde van desde la ciencia “básica” o “pura” va pasando a “aplicada”, siguiendo así hasta terminar en el desarrollo tecnológico (Bunge 1980: p 34)

En resumen, tanto la investigación básica como la aplicada utilizan el método científico para obtener nuevos conocimientos (datos, hipótesis, teorías, técnicas de calculo o de medición, etc.) Pero mientras al investigador básico trabaja en los problemas que le interesan (por motivos

puramente cognitivos) el investigador aplicado estudia solamente problemas de posible interés social (El subrayado es mío). De aquí que, mientras la investigación aplicada se puede planear a largo plazo, la básica no se pierde: el investigador básico debe proponerse el mismo sus planes de investigación y debe quedar en libertad de cambiarlos cuando crea necesario.

Aquí conviene detenerse un poco, ya que posiblemente Bunge olvide una práctica corriente en los hombres de ciencia y que es, durante el transcurso de un proyecto de investigación los datos que se han generado los reelabora, bajo distintas perspectivas, para enviarlos como “*papers*” a diferentes revistas, por supuesto, con títulos y enfoques diferentes; es decir, el científico, de manera legítima pone en relieve los aspectos que el considera relevantes para comunidades con intereses similares, de tal forma que en ocasiones se puede referir aspectos “puros” o “prácticos” de su investigación, según el enfoque de la publicación. De esta forma, la afirmación de Bunge “Pero mientras al investigador básico trabaja en los problemas que le interesan (por motivos puramente cognoscitivos) el investigador aplicado estudia solamente problemas de posible interés social.” (El subrayado es mío) Parece ser poco adecuado para ubicar un producto científico como básico o aplicado.

Analizando el siguiente fragmento donde Bunge abunda en su distinción entre ciencia y tecnología (Op: cit p. 35)

En cuanto a la diferencia entre ciencia (básica o aplicada) y técnicos, se resume en esto: Mientras las primeras se propone descubrir leyes a fin de comprender la realidad integra, la segunda se propone controlar ciertos sectores escogidos de la realidad con ayuda de conocimiento de toda clase, en particular científicos. Tanto una como la otra, parten de problemas, pero los problemas científicos son puramente cognoscitivos, en tanto que los técnicos son prácticas. Ambos buscan datos, formular hipótesis y teorías y procura poner a prueba estas ideas por medio de observaciones, mediciones, experimentos y ensayos. Pero muchos de los datos, hipótesis y teorías empleados en la técnica son tomados de la ciencia y, en todo caso, se refieren a sistemas controlables, tales como carreteras o máquinas, praderas o bosques, minas o ríos, consumidores o enfermos, empleados o soldados. Al técnico no le interesa todo el universo, sino tan solo lo que puede ser un recurso natural o artefacto. Deja el estudio de las estrellas y se ocupa en cambio de lo que se explota o podría explotarse en la corteza terrestre (los subrayados son míos).

En este fragmento “los problemas científicos son puramente cognoscitivos<sup>18</sup>, en tanto que los técnicos son prácticas. Así pues, por el momento no es posible conocer los argumentos de Bunge que sustentan dicha afirmación. Asimismo valoremos la siguiente afirmación “sistemas controlables, tales como carreteras o máquinas, praderas o bosques, minas o ríos, Un cuarto de siglo después de haber escrito estas líneas,

difícilmente se puede afirmar que un bosque, un río o una pradera son sistemas controlables.

La investigación científica se contenta con conocer; la técnica emplea partes del conocimiento científico y agrega conocimiento nuevo, para diseñar artefactos y planear cursos de acción que tengan valor práctico para algún grupo social. (Ibidem: p. 36)

(...) Esto es, el proyecto técnico es un plan de acción agropecuario, fabril o social que moviliza a trabajadores de distintos tipos y encomienda la producción, transformación o comercialización de cosas. Sean artefactos inanimados (máquinas) vivos (plantas, animales, hongos, bacterias). Mientras la ciencia puede tener un resultado utilizable aún sin proponérselo, la técnica puede producir conocimiento científico aún sin querer. Cuando se considera un ciclo científico o técnico íntegro, no hay posibilidad de confundirlos, ya que en un caso el producto final es conocimiento, al par que en otro el producto final es un artefacto o un plan de acción que promete resultados de valor práctico para alguien. (Ibid: p.37)

Bunge pone una tabla con el fin de ilustrar las características que hace referencia en las líneas anteriores (Ibid. p. 37).

Tabla 1.1 .Ejemplo de Ciencia básica, aplicada y desarrollo técnico según Mario Bunge

Ciencia básica	Ciencia aplicada	Técnica	Producto comercializado o servicio
Biología	Botánica y zoología	Fitotecnia y zootecnia	Industria agropecuaria.

Elaboración propia

Al analizar la primera columna, se puede observar que existe una confusión entre lo que hasta aquí se ha entendido como una ciencia básica y una disciplina. Si solo se hojea un libro de Biología del Bachillerato, se pondrá en evidencia que en esta disciplina (Biología) concurren tanto investigación de frontera como desarrollo tecnológico. En cuanto a la segunda columna, el desconcierto alcanza las cotas mas altas ¿Es ciencia aplicada porque trata con grupos especiales de seres vivos? ¿Y entonces como catalogar los estudios de genética de poblaciones de plantas (o de animales) que aterrizan directamente en la teoría de la evolución? Pero si pasamos a la tercera columna, el desconcierto es aún mayor. Efectivamente, existen la fitotecnia y la zootecnia, como campos profesionales muy productivos. Sin embargo, el tratamiento de Bunge sugiere que si le damos la terminación “técnica” a casi cualquier cosa, automáticamente se convierte en técnica. Así, de esta manera, tendríamos la microbiotecnia, la chicharotecnia y la capsicumtecnia<sup>19</sup> (esta última vendría siendo la aplicación de técnicas médicas, farmacológicas y culinarias de los chiles)

Por supuesto, no se trata de minusvalorar a un pensador tan prolijo, profundo y creativo como Mario Bunge, el cual es orgullosamente latinoamericano y que en pleno debate presupuestal de los años 80's, el cual hacia estragos en todo el subcontinente, fue de las pocas voces que hacía énfasis en el valor intrínseco de la ciencia<sup>20</sup>, en medio de una ola de pragmatismo

Un referente mundial sobre la clasificación de las ciencias desde este punto de vista, el que realizan los países de la OCDE, los cuales tienen bastantes años (casi un cuarto de siglo), consensuando que y cuales son las características que deben de tener estas categorías. El documento que elaboran de vez en vez se le conoce como "Documento de Frascati", ya que así se llama la localidad italiana donde se reúnen para señalar y consensuar dichas características, la cual, entre otras cosas afirma (OCDE 2002: p.80)

La investigación básica consiste en trabajos experimentales o teóricos que se emprenden fundamentalmente para obtener nuevos conocimientos acerca de los fundamentos de fenómenos y hechos observables, sin pensar en darles ninguna aplicación o utilización determinada.

Por supuesto, una investigación en astrofísica o física cuántica teórica debe, naturalmente de ser ininteligible para la mayoría de los habitantes del planeta, por no hablar de que ese alguien le vea aplicación práctica a lo que se vaya descubriendo. La historia de la física en el primer tercio del siglo XX sugiere que mientras no existió presión alguna por parte de una organización extracientífica, los rumbos de la investigación discurrieron plácidamente por la frontera de las ciencias (por supuesto, estaban generosamente financiados por la industria Solvay en Francia). De hecho, no existía problema alguno con ubicar aplicación al principio de Exclusión de Pauli ni con la belleza de las soluciones de Dirac. Sin embargo, cuando comienza a integrarse el naciente complejo industrial (sobre todo en vísperas de la segunda Guerra Mundial) entonces es cuando el efecto fotoeléctrico que Einstein había mostrado en 1905 se revela en toda su importancia, de igual forma, el trabajo de Hans Bethe, cual se mostró fundamental para iniciar el camino de la desintegración atómica. Lo anterior sugiere que existe una condicionante extracientífica a la investigación que indica si esta es "básica" o "aplicada". Nada tiene de raro pues, que sea un grupo que seguramente cuenta con científicos distinguidos, pero que no es un grupo de científicos, trate de meter un cartabón sobre lo que debe de ser una investigación "pura" con los resultados que da<sup>21</sup>. Lo anterior sugiere que es una categoría impuesta. Si continuamos con la lectura de dicho documento se encuentra con:

“En ocasiones, la difusión de los resultados de la investigación básica puede ser considerada “confidencial” por razones de seguridad”. Este fragmento no deja de ser sorprendente, ya que ¿que razón podrían tener los científicos para no hacer públicos y notorios sus descubrimientos, ya que según Khunn, la preeminencia de hacer un descubrimiento es importante y trascendente para el, mientras que visión mertoniana de la ciencia, el único bien del que están ávidos los científicos es precisamente, el reconocimiento? La respuesta que se sugiere a este respecto es que una investigación básica se realiza teniendo claro un propósito, (no un objetivo general o particular) de darle una cierta aplicación. Remitiéndonos a la historia de la ciencia, este párrafo, que no tendría lógica, resulta claro. Obviamente el equipo de Fermi que estaba trabajando en la pila atómica con grafito no iba a publicar sus resultados, ya que eran demasiado valiosos, no solo por las implicaciones que podía tener para la obtención de grandes cantidades de energía, sino también porque era evidente que estaba involucrado en el proyecto “Manhattan” y como ahora ya se sabe, con el objetivo declarado de la obtención de la primera bomba atómica. En consecuencia, se puede suponer que la investigación básica (y que es extremadamente costosa), los integrantes de dichos proyectos de investigación están condicionados al financiamiento y por lo tanto “la libertad para fijar sus objetivos” suena como declarativo<sup>22</sup> y bastante condicionado. Así y con todo, también sus autores se sienten capaces de caracterizar como debe de ser la investigación en ciencias sociales<sup>23</sup> (incluyendo ejemplos). De ser esto así, las prescripciones de Bunge, si bien pueden dar mucha luz sobre los esquemas de la ciencia, no parecen tan sólidos a la luz de una lectura histórica. Y sin embargo, fieles a su esfuerzo totalizador, confieren características sobre como deben de ser las comunidades<sup>24</sup> (que se antojan heterogéneas y con trayectorias personales y de grupo muy singulares) Ver la tabla adjunta (OCDE, 2004, p. 37)

Tabla 1.2 Perfiles generales del quehacer científico y tecnológico.

Característica	Comunidad Científica	Comunidad tecnológica
Objetivo específico	Encontrar relaciones causales	Mejorar las funciones de los artefactos
Método	Experimental	Pruebas
Forma de conocimiento	Explicita, universal	Tácita, local, rutinaria, procedimental
Comunicación	Abierta	Secreta
Recompensas	Reputación	Ganancia monetaria
Naturaleza de la evaluación	Replicabilidad. Revisión de pares	Selección por el mercado

Función complementaria	Formación de recursos humanos. Publicaciones	Producción mercado
------------------------	--	--------------------

A este respecto se ha señalado (Arvanitis1996: p. 30) que el manual de Frascati (en la versión de aquel entonces) no es muy claro en su delimitación de características entre ciencia básica y ciencia aplicada. Al respecto este autor comenta con ironía que: *“Tal parece que la diferenciación entre ambas definiciones es casi un ejercicio de estilo y no como un manejo de realidades”*

Por lo que parece, el concepto de “ciencias puras” y “ciencias aplicadas” surge a principios del siglo XIX, cuando Liebig postuló que a contrapelo de los sabios del siglo XVIII, que se interesaban por todo, era importante formar *“doctores en ciencias puras, es decir, científicos que no se preocuparan de todas las cuestiones de la filosofía natural”* (Fourez 1994: p.144) sino que *“Esos nuevos científicos se concentrarían directamente en cuestiones de “ciencias” dejando a un lado todas las cuestiones mas esenciales, como por ejemplo, la de la naturaleza de la materia”*. Arvanitis a su vez indica (Op cit 1996: p.166) la primera acepción de ciencia “pura” fue de Henry Rowland a fines del siglo XIX, ante la American Associated for Advancent Sciencie titulado “Defensa de una ciencia pura”. Y que dentro del contexto que se dio en las universidades anglosajonas de finales del siglo XIX y a principios del siglo XX era que la definición de ciencia “pura” o “industrial” se refería no tanto a lo cognoscible, sino mas bien si esta se había desarrollado en una universidad o en una industria (Ibid: p. 167)

Y concluye diciendo con mucho sentido común;

Será aplicado un proyecto que explota una idea útil, que lleva a un objeto útil, para el comercio, la industria o la agricultura, que se encuentra en una institución totalmente dedicada a un sector de la vida económica o en una disciplina cuya historia se confunda con la de una actividad industrial. La utilidad es lo que hace la diferencia entre lo fundamental y lo aplicado.(Ibidem: p.167)

Por otra parte Casparini indica, sin hacerse eco en la controversia entre ciencia básica y ciencia aplicada, es más bien la que existe entre ciencia y el desarrollo experimental hacia la implementación tecnológica;

“La verdadera línea divisoria no se encuentra entre la línea fundamental y la investigación aplicada, sino entre la investigación por un lado y el desarrollo experimental por el otro.”Investigación científica.: Los objetivos son los de producir nuevos conocimientos, a fin de comprender como funciona este mundo, de formar nuevos investigadores, en particular en

las universidades, inclusive de producir conocimientos aplicados que se pueden traducir en patentes. Para el caso del desarrollo experimental (que también se llama investigación /desarrollo “IyD”) donde lo que se busca es producir algo que funcione aunque sin tener conocimiento de las razones que lo hacen funcional. El objetivo es producir un bien técnico en condiciones de modificar un procedimiento, un proceso de fabricación, una manera de hacer las cosas. Es pues una manera de hacer las cosas que depende de la creatividad productiva, al contrario de la investigación que puede existir sin que exista una actividad de producción (p. 172)

Y con perspicacia atina al referir el porque la investigación tecnológica se dificulta mas en los países de Latinoamérica;

Esta actividad de adaptación pasa desapercibida en países donde las instituciones que se encargan del desarrollo están lo bastante antiguas para permitir un gradual e insensible paso del prototipo al producto/proceso acabado. La diferencia en los países de desarrollo científico y técnico reciente radica en el hecho que al mismo tiempo de operar sobre los objetos técnicos, se deben de constituir los espacios nuevos del desarrollo tecnológico. (p. 174)

En opinión de otros, ante esta problemática, hacen notar que la llamada “ciencia aplicada” requiere a su vez construir teorías que evolucionan por si mismas, además de:

Es por esta razón también que la noción de investigación aplicada es a menudo ambigua, ya que sugiere que no es más que una aplicación de una ciencia dada y no una contribución a la ciencia misma. (...) sino también porque en una y otra se esta cubriendo diferentes tipos de realidad; por un lado se trata de investigación de la naturaleza no relacionada a ningún propósito especificado; por el contrario, la naturaleza es construida o reconstruida según un propósito, en términos de objetivos específicos. (Díaz 1983: p. 17) (El subrayado es mio)

La conclusión resulta entonces evidente;

Dada estas condiciones de “finalización” de grandes áreas de conocimiento dentro de las mismas disciplinas fundamentales, pareciera que el aporte fundamental que las comunidades científicas de la periferia (en las que la ciencia implantada es una ciencia madura) pudieran hacer esta en la ciencia aplicada, con el significado preciso de “ciencia menos científica” que la ciencia “pura” o fundamental con que usualmente se confunde, es decir, ciencia básica madura orientada por objetivos sociales. (Op.cit: pp.18-19) (El subrayado es mío)

### **3.3 Surge la tecnociencia.**

Si bien a lo largo de los siglos XIX y la primera mitad del siglo XX fue unánime la opinión estándar sobre la separación de la ciencia (como productora de

conocimientos, los cuales son bienes cognitivos valiosos en si) y la tecnología, como ámbitos separados, así como la subordinación de la segunda por la primera (ya que la ciencia poseía un logos verdadero, mientras que la tecnología<sup>25</sup> aparecía como dependiente de esta) y estas a su vez se mostraban como contraparte de lo *espiritual* y de *las humanidades*. Posiblemente las raíces de la tecnociencia puedan ubicarse en Estados Unidos, donde Kapp, siguiendo a Aristóteles, establece que tanto las máquinas como las herramientas son proyecciones de los órganos del operador, es decir, es el primero en mostrar la instrumentalización para comprender y aprehender al mundo, ya que “*en los instrumentos lo humano se reproduce continuamente a si mismo*” (Micham 1989: p. 25); posteriormente en Rusia primero y posteriormente en la Unión Soviética después, Engelmeier reconoce la existencia de los “tecnólogos” en 1899 y los llama no solo a ejercer su papel en la técnica y la ingeniería, sino que debe de guiar el crecimiento económico e inclusive como “hombre de estado” (Op. Cit: p. 32); en 1917, con el nuevo régimen bolchevique sostiene que “*las empresas de negocios y la sociedad debían de ser transformados y dirigidos de acuerdo por principios tecnológicos*”, cosa que lo hizo poco grato ante la nueva burocracia. (Ibid:p. 39).

Posteriormente se hace la observación (Wright 1961: pp. 117- 119) de que hacia la década de los años 20’s del siglo pasado las grandes corporaciones comerciales en Estados Unidos comienzan a utilizar el término de “ingeniería social” al referirse a aquella investigación donde la racionalidad y la estandarización comienzan a hacerse sentir, siendo además promotores de todo un estilo de investigación que exige grandes insumos monetarios y establecen “cánones” de investigación. Las grandes sociedades anónimas y las fuerzas armadas son los principales consumidores<sup>26</sup>. Es en la Segunda Guerra Mundial cuando el esfuerzo bélico (principalmente en los Estados Unidos con el proyecto Manhathan) muestra que los objetivos bélicos eran superiores a las formas tradicionales de cómo se realizaba la investigación (universidad, empresa o agencia gubernamental). Es aquí cuando comienza a ***tecnificarse la ciencia y a científicarse la tecnología*** (Vessuri 1992: p. 45), Es en este sentido que surgen los “expertos” o también “la intelligentsia”<sup>27</sup>, esto es, la nueva élite capaz no solo de entender sino de dar sentido a un conocimiento cuyo lenguaje se hace cada vez mas especializado<sup>28</sup>.

Mas allá de que se presenta una nueva forma de racionalizar el trabajo intelectual, se denota ya una modificación del *ethos científico*, apareciendo en consecuencia la llamada Big Science (Gran Ciencia), es decir, el trabajo coordinado por una agencia gubernamental, con la participación de universidades y empresas (mediante un

esquema de contratación y subcontratación) y un financiamiento generoso, todo ello subordinado, por supuesto, a la lógica de la política estatal<sup>29</sup>. Schumpeter, hace notar en su libro “Capitalismo, socialismo y democracia” (Maleaba 2009: p. 52) a principios de los 40’s los nuevos rasgos de la producción industrial en la dinámica industrial norteamericana de las primeras décadas del siglo XX, mostrando la alianza para la investigación y el desarrollo tecnológico entre empresas y universidades<sup>30</sup>, buscando la innovación tecnológica, como elemento clave de crecimiento y renovación económica, aún cuando se soslayan los costos ambientales y sociales que dichas innovaciones genere vía la “externalización” con el evidente predominio de las grandes empresas.

Siguiendo a Echeverría (2004: p. 12), el sistema sigue manteniendo la racionalización<sup>31</sup> del trabajo científico/tecnológico, con el claro objetivo de aplicarlo a nivel industrial, con objetivos prefijados, en plena concordancia con los objetivos nacionales; ejemplo de ello es el proyecto Apolo de los años 60’s. De la misma forma, las grandes agencias gubernamentales y las grandes corporaciones tejen, de manera simbiótica, relaciones de conveniencia que afectan no solo la dirección de los proyectos, sino que cuestionan la misma perspectiva del trabajo científico. Tal es el “caso Openheimer”, donde la Secretaria de Defensa (y en especial el Comando Estratégico de la Fuerza Aérea), junto con la Corporación Rand, ponen en tela de juicio el quehacer científico en aras de “la seguridad nacional” (Nieburg 1973: p. 24-30). Quizás esa sea la razón por la que al referirse a la Tecnociencia se hace notar que los científicos y los programas de investigación se vinculan en forma de redes, las cuales pueden servir como redes de poder (Latour 1984, citado por Irazo 1995: p 285)<sup>32</sup> donde la superioridad técnica es decisiva para ayudar a zanjar dichas disputas; señalando de paso que un nuevo rasgo que caracteriza a este complejo es la proliferación de “híbridos”, entre los que descuella la biotecnología.

Esta estructura funcionó aproximadamente bien a lo largo de casi un cuarto de siglo (1940-1968) Sin embargo, esta fase entra en crisis en la década de los 60’s, cuando este se ve confrontado en diferentes sectores del mundo industrializado, no solo desde el nicho privilegiado de las universidades e institutos de educación superior, sino también de diferentes sectores de la élite que visualizaron los problemas a futuro. Entre estos se cuentan el informe que un grupo de académicos del Instituto Tecnológico de Massachussets para el llamado “Club de Roma” donde informan la imposibilidad de seguir creciendo de forma ilimitada y más importante aún, el informe Bruthland, para el Secretario de las Naciones Unidas, informe que cuestiona la lógica misma del crecimiento<sup>33</sup>. Esto lleva a la reestructuración. de dicho sistema, de tal

manera que el financiamiento de la investigación fue paulatinamente descargado del Estado y asumido a su vez por múltiples empresas--muchas de ellas multinacionales—razón por la cual comenzó a ser evidente la configuración de una serie de redes, en las cuales se puede apreciar un núcleo y en consecuencia, una periferia. Desde el primer momento es evidente que la forma tradicional de mirar a la ciencia y a la tecnología desborda el cartabón clásico, ya que algunos, como Dasgupta y David (Pavitt 1993: p. 193) indican que la única diferencia que observan entre la ciencia y la tecnología era el lugar donde se publicaban los resultados, es decir *“la diferencia esencial entre ciencia y tecnología es que la primera produce conocimiento público y publicable, mientras que la última produce conocimiento privado y a menudo no publicable. Por ello, define básicamente a la ciencia como aquello que ocurre en las universidades e instituciones relacionadas y la tecnología como lo que ocurre en las empresas”*

Al referir las relaciones entre el “núcleo” y la “periferia” desde el abordaje de la teoría crítica (De La Cruz 1987: p. 141) considera que las relaciones entre el centro y la periferia se caracteriza por la dirección (desde el centro) no solo de las relaciones y su subsiguiente división del trabajo, sino que esta se encuentra mediada por medio de la liquidación de numerosas industrias de punta (que dejan de serlo) y su desplazamiento hacia la periferia, como la renovación/generación de nuevas industrias; esto es, pasan a la industrialización secundaria (Op.cit: p. 153). Al interaccionar las sociedades periféricas con la cultura del centro (Vesuri 2007: p. 111) nos indica que *“la confrontación entre culturas tradicionales y culturas científicas modernas en una sociedad tras otra, las primeras han sido destruidas o profundamente subordinadas a las segundas a través del cambio social y la dominación política”*

*“La dependencia de las técnicas”* nos dice de La Cruz (Ibidem, p. 160) *“sustituye en estos casos a la dependencia de las manufacturas del centro”*. Los agentes que llevan a cabo dicho proceso de modernización que se encuentra diseñada desde el centro son los “expertos” (en términos de La Cruz), los cuales, al igual que la “intelligentsia” indígena educan y forman a la población “indígena” de la periferia para que *“tanto el control del medio ambiente como la producción de vida material persista sin fin”* (Solé, ibid: p. 197). De la misma forma, los conflictos sociales derivados de la modernidad se les asigna un cariz técnico para que una *“autoridad cognitiva”* asuma la resolución del conflicto, la cual termina racionalizando los términos del conflicto dando ventaja a quien domina la agenda, el lenguaje y el conocimiento preciso (...) y añade el riesgo de que el conocimiento sirva para legitimar cualquier decisión tomada por una instancia poderosa (Iranzo 1995, página 285) *“la modernización no beneficiaria a la*

sociedad que trata de desarrollarse, sino que se sumirá en un nuevo neocolonialismo científico, tecnológico; en definitiva económico, pues la aplicación de métodos científicos y técnicos se llevara a términos para el único beneficio de la metrópoli” (Solé, 1998 página 199) (el subrayado es mio) en la que existe una masiva incorporación a las redes comerciales del centro; es por ello que el intercambio entre los productos manufactureros desde la periferia por otro tipo de bienes es, según refiere (Denny 1997: p. 32), una ayuda inapropiada<sup>34</sup>.

Ante esta perspectiva, se han valorado diferentes alternativas. Algunos autores proponen la generación, desde el interior de las sociedades que se encuentran en la periferia de la tecnología, es decir, la endogenización de la tecnología. Este término no se refiere únicamente al campo de la tecnología, sino, en la propuesta de Vesuri, empieza, desde el campo del pensamiento, que parte del hecho de *“la des occidentalización de la visión científica, el asumir la ciencia como cultura, el pasar del predominio de actores sociales que son “porteros” que abren las puertas a la tecnología foránea del mundo desarrollado al auge de vectores tecnológicos endógenos, el replanteo de disciplinas científicas occidentales que constituyen reservorios de conocimientos elaborados por otras culturas”* (Vessuri 2007: p. 120), lo cual significa que se busca la autonomía para determinar y diseñar cómo se puede hacer y producir en la región, sin que por ello implique cerrarse a los aportes externos. Es el retomar las tradiciones sociales y los desarrollos actuales para darle legitimidad y ser impulsadas por una sociedad determinada<sup>35</sup>. Por otro lado, siguiendo a Bonsiepe, tendremos que la clave de dicha endogenización está en la concepción del diseño de la periferia, ya que *“Con la tecnología e implícitamente con el diseño, una sociedad define la base de sus subsistencia, la modalidad de su existencial. En otras palabras, con la tecnología, con el diseño, una sociedad articula su cultura material, desde un simple clavo hasta una mega turbina”*. (Bonsiepe 1986: p. 38). De hecho, nos recomienda que el paso inicial es aceptar que nos encontramos en la periferia y no en el centro, razón por la cual las capacidades, conocimientos y procedimientos para afrontar las necesidades de la periferia son diferentes que las del núcleo (Op cit: p. 21); ello nos permitiría, nos dice el autor, ver *“El círculo vicioso de la dependencia tecnológica, es decir, terminar con la situación de no tener voz ni voto en decisiones fundamentales que afectan la infraestructura material de una sociedad”* (Ibidem: p. 23).

Desde otro ángulo se propone la de generar una tecnología no insertada en la lógica industrial, sino mas bien en la del autoconsumo de comunidades de tamaño pequeño y mediano, con la lógica de resolver sus propias necesidades, es decir, propone que mas que verse como antagonistas la cultura regional y la tecnología, esta puede

emerger a partir de la misma tradición cultural de las sociedades concretas (Darrow 1980: p. 18). Es por ello que rechaza la visión de “una tecnología neutral” y si reconoce encontrarse en un contexto de relaciones sociales desiguales, donde no tiene sentido consumir ni los insumos ni los productos tecnológicos y si tiene sentido sustentarse dentro de los materiales y necesidades locales (Op. Cit: p. 19-20) es por ello que *“Tal proceso lleva implícito un proceso de desarrollo de la tecnología que ha de ser participativo y exige una red de comunicación horizontal que permita a los habitantes de la aldea que vivan en un extremo del país conocido lo que han inventado otros aldeanos en otra zona para resolver problemas comunes”*. (Ibid: p. 20). Por otro lado se señala que el mismo concepto de “Tecnología apropiada” es un desafío directo a las formas jerárquicas de quienes gestionan y controlan las tecnologías de producción (Vesuri 2007: p. 118), ya que estos ponen de manifiesto formas de interacción productivas no siempre antagónicas de los humanos y el ambiente.

## CAPÍTULO 2

### Perspectiva del agua en el Mundo y en México.

#### 2.1 El agua desde la perspectiva ambiental

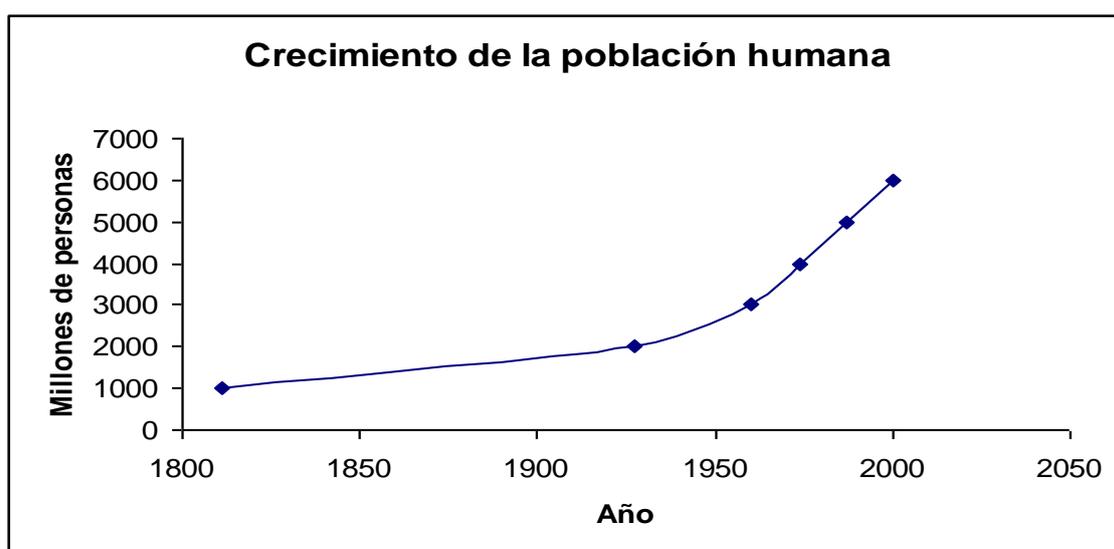
Los humanos, para evadir la presión de selección nos hemos caracterizado por la elaboración de herramientas para modificar nuestro entorno; esto lleva a modificar el ambiente externo (herramienta- naturaleza) a la vez que el ambiente interno cambia a su vez (la elaboración de procesos y conceptos de relación entre herramientas, sociedad y naturaleza). Como ser social que es, lo que lleva no solo a compartir el conocimiento con sus semejantes, sino que además lo lleva a negociar sobre los significados de los diferentes fenómenos de la realidad. Está pues, generando cultura<sup>1</sup>, gracias a la cual la humanidad pudo evadir, con sobrada ventaja la presión de selección natural.

Si bien modificar el entorno con la aplicación de las herramientas nos ha permitido subsistir en el planeta, por otro lado ha generado problemas tales como la contaminación<sup>2</sup>, la cual afecta ya todos los ámbitos de la vida a nivel global; es importante señalar su grave impacto sobre el recurso del agua, amenazando con ello las mismas bases de la sustentabilidad de la vida, razón por la cual se hace un mayor énfasis sobre esta problemática, la cual está, como bien se recuerda entrelazada con la historia del planeta en los últimos 11 000 años, cuando da inicio el Holoceno, el cual se significó como un gradual calentamiento global, lo que llevo, por una parte, a la retirada de las glaciares que cubrían el hemisferio norte, por otro lado impactó a diferentes regiones meridionales del mundo, como fue el caso de África del Norte, donde las fértiles llanuras del Sahel, sufrieron un continuo proceso de desecación, mismo que terminó convirtiéndolo en el actual desierto del Sahara. En la actualidad los gases de efecto invernadero (tales como el metano, los óxidos de carbono y de nitrógeno), al incrementar la temperatura global modifican la distribución de las masas del agua, tal como podemos ver en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Estado general de las reservas del agua a nivel mundial: Shklomanov en 1993, (Shklomanov, L. 1993. *World fresh water resources* in P. Gleick (edit). *Water in crisis*. Oxford. Univ. Press. Oxford. New York, USA

CONCEPTO	Volumen	% DE AGUA TOTAL
Océanos mundiales	1 338 000	96.5%
Agua subterránea	23 400	0.77
* Agua dulce	10 530	0.76
Glaciares y hielos perpetuos	24 064	1.74
Lagos	176.4	0.013
* Dulces	91	0.007
Ríos	2.12	0.0002
Biomasa	1.12	0.0001
Agua atmosférica	12.9	0.001
Total reserva agua dulce	35 029	2.53
Total reservas agua mundo	1 385 984	100.00

De manera paralela al incremento de la actividad industrial comenzó a activarse, gracias a los avances de la ciencia médica, la llamada “bomba demográfica”, la cual se caracterizo por un sostenido incremento del número de personas, así como de una mayor producción de bienes y servicios, mismos que hicieron posible que la población humana pudiera duplicar su número en tiempos cada vez mas cortos, como puede apreciarse en la siguiente gráfica:

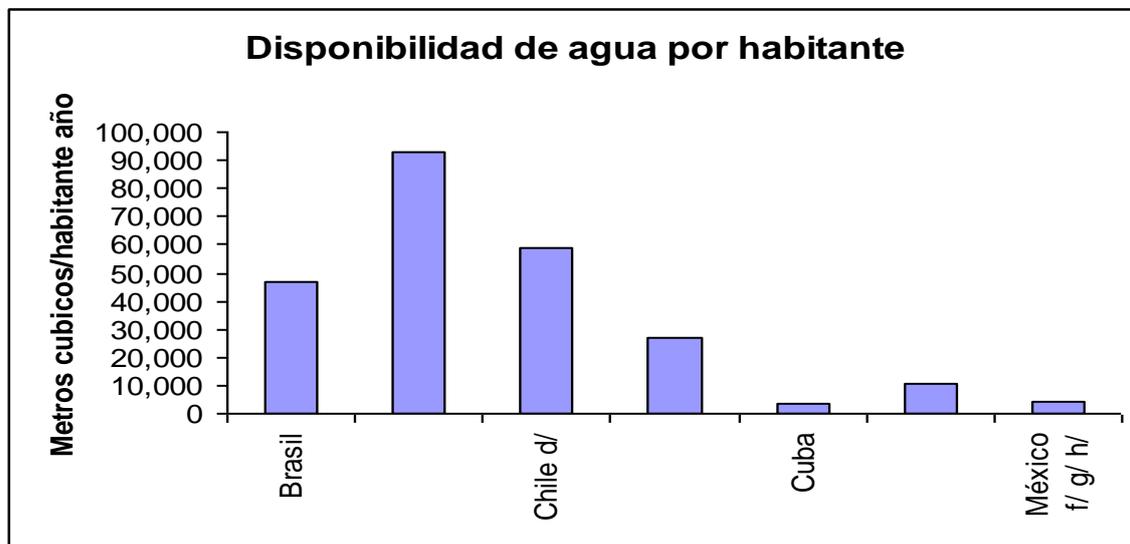


Gráfica 2.1. Elaborado a partir de los datos de: Marquita K.Hill. 1997. *Understanding environmental pollution*. Cambridge university press. U,K

Lo anterior impacta de forma definitiva sobre la distribución del agua por persona, ya que como salta a la vista, el recurso del agua dulce, si bien presenta año con año algunas fluctuaciones, también es cierto que es finito y en consecuencia, la distribución del líquido, conforme pasa el tiempo, se va mermando cada vez mas conforme pasa el tiempo, tal como muestra la siguiente tabla:

Tabla 2.2 Disponibilidad *per capita* del agua en el mundo. Tomado de Informe de la Situación del Medio Ambiente en México Edición 2008. Consultado el 30 de agosto de 2010 [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_2008/06\\_agua/cap6\\_2.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_2008/06_agua/cap6_2.html)

En miles de Kilómetros cúbicos.						
Continente	1950	1960	1970	1980	2000	2008
<b>Norteaméri</b>	37.2	30.2	25.2	21.3	17.5	5.576
<b>USA</b>	10.6	8.8	7.6	6.8	5.6	3.051
<b>Centroamér</b>	22.7	17.2	12.5	9.4	7.1	2.359
<b>Brasil</b>	115	86	64.5	50.3	32.2	8.233
<b>Australia</b>	35.7	28.4	23	19.8	15	11.1
<b>Nortáfrica</b>	2.3	1.6	1.1	0.69	0.21	0.1

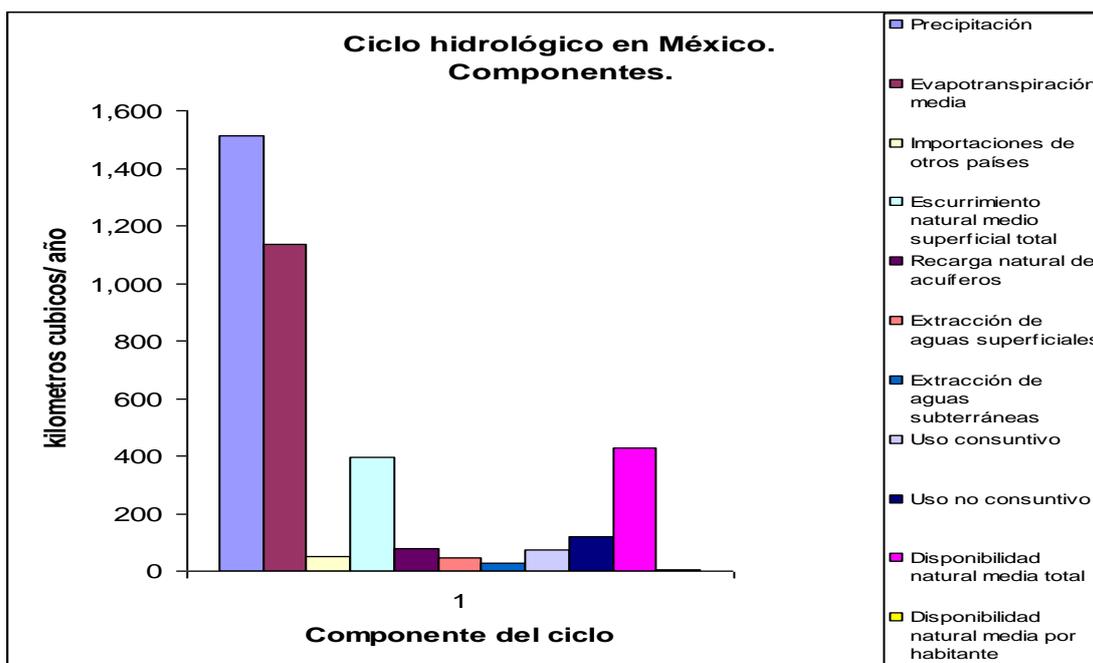


Gráfica 2.2. WRI. The World Resources Institute et al., 2002-2004. Oxford University Press, New York, U.S.A., 2004.

## 2.2 El caso de México.

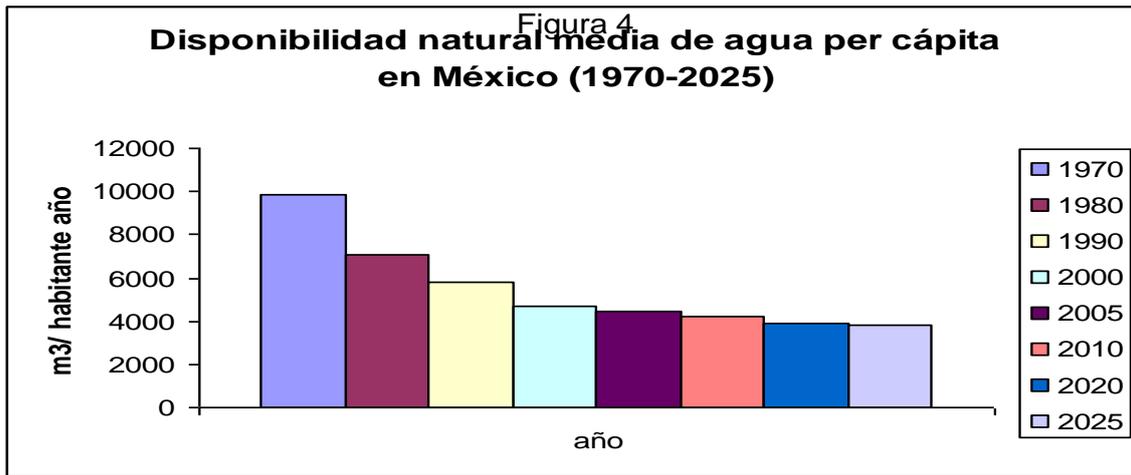
Nuestro país, al igual que el resto de las naciones, muestra en distintos grados esta afectación sobre su recurso hídrico, ya que si bien es cierto que el territorio nacional es de naturaleza tropical y en vecindad con grandes masas oceánicas, también es cierto

que la orografía tan peculiar del territorio impone una distribución del agua poco homogénea, ya que la mitad septentrional del país no se beneficia por las grandes precipitaciones, siendo en consecuencia su naturaleza mayoritariamente árida<sup>3</sup>, mientras que la mitad meridional recibe grandes volúmenes de agua; este líquido es captado en el territorio nacional en 718 cuencas hidrológicas en 37 regiones, las cuales se dividen, según la Comisión Nacional del Agua (CNA) en 12 regiones hidrológicas administrativas (2007: 17). Si el territorio donde llueve está erosionado— como ocurre con la mayor parte del territorio nacional—el agua no es retenida<sup>4</sup> por el suelo, no se puede recargar el acuífero y se escurre al mar, acarreado el poco suelo fértil hacia la costa como sedimento, los cuales a su vez van taponando su salida al mar. Por otro lado, no debemos de olvidar que la mayor parte de esa agua se pierde por el fenómeno de la evapotranspiración y en consecuencia, grandes volúmenes de agua reingresan a la atmósfera, situación que se puede apreciar en la siguiente gráfica.

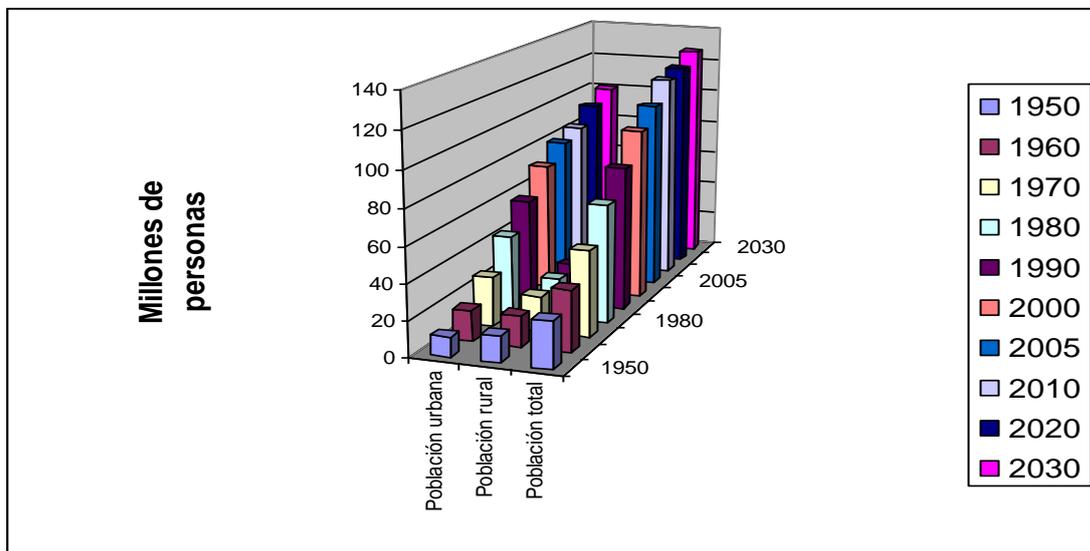


Gráfica 2.3. Ciclo hidrológico en México. Sus componentes. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales- Comisión Nacional del Agua.. Estadísticas del Agua en México, 2007. México, D.F. p. 27

De la figura anterior podemos apreciar que los volúmenes aprovechados de las aguas nacionales (tales como las extracciones de aguas superficiales y subterráneas) son solo una pequeña parte de la disponibilidad del ciclo hidrológico. A lo anterior se le debe de agregar el ingente incremento poblacional, el cual necesariamente decrementa la disponibilidad del agua por habitante.



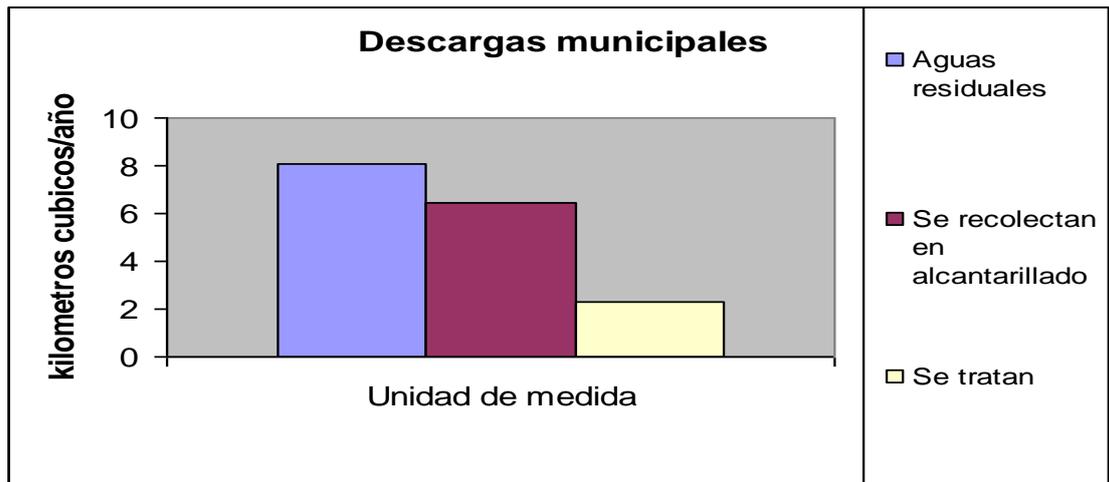
Gráfica 2.4 Disponibilidad natural media de agua *per cápita* en México (1970-2025) Elaborado a partir de las estadísticas del agua en México. CNA 2007, p. 156.



Gráfica 2.5. Serie Histórica de la distribución del agua a poblaciones urbanas y rurales en México. Gráfica elaborada a partir de: Toledo. 2006 Secretario General del 4º foro Mundial del agua.. A long-term forecast for the future of water resource in Mexico. p. 43

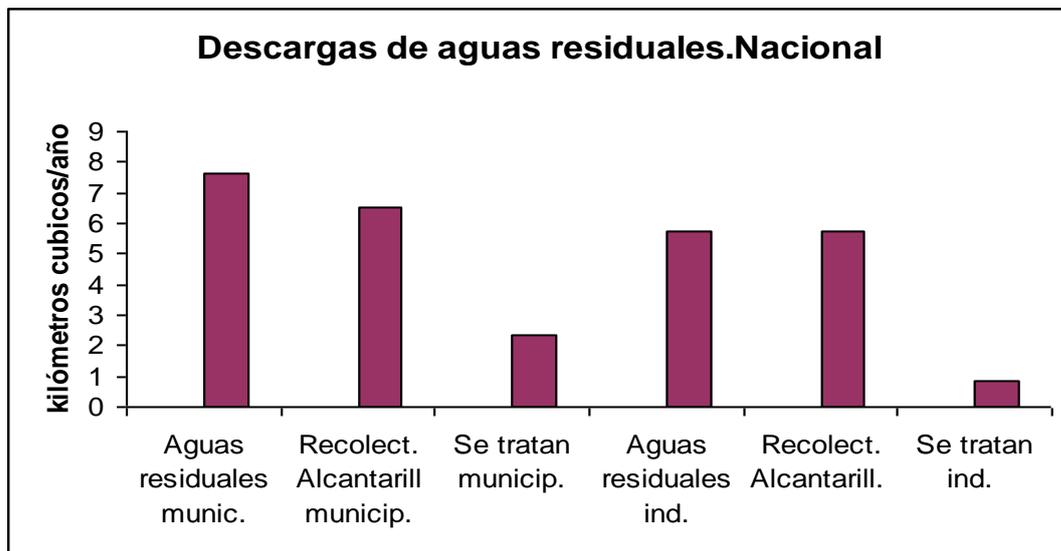
La información que aquí se desprende, de ser ciertas las proyecciones para las siguientes dos décadas, es que el recurso hídrico se encontrará muy presionado. Sin embargo, es notable el incremento de la demanda urbana sobre el agua, en detrimento de las poblaciones rurales (ver Anexo 6, recuadro I. El agua en México.)

Si bien teóricamente existen suficientes reservas de agua para atender incluso una población mayor, lo cierto es que son pocas de esas aguas superficiales que pueden ser aprovechadas, ya que sus aguas se vierten a los océanos<sup>5</sup> o peor aún, las cuencas por donde corren se encuentran gravemente contaminadas<sup>6</sup>, tal como se aprecian en las siguientes gráficas.



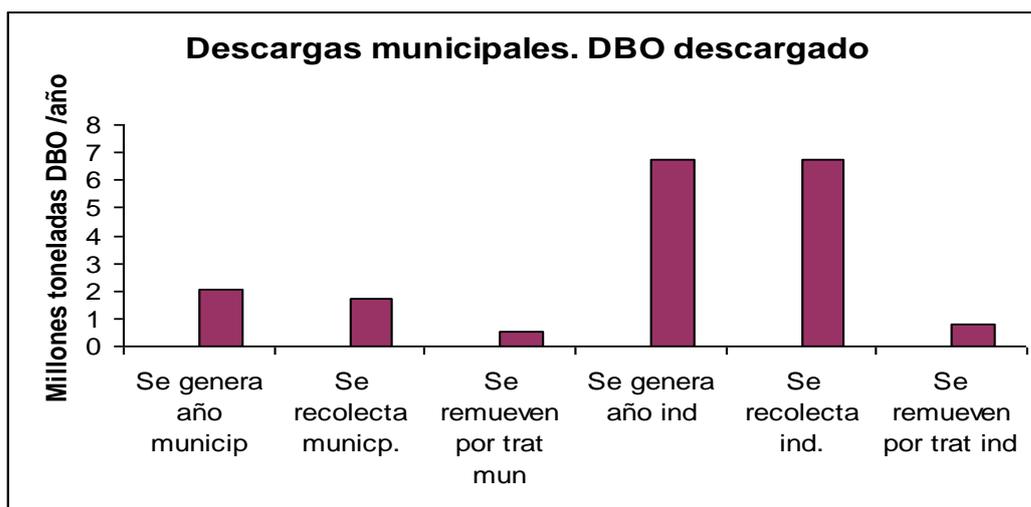
Gráfica 2.6 . Descargas municipales en el país. Estadísticas del agua en México. CNA 2007 p.. 97

Si procedemos a desglosar esta situación, encontramos lo siguiente:



Gráfica 2.7. Descargas de aguas residuales a nivel Nacional. Estadísticas del agua en México. 2007. CNA. p..98

Por supuesto, salta a la vista el gran volumen de aguas residuales que se vierten a las cuencas hidrológicas y a los ríos sin recibir ningún tratamiento<sup>7</sup>. Y en la siguiente gráfica es fácil apreciar que las descargas industriales, si bien son en volumen menores que las municipales, en cuanto a cantidad de materia orgánica generada (como DBO) superan con mucho a las generadas por los hogares.



Gráfica 2.8. Descargas de aguas residuales municipales (DBO descargado). Estadísticas del agua en México. 2007. CNA. p. 98

Para hacer frente a una mayor cantidad de contaminantes en las cuencas nacionales, contamos con cientos de plantas de tratamiento<sup>8</sup>, pero que se encuentran desbordadas por el problema. Así tenemos que no solo disponemos de menos agua, sino que esta se encuentra cada vez mas contaminada<sup>9</sup> --ya sea por contaminantes químico-industriales o biológicos (Ver anexo 6, recuadro II Los nuevos patógenos emergentes del sistema hidráulico en México)-- lo cual lleva a una alta incidencia de intoxicaciones y/o infecciones. Esto ha llevado a una crisis por el recurso del agua<sup>10</sup>

Como se puede apreciar, la situación tiende a mostrarse alarmante, ya que el aumento de población incrementa la demanda del agua, por otro lado la contaminación de las cuencas hidrológicas y ríos hace que los volúmenes realmente limpios sean cada vez más escasos y por añadidura, encareciendo el costo de la potabilización del mismo. Algo similar sucede con los mantos acuíferos, ya que al ser sobreexplotados, muestran ya signos de agotamiento al brindar agua de menor calidad para el consumo humano y a costos cada vez mas elevados, En la vertiente del Océano Pacífico (en las zonas de Baja California Norte y Sonora), ya se han perdido varios acuíferos por las intrusiones marinas, lo cual ha llevado no solo la inhabilitación de dichos acuíferos, sino también a la pérdida de valiosas tierras agrícolas al irse salinizando progresivamente<sup>11</sup>.

### 2.3 Disponibilidad del agua.

Si bien el promedio de precipitaciones pluviales que caen sobre el territorio nacional parecen cubrir con holgura las necesidades de los habitantes, la verdad es que el recurso se encuentra distribuido heterogéneamente en el tiempo, ya que este no cae

con regularidad en el transcurso del año, al existir dos periodos climáticos claramente diferenciados: la temporada de secas, en las cuales las precipitaciones llegan de 228 a 389 mm, mientras que en el periodo de lluvias el agua cae en abundancia, con una precipitación pluvial que alcanza 3.5 veces mas que el periodo de secas<sup>12</sup>. Por supuesto, la peculiar orografía de nuestro territorio impone además una desigual distribución de las lluvias, ya que las cumbres elevadas de los sistemas serranos hacen que del lado de barlovento—es decir, de la parte de la sierra que mira al mar—intercepta la mayoría de la nubosidad, por lo que ocurren abundantes precipitaciones, mientras que la parte de sotavento—que es la región serrana que no mira al mar—tenga pocas precipitaciones y prevalezca en consecuencia un ambiente árido y semidesértico. Ni que decir que del lado de barlovento el exceso de las precipitaciones escurre hacia el mar en forma caudalosa, con pocos beneficios hacia las tierras del interior.

Como puede apreciarse en la gráfica 2.3, la mayor pérdida de volúmenes de agua esta representada por la evapotranspiración. Este fenómeno se refiere a que la radiación solar que se recibe en el planeta se incrementa conforme se acerca a la línea ecuatorial, por lo que en los trópicos dicha radiación sigue siendo considerable y por lo tanto existe energía suficiente para que el agua eleve su temperatura y sea de nuevo evaporada. La vegetación, por su parte, durante el día, fisiológicamente regula su balance hídrico a través de los estomas, los cuales son pequeñas aberturas en las hojas, por donde el exceso de agua se pierde por la transpiración. En México, si bien las precipitaciones brindan 1 522 km<sup>3</sup> de agua, a lo cual hay que agregar 48.9 km<sup>3</sup> de liquido que llegan de cuencas aledañas, nos da un total de 1559.9 km<sup>3</sup>; sin embargo, la evapotranspiración reintegra a la atmósfera 1 084 km<sup>3</sup> en el 2007 (en 1998 se fueron a la atmósfera 1064 km<sup>3</sup>) quedando pues, para el 2007, 438 km<sup>3</sup> disponibles, es decir, solo el 30.50% de agua disponible. Si bien lo anterior significa una merma considerable, el volumen resultante sigue siendo importante (aproximadamente 4750.9m<sup>3</sup> por habitante al año). Sin embargo, un volumen de 399 km<sup>3</sup> se escurren de manantiales y ríos hacia las masas oceánicas, mientras que 73 km<sup>3</sup> recargan los acuíferos, quedando la cantidad de 3.9 km<sup>3</sup>, lo cual significa que por habitante nos corresponde aproximadamente 39 m<sup>3</sup> por habitante. Sin embargo, no debemos de olvidar que la agricultura<sup>13</sup> necesita al año 61.2 km<sup>3</sup> y la industria requiere 2.3 km<sup>3</sup> de agua al año. Haciendo cuentas, veremos que hay un déficit de 59.6 km<sup>3</sup> al año. Dicho déficit lo cubrimos con una extracción masiva de los acuíferos<sup>14</sup> (11 836 m<sup>3</sup> en 1993, 11 984 m<sup>3</sup> en 1998) lo cual arroja una sobreexplotación de - 4 554 m<sup>3</sup> para 1998.<sup>15</sup>, es decir, que la presión sobre los acuíferos se incremento año con año, ya que para

1975 existían en el país 32 acuíferos sobreexplotados, en 1981 ya había 36, para 1985 subió bruscamente a 80 y para el 2005 son 104 los acuíferos que se encuentran en esta situación (CNA 2007: p.44). Por otro lado se recurre con mayor frecuencia al riego de tierras agrícolas con aguas residuales<sup>16</sup>; el cual si bien a corto plazo rinde beneficios por el incremento de la biomasa agrícola cosechada—por el aporte de agua y nutrientes—pero por otro lado, los efectos a largo plazo son mas costosos y amenazadores tanto para el sistema hidrológico en general como para la salud humana en particular, ya que al infiltrarse dichas aguas, arrastran consigo una gran cantidad de contaminantes<sup>17</sup>, los cuales finalmente polucionan al acuífero en su totalidad, por lo que las afectaciones a la salud de las poblaciones son incuestionables y obligan a erogar fuertes recursos financieros, técnicos y humanos en potabilizar una parte de dicho acuífero<sup>18</sup>

Del análisis anterior, es claro que la disponibilidad de agua potable es cada día menor, ya que si bien en 1910 esta era de 31 000 m<sup>3</sup> por habitante, para 1970, esta era de casi un tercio, es decir, 10 000m<sup>3</sup>/ habitante año. Si las predicciones para las próximas dos décadas son correctas, para el año 2025 habrá disponibilidad de 3 828 m<sup>3</sup> habitante al año. De ahí podemos concluir que si bien la cantidad de agua disponible es cada vez más exigua, esta aún puede ser suficiente<sup>19</sup>.

Tabla 2.3. Ciudades con conflictos en el abastecimiento de agua. (Jiménez y Ramos 1996, p. 65)

CIUDAD	Déficit de millones de m <sup>3</sup> /año	
	1994	1995
1.- Aguascalientes	31.5	46.4
2.- Ensenada	94.9	109.1
3.- Tijuana	18.3	121.4
4.- Mexicali y San Luís Río Colorado	802.2	857.3
5.- La paz,	67.4	81.9
6.- Chihuahua	14.8	83.3
7.-Cd. Juárez	247.8	265.7
8.- Monclova	91.7	147.2
9.- Saltillo	82.5	101.9
10.- Torreón	972.8	1014.2
11.- León	52.7	77
12.- Salamanca	274.8	384.5
13.- Iguala, Guerrero	25.4	32.2
14.- Guadalajara	95.8	640.2
15.- Tepic	37.3	48.1
16.- Monterrey	223.2	347.1
17.- Juchitan y Salina Cruz	21.6	110.7
18.- Puebla,	239.6	370.7
19.- Querétaro	3.5	81.5
20.-San Luís Potosí	23.7	41.4
21.- Culiacán	583.3	699.6
22.- Empalme Sonora y Guaymas	154.8	165
23.- Hermosillo	615.5	654
24.-Ciudad Obregón	304.4	404.4
25.- Nogales	21.2	24.8

26.- Matamoros	417.6	490.4
Coatzacoalcos	23	95.7
Veracruz	2	21
Mérida	42.5	82.3
Zacatecas	9	13.7

La contaminación de las cuencas hidrológicas por residuos municipales e industriales ha llevado a la situación de que las cuencas generadoras de agua limpia se encuentren contaminadas y que alcanzan ya el 100 % <sup>20</sup>, con un volumen general de aguas vertidas de 7.54 km<sup>3</sup> para el año 2003, mientras que para el 2007 esta se incremento en 8.03 km<sup>3</sup> de aguas residuales<sup>21</sup>, los cuales fueron a parar a arroyos, ríos, lagos y presas, contaminando sus cauces y sus vasos. Este volumen equivale a casi 8 millones de toneladas de materia orgánica de los cuales apenas se tratan el 23 % de dicho volumen, ya que la población tiene de continuo un incremento, para las próximas décadas, la cual podrá alcanzar de 29.871 km<sup>3</sup>, es decir, un 272 % de incremento. Si bien es cierto que en la actualidad tratamos el 36% de las aguas residuales municipales y el 15 % de las aguas residuales industriales, removiéndose 1.34 millones de toneladas de DBO<sup>22</sup>, es lógico valorar que la generación de materia contaminante siempre estará muy por delante de la capacidad de remoción, pues aunque tuviéramos un incremento notable en el numero de plantas de tratamiento las cuales pueden llegar hasta 2 709 que pueden construirse al año 2030, en base a las tendencias mostradas, el volumen tratado siempre estaría muy por debajo<sup>23</sup>

En pocas palabras, a nivel nacional, el panorama es desalentador, ya que la disponibilidad del recurso hídrico va a estar mas presionado por el incremento poblacional, al igual que por las demandas de aforo cada vez mayores de uso industrial, agrícola y municipal ya que estas tienen que crecer para producir los alimentos y servicios a una población mas grande, mientras que la generación de residuos será cada vez mayor, razón por la cual no es aventurado postular que, estamos en el umbral de una grave crisis del agua. Esta situación puede ser especialmente preocupante en las dos grandes cuencas endorreicas del país, es decir, la cuenca Lerma-Chapala<sup>24</sup>, dentro de las cuales se encuentran los centros industriales tan importantes como el corredor Querétaro-Celaya<sup>25</sup>, León, el corredor industrial Lerma Toluca, zonas agrícolas productivas como el Bajío, así como la zona metropolitana de Guadalajara-Zapopan<sup>26</sup> y por supuesto, la cuenca central, donde se localiza la zona metropolitana de la Ciudad de México, la cual vamos a analizar con mayor detalle

## 2.4 La zona metropolitana de la ciudad de México (ZMCM).

Nuestro territorio es el producto de una serie de procesos volcánicos y tectónicos que operaron a lo largo de varios millones de años, modelando el territorio continental en general y el nacional en particular, de forma tal que la actual distribución de las características orográficas, hidrográficas y bióticas es su actual legado. De todos estos rasgos, el más interesante es el que se refiere a la formación de la Cuenca Central de México, conocida coloquialmente como Valle de México, aunque en realidad no es exacto denominarlo así, ya que si bien en algún momento de su historia geológica si presento las características de valle, en la actualidad ya no lo son. Esta cuenca endorreica<sup>27</sup> (es decir, cerrada) cuenta con una extensión de 9 600 km<sup>2</sup>, ubicándose a los 19° 19' 03" 53" y 20° 11' 09" de latitud norte, así como a los 98° 11' 53" y 99° 30' 24" de longitud oeste

Durante el oligoceno se comenzó a formar el eje neovolcánico el cual es un sistema volcánico que corre en dirección NE-SW y que es el elemento responsable del perfil orogénico en la parte media de nuestro país (y que en la actualidad tiene una superficie de 158 522.41 km<sup>2</sup> (INEGI 2004a) aunque su principal actividad fue a lo largo del periodo Plioceno y termina hasta el Cuaternario<sup>28</sup> Este eje corre de forma perpendicular a las dos grandes cordilleras descritas arriba.



Figura 2.1. Posición del eje neovolcánico (Tomado de Demat 1978: p. 173)

El territorio donde se asienta actualmente la cuenca se conformo hace 32 millones de años al dar inicio a la actividad volcánica, el cual forma los sistemas más antiguos, encontrándose justo en el norte de la cuenca, en la zona de Tepozotlan, al pie oriental de la sierra que tiene el mismo nombre y llega hasta la zona de Huehuetoca y el vecino cerro del Sincoque. Posteriormente, ya en el Oligoceno primero y en el

Mioceno después se continuó con este proceso volcánico, los cuales formaron las sierras mayores de Xochitepec, el Mirador y el Pulpito del Diablo. Cabe hacer notar que es de este periodo la formación andesítica conocida como el Peñón de los Baños, el cerro del Tigre, así como el cerro de Santa Isabel Tola, al norte del cerro del Tepeyac, los cuales se formaron hace 16 millones de años. Los cerros de Chapultepec, Tlapacoya y Zacatepetl no son ajenos a este periodo. (Wolfer 1975, paginas 45-51)

Las sierras del norte de la región fueron formadas entre 12 y 14 millones de años, aún cuando son sierras comparativamente pequeñas. Entre estas cabe mencionar a la sierra de Guadalupe, la cual se encuentra en el límite norte de la ciudad, fue formada hace 12 millones de años, gracias al vulcanismo intermitente, al igual que sus vecinas las sierras de Tepetzotlan, las Pitallas, entre otras. Hacia finales del periodo miocénico es cuando la actividad volcánica se reinicia con mayor fuerza y es justo cuando surgen los grandes sistemas como son la sierra de las Cruces, la cual era la frontera poniente del entonces Valle, mientras que en la frontera oriental del valle se modelaba con el nacimiento de la sierra Nevada. Durante todo este extenso periodo han quedado evidencias de grandes ríos, los cuales corrían de norte a sur, acarreando sus aguas a la zona del Alto Amacuzac<sup>29</sup>, es decir, en la actual cuenca del río Balsas, que como se sabe, desembocan en el Océano Pacífico.

La serie de eventos cruciales ocurre ya durante el periodo cuaternario, cuando la actividad volcánica genera domos basálticos, principalmente los del Peñón del Márquez, los cerros de Chimalhuacan y de la Estrella. Pero solo con la formación de los domos volcánicos que conforman a la sierra del Chichinautzin (cuyo volcán más conocido es el Ajusco) cuando se cierra el drenaje del hasta entonces valle y pasa a conformarse en una cuenca endorreica<sup>30</sup>.

#### **2.4.1 Hidrología.**

Como se puede verificar anteriormente, este espacio geográfico paso de un valle donde con una pendiente noroeste a sur oriente y por donde las corrientes de agua discurrían hacia los actuales valles de Morelos, los cuales finalmente desembocaban en la cuenca del Alto Amacuzac. Sin embargo, los eventos finales del Cuaternario cierran dichos cauces y provocan la formación de una enorme represa. Esta enorme cuenca estaba a su vez formada por varias cuencas más pequeñas, las cuales presentamos a continuación:

Tabla 2.4. Zonas hidrológicas de la cuenca central de México. Boletín hidrológico No 30. (1984) Datos del Valle de México correspondiente al año 1977. Comisión de aguas del Valle de México. SARH. Biblioteca Archivo Histórico del agua.

ZONAS	Nombre zona hidrológica	Área km <sup>2</sup>	Lluvia mensual media anual (mm)	Volumen Miles de m <sup>3</sup>
I	Xochimilco	522	891	465 102
II	Churubusco	234	1 020	230 650
III	CD. México	725	872	632 200
IV	Cuautitlan	972	789	766 908
V	Pachuca	2 087	520	1 085 240
VI	Teotihuacan	930	612	569 160
VII	Texcoco	1 146	639	732 294
IX	Chalco	1124	855	961 020
X	Apan	637	692	440 804
XI	Tochac	690	693	478 170
XII	Tecocomulco	533	651	346 983
		9 600	700	6 716 561

Los ríos<sup>31</sup> que corrían de los sistemas montañosos al gran lago eran:

Lago Chalco

Sus principales tributarios eran el río Tenayo y el río Tlalmanalco, así como el arroyo San José y otros mas.

El Lago de Texcoco tenía como tributarios los ríos de Coatepec, Santa Mónica, San Bernardino, Chapingo, Tezcoco, Magdalena, Papalotla. En la parte occidental recibía, de la sierra de las Cruces, las aguas del río Guadalupe, que se forman del río de los Remedios y del río Tlalnepantla

El lago de Xochimilco

Sus tributarios nacen en el Ajusco y en la sierra del Chichinautzin. Ríos San Buenaventura, San Juan de Dios, Xochimilco, Tlalpan, Coyoacán, Culhuacan, Churubusco, Ixtapaluca Ayotzinco

El río Cuautitlan ha sido, desde siempre, el que más volumen arrastra, con un caudal que según Humboldt, era mayor que todos los demás<sup>32</sup>.

#### **2.4.2 Evolución histórica.**

Si bien el lago que se formó a finales del Cuaternario tenía una extensión considerable, al terminar la última glaciación e incrementarse la temperatura, la evapotranspiración fue poco a poco disminuyendo el volumen de mar interior y reduciendo su tamaño, descubriendo zonas que antes se encontraban sumergidas aun cuando su extensión seguía siendo bastante considerable, ya que contaba con una extensión de 1500 km<sup>2</sup>. Este proceso fue continuo a lo largo de los subsiguientes siglos<sup>33</sup>, ya que a los inicios del formativo inferior, las aguas del lago, si bien ya se encontraban en pleno retroceso, aun llegaban a las vecindades de lo que posteriormente sería Teotihuacan. Es ya en plena época histórica cuando este gran cuerpo de agua adquiere la configuración con la que tanto los indígenas como los españoles lo conocieron, donde el eje de este cuerpo de agua corría de norte a sur, teniendo al antiguo lago de Texcoco como el elemento central. Este cuerpo de agua, se extendía desde la orilla occidental—es decir, desde la zona de Coyoacan, Chapultepec y Azcapotzalco-Tepeyac, hasta la orilla oriental, propiamente Texcoco. Desde antiguo los habitantes de las innumerables asentamientos se percataron de que las aguas de este último lago eran saladas, ya que al irse deslavando los minerales, proporcionan solutos a las aguas, razón por la cual esta agua se calificaba de salobre<sup>34</sup>. Al sur, este se encontraba separado por la península de Iztapalapa, la cual tiene como columna vertebral a la sierra de Santa Catarina, se encontraba el lago de Xochimilco-Chalco, comunicado por una estrecha boca. Las aguas de este lago eran dulces y de mejor calidad, ya que se alimentaban de los torrentes que provenían de la sierra Nevada (algunos de los cuales provenían del deshielo de los volcanes). Hacia el norte, en donde se formaba un delgado cuello de botella se encontraba el lago que posteriormente se le conoció como de San Cristóbal. Vecino a este lago se encontraba el lago de Xaltocan y por último, en el extremo norte, quedaba el lago de Zumpango

Al mismo tiempo la vegetación se fue transformando, ya que las comunidades de bosques de tipo boreal<sup>35</sup> del periodo pleistocénico fueron poco a poco sustituidas por las comunidades tipo pino-encino y oyameles. Es posible que el cambio de vegetación haya tenido un gran peso en la desaparición de la fauna pleistocénica, la cual poco a poco fue siendo desplazada por otra fauna. Lo que si es seguro es que con la llegada de las primeras bandas de cazadores recolectores que alcanzaron el valle tuvo sus consecuencias, ya que coincide con la extinción de esta fauna. Desde 30 000 años

a.c. comenzaron a instalarse las primeras comunidades de cazadores recolectores en la cuenca<sup>36</sup>, las cuales poco a poco, se fueron transformando de comunidades seminómadas a sedentarias, hecho que fue favorecida por la domesticación del maíz.

En el periodo formativo, las comunidades que se fueron asentando eran de tipo ribereño, destacándose, en el este periodo Tlatelco, Terramote Tlatilco, Copilco, y de manera preponderante, Cuicuilco; este fue uno de los sitios mas tardíos del Formativo, tuvo quizás una población entre 5000 y 10 000 habitantes, a diferencia de otros lugares, que solo tenían de 1000 a 3500 habitantes (Serra: p. 41). Este periodo termino cuando el volcán Xitle entró bruscamente en actividad, sepultando el gran centro ceremonial de Cuicuilco y creando una gran corriente migratoria hacia el norte de la cuenca. En el periodo conocido como Clásico, en donde Teotihuacan, situado en la parte noreste de la cuenca hace sentir su predominio no solo en la zona <sup>37</sup> sino también en casi toda Meso América. De manera abrupta <sup>38</sup>, este periodo termina hacia el año 700 d.c.

Si bien la cultura dominante del postclásico—la tolteca—se asentó fuera de la cuenca, su influencia se dejó sentir de manera preponderante en varias ciudades, principalmente en la de Culhuacan. Asimismo, es en este periodo donde las pequeñas aldeas del Formativo y Clásico se conforman en ciudades importantes, destacándose las de origen tepaneca (Azcapotzalco y Coyoacan), mientras que se comienza a poblar Texcoco, las cuales vendrían a ser importantes núcleos urbanos posteriormente (figura 2). Es importante llamar la atención sobre el surgimiento de las ciudades y pueblos de Mixquic, Iztapalapa, Mexicaltzingo, Cuitlahuac y Xochimilco, los cuales fueron fundados y sostenidos gracias al dominio existente de la técnica de las chinampas (Rojas 1973: p. 33) (Ver anexo 6, recuadro III, Las chinampas)



Figura 2.2 Cuenca de México. Siglo XVI. (Tomado de: <http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.esacademic.com/pictures/eswiki/76/>)

Junto con el desarrollo cultural, corrió parejo un mejor conocimiento del ambiente y en consecuencia, la aplicación de técnicas adecuadas que permitían la explotación sostenida de los recursos, ya que no sólo se tenía una infraestructura hidráulica que regulaba las crecidas bruscas del lago, sino que desde el siglo XV podían separar las aguas salobres de las aguas dulces <sup>39</sup>, así como construir acueductos para llevar, desde las montañas cercanas, agua potable; la construcción de drenes, los cuales llevaban las aguas residuales al lago de Texcoco, abriendo por la mañana las compuertas del bordo, cerrándolas por la noche para evitar que estas se regresaran a la ciudad (Becerril 2007: p. 150), así como una adecuada gestión de los residuos sólidos, los cuales se aplicaban a las chinampas<sup>40</sup>; también se desarrollaron técnicas para la construcción de grandes obras de ingeniería, tales como la acción del poder mexica para desviar los ríos Tlamanalco y Amecameca (Noyola Rocha 1999: p. 78) para disponer de suficiente agua dulce para lavar de sales a las chinampas del área Tlahuac- Xochimilco.

A finales del periodo postclásico surge, con el declive de la hegemonía tepaneca de Azcapotzalco, la potencia Mexica. Si bien este no es lugar para hacer una descripción de esta sociedad ni de su historia, si es importante revalorar como adoptan la técnica de la chinampa como una forma de extender las tierras de cultivo, ya que como se había señalado Noyola Rocha (Op. cit. 1999: p. 77 y 78) la cuenca se encontraba tan densamente poblada que importaba una gran cantidad de alimentos<sup>41</sup>, obligándoles a emprender grandes obras hidráulicas, las cuales no solo fue el "bordo de Netzahualcoytl, sino que además, emprendieron la desviación del río Tlamanalco y

Amecameca para beneficiar la agricultura del área Chalco y Xochimilco. Y es cuando se enfrentan con la primera de las grandes inundaciones que poseemos de forma documentada.

A raíz de la conquista hispana y con la introducción de otras formas de producción basadas en la acumulación rápida de capital, las condiciones ambientales entran en un rápido deterioro <sup>42</sup> y en consecuencia, el antiguo lago comienza a azolverse debido a la creciente erosión de los suelos, ya que al desaparecer los bosques de forma rápida, el suelo se deslavaba e iba a parar al fondo del lago <sup>43</sup>. Esta situación fue vislumbrada desde fechas muy tempranas, ya que como señala el dominico inglés Cage ““ (...) *vio bosques de cedros muy devastados por los españoles que los han desperdiciado en construcciones muy ostentosas*” (Lenz 1969: p. 44), sin hablar de que dichos bosques, sin ninguna restricción, fueron usados para proporcionar carbón a la nueva ciudad, así como madera para la construcción de casas; De Palerm citando a Gibson (Palerm, 1973: p. 31) refiere que en algunos periodos de la colonia se llegaron a cortar hasta 25 000 árboles anuales solo para estacas. El resultado, como señalo con mucha certeza el hamburgues Heinrich Martín, mejor conocido como Enrico Martínez, célebre impresor, cosmógrafo e ingeniero, era que “ (...) *veremos las lluvia arrastrar esta tierra hacia el fondo de la laguna, cuyo lecho se alzará y vendrá sobre nuestras casas esta agua*” (Op, cit: p. 46)

El azolvamiento provocaba que en periodo de lluvias las aguas del lago se volcaran sobre la ciudad, con graves resultados. Las inundaciones fueron recurrentes, con notables pérdidas económicas, lo que llevo, en los años 1604 y 1607 a considerar excavar una salida artificial para la cuenca, aunque siempre se dejaba para después; hasta que llegó la mayor catástrofe que haya sufrido la ciudad. La tarde del 21 de septiembre de 1621 comenzó a llover torrencialmente y 24 horas después de lluvia continua, el agua desbordaba las acequias y para el anochecer de ese día el repiqueteo de las campanas anunciaba el desastre: El dique que contenía el río Cuautitlan estaba roto y en las siguientes horas y días se alcanzaba la pavorosa cifra de 30 000 muertos (Sotomayor 1990: p. 81-82) y se tuvo la pérdida de innumerables bienes muebles e inmuebles, poniéndose en peligro la existencia misma de la ciudad por lo que se procedió con celeridad a realizar dicha excavación para dar por primera vez una salida artificial a las aguas fuera de la cuenca <sup>44</sup>. Para tal fin, con un elevado costo financiero y humano se cavó, a socavón abierto, un enorme canal que fue conocido como el tajo de Nochistongo <sup>45</sup> y que fue concluido 150 años después.

Tabla 2.5. Fechas de las principales inundaciones en el valle de México. Estadísticas históricas de México. México. Instituto Nacional de Estadística e informática. INAH, SPP. 1986. Tomo 1 p. 24 en Memoria y encuentros: La ciudad de México y el Distrito Federal (1824-1928)

<b>Año</b>	<b>Comentario</b>
1449	Inundación con Moctezuma Ilhicamina
1498	Inundación con Ahuizotl
1555	Lluvia de 24 horas
1579-80	Inundación con el virrey Martín Enrique de Almanza
1586	Inundación
1604	Inundación con el virrey Montesclaros
1629-1633	Con el Virrey Marques de Guadalcazar. Se evalúa mudar la ciudad. La ciudad tardo varios años inundada.
1707	Inundación
1714	Inundación. Se rompe el alabardon de Coyotepec
1747	Inundación. Se daña la infraestructura hidráulica
1764	Inundación. Se desborda la laguna de Chalco. Se inunda la ciudad
1792	Inundación, provocada por las atarjeas
1795	Inundación.
1819	Inundación. El virrey Apodaca la controla
1865	Inundación. Maximiliano Emperador
1875	Inundación. Secuela de Epidemias.
1900	Inundación. A cuatro meses de la inauguración del desagüe hay una inundación parcial
1901	Inundación de Santa Ana, Candelaria, Santiago, San Lázaro. Los Ángeles, la Tlaxpana y Niño Perdido.
1910	Inundación. Julio. Se inunda Bucareli, Belén. Peralvillo. La Merced. Septiembre. Se inunda Mixcoac y la Piedad.
1942-44	Inundación. Se inician los problemas de las inundaciones por los hundimientos del subsuelo.
Inicio de los 50`s	Inundación. Por la intensa precipitación pluvial se inundan las dos terceras partes de la ciudad, lo cual es favorecido por los hundimientos de la ciudad (1950-51)
Total	21 inundaciones históricas.

Con esto se inició el primer trabajo que llevó a cabo la desecación, proceso que fue llevado de forma azarosa y que no evito que la capital novo hispana estuviera a salvo de las inundaciones. Sin embargo, el sistema agrícola-lacustre se encontraba ya seriamente afectado, como lo hizo ver, con mucha sagacidad a principios del siglo XIX Alejandro de Humboldt (1993) cuando dice:

“En la obra hidráulica del Valle de México no se ha mirado al agua sino como a un enemigo del que es menester defenderse” (...) “el sistema europeo de un desagüe artificial ha destruido el germen de la fertilidad en una gran parte del llano de Tenochtitlan. Algunas hermosas sábanas se han convertido poco a poco en secos arenales. En grandes trechos el suelo del Valle no presenta hoy en día sino una costra de arcilla endurecida, desnuda de vegetación, resquebrajada en toda su superficie. No obstante hubiera sido

fácil sacar partido de la disposición natural del terreno, sirviéndose de los mismos canales de desagüe para regar las llanuras áridas y para la navegación interior. (p. 152)

Si bien la independencia se logró en 1821, fue evidente que tres siglos de dominio colonial legara una estructura anquilosada y derrochadora; para el caso de la cuenca donde se encontraba la ciudad, no fue la excepción. Desde el principio, para la población el lago representó el atraso y la insalubridad, por lo que la idea de drenar los lagos fue una constante de obra pública a lo largo del siglo XIX, cosa difícil de realizar por las convulsiones políticas, guerra civil e invasión extranjera. Ello a pesar de que el lago de manera constante perdía volumen y las tierras emergidas era absorbido por la capital<sup>46</sup>. (ver Anexo 6 recuadro IV. El sistema lacustre en el siglo XIX y la opinión médica)

Cuando triunfa el Plan de Tuxtepec y coloca a Porfirio Díaz en la presidencia de la República, este se aboca de forma sistemática, a planear la salida de las aguas de la cuenca, apoyado por una élite que se hacían llamar “los científicos”<sup>47</sup> y que con las nuevas tierras emergidas se encargan de urbanizar y fraccionar, obteniendo pingues beneficios de paso<sup>48</sup> mismo que continuó en los últimos años del siglo XIX y los primeros del siglo XX con la apertura de los tajos de Tequixquiac, terminando lo que se inició en 1607 con el tajo de Nochistongo. Justo es en esta época cuando se instalan las plantas de bombeo en Xochimilco, las cuales llevaban a la sedienta ciudad el agua potable con las que se regaban las chinampas, disminuyendo con ello el aporte de aguas de buena calidad al sistema chinampero<sup>49</sup>. Otro tanto ocurre con el lago de Chalco, donde a iniciativa de los hacendados locales que deseaban desecar este cuerpo de agua para incorporar las tierras a sus latifundios, solicitan y obtienen del gobierno de Díaz el permiso para evacuar el agua<sup>50</sup>. Pocos años después, el nivel del agua en Xochimilco<sup>51</sup> comienza a abatirse de forma alarmante, lo cual llevó a que poco a poco los campesinos fueran marginando primero y abandonando después, las actividades agrícolas como principal actividad productiva. Las antiguas tierras de labor, ahora abandonadas, fueron pronto fraccionadas, mientras que las parcelas que continuaron como tierras de labor fueron regadas con aguas tratadas provenientes de la planta de tratamiento del cerro de la Estrella, estimulando con ello el crecimiento de la mancha urbana, aumentando también la demanda de agua potable, además de que con el encarpetao asfáltico se impedía la reabsorción del agua de lluvia hacia los mantos freáticos, y en consecuencia, dicha agua pluvial se unía, al ya considerable volumen de agua residual (Ver Anexo 6 recuadro V. El ocaso del lago y del sistema chinampero).

El centralismo atávico del sistema político propició, justo con la estabilización del periodo post-revolucionario, un incremento explosivo del área urbana de la ciudad de México primero y después el de la zona metropolitana, donde se pueden distinguir (Ward 2005: p. 72) 3 anillos, conformado el mas interno con el núcleo original de la ciudad hasta principios del siglo XX, mientras que los otros dos anillos son los mas recientes, con características industriales, demográficas y urbanas bien distinguibles<sup>52</sup>, hasta conformar, a principios del siglo XXI, un conjunto de 22 920 000 personas para el 2010, distribuidos en 16 delegaciones y 32 municipios conurbanos (Op cit. p. 102-103), mismo que se vio alimentado con la paulatina retirada de las aguas del lago, dejando una gran cantidad de tierra que a su vez fue rápidamente fraccionadas y vendidas como lotes urbanos<sup>53</sup>. Sin embargo, a las zonas que nunca fueron cubiertas por las aguas pero que tenían vocación agrícola se establecieron en el periodo post-revolucionario un cinturón de ejidos que además de ser un cinturón verde, se pensaba como productor de alimentos para la capital. Sin embargo, a partir de la década de los 40's, la carencia de un mercado inmobiliario regulado, la inmigración masiva de personas provenientes del interior de la república llevan a la desaparición de los ejidos primero y su incorporación a la mancha urbana después<sup>54</sup> (Varley 1985: p. 72)

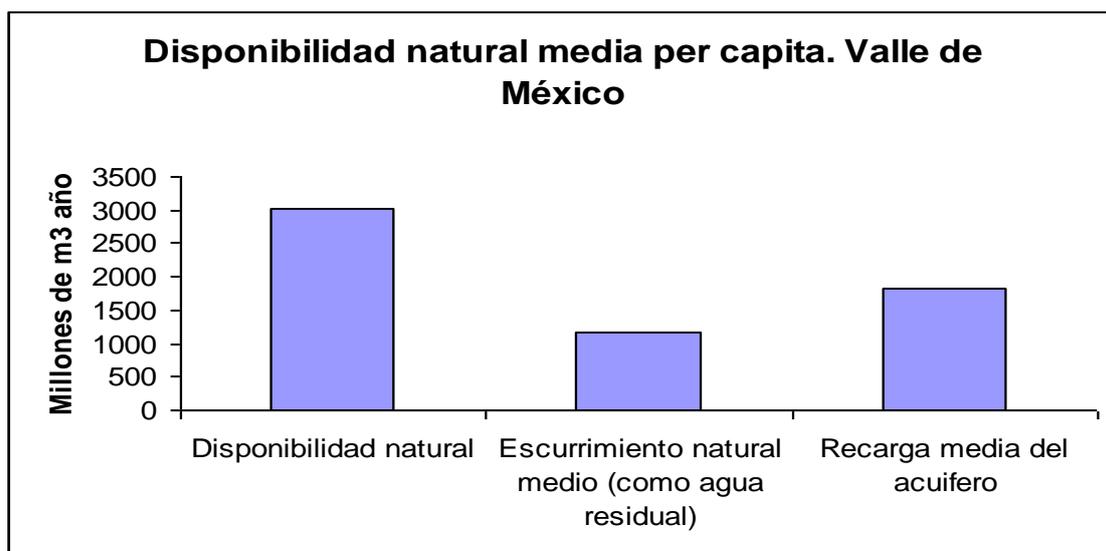
### 2.4.3. Disponibilidad natural del agua en la ZMCM.

En la actualidad en esta región no solo se asientan los poderes federales, sino también cerca del 20 % de la población del país, generando el 37.4 del PIB (Ward 2004: p. 77). La ciudad, territorialmente hablando, tiene una extensión de 9 600 km<sup>2</sup>, con una densidad poblacional de 18 075 hab./km<sup>2</sup>, con una altura promedio de 2240 metros sobre el nivel del mar (msnm).El área urbanizada comprende no solo a las 16 delegaciones del Distrito Federal sino también a los 34 municipios conurbanos del Estado de México, con una población total de 21 millones de habitantes (2003) con 13 millones de habitantes correspondientes al Estado de México y 8.6 millones del Distrito Federal, tal como se muestra a continuación:

Tabla 2.6. Distribución político-administrativa de la Cuenca Central de México. INEGI. 2000. Estadísticas del medio ambiente del D.F. y zona metropolitana. México.

Entidades	Área Km <sup>2</sup>	Porcentaje territorio (%)	Municipios y/o delegaciones
Edomex	4 800	50	49 municipios
Hidalgo	2 540	26.46	19 municipios
Tlaxcala	840	8.75	09 municipios
Puebla	100	1.04	02 municipios
DF	1320	13.75	16 delegaciones

Lo anterior significa que el 18.4 % de la población total de México vive en esta zona. El ciclo hidrológico se caracteriza por tener una alta precipitación pluvial, ya que esta es de 3.293 km<sup>3</sup>, la cual parece ser un volumen considerable; sin embargo la evapotranspiración reintegra a la atmósfera<sup>55</sup> 2.334 km<sup>3</sup>, es decir, el 70.9%, mientras que para la recarga del acuífero se aplican 0.458 km<sup>3</sup> y finalmente, escurren en forma de ríos y riachuelos 0.5km<sup>3</sup>, representando con ello el 15.18% del volumen total.

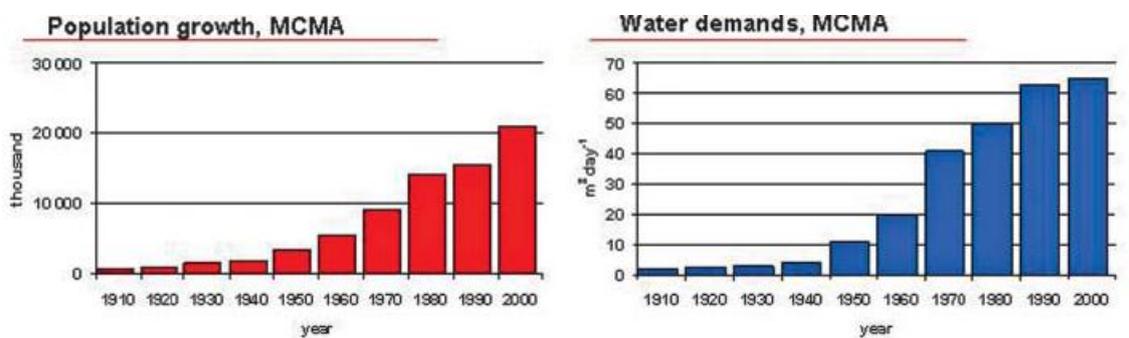


Gráfica 2.9. Disponibilidad natural media per capita. Valle de México. Estadísticas del agua en México. 2007. CNA. p. 156

Aunque si bien el volumen de agua que escurre en forma de ríos y manantiales de esta cuenca cerrada, es decir, sin salida al mar<sup>56</sup> sigue siendo considerable, por desgracia esta es poco aprovechable, ya que este sistema<sup>57</sup>, por donde escurre la gran mayoría de ríos y lagos—con las notables excepciones de la parte alta del río Magdalena, en la Delegación Magdalena Contreras, así como el lago Tecocomulco, en el estado de Hidalgo—se encuentran contaminados y por tanto, no aptos para el consumo humano. Es por eso que se importan, desde las vecinas cuencas del Lerma y del Balsas 0.480 km<sup>3</sup> de agua respectivamente<sup>58</sup>. Asimismo, un porcentaje importante de agua que se consume procede de los mantos freáticos, a razón de 45 m<sup>3</sup>/s, lo cual es igual a 2.633 km<sup>3</sup>/año, mientras que la recarga es de 20 m<sup>3</sup>/s, es decir, de 2070 km<sup>3</sup>/año con lo cual hay una sobreexplotación de 127.198%<sup>59</sup>

A pesar de lo anterior la disponibilidad media del agua *per cápita* en la cuenca de México es en promedio de 144 m<sup>3</sup>/ habitante año, aunque la distribución no es del todo homogénea, ya que para el DF. se proporciona un caudal de 364 l/habitante día, (ver

Anexo 6 Tabla VI El sistema hidráulico de la ZMCM) mientras que para los municipios conurbanos del Estado de México varía entre 230 l/habitante día (INEGI 2000: p. 231) hasta menos de 100 l/habitante día.



Gráfica 2.10. Comparación entre el crecimiento poblacional de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y la demanda de agua potable (Tomado de Sánchez 2000)

Al ocurrir este fenómeno, hay un mayor número de personas que solicitan servicios municipales y de servicios. (Mazarí 2000a: p. 65), los cuales cerraban el círculo al solicitar más servicios urbanos (como enlucido asfáltico, mismo que impide la recarga de los acuíferos) así como drenaje, con el incremento del ya considerable volumen de aguas residuales.

#### 2.4.4 La explotación del agua.

La cuenca donde actualmente habitamos recibe, cada año, una gran cantidad de agua de lluvia, misma que alimenta a los ríos que descienden de las laderas de las montañas. Sin embargo, por ubicarse por debajo del trópico de Cáncer, recibe asimismo una gran radiación solar, lo cual hace que tenga una elevada evapotranspiración—que es, en pocas palabras, la evaporación del agua por efectos del calor solar y la transpiración de las plantas por los procesos fisiológicos que le son propios, así como una alta tasa de infiltración, lo cual hace que la cantidad de agua disponible para consumo humano sea bastante menor, y apenas quede cerca del 30% disponible para uso humano. Para el acelerado crecimiento industrial y habitacional, los aportes que la misma cuenca tiene eran, a todas luces, insuficientes, máximo cuando, de forma irracional, al diseñarse el sistema de drenaje urbano, las aguas pluviales se mezclaban con las aguas negras y eran desechadas por el drenaje

A partir de 1942 se procedió a abrir un túnel de 14 kilómetros que atravesaba la sierra de las Cruces desde la cuenca alta del Lerma, para proporcionar agua a la ciudad, con un caudal de 4 m<sup>3</sup>/s, pero esto sólo fue un paliativo, ya que para los años 60's, dicho caudal se revelaba insuficiente, por lo que el gobierno federal redimensionó dicho sistema para obtener hasta 14 m<sup>3</sup>/seg., pero los impactos ambientales (la

desección de los valiosos humedales del alto Lerma, así como una situación socialmente explosiva) indujo al gobierno a disminuir el volumen a  $6 \text{ m}^3/\text{s}$  (Tortajada y Castelan 2003: p. 126). En 1976 se crea el sistema Cutzamala, el cual, de forma mas ambiciosa, eleva el agua 1 100 metros , desde la presa los Colorines hasta la serranía de las Cruces pasando a través de un acueducto que tendría una longitud total de 77 kilómetros y un diámetro de 2.5 metros (Figura 2.3). Para realizar esto se requeriría la energía equivalente al consumo de una ciudad de 1.5 millones de habitantes, con un total de 1 787 millones de Kilowatios, con un costo total de \$ 6 446 254 326.00 M.N (pesos constantes 2002)<sup>60</sup>. Tortajada indica (Op. cit: p.128) que según fuentes no oficiales, significa que alrededor del 20% de la energía eléctrica que se produce a nivel nacional debe ser usado para bombear agua potable a la cuenca. Para principios del milenio (Biswas 2002: p.4), subir el agua hasta la ZMCM tenía un costo (pesos constantes 2002) de \$ 12.95 M.N./ $\text{m}^3$ , con un costo adicional de purificación de \$1.93 M.N./ $\text{m}^3$ , mientras que el costo al consumidor era de \$ 2.26 M.N./ $\text{m}^3$ , lo cual significa un subsidio de \$ 10.69 M.N./ $\text{m}^3$ . En terminos de evolución de los precios, el costo del agua potable se incremento, comparado con el periodo 1950-1975, 2.5 veces mas para el periodo 1976-1998 (García Perez 2007: p. 24). En contraste con los costos exorbitantes por subir el líquido y potabilizarlo, el 40% del agua se pierde por fugas del sistemas.

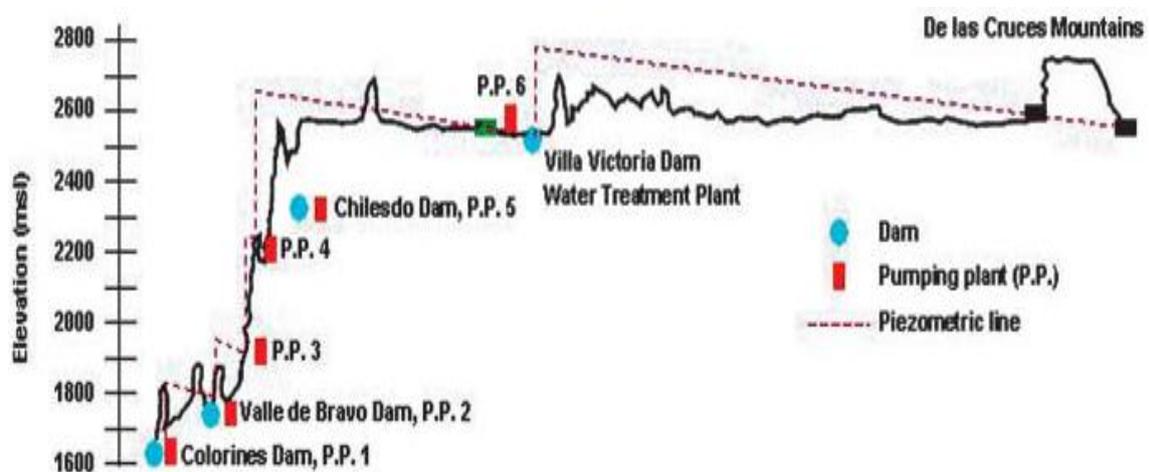
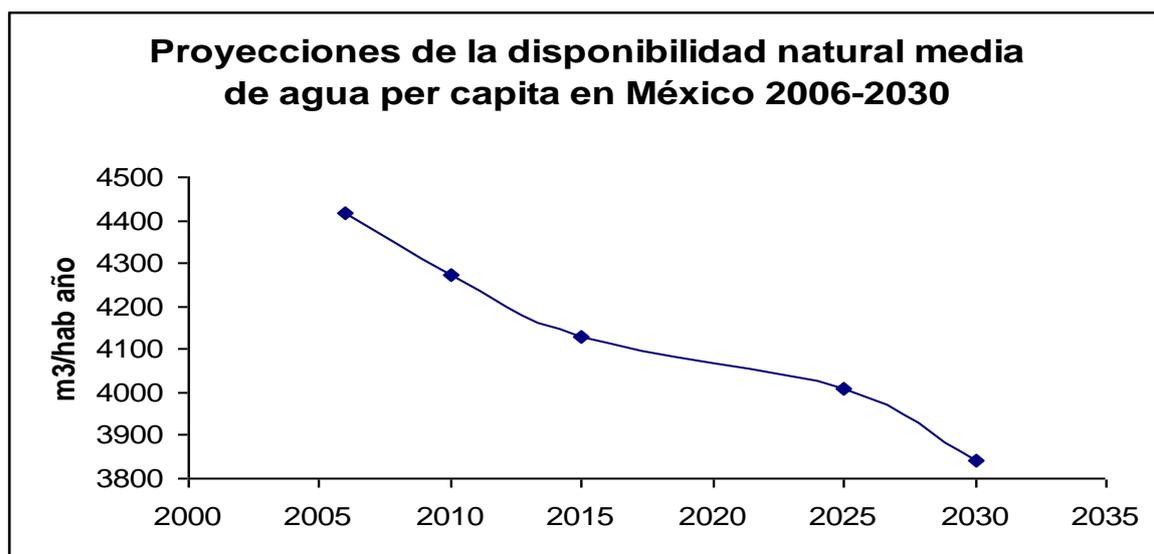


Figura 2.3. Disposición del sistema exportador de agua para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Sistema Cutzamala. (Tomado del IMTA).

A pesar del enorme esfuerzo que representa proporcionar grandes volúmenes de agua potable a la ZMCM, estos pueden quedar minimizados ante la explosión demográfica, ya que según diferentes estimaciones, puede incrementarse en las próximas dos décadas en una quinta partes de la población actual, es decir, alcanzar los 24 700 398 personas y que por añadidura, se distribuye inequitativamente (ver anexo 6 recuadro

VII. La gestión del agua potable en la ciudad de México. De la inequidad a la irracionalidad). Sin embargo, dicho aporte no es gratuito, ya que el costo de la compra del agua en bloque alcanza la cifra de \$ 1 192 657 248.48 MN (pesos 2002) (INEGI 2004c: p 48), siendo el organismo operador de agua del país que destina una mayor cantidad de recursos a este rubro. Es pues que por esta razón que el incremento de la demanda de agua y el agotamiento de los acuíferos, la disponibilidad *per cápita* del agua este declinando, tal como se ilustra en la siguiente grafica:



Gráfica 2.11. Proyecciones de la disponibilidad natural media de agua per. capita en México 206-2030. Estadísticas del agua en México 2007. CNA.. p.156.

#### 2.4.5. Sobreexplotación de los acuíferos.

Por otro lado se inicia la etapa intensiva de extracción de agua de los acuíferos subterráneos, misma que ya había comenzado en 1847 con cerca de 500 pozos y para el año 1886, estos ya eran mas de 1000; para 1891 y 1895 ya existía un descenso de 5 cm. al año (Galeana 1989, s/página foliada). En la actualidad al extraerse una mayor cantidad de líquido del que por vía natural se recupera por infiltración (es decir, la extracción llega a los 45 m<sup>3</sup>/seg. y la recarga es de 20m<sup>3</sup>/s, por lo tanto hay un déficit de 25 m<sup>3</sup>/s) provoca que estos comiencen a colapsarse, lo cual se ha traducido en hundimientos en diferentes zonas. Por supuesto, lo anterior provoca no solo el hundimiento general de la ciudad ( Mazari 2000b: p. 98), sus edificios y su infraestructura, (como los drenajes por donde corren las aguas residuales) con la consiguiente fractura de las capas de arcilla que “impermeabilizan” dichos yacimientos. Nada tiene de raro que en varios de los pozos del sur y sur

poniente de la ciudad ya se encuentren con diferentes grados de contaminación bacteriana<sup>61</sup>

Tabla 2.7. Caudales de agua potable y población de la Ciudad de México. Agua disponible por zonas hidrológicas (Según el boletines hidrológicos 13-15, 18-23)

Año	Caudal	Habitantes
1900	0.7770	0.4
1914	2.100	0.6
1930	2.500	1.0
1939	3.712	1.4
1953	14.300	3.5
1960	20.33	4.7
1965	21.864	6.0
1967	23.789	6.6
1968	25.920	6.7
1969	27.820	6.8
1975	39.900	10.5
1983	9.645	13.6
2000	4.771	20.2

A pesar de los altísimos costos sociales, económicos y ambientales<sup>62</sup>, el aporte de agua para los habitantes de Zona Metropolitana de la Ciudad de México sigue siendo cada vez más degradada. En 1950, cada habitante disponía al año de 18 035 m<sup>3</sup>; una década después había pasado a 13 319m<sup>3</sup> al año, mientras que para los 70's y los 80's su disponibilidad había caído a 9 645 y 6 958 m<sup>3</sup>. En la primera década del nuevo milenio, a pesar de la gran cantidad de agua y de recursos aplicados, la disponibilidad por habitante llega a 4 771 m<sup>3</sup> y las estimaciones predicen que será cada vez menor, ya que al incrementarse el área de servicios, éstos competirán desde una posición favorable contra la población con menos recursos. La argumentación anterior apunta a que el recurso hídrico, que en la actualidad tiene un grado de presión muy elevado y que es de 126%, alcanzará para el 2030 el 196%, el cual es ya francamente alarmante<sup>63</sup>.

#### **2.4.6. Hundimiento del subsuelo.**

El problema básico de la Ciudad de México es que ésta se encuentra asentada sobre suelo lacustre con la consiguiente desventaja de que el principal material que conforma el suelo urbano es la arcilla, misma que se asentaba en el fondo del antiguo

lago. Este material tiene como principales propiedades el ser altamente compresible y, por añadidura, puede perder una gran cantidad de agua. Estas dos características hacen que la arcilla sea poco firme y ceda bajo un gran peso, justo lo que ocurre en la ciudad, donde por el peso de los edificios provoque hundimientos parciales, principalmente en la zona oriente de la ciudad. A este fenómeno se le conoce como subsidencia. Uno de los efectos que más puede impactar sobre la viabilidad de la ciudad es que debido a ello se provocan las fracturas en la red del agua potable y de la misma forma, en la red de drenaje<sup>64</sup>, lo cual provoca, de una u otra forma, no sólo la pérdida de agua en dicha red, sino que asimismo propicia la contaminación de los acuíferos por la infiltración de contaminantes. Ya desde una fecha tan temprana como 1952, un equipo de ingenieros que laboraban para la Comisión Federal de Electricidad – los en aquel entonces jóvenes ingenieros Fernando Hiriart y Gerardo Cruickshank, entre otros, alertaban sobre el ya alarmante problema del hundimiento de la ciudad, debido al abatimiento de los acuíferos y en consecuencia, procedían a analizar las alternativas viables, entre ellas la de importar agua de las cuencas cercanas (Hiriart 1952: p.30). Después de analizar dichas alternativas, concluyeron que es más económico y menos complicado atender con prontitud las fugas de agua e instalar nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales, y recomendaban no continuar con la extracción indiscriminada de agua subterránea, so pena de crear un serio problema para la ciudad. Por supuesto, no fueron atendidas sus recomendaciones y el resultado se puede observar en el mapa de hundimientos<sup>65</sup>(Figura 2.4).

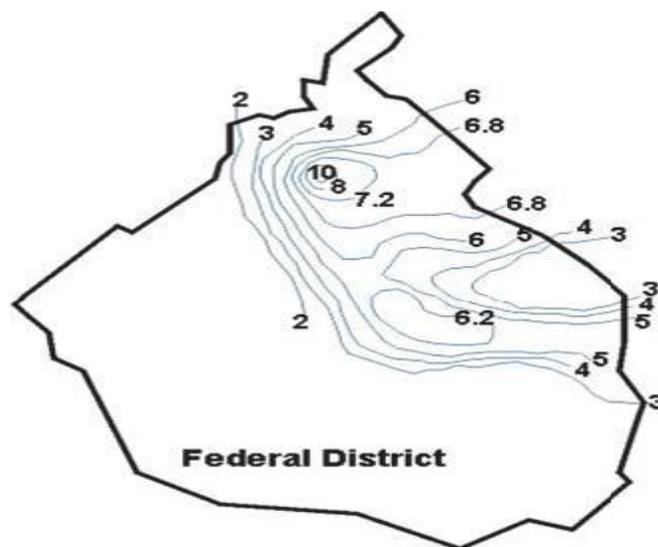


Figura 2.4. Mapa que muestra la subsidencia en la Ciudad de México en la actualidad. Los números indican el hundimiento en metros. (Tomado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1026-87742006000300001&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742006000300001&lng=en&nrm=iso). Accesado el 10 de agosto del 2010)

Otro de los problemas relacionados con la subsidencia es que la evacuación de las aguas de la Cuenca central se realiza por medio de la gravedad. Desde la apertura de los Tajos de Nochistongo, que fue el primero en el siglo XVII, y después el de Tequisquiac a principios del siglo XX, el agua se expulsaba a través de túneles que pasaban por debajo de las montañas, utilizando una pendiente de 18 cm./Km., desaguando en el Valle del Mezquital, en el Estado de Hidalgo, no solo en volúmenes cada vez mayores, sino también con grandes incrementos de los contaminantes disueltos. Esta zona, de naturaleza semiárida y de población paupérrima, con agricultura de subsistencia, decidieron utilizar este creciente aporte de agua para irrigar sus parcelas con resultados ambivalentes<sup>66</sup>. Sin embargo, a lo largo de las siguientes décadas, por el fenómeno anteriormente descrito (el colapso de los acuíferos y la subsidencia)<sup>67</sup>, la pérdida de la pendiente hace que la evacuación de las aguas residuales sea cada vez menos eficiente (Figura 2.5).

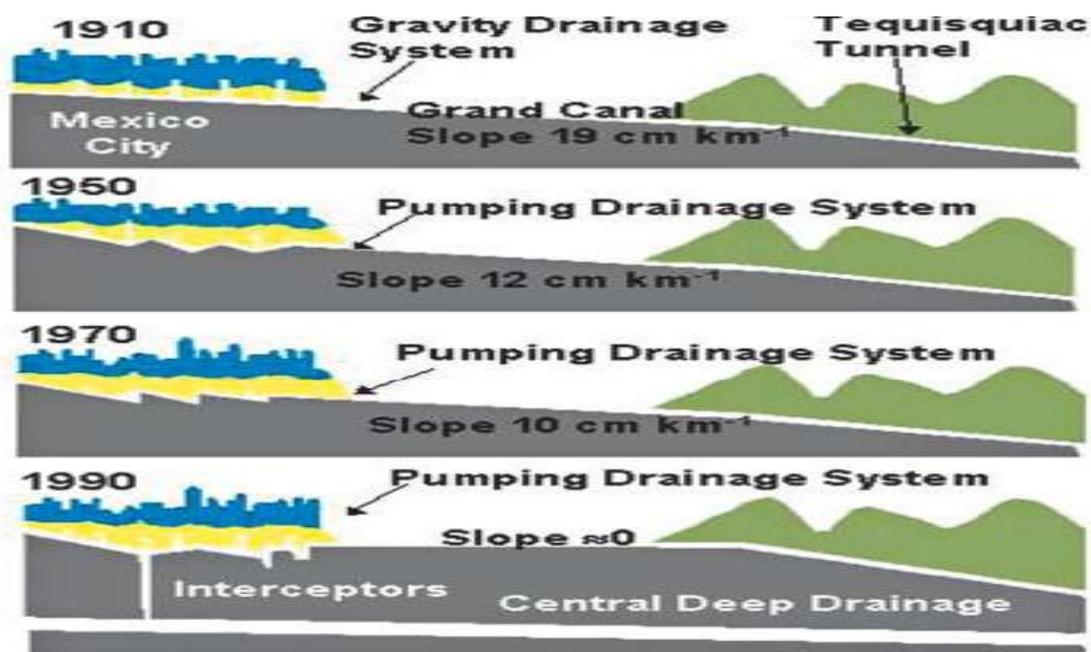


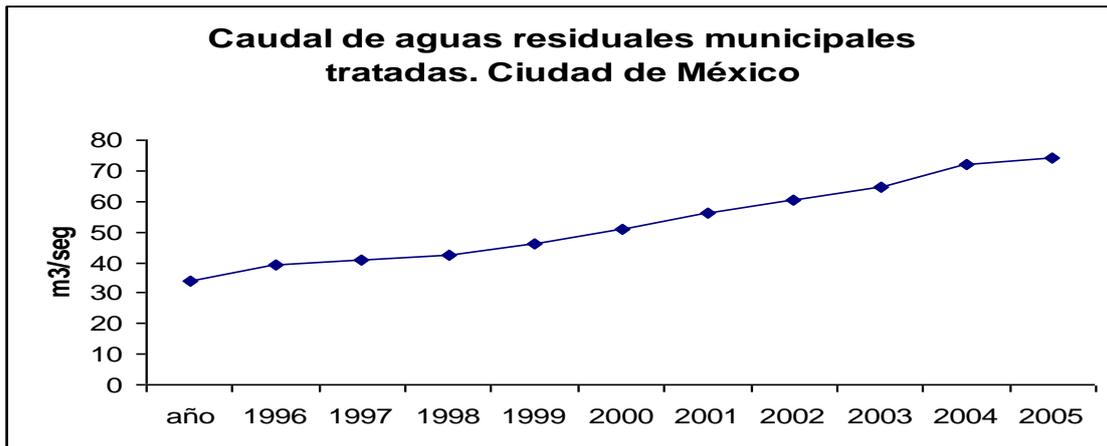
Figura 2.5. Pérdida de la pendiente en el sistema de drenaje de la zona metropolitana de la ciudad de México (Tomado de <http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.atl.org.mx/aguadf/images/abasto/inicio/acuifero>. Accesado el 10 de agosto del 2010)

Ya para los años 40's y 50's del siglo XX, las inundaciones con aguas negras y pluviales se fueron no sólo haciendo cada vez más frecuentes sino también más prolongadas y severas, por lo que la necesidad de realizar una nueva obra de ingeniería se hizo patente. Dicha obra, que se cristalizó pocas décadas después, es conocida como "el drenaje profundo" y en su momento se pensó, al igual que cuando se abrió el sistema de Tequisquiac, que las inundaciones serían cosa del pasado<sup>68</sup>.

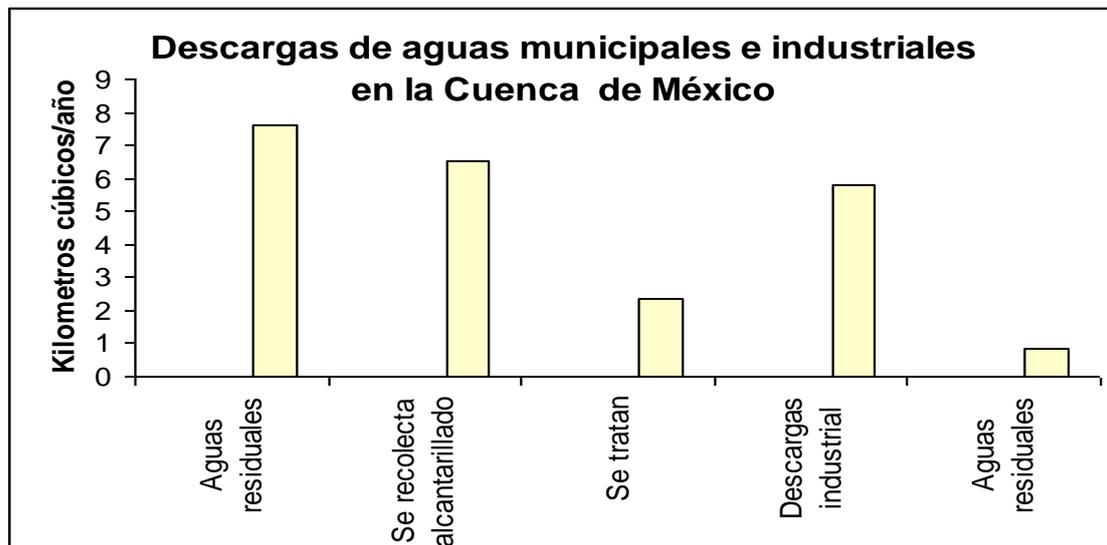
Sin embargo, antes de que pasara un cuarto de siglo, este nuevo emisor de aguas residuales comenzó a su vez a verse afectado en su operatividad por diversos factores, con la consiguiente pérdida de eficiencia, y el problema de las inundaciones siguió siendo una amenaza para la ciudad<sup>69</sup>. Un ejemplo de lo anterior se pudo ver en junio del año 2000, cuando en la zona sur oriente de la cuenca, el descuido de la autoridad encargada, así como la pérdida de pendiente y el asolvamiento, se combinaron con un periodo de lluvias extremadamente intenso, lo que llevó al colapso del sistema de drenaje y produjo la rotura del río de La Compañía, provocando que éste se desbordara sobre una superficie de 80 hectáreas, afectando con ello a 1 200 hogares de los más depauperados de la ciudad y afectando en sus bienes y en su salud a cerca de 6000 personas. Los costos de dicha situación aún hoy son muy difíciles de calcular, pero la reparación de dicho canal costó 50 millones de pesos y el del saneamiento de la zona fue aún mucho mayor, por no hablar de los riesgos para la salud de las personas afectadas (CNDH 2001: p. 17). Para el año 2006 se advirtió que el proceso del hundimiento en esa misma zona se agudizaba (Aguilar Pérez 2006; Carreón 2006) y ya para el siguiente año se daba noticia del hundimiento generalizado en varias zonas de Chalco (Ortiz Zamora 2007) y del peligro inminente que eso significaba; sin embargo se ignoró dichos avisos, con la consecuencia de que ante las lluvias atípicas del 5 de febrero del 2010 se vuelve a fracturar el mismo canal, causando una inundación mayor.

#### **2.4.7. Las aguas residuales.**

En cuanto a las aguas residuales que se producen en la cuenca central, tenemos, por su origen, que pueden ser municipales (es decir, domésticas, como aguas negras y aguas grises) y de origen industrial (metalmecánica, alimentos, manufactura, etc). Las aguas residuales municipales (CNA 2007: p. 98) alcanzan el volumen de 7.63 km<sup>3</sup>/año, a las cuales se les debe de añadir los 5.77 km<sup>3</sup>/año de aguas residuales de origen industrial, los cuales dan un gran total de 13.40 km<sup>3</sup>/año. Esta masa de agua representa en sí un serio desafío para su manejo y sobre todo su desalojo, ya que por el fenómeno del hundimiento del subsuelo de la ciudad de México los canales por donde se vierte el agua para desalojarla, a través de los tajos de Nochistongo, Tequixquiac, Gran Canal del Desagüe y principalmente el Emisor central, han perdido su pendiente<sup>70</sup>. Ante la expectativa de crecimiento poblacional que se mencionó líneas arriba, es de esperarse que el volumen total de aguas residuales se incremente a su vez, elevando los costos para su desalojo.



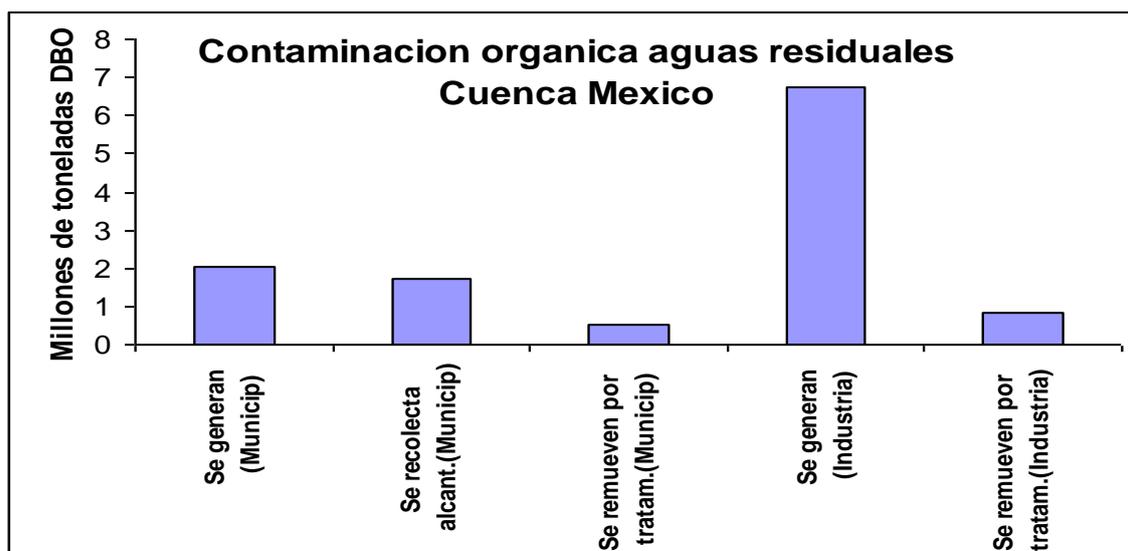
Gráfica 2.12.. Caudal de aguas residuales municipales tratadas.Ciudad de México. Estadísticas del agua en México.. Disponibilidad natural media per capita por región hidrológica administrativas. Solo comprende la región XIII. CNA 2007 p.30



Gráfica 2.13. Descargas de aguas municipales e industriales en la Cuenca de México. Estadísticas del agua en México.. Disponibilidad natural media per capita por región hidrológica administrativas. Solo comprende la región XIII. CNA 2007 p. 98

Otro problema bastante serio es el de la contaminación orgánica que se encuentra diluida en las aguas residuales, la cual es estimada a través de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y de la demanda química de oxígeno (DQO). Si bien las aguas residuales domésticas producen una gran cantidad de materia orgánica (hasta del orden de 2.06 millones de toneladas de DBO al año) es, en comparación, un valor muy modesto contra la DBO que genera la industria a través de sus aguas de desecho-- la industria de los alimentos, como la nixtamalera y los lácteos son importantes fuentes

de DBO, mismos que alcanzan los 6.74 millones de toneladas de DBO —dando la paradoja de que si bien las industrias vierten volúmenes menores de aguas residuales que aquellas de origen doméstico, aun cuando la concentración de contaminantes en el primer caso alcanzan los 260 mg/L, mientras que para el segundo caso llegan a los 1168 mg/L. Sin embargo, es importante hacer notar que en las décadas recientes se han incorporado nuevos contaminantes (ver Anexo 6, recuadro VIII. Los nuevos contaminantes emergentes)



Gráfica 2.14 Contaminación orgánica de las aguas residuales en la Cuenca central de México (como toneladas de DBO anual) Estadísticas del agua en México. Solo comprende la región XIII CNA. 2007. p.98

Esta gran masa de materia orgánica diluida no solo representa una seria amenaza de salud para los habitantes de la cuenca por la gran cantidad de sustancias peligrosas (tóxicos potencialmente cancerígenos); sino también por la gran cantidad de patógenos—algunos tan peligrosos como *Salmonella* y *Shigella*, los cuales son los agentes causales de la fiebre tifoidea y de la disentería bacteriana—como de parásitos—los quistes de *Entamoeba histolytica* y los huevecillos de *Áscaris lumbricoides* se encuentran bien representados aquí—principalmente entre los niños<sup>71</sup>. Las innumerables fracturas en los albañales y otros conductos de aguas negras provocan que por el hundimiento del subsuelo se favorezca la movilización de estos agentes hacia los mantos freáticos, amenazando con contaminar la gran reserva de agua potable. Es esta la razón por la cual se impone como prioridad principal, junto con el desalojo, es la depuración de los contaminantes diluidos en el agua residual<sup>72</sup>.

Si bien dentro de la cuenca existe un buen sistema de alcantarillado, que recoge el 85.19% de las aguas residuales, lo cual representa un porcentaje elevado, en comparación con otras regiones de la república, el nivel de tratamiento se ha

caracterizado por iniciarse tardíamente, cuando en 1956 se inaugura la primera Planta de Tratamiento de Aguas residuales (PTAR), con el objeto de mantener el nivel de los lagos de Chapultepec, así como el riego de las áreas verdes. Poco después le siguió, en rápida sucesión, la PTAR de Ciudad Deportiva (1957) y la PTAR DE Coyoacan. A partir de los años 70's se instala el tratamiento biológico, así como una ampliación en la capacidad instalada, la cual les permite, en la última década incrementar su capacidad de tratamiento en un 220.77%. Para el año 2006, se tenían 27 plantas PTAR dependientes de la Comisión de Aguas del Gobierno del Distrito Federal, con una capacidad instalada<sup>73</sup> de 0.4 m<sup>3</sup>/s

Esto provee, para el sector agrícola de 1.40 km<sup>3</sup> /año de agua tratada de regadío, mientras que para el servicio público se utiliza en parques y jardines 0.194 km<sup>3</sup>/año así como en el llenado de los lagos de Chapultepec, San Juan de Aragón, Xochimilco, Texcoco y Tezozomoc<sup>74</sup> liberando para consumo humano 1.594 km<sup>3</sup>/año de agua potable que de otra forma hubieran tenido un uso distinto.

De forma sumaria, se puede uno dar cuenta que los recursos hídricos de la Cuenca central, conforme pasa el tiempo, se encuentran más presionados<sup>75</sup>, proporcionando agua de menor calidad a costos directos cada vez mas elevados, mientras que los costos indirectos (representados por el hundimiento del subsuelo y daños a la infraestructura urbana) se van incrementando. De forma semejante, la generación de aguas residuales va en aumento, lo cual representa asimismo en un gasto cada vez mayor para desalojarlo. Del análisis anterior salta a la vista que es imprescindible disminuir el consumo de agua potable para usos no domésticos (tales como riego de áreas verdes, agrícola e industrial) y sustituirlo por aguas residuales tratadas. Sin embargo, el volumen total de aguas tratadas es de 1.637 km<sup>3</sup>/año, el cual es mínimo si se compara contra 13.40 km<sup>3</sup>/año del total de las aguas residuales, es decir, solo se trata el aproximadamente el 9%. Dado que el uso de este tipo de aguas puede significar un riesgo para la salud de los habitantes de una de las zonas mas densamente pobladas del globo, así como un riesgo de infiltración a los acuíferos, se hace imprescindible una evaluación de los métodos de depuración de las aguas residuales, tomando no solo los parámetros de materia depurada sino también los costos asociados, de forma que se pueda sugerir un método adecuado a las condiciones prevalecientes en la cuenca



## CAPITULO 3

### Abordaje metodológico

#### 3.1.- Definición de método, sistemas y esquemas.

Como en este capítulo y en el siguiente se pasa a describir primero y a evaluar después los diferentes formas de tratamiento del agua residual, es importante hacer las distinciones pertinentes. Así pues, se procede a señalar que por método se tiene, (Morles 2002; p. 4) ” ***una acepción amplia, donde por método se entiende como la aplicación de un sistema de razonamiento para abordar y solucionar un problema complejo, mientras que de la misma forma, se puede entender, en la acepción estrecha, como un sistema procedimental para seguir de forma canónica un determinado fin.***” Para el presente caso, las definiciones que proporciona Morles son, las que definen, para los propósitos del presente trabajo, ambas caras de este término<sup>1</sup>. Así pues, para el primer caso, Morles distingue una acepción amplia la cual sería:

“ Cuando se trata de problemas prácticos y complejos, pero con soluciones conocidas, como es el caso de los problemas políticos o económicos, ellos son resueltos por las personas o entes involucrados en ellos mediante decisiones o acciones específicas y los recursos disponibles”( página 6)

La comunidad de técnicos y científicos que abordan el tratamiento de las aguas residuales, por lo general no parecen discriminar entre ninguna de estas dos distinciones. De tal manera que refieren como método a la parte procedimental (por ejemplo en “Los Métodos Estandarizados para el análisis de Aguas residuales”, de uso generalizado y tomado a su vez del “Standard Methods in wastewater analysis” de la American Public Health association. A la vez, refieren también a los métodos aerobios y anaerobios, por ejemplo. Para evitar confusiones, tomaremos el abordaje que en el ámbito nacional propone el equipo del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (Moeller, G y Escalante E. 2005: p. 3) donde si bien siguen reconociendo como métodos de depuración aquellos donde se presentan los procesos unitarios biológicos aerobios anaerobios (véase anexo 1) prefieren denominar mas bien como “**sistemas**”<sup>2</sup> las formas específicas donde se aplica un proceso unitario, quedando este bajo el término “**esquema**” (que sería a su vez la parte genérica) Lo anterior significa, por ejemplo, que una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) es un sistema

de Lodos activados bajo el esquema aerobio (el cual otros autores utilizan el término "método aerobio).

### **3.2. Evaluación de los sistemas de depuración. Perfil general**

Para llevar a cabo este propósito se procede a organizarlo de la siguiente manera:

#### **A) Generar el marco conceptual de evaluación**

#### **B) Búsqueda y acumulación de información.**

##### **3.2.1 Generar el marco conceptual de evaluación. Descripción.**

Para evaluar un sistema tecnocientífico, es importante recuperar la articulación de los procesos naturales, procesos sociales y por último, los procesos de producción, tal como se señalo en el primer capítulo. Para tal efecto se tomó la propuesta de Olive, el cual señala que en la evaluación de la ciencia y la tecnología esta puede ser interna y externa. La evaluación interna está insertada dentro de la racionalidad de medios y fines, con nociones tales de factibilidad, fiabilidad y eficiencia, mientras que la evaluación externa se relaciona con el contexto social y cultural (Olive 2000: p. 97-98) es decir, desde una perspectiva social amplia, se valora la deseabilidad y la oportunidad de las innovaciones y el desarrollo tecnológico, es decir, desde la óptica del contexto externo, tales como el costo social y ambiental (Op cit: p. 99). Siguiendo esta propuesta, se procede a valorar estos sistemas desde la perspectiva interna (es decir, desde la factibilidad técnico-económica) para finalmente abrir la discusión a una valoración mas amplia. Para aterrizar este tipo de evaluación se construyó el siguiente armazón:

- a).- **Establecer los criterios correspondientes** sobre los ejes de ciencia, tecnología y sociedad que se consideran importantes para valorar la efectividad de los esquemas propuestos
- b).- **Elaborar los indicadores** mediante los cuales se procederán a comparar los diferentes esquemas
- c).- **Establecer los sistemas de depuración** de las aguas residuales que se han aplicado para las aguas residuales de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México,
- d).- **Elaborar el listado de casos** donde se hayan aplicado los diferentes métodos de depuración del agua residual.

### 3.2.2 Búsqueda y acumulación de información. Descripción

a).- **Caracterizar** que es el agua residual en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

b).- **Realizar una búsqueda sistemática en las fuentes de información científica y tecnológica en las bases de datos** (ISI y OVID ). Criterio para distinguir un documento científico de un documento técnico. (Para distinguir entre documentos científicos y tecnológicos, ver Anexo 6, tablas IX y X respectivamente)

c).- **En base a los criterios e indicadores elegidos, concentrar la información y analizarla.**

d).- **Características de los métodos de depuración**

### 3.3 Generar el marco conceptual de evaluación. Criterios e indicadores.

#### 3.3.1.- Criterios para la valoración de los métodos de depuración de las aguas residuales.

Como ya se había señalado con anterioridad, la Cuenca<sup>3</sup> Central de México—conocido coloquialmente como Valle—presenta no solo de forma aguda el problema de contaminación y desabasto del agua; es por ello que en el presente capítulo nos abocaremos a analizar las ventajas y desventajas de cada uno de estos sistemas, con el propósito de poder comparar dichos sistemas y que pueda ser la base de una propuesta para abocarnos a la problemática hídrica de esta región de México, para lo cual necesitamos construir un criterio que guíe nuestro propósito y en consecuencia podamos generar elementos en común con los que podamos comparar procesos tan heterogéneos y que en un medio tan disímulo como es el agua residual, además del incremento de la población tiende a presentar poca homogeneidad

Varios autores señalan que deben de buscarse criterios para evaluar estos sistemas, por ejemplo Suárez de Aquiz indica que para ello se debe de tener claro el abordaje ambiental—en su caso, sostenible—para después elaborar los criterios (2005: p. 24); otro por su parte (Gómez 2005: p. 83) insiste que además de los criterios <sup>4</sup> técnico-económicos se deben de agregar los socio ambientales. En base a esta información, procedemos a elegir y caracterizar los siguientes criterios:

**Criterios técnicos:**..Estos se refieren a las cuestiones de diseño, operación y continuidad de mecanismos de depuración a partir de las tecnologías ya conocidas o la apropiación como innovaciones de los descubrimientos científicos del área. Se deben de elaborar parámetros de aplicabilidad a partir de las situaciones locales (Op. Cit: p. 83)

**Criterios ambientales.** El uso y el destino de los efluentes de los diferentes tratamientos tendrá consecuencias sobre el lugar de su disposición, ya sea sobre el suelo o los cuerpos de agua de manera directa o bien, de forma indirecta, sobre las cadenas tróficas. Lo anterior es importante ya que el tratamiento de las aguas residuales separa parte de los contaminantes, pero otros (por lo general los más recalcitrantes—muchos de ellos tóxicos—se incorporan a la red trófica y presentar consecuencias en cascada. (Gómez, Op cit: p. 84)

**Criterio normativo.** Las aguas residuales son parte del recurso hídrico, que por precepto constitucional pertenece a la nación, a través del artículo 27 y de la Ley General de Aguas Nacionales, así como de los reglamentos y normas que de ella deriven

**Criterio Costo.** No por ser el último en ser considerado es por ello el menos importante. De hecho, es el que da la pauta sobre la aplicación de algún tipo de tratamiento. Por regla general, en estos se consideran, a *grosso modo* como costos de inversión, costos de operación y de mantenimiento. Por lo general se encuentran expresados como el costo monetario por unidad depurada.

En base a lo anterior, aquí se propone considerar los siguientes **criterios**:

Tabla 3.1. Criterios e indicadores relacionados.

TIPO CRITERIO	Características que debe de tener el indicador.
<b>Criterio ambiental</b>	El indicador seleccionará cual es el efecto sobre la eutricación de los cuerpos de agua; los niveles de toxicidad en los seres vivos en términos de balance de masas, su impacto en el ambiente
<b>Criterio científico</b>	El indicador deberá, de forma explícita o implícita, en aquellas investigaciones que puedan ser valoradas por una comunidad de pares y que pueden ser replicadas en publicaciones indexadas.
<b>Criterio normativo</b>	El indicador deberá convertirse o tener equivalentes en la normatividad legal ; en este caso las normas Oficiales Mexicanas
<b>Criterio tecnológico</b>	El indicador deberá dar una valoración de cómo se transforma el medio a partir de documentos tecnológicos
<b>Criterio costo</b>	El indicador deberá o mostrara el costo que tiene el proceso. (como Inversión , así como Operación y Mantenimiento.

**CRITERIO AMBIENTAL.** Valorar la carga orgánica como indicador de recursos importantes para los procesos biológicos. En la cuenca donde se asienta la zona metropolitana de la ciudad de México las aguas residuales se ven como un problema, mientras que se ve de otra forma en el valle del Mezquital, donde no solo el aporte de grandes volúmenes de líquido sino también de los nutrientes que en ella vienen contenidas son importantes para una actividad agrícola bastante importante, donde la producción por hectárea de cultivos como maíz y alfalfa se encuentran por encima de

la media nacional<sup>5</sup>. Es por ello que se presenta la propuesta de contemplar como indicador ambiental el concepto de **carga orgánica**. Este se define como la cantidad de masa orgánica que lleva cierto volumen en una unidad de tiempo dado.

**CRITERIOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS.** Valorar como indicador la depuración la carga orgánica. Para valorar este punto, el presente trabajo se adscribe al abordaje que se ha utilizado en la evaluación de las tecnologías<sup>6</sup>. Es por esta razón que muchos de los resultados se muestran como porcentajes de eficiencia de remoción, aún cuando la depuración de volúmenes de agua sea muy pequeña y la cantidad de contaminantes removidos sea en extremo reducido. Por lo anterior, con vistas a un futuro escalamiento (de modelo experimental a planta piloto y posteriormente a prototipo, para terminar a escala industrial), el cálculo de la **carga orgánica** se presenta como la opción más razonable.

**CRITERIO NORMATIVO.** Las Normas Oficiales Mexicanas como eje normativo y sus indicadores como *per se*

Al ser estas normas de aplicación obligatoria en todo el territorio nacional deben ser también elementos esclarecedores sobre la pertinencia de los tratamientos propuestos<sup>7</sup>.

**CRITERIO COSTO.** Valorar como indicador el costo (en pesos corrientes base 2002) entre la masa depurada, tanto en el rubro de inversión como el de operación y mantenimiento.

Si bien los trabajos consultados sobre los costos asociados en las plantas de depuración<sup>8</sup> siempre se hace referencia al costo entre unidad de volumen<sup>9</sup>, tiene el problema de que no informa sobre el grado de depuración que tiene el agua; es decir, no nos señala que tanto se invirtió por contaminante separado del vital líquido

### **3.3.2. Considerar la cuenca central y el valle del Mezquital son una misma unidad hidrográfica.**

Aquí es importante señalar<sup>10</sup> que la cuenca central de México y el Valle del Mezquital son ahora un mismo sistema hidrográfico (gracias a los trabajos de desagüe que se hicieron desde la época colonial y que cristalizaron a lo largo del siglo XX), los usos que se le dan a dichas aguas son diferentes tal como apreciamos en la siguiente tabla. Es por ello que la CNA tiene el criterio de comprender en la región XIII "Valle de México" tanto a la cuenca central "subregión 1", mientras que para el Valle del Mezquital corresponde a "la subregión 2"

Tabla 3.2 Características de la Región XIII de la CNA “Valle de México” con respecto a sus principales parámetros.

Elementos	Región Cuenca Central de México—Valle del Mezquital	
	Cuenca central de México.	Valle del Mezquital.
Agua residual (cruda y tratada)	El agua residual no tiene ninguna utilidad; su evacuación genera gastos. El agua tratada se utiliza para regar ...áreas verdes, llenado de lagos recreativos y para uso industrial	El agua residual tiene un uso agrícola extensivo en una región que tiene déficit de agua. Se riegan 110 000 hectáreas (60-80 del valle), con 50 000 usuarios de agua. La continua transferencia de agua residual al Valle ha llevado a una recarga a los acuíferos, con el evidente riesgo de que se contaminen estos recursos (Tortajada 2006)
Materia orgánica	No se utiliza. Cuando la materia orgánica se depura, se estima que la producción de lodo en México es de 734 toneladas de lodos diarias.( Chávez 1996), las cuales son un problema difícil de manejar, por lo que generalmente se opta por vaciarlos de nueva cuenta al drenaje	La materia orgánica que aporta la evacuación de aguas residuales de la ZMCM es de 27 634 toneladas de Nitrógeno amoniacal; 7 209.129 toneladas de fósforo (Mijailova 1996: p.124), lo cual significa 5 toneladas de grano/hectárea, con un valor de \$41 038 387.00 M.N. (Jiménez 1995: p. 1775)
Metales pesados	El cromo, plomo, cadmio, zinc, entre otros, son generados por la industria y son muy tóxicos. Son eliminados por el drenaje <sup>11</sup> , ya que por ejemplo el cromo hexavalente, que es en extremo tóxico puede alcanzar la concentración de 3 g/L, lo cual es en extremo elevado y el cadmio de 0.6 g/L	Junto con el agua y los nutrientes estos elementos tóxicos se incorporan a los suelos y los cultivos, así como son una amenaza para los acuíferos; sin embargo, a la fecha hay poca evidencia de daño <sup>12</sup> .
Coliformes (totales y fecales)	Generan enfermedades tan graves como la fiebre tifoidea o la disentería bacterias así como intoxicaciones	Si bien estos organismos son elementos de riesgo, conforme el agua se va alejando de donde surge el efluente, hay un proceso de depuración en el río que va eliminando a estos organismos.
Huevos y quistes <sup>13</sup>	Patógenos que causan diversas enfermedades graves, tales como la Disentería amibiana	Aplica lo mismo.

En consecuencia, se deben de valorar los sistemas de tratamiento conforme los diferentes destinos que van a tener sus aguas

### 3.3.3. Elaboración de indicadores.

Del análisis del cuadro anterior es importante valorar el destino y uso del agua residual tratada, con la finalidad de tener la certeza de proporcionar el volumen y la calidad de efluente requerido. Lo anterior significa pues que tenemos que buscar unos **indicadores** que nos permitan evaluar los métodos propuestos en concordancia con la situación particular de la Cuenca Central de México. Es por ello que parece pertinente recuperar lo que se entiende como indicador hidrológico desde la perspectiva ambiental que se vive en la región latinoamericana (Winograd 1994: p. 12)

“Un indicador se basa en una definición conceptual y una operacional. La primera define el término o variable con todos sus significados y la segunda implica el conjunto de procedimientos que

describen y permiten evaluar las actividades que demuestran la existencia y tendencia del concepto teórico”

Desde una perspectiva hidrológica ambiental, (Salomón 2008: p. 74) consideran que:

“Los indicadores constituyen una de las formas de evaluación del recurso hídrico y tienen la capacidad de mostrar en términos sencillos las relaciones e interrelaciones complejas existentes entre los diferentes elementos del ambiente, la sociedad y la economía (...) su definición se basa en la disponibilidad y registro de datos que permitirán diagnosticar cual es el estado de la zona analizado tomando como elementos del análisis principales a las unidades hidrológicas”

Teniendo claridad con lo anterior, podemos abordar las características que debe de tener los indicadores requeridos.

Tabla 3.3. Indicadores propuestos.

<b>Indicador</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Fundamento</b>	<b>Autores que lo han usado</b>
<b>Carga Orgánica</b>	BvDQO	Kg./m <sup>3</sup> día	Tecnológica Ecológica Científica	Indica cuanta materia orgánica se ha depurado por proceso unitario	Monroy O. 2000; Winkler, 1996; Tchonobanoglous 2005; Crites 1998
<b>Índice de bio degradabilidad del agua residual</b>	DBO/DQO	S/U	Ecológica tecnológica	Indica que tan biodegradable es el agua residual.	American Public Health Associations/ American Water Works/ Water Environmental
<b>Huevos de helmintos<sup>14</sup></b>	(huevos helmintos)	HH/L	Normativa		NOM-001-ECOL-1996  NOM-003 ECOL 1997; NOM-004 ECOL 2001;.
<b>Pesos constantes/volumen depurado</b>		\$/m <sup>3</sup> agua depurada	Económica tecnológica	Indica cual es el costo (en pesos constantes) que ha costado depurar ese volumen .	
<b>Pesos constantes/ masa depurada.</b>		\$/Kg. de materia depurada	Económica tecnológica	Indica cual es el costo (en pesos constantes) que ha costado retirar la masa contaminantes.	

Tabla 3.4. Calculo de los parámetros mas relevantes para valorar los indicadores

<b>Calculo de los principales parámetros en la depuración de aguas residuales</b>				
NOMBRE	SIMBOLO	UNIDADES	FORMULA	Autor
Flujo	Q	m <sup>3</sup> /día	Q= V/t	Critenden 2005: p. 376 Crites 2000: p. 368
Tiempo de Retención hidráulica	TRH	Día	TRH= V/Q	Crites 2000: p. 121
Carga de Demanda Química de Oxígeno	BvDQO	Kg DQO/m <sup>3</sup> día	BvDQO= [mgDQO/l]/ TRH	Crites 2000: p. 404
Costo del agua tratada	\$/m <sup>3</sup>	\$(pesos constantes)/m <sup>3</sup>	Costo= Costo (MyO)/Q <sub>mensual</sub> mensual	Palmer 1994: pp. 88-89
Costo de la materia orgánica depurada	\$/kg DQO <sub>depurado</sub>	\$/Kg. DQO <sub>depurado</sub>	Costo= Costo (MyO)/ Kg. DQO <sub>depurado</sub> mensual	No se ha encontrado
Ahorro mensual generado por no descargar directamente las aguas residuales según lo dispuesto por el artículo 282-A de la Ley Federal de Derechos.	\$/m <sup>3</sup>	\$ constantes/m <sup>3</sup>	Ahorro = Q * Cuota	

Para los costos (tanto Inversión como Mantenimiento y Operación) del agua residual se tomaran dos estrategias para su cálculo.

- i) El autor aporta el dato. En este apartado el autor especifica cual fue el costo de Inversión, así como el de Mantenimiento y Operación para el periodo de estudio, procediéndose en consecuencia a capturar el dato para su posterior análisis.
- ii) El autor no aporta el dato. Si ese fuera el caso, se aplica la Ecuación de Williams para el cálculo del orden de magnitud (García 2005: p. 120) , la cual se describe de la siguiente forma:

$$Ca/Cb = (Pa/Pb)^{0.66} \text{ donde:}$$

Ca= Costo estimado A

Cb= Costo b

Pa = Producción planta A

Pb = Producción planta b

Para la valoración económica (tanto para los costos de inversión, mantenimiento y operación) a partir de los esquemas depurativos mexicanos, se utilizaron los cálculos propuestos por Sámano y Noyola, (modificados y citados por Fuentes )

Tabla 3.5. Costos de los diferentes esquemas depurativos, originalmente elaborado por José Sabino Sámano; Adalberto Noyola "Análisis del costo de inversión y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales para poblaciones pequeñas. Revista Federalismo y Desarrollo. Año 9. Abril-Mayo- Junio 1996 y modificado por (Fuentes 2001; p.71)

Lodos activados. Aereación extendida.			
Caudal (m <sup>3</sup> /día)	Costo Inversion (miles \$)	Operac. y Mant. (\$ mensuales)	Costo Unidad (\$/m <sup>3</sup> )
160	487	9983	6.75
480	1203	20613	5.28
800	1845	27128	4.68
1 600	3223	53808	4.20
2 400	4602	70317	4.08

Discos biológicos (Biodiscos)			
Caudal (m <sup>3</sup> /día)	Costo invers.	Operación manteni_	Costo Unidad
160	706	9478	8.76
480	1929	18800	7.47
800	3100	28384	7.14
1 600	6014	53565	6.89
2 400	8833	77368	6.72

Biofiltros percoladores aerobios (Biofiltros aerobios)			
Caudal (m <sup>3</sup> /día)	Costo invers.	Operación manteni_	Costo Unidad
160	501	8063	6.49
480	1009	15494	4.31
800	1452	22926	3.75
1 600	2705	42786	3.48
2 400	3823	61894	3.31

UASB.			
Caudal (m <sup>3</sup> /día)	Costo invers.	Operación manteni_	Costo Unidad
160	234	8587	4.04
480	457	18046	2.71
800	640	27377	2.37
1 600	1164	52155	2.20
2 400	1551	76339	2.06

Para el caso que estudiamos, se sustituye Pa y Pb por el gasto del efluente (m<sup>3</sup>/s) de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Para realizar la actualización de la moneda a pesos constantes 2002 (Base 100) mediante la siguiente ecuación

$$C_x = C_k (I_x/I_k) \text{ donde:}$$

$C_x$  = Costo desconocido

$C_k$  = Costo conocido

$I_x$  = Valor conocido del Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) para el año x

$I_k$  = Valor conocido del INPC para el año K.

Los índices que se utilizaron aquí son los índices de precios al consumidor (IPC) para el cálculo en pesos constantes 2002 (Base 100) los cuales son publicados por el Banco de México y descargados en agosto del 2009 en la dirección <http://www.banxico.org.mx/politica-monetaria-e-inflacion/estadisticas/inflacion/indices-precios.html> en formato EXCELL 2007

#### **NOTA IMPORTANTE:**

Es importante hacer notar que los autores no siempre fueron muy precisos en la fecha exacta cuando cotizaron sus sistemas de depuración; mas aún, tampoco existe siempre la seguridad de la fecha en que registran su aportación sea también el año donde llevaron a cabo su trabajo (es decir, no era raro que existiese un desfase temporal) En el presente trabajo siempre se trató de ser lo mas preciso, pero sin embargo, existe de origen una imprecisión que no fue posible subsanar.

Para el calculo de la biodegradabilidad:

Tabla 3.6. Valores de biodegradabilidad de las aguas residuales. Ramírez Luna

Menos de 50	Rápidamente biodegradable
25 a 50	Moderadamente biodegradable
10 a 25	Ligeramente biodegradable

### **3.4.- Búsqueda y acumulación de información**

#### **3.4.1.- Características del agua residual.**

Desde los orígenes mismos de la vida en sociedad hasta la actualidad, se ha producido una gran cantidad de desechos y de detritos, muchos de los cuales se vertían de forma libre en el ambiente, principalmente en los cuerpos de agua cercanos<sup>15</sup>. Sin embargo, desde la conformación de los centros urbanos primero y de forma más profunda, desde la revolución industrial, las aguas de desecho han ocupado cada vez más un lugar central en la problemática no solo ambiental, sino también social. Quizás esta sea la razón por la cual desde finales del siglo XIX y durante todo el siglo XX se ha tratado de entender no solo su origen, sino también su

composición, con la finalidad de lograr las mejores formas de neutralizar y disponer dichos compuestos de forma higiénica y segura. Es por eso que desde hace pocas décadas se ha tratado de elaborar inventarios de contaminantes en este tipo de aguas, a pesar de la gran heterogeneidad que presenta; para evitar hacer un listado muy prolijo de las sustancias contaminantes, procederemos a clasificarlas, a grandes rasgos, en materia orgánica y materia inorgánica.

Tabla 3.7. Composición general de las aguas residuales y sus valores promedio

Nombre del Parámetro	U N I D A D E S	S I M B O L O	Valores Promedio							
			EUA Crites y Tchonobanoglous 1998		España Hernández Muñoz 1990	Valle de México				
			Doméstico	Industrial	Urbano	Nochistongo Jiménez 1998	Gran Canal Mijaylova Nacheva et al. 1996	Emisor Central Mijaylov Nacheva et al. 1996	Albarra Murillo 2004 Y González Lorenzo 2001	Rodríguez V. 1996
Demanda Química de oxígeno	mg/L	DQO	500		150-110	262	228	275	211	587
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	DBO	210	460-1100	100 -450	N.D.			60	245
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SST	210	7500 a	100-600	185	110	154	130	159
Sólidos suspendidos volátiles	mg/L	SSV	160	270 a	60-450	76	72	105	95	95
Nitrógeno amoniacal	mg/L	N-NH <sub>3</sub>	22	2.25	7-50	29.43	23	20		20 (com
Fósforo org.	mg/L	PO <sup>-2</sup> <sub>4</sub>	2	1.5 A 7.4	0.46	1.6	7	6	2.9	9
Coliformes totales	NMP /100 ml		10 <sup>7</sup> a 10 <sup>8</sup>			N.D.	1.5X10 <sup>8</sup>	3.4X10 <sup>8</sup>		
Coliformes fecales	NMP /100 ml		10 <sup>4</sup> a10 <sup>5</sup>						28	
Huevos de helmintos <sup>16</sup>	HH/L						41	44	0	

Las sustancias que aparecen en la primera categoría se caracterizan por tener un origen biótico (principalmente ser desechos fisiológicos tanto de personas como de animales) así como de materia originada en las industrias de alimentación, lixiviados de desechos orgánicos sólidos, etc. Algunas de estas sustancias son fácilmente degradables, sin embargo, no es difícil ubicar sustancias de origen orgánico pero recalitrantes a la degradación (como es el caso de aquellos compuestos que se

encuentran en insecticidas, colorantes, desechos de la industria farmacéutica<sup>17</sup>, etc). Para la segunda categoría, predominan aquellas sustancias donde los metales y los plásticos<sup>18</sup>, así como fragmentos cerámicos y de la construcción. Formando una categoría aparte y que desde el punto de vista de vista sanitario, muy importante, están los microorganismos, muchos de ellos patógenos peligrosos como *Salmonella sp* y *Shigella sp*, así como los huevos y quistes de parásitos que en la actualidad son un flagelo en muchas regiones de la república mexicana<sup>19</sup>.

De manera general, las aguas residuales en la mayor parte del mundo se pueden considerar como aguas de origen doméstico (algunos autores lo refieren también como municipales), mientras que las aguas que provienen de las actividades productivas (ya sea de las industrias de extracción como de transformación son conocidas como aguas residuales industriales). Como ya anteriormente se había revisado, las aguas residuales de origen doméstico arrastran un volumen mucho mayor que las aguas residuales provenientes de la industria, sin embargo, la carga de contaminantes de estas últimas es mucho mayor, representando un valor que significa en la mayoría de las ocasiones, un múltiplo de 5 a 10 veces mayor.

Tabla 3.8. Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la Ciudad de México. (Gómez Morales 2006: p. 70)

PTAR	Capacidad instalada	Capacidad tratamiento	Tipo tratamiento	Observaciones	Uso
Santa Fe	560	280	terciario	DGCOH	riego
Rosario	25	20	terciario	DGCOH	riego
CU	60	50	secundario	Concesión	riego
Coyoacan	400	137.5	secundario	concesión	riego
Tlatelolco	22	6.17	secundario	DGCOH	riego
Acueducto Guadalupe	87	53.46	secundario	concesión	comercio, industria, riego
San Juan Aragón	500	133.50	secundario	DGCOH	lago, bosque
Ciudad Deportiva	230	57.72	secundario	concesión	industria, comercio áreas
Iztacalco	13	10	terciario	DGCOH	riego
Cerro Estrella	4000	1197	terciario	DGCOH	lago canal, riego
Bosques de las lomas	55	15	secundario	DGCOH	Riego
Chapultepec	160	42.28	secundario	DGCOH	riego
Campo militar	30	20	secundario	SEDENA	riego
San Pedro Actopan	60	35	primario	N.D	. riego
Milpa Alta rastro	30	25	secundario	DGCOH	N.D

San Lorenzo	225	80	terciario	nd	riego
San Andrés Mixquic	30	20	primario	nd	riego
La Lupita	15	14	terciario	DGCOH r	riego
San Nicolás Tetelco	15	3	secundario	DGCOH	riego
Abasolo (Tlalpan)	15	7	secundario	DGCOH	riego
Heroico Colegio Militar	30	25	secundario	SEDENA	riego
Parres	7.5	1.0	secundario	DGCOH	riego
PEMEX Picacho	13	5.57	secundario	DGCOH	riego
San Miguel Xicalco	8	4	secundario	DGCOH	riego.
Tetelco	15	3	primario	N.D	N.D
San Luis Tlaxiatemalco	150	21.41	terciario	DGCOH	riego
Reclusorio sur	30	4.67	secundario	DGCOH	riego
Total de PTAR 27	6 785.50	2 271.78			

Si tomamos en cuenta los estudios de Crites sobre la cantidad de contaminantes que puede aportar un habitante ciudadano, podemos ver (con algunas reservas) la carga orgánica diaria que se genera por día en el valle de México, con una población de 24 millones de personas para el 2010.

Tabla 3.9 Prospectiva para el 2010 en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Elaboración propia a partir de (Crites y Tchonobanoglous 2000) de Ward 2005

<b>Constituyente</b>	<b>Valor habitante incluyendo restos de cocina (g/hab. día) (Crites y Tchonobanoglous)</b>	<b>Carga orgánica generado por la población del Valle de México<sup>20</sup></b>
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	100	2 400 Ton./día
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	220	5 280 Ton./día
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	110	2 640 Ton./día
Nitrógeno amoniacal (N-NH <sub>3</sub> )	8.4	197.76 Ton./día
Fósforo orgánico (PO <sup>-2</sup> <sub>4</sub> )	1.3	31.2 Ton./día

Elaboración propia a partir de (Crites y Tchonobanoglous 2000) y de Ward 2005

### 3.4.2.- Búsqueda sistemática en las bases de Datos

Para la búsqueda sistemática de la información básica se utilizaron principalmente las bases de datos, así como las visitas a las diferentes bibliotecas que manejan en mayor o menor rango los temas del agua

a) Búsqueda en el International Science Index (ISI) y en el Biological Abstracts. (Wolters Kluwer: <http://ovidsp.tx.ovid.com>-Ovid formulario de búsquedas. Para realizar la búsqueda se realizó utilizando las palabras **wastewater** y **treated water** y **Mexico** (sin acento). Posteriormente se realizó la depuración de las referencias ofrecidas (por ejemplo, de aquellas que tenían información “Nuevo Mexico” o “Gulf” “Mexico”

b) Búsqueda en tesis. Las tesis se mostraron como un veneno muy rico en información que no siempre es apreciada. Para ello se busco las siguientes bases de datos

I.- Bases de Tesis del Instituto Politécnico Nacional (Dirección electrónica <http://www.etcchwebsite.com/ipn.mx/ProQuestSciencesJournals.htm>) Acceso libre

II.- Bases de Datos de la UNAM (Dirección electrónica <http://bidi.unam.mx/>, accesible desde la red UNAM.

III.- Bases de Datos de las tesis de la UAM-Iztapalapa (Dirección electrónica <http://tesiuami.izt.uam.mx/uam/default2.php>) accesible en la red UAM

c) Otras fuentes de datos. Goggle académico (Dirección electrónica <http://scholar.google.com.mx/schhp?hl=es>) Acceso libre.

Tabla 3.10 Elementos para clasificar los documentos obtenidos

CRITERIOS PARA CLASIFICAR LOS MATERIALES	
<b>Actividad experimental</b>	Es aquella donde a partir de un modelo derivado de una teoría que pretende explicar un fragmento de la realidad se genera una predicción (llamada hipótesis) la cual se somete a prueba (generalmente en condiciones controladas) a una de sus variables, con su correspondiente análisis estadístico para valorar su nivel de significancia. Si la predicción resulta acertada, se procede a ponerla a consideración (vía publicación indexada o bien, como tesis de grado) para ser sometida a la crítica de los pares.
<b>Estado del arte</b>	Es la revisión actualizada sobre un tema en específico, refiriendo no solo los contenidos disciplinarios sino que debe de incluir las herramientas metodológicas, la dirección y los propósitos que se pueden derivar de esta propuesta, de tal forma que pueda ser una generación del conocimiento. Comprende no solo una búsqueda de información sino principalmente una etapa hermenéutica donde una perspectiva nueva se le da significado, de forma integrada a dicho conocimiento
<b>Diseño</b>	Diseño. Plan ó esquema de una estructura o un proceso. Esta pone en práctica principios científico para crear productos útiles (...) Esta parte de un problema o necesidad humana básica (...) Para efectuar su trabajo, la ingeniería de diseño no solamente tiene que apoyarse en las matemáticas, física, química y otras ciencias, sino también tiene que tomar muchas decisiones basadas en una gama rápidamente creciente de nuevas tecnología. (Maloney 1992: p. 685)
<b>Prototipo</b>	Forma temprana y original. Modelo a escala comparada de una estructura o pieza de equipo; se utiliza en la evaluación de forma, diseño, ajustes y desempeño. Para ingeniería sanitaria el prototipo es un modelo que corresponde a un sistema, el cual es simulado como un objeto, mediante la entrada de cierta información que se procesa y se presenta en forma adecuada para emplearse; de tal forma que un modelo físico a escala reducida representa un objeto real o prototipo, tal como un fenómeno, una estructura o una maquina que cumple con ciertas condiciones matemáticas definidas. (Londoño 2004: p. 34)
<b>Escalamiento.</b>	Autoajuste periódico o continuo de un sistema para lograr resultados óptimos. Forma de búsqueda en la que se toma la vía de ascenso mas rápido hacia el objetivo en cada paso. (Anónimo 1992; p.1145)
<b>Tecnológico</b>	Comprende las tecnologías del equipo, del proceso, del producto y de las operaciones. Necesita integrar los conocimientos científicos y empíricos de lo que se quiere hacer, información técnica externa, perfiles de la factibilidad técnico económica, las ingenierías básicas y al detalle, el diseño y manufactura del equipo, el cumplimiento de las normas, la protección de la propiedad industrial, las negociaciones contractuales, la capacitación técnica permanente, el cumplimiento de las normas y controles y por último, el arranque de la planta. (Naranjo, 2004: p. 239)

<b>Informe técnico y económico</b>	Se identifican los objetivos y se sientan los criterios de evaluación . En la parte <u>técnica</u> se procede a aportar los datos, que son fundamentales i) Datos bibliográficos; ii) Resultados del laboratorio; iii) Resultados planta piloto; iv) Resultados en plantas similares (si los hubiese). En la parte económica se genera la siguiente información:: i) Estimación de la inversión; ii) Estimación del capital circulante; iii) Costos operativos; iv) Ventas; v) Rentabilidad. (García 2005: pp. 91-100)
------------------------------------	--

(Para la distinción entre documento científico y documento tecnológico ver el anexo 6 recuadros IX y X)

### 3.4.3.- Características de los métodos de depuración

#### 3.4.3.1 Principios básicos de la depuración de las aguas residuales. (Ver anexo 1)

1.1.- Conceptos básicos del tratamiento de aguas residuales.

1.1.1.- Operaciones y procesos unitarios.

1.1.2.- Energía y trabajo.

1.1.3.- Bioenergética (metabolismo)

#### 3.4.3.2 .- Esquemas de depuración generales. (Ver anexo 2)

2.1.- Métodos de depuración.

2.1.2.-. Métodos de depuración física y química.

2.2.1.- Métodos de depuración biológica.

#### 3.4.3.3.- Esquemas de depuración biológicas. Esquema aerobio. (Ver anexo 3)

3.1.- Depuración aerobia. . Perfil general

3.2.- Fangos activados. Descripción del proceso

3.2.1 Reactores de lodos activados.

3.2.2.- Lagunas aerobias

3.2.3.- . Biopelículas

3.2.4.- . Biofiltros

3.2.5.- . Sistemas biológicos rotativos de contacto (biodiscos)

## AEROBIA

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS.</b>
<p>En la actualidad es el esquema mas socorrido por la extensión y facilidad de conseguir maquinaria e insumos.</p> <p>Su eficiencia es bastante buena y puede depurar cantidades importantes de agua residual. Asimismo existe un aparato matemático muy preciso para predecir parámetros tales como cosecha de lodos, depuración del agua. Por otro lado, el trabajo de Mijailova et al (2006) encontró que existe una remoción de huevos de los parásitos <i>Toxocara e Hymenoleptis</i> mas eficiente con respecto a la depuración anaerobia.</p>	<p>Consumo una gran cantidad de electricidad (sistema de bombeo de evacuación de aguas, oxigenación del agua, purga y dragado de lodos, entre otros). Produce una gran cantidad de lodos, los cuales son de difícil disposición. Para el caso de los estanques de estabilización de Mexicaltzingo, en el Estado de México, un equipo británico de la Universidad de Surrey (Loyd 2003: p. 3) que si bien los diseños de dichos estanques son adecuados para depurar agua muy contaminada, sin embargo, el lodo producido por el proceso y que no se retiró oportunamente provocó que dichos estanques perdieran capacidad operativa, disminuyendo su tiempo de retención hidráulica y por lo tanto, disminuye también</p>

	su capacidad de depuración. En cuanto a la remoción de huevos de los parásitos Trichura, (Mijailova 2006) este método se muestra en clara desventaja.
--	---

### 3.4.3.4.- Esquemas de depuración anaerobia y anóxica. (Ver anexo 4)

- 4.1.- Depuración por métodos anaerobios. Perfil general
- 4.1.1.- Reactores anaerobios. Cámara Imhoff.
- 4.1.2.- Reactor de Mezcla completa.
- 4.1.3.- Reactor UASB
- 4.1.5.- Reactor EGSB.

## ANAEROBIA

VENTAJAS	DESVENTAJAS.
Puede recibir agua residual con cargas orgánicas muy altas que pueden colapsar a un sistema aerobio. No producen lodos, por lo que ahorra energía; de hecho, si existe un buen manejo, puede inclusive generar energía a partir de la producción de biogás (metano) con alta eficiencia energética. Rodríguez Martínez (2002) en la Universidad de Coahuila encontró que la producción de biogás fue de 343 a 349 ml CH <sub>4</sub> /gramo de DQO removido; sin embargo, la reducción de los sulfatos a ácido sulfhídrico inhibe la metanogénesis, ya que las bacterias sulforeductoras compiten con las metanógenas por el H <sub>2</sub> libre.	Es muy lento este sistema para arrancar, ya que puede pasar varios meses. Si no se tiene un inóculo, se debe de comprar (en dólares) Los consorcios bacterianos se encuentran en un equilibrio dinámico muy delicado, por lo que la desestabilización puede dar al traste al proceso. Cantidades minúsculas de oxígeno pueden matar al consorcio bacteriano que depura el agua residual. La presencia de bacterias metilotróficas (comedoras de metano) reduce la eficiencia de la producción del biogás (Large 1983); asimismo puede haber bacterias metanogénicas que en presencia de azufre puedan ser consumidoras de metano; si ingresan a un reactor anaerobio colorantes tipo azo, estos al degradarse forman compuestos intermediarios los cuales son altamente

## ANOXICA

VENTAJAS	DESVENTAJAS.
Un problema que en común tienen los esquemas aerobios y anaerobios es que son incapaces de eliminar el nitrógeno, mientras que este sistema puede eliminarlo en forma de gases (como N <sub>2</sub> O y N <sub>2</sub> )	Al igual que en el caso de los esquemas anaerobios, los consorcios bacterianos anóxicos pueden ser muy sensibles a los cambios bruscos de parámetros y desestabilizarse.

### 3.4.3.5.- Esquemas de depuración por humedales y filtración del suelo. (Ver anexo 5)

- 5.1.- Depuración por humedales artificiales. Perfil general
- 5.1.1.- Humedales artificiales de flujo superficial

### 5.1.2.-Humedales artificiales de flujo subsuperficial.

#### 5.2.1.- Depuración por suelo. Perfil General.

## HUMEDALES

VENTAJAS	DESVENTAJAS.
<p>Los contaminantes (como el Nitrógeno y el Fósforo) que en los medios acuáticos generan eutricación) son incorporados directamente al tejido vegetal de las plantas acuáticas. Al retirarse periódicamente la biomasa vegetal se retira, de forma económica y sin tecnología avanzada ni personal calificado, materia orgánica muy costosa de depurar. Asimismo capturan de la misma forma los metales pesados, además de secuestrar CO<sub>2</sub> de la atmósfera y proporcionar un hábitat a especies silvestres, (Arcos 2002, p 1a), así como el retiro de metales pesados (Rodríguez Mosso.2003, p.12) además de ser mas económico en cuanto a uso de la energía (Odum 2001, p 13)</p>	<p>Los humedales requieren un sistema previo de tratamiento ya que de no hacerlo pueden colapsarse. Asimismo, las plantas pueden ser infectadas o parasitadas, morir por heladas. Los humedales de flujo superficial pueden ser viveros de crianza para moscos y otros organismos vectores de enfermedades; los humedales subsuperficiales después de un tiempo de uso, comienzan a exportar hacia el efluente la materia orgánica que se encontraba en su sustrato (es decir, exportan materia orgánica a los cuerpos de agua. En el caso de los humedales subsuperficiales el poro del suelo se ocluye, impidiendo la libre circulación del agua, nutrientes y oxígeno (Sullivan, 2006, p. 132).)</p>

## FILTRACION AL SUELO.

VENTAJAS	DESVENTAJAS.
<p>El suelo es un medio complejo donde en un corto espacio se dan una gran cantidad de operaciones y procesos unitarios, lo cual proporciona que la depuración del agua sea eficiente con un gasto muy económico. De la misma forma, proporciona liquido y nutrientes a las plantas, así como existe una recarga a los acuíferos. De hecho, se puede proporcionar volúmenes apropiados de agua tratada (9.4 l/s) para irrigar los cultivos vitivinícolas en el Valle de Ensenada, (Ramírez 2002: p. 181) proporcionando 1.5 veces mas nitrógeno y 40 veces mas fósforo, incrementando la productividad. Sin embargo, se debe de tomar con reserva la afirmación de que los nutrientes nitrogenados enriquecen los suelos, ya que se ha encontrado que en terrenos del Valle del Mezquital regado desde 1912 hasta 1997 no existe una mineralización del nitrógeno apreciable, ya que esta se mantuvo baja. Asimismo, las características del suelo no parecen haber sido afectadas por el riego con aguas residuales a lo largo de tantas décadas, sin embargo, se ha verificado que la oxidación del NO<sub>2</sub> se encuentra inhibida, por lo que es posible que la función biológica del suelo se encuentre dañada. La flora bacteriana del suelo cuando se encuentra en contacto con sustancias tóxicas puede desarrollar un aparato enzimático que puede degradar compuestos recalcitrantes y tóxicos. De esta manera (Marron 2006: p. 1527) encontraron que las bacterias de suelos agrícolas como <i>Pseudomonas putida</i> y <i>Klebsiella</i> son capaces de mineralizar el ácido 2-4 clorofenoxiacético. Si se aplica el agua tratada de una laguna (anaerobia+ aerobia) (Al Jamal 2002: pp. 57-59)) a un área dedicada al cultivo de Eucalipto, se obtiene en 3 años árboles de 8.7 metros de altura.</p>	<p>El suelo no puede ejercer su depuración con altas cargas hidráulicas y con una excesiva carga orgánica, ya que los poros del suelo se colmatan. De la misma forma, se pueden incorporar al suelo y a las plantas no solo metales pesados y sustancias orgánicas recalcitrantes (como las sustancias órgano cloradas) tóxicas, y por ende, a la cadena alimenticia—y probablemente consumidas por los humanos—así como se pueden percolar hacia los acuíferos una gran cantidad de contaminantes así como bacterias. Estos últimos se han encontrado en los acuíferos del centro y sur de la Ciudad de México, lugar donde ocurre una alta mortandad por enfermedades gastrointestinales (278 entre 100 000) por consumo de agua contaminada. Si bien siempre se da por hecho que el suelo es un filtrador natural y por eso mismo, es capaz de filtrar el agua mientras los poros retienen a los microbios. Sin embargo, lo anterior no ocurre en el distrito de Riego de Tula, ya que Gallegos (1999) encontraron que se encontraban hasta 46 000 coliformes fecales a 7.5 metros de profundidad; para el caso de Actopan, es aún mas preocupante porque inclusive hasta a una profundidad de 50 metros se encuentran 40 coliformes. Para el caso de los acuíferos del Valle del Mezquital, todos ellos se encontraron polucionados. Caso típico es el acuífero de Cerro Colorado, donde se han encontrado (abril 1996) 72 400 coliformes totales /100 ml de muestra, por lo que se concluye que la irrigación con aguas residuales tiene un efecto negativo sobre la calidad de los mantos acuíferos.</p>

## ZOOREMEDIACION

VENTAJAS	DESVENTAJAS.
<p>Utilizando a la microfauna de las aguas eutrificadas, pueden alimentarse tanto de las bacterias (entre ellas las coliformes) así como las microalgas que absorben los nutrientes de las aguas. En consecuencia, eliminan de la misma forma materia orgánica del agua de una forma muy económica sin perjuicio del ambiente y sin el uso de mano de obra calificada. Puede aplicarse en los modernos sistemas de tratamiento de aguas residuales por medio de lodos activados (Nandini 2005: pp. 133-141)</p>	<p>Muy difícil de aplicar a nivel industrial, ya que la conglomeración de organismos de la misma especie en un medio séptico provoca la aparición de epidemias que en cuestión de poco tiempo elimina a la mayoría de los organismos.</p>

### 3.5 Evaluación de los sistemas.

**3.5.1.- Evaluación interna de la tecnología.** Para este apartado se utilizarán los criterios aportados por Seguí Amórtegui, el cual refiere que *“La evaluación de un proyecto tiene la finalidad, una vez comparadas y seleccionadas las alternativas técnico-económicas, elegir a la más eficiente, para satisfacer una necesidad específica. La evaluación de proyectos busca presentar un ordenamiento de preferencias entre las distintas alternativas, a través de un método de evaluación específico. Su objetivo es establecer un orden de preferencias entre las opciones técnico económicas, desde la óptima hasta las que se descartan”* (Seguí 1996: p. 6)

**3.5.2.- Evaluación externa de la tecnología.** Para este apartado siguiendo a Olivé incorporaremos el eje social e histórico, pretendiendo con ello articularlo con los ejes naturales y el tecnocientífico, con la finalidad de valorarlo desde la praxis, es decir, como actividad práctica concreta, objetiva y subjetiva, para construir el conocimiento a partir de dicha interacción (Olivé 2004: p. 102 y subsiguientes). De esta forma, siguiendo a Quintanilla (1988: p.30) el abordaje de análisis y evaluación de la tecnología es *“ (...) de su función y su valor para controlar la realidad de acuerdo con los deseos humanos”*, lo cual deriva en la articulación de la sociedad con la tecnología, lo cual lleva a *“ (...) la evaluación externa de la tecnología adquiere una dimensión ineludiblemente política (Op. cit.: p 120) así como el esclarecimiento racional de las opciones tecnológicas posibles”* (el subray

## **CAPITULO 4.**

### **Resultados y análisis**

#### **4.1 Resultados obtenidos**

##### **4.1.1 Casos estudiados**

#### **4.2 Análisis.**

##### **4.2.1 Comparación de los diferentes sistemas depuradores**

###### **4.2.1.1 Por volumen de agua depurada**

###### **4.2.1.2 Por cantidad de materia orgánica depurada**

###### **4.2.1.3 Subproductos generados por los sistemas de depuración**

###### **4.2.1.4 Costos de Inversión, Mantenimiento y Operación de los sistemas de depuración**

## 4.1 Resultados obtenidos

### 4.1.1. Casos estudiados.

SISTEMA (1)	Primer Autor (2)	Título (3)	Fuente (4)	Carácter (5)	Año (6)	Volumen planta m <sup>3</sup> (7)	Flujo m <sup>3</sup> /día (8)	Bv DQO Depurad kg DQO/m <sup>3</sup> día (9)	BvDBO Depurado Kg DBO/m <sup>3</sup> día (10)	BvDQO Retirado al mes Kg. DQO/m <sup>3</sup> día	Lodo Generado Kg./día (12)	CH4 Prod. m <sup>3</sup> /día (13)	Volumen Depurad m <sup>3</sup> /día (14)
Lodos activ.	Frias Figueroa EPCCA	Evaluación del tren del proceso de tratamiento de aguas residuales del sistema regional Toluca- Lerma	Maestría en Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería	Documental- experimental	1983	5036	60.48	1.275		2345.49	2100		22075.2
Lodos activados aereación extendida	Seguí Amortegui	Metodología para la evaluación de proyectos de inversión en sistemas de tratamiento de aguas residuales	Maestría en Ingeniería en Sistemas de operaciones (Finanzas) Facultad de Ingeniería UNAM	Factibilidad económica-técnica	1996					0			0
Lodos activados aereación extendida	Castellanos Rosas María Cristina	Funciones administrativas aplicadas a la ejecución de una planta de tratamiento de aguas residuales (procesos aerobios)	Tesis profesional (Ingeniero Químico.) Facultad de Química. UNAM.	técnico- administrativo	1997	14450	1988.2	0.653	0.411	39489.7941	649.1473		725693
Lodos activados	Manrique y Asociados. No	Diagnostico de la calidad del agua	DGCOH	Informe técnico	2003		648	1.277312	0.77574194	25175.8195	413.849088		236520

aeración extendida	contrato 9-07-co-04-1-0783 Planta Abasolo.	1999.											
<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b>(3)</b>	<b>(4)</b>	<b>(5)</b>	<b>(6)</b>	<b>(7)</b>	<b>(8)</b>	<b>(9)</b>	<b>(10)</b>	<b>(11)</b>	<b>(12)</b>	<b>(13)</b>	<b>(14)</b>
Lodos activados aeración extendida	Manrique y Asociados. Planta Actopan.	Diagnostico de la calidad del agua 1999	DGCOH	Informe técnico	2003		5184	1.371683849		216287.109	3555.40454		1892160
Lodos activados aeración extendida	Manrique y Asociados. Planta Acued. Guadal.	Diagnostico de la calidad del agua 1999.	DGCOH	Informe técnico	2003		5961.6	2.752827586	1.73828571	499175.732	8205.62847		2175984
Lodos activados aeración extendida	Manrique y AsociadosPlanta Bosque de las lomas	Diagnostico de la calidad del agua 1999.	DGCOH	Informe técnico	2003		4752	1.743056769	1.05650655	251941.425	4141.50288		1734480
Lodos activados aeración extendida	Manrique y Asociados. Planta Cerro de la Estrella.	Diagnostico de la calidad del agua 1999.	DGCOH	Informe técnico	2003	6018.32	259200	0.871528384	0.52427948	6871129.78	112950.079		94608000
Lodos activados aeración extendida	Manrique y Asociados. Chapultepec.	Diagnostico de la calidad del agua 1999. .	DGCOH	Informe técnico	2003	2767.5	10627.2	1.743056769	1.05620087	563432.642	9261.90645		3878928
Lodos activados aeración extendida	Manrique y Asociados. Planta Ciudad Deportiva.	Diagnostico de la calidad del agua 1999.	DGCOH	Informe técnico	2003		6912	0.79832	0.48226	167838.797	2758.99392		2522880
Lodos activados aeración extendida	Manrique y Asociados. Planta Coyoacan.	Diagnostico de la calidad del agua 1999.	DGCOH	Informe técnico	2003		34560	1.919038462	1.44771084	2017293.23	33160.9846		12614400
Lodos activados aeración extendida	Manrique y Asociados. Planta. Iztacalco.	Diagnostico de la calidad del agua 1999.	DGCOH	Informe técnico	2003		864	2.404578313		63192.3181	1038.77783		315360

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Lodos activados aereación extendida	Manrique y Asociados. Planta La lupita.	Diagnostico de la calidad del agua 1999.	DGCOH	Informe técnico	2003		2592	2.134545455	0.47964	168287.564	2766.37091		946080
Lodos activados aereación extendida	Manrique y Asociados. Planta El Rosario.	Diagnostico de la calidad del agua 1999.	DGCOH	Informe técnico	2003		2073.6	2.404578313	1.45680723	151661.563	2493.0668		756864
Lodos activados aereación extendida	Manrique y Asociados. Planta Pemex.	Diagnostico de la calidad del agua 1999.	DGCOH	Informe técnico	2003		1728	2.752827586	1.45680723	144688.618	2378.44303		630720
Lodos activados aereación extendida	Manrique y Asociados. Planta Reclusorio Sur.	Diagnostico de la calidad del agua 1999.	DGCOH	Informe técnico	2003		1123.2	2.134545455	1.45680723	72924.6109	1198.76073		409968
Lodos activados aereación extendida	Manrique y Asociados. Planta Mixquic.	Diagnostico de la calidad del agua 1999.	DGCOH	Informe técnico	2003		2592	1.184451039	1.45680723	93382.1199	1535.04855		946080
Lodos activados aereación extendida	Manrique y Asociados. Planta San Juan de Aragon.	Diagnostico de la calidad del agua 1999.	DGCOH	Informe técnico	2003		34560	4.809156627	1.45680723	5055385.45	83102.2265		12614400
Lodos activados aereación extendida	Manrique y Asociados. Planta Tlaxialtenanco	Diagnostico de la calidad del agua 1999.	DGCOH	Informe técnico	2003		9504	1.743056769	1.45680723	503882.851	8283.00576		3468960
Lodos activados aereación extendida	Manrique y Asociados. Planta Tlatelolco.	Diagnostico de la calidad del agua 1999.	DGCOH	Informe técnico	2003		1555	0.959519231	1.45680723	45383.2606	746.026202		567575
Lodos activados aereación extendida	Manrique y Asociados. Planta Xicalco.	Diagnostico de la calidad del agua 1999.	DGCOH	Informe técnico	2003		648	0.79832	1.45680723	15734.8872	258.65568		236520

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Lodos activados aereación extendida	Castellanos Rosas Maria Cristina	Aplicación a la ejecución de una planta	Facultad Química UNAM	Diseño	1997	14 450	1987.2	0.653	0.411	39469.932	648.8208		725328
Lodos activados aereación extendida	Flores Torres	Tratamiento anaerobio de aguas residuales municipales	Ingeniería Civil Facultad de Ingeniería UNAM		2001	740				0		0	
Lodos activados	Esquivel Martínez Maricela	Parámetros que influyen en el diseño de un sistema aerobio	Tesis de Maestría en Biotecnología, CBS UAM Iztapalapa	Diseño	2003	0.0036	0.048	0.589		0.85994	0.014136		17.52
Lodos activ.	Chargoy Vivaldo	Evaluación y propuestas de optimización de funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales de una instalación industrial IAL	(Lic.) Ingeniero Químico. Facultad de Química. UNAM	Diseño	2004	6515	11673.504	0.207	0.048	73499.2996	1208.20766		4260828.96
Lodos activ.	Vite Meraz	Evaluación de alternativas para el tratamiento de aguas residuales para fines de reuso						0.45		0	0		0
Lodos activ.	Albarran Murillo	Planta de Tratamiento de aguas residuales domésticas por el proceso de lodos activados "La Esperanza"	Lic en Ingeniería Civil Facultad de Ingeniería. UNAM	.	2004	455.625	2592		0.643	0	388.8		946080

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Lodos activ.	Suárez de Aquíz, G. Ricardo	Desarrollo de una metodología para la formulación y actualización de proyectos de tratamientos de aguas residuales municipales dentro del marco de desarrollo sustentable	Tesis de maestría (Maestro en Ing de sistemas. Ingeniería y admnon de proyectos	Técnico administrativo	2005	1368	17147		1.4109	0	2572.05		6258655
Lodos activ. Flujo piston	Benítez Prestado	Ingeniería básica y procura para la construcción de la planta de tratameinto de aguas residuales "Cabeza Olmeca" ubicada en el municipio de Boca del Rio, Veracruz.	Memoria de desempeño profesional para obtener título de ingeniero civil. FES-Acatlan	Técnico. Diseño	2006	3303.72	9936		0.539	0	1490.4		3626640
Lodos activ. Aireación extendida a contracorriente	Benítez Prestado	Ingeniería básica y procura para la	Memoria de desempeño	Técnico. Diseño	2006	9439.5	9936		0.27	0	1490.4		3626640
Lodos activ.	Cuevas Soto	Estudio del tratamiento de aguas residuales en hospitales de la ciudad de Uruapan, Michoacan, en el año 2005	(Lic) Escuela de Ingeniería Civil. Universidad Don Vasco A.C.	Técnico. Diseño	2006	66.3	57.9	0.02		35.2225	0.579		21133.5

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Lodos activ.	Ramírez Bautista	Actualización del sistema de tratamiento de aguas residuales de "San Juan Cosala" en Jocotepec, Jalisco.	(Lic.) Ingeniero Civil FES Acatlan	Tecnico. Diseño	2006	553.71	1123	0.51		17420.5375	286.365		2.19
Lodos activ.	Maqueda, M.A; Martínez, Sergio; Narvaez, D, Rodríguez R. Aguilera Ricardo, Herrera Victor.	Dynamical modelling of an activated sludge system of a petrochemical plant operating at high temperatures	<i>Water Science and Technology.</i> Vol. 53 No 11, pp. 135-142	Experimental	2006	0.0014	0.006	0.818		0.149285	0.002454		3.65
Lodos activ. SEQUENTIAL BATCH REACTOR (SBR)	Rosas Urbina Alcantara	Granulación aerobia por el tratamiento de aguas residuales municipales	Tesis Lic. Ing. Civil. Facultad de Ingeniería	experimental	2007	0.002	0.01	1.056		0.3212	0.00528		0.014965
Lodos activ. SEQUENTIAL BATCH REACTOR (SBR)	Buitron y Ortiz.	Biodegradation of phenolic compounds with a secuencing batch biofilter	52 ava Purdue Industrial waste conferencie Proceedings purdue univ. Wst Lafayette Inidana. USA. Paginas 262-267	Experimental	1997	0.0005	0.000041	3.348		0.00417524	6.8634E-05		159.6875
Lodos activ. SEQUENTIAL BATCH REACTOR (SBR)	Bermudez, C: Vite, G y Guitron G.	Degradación de comupuestos fenólicos por medio de un biofiltro discontinuo adicionado con	Memorias del primer simposio latinoamericano de tratamiento y reuso del agua y residuos industriales. 8-1	.Experimental	1998	0.007	0.4375	3.64		48.4385417	0.79625		

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Reactor Lecho movil	Orantes Avalos	carbon activado a 8-10 Reactor de lecho movil para tratar aguas residuales usando un nuevo material de soporte.	Maestría en Ingeniería (Ambiental) Facultad de Ingeniería.	2001		11.8	1.169		419.573583		6.8971		
Lagunas aerob	Monroy Hermosillo et al.	Anaerobia-aerobia tretmeant of chesse wastewater with national technology in México. The case of "El Sauz"	<i>Water Science and Technology</i> . No 32, No. 12, 149-156		1995			0.096		0	0		0
Lagunas aerob	Flores Farías	Aprovechamiento de aguas residuales tratadas por medio de lagunas de estabilizacion para uso agrícola en zonas áridas	(Lic.) Ingeniería civil. Facultad de Ingeniería.	Diseño	2001	11131.35	13226.97		0.086	0	0		4827844.05
Lagunas aerob	Flores Farías	Aprovechamiento de aguas residuales	(Lic.) Ingeniería civil. Facultad de Ingeniería.	Diseño	2001	123 179.33			0.007	0			0
Lagunas estab.	Escalante	Pond evaluation and upgrading in México.	<i>Water Science and Technology</i> . Vol 42 No. 10-11, p 43-50		2000			0.0602		0			0
Lagunas estab.	CNA				1998 (A)			0.014		0			0

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Lagunas estab.	CNA				1998 (B)			0.0024		0			0
Lagunas estab.	Londoño Rodríguez Wilson Texcoco (1)	Tratamiento de los lixiviados con procesos biológicos mediante el sistema de lagunas facultativas operadas con aguas residuales domésticas.	Maestría en Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería	Diseño modelo simulación	2004	0.24	0.061		0.018	0	0.00915		22.265
Lagunas estab.	Londoño Rodríguez Wilson Texcoco (2)	Tratamiento de los lixiviados con	Maestría en Ingeniería	Diseño modelo simulación	2004	0.24	0.061		0.027	0	0.00915		22.265
Biofiltro aerobio	Torres Castro Ana Patricia	Evaluación de la operación y eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales a base de filtros rociadores	Tesina Licenciatura. Ingeniería Bioquímica Industrial	Diseño	1986	14.6	2160	5.33	3.176	350181	6907.68		788400
Biofiltro aerobio	Gonzaález Martínez Simon, Duque Luciano, Javier	Aerobic submerged biofilm reactor for wastewater treatment	Water Research Vo. 26 No. 6 pp 823-833	Planta Piloto	1992	2.12	35.33		2.575	0	0		12895.45
Biofiltro aerobio	Castro Martínez Elsa, García Inocencio Ve'nica, Ponce Rojas	Tratamiento de aguas residuales de una industria textil	Tesina Licenciatura. Ingeniería Bioquímica Industrial	TECNICO ADMINISTRATIVO	1996		0.741	1.06		23.891075	0.471276		270.465
Biofiltro aerobio	Valdivia Soto Cruz Alberto	Filtración combinada en lechos de tezontle para el	Maestro en ingeniería. Facultad de Ingeniería	experimental	1998	0.195	54.576	0.518		859.89036	16.9622208		19920.24

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Biofiltro aerobio	Acevedo Flores	tratamiento de aguas residuales Diagnostico y tratamiento para la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Manzanillo, Colima, México.	(Lic) Ingenieria Civil. Facultad de Ingenieria UNAM	Revisión documental diseño	2001	1274.4	15292.8	2.436		1133120.02	22351.9565		5581872
Biofiltro aerobio	Millan Salazar	Filtración biológica aereada de agua residual en Lecho profundo.	Maestría en Ingeniería, Facultad de Ingeniería.	Factibilidad económica-técnica	2005	165	1			0		0	
Biofiltro aerobio	Martínez irineo	Implementación de un sistema de aguas residuales en la industria textil con un sistema de recuperación	Reporte de titulación por experiencia profesional (Lic.) Ingeniero Químico. FES-Zaragoza.	Factibilidad económica-técnica	2006	128	1099.2	2.918		97560.412		1924.47936	
Biofiltro aerobio	Quezada Cruz	Biodegradación aerobia de colorantes tipo azo	Tesis de maestría. Facultad de Ciencias.	Experimental	2000			1.4		0	0		0
Dique de Oxidación	Seguí Amortegui	Metodologgia para la	Maestria en Ingenieria en	Factibilidad economica-tecnica	1996					0	0		0
Dique de Oxidación	Benítez Prestado	Ingenieria básica y procura para la	Memoria de desempeño.	Informe tecnologico	2004	6292	9936		0.405	0	1490.4		3626640
Dique de Oxidación	Orozco Cabrera	Ingeniería de los sistemas de tratamiento de aguas residuales mediante zanjas de oxidación.	Ingeniería Civil. No dice que escuela	Diseño	2001	2296.7	3.97			0	0.5955		1449.05

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Dique de Oxidación	Moeller	Water Reuse in Apatlaco Basin	Water Science Technology	.	2004					0			0
Biodiscos	Moeller	Water Reuse in Apatlaco Basin	Water Science Technology	.	2004					0			0
Biodiscos	Maciel Luna	Tratamiento biológico de aguas residuales del procesamiento de campesuchitl. Estudio de factibilidad	Tesis profesional. Ingeniería química. Facultad de QUIMICA UNAM	Estudio tecnico-economico	1997			2.875		0			0
Biodiscos	Maciel Luna	Tratamiento biológico de	Tesis profesional.	Estudio tecnico-economico	1997			29.11		0			0
Biodiscos	Moeller	Water Reuse in Apatlaco Basin	Water Science Technology	.	2004					0			0
Lagunas anaerob	Monroy	Anaerobia-aerobia tretmeant of chesse wastewater with national technology in México. The case of "El Sauz"	<i>Water Science and Technology</i> . No 32, No. 12, 149-156	Factibilidad tecnico económica.	1995			0.142		0	0		0
Lagunas anaerob	Gutierrez Sarabia	Slaughterhouse Wastewater Treatment In a Full-scale System With Constructed Wetlands..	Water Environmental Research. Vol. 78 No. 4, pp 334-343		2004			0.06		0	0		0
Digestor Anaerobio	Seguí Amortegui	Metodologgia para la	Maestria en Ingeniería en	Factibilidad economica-tecnica	1996					0	0		0
Digestor anaerob.	Houbron	Liquefaction and methanization of solid and liquid	<i>Water Science Technology</i> . Vol. 48 No. 6,	Estado del arte.	2003				0.914	0	0		0

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
		coffee wastes by two phases anaerobic digestion process”	pp 255-262.										
Filtro Anaerobio	IPN (CELAYA) (Monroy Oscar, FamaGraciela, Meraz, Monica, Montoya, Leticia, Macarie, Hervé.	Anaerobic digestion for wastewater treatment in Mexico: state of technology	Water Research, Volúmen 34 No 6, páginas 1803-18	Estado del arte	1987	108	432	2.797		36752.58		0.92301	157680
Filtro Anaerobio	INIREB (Coatepec, ver) (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1988	250	22.8	0.436		302.366		0.14388	8322
Filtro Anaerobio	SEDENA NAYARIT (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1994	95	112	0.325		1107.16667		0.10725	40880
Filtro Anaerobio	CENIC (Cuba) Tepepan, D.F. (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1994	27	27	n.d		#¡VALOR!			9855
Filtro anaerobio	GTBA (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1994			0.78		0		0.2574	0
Filtro Anaerobio	Biotech. Beneficio Roma, Veracruz (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1996	400	57	1.575		2730.65625		0.51975	20805
Filtro anaerobio	Mijailova	”Anaerobic treatment of organic chemical wastewater using packed bed reactors”.	<i>Water Science and Technology</i> . Vol. 54 No. 10, 67-77.	Prototipo	2006			1.65		0		0.5445	0
Filtro anaerobio	Alvarez Estrada	Filtración combinada anaerobia para el tratamiento de	(LIC) Ingeniero Civil Facultad de Ingeniería	Experimental	2006	0.0371	0.904	1.242		34.15086		0.40986	329.96

		aguas residuales municipales.											
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
biofiltro anaerobio+ carbon activado	Nacheva y Bandala	Anaerobic treatmet	w.s.t.54, 10, pp 67-77	Experimental	2006		18.16		0			5.9928	
biofiltro anaerobio+ carbon activado	Nacheva y Bandala	Anaerobic treatmet	w.s.t.54, 10, pp 67-77	Experimental	2006		1.61		0			0.5313	
Filtro anaerobio	Gutierrez Macías	Tratameinto biológico avanzado de aguas residuales utilizando reactores con cinta de propileno.	Maestría en Ingeniería (ambiental) Facultad de Ingeniería. UNAM	Experiomentación	2009			2.91		0		0.9603	0
Filtro anaerobio	Martínez Irineo	Implementación de un sistema de	Reporte de titulación por	Tecnológico	2006		1099.2	0.6		20060.4		0.198	401208
Filtro anaerobio	Martínez Irineo	Implementación de un sistema de	Reporte de titulación por	Tecnológico	2006			2.918		0		0.96294	0
UASB	UAM-I DescontaminAcción. (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1989	56	56	0.28	0.28	476.933333		0.0924	20440
UASB	Sedue Tepeyauaco. Tlaxcala (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1990	2200	2592	0.539	0.542	42494.76		0.17787	946080
UASB	Nacional.Ingenio Puga Nayarit (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1991	75	2592	0.742		58499.28		0.24486	946080
UASB	IPN (Guanajuato (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1991	18	18	3.2		1752		1.056	6570
UASB	IPN (Molinx Guanajuato) (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research, Volúmen 34 No	Estado del arte	1991	18	18	2.716		1487.01		0.89628	6570

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
			6, páginas 1803-22										
UASB	IMASA (Puebla) (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1991	2400	3800	2.217		256248.25		0.73161	1387000
UASB	(Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1991	0.0065	0.0065	5.28		1.0439		1.7424	2.3725
UASB	Forza. Vitocrisa. Edomex. (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1992	4.25	17	1.281		662.38375		0.42273	6205
UASB	Energia y Ecologia. Centro Asturiano Morelos (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1992	21.6	87	1.5		3969.375		0.495	31755
UASB	Sedue. Fideicomiso Alto Rio Blanco. Ver. (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1992	16740	108000	2.4		7884000		0.792	39420000
UASB	IMASA (Cerv. Cuauh) Toluca (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1992	480	9072	6.128		1690960.32		2.02224	3311280
UASB	Energia y Ecologia (Barcel) (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1992	300	605	3.62		66615.5417		1.1946	220825
UASB	Paques (Cerv.Moctezuma tecate)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1992	700	3100	9.6		905200		3.168	1131500
UASB	Paques (Cerv.Moctezuma Guadalaj.) (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1992	925	5600	10.83		1844710		3.5739	2044000
UASB	Paques UNIPAC (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1992	190	650	9.9		195731.25		3.267	237250
UASB	UAM-I El Sauz, Cortazar Guanajuato (queso)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1992	4000	500	0.46		6995.83333		0.1518	182500

	(Monroy et al.)												
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
UASB	UAM-I La caperucita Queretaro (Quesos) (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1993	88.4	88	0.705		1887.05		0.23265	32120
UASB	FORZA San Isidro Morelos (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1993	85	260	4.657		36829.1083		1.53681	94900
UASB	Biothane Cervec. Modelo Sonora (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1993	1700	1800	6.332		346677		2.08956	657000
UASB	Biothane Cervec. Del tropico Tuxtepec Oax. (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1993	3000	3816	7.565		878069.55		2.49645	1392840
UASB	Biothane Cervec. Zacatecas. (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1993	5000	5016	5.839		890856.23		1.92687	1830840
UASB	Biothane IMEXA Puebla (Monroy et al.) (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1993	500	221	5.64		37912.55		1.8612	80665
UASB	Biothane Petrocel Tampico (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1993	2400	2018	7.125		437338.438		2.35125	736570
UASB	IMASA Cerv. Cuauht. Sonora (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1993	1816	5356	6.344		1033511.61		2.09352	1954940
UASB	PAQUES Cerv. Cuauht Monterrey (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1993	2850	13825	10.91		4587768.65		3.6003	5046125
UASB	Paques. Empaques Guadalajara (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1993	715	2200	9.688		648288.667		3.19704	803000
UASB	Forza. Acatipa Ver. (Monroy et al.) (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1993	130	519	1.65		26047.3125		0.5445	189435
UASB	Forza. Grupo Beta. Centro comercial	Anaerobic digestion for	Water Research,	Estado del arte	1993	14	47	1.275		1822.71875		0.42075	17155

	(Monroy et al.)	wastewater											
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
UASB	Forza Tlalpuente. EDOMEX (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1993	2.17	9	4.2		1149.75		1.386	3285
UASB	Energía y Ecología. Corporativo Santa Fe. Cd. Mex. (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1993	48.4	174	1.71		9050.175		0.5643	63510
UASB	Energía y Ecología. Huatecalco Morelos (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1993	105	420	1.5		19162.5		0.495	153300
UASB	Energía y Ecología. Hotel Quintas Morelos (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1993	25	86	1.836		4802.67		0.60588	31390
UASB	Energía y Ecología La Parota. Temico Morelos (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1993	87	346	1.5		15786.25		0.495	126290
UASB	Energía y Ecología. Ticuman, Morelos (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for	Water Research,	Estado del arte	1993	339	272	0.301		2490.27333		0.09933	99280
UASB	Paques Kimberly Clark Orizaba (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1993	1320	2200	12.97		867909.167		4.2801	803000
UASB	Energía y Ecología (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1993			0.56		0		0.1848	0
UASB	Energía y Ecología (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1993			1.71		0		0.5643	0
UASB	GTSA. U.H. San Jose Iturbide (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1994	ND	50		0.618	0		0	18250
UASB	GTBA NEPSA. D.F (Monroy et al.).	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1994	50	100	0.6		1825		0.198	36500

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
UASB	UH Militar Champoton Q.R. (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1994	43.2	86	0.34		889.383333		0.1122	31390
UASB	U.H. Militar (Q.R.) (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1994	43.2	86	0.328		857.993333		0.10824	31390
UASB	GTSA. U.H. San Jose Iturbide (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1994	100	200	0.75		4562.5		0.2475	73000
UASB	Energía y Ecología Rancho Sn Fc.Nvo Leon (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1994	191	140	2.99		12732.4167		0.9867	51100
UASB	Rodríguez Carmona	Control de operaciones de un reactor anaerobio que opera con excreta de cerdo en suspensión	Reporte investigacion UAM-IZTAPALAPA	1994		0.0065	5.28		1.0439			1.7424	
UASB	TACSA Liconsa Tlahuac (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1994	945	1210	2.695		99187.2292		0.88935	441650
UASB	Paques Jumex Tulpetlac (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1994	1450	4320	11.7		1537380		3.861	1576800
UASB	Energía y Ecología (Monroy et al.) (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1995	75	225	0.56		3832.5		0.1848	82125
UASB	Energía y Ecología (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1995	89.6	276	0.56		4701.2		0.1848	100740
UASB	Energía y Ecología (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1995	135.6	406	0.56		6915.53333		0.1848	148190
UASB	Energía y Ecología (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1996	21.32	49	0.49		730.304167		0.1617	17885

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
UASB	Energía y Ecología (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1996	20	80	0.84		2044		0.2772	29200
UASB	Energía y Ecología (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1996	97	290	0.63		5557.125		0.2079	105850
UASB	PROESA (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1996	200	572	0.728		12665.9867		0.24024	208780
UASB	Biothane. CPC Apaxco Querétaro (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1996	1100	2700	10.92		896805		3.6036	985500
UASB	IBTech Ricolino. San Luis Potosí (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1996	200	173	8.5		44727.7083		2.805	63145
UASB	Energía y Ecología (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1997	68	204	0.525		3257.625		0.17325	74460
UASB	IBTECH (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1997	350	1200	0.9405		34328.25		0.310365	438000
UASB	Maciel Luna Miguel Angel	Tratamiento biológico de aguas residuales del procesamiento de cempasuchitl. Estudio de factibilidad	Tesis profesional. Ingeniería química. Facultad de QUIMICA UNAM	Estudio tecnico-economico	1997		0.003	5.694		0.5195775		1.87902	1.095
UASB	Maciel Luna Miguel Angel	Tratamiento biológico de	Estudio tecnico-	1997		120.8	51.37		188750.503			16.9521	
UASB	PROESA (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1998	101	397	1.18		14248.9917			144905
UASB	Biothane. Cerveceria Modelo. D.F. (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1998	3000	5143	3.33		520921.613		1.0989	1877195

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
UASB	Biothane. Cerveceria Modelo. Torreon. (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1998	1700	1944	3.33		196902.9		1.0989	709560
UASB	Biothane. Cerveceria Modelo. Guadalajara (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1998	2500	2856	3.402		295531.74		1.12266	1042440
UASB	Biothane. Cerveceria Modelo. Mazatlan. (Monroy et al.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1998	1300	1512	3.402		156457.98		1.12266	551880
UASB	Ibtech. Tendex. Cosoloaque. Ver.	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1998	20808	5500	1.05		175656.25		0.3465	2007500
UASB	AITA. Beneficio Cerro de Coatepec Catemaco	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1998	110	36	3.32		3635.4		1.0956	13140
UASB	Flores Torres	Tratamiento anaerobio de	(LIC) Facultad de Ingenieria	Tecnologico	2001		440			0		0	160600
UASB	Vasquez Borgues Elizabeth del Rosario	Evaluación de un reactor anaerobio para el tratamiento de aguas residuales de granjas porcícolas	Tesis Doctoral. Ingenieria Ambiental. Facultad de Ingenieria	Tecnológico	2002	0.208		2.16		0		0.7128	0
UASB	Terreros Mecalco	Biodegradacion anaerobia en 2 etapas de alquilbenceno sulfonato de sodio en un reactor uasb	Tesis Mestría en Biotecnología	Experimental	2003	0.0014	0.0014	0.575		0.02448542		0.18975	0.511
UASB	Chávez				2005			27.265		0		8.99745	0

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
UASB (Con oxígeno)	Duran Hinojosa Ulises	Tratamiento de aguas residuales procedentes de resinas poliméricas con aceptores electrónicos simultaneos	Tesis Maestria Biotecnología. CBS. UAM Iztapalapa	Experimental	2005	0.0015	0.0015	1.23		0.05611875		0.4059	0.5475
UASB	DíAChavez				2005				51.11	0		0	0
BUF	ADI (TOLUCA)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1992	14250	3400	0.99		102382.5		0.3267	1241000
BUF	ADI (TOLUCA)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1996	20000			1.36	0		0	0
Hibrido	CITAD (Ver.)	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1992	10	3.5	2.1		223.5625		0.693	1277.5
hibrido	PySA Embotelladora Campeche	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1992	250	350	5.4		57487.5		1.782	127750
hibrido	PySA Embotelladora Chetumal	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1992	160	155	2.91		13719.4375		0.9603	56575
hibrido	PySA Embotelladora Caribe Cancun	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1992	320	475	2.89		41754.4792		0.9537	173375
Hybrido	TACSA Liconsa San Antonio EDOMEX	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1993	172	345	3.195		33527.5313		1.05435	125925
Hybrido	PySA Embotelladora Zacatecas	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1994	332	259	6.048		47645.64		1.99584	94535
hibrido	PySA Embotelladora Yucatan	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1994	760	691	3.474		73016.2425		1.14642	252215

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Hybrido	AITA Caterera Solidaridad Huatusco	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1994	40	60	2.25		4106.25		0.7425	21900
Modific. China	AITA Granja Porcicola Veracruz	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1995	30	3	0.59		53.8375		0.1947	1095
Hybrido	AITA Beneficio café Misantla Ver.	Anaerobic digestion for	Water Research,	Estado del arte	1995	225	50	1.098		1669.875		0.36234	
Hybrido	AITA. Beneficio café Prof. Sedas Huatulco Ver.	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1996	50	375	1.386		15809.0625		0.45738	136875
hibrido	PyCSA El Yucateco, Merida	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1996	10	4.55	0.68		94.1091667		0.2244	1660.75
Hibrido	Tecnoadecuaciones	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1996	194.4	259	0.245		1930.08958		0.08085	94535
Hybrido	Pysa. Industria refresquera Merida	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1997	760	691	3.474		73016.2425		1.14642	252215
EGSB	Instituto Ing. UNAM. Acatex Texmelucan Pue.	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1997	2332	1500	1.064		48545		0.35112	547500
EGSB	Instituto Ing. UNAM. Atlantida Sur. Merida	Anaerobic digestion for wastewater	Water Research,	Estado del arte	1997	80	60	1.2		2190		0.396	21900
EGSB	Navarrete R.	Tratamiento biológico anaerobio de efluentes del procesamiento de alimentos marinos.	Tesis Licenciatura Fac. de Ciencias Biológicas y agropecuarias. Universidad Veracruzana. Córdoba, Veracruz.	experimental	1999	2.3129	2.29	1.107		77.1071625		0.36531	835.85

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
EGSB	Román Rodríguez Marco Antonio	Evaluación técnica-económica de la implementación de un sistema anaerobio, con un reactor de tipo EGSB, en una planta de tratamiento de aguas residuales de la industria textil.	Tesis Profesional. Ingeniero Químico. Facultad de Química UNAM	Tecnológico	2000	1334	1500	1.488	1.462	67890		0.49104	547500
EGSB	Esquivel Martínez Maricela	Parámetros que influyen en el Diseño de un sistema aerobio para el postratamiento de un efluente anaerobio	Tesis de Maestría Biotecnología	Experimental	2003	0.0036	0.004	6.895		0.83889167		2.27535	1.46
EGSB	Almendariz	"Phenolic refinery wastewater	<i>Water Science Technology.</i>		2005			0.695		0		0.22935	0
EGSB	Muñoz Cuevas Alfredo	Pulimiento del efluente de un reactor anaerobio de lodos expandidos (EGSB) con macrofitas flotantes	Tesis especialidad (Biotecnología. CBS UAM-i	Experimental	2007	0.0036	0.072	1.4235		3.117465		0.469755	26.28
Humedales flujo superficial	Ramírez Carillo	Desarrollo de la ingeniería básica para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales	(Lic.) Ingeniero Químico. FES Zaragoza	Tecnológico	1998	37.5	5.59		0.148	0			2040.35

		en base a un humedal artificial de flujo horizontal											
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Humedales flujo superficial	Jimenez Tovar	Construcción y arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales tipo humedal artificial de flujo horizontal	(Lic.) Ingeniero Químico. Facultad de Química UNAM.	Diseño	1999					0			0
Humedales flujo superficial	Tesillos Martínez Carmela y Ubaldo Alvide Ricardo	Programa preliminar de diseño de humedales artificiales de flujo horizontal para emplearse como sistema de tratamiento de aguas residuales	(lic) Ingeniero químico. FES Zaragoza. UNAM	Diseño	2007	241.92	135.36		0.164	0			49406.4
Humedales flujo superficial	Muñoz Cuevas Alfredo	Pulimiento del efluente de un flotantes	Tesis especialidad (Biotecnología.	Experimental	2007	0.0355	0.057	0.05348		0.09272095			20.805
Flujo subsuperficial horizontal	Withney							3.318		0			0
Flujo subsuperficial horizontal	Gutierrez Sarabia				2004			0.02		0			0
Flujo subsuperficial vertical	Rivera				1997			0.67		0			0
Flujo subsuperficial vertical	Esponda Aguilar	Arranque de un sistema experimental de	(Lic) Ing. Químico. Facultad de		2001	56.16	0.033		56.3706				

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Flujo subsuperficial vertical	Fenoglio	flujo vertical a escala piloto de tipo humedal artificial de flujo vertical descendente para el tratamiento de aguas residuales	Química UNAM	Diseño	2000		4.32	0.0064		0.84096			1576.8
Humedal subsuperficial	Torres Esquivel José Natividad	Bases de diseño para la construcción de	(Lic). Ingeniero químico Facultad de										
		Eficiencia de remoción de material orgánico, nutrientes y bacterias en un sistema de tratamiento de aguas residuales por medio de humedales artificiales	Tesis licenciatura. FES-Iztacala	Planta piloto	2005	3.825	2.1172	0.7044	0.249	45.3620686			772.778
Flujo subsuperficial vertical	León Ibarra	Planeación diseño y construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas en lechos de carrizo	(Lic.) Ingeniero civil. Facultad de Ingeniería	diseño	2006					0			0
Flujo subsuperficial vertical	Esponda . Aguilar	Arranque de un sistema experimental de	Lic) Ing. Químico. Facultad de	experimental	2001	26	1.625	0.033		1.63109375			593.125
Flujo subsuperficial	Romero Aguilar Mariana, Colin Cruz	Tratamiento de aguas residuales	Revista Internacional	Planta Piloto	2009			0.061		0			

	Arturo, Sanchez Salinas Enrique, Ortiz Hernández Maria Laura	por un tratamiento piloto de humedales artificiales. Evaluación de la remoción de la carga orgánica	de contaminación Ambiental. 25(3), páginas 157-169 2009										
--	--	---	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

## CONTINUACION DE LOS RESULTADOS

Primer Autor (1)	Indice Bde M (2)	Pesos nominales		Pesos constantes		Indicadores			MULTAS por descargar aguas sin tratar al drenaje es de 20 salarios minimos para microindustrias y de 2000 para macroindustrias (10)	Costo de confinamient o del lodo residual es de \$ 2500 m3 (Rosas Arriaga 1998) (11)	Ahorro compra agua potable artículo 173 fracción 1, tomado del cuello de garza \$ 42 por m3 (12)	Venta de agua tratada artículo 173 fracción III, a \$ 16.8 por metro cúbico (13)	Ahorro AB Y AC (14)
		Inversi on (3)	M y O (4)	Inversio n (5)	M y O (6)	\$/m3 (día) (7)	\$ const/ kg DQO (8)	\$/kg lodo (9)					
Frias Figueroa EPCCA	0.44281765	487000	9983	1098864 52	225255 9.44	1241.4 8999	4.2562 5349	1072.64 735	3475.1808	5250000	927158.4	370863.36	1298021.76
Seguí Amortg.	50.12383369	695821	13529 2	1387053 .98	269691. 928			#¡DIV/0!	0	0	0	0	0
Castellanos Rosas	60.3236298	161658 0.37	47232. 7	2677626 .19	78233.9 788	1.3116 3831	1.1960 736	120.518 069	114241.972	1622868.25	30479106	12191642.4	42670748.4
Abasolo.	104.188	100476 7	17215. 97	963579. 991	16510.2 598	0.8492 932	0.6838 2958	39.8943 97	37234.08	1034622.72	9933840	3973536	13907376
Actopan.	104.188	289917 4.55	44298. 3	2780332 .74	42482.4 417	0.2731 6385	0.2048 1248	11.9486 942	297872.64	8888511.34	79470720	31788288	111259008
Acued. Guadal.	104.188	266597 2.46	40734. 63	2556689 .98	39064.8 523	0.2184 2488	0.0816 0379	4.76073 861	342553.536	20514071.17	91391328	36556531.2	127947859.2
Bosque de las lomas	104.188	305455 1.84	46672. 2	2929340 .87	44759.0 318	0.3139 6627	0.1852 502	10.8074 371	273049.92	10353757.21	72848160	29139264	101987424

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Cerro de la Estrella.	104.188	277263. 28	4235.8 9	265897. 814	4062.25 408	0.0005 2241	0.0006 1648	0.03596 504	14893632	282375196.5	3973536000	1589414400	5562950400
Chapult	104.188	188461 2.41	28796. 21	1807359 .13	27615.8 072	0.0866 1989	0.0511 0852	2.98165 474	610638.912	23154766.11	162914976	65165990.4	228080966.4
Ciudad Deportiva.	104.188	243955 7.85	37275. 04	2339556 .47	35747.0 764	0.1723 9138	0.2220 8834	12.9565 622	397163.52	6897484.8	105960960	42384384	148345344
Coyoacan.	104.188	928814. 78	14191. 37	890741. 174	13609.6 43	0.0131 2658	0.0070 3486	0.41041 131	1985817.6	82902461.54	529804800	211921920	741726720
Iztacalco.	104.188	176174 1.22	25903. 71	1689524 .63	24841.8 754	0.9584 0569	0.4099 1865	23.9145 221	49645.44	2596944.578	13245120	5298048	18543168
La lupita.	104.188	439432 6.89	67143. 59	4214196 .39	64391.2 667	0.8280 7699	0.3989 8129	23.2764 401	148936.32	6915927.273	39735360	15894144	55629504
El Rosario.	104.188	275865 4.45	46055. 34	2645572 .79	44167.4 578	0.7099 9643	0.3036 718	17.7161 149	119149.056	6232666.988	31788288	12715315.2	44503603.2
Pemex.	104.188	307755 6.62	51379. 64	2951402 .64	49273.5 063	0.9504 9202	0.3551 0492	20.7167 065	99290.88	5946107.586	26490240	10596096	37086336
Reclusorio Sur.	104.188	150513 7.25	22130. 75	1443439 .26	21223.5 751	0.6298 5444	0.3034 7437	17.7045 966	64539.072	2996901.818	17218656	6887462.4	24106118.4
Mixquic.	104.188	739432 6.89	67143. 59	7091221 .59	64391.2 667	0.8280 7699	0.7190 1977	41.9473 813	148936.32	3837621.365	39735360	15894144	55629504
San Juan de Aragon.	104.188	928814. 78	14191. 37	890741. 174	13609.6 43	0.0131 2658	0.0028 0718	0.16376 99	1985817.6	207755566.3	529804800	211921920	741726720
Tlaxialtenanco	104.188	201525 2.65	30791. 81	1932644 .22	29529.6 044	0.1035 6904	0.0611 0907	3.56508 316	546099.84	20707514.41	145696320	58278528	203974848
Tlatelolco.	104.188	123826	18206.	1187502	17460.3	0.3742	0.4011	23.4044	89350.3	1865065.505	23838150	9535260	33373410

		0.8	68	.51	59	8422	7611	85					
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Xicalco.	104.188	100476 7	17212. 18	963579. 991	16506.6 252	0.8491 0623	1.0938 8646	63.8169 832	37234.08	646639.2	9933840	3973536	13907376
Castellanos Rosas								0	114184.512	1622052	30463776	12185510.4	42649286.4
Flores Torres	95.21453425	460000 0	22190	4827193 .37	23285.9 61			#¡DIV/0!	0	0	0	0	0
Esquivel Martínez	104.188	129714 4.3	12971 44.3	1243972 .28	124397 2.28	86386 9.637		880003 02.6	2.75808				
Chargoy Vivaldo	109.022	460200 0	70317	4217669 .85	64444.5 656	0.1840 1948	0.9567 0299	53.3389 81	670759.5398	3020519.16	178954816.3	71581926.5 3	250536742.8
Vite Meraz	109.022	487000	9983	446328. 817	9149.28 251			#¡DIV/0!	0	0	0	0	0
Albarran Murillo	109.022	415127 0.2	9983	3804582 .17	9149.28 251	0.1176 6053		23.5321 052	148936.32	972000	39735360	15894144	55629504
Suárez de Aquíz,	113.447	533107 74.9	14012 152	4695286 4.3	123410 45	23.990 6786		4798.13 573	985266.62	6430125	262863510	105145404	368008914
Benítez Prestado	117.059	487000	81575 2.02	415684. 914	696295. 294	2.3359 3429		467.186 859	570922.56	3726000	152318880	60927552	213246432
Benítez Prestado	117.059	487000	58259 3.07	415684. 914	497279. 569	1.6682 7553		333.655 105	570922.56	3726000	152318880	60927552	213246432
Cuevas Soto	50.12383369	487000	9983	970788. 879	19900.1 753	11.456 6352	283.42 6787	34369.9 056	3326.934	1447.5	887607	355042.8	1242649.8
Ramírez Bautista	50.12383369	322300 0	53808	6424748 .58	107261. 207	3.1837 6988	3.0887 6807	374.561 163	64527.58	715912.5	17215590	6886236	24101826

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Maqueda	117.059	220348 551	45169 19	1880812 49	385547 2.45	21419 291.4	30257 018.5	157109 7170	0.34476	6.135	91.98	36.792	128.772
Rosas Urbina Alcantara	121.721	162181 365	33245 51.43	1331298 83	272902 5.89	90967 52.97	10350 409.2	516860 964	0.5746	13.2	153.3	61.32	214.62
Buitron y Ortiz.				#iDIV/0!	#iDIV/0!		0	#iDIV/0!	0.00235586	0.171585	0.62853	0.251412	0.879942
Bermudez,	69.55713526	168040 55.9	34446 5.81	2413862 5.7	494816. 926	37700. 3372	7111.3 9927	621434. 13	25.13875	1990.625	6706.875	2682.75	9389.625
Orantes Avalos									678.028		180894	72357.6	253251.6
Monroy	27.60883513							#iDIV/0!	0	0	0	0	0
Flores Farías	95.21453425							#iDIV/0!	760021.6962	0	202769450.1	81107780.0 4	283877230.1
Flores Farías	95.21453425							#iDIV/0!	0	0	0	0	0
Escalante								#iDIV/0!	0	0	0	0	0
CNA								#iDIV/0!	0	0	0	0	0
CNA								#iDIV/0!	0	0	0	0	0
Londoño Rodríguez Wilson Texcoco (1)								0	3.50506	22.875	935.13	374.052	1309.182
Londoño Rodríguez Wilson Texcoco (2)								0	3.50506	22.875	935.13	374.052	1309.182
Torres Castro								0	124113.6		33112800		
Gonzaález Martínez								#iDIV/0!	2030.0618		541608.9		
Castro Martínez	50.12383369	608484.	17760	1212956	354028.	15925.		751213.	42.57786		11359.53		

		47	0	.79	963	7293		647					
<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b>(3)</b>	<b>(4)</b>	<b>(5)</b>	<b>(6)</b>	<b>(7)</b>	<b>(8)</b>	<b>(9)</b>	<b>(10)</b>	<b>(11)</b>	<b>(12)</b>	<b>(13)</b>	<b>(14)</b>
Vadivia Soto								0	3135.93696		836650.08		
Acevedo Flores	50.12383369	382300 0	61894	7620792 .37	123379. 891	0.2689 2806	0.0546 2263	5.51986 986	878724.288	55879891.2	234438624	93775449.6	328214073.6
Millan Salazar									57.46	0	15330	6132	21462
Martínez irineo	50.12383369	382300 0	61894	7620792 .37	123379. 891	3.7415 0567	0.6344 1717	64.1107 894	63160.032	4811198.4	16850736	6740294.4	23591030.4
Quezada Cruz									0	0	0	0	0
Seguí Amortegui	50.12383369	591895	13834 5	1179887 .24	275777. 798				0		0	0	0
Benítez Prestado	109.022	501000	56572 1.77	459159. 625	518476. 239	1.7393 862		347.877 241	570922.56	3726000	152318880	60927552	213246432
Orozco Cabrera	95.21453425	501000		525744. 321				0	228.1162	1488.75	60860.1	24344.04	85204.14
Moeller	108.737	427307 18.7	26193 96.19	3926476 1.3	240693 2.75				0		0	0	0
Moeller	108.737	670710 87.8	13574 26.59	6163084 3.9	124732 3.54				0		0	0	0
Maciel Luna	60.3236298	706000	9478	1169384 .54	15698.9 046				0	0	0	0	0
Maciel Luna	60.3236298	487893. 88		808124. 021					0		0	0	0
Moeller	108.737	451389 94.6	30386 89.65	4147769 8.2	279221 6.64				0		0	0	0

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Monroy									0	0	0	0	0
Gutierrez Sarabia									0	0	0	0	0
Seguí Amortegui	50.12383369	451280	12191 6	899584. 405	243028. 125				0		0	0	0
Houbron									0		0	0	0
IPN CELAYA	4.71599699	26624.6 7	5898.2 9	564093. 15	124966. 243	9.6424 5704			24822.72		6622560	2649024	9271584
INIREB (Coatepec, ver)	11.12100519	882610. 48	19417 4.3	7929853 .21	174456 7.66	2550.5 3751			1310.088		349524	139809.6	489333.6
SEDENA NAYARIT	27.60883513	498308. 47	10962 7.83	1803392 .66	396746. 264	118.07 9245			6435.52		1716960	686784	2403744
CENIC (Cuba) Tepepan, D.F.	27.60883513	117006 7.31	23401 3.44	4234507 .19	846901. 358	1045.5 5723			1551.42		413910	165564	579474
GTBA									0		0	0	0
Biotech. Beneficio	50.12383369	168525 0.13	37075 4.99	3359388 .26	739065. 341	432.20 1954			3275.22		873810	349524	1223334
Mijailova									0		0	0	0
Alvarez Estrada	117.059	304355 65	66958 24.24	2597865 5.5	571530 4.15	21074 1.304			51.94384		13858.32	5543.328	19401.648
Nacheva y Bandala									0		0	0	0
Nacheva y Bandala									0		0	0	0
Gutierrez Macías									0		0	0	0

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Martínez Irineo	117.059	429043. 2	94375. 44	366215. 166	80555.3 319	2.4428 4728			63160.032		16850736	6740294.4	23591030.4
Martínez Irineo									0		0	0	0
UAM-I DescontaminAcció	11.12100519	430161. 01	15785. 39	3864800 .77	141824. 54	84.419 3692	33.097 6866		3217.76		858480	343392	1201872
Sedue Tepeyauaco.	16.49040912	148100 8.47	72893. 82	8973590 .02	441671. 515	5.6799 3204	1.7153 602		148936.32		39735360	15894144	55629504
Nacional.Ingenio	20.30025376	148100 8.47	72893. 82	7289473 .93	358780. 933	4.6139 5233	1.2460 6354		148936.32		39735360	15894144	55629504
IPN (Guanajuato)	20.30025376	868009. 23	31852. 96	4272312 .27	156779. 199	290.33 185	18.180 9132		1034.28		275940	110376	386316
IPN (Molínex)	20.30025376	868009. 23	31852. 96	4272312 .27	156779. 199	290.33 185	21.420 8109		1034.28		275940	110376	386316
IMASA (Puebla)	20.30025376	117724 9.14	57942. 82	5794380 .72	285192. 613	2.5016 8959	0.2261 1987		218348		58254000	23301600	81555600
Rodríguez Carmona		100911 307	37030 99.95				35473 70.39		0.37349		99.645	39.858	139.503
Forza. Vitocrisa..	23.51747523	898293. 99	32964. 29		140053. 234	274.61 4185	49.766 1514		976.82		260610	104244	364854
Energía y Ecología.	23.51747523	337268. 89	12376. 61	1432932 .39	52583.6 977	20.147 0106	3.1180 2488		4999.02		1333710	533484	1867194
Sedue. Fideicomiso	23.51747523	698415. 3	1700.6 9	2967311 .65	7225.61 096	0.0022 3013	0.0002 1571		6205680		1655640000	662256000	2317896000
IMASA (Cerv. Cuauh) Toluca	23.51747523	134990 5.34	34375. 45	5735255	146048. 738	0.5366 2823	0.0203 2895		521277.12		139073760	55629504	194703264

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Energia y Ecologia (Barcel)	23.51747523	133021 4.03	66440. 88	5651593 .81	282283. 044	15.552 7848	0.9973 7806		34763.3		9274650	3709860	12984510
Paques (Cerv.Moctezuma tecate)	23.51747523	932879. 88	65471. 37	3963466 .05	278163. 95	2.9910 1022	0.0723 2807		178126		47523000	19009200	66532200
Paques (Cerv.Moctezuma Guadalaj.)	23.51747523		45914. 85	0	195075. 436	1.1611 6331	0.0248 9001		321776		85848000	34339200	120187200
Paques UNIPAC	23.51747523	380989. 43	15044	1618685	63916.4 641	3.2777 6739	0.0768 6049		37349		9964500	3985800	13950300
UAM-I El Sauz,)	23.51747523	445942. 57	17609. 28	1894647 .18	74815.4 023	4.9876 9349	2.5171 0971		28730		7665000	3066000	10731000
UAM-I La caperucita)	25.83856464	336218. 63	12338. 05	1300150 .12	47710.9 708	18.072 3374	6.5382 7403		5056.48		1349040	539616	1888656
FORZA San Isidro	25.83856464	174865. 38	6416.8 9	676200. 618	24813.9 739	3.1812 7871	0.1742 3419		14939.6		3985800	1594320	5580120
Biothane Cervec. Modelo	25.83856464	108457 9.68	48595. 94	4194046 .01	187919. 442	3.4799 8967	0.1401 7642		103428		27594000	11037600	38631600
Biothane Cervec. Del tropico	25.83856464	117428 5.02	57796. 25	4540934 .61	223496. 841	1.9522 7848	0.0658 2195		219267.36		58499280	23399712	81898992
Biothane Cervec. Zacatecas.	25.83856464	996607. 21	49051. 62	3853858 .39	189681. 547	1.2605 1001	0.0550 6121		288219.36		76895280	30758112	107653392
Biothane IMEXA Puebla	25.83856464	192775. 78	7074.1 4	745459. 745	27355.5 454	4.1260 2495	0.1865 9098		12698.66		3387930	1355172	4743102
Biothane Petrocel Tampico	25.83856464	101268 0.09	45374. 85	3916011 .86	175463. 557	2.8983 0785	0.1037 5226		115954.28		30935940	12374376	43310316

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
IMASA Cerv. Cuaht. Sonora	25.83856464	957079. 78	47106. 5	3701006 .68	182159. 81	1.1336 8067	0.0455 7907		307755.76		82107480	32842992	114950472
PAQUES Cerv. Cuaht Monterrey	25.83856464	542424. 7	26697. 27	2097544 .51	103237. 762	0.2489 1564	0.0058 1923		794384.5		211937250	84774900	296712150
Paques. Empaques	25.83856464	961548. 86	43083. 68	3718288 .51	166603. 653	2.5242 9777	0.0664 5756		126412		33726000	13490400	47216400
Forza. Acatipa Ver.	25.83856464	436074. 39	17219. 67	1686290 .17	66588.0 89	4.2766 9165	0.6610 92		29821.74		7956270	3182508	11138778
Forza. Grupo Beta.	25.83856464	488010. 46	17908. 27	1887125 .83	69250.8 903	49.114 1066	9.8250 3197		2700.62		720510	288204	1008714
Forza Tlalpuente.	25.83856464	131565 5.97	48280. 06	5087613	186697. 941	691.47 3856	41.991 7895		517.14		137970	55188	193158
Energia y Ecología. Corporati	25.83856464	222514. 49	8165.4 6	860458. 689	31575.6 561	6.0489 7626	0.9022 4333		9998.04		2667420	1066968	3734388
Energia y Ecología. Huatecalco Morelos	25.83856464	131140. 93	4468.9 3	507119. 122	17281.2 55	1.3715 2818	0.2332 1226		24133.2		6438600	2575440	9014040
Energia y Ecología. Hotel Quintas	25.83856464	339616. 49	12462. 31	1313289 .57	48191.4 815	18.678 8688	2.5948 7119		4941.56		1318380	527352	1845732
Energia y Ecología La Parota. Temico	25.83856464	147313. 37	5405.8 5	569657. 595	20904.3 043	2.0139 0215	0.3424 4041		19881.16		5304180	2121672	7425852
Energía y Ecología. Ticuman,	25.83856464	170194. 88	6245.4 9	658139. 896	24151.1 739	2.9597 0268	2.5079 5361		15629.12		4169760	1667904	5837664
Paques Kimberly Clark Orizaba	25.83856464	961548. 86	43050. 63	3718288 .51	166475. 849	2.5223 6135	0.0496 0269		126412		33726000	13490400	47216400
Energia y Ecología	25.83856464								0		0	0	0

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Energía y Ecología	25.83856464								0		0	0	0
GTSA. U.H. San Jose Iturbide		470225.14	17255.57						2873		766500	306600	1073100
GTBA NEPSA. D.F.	27.60883513	310232.89	11384.47	1122741.74	41200.7238	13.7335746	6.23806575		5746		1533000	613200	2146200
UH Militar Champoton Q.R.		339616.49	12462.31				14.0123044		4941.56		1318380	527352	1845732
U.H. Militar (Q.R.)	27.60883513	339616.49	12462.31	1229081.83	45101.4577	17.4811852	14.5249497		4941.56		1318380	527352	1845732
GTSA. U.H. San Jose Iturbide	27.60883513	204677.38	7510.87	740733.315	27182.0542	4.53034236	1.64621808		11492		3066000	1226400	4292400
Energía y Ecología Rancho Sn Fco	27.60883513	253519.29	9303.24	917493.589	33668.6927	8.0163554	0.73067354		8044.4		2146200	Sedue Tlaxcala	3004680
Rodríguez Carmona	27.60883513	100911307	3711686.95	365200917	13432701.6	68885649.4	3555596.27		0.37349		99.645	39.858	139.503
TACSA Liconsa Tlahuac	27.60883513	501792	21464.93	1815999.65	77682.1979	2.14000545	0.2164082		69526.6		18549300	7419720	25969020
Paques Jumex Tulpetlac	27.60883513	1090054.7	53651.04	3944939.26	194164.654	1.49818406	0.03489771		248227.2		66225600	26490240	92715840
Energía y Ecología	38.02303805	190712.13	6998.4	501154.477	16268.8783	2.41020419	1.82606654		12928.5		3449250	1379700	4828950
Energía y Ecología		168710.61	6191.05				1.31690845		15858.96		4231080	1692432	5923512
Energía y Ecología		133835.	4911.2				0.7101		23328.76		6223980	2489592	8713572

		77	4				7516						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Energía y Ecología	50.12383369	475959	17465. 95	948779. 68	34816.7 352	23.684 8539	23.915 9939		2815.54		751170	300468	1051638
Energía y Ecología		354677. 67	13015. 4				6.3676 1252		4596.8		1226400	490560	1716960
Energía y Ecología	50.12383369	163774. 26	6009.9 5	326468. 645	11980.2 723	1.3770 428	1.0814 8548		16663.4		4445700	1778280	6223980
PROESA	50.12383369	411361. 19	16243. 74	820009. 997	32380.3 74	1.8869 6818	1.2824 6937		32867.12		8768760	3507504	12276264
Biothane. CPC Apaxco	50.12383369	144517 4.48	71129. 62	2880819 .95	141790. 234	1.7504 9672	0.0793 1448		155142		41391000	16556400	57947400
IBTech Ricolino. San Luis Potosí	50.12383369	223285. 32	8193.8	445098. 369	16333.5 727	3.1471 2384	0.1831 9293		9940.58		2652090	1060836	3712926
Energía y Ecología		202259. 88	7422.1 7				2.2783 9914		11721.84		3127320	1250928	4378248
IBTECH	60.3236298	501793. 71	21464. 93	831147. 033	35553.4 805	0.9875 9668	0.6252 8471		68952		18396000	7358400	25754400
Maciel Luna	60.3236298	160477 849	58889 88.38	2658078 12	975423 7.89	10838 0421	11334 186.7		0.17238		45.99	18.396	64.386
Maciel Luna		276979. 53	10164. 17				0.0538 4976		6941.168		1851864	740745.6	2592609.6
PROESA	69.55713526	135648. 04	4977.7 9	194855. 176	7150.47 67	0.6003 7588	0.3493 4332		22811.62		6086010	2434404	8520414
Biothane. Cerveceria Modelo.	69.55713526	981767. 44	48321. 06	1410285 .53	69412.0 51	0.4498 8043	0.0927 6071		295516.78		78842190	31536876	110379066

D.F.													
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Biothane. Cerveceria Modelo. Torreon.	69.55713526	103563 6.17	46403. 34	1487666 .68	66657.2 919	1.1429 5768	0.2356 6611		111702.24		29801520	11920608	41722128
Biothane. Cerveceria Modelo. Guadalajara	69.55713526	139728 0.57	68773. 04	2007160 .24	98790.8 328	1.1530 2092	0.2327 0949		164105.76		43782480	17512992	61295472
Biothane. Cerveceria Modelo. Mazatlan.	69.55713526	436820. 37	18685. 63	627482. 05	26841.4 621	0.5917 4299	0.1194 2906		86879.52		23178960	9271584	32450544
Ibtech. Tendex. Cosoloaque. Ver.	69.55713526	943020. 05	46414. 11	1354625 .83	66672.7 628	0.4040 7735	0.2642 3261		316030		84315000	33726000	118041000
AITA. Beneficio Cerro de Coatepec Catemaco	69.55713526	572672. 52	21015. 05	822630. 426	30187.6 185	27.951 4986	5.7806 7063		2068.56		551880	220752	772632
Flores Torres	95.21453425	127531. 13	4679.9 1						25282.4		6745200	2698080	9443280
Vasquez Borgues									0		0		
Terreros Mecalco		253519 299	93032 91.47						0.080444		21.462		
Chávez	117.0590000 0			2076196 21	761893 0.24				0		0	0	0
Duran Hinojosa Ulises		243238 934	89260 37.25						0.08619		22.995		
DÍA Chavez	117.0590000 0			0	0				0		0	0	0

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
ADI (TOLUC									195364		52122000	20848800	72970800
ADI (TOLUCA)									0		0	0	0
CITAD (Ver.)	23.51747523			0	0				201.11		53655	21462	75117
PySA Embotelladora Campeche									20111		5365500	2146200	7511700
PySA Embotelladora Chetumal									8906.3		2376150	950460	3326610
PySA Embotelladora Caribe Cancun									27293.5		7281750	2912700	10194450
TACSA Liconsa San Antonio									19823.7		5288850	2115540	7404390
PySA Embotelladora Zacatecas									14882.14		3970470	1588188	5558658
PySA Embotelladora Yucatan									39704.86		10593030	4237212	14830242
AITA Caterera Solidaridad Huatusco									3447.6		919800	367920	1287720
AITA Granja Porcicola Veracruz									172.38		45990	18396	64386
AITA Beneficio café									2873		766500	306600	1073100

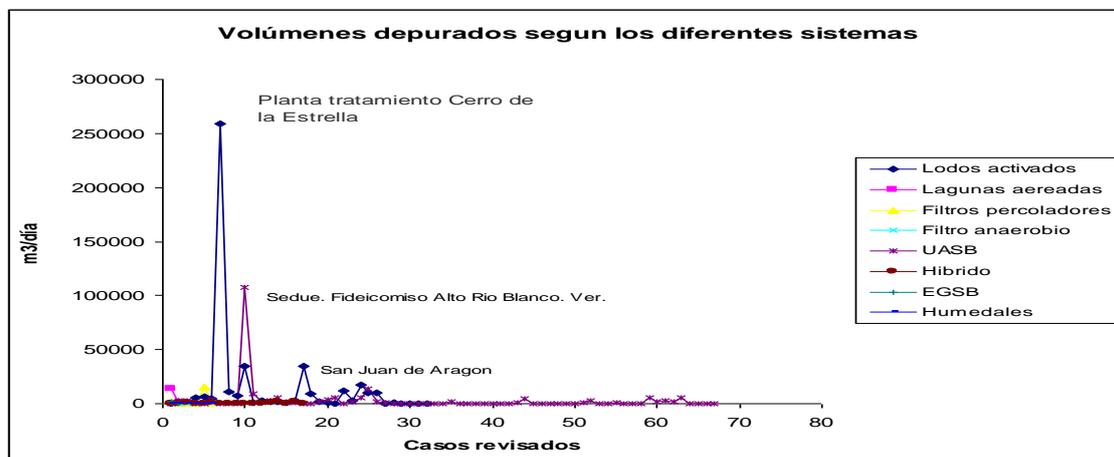
Misantla Ver.													
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
AITA. Beneficio café Prof. Sedas									21547.5		5748750	2299500	8048250
PyCSA El Yucateco, Merida									261.443		69751.5	27900.6	97652.1
Tecnoadecuaciones	50.12383369	234000	8587	466457.08	17117.3801	2.20300902	4.44901629		14882.14		3970470	1588188	5558658
Pysa. Industria refresquera Merida							0		39704.86		10593030	4237212	14830242
Instituto Ing. UNAM. Acatex.							0		86190		22995000	9198000	32193000
Instituto Ing. UNAM. Atlántida							0		3447.6		919800	367920	1287720
Navarrete R.							0		131.5834		35105.7	14042.28	49147.98
Román Rodríguez	89.3417145	2273701.5	461763	2542841.42	516422.268	11.4760504	6.801635		86190		22995000	9198000	32193000
Esquivel Martínez Maricela	104.188								0.22984		61.32	24.528	85.848
Almendariz									0		0	0	0
Muñoz Cuevas									4.13712		1103.76		
Ramírez Carillo	69.55713526	62900	18700	90354.3509	26862.1043	160.179513			321.2014		85694.7	34277.88	119972.58
Jimenez Tovar	81.6554376	62900		76967.1927	0				0		0	0	0

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Tesillos Martínez									7777.7856		2075068.8		
Muñoz Cuevas	121.721	178147 8.09	52958 4	1462362 .65	434719. 834	25422 2.125			3.27522		873.81		
Withney									0		0	0	0
Gutierrez Sarabia									0		0	0	0
Rivera									0		0	0	0
Esponda Aguilar	95.21453425	15395.2 1	4618.5 6	16155.5 773	4846.67 004	2.8767 0349			3226.9536		860932.8	344373.12	1205305.92
Fenoglio									248.2272		66225.6	26490.24	92715.84
Torres Esquivel	113.447	110071. 91	33021. 48	96944.5 945	29083.2 964	457.88 9295			121.654312		32456.676		
León Ibarra	117.059	34000	1224	29021.1 233	1044.76 044				0		0	0	0
Espind. Aguilar	95.21453425	129248. 24	38774. 28	135631. 793	40689.3 364	834.65 3053			93.3725		24911.25	9964.5	34875.75

## 4.2 Análisis.

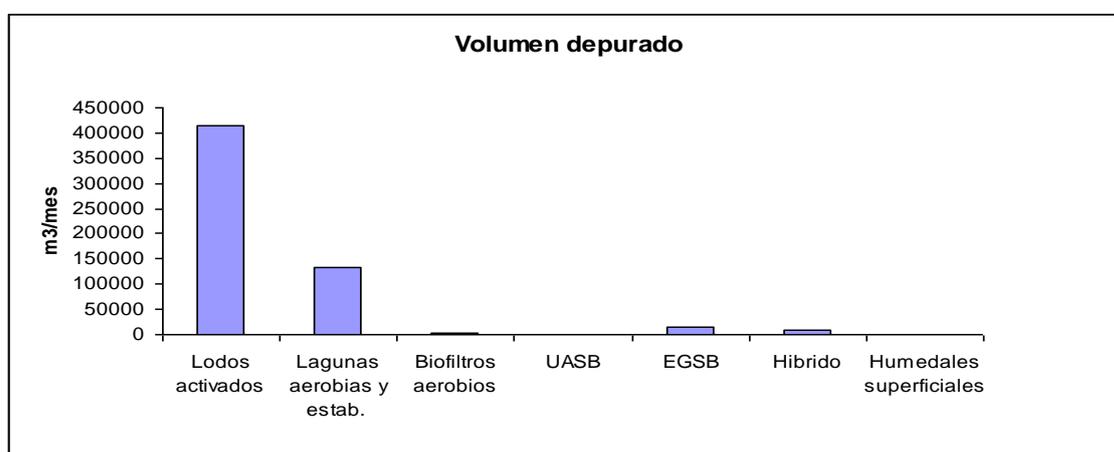
### 4.2.1 Comparación de los diferentes sistemas depuradores

#### 4.2.1.1 Por volumen de agua depurada



Gráfica 4.1 Comparación de los diferentes sistemas según por volumen depurado

Como puede apreciarse en la gráfica anterior, la gran capacidad de las plantas de tratamiento que utilizan lodos activados se muestran como las que producen una mayor cantidad de agua tratada, destacándose de forma especial la PTAR de Cerro de la Estrella, con un poco más de 250 000 m<sup>3</sup> al día; por otro lado se puede apreciar que las plantas tipo UASB si bien tienen una capacidad más modesta, son, con mucho, las más abundantes. Como puede verse en la siguiente gráfica (gráfica 4.2) si se toman en conjunto los flujos depurados al mes por cada uno de estos sistemas, veremos que las PTAR tipo lodos activados son los sistemas que tienen un mejor desempeño en cuanto a volúmenes de aguas tratadas. Las lagunas aireadas y de estabilización por su parte, no dejan de tener un volumen interesante, mayor que el de los sistemas UASB.

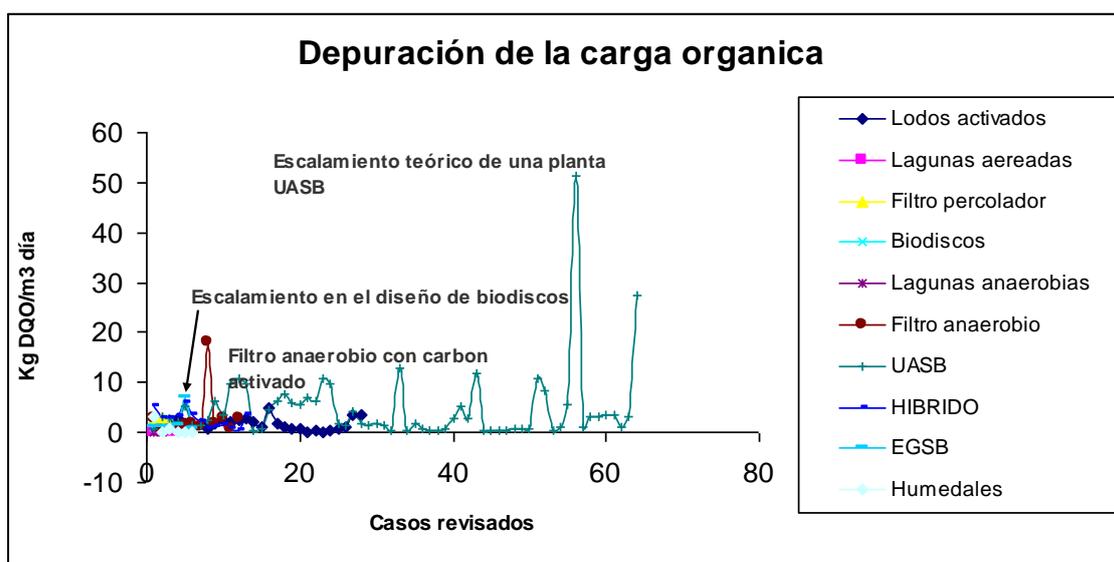


Grafica 4.2. Volúmenes depurados mensuales

Tabla 4.1 Volúmenes mensuales y anuales de agua depurada según los diferentes sistemas.

Sistema de depuración	Volumen mensual depurado (m <sup>3</sup> )	Volumen anual (m <sup>3</sup> )
Lodos activados	425417.5525	161179030.7
Lagunas aerobias	132270.92	4827866.315
Biofíoltro aereado	145437.63	6804975.685
Filtro Anaerobio	7503.874286	639079.96
UASB	46312.29333	74918372.84
Híbrido	7973.678571	11.7942
EGSB	15311.83	74057702.84
Humedales flujo superficial	1410.07	51467.555
Flujo subsuperficial vertical	481.6665	23441.103

#### 4.2.1.2 Por cantidad de materia orgánica depurada.



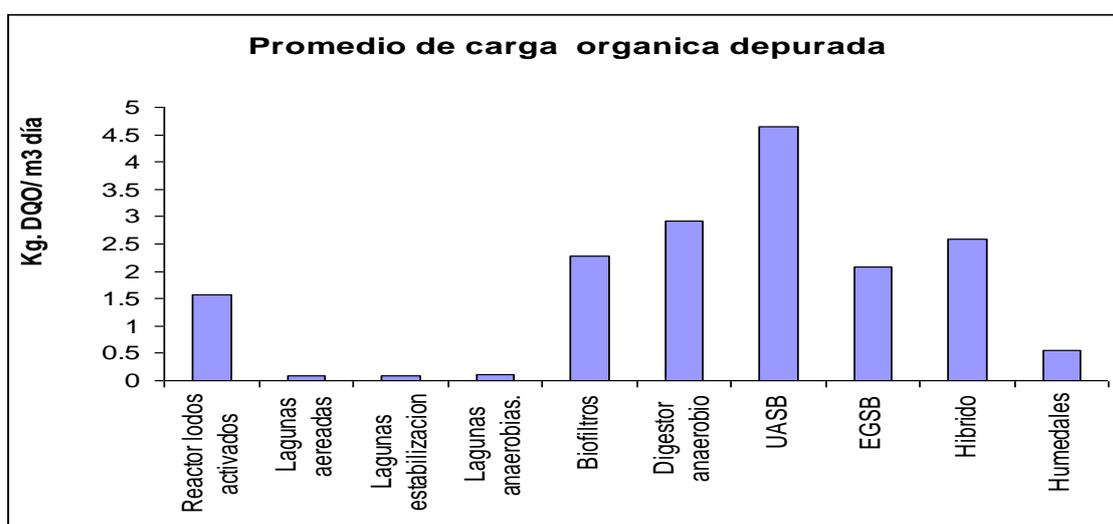
Grafica 4.3. Carga orgánica depurada (como DQO)

Si bien es importante que se generen grandes flujos de agua depurada, más importante es aún el grado de remoción de materia orgánica que este presenta, ya que aún cuando se depure hasta cierto grado el agua residual, si la carga orgánica remanente es aún muy grande, puede generar un problema de salud para la población. Así pues, de la siguiente gráfica (gráfica 4.4) veremos que el desempeño en este rubro de las plantas de lodos activados queda, en general, en término medio, mientras que el desempeño de las plantas UASB se encuentra arriba. Es importante señalar sobre algunos estudios que se incorporaron en la siguiente gráfica, que si bien

muestran desempeños muy importantes, estos deben de ser aquilatados. Así pues, en primer lugar destacan los escalamientos realizados por Maciel se muestran como un diseño teórico propuesto a nivel industrial, razón por la cual muestra una carga orgánica depurada alta; de igual manera es su propuesta de escalamiento a nivel de los biodiscos, razón por la cual debemos de ser prudentes ante estos resultados. Por otro lado, el filtro anaerobio con carbón activado (Mijailova 2006) muestra un desempeño muy superior al de los demás sistemas aerobios y anaerobios gracias a que se le agrego al filtro carbón activado, el cual es un material con optimas propiedades de sorpción, por lo que nos encontramos con un sistema que no sabemos con exactitud si el efluente depurado es debido a la degradación anaerobia del filtro o por la sorpción excepcional del carbón activado. Es por ello que, con el fin de tener una visión mas ajustada a la realidad, se procedió a elaborar el desempeño de estos sistemas en conjunto tanto por día como por mes

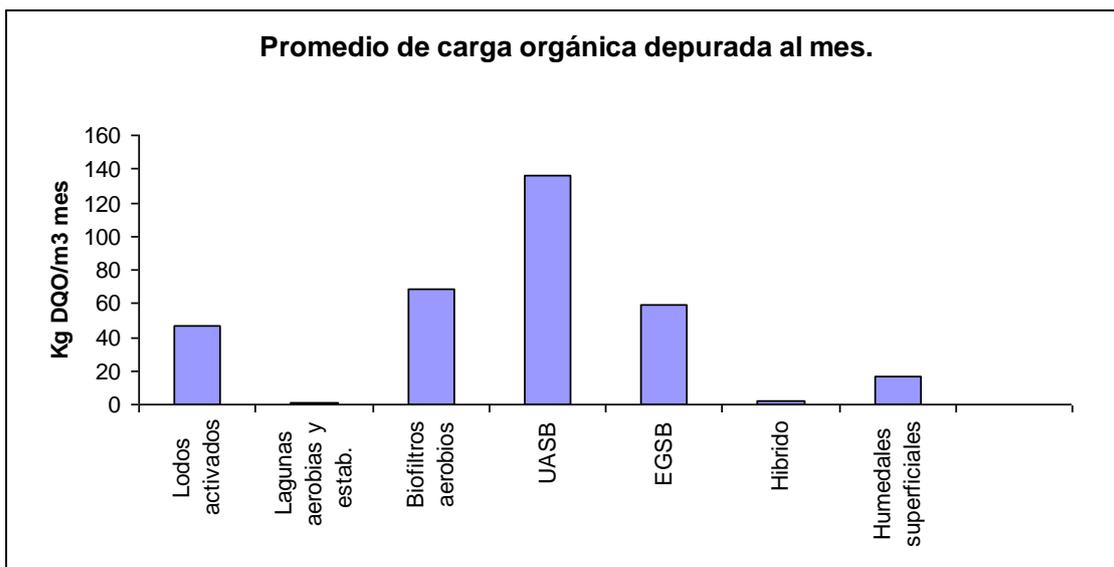
Tabla 4.2. Depuración promedio de la carga orgánica diaria (Como DQO y DBO)

Sistema de	Carga orgánica DQO	Carga Orgánica DBO
Lodos activados	1.56738009	0.9977384
Lagunas aerob	0.02553333	0.0345
biofiltro aereado	1.97742857	2.8755
Filtro Anaerobio	2.91691667	0.48
UASB	4.52107971	0.405
Hibrido	2.159	0.405
EGSB	1.98178571	
Humedales flujo superficial	0.05348	0.249



Gráfica 4.4. Comparación de materia orgánica depurada diaria (Como DQO)

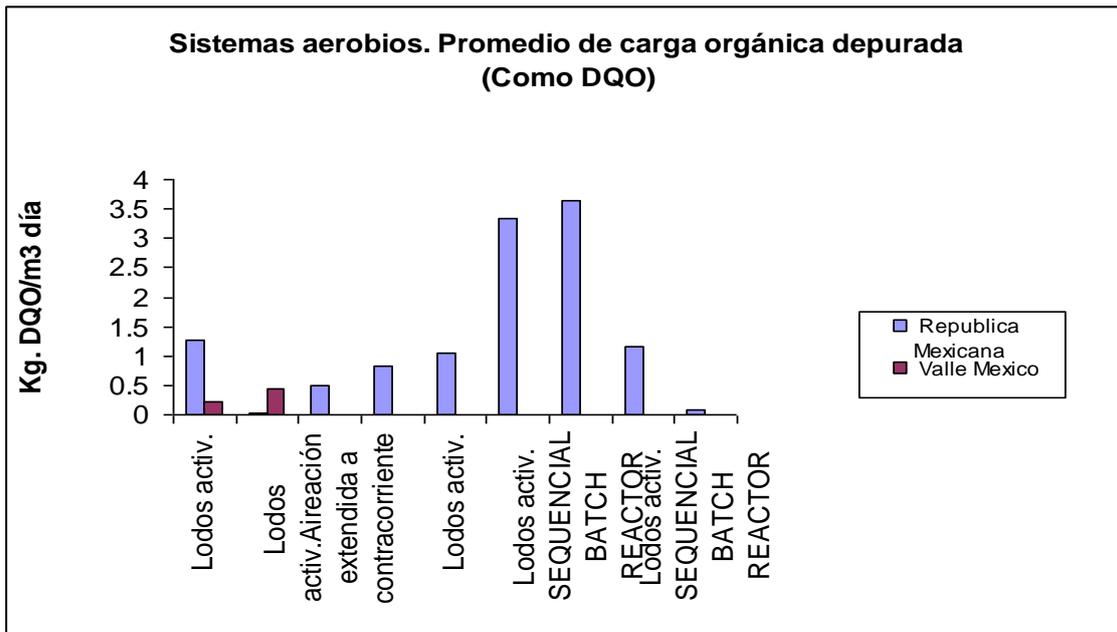
Como se puede apreciar en estas gráficas, la capacidad de depuración de los sistemas anaerobios (aún cuando la capacidad de sus plantas de tratamiento son mas modestas que las grandes plantas de lodos activados) son mayores que los sistemas aerobios, Sorprende el hecho de que aún cuando los sistemas EGSB son tecnológicamente mas jóvenes, estas escasas plantas representan casi una tercera parte de la capacidad depuradora de las plantas de lodos activados estudiadas.



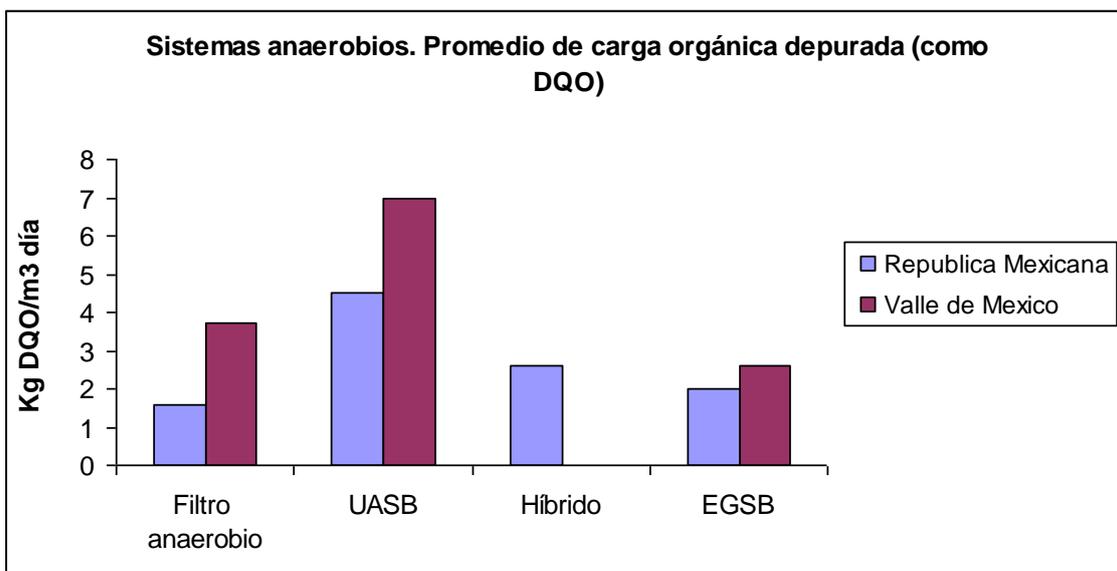
Gráfica 4.5. Carga orgánica depurada al mes por los diferentes sistemas

Tabla 4.3. Comparación de los diferentes promedios de los sistemas de depuración anaerobia tanto en la Cuenca Central de México como en la República mexicana

Tipo de sistema	República mexicana (Excepto Cuenca central de México) (Kg. DQO/ m³ día)		Cuenca Central de México (Kg. DQO/ m³ día)	
	Volumen depurado	Carga orgánica	Volumen depurado	Carga orgánica
Filtro anaerobio	155.95	1.575	1099.2	3.73375
UASB	1856.9801	4.50411165	2770	6.95488889
Hibrido	252.2125	2.58769231		
EGSB	520.7633	1.981	500.025	2.625



Gráfica 4.6. Comparación de los diferentes sistemas aerobios de depuración tanto en el Valle de México como en la República mexicana



Gráfica 4.7 Comparación de los diferentes sistemas anaerobios de depuración tanto en el valle de México como en la República mexicana

Como puede apreciarse en esta gráfica, tecnológicamente hay un predominio de los sistemas UASB y de filtros anaerobios en la Cuenca Central de México más que en el resto de la República mexicana (salvo en el caso de los sistemas híbridos)



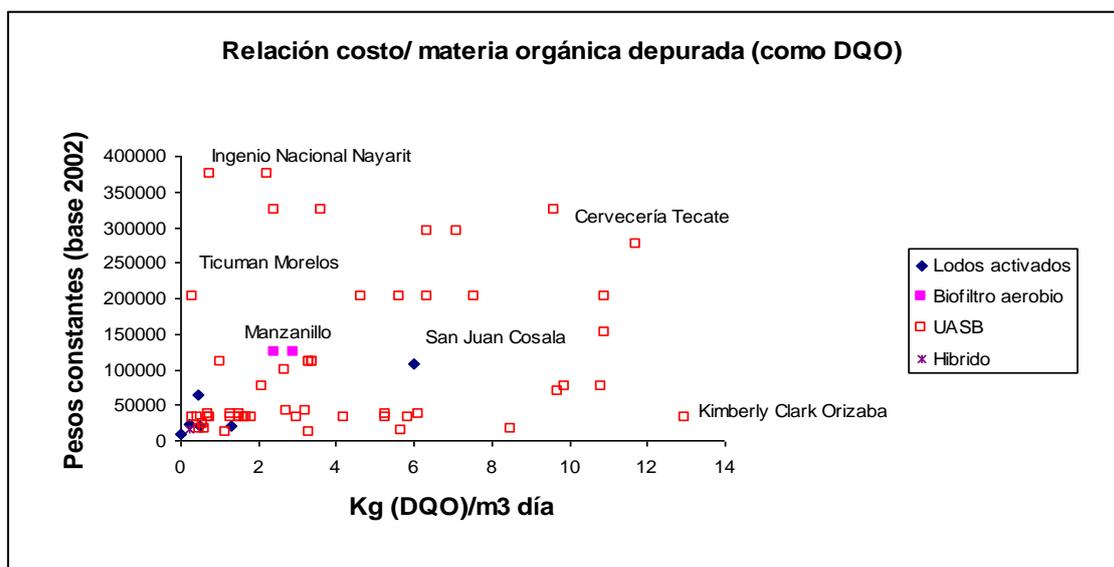


metano equivale a 7.56 KWH, como puede apreciarse en los valores arrojados en esta tabla:

Tabla 4.5. Comparación de producción de metano por los diferentes sistemas de depuración anaerobia (Teóricos) así como su posible valor en electricidad.

Sistema Depurador	Volumen promedio producido al mes (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /mes)	Valor a Kcal. al mes (Briones y Noyola 1993, citado por Maciel 1997: p. 19)	Valor a KWH. de electricidad
Filtro Anaerobio	28.877475	1531.1992344	218.313711
UASB	45.245111	2399.076765664	342.05303916
Hibrido	0.84244286	44.66969020864	6.3688680216
EGBS	0.65398929	346.7712811296	4.9441590324

#### 4.2.1.4 Costos de Inversión, Mantenimiento y Operación de los sistemas de depuración



Gráfica 4.12. Comparación de los diferentes sistemas de depuración en relación del costo (pesos constantes 2002) por materia depurada (como carga orgánica).

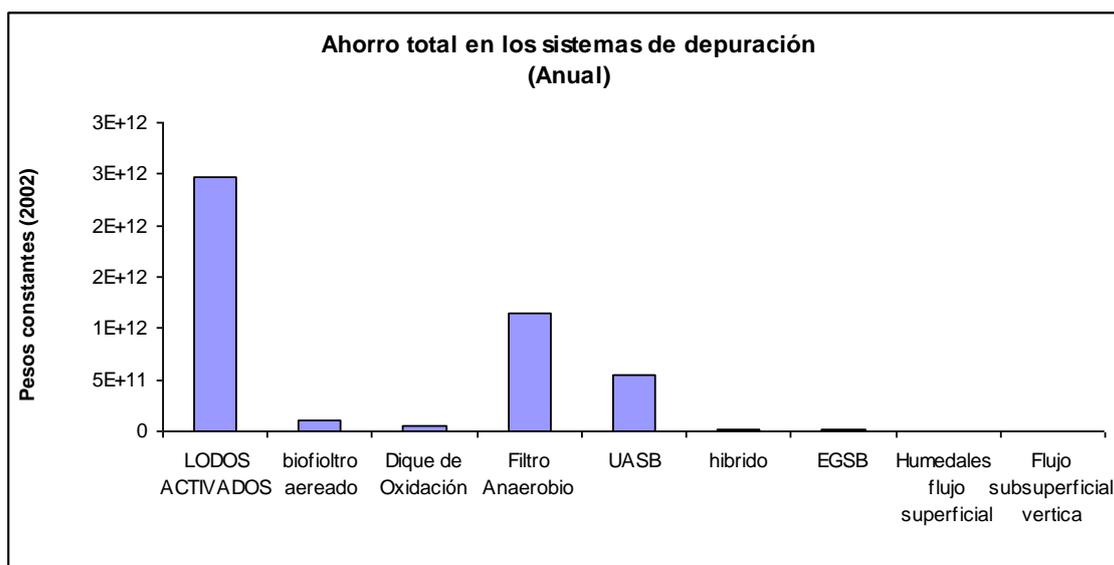
La siguiente gráfica nos muestra los diferentes desempeños de estos sistemas depurativos cuando relacionamos la materia orgánica que estas depuran (como DQO) y el costo que este representa (en pesos constantes 2002). Las UASB se agrupan en dos grandes grupos, entre los cuales destacan los sistemas de remoción moderada y alto costo, entre los cuales destacan el sistema anaerobio construido en Nayarit en







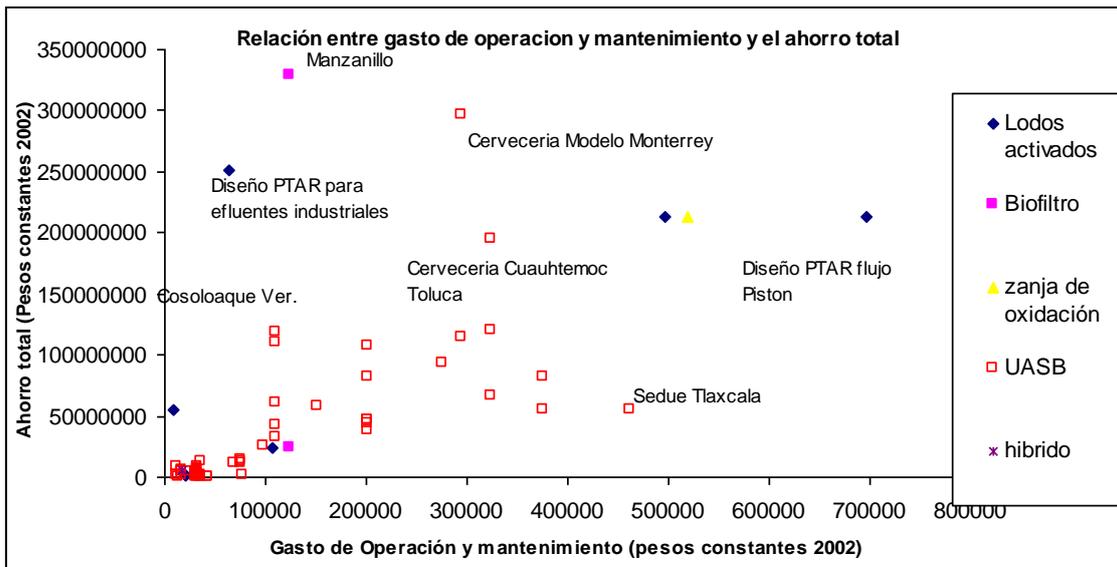




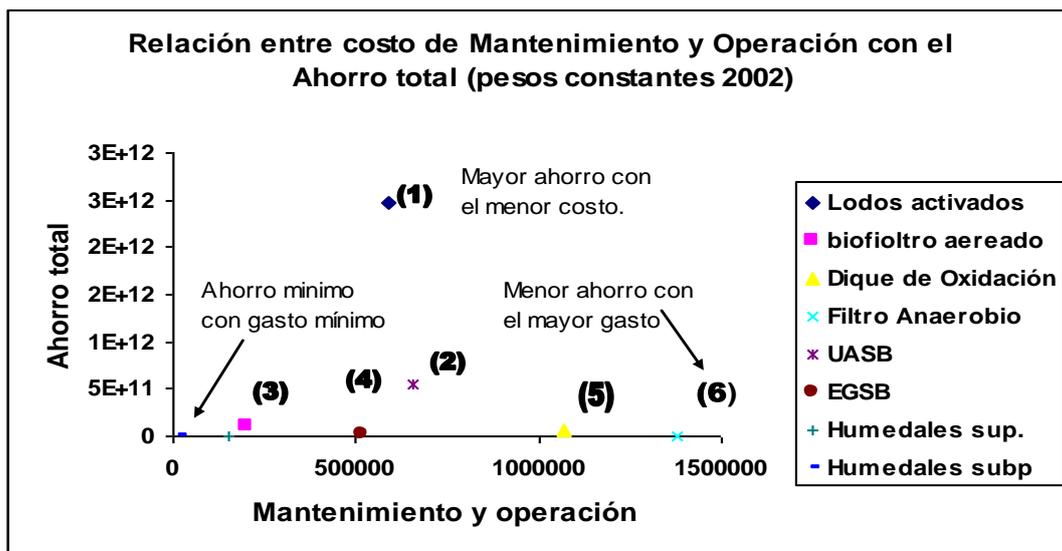
Gráfica 4.19. Ahorro total (por multas no pagadas y por no consumo de agua potable) de los diferentes sistemas de depuración.

Tabla 4.7. Ahorro generado por los diferentes sistemas de depuración

SISTEMA DEPURATIVO	En pesos constantes (Base 100 año 2002)		
	Ahorro por no pagar multas por violar la NOM-002	Ahorro por no consumir agua potable al sustituirla por agua tratada.	Ahorro total.
Lodos activados	9219638267	2.45975E+12	2 468 970 000 000.00
Biofiltro aireado	391011344.2	1.0432E+11	104 711 000 000.00
Dique de Oxidación	208469996.8	55618605137	55 827 075 133.00
Filtro Anaerobio	4314037840	1.15096E+12	1 155 270 000 000.00
UASB	3393415.22	5.4419E+11	544 193 000 000.00
Hibrido	78041209.55	20820949223	20 898 990 432.00
EGSB	78718969.78	21001771785	21 080 490 754.00
Humedales flujo superficial	2957325.71	788997618.2	791 954 943.9
Humedales flujo subsuperficial	1346925.778	359352109	360 699 034.8

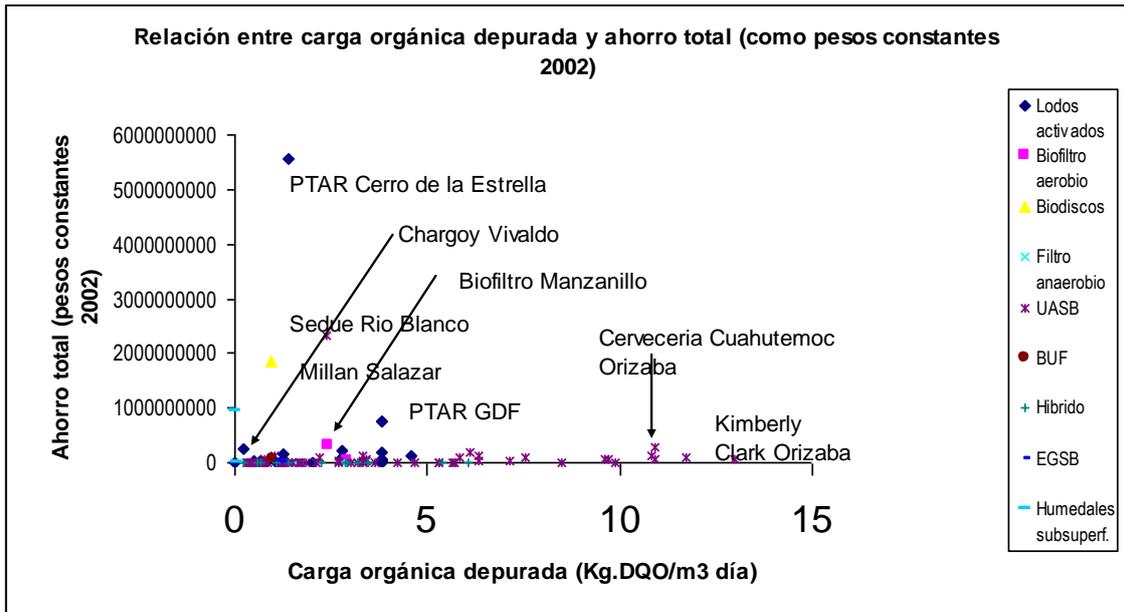


Grafica 4.20. Relación entre el costo de operación y el ahorro total de los diferentes sistemas depuradores.



Gráfica 4.21. Relación entre el costo de Mantenimiento y Operación con el ahorro total de los diferentes esquemas depuradores.

En esta gráfica se puede apreciar de que a pesar de todas las desventajas que arrastra las PTAR de lodos activados, estas son las que generan el mayor ahorro por gasto (MyO), mientras que los filtros anaerobios son los que dan ahorros menores y gastos mayores. Por ultimo, los humedales (tanto superficiales como subsuperficiales) se presentan como sistemas poco prácticos para depurar aguas residuales, pero que no son muy onerosos.



Gráfica 4.22 Relación entre la carga orgánica depurada y el ahorro total

## **Capítulo 5.**

### **Discusión.**

Evaluar los diferentes sistemas que descontaminan el agua representa un reto si solo se hace desde la perspectiva de la ingeniería sanitaria o técnico-científica, ya que son una gran cantidad de elementos socioeconómicos que intervienen y que de una u otra manera pueden incidir en dicho desempeño. Es por esta razón que procederemos a desglosarlos de menor a mayor complejidad en:

#### **I.- Valoración interna de las tecnologías.**

- 5.1 Problemas de diseño
- 5.2 Heterogeneidad agua residual
- 5.3 Falta personal capacitado
- 5.4 El problema de los lodos
- 5.5 Las aguas residuales ¿Opción para el riego agrícola?
- 5.6 Evaluación de los sistemas depurativos.

#### **II Valoración Externa de las tecnologías.**

- 5.7 Renovar los sistemas de tratamiento mediante la transferencia de tecnología
  - 5.7.1 ¿Eliminar las plantas de tratamiento?
  - 5.7.2 ¿Los sistemas anaerobios son la opción mas adecuada?
  - 5.7.3 Las desventajas (cuando se saben sumar) son ventajas
  - 5.7.4 Transferir tecnologías, rediseñar la ingeniería o simplemente racionalizar los procesos productivos.
- 5.8 El nudo de la racionalidad.
  - 5.9. Evaluación de los sistemas depurativos.
    - 5.9.1.- Costo por no actuar. (Situación actual)
    - 5.9.2.- Costo por actuar ahora.

#### **5.1 - Problemas de Diseño.**

Un problema muy común en las PTAR, principalmente en las que utilizan el esquema de lodos activados, son aquellas asociadas a un diseño inadecuado, es decir, con una idea equivocada de las condiciones que imperan en el terreno, (Acevedo 2001: p. 23)

lo cual hace que se presenten fallos desde su construcción y arranque, mismos que se traducen en paros técnicos Del total de plantas de tratamiento (Sánchez Pasten 1998: pp. 23-24) se tiene que de 808 plantas, 193 no están en operación por diferentes problemas como diseños poco serios, fallas en la construcción, abandono de las unidades de tratamiento, falta de información de campo falta de recursos financieros y falta de personal especializado. Otros investigadores muestran (Seguí 1996: p. 4), “:Del total de plantas construida, 225 no están en operación debido a diferentes problemas que van desde el diseño mal concebido, no consideran información de la localidad están mal construidas, etec, sin olvidar problemas políticos” y mas adelante (Op, cit: p. 5) “ (...) solo esboza que las evaluaciones de los proyectos de tratamiento de aguas residuales en el país han sido mal realizados, ya que de 684 proyectos, 225 de estos no se encuentran funcionando y los 459 restantes solo el 27% (187) funcionan en los rangos de eficiencia para los cuales fueron diseñados” Tal parece que esta situación fue frecuente en los primeros 30 años de operación de los sistemas de tratamiento, ya que esta situación se reporta (Frías 1983: p.24) donde el contratista no se molestó en verificar la pertinencia de su diseño para el problema que fue contratado y, peor aún, la reiterada omisión de la autoridad federal de darse por enterada, situación que otros también señalan, (Hernández Zamora 2001: p. 74) lo cual a su vez refleja la poca correspondencia que existe entre el actuar de estos sistemas con la normatividad ecológica y administrativa principalmente en la documentación que debe de acompañar a la operación de estos sistemas y que deben de existir (como son los manuales de operación, así como los planos de ingeniería básica y la memoria de cálculo), los cuales brillan por su ausencia.

Un problema adicional que tiende a nulificar los diseños propuestos, principalmente para los sistemas de lodos activados de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, es la mecánica de los suelos donde estos se encuentran, es decir, que el asentamiento diferencial del subsuelo, debido al agotamiento de los acuíferos provoca un asentamiento diferencial sobre la infraestructura de las PTAR, las cuales como informa un documento para la Dirección de Construcción y Operación Hidráulica (hoy Comisión de Aguas) (Manrique 2003: p. 78 ) al desnivelarse sus estructuras, se altera el patrón hidráulico (como son los tiempos de retención hidráulica), claves para el éxito depurativo de las mismas. Como es fácil adivinar, dichos asentamientos diferenciales del suelo tienden a acentuarse conforme pase el tiempo y por tanto, el proceso depurativo también se verá modificado. Como una medida paliativa a esta situación, se puede agregar a los vertederos de los sedimentadores (por donde escurre el agua tratada), la colocación de paneles que puedan enfrentar este inconveniente. Dicha

situación ocurre muy en especial en las PTAR que se encuentran en los suelos lacustres, como son las PTAR de las delegaciones Tlahuac, Cuauhtemoc, Gustavo A. Madero, Tlalpan, así como en el municipio de Ecatepec. Sin embargo, a pesar de esta problemática, estos sistemas son los que generan la mayor cantidad de agua tratada (graficas 4.1 y 4.2)

## **5.2 Heterogeneidad del agua residual.**

Un rasgo donde existe una unanimidad universal en todos los autores consultados es la heterogeneidad de las aguas residuales, las cuales, lejos de permanecer constantes, cambian su cantidad y calidad en función no solo del tiempo sino también de su situación geográfica; razón por la cual es difícil que exista un diseño ideal para enfrentar este problema. Por ejemplo, de acuerdo con los datos que arroja la Secretaria del Medio Ambiente del D.F. en su “*Diagnóstico de la Calidad del agua residual por sectores*” (citado por Gómez 2005:p. 63) vemos que solo para la zona de Azcapotzalco se vierten al drenaje los efluentes de 20 industrias peleteras (con gran cantidad de cromo hexavalente, muy tóxico) así como de papeleras (que a su vez arrojan lignanos y lignosulfuros, muy difíciles de degradar); esto representa más del 60% de la industria de estos ramos del Distrito Federal, situación que contrasta con las PTAR de Tlahuac donde no se presenta este problema. No tienen nada de raro que el lago Tezozomoc, el cual es llenado con el agua tratada proveniente de la planta “El Rosario” en la Delegación Azcapotzalco, tenga altos niveles de metales pesados (Barceló 1993: p. XXIII).

Sin embargo, en los años 50's y 60's del siglo XX no se pudo prever la emergencia de nuevas sustancias contaminantes, producto de la creciente industrialización que se dio no solo a nivel mundial, sino también en el centro de la Republica mexicana, Entre estos debemos de contar no solo al desplazamiento de los jabones tradicionales por los surfactantes aniónicos (es decir, los detergentes) (Nicanor 1994: pp. 8-10) los cuales no solo desplazan a la industria nacional ya asentada, sino que modifican usos y hábitos de la población, arrojando cada vez mas a los drenajes sustancias con una biodegradabilidad muy baja (las cadenas ramificadas de los alquilbencenos) (gráfica 4.9), las cuales van acumulándose poco a poco en los cuerpos de agua, y mas grave aún, incorporándose a la cadena alimenticia; el costo de depurar los surfactantes del agua utilizando lodos activados con ozonificación y lodos activados con espumación es \$1.84/m<sup>3</sup> y \$ 2.93/m<sup>3</sup> respectivamente, costo que se debe de adicionar al costo de depurar el agua, mientras que los costos de eliminar el exceso de fósforo que aportan los detergentes requiere a su vez un costo \$ 0.63/m<sup>3</sup> 0.175 y \$ 0.68 /m<sup>3</sup> (Op. cit.:p.

88). Otros compuestos que afectan al desempeño de estos sistemas son los derivados del fenol, los cuales provocan una baja en el desempeño de las PTAR, como la del cerro de la Estrella, por formar clorofenoles, los cuales son moléculas tóxicas para los consorcios bacterianos de las PTAR..

De igual manera, la aparición de los disruptores endocrinológicos sorprendió a todos, los cuales incluso en la Comunidad Europea estos habían sido invisibles hasta la década de los 80's, cuando los efectos sobre la feminización de los peces silvestres fueron inocultables. En nuestro país este fenómeno solo es conocido en los círculos de los especialistas, (Vega 2007:p. 394). En cuanto a la depuración de estas sustancias, esto se podría lograr hasta en un 97% en las PTAR de lodos activados con tiempos de retención mas largos (el doble o el triple de los tiempos actuales), es decir, a mayor costo. Como señalan otros investigadores (Molina 2008: pp. 13-14) en la ciudad de México los nonifenoles alcanzan los 14 mg/L, lo cual está muy por encima de lo que marca la Comunidad Europea, pareciendo con ello que en los países subdesarrollados los problemas de contaminación se dan en escalas más severas. Ante esta situación se ha señalado (O'Brian 2004: pp. 329) que en la actualidad las PTAR fueron diseñadas y construidas para depurar solo materia orgánica; sin embargo ahora tienen la tarea adicional de depurar el incremento –no solo de cantidad, sino asimismo, de sustancias hasta hace poco inéditas—lo cual llevara al alargamiento de los procesos tradicionales o la introducción de una nueva tecnología. Lamentablemente, no se puede decir lo anterior de los desechos farmacológicos, los cuales son vertidos por las empresas fabricantes y que al ser muy difíciles de biodegradar, son canalizados a los distritos de irrigación que son beneficiados para el riego de cultivos agrícolas. De la misma forma, la entrada masiva de efluentes de las industrias metalmeccánica, textilera y de la curtiduría aportan contaminantes que no solo son casi imposibles de biodegradar, sino que además, intoxican a los consorcios bacterianos, nulificando su acción depuradora. (Estrada 1993: p. 25).

A este respecto se puede valorar en la gráfica 4.1 la gran variabilidad de propuestas que se recogen en el presente trabajo. Nótese que los diseños teóricos y los trabajos experimentales presentan menos problemas con la biodegradabilidad de las aguas, mientras que los sistemas que se abocan a degradar agua residual "*in situ*", es decir, aguas residuales reales, los resultados son menos optimistas (como son el caso de las PTAR del GDF y del humedal que trabaja con aguas del río Magdalena, en los viveros de Coyoacan) (grafica 4.9) cosa que se puede ver asimismo (gráfica 4.4) donde los resultados teóricos son mas halagüenos, al igual que para los sistemas anaerobios (gráfica 4.10)

Otro elemento que es importante considerar es que la materia orgánica, aunque sea fácilmente biodegradable, si se vierten en exceso al drenaje, pueden sobrecargar a los sistemas, mermando su eficiencia y en consecuencia, dejando una gran cantidad de materia orgánica en las aguas tratadas. Esto es importante, ya que al final de los trenes de tratamiento, por lo general se agrega cloro, el cual puede reaccionar fácilmente con la materia orgánica no depurada, formando cloroaminas. Lo anterior no solo es debido a la densidad poblacional de la ZMCM, además de las industrias que vierten al drenaje volúmenes con altas cargas orgánicas, como son las industrias alimenticias, (ejemplo la del nixtamal) Lo anterior sugiere que los sistemas de depuración no solo se encuentran ante el reto de depurar cada vez mayores cantidades de materia orgánica, razón por la cual sea en extremo atractiva las posibilidades que ofrecen los sistemas anaerobios (gráfica 4.5 y 4.6); sin embargo, no debemos olvidar que los sistemas anaerobios son fácilmente inhibidos por las sustancias recalcitrantes, las cuales son muy abundantes en los drenajes de la ZMCM.

### **5.3 Falta de personal capacitado**

Una gran cantidad de autores que han evaluado *"in situ"* los diferentes sistemas de depuración, coinciden en que muchos casos hay una falta de preparación y capacitación del personal que atiende a dichos sistemas, siendo lo anterior válido tanto para los sistemas de tratamiento gubernamentales, tal como señalo Manrique (Op. Cit: p. 45 y subsiguientes) como para aquellos que se encuentran en manos privadas (Torres 1986: p. 40). Esto no solo redundo en que las situaciones de salud puedan ser precarias, sino que como otros señalan (Mondragón 2001:p. 58; Hernández 2001: p. 75) el proceso depurativo se vea afectado, lo cual demerita el resultado final. Sin embargo, es importante hacer notar que existen casos, en la literatura mundial (Hamerlan 1999: p. 77) señala que el personal bien entrenado y motivado son un elemento valioso como fuente de innovaciones importantes en la depuración del agua.

### **5.4 El problema de los lodos.**

Desde una perspectiva global, las aguas residuales, por muy contaminadas que se encuentren, operan sobre ellas, de forma natural, fuerzas físicas, químicas y biológicas que tienden a limpiarlas. Lo único que hacemos es encauzar dichos procesos para obtener un efluente con una calidad determinada. Así pues, los problemas de la depuración de las aguas comienzan cuando aparecen los subproductos de esa depuración, es decir, cuando los lodos comienzan a ser generados. Cada gránulo de lodo esta compuesto por una mezcla muy heterogénea de diferentes especies de

bacterias, materia orgánica en forma de gel, agua atrapada y materiales inorgánicos como granos de sílice. Si bien es cierto que la cantidad de nutrientes (como nitratos y fosfatos) se encuentran en altas concentraciones, la acción de las bacterias lo convierte, en un lapso de tiempo muy breve, en una masa viscosa nauseabunda y en el caso mexicano, con una gran cantidad de patógenos y parásitos. En varios países, los lodos pueden ser dispuestos, sin ningún problema en los suelos agrícolas; en países de la Comunidad Europea se aplican en un 45 a un 56% (Lue Hing: 1996: p. xxii) mientras que en Estados Unidos y Canadá, estos biosólidos se aplican en un 60 y 43% respectivamente gracias a que existen buenos sistemas de digestión (aerobia y anaerobia de lodos) así como un número muy pequeño de huevos de helmintos y quistes de protozoarios presentes. A este respecto (Aguilar Ortega 2006: p. 13) comenta que el gran inconveniente de aplicar los lodos que se producen en los drenajes y sistemas de depuración en territorio mexicano es la gran cantidad de huevos de helmintos que estos contienen. Para el caso de los países subdesarrollados en general y México en particular, los números de huevos de helmintos y de quistes de protozoarios son muy elevados, no siempre existe la costosa infraestructura que permite digerir y disponer de forma adecuada dichos lodos, razón por la cual (por no hablar de la presencia de metales pesados y sustancias tóxicas presentes) no es prudente disponer de estos biosólidos en los suelos, aun cuando existen experiencias en algunos lugares de la república que reportan buenas aplicaciones de lodo como mejorador de suelos agrícolas. (Vaca, 2006, sesión 9 de julio).; sin embargo este tipo de procedimientos se debe de aplicar con precaución, porque como lo señalo un equipo mexicano-canadiense (Belmont 2006: p. 33) los noxifenoles y sus derivados pueden persistir en los biosólidos de las PTAR de lodos activados e incorporarse en consecuencia a la cadena alimenticia de los humanos

La ZMCM produce un volumen de 650 000 toneladas al año, de las cuales 23 430 de ellas provienen de las PTAR del DF, de las cuales la PTAR del cerro de la Estrella y de San Juan de Aragón son las que producen los mayores volúmenes (grafica 4.9) (Secretaria del Medio Ambiente GDF2005: p. 32), lo cual representa no solo el lodo generado por las 22 millones de personas que habitamos en esta cuenca y que en conjunto representa una fuerte erogación (gráfica 4.11) tanto por su costo implícito como por el gasto que debe de considerarse por confinarlo. Por añadidura, existe la prohibición expresa, por la NOM-004-ECOL, la cual señala que no se puede verter el lodo al drenaje ni disponerlo en el suelo si no se tiene ciertas normas mínimas, las cuales por lo general, no se cumplen.

Es aquí donde se pone a consideración el abandono del actual sistema depurativo basado en lodos activados y sustituirlo por el sistema anaerobio o en su defecto, por el sistema fisicoquímico conocido como Tratamiento Primario Avanzado (TPA). Como ya se había revisado anteriormente, el primero de ellos se distingue por producir una cantidad muy pequeña de lodos, mientras que el segundo, si bien genera una cantidad apreciable de lodos, puede depurar un volumen considerable de aguas de forma rápida. Si bien los sistemas anaerobios tienen la ventaja anteriormente señalada, además de producir biogás, es importante señalar que los consorcios bacterianos son sensibles, al igual que los consorcios aerobios, a las sustancias recalcitrantes. Algunas de estas sustancias, como los fenoles, pueden ser degradados por estos consorcios, después de un periodo (variable) de adaptación. Sin embargo, algunos compuestos cuya naturaleza es aromática (es decir, molecularmente sus cadenas se encuentran formando anillos muy ramificadas, son inatacables para el sistema enzimático de las bacterias anaerobias (Almendariz 2005: p. 393) como son los creosoles, los cuales al final llegan a inhibir la actividad de este grupo bacteriano, y en consecuencia, incorporando dichas sustancias recalcitrantes a los lodos.

Por otro lado, en cuanto al Tratamiento Primario Avanzado, si bien es un sistema joven que aún no ha mostrado todas sus bondades, ha sido propuesta para sustituir el sistema de lodos activados por el sistema Tratamiento Primario Avanzado (Hammerlan 1999: p. 77) como la mejor opción para las megaurbes del tercer Mundo. A esta propuesta se han sumado varios investigadores en México, mejorándola sustancialmente (Jiménez 2001b: pp. 179-182) acompañándola con dispositivos tales como filtros de arena y placas inclinadas, destinadas para mejorar la retirada de partículas y sólidos e inclusive, como un elemento para retirar una gran cantidad de quistes y huevos de parásitos sin quitar el nitrógeno y fósforo tan apreciado por los agricultores; el equipo de Jiménez propone una variación de la propuesta de Harleman y Murcott (Chávez 2006: p. 47) ya que esta tiene, al parecer, un uso excesivo del sulfato de aluminio; sin embargo, parece ser que no existe problema con el aluminio, (Muñoz Nava 1999: p. 25) se puede inmovilizar en el suelo, sin problemas de bioacumulación como floculante de la materia orgánica, generando en consecuencia no solo un volumen muy alto de lodos, sino lo que es peor, con una gran cantidad de sulfatos., los cuales, en un ambiente reductor, forman sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), el cual no solo es sumamente corrosivo, sino también tóxico. A este respecto (Jiménez 2004: p. 176) se muestra que en la actualidad existen mas de 780 000  $m^3$  de lodos con exceso de sulfuro de hidrógeno, los cuales por su peligrosidad necesitan ser confinados; seguramente a un costo enorme, lo que significa que si se implementara el

sistema APT, se tendría que considerar un gasto por lo menos equivalente para confinar dicha cantidad de lodos. Sin embargo Jiménez y colaboradores proponen (Barrios 2001: pp. 85-87) la alternativa de que el lodo generado por las APT puede ser posteriormente tratado agregando ácido acético (aproximadamente 15 litros/1m<sup>3</sup>) con la finalidad de obtener biosólidos clase B, los cuales pueden ser aplicados como mejoradores del suelo,

La alternativa es pues, tratar los lodos generados Para este fin se puede degradarlos con digestores aeróbicos (lo cual requiere un costo energético considerable) mientras que la degradación anaerobia si bien es a un costo menor, prácticamente no puede hacer frente a la gran cantidad de lodos que se producen de forma diaria. Ejemplo de ello es el reactor UASB para digerir los lodos de la PTAR del Cerro de la Estrella (Pérez García 1999: p. 34), con una capacidad de 27.4 m<sup>3</sup>, utilizando una alimentación diaria de 5 a 5 m<sup>3</sup> de lodo- cuando está planta produce 5000 m<sup>3</sup> diarios de lodos— produciendo de 7 a 10.5 m<sup>3</sup> de metano, lo cual equivale a la producción de 52.92 a 75.6 KWH; sin embargo, no se puede reducir el número de huevos de helmintos, por lo que no se puede recomendar estos biosólidos como acondicionadores de suelos. Quizás esto explique el por que las PTAR del Distrito Federal, aún teniendo digestores y espesadores de lodos, terminen vertiéndolos al drenaje, tal como lo señala Manrique (Op. Cit: p. 43) lo cual es un contrasentido y una abierta violación a la Norma Oficial Mexicana 004, pero que en vista de que estos biosólidos no se pueden almacenar ni distribuir (por los altos costos que genera) así como por tener un número elevado de huevos de helmintos, tampoco se considera viable aplicar estos biosolidos a los suelos. Sin embargo, existe la posibilidad (Rosas Urbina 2007: p. 32) de utilizar el exceso de lodos activados e incorporarlos a un sistema SBR, el cual si bien se piensa que ya está anticuado, puede producir lodo granular, el cual es susceptible de convertirse en lodo anaerobio, con alto valor en el mercado además de remover una carga orgánica interesante.

Acumular los lodos en la superficie o en el drenaje es un espinoso problema, ya que los sólidos orgánicos que se almacenan sufren de un proceso de licuafacción, es decir, que generan lixiviados. Estos líquidos que se desprenden no solo de los lodos sino también de los vertederos municipales donde se acumula la basura, tienen una carga orgánica elevadísima (Qasim 1994: p. 21) de 10 000 a 40 000 mg de DQO en un litro (es decir, estos líquidos están hasta 100 veces mas contaminados que el agua residual mas polucionada del DF, aunque en el Bordo de Xochiaca, los valores

promedio varían alrededor de 307mg/L), así como cantidades muy altas de nitrógeno amoniacal, las cuales van de 56 a 482 mg/L; dichos lixiviados al escurrir llevan también metales pesados muy tóxicos como arsénico y cromo hexavalente, organoclorados con gran potencial cancerígeno, los cuales permean hacia los acuíferos, contaminándolos. El tiradero del bordo de Xochiaca es un buen ejemplo de ubicación desafortunada de tiraderos justo encima del acuífero donde se abastece al oriente de la capital del país (Londoño 2004: p. 12)

Como puede verse, la generación de lodos representa un problema colosal, sin embargo, desde otra perspectiva, puede ser también generador de soluciones. Por ejemplo, la comunidad bacteriana que forman los lodos se encuentran especies como *Alcaligenes sp*, *Pseudomonas olovarans*, *Bacillus megaterium*, *Methylobacterium sp*, *Notocardia sp.*, *Eutrophus sp.*, *Protomonas sp.*, entre otros; dichos organismos en condiciones de falta de nutrientes pero con una alta cantidad de carbono (situación que se llega a dar en los lodos residuales) producen polihidroxicanoatos, los cuales son poliésteres que pueden convertirse en biopolímeros degradables, los cuales son muy cotizados en la industria. Estas moléculas fueron conocidas desde hace casi 100 años cuando Beijerinck los describió (Simón 2008: pp. 23-24) obteniéndose en 1950 la primera patente para producir plásticos biodegradables mientras que en 1958 Williamson determina sus propiedades físicas y químicas. En la actualidad en Estados Unidos produce 800 toneladas. En la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria produce, a nivel experimental, pequeñas cantidades de biopolímero. Por otro lado (Maciel 1997: pp. 56-60) nos muestra que los lodos producidos al tratar los efluentes de la industria del ensilado del Cempasuchitl, producen 216 kg de lodo diario, lo cual, cuando es separada y secada la proteína genera 12 650.02 Kg. de proteína al año, lo cual proporciona una ganancia de \$ 437 927.00 M.N (pesos constantes 2002). El autor afirma que al final se puede recuperar la inversión en 4.51 años.

### **5.5 Las aguas residuales ¿Opción para el riego agrícola?**

A nivel nacional la agricultura es un gran consumidor de agua, con tasas de hasta 80% del volumen total; el escenario que tenemos para el futuro inmediato es que ante el crecimiento de la población mexicana y la necesidad de que crezca el Producto Interno Bruto, será necesario incrementar las áreas de riego, para poder enfrentar la futura demanda de alimentos, en el supuesto de que se requeriría no depender de la importación de cereales. En consecuencia, se tendría que incrementar las superficies de riego, es decir, incrementar la infraestructura hidráulica (Elizondo 2004: p. 43) la cual es la responsable de más de la mitad del aporte de los granos en el país.

Siguiendo este escenario, se necesitaría, para cubrir apenas la demanda de granos básicos que las áreas irrigadas crecieran un 4.5%. Sin embargo, al no existir áreas disponibles, solo quedaría que estas crecieran a expensas de las áreas boscosas, las cuales son las generadoras de agua. Es decir, se necesita que crezcan las áreas irrigadas pero no existe ni el recurso territorial ni tampoco el recurso hidráulico.

De ahí es que desde hace tiempo se evalúa la opción de utilizar las aguas residuales para el riego agrícola. De hecho, esta opción tiene largo tiempo de ser utilizado, ya que se ha documentado su aplicación en la localidad de Bunzland, Alemania y en Edimburgo, Escocia, donde comenzaron a operar, para el primer caso en 1531 y para el segundo, en 1650. En algunas otras granjas, tanto en la zona de Londres y París comenzaron a utilizarlo en 1868, así como en Berlín en 1876 y en Merlourne en 1892. (Tang 2004: p. 2303) seguramente de la observación de que el rendimiento agrícola se incrementaba después de utilizar esta agua. En efecto, las excretas son ricas no solo en compuestos de carbono sino también de nitrógeno amoniacal y de fósforo. Si bien el nitrógeno amoniacal no es de mucha utilidad, las bacterias del suelo *Nitrosomas sp* y *Nitrobacter sp* pueden transformarlo en nitritos y nitratos, los cuales son nutrientes excelentes de las plantas, mientras que el fósforo es indispensable para el crecimiento de cualquier planta. De tal forma que utilizar las aguas residuales municipales no es una mala opción. Para valorar la experiencia mexicana (Martín 2005: p.63), se contraponen con las experiencias de varios países en desarrollo que utilizan las aguas residuales para irrigar los campos de cultivo, a partir de los casos de estudio tales como son Ghana, Bolivia, Pakistán y Túnez. En todos estos casos se detectan las limitaciones tales como el manejo de nutrientes, cambios de irrigación, regulación de riesgos para la salud y derecho y uso de aguas. Para el caso nacional, Jiménez y Ramos han mostrado (Jiménez 1996: p. 58) que los cultivos de alfalfa y maíz irrigados con aguas residuales tenían un incremento en su productividad de 75 y 150 % respectivamente. La ciudad de Ensenada puede convertirse en el ejemplo a seguir, ya que es la única ciudad en México que trata sus aguas residuales en su totalidad. Hasta hace poco tiempo, solo se utilizaba una pequeña fracción de esta agua para irrigar algunos campos deportivos, tirando el resto de estos líquidos al mar. Sin embargo, (Mendoza 2008: p. 1447) comenzaron a regar sus viñedos (que son los que cubren la demanda nacional vitivinícola) con los efluentes de esta planta de tratamiento; al tener una aportación extra de nutrientes, la producción vitivinícola se ha incrementado. De hecho, se aporta 1.22 a 1.81 Kg. de nitrógeno/hectárea, mientras que para los fosfatos se aporta de 13.4 a 20 Kg. /hectárea. No es sorprendente que los viñedos regados con agua de pozo no tengan rendimientos tan apreciables como los las parcelas

irrigadas con las aguas residuales. No se detectaron cambios en la calidad ni en la cantidad de uvas, así como tampoco se detectaron coliformes fecales ni totales. Sin embargo, quizás haya que tomarse con algunas reservas sobre la importancia de los aportes de nitrógeno proveniente de las aguas residuales a los cultivos, porque (García Jaramillo: p 34) gran parte del aporte del nitrógeno que aportan las aguas residuales a los cultivos, se pierden por los procesos de desnitrificación y lixiviación.

Por lo general, el uso de las aguas residuales puede ser un recurso muy cotizado en lugares donde no existe la suficiente agua para sostener la agricultura. Es por ello que el Valle del Mezquital recibe dichos efluentes, ya que la evapotranspiración es 5 veces mayor que las precipitaciones pluviales (Bravo 2008: p. 1843) Por supuesto, existe la preocupación por el destino de los contaminantes que se encuentran en las aguas residuales y que al entrar en contacto con la tierra, la polucionen ya que pueden movilizarse y contaminen no solo los alimentos de las personas e inclusive percolen a través del suelo hasta los acuíferos, en especial con los metales pesados. Por lo que parece, al menos a lo que se refiere al valle del Mezquital, que tiene un siglo de ser irrigado con aguas residuales provenientes de la ZMCM, estos temores no se cumplen, ya que por lo menos no hay elementos para pensar que sea grave. (Siebe 1995: p. 33) ya que se encontró que no existen cantidades de metales pesados por arriba de los límites mínimos; solo se encontró en algunas pocas zonas del Valle el cadmio, que se encontraba por arriba del límite superior. Sin embargo, es importante señalar que el arsénico (Méndez 1990: p. 46), el cual es un metal bastante venenoso se encuentra presente en los suelos del Valle del Mezquital, alcanzando hasta 0.36 mg/Kg., si bien se encuentra por debajo de los límites permisibles, pero que puede, en caso de que sigan las tendencias, a incrementarse. Una parte importante de este arsénico es de origen geogénico; sin embargo (Estudillo 2004: pp. 7-10) se nos advierte que una parte del arsénico tiene origen antropogénico, siendo sus principales fuentes tanto los detergentes En el caso de los detergentes, tienen un elevado contenido de arsénico, tanto como 13.8 mg/kg. (Jenkis 1994: pp. 806-807), ya que el fósforo proveniente de las rocas fosfatadas, las cuales se encuentran asociadas a pequeñas partes de arsénico) como de plaguicidas, entre otros compuestos.

En consecuencia, conforme se incremente el tipo de irrigación con aguas residuales por un lado y por el otro una tasa igual o superior de uso (y abuso) de los detergentes, a la larga incrementara el arsénico a niveles superiores a la tolerancia humana. Este problema se encuentra extendido a nivel internacional, ya que se han encontrado altos

niveles de este metal en China, USA, Chile, Bangladesh, Taiwán, México, Argentina, Polonia, Canadá, Hungría, Japón y la India. Esto afecta la calidad de los acuíferos en diferentes partes del mundo contaminados por arsénico, con riesgo para las poblaciones que dependen de esos aportes de agua (Mohan 2007: p. 1-53) Sin embargo, el nitrógeno tiene un comportamiento diferente, Algunos compuestos como los nitratos no presentan afinidad a algunos tipos de suelos—como el arcilloso-arenoso—razón por la cual el nitrito y nitrato no se adsorben a la superficie de las partículas del suelo y por tanto, dichas sustancias pueden llegar fácilmente al acuífero, contaminándolo, a niveles que superan las normas nacionales (Thimoty y Cifuentes 1999: p. 560) , ya que para el caso de el nitrato, nos encontramos que en las aguas del acuífero alcanza el rango de 47 a 69 mg/L, cuando los estándares de salud marca 50 mg/L.

Lamentablemente, se ha entendido estos mecanismos a partir de dos casos mundiales que son ejemplares. El primero de ellos es en la región de Shijrazhuang cuyo volumen de riego por aguas residuales suman  $368 \times 10^8 \text{ m}^3$  y en consecuencia la contaminación de los acuíferos (sobre todo en zonas semidesérticas de este país) es alarmante; el otro caso se refiere al mismo Valle del Mezquital, con un grado de contaminación por nitratos grave. (Tang 2004: p. 2314) La experimentación con animales sugiere que el nitrato o el nitrito actúa directamente como un cancerígeno, pudiendo ser un factor de riesgo para el cáncer en humanos por formación endógeno de compuestos N-nitroso; la evidencia implica que altos niveles de nitrato en el agua de beber puede tener efectos colaterales con malformaciones congénitas, efectos cardiovasculares, así como de la tiroides, aun cuando esto no es concluyente (Downs 1999: pp. 560-561).El muestreo simple de los hogares campesinos marca un valor alto 73 mg/L, aunque hay otros lugares que muestra 47 mg/L mientras que el amoniaco rara vez abandona la rizosfera, por lo que no representa una amenaza a las aguas subterráneas.

Quizás uno de los aspectos mas preocupantes de casi 100 años ininterrumpido de irrigación en el Valle del Mezquital es la presencia de patógenos y parásitos, representando con ello un grave riesgo para la salud, habida cuenta que los periodos de inactivación de los parásitos son extremadamente largos, llegando para áscaris a casi 3 años (Nelson 2003: p. 93). Para el caso de los patógenos (como son las bacterias asociadas a los coliformes fecales, (tales como *Salmonella* y *Vibro cholerae*) no es solo su presencia en las aguas superficiales, sino que, mas grave aún, es que estos microorganismos han contaminado las aguas subterráneas, ya que el agua residual utilizada para el riego ha recargado los acuíferos de la zona (con un flujo de  $25 \text{ m}^3/\text{segundo}$ ), provocando con ello que se contaminen, principalmente en la zona

de Cerro Colorado (Aguilar y Jiménez 2008: pp. 927, 930) con coliformes fecales muy por arriba de cualesquier norma, afectando potencialmente la salud de las 170 000 personas de la zona.

Uno de los efectos de 100 años de riego con aguas residuales es la recarga de los acuíferos del Valle del Mezquital con aguas polucionadas, las cuales han contaminado las aguas del acuífero, razón por la cual se da un fenómeno doble, es decir, que en esa zona semiárida están brotando manantiales pero que también son aguas muy contaminadas, no aptas para el consumo humano. De hecho, para potabilizarlas, la cloración es insuficiente, sino que requiere el uso de la nanofiltración con ósmosis inversa, los cuales no solo remueven bacterias, virus, compuestos orgánicos y sales, sino que también remueven disruptores endocrinos y productos farmacéuticos. Si lo anterior fuera poco, una vía de contagio muy importante para los trabajadores agrícolas que están en contacto con las aguas residuales es que las bacterias que en ella se encuentran pueden también ser aerolizadas durante el riego (Páez 2005: pp. 809-810)

Se da por hecho que al utilizar aguas residuales sin tratar para la irrigación incrementa la posibilidad de adquirir alguna infección parasitaria por parte de los trabajadores agrícolas, ya que el contacto con este medio contaminado y un bajo nivel educativo garantizan la adquisición de la parasitosis. Sin embargo, esto es motivo de controversia. Trang y sus colaboradores (2007: p. 33) basándose en la experiencia vietnamita (donde el uso de las aguas residuales se encuentra muy extendido), las tasas de parásitos se encuentra muy baja entre los trabajadores agrícolas expuestos a este tipo de aguas gracias a una buena saneación y prácticas higiénicas; pero es importante hacer notar que en todos los casos estudiados a nivel mundial, sin lugar a dudas, los niños menores de 6 años (hijos de los jornaleros agrícolas) fueron siempre el grupo mas vulnerable de todos (Cifuentes 2000: p. 396)

El riego con aguas residuales puede llevar algunos beneficios, pero es importante ser cautos en este aspecto. Existen evidencias de que la función biológica del suelo, después de 100 años de riego ininterrumpido en el valle del Mezquital, se encuentra afectada (Ortega 2001: p. 156), así como también en el distrito de riego del río Turbio, en Guanajuato, después de varias décadas de uso de estas aguas (Álvarez Bernal 2006: pp. 276-277). Si bien de forma continua se señala que los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de las aguas residuales son mejoradores de suelo, ello no quiere decir que se deba de aplicar de forma indiscriminada (Orduña 2002: p. 35). Los lodos crudos y los lodos digeridos producen compuestos lixiviados que permean al

suelo, la migración de estos compuestos depende de la carga del compuesto y del tipo de suelos. El lixiviado de los lodos, cuando se combina con cloro, producen monocloroaminas, los cuales son cancerígenos muy potentes. Bien aplicados, los lodos digeridos elevan la productividad hasta en 26.1 toneladas/hectárea.

## 5.6 Evaluación interna de los sistemas depurativos.

NOMENCLATURA:

Lodos activados = L.A

Lecho anaerobio de lodos ascendentes =UASB

Lecho anaerobio de lodos expandidos = EGSB.

Biofiltro aereado = B.A

Biofiltro anaerobio = B. Anae.

Lagunas aerobias =Lag.Ae.

Humedales superficiales = H.S

Humedales subsuperficiales = H. Subsup.

**Por volumen depurado. Tabla 4.1**

L.A. > UASB > EGSB > B. A. > Lag. Ae. > B. Anae > H.
--

**Conclusión 1. Las PTAR de lodos activados son los que generan mas agua tratada. Los humedales en cambio son los que generan menos agua tratada**

**Por depuración de Kg. de DQO. Tabla 4.2**

UASB > B. Anae. > EGSB > L.A > H.S.. > Lag. Ae
--

**Conclusión 2. Las PTAR tipo UASB depuran mayor cantidad de DQO**

**Por Costo ( \$ (constantes 2002)/ m<sup>3</sup> ) . Tabla 4.6**

L.A < B.A < UASB < EGSB < H. Subsup. < H.S.
---

**Conclusión 3 Las PTAR de lodos activados son los que generan menores costos por metro cúbico de agua tratada. Los humedales superficiales en cambio son los mas costosos por m<sup>3</sup>**

**Por costo ( \$ (constantes 2002)/ Kg DQO depurado). Tabla 4.6**

B.A< L.A< UASB < EGSB < H.S< H. subsup.
---

**Conclusión 4.- Los biofiltros aerobios son los que logran retirar la mayor cantidad de DQO contaminante a costos menores, mientras que los humedales son las opciones menos eficientes**

**Ahorro /Costo.** Gráfica 4.21

L.A. > UASB > B. A> EGSB >D.O > B. Anaer >H. sup > H. subsup.
---

**Conclusión 5. Las PTAR de lodos activados son los que generan mas ahorros totales con los gastos mas bajos, mientras que los humedales son los sistemas menos ahorrativos**

#### **ESCENARIOS DE ELECCION.**

##### **Escenario 1. Se prioriza la depuración sobre los costos.**

(Por volumen depurado). Se prioriza los PTAR de lodos activados.

(Por materia depurada) En este escenario la elección caerá sobre los sistemas anaerobias, principalmente las UASB y EGSB, las cuales tienen una sobrada capacidad de depuración sobre los demás sistemas.

##### **Escenario 2. Se prioriza los costos sobre la depuración.**

En este escenario la elección recaerá sobre las PTAR de lodos activados, siempre y cuando se continúe externalizando los costos (es decir, vertiendo los lodos al drenaje en abierta violación a la NOM-ECOL-004, como hasta ahora se ha hecho).

##### **Escenario 3. Se prioriza el retiro de materia contaminante (como DQO) por el mejor costo.**

En este escenario la opción mas adecuada son los Biofiltros aerobios, seguidos muy de cerca por los PTAR de lodos activados.

##### **Escenario 4. Se prioriza la relación mas alta ahorro/costo**

En este escenario se prioriza los sistemas de lodos activados sobre todos los demás sistemas por los altos ahorros que genera el no pago de derechos por verter desechos, por no pago de multas y por el reuso de agua tratada liberando agua potable. Esta última opción solo es viable cuando se apliquen las normas jurídicas en la materia y no se externalizen los costos.

#### **II:- Valoración externa de los sistemas depurativos.**

##### **5.8 ¿ Renovar los sistemas de tratamiento mediante transferencia de tecnología?**

Como se ha podido ver en esta revisión sumaria, el problema es colosal. Es decir, el problema de la contaminación del agua es cada vez mas grande, mas complejo y por si lo anterior fuera poco, mas costoso. Tal parece que ante un problema de tal magnitud se tendría que apelar a las mejores opciones tecnológicas para que se

pueda sustituir un sistema poco eficiente por uno de mejor eficiencia y en consecuencia, resolver el problema. Es en este punto donde se pretende revisar y posteriormente matizar, que los sistemas aquí valorados no solo son susceptibles de rediseñarse y mejorarse, sino que además, abrir el punto de discusión sobre la necesidad de adquirir tecnología de avanzada sin antes cuestionar el actual paradigma sobre la gestión del agua en México.

La anterior revisión muestra una extensa panoplia de formas por medio de las cuales se puede depurar el agua residual y obtener un uso adecuado del agua tratada. Lo primero que salta a la vista es que el sistema mas extendido, basado en el esquema de los lodos activados, presenta varios inconvenientes, entre ellos de que requiere elevados insumos (principalmente de energía eléctrica, del que es un gran consumidor) así como de ser un gran generador de lodos, el cual es un subproducto que no solo es muy difícil eliminar, sino que puede representar un riesgo para la población como un foco de infecciones así como de representar un costo pesado tanto si se desea confinar en lugares adecuados estos sólidos o bien, en su defecto, aplicar un considerable gasto para la adquisición de biodigestores. Por otro lado, para el caso de las PTAR de la Ciudad de México que salvo excepciones, operan bajo este esquema, presentan el problema de presentar el deterioro del equipo (aún cuando este es relativamente nuevo) como son los mezcladores y los sopladores y mas grave aún, de sufrir, como el resto de la infraestructura de la ciudad, los asentamientos diferenciales provocados por el hundimiento de la ciudad; lo cual provoca alteraciones en los procesos hidrológicos (principalmente en la zona de vertederos) lo cual afecta la calidad del efluente de la PTAR. En contraposición, puede verse, bajo una luz mas favorable, los sistemas anaerobios, los cuales son capaces de tener no solo de remover mayores cargas orgánicas que los sistemas aerobios, sino que no solo generan poco lodo (y cuando lo producen, lo dan ya digerido), con un consumo más modesto de energía para operar y la generación de metano, el cual es un subproducto que puede transformarse en electricidad y a través de su venta, recuperar la inversión, de forma tal que tendríamos que ir valorando la posibilidad de sustituir, de forma gradual un sistema costoso y de eficiencia baja por uno mas novedoso, eficiente y menos oneroso. El tema no es nuevo, sino que ha sido ampliamente debatido en el seno de la comunidad de la ingeniería ambiental, aún cuando el surgimiento de nuevos esquemas novedosos obliga a replantearse, de nueva cuenta, cual es la mejor opción para la Ciudad de México. Por otro lado, Hamerlan y Murcott proponen la instalación de un nuevo esquema (fisicoquímico) que ellos juzgan no solo novedoso, sino también adecuado para las megaciudades del tercer mundo (Hammerlan 1999: p.

78), y muy especialmente, la Ciudad de México. Puede apreciarse que han entrado al marco de la discusión nuevos elementos, como son los nuevos contaminantes emergentes, no considerados en las décadas pasadas y el problema, siempre presente, del abasto del agua a la Ciudad de México y el incremento de la subsidencia en la cuenca. Los argumentos propuestos por Hamerlan y Murcott son muy convincentes y tal parecen que, para la situación de la Cuenca central de México, es la más adecuada.

Los sistemas (tanto aerobios como anaerobios) tienen ante sí el reto de lograr una remoción no solo de mayores cantidades de materia orgánica (ya que la población ha crecido en las últimas décadas y con hábitos de consumo que favorecen la polución) sino que además, hacerlo a pesar de la presencia de compuestos tóxicos que tienden a inhibir o a nulificar la acción microbiana sobre estos compuestos, impidiendo su degradación, compuestos entre los que destacan no solo la presencia mayor de metales pesados, desechos de la industria farmacéutica, interruptores endocrinológicos entre otros. Por si eso fuera poco, se debe de considerar la remoción casi total de material cancerígeno (como son los compuestos aromáticos derivados de los hidrocarburos, como son los derivados de los detergentes, plaguicidas, y herbicidas, sustancias que se producen (y se consumen en cantidades mayores).

Por lo que se puede ver, los recursos financieros que se necesitan para construir y operar y dar mantenimiento a una planta de tratamiento de aguas residuales no siempre están disponibles. Existe una corriente de opinión que afirma que una forma de incrementar la inversión en el tratamiento de las aguas residuales es por medio de los contratos bajo el esquema BOT (Construir, operar y Transferir). Este esquema fue uno de los preferidos por el gobierno federal en la década de los 90's; sin embargo, tal pareciera que no tuvo el éxito esperado, ya que de las 50 plantas de tratamiento que se licitaron, solo sobrevivieron 12, otras 12 fueron renegociadas y 20 fueron canceladas *"De ahí que se necesita que los aspectos ecológicos, económicos y técnicos tienen que ser valorados, por que estos tipos de proyectos no aborten"*. (Hernández Zamora 2001: p. 74). Dentro del país, el estado de Guanajuato es el que se encuentra más inmerso dentro de esta visión. Así pues la autoridad estatal del agua (Maldonado 1999: pp. 15-16) afirma que si se garantiza la inversión privada a las plantas de tratamiento se tiene la ventaja de tener tecnología de punta, una mejor cobertura de drenaje y tratamiento mas eficiente a las aguas residuales (con la disminución de riesgo por enfermedades asociadas a estas aguas, así como personal técnico mas calificado. Posteriormente, ya bajo otra administración estatal (Sandoval 2005: p. 183), refiriéndose para el mismo estado, señala que el déficit que no puede

cubrir ningún nivel de gobierno para el drenaje y tratamiento es de \$ 211 377 281 anuales (pesos 2002) ya que por vía fiscal es imposible cubrirlo, ya que como ocurre en el resto del país, solo 3 consumidores de cada 10 cubren su consumo de agua. Esta perspectiva se agrava ya que este estado son muy pocas las ciudades que no dependen de los acuíferos para su abastecimiento, lo cual ha llevado una sobredemanda, que tiene a las aguas subterráneas próximas a sus límites de capacidad de abastecer el preciado líquido. (Ver Anexo 6 tabla XI. Diferentes formas en la que puede intervenir la iniciativa privada en la depuración del agua)

Aún así, se pueden mostrar algunos ejemplos que parecen ser exitosos bajo este esquema, tal es el caso de la refinería Antonio Dovalí (Barron 2006: p.46) que opera bajo un esquema B.O.O y que no solo han depurado con éxito los efluentes (que se caracterizan por ser muy tóxicos) sino que generó numerosos ahorros de oportunidad como el reuso intensivo del agua residual y la desalinización del agua de mar. (Ver Anexo 6 Tabla XII. Un ejemplo exitoso de transferencia de tecnología para depurar el agua residual.)

#### **5.8.1 ¿Eliminar las plantas de lodos activados?**

Si bien la lista de problemas que enfrentan las plantas de lodos activados parece abrumadora, no se debe de olvidar que este tipo de sistema es la que por el momento produce la mayor cantidad de agua tratada en la Cuenca de México, usada tanto para el riego de áreas verdes, llenado de lagos y canales, así para las necesidades de parte de la planta industrial-- liberando una gran cantidad de agua potable—lo cual a su vez genera ahorros importantes. Quizás el argumento mas importante que tiene que considerarse, es que existen una gran cantidad de sustancias que no pueden degradarse a cabalidad en un sistema anaerobio—como es el caso de los interruptores endocrinológicos, así como los surfactantes—los cuales solo pueden ser removidos con el actual sistema de lodos activados, si se aplican tiempos de retención hidráulica mas largos; por otro lado no hay que olvidar que los colorantes azo, que se utilizan de forma muy profusa en la industria textil, al pasar por un sistema anaerobio producen metabolitos secundarios muy cancerígenos para los humanos (Quezada 2000: p. 335). Los detergentes que tienen un uso tan cotidiano, no pueden ser degradados por los sistemas anaerobios (Ternero 2003: pp. 69 y 75), máxime si estos presentan cadenas alquilbenceno. Si bien en estos momentos todas las PTAR de lodos activados se encuentran sobrecargadas tanto por los volúmenes a tratar como por las cada vez mayores cargas orgánicas, lo cual hace que estos sistemas puedan, en efecto alargar sus tiempos de residencia hidráulicos, cabe recordar que en todas

ellas en este momento están trabajando a niveles por debajo de su diseño, lo cual permite, de forma teórica, de alargar los periodos de tiempo de retención hidráulica y en consecuencia, mejorar su poder depurativo. Otra opción es la de rediseñar dichas plantas, con la finalidad de que mejoren el proceso que tienen o en su defecto, dentro del mismo esquema, modificarlo para incrementar la eficiencia.

### **5.8.2 ¿Los sistemas anaerobios son siempre la opción mas adecuada?**

En las últimas décadas al hacerse la evaluación de los sistemas de depuración de aguas residuales, las bondades de este esquema parecen sobrepasar sus inconvenientes. Sin embargo, valorando su desempeño en los casos aquí revisados, se tiene que matizar un poco más esta situación. La primera de ellas es sobre la ventaja de producir biogás, el cual, al tener un porcentaje tan alto de metano, su gran valor calórico puede generar electricidad, la cual se puede utilizar para este mismo proceso o bien, comercializándolo para recuperar los costos, muestra de ello es la alta producción de metano diario que se dan en estos sistemas (gráfica 4.12). Sin embargo, salta a la vista en los trabajos revisados (Monroy 2000: p. 1814) que muchos de estos sistemas en vez de almacenar dicho gas, prefieren perderlo a la atmósfera. Esta situación se debe que licuar el gas se tiene que aplicar un trabajo, el cual equivale al 25 % del gas producido, lo cual a su vez le resta ganancia. Lo que si parece fuera de discusión es que los sistemas UASB son los que se distinguen por depurar la mayor cantidad de materia orgánica a un costo menor (gráfica 4.13) destacándose entre ellos la PTAR UASB de la Kimberly Clark, aún cuando existen sistemas UASB de costos excesivos (Grafica 4.14). Es importante hacer notar que todas ellas son de diseño nacional.

La otra razón estriba precisamente en las características de los consorcios anaerobios. En ellos no solo existen bacterias degradadoras de las macromoléculas, las que son capaces de romper los carbohidratos, aminoácidos, etec hasta unas moléculas orgánicas mas pequeñas, las cuales son conocidas como Ácidos Grasos Volátiles (AGV'S), los cuales a su vez son aprovechadas por otras bacterias que forman a su vez metano a partir de la reducción de bióxido de carbono a metano utilizando los protones libres del ambiente reductor del reactor. Asimismo existen bacterias tales como *Desulfovibro sp*, las cuales obtienen su energía de la reducción del sulfato a sulfuro de hidrógeno, gas conocido también como ácido sulfhídrico y que es por lo tanto, muy corrosivo. Cuando se genera biogás, no solo hay gas metano sino también este gas, el cual, en caso de almacenarse, corroe el depósito que lo contenga, lo cual eleva los costos del mismo. Lo mismo ocurre con los motores generadores de

electricidad, los cuales sufren un desgaste excesivo por efectos de esta corrosión. Quizás esta sea la razón por la que algunas personas prefieran ventearlo.

Llegados a este punto, conviene entonces recuperar las posibilidades que algunos autores han señalado y valorarlas. De forma resumida, hay que ver que para los sistemas aerobios (tanto para plantas de lodos activados como para los biofiltros aerobios) se puedan aprovechar que estas se encuentran sobrediseñadas, por lo que amerita valorar si se puede utilizar a su capacidad total y por otro lado apelar al rediseño de las mismas, es decir, dentro de la estructura actual valorar si incorporamos procesos innovadores que puedan utilizar la infraestructura con la finalidad de que la inversión sea menos onerosa.

### **5.8.3 Las desventajas, (cuando se saben sumar), son ventajas.**

Salvo algunas excepciones se aprecia que los sistemas depurativos no están trabajando—salvo excepciones—a cabalidad con el 100% de su capacidad de diseño. A lo anterior se añade que al incremento de la carga orgánica en el drenaje por un lado y la presencia en cantidades cada vez mayores, de sustancias poco biodegradables, va a ser todo un reto a estos sistemas.

### **5.8.4 Rediseñar las plantas de tratamiento de aguas residuales.**

En consecuencia, es claro que en algunas plantas de tratamiento tendrán que ser rediseñadas, aun cuando en algunas otras mas que rediseñar su infraestructura podría mejorar sus procesos con solo cambiar parte de sus materiales para mejorar su proceso, cuestión sobre la que otros también son muy claros (Monroy 1995: p. 154). Por ejemplo, es el caso que se hizo a nivel de planta piloto (Orantes Ávalos 2001:p. 67) en la cual se utilizó para el lecho móvil unas cintas de plástico, fabricadas en el país y que le permitieron mejorar de gran forma la eficiencia del proceso, con la única desventaja de que la nitrificación del amoníaco se lleva a cabo de manera deficiente. Otro caso de mejoramiento de una PTAR sin necesidad de modificar las instalaciones se logró introduciendo una bomba de burbujeo (Chargoy 2004: p. 54), la cual tenía como fin principal hacer flotar los sólidos por medio del aire disuelto, logrando un efluente de gran calidad, el cual se utilizaba para disipar el calor en una torre de enfriamiento En cuanto a este punto—el de reconvertir las plantas de tratamiento, (Islas 2007: p. 26) señala que ello es factible, en base a criterios claros, los cuales son:

- Conservación de obra civil
- Uso de tecnología de punta ya probada.

Para el segundo punto es donde surge el problema de suyo complicado: **¿Como reconocer a la tecnología de punta?** Es decir, si estamos en la periferia de la tecnociencia cualquier diseño que llegue del centro va a parecer tecnología de punta, con el problema adicional de que no se conocerán los problemas ocultos del diseño—por ejemplo, si para su mantenimiento preventivo y correctivo se requiera insumos no accesibles en el país. Buch es bastante claro al señalar que *“La tecnología es un bien complejo. Si el adquiriente no es un especialista, carecerá de artillería para decidir si el “paquete tecnológico” ofrecido o disponible es conveniente o no”*.( Buch 2001: p. 43), indicando que dado que la tecnología es un elemento estructurante en la producción, el que vende la tecnología tiene una idea muy precisa sobre cual será el impacto en el mercado mundial de esta incorporación. En base a esta argumentación mas adelante señala (Op. Cit: p. 49) que por lo general, la tecnología transferida no es tan novedosa como parece. Por su parte Díaz de Cossio indica que por tecnología de punta a veces se entiende *“como el último grito de la moda”* (Díaz 1999: p. 14).

Otro problema que pocas veces se valora es que la elaboración de un diseño tecnológico se basa en una serie de criterios previamente establecidos. En su polémico artículo, Denny (1997: p. 29) señalo varios de los problemas que se asocian a la transferencia tecnológica del hemisferio norte al sur. Entre ellos era que tendían a favorecer tecnologías que son afines a las redes comerciales de los países desarrollados. Más adelante (Op. cit: p.31) al criticar el papel de los expertos, refiere que estos “trasladan” de forma casi axiomática las condiciones del hemisferio norte y las pretenden aplicar en zonas tropicales, con resultados poco halagüeños. Quizás eso fue lo que sucedió con el humedal de Akumal, el cual fue diseñado por un equipo de la Universidad de Florida e implementado y operado por otro equipo de la Universidad de Vermont (Whitney 2003: p. 264) algunos autores africanos y latinoamericanos advierten (Denny 1997: p. 29;; Jiménez 2007: p. 487 y Nelson 2004: p. 92) que el criterio de disminución del número de bacterias en un efluente es relevante en el país de origen—generalmente desarrollados—mientras que en los países en desarrollo este criterio pierde relevancia ante el problema de la parasitosis endémica por helmintos, problema casi desconocido en los países desarrollados, razón por la cual esta última cuestión no se contempla en el diseño tecnológico. Ejemplo de ello es que se pueden lograr remociones espectaculares de huevos de helmintos con tecnología menos sofisticadas en los países africanos aplicando una técnica basada en pozas de agua superficiales, junto con algunos cambios conductuales (Kone 2007: p. 4400); aplicando un principio semejante, (Blumenthal 2001: p. 135) se obtuvieron remociones igual de importantes en el Valle del Mezquital

y sobre todo, disminuyendo la frecuencia de enfermedades parasitarias en personas en contacto con este tipo de aguas, lo cual a su vez fue corroborado en la zona de Zimapan, dentro del Valle del Mezquital (Bravo 2008: p.1847). Por su parte Rivera trabajando humedales combinados con filtros de arena ha logrado remociones casi totales de amibas patógenas con tecnologías aptas a los campesinos hidalguenses (Rivera 1997: p. 277), aún cuando no deben de olvidarse las reservas que esta tecnología pueda suscitar (Sulliman 2006: p. 124). Sin minusvalorar el posible aporte de la tecnología de punta, pueden mejorarse los actuales procesos de depuración apelando a soluciones viejas, algunas de las cuales tienen mas de un siglo; por ejemplo, ante la biodegradabilidad cada vez mas difícil de las aguas residuales de la ZMCM (principalmente por los tensoactivos), se puede utilizar el proceso de Fenton (Vite 2005: pp. 51-52) agregando un tanque adicional a cada uno de los sedimentadores de las PTAR.

Hasta este momento se ha valuado el rediseñar como una obra general de ingenierías (tanto civil como química), relativamente costoso; sin embargo, es posible que sin modificar de forma sustantiva la infraestructura construida, puede rediseñarse el proceso biológico, de forma más económica. Tal sería el caso de los sistemas anaerobios, los cuales pueden verse disminuido por la presencia de sustancias recalcitrantes. A este respecto Duran (2008: p. 59) muestra que en los reactores anaerobios, cuando la anaerobiosis es estricta – es decir, sin ninguna traza de oxígeno—el metabolismo bacteriano no tiene aceptores electrónicos, carecen de la energía suficiente para biodegradar las sustancias recalcitrantes, mientras que –vaya ironía—el reactor anaerobio se convierte en parcialmente aerobio, (es decir, con pequeñas cantidades de oxígeno disuelto) es capaz de degradar a las moléculas recalcitrantes sin que sean inhibidas al final.

Con base a lo anterior, se pueden “adaptar” a los consorcios bacterianos organismos que previamente han estado en contacto con dichas sustancias y en consecuencia, tienen el aparato enzimático para degradarlos. Esa óptica es la que vertebra el trabajo de Rodríguez Martínez y su equipo, los cuales buscan adaptar los consorcios de los lodos granulares a diferentes efluentes industriales. (Rodríguez Martines 2005: pp. 691 y 695) y lograr líneas celulares capaces de degradar dichos efluentes. Observan que la formación de buenos consorcios anaerobios es importante la presencia de los sulforreductores, ya que su presencia ayuda a remover buenas cantidades de DQO, produciendo ácido sulfhídrico, los cuales pueden ser utilizados por los organismos

nitroreductores, los cuales no solo ayudan a eliminar este ácido, sino también eliminan nitratos hasta convertirlos a óxidos de nitrógeno y finalmente, a nitrógeno atmosférico.

Por ejemplo, los géneros *Desulfovibro sp*, *Desulfobusbus sp*, *Desulfobacterum sp* y *Desulfococcus sp*. tienen la capacidad de utilizar el azufre como aceptor de electrones y además remover el exceso de azufre (en su forma de sulfato) y transformarlo en el corrosivo y venenoso ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ); sin embargo, si se le añade la bacteria *Thiobacillus sp*. esta puede oxidar este ácido en presencia de nitratos ( $NO_3$ ) liberando electrones para reducir dicho nitrato hasta nitrógeno atmosférico; esto quiere decir que se puede degradar a las sustancias recalcitrantes además de remover a dos contaminantes adicionales que suelen ser muy problemáticos (González Blanco 2007: pp. 8-12; Celis 2008: pp. 261-263) y si lo anterior fuera poco, se puede recuperar el azufre en forma de mineral. En cuanto a los costos que pueden derivarse de este proceso, (Altamirano 2005: p. 177), señala que el ión sulfato puede ser usado como aceptor de electrones, es decir, la presencia de sustancias y de organismos que generan el corrosivo sulfuro de hidrógeno puede, resolver un problema, con un costo razonable (\$ 24.66. MN a flujo intermitente y a \$30.82 a flujo constante, a pesos 2002). Como programa de investigación se está llevando a cabo la adaptación de los consorcios bacterianos Rodríguez Martínez (Op. cit. 2005: p. 696) marcan el muy trascendente propósito de adaptar el lodo granular a diferentes sustratos—como son los efluentes de la industria papelera, de las bebidas alcohólicas y de las farmacéuticas. Los autores observan que para la formación de buenos consorcios anaeróbicos es importante la presencia de los sulforreductores, ya que su presencia ayuda a remover buenas cantidades de DQO, produciendo ácido sulfhídrico. Este último compuesto es utilizado por los nitroreductores. Los autores dicen que se logra una buena adaptación del lodo granular a los efluentes de la industria papelera y de bebidas si dicho afluente se diluye con agua residual normal. Esto puede llevar a elaborar diferentes tipos de estrategias para lograr buenas remociones de materia orgánica con aguas poco tratadas; para ello es importante tener la presencia del ión sulfato, es importante para lograr dichas remociones.

Otro ejemplo interesante que involucra la reingeniería es en el caso de la baja eficiencia en una PTAR de lodos activados, cuando ante un problema de esponjamiento de los lodos activados, logran enfrentar el problema identificando al agente biológico causante y cambiando el régimen hidráulico de la planta de tratamiento. El problema que reporta el equipo era el esponjamiento de lodos (Pacheco, 2006, Sesión 7/07/06), el cual no solo afectaba a la depuración del agua por

medio de los lodos activados sino que la calidad del agua llegaba muy mermada. Dicha situación fue arreglada cuando no solo fue identificado el agente causal, sino que fue necesario modificar el régimen hidráulico de la planta. Los resultados obtenidos fueron más que satisfactorios. La presencia de bacterias tales como *Desulfovibro sp* pueden, de forma sinérgica, favorecer la degradación de las sustancias recalcitrantes. Este género no solo puede ser útil con aguas difícilmente biodegradables, sino que puede ser una herramienta muy útil para degradar los hidrocarburos que se infiltran a los acuíferos desde los derrames accidentales de las gasolineras, muy especialmente con el peligroso benceno, ( Puig 2000, p. 695 y 696) utilizando el manganeso (como Mn IV) como aceptor de electrones y tener la energía suficiente para degradar los cicloalcanos o mejor aún se pueden implementar buenas estrategias, en los ambientes carentes de oxígeno, para eliminar al mismo tiempo los nitritos que se han infiltrado con este tipo de hidrocarburos utilizando para tal fin organismos desnitrificadores, para que el nitrito sea el aceptor de electrones y así, depurar los acuíferos de estas dos sustancias tan peligrosas.

La panoplia de estrategias biológicas para degradar a las moléculas recalcitrantes es muy amplia, ya que se puede no solo echar mano a las bacterias, sino también de los hongos, los cuales tienen un poderoso sistema enzimático (tales como *Pleorotus* o de otros hongos xilófagos). Las bacterias que componen un consorcio que degrada la materia orgánica son sensibles—como todos los seres vivos—a la presencia de sustancias recalcitrantes, iones metálicos y plaguicidas, afectando en consecuencia el proceso. El ácido 2,4 diclorofenoxiacético es una sustancia que tiene estas características, sin embargo, se pueden encontrar microorganismos que no solo son resistentes a su acción, sino que también pueden degradar estas sustancias recalcitrantes. Estos organismos se pueden encontrar en lugares donde su usó y se abusó de estas sustancias, razón por la cual se encuentran dichos seres vivos en el suelo, por no hablar de que asimismo tienen buenas remociones de materia orgánica en forma de DQO (Marron 2006, p. 1525). Un ejemplo interesante aplica en los efluentes tóxicos de la industria papelera, los cuales contienen una gran cantidad de fenoles, creosoles y lignina, inhibidores fuertes de las bacterias anaerobias, pero que no pueden inhibir a los hongos del género *Trametes sp* (Ortega 2007: pp. 641-643), los cuales son capaces de soportar inclusive la presencia de los muy tóxicos lignosulfuros.

Para el caso de los humedales, estos sistemas pueden presentar también este fenómeno de adaptación a estos contaminantes, ya que el tule y el carrizo (*Typha*

*latifolia* y *Scirpus americanus*, las cuales son plantas que viven en este tipo de zonas, tienen la capacidad de acumular metales pesados en las raíces y principalmente en los tallos, donde estos elementos son “encapsulados” en el tejido vegetal, así como su rara habilidad de transformar el muy tóxico Cromo (VI) en el mas manejable Cromo (III). Con ello evitan que los metales se unan a los grupos sulfhidrilo de las proteínas, inhibiendo el crecimiento de las plantas primero y posteriormente causando la muerte (Carranza 2008: p. 307). Lo notable del caso es como estas plantas enfrentan al cromo hexavalente, el cual es un compuesto en extremo tóxico en medios con una concentración de 370 mg/kg (extremadamente alta). La alta capacidad de acumular cromo hexavalente en algunas plantas ha sido atribuida a su habilidad de reducir el cromo hexavalente a su forma trivalente—que no es tóxica—fenómeno que ocurre en las raíces. *Scirpus americana* acumula mayores cantidades de cadmio que *T. latifolia* Estas plantas se pueden conseguir fácilmente en lugares muy contaminados sin costo alguno.

#### **5.8.4 Transferir tecnologías, rediseñar la ingeniería o simplemente racionalizar los procesos productivos.**

Ante el problema complejo de la depuración de las aguas residuales, sin dejar de reconocer que la transferencia tecnológica tenga un posible peso en las soluciones adecuadas, no se puede, en contraparte dejar de señalar lo que en palabras de algunos (Rosemberg 1979: p. 249) “*Gran parte de nuestra tecnología no resulta económica cuando se transplanta; es decir, se había diseñado en países con abundante oferta de capital y relativamente limitada oferta de mano de obra, aunque esta estaba muy cualificada. En contraste, en los países pobres, el capital es escaso y la mano de obra no cualificada es muy abundante. A causa de estas diferencias en las proporciones de los factores, la tecnología occidental ha sido por lo general solo de limitada aplicabilidad*”. En consecuencia, mas que el sentirse abrumado por la magnitud de “*los anuncios apocalípticos por la creciente escasez del recurso*” sostiene (Op cit: p. 273) que lo que se debe buscar es el cambio tecnológico como mecanismo de respuesta mas adecuado y poderoso, en el marco de una discusión pública. En realidad, señala mas adelante (Ibidem: pp. 281-282) es, desde la búsqueda de alternativas tecnológicas, lo que importa es no solo el conocimiento científico inherente, sino también la comprensión de las reglas generales y de los procesos. Hasta aquí es importante dejar claro que no se rechaza la transferencia de tecnología *per se*, ya que existen buenos ejemplos de colaboración adecuados. Ejemplo de ello es la transferencia entre de tecnología depurativa de humedales que se dio entre la Universidad de Ciencias Agrícolas de Viena y la UNAM (en especial, con el grupo de

Duran de Bazúa) el cual puede considerarse exitoso (Haberl 1999: p.16). Sin embargo este autor es muy preciso al señalar que las buenas transferencias de tecnología no se pueden dar mientras exista la brecha del número de científicos del hemisferio norte (300 por millón de habitantes) mientras que en el hemisferio sur solo son 20 por millón de habitante. (Op cit: p. 18)

Para el caso de transferencia de la tecnología anaerobia para una UASB, es bastante ejemplar como se hizo entre el Centro de Innovación y Tecnología de la UNAM con los investigadores de la UAM y la UNAM (Estrada 1993, s/p) mas bien, se sugiere valorar su aporte desde una perspectiva mas amplia. Siguiendo esta visión es por ello que a lo largo de esta revisión documental, se pudo agrupar una serie de alternativas para la depuración de las aguas residuales cuyas características se pueden agrupar en tres grandes grupos.

- i) Endogenizar la tecnología
- ii) Generar tecnología apropiada
- iii) Racionalizar los procesos productivos.

ENDOGENIZAR LA TECNOLOGÍA, Si, como se señalo más arriba, se postula que al estar en la periferia de la tecnociencia, convendría, ante los retos de la contaminación del recurso hídrico, mirar también hacia otros puntos de la periferia y valorar las respuestas que le dan a problema semejantes, con la obvia ventaja de encontrarse con elementos comunes (clima tropical, megaurbes de países subdesarrollados y escasez de recursos para aplicar tecnologías de punta). Por ejemplo, ante el problema de disminuir la carga de fósforo y nitrógeno de las aguas residuales (y que causan la eutricación de los cuerpos de agua que reciben las descargas urbanas); en China (Ha 2007: p. 23) se utilizó un biofiltro aerado al que posteriormente, graduando el oxígeno libre, lo convertía en biofiltro anóxico y por ultimo, en biofiltro anaerobio, eliminando con gastos muy moderados de energía grandes cargas de nitrógeno. Se puede retirar hasta 0.092 Kg. de nitrógeno/m<sup>3</sup> día; sin embargo, esta remoción mejora sensiblemente si se incrementa la recirculación llegando a lo 0.15 Kg. y cuando esta llega al 200 y 300%, puede llegar a los 0.19 y los 0.21 Kg./m<sup>3</sup> día, lo cual es bastante. También es de hacerse notar el acoplamiento de una zanja de oxidación a un lago hipereutroficado (muy contaminado por materia orgánica) y sin gran infraestructura de por medio (casi artesanal) logran depuraciones bastante buenas (Qi Tang 2006: p. 124). (Ver anexo 6 recuadro XIII. Ejemplos de tecnología endogenizada)

GENERAR TECNOLOGIA APROPIADA. Al mismo tiempo, en Gahna, (África Occidental), al cuestionarse sobre los parámetros occidentales necesarios para depurar el agua, a costos imposibles de cubrir en una economía subdesarrollada, llevó a postular una “tecnología local” la cual, sin desembolsar grandes cantidades de recursos financieros ni materiales y dentro de las tradiciones culturales locales y con bases científicas claras, lograron remociones espectaculares de parasitosis (Ver Anexo 6 recuadro XV. Ejemplos de tecnología apropiada.)

RACIONALIZAR LOS PROCESOS PRODUCTIVOS. Hasta este momento se ha enfocado al problema de la depuración de las aguas residuales desde una perspectiva técnica y económica. Sin embargo, salta a la vista, para ciertas ramas productivas que existe poca atención al dispendio de los insumos y que al perderse, pasan a convertirse en contaminantes, con una pérdida adicional de materia prima. Por ejemplo en un artículo notable (Mijailova 2004: pp. 121-130) aborda el problema de control de la contaminación no desde la perspectiva de la depuración de los efluentes sino que por el contrario, percatándose del derroche, decide enfocarse a la forma que produce la industria peletera; para tal efecto, ella y su equipo analizan los procesos generales y detectaron donde ocurría dicha pérdida de insumos. Obrando de esta forma lograron no solo disminuir la carga de los efluentes (y de paso mejorar la biodegradabilidad), sino que además, el gasto por insumos fue menor, ya que se estableció un efectivo control de recuperación de la materia prima. (Ver anexo 6 Tabla XVI Un ejemplo de racionalización en la industria de la curtiduría). La misma óptica fue socorrida por Monroy con la industria quesera y reordenando la forma de trabajar; el resultado fue que la emisión de contaminantes en el efluente bajó drásticamente (Monroy 1995: pp. 153-156)

Tal pareciera que la racionalización de los sistemas productivos es una condición indispensable para mejorar la calidad del agua residual y su posterior reuso. De hecho, algunos industriales, ante el incremento del precio del agua y de su creciente escasez, han tenido que rediseñar sus procesos productivos. En el caso de una empresa textilera (Martínez 2006: p. 67) ante el consumo diario de 1 100 m<sup>3</sup> de agua potable para la producción de telas, se tomó la opción, el tratar el agua de sus efluentes e inclusive, reusarla en parte de su proceso por representar la de mayor ahorro; el costo del agua potable, que se estaba llegando a lo incosteable era de. \$ 25.60 MN/m<sup>3</sup> (pesos 2002) en la red de agua potable; como esta no era suficiente, se tenía que adquirir el resto del agua a través del servicio de pipas (un camión cisterna de un volumen de 10 m<sup>3</sup> con un costo de \$384.00 (pesos del 2002) también se puede alcanzar recuperando los insumos de la industria de la galvanoplastia—como el

cadmio y cromo—en vez de perderlos por la cañería (Gutiérrez Salinas 1993: p. 39) vía precipitación y posteriormente reincorporarlos. Si bien es importante tener un sistema de depuración moderno y constantemente actualizado, mas importante aún es el uso racional del drenaje, recordando que es para colocar efluentes, no desechos sólidos (Cervantes 2005: p. 13) se pueden elaborar guías metodológicas y sobre todo, la capacitación del personal, para con ello evitar violar la norma NOM-ECOL-002 y con ello evitar no solo problemas al drenaje, sino también a la viabilidad de los negocios generadores de residuos sólidos que se vierten al drenaje. (Ver anexo 6 recuadro XVI. Ejemplos de racionalización de los procesos industriales)

## **5.9 El nudo de la racionalidad.**

Desarrollo derrochador y una visión utilitaria.

Tal parece que desde la perspectiva del costo-beneficio, se está en una situación poco racional. La literatura revisada sugiere que esta situación puede evitarse con conocimientos y técnicas disponibles (en su mayor parte) desde hace casi medio siglo, con equipos básicos—algunos de manufactura local—y que puede recuperar hasta en un 60-90 % de dichos insumos. Si bien aventurar una explicación sobre este fenómeno excede con mucho el propósito de este trabajo, lo que si resulta evidente es que históricamente, desde el periodo colonial hasta nuestros días, las actividades productivas, principalmente las intensivas, externalizan sus costos al ambiente, principalmente a los sistemas acuáticos, ya que estos “lavan” y “se llevan” los desechos producidos sin costo alguno. Es por ello que nada tenga de raro que mas de la mitad de las cuencas hidrológicas del país se encuentren gravemente contaminadas y peor aún, amenazando la salud de sus habitantes. Otra forma por medio de la cual se externalizan los costos es mediante una “política para favorecer la planta industrial”, como la que se llevó a cabo en Tlahuac (Galeana 1989, s/pagina foliada), “vendiendo” el agua potable a un precio muy por debajo de su costo, y en consecuencia, desestimando el tratamiento del agua por antieconómico. El aporte del agua provenía de los pozos; la externalidad en este caso se manifestó con el hundimiento del suelo en esta zona.

Si se valora la experiencia nacional y extranjera en el reuso de las aguas tratadas, parece ser mas económica y viable que el uso del agua potable; tal es el caso de la industria acerera en la ciudad francesa de Caen, emplean grandes volúmenes de aguas tratadas, con grandes beneficios económicos y sin menoscabo a la calidad del

producto. Jiménez por su parte muestra que existen procesos industriales como la cementera, donde la adición de agua tratada al proceso de formación del concreto mejora la calidad del concreto, resistiendo mayores fuerzas de compresión que en aquellas mezclas donde se utiliza agua potable (1996: p. 96)

¿Existe una política de cuencas hidrológicas?

A pesar de que es evidente que los costos ambientales y sociales son muy altos y los beneficios son privatizados, oficialmente no parece haber respuesta. Muestra de ello es que los habitantes de la colonia “Derechos Humanos” (vaya ironía) de la ciudad de Matamoros, sufren una polución tan elevada que ha causado alarma en Estados Unidos (Owens 2006: pp. 506-508) por lo que parecen ser vertidos clandestinos de las maquiladoras; en el centro del país los vertidos industriales del Estado de México y Guanajuato no solo van degradando la calidad del suelo agrícola de los distritos de riego de la Cuenca Lerma Chapala, sino que pueden poner en peligro el abasto de agua de la segunda ciudad del país. La misma CNA reconoce (2007: p. 5) que algunos de los aspectos prioritarios que requieren atención son la falta de consensos estratégicos para el manejo del agua entre gobierno, usuarios y sociedad civil, así como la sobreconcesión de volúmenes mucho mayores a los permitidos y a la falta de control de las descargas contaminadas. Para nuestra área de estudio, la degradación de las microcuencas de los ríos Papalotes, Texcoco, Tlamanalco la Compañía y Magdalena Contreras ha provocado la pérdida de un aporte de agua de buena calidad, los cuales de haberse conservado, hubiera podido sustituir el agua del Sistema Cutzamala, la cual es notoriamente costosa y expoliadora

Si bien formalmente existe una gestión de cuencas en el país, en la práctica para algunos autores esto no es del todo correcto, sino lo que impera es “ (...) *la ausencia de un marco de referencia para la toma de decisiones de los diferentes actores; los permisos y licencias para el aprovechamiento de los recursos ambientales responde mas a procesos administrativos que no están sujetos a las realidades ambientales de la cuenca*” (Caire 2007: p. 197); otros hacen énfasis en que no solo se carece de coordinación horizontal y vertical entre los 3 órdenes de gobierno, lo que provoca una fragmentación de políticas ambientales e hídricas (Pacheco 2007: p. 996) y quizás lo mas crítico aún “ *No existen ligas directas entre las gerencias regionales de la CNA y los departamentos de calidad del agua residual ni con la PROFEPA*” (Op. cit.: p. 1011) lo cual resulta que no exista una política ambiental del agua. ofreciendo como prueba de ello el evidente deterioro de las cuencas del Lerma Chapala. Para Chavez Zárte (2003: p 187) muestra del descuido oficial es que se carece de un catálogo de

cuencas, por lo que no es raro que no coincida la información sobre el estado ambiental de estas. De ahí que la misma estructura básica que se supone es la que va a delinear y aplicar las políticas de cuenca, los llamados Consejos de Cuenca sean ineficientes ya que carecen de personalidad jurídica ni de prerrogativas ejecutivas o de supervisión, así como de la carencia de escrúpulos de los inspectores y la falta de capacidad institucional para supervisar la labor de cuidado ambiental (Centro del Tercer Mundo para el Manejo del Agua (2003: p. 214). Para el caso que nos ocupa, la cuenca central de México, es evidente que las microcuencas que la conforman se encuentran en grave deterioro, debido a lo que parece ser una carencia de decisión de la CNA. Es posible que la parte nororiental sea la más afectada por la contaminación, ya que los niveles de los metales pesados se encuentran por encima de las normas internacionales, por no hablar de los niveles de materia orgánica (Jaramillo 1998: p. 37 y subsiguientes) sobre todo en la subcuenca del río de las Avenidas de Pachuca, donde el río Papalotes (González Estrada 1998: p. 21) presenta una contaminación elevada. Los emisores, en ambos casos ricos en cromo hexavalente, fueron localizados en el Parque industrial y la zona de Lechería.

Esto lleva al cuestionamiento de la autoridad competente en materia de agua en el país, ya que como se ha señalado (Roemer 1997: p. 83) la autoridad administrativa que gestiona este recurso “ (...) *que el modelo administrativo ha demostrado que la preocupación de naturaleza política predomina sobre la preocupación de la naturaleza*” Mas ilustrativo aún es lo que señala Solano cuando muestra—a su juicio—la incoherencia de que el ejecutivo le de personalidad jurídica como órgano desconcentrado y no como órgano descentralizado; este autor señala que esto sugiere que solo se buscó darle una simple autonomía técnica, sin poder ejercer verdaderas prerrogativas, quedando estas en el poder central. “*No reconocer el carácter de órgano descentralizado del poder ejecutivo federal es una inconsistencia legal que puede afectar las funciones de la Comisión, al no tener el imperium necesario para obligar el pago de los derechos en materia de descarga de aguas residuales.*” (El subrayado es mío) (Solano 1998: p. 104) ). Quizás ello explique el por que la CNA, a pesar de que aumentan las descargas y con mayores cargas contaminantes, en la actualidad vea disminuir sus cobros por derechos de descarga (apenas la seis milésima parte de sus ingresos), los cuales pasaron de \$ 9 784 386 397 (pesos constantes 2002) en 1993 a solo \$ 6 942 023 429 (pesos constantes 2002) en el 2006, aún cuando la misma CNA reconoce que el nivel de depuración lograda está muy por debajo de la norma (2007: p. 116) (esto es, notoriamente insatisfactoria) ¿Esto significa que se premia a quien contamina más y depura menos?

¿Para que expulsar el agua de esta cuenca?; es decir, ¿por que se tiene que externalizar los costos expoliando el agua de las cuencas del Lerma y del Balsas-Cutzamala y por otro lado, enviando agua residual para las comunidades rurales, con graves afectaciones a la salud de sus habitantes? Si como se ha visto anteriormente, se está convirtiendo en demasiado oneroso importar y exportar agua, además de que este sistema en los últimos años se encuentra enviando menores volúmenes de agua a costos cada vez mas elevados (CNA 2007: p. 94) ¿No sería mas adecuado tratar esta agua aquí mismo, vendiéndola a la industria para cubrir costos y parte de ella enviándola a la zona de los humedales de Tecocomulco, (los cuales se encuentran dentro de nuestra misma cuenca, en el estado de Hidalgo) para que ahí se termine de depurar, con el fin de ir formando una reserva estratégica de agua y ayudar al desarrollo agrícola de una zona semidesértica?. Esta estrategia no es nueva y fue llevada a cabo con mucho éxito en California, donde las aguas residuales urbanas fueron tratadas y canalizadas a una zona desértica para formar un lago artificial con humedales (Pankratz 2007: pp. 67-69). Un efecto (benéfico) colateral es que la zona donde se envió el agua tratada es que no solo se incremento el volumen del lago por la llegada de aguas de mediana calidad, sino que se incremento la biodiversidad de ese lugar.

Asimismo, como ya se revisó anteriormente, la infiltración de aguas negras a los acuíferos de nuestra cuenca es una realidad innegable, producto de la subducción del suelo, dando por resultado la contaminación de varios pozos de agua potable, no solo por peligrosos patógenos, sino lo que aún es peor, por poderosos cancerígenos (Mazari 2006b: p 410) Ante tal perspectiva tiene que volverse a cuestionar lo poco conveniente de expulsar el agua pluvial junto con las aguas residuales, cuando existen una diversidad de procedimientos que permiten depurar a un nivel aceptable dichas aguas y reinyectarlas a los acuíferos, ajustándose, para evitar afectaciones a la salud de la población, a la norma expedida por la Unión Europea para tal efecto.

Cabe pues, hacerse la pregunta: **¿Existe realmente el problema de las aguas residuales?**, Jiménez señala (1996: p. 51) que el costo por pago de derechos de descarga a nivel nacional es de \$ 328 912 043.80 MN (2002), mientras que el costo por tratamiento de aguas, así como de los lodos generados es de \$ 99 500 000.00 M.N.(2002), esto es, casi un tercio de lo que cuesta pagar dichos derechos de descarga, con lo cual se puede concluir que es mas barato tratar el agua que descargarla a los drenajes y cuerpos de agua nacionales y pagar los correspondientes

derechos; los cuales alcanzan, para los entes públicos de la Cuenca Central de México los \$ 1 186 290.64. (CNA 2007: p. 117). Por otro lado, la actual dinámica de llevar agua potable y expulsar por bombeo el agua residual, para el organismo operador de la ciudad de México conlleva a una altísima depreciación de su activo fijo del 29.5 % anual (la más alta de la república para este tipo de organismos) lo cual equivale a una pérdida de \$ 388 556 418.66 anuales, Es posible que se pueda decrementar dicha depreciación si se puede modificar la actual lógica (INEGI 2003c: p 48) .

¿No será más bien el resultado de una dinámica que no es evidente? La respuesta a estas cuestiones no parece ser de fácil respuesta, pero la revisión parece apuntar que existe una forma de mirar (y más importante aún, de no mirar) el uso (y abuso) del vital recurso, esto es, que se está dentro de un *PARADIGMA DEL AGUA*. Por supuesto, este planteamiento no es novedoso, que ya fue señalado por otros autores desde hace tiempo (Monroy 2007). Sin embargo, aún cuando este paradigma está fuertemente cuestionado no solo por “la *intelligentsia*” sino por la misma situación financiera, sigue manteniéndose vigente, lo cual sugiere que el sostenimiento y articulación de dicho paradigma es la expresión visible de las nuevas relaciones emergentes entre la sociedad y la naturaleza, estructurando y articulando diversos paradigmas, los cuales podrían complementarse mutuamente; tal sería el caso de los paradigmas del agua y tecnológico. A este respecto la expresión “paradigmas tecnológicos”, Maleaba señala (Op.cit.: p. 150) “*los modelos de solución a los problemas tecnológicos específicos fundados en principios científicos y en tecnología bien definida*”. Solo un número limitado de innovaciones puede generar un paradigma tecnológico capaz de dominar ampliamente el camino del desarrollo económico y tecnológico”. (...) “*Tarde o temprano todo paradigma tecnológico puede ser reemplazado por otro emergente, con el que inevitablemente entrara en competencia; en tal caso, las dos alternativas se pueden confrontar, tanto por el rendimiento tecnológico como por la capacidad de adaptarse lo mejor posible al ambiente circundante. En muchos casos, un nuevo paradigma puede obtener mejores resultados en el primer ámbito, pero tener notables desventajas en el segundo, a causa de la mayor experiencia acumulada por parte de las empresas existentes, mas eficaces al interpretar y adaptarse a las variables del ambiente y del mercado*” lo que está cegando e inactivando soluciones que parecen ser viables desde el punto de vista técnico y económico.

Cabe sospechar que esta racionalidad es inclusive demasiado estrecha para la misma racionalidad económica, ya que al ser llevada al extremo, llega a la irracionalidad; es

decir, al insistir en seguir sosteniendo el actual paradigma del agua lleva a socavar la sostenibilidad de la ZMCM (por no mencionar la de Guadalajara). Ante tal situación, la pretensión de “darle remedio” con mayores dosis de “tecnología de punta” por un lado e incrementando la expoliación del recurso hídrico por el otro (con la intervención de algunas empresas multinacionales que ya se encuentran operando aquí) no parece ser muy práctico. Quizás sería el momento de empezar a mirar hacia donde el actual paradigma arroja sombras, esto es, la misma relación de la articulación de los ejes sociales y naturales, la imbricación del actuar humano con el ciclo del agua. A este respecto Olguín cuestiona la misma necesidad de tener sistemas centralizados de drenaje y de depuración del agua, ya que, en su opinión, esta centralización incrementa los costos de los mismos, al tiempo que su eficiencia se va decrementando con el tiempo (2005: 26); lo anterior puede corroborarse al ver el tamaño del organismo operador del GDF, el cual es el mas grande del país (INEGI 2004: p. 31), y recuerda la misma dinámica poblacional en la ciudad de Tijuana, donde la misma población, con muy escasos recursos y sin la menor ayuda de los 3 niveles de gobierno, de forma autónoma se fueron encargando de los sistemas de drenaje y saneamiento, con soluciones técnicas muy ingeniosas y muy baratas. Otras voces indican (Otero 2007: p. 174) por la instalación de plantas de tratamiento en cada una de las Unidades habitacionales lo cual representa una ventaja para el riego de zonas verdes y evita la compra de agua potable para este mismo fin, sirviendo al mismo tiempo como un aliciente para negocios como el del lavado de automóviles propuesta que por supuesto, debe de valorarse a la luz de de las plantas de tratamiento de algunas unidades habitacionales.

Un caso notable que vale la pena señalar es el caso de la Unidad Habitacional “El Capulín” de la UNIVAC, organización de solicitantes de vivienda perteneciente a la UPREZ. Esta Unidad Habitacional, situada en el Municipio mexiquense de Naucalpan, fue gestionada por un grupo organizado de amas de casa, vendedores ambulantes y obreros, los cuales incorporaron al diseño general la necesidad de tener una planta de tratamiento anaerobia, con el fin de que los desechos domésticos no contaminaran un río cercano (Suarez 1995) . Es importante señalar la convergencia asombrosa de la necesidad de depurar las aguas residuales por dos grupos de forma simultánea. Por uno, el grupo de científicos de las principales instituciones educativas del país y por otro, de amas de casa y trabajadores eventuales y/o ambulantes. Quizás sea el momento de postular que podemos apelar al bagaje cultural y valorar las dos corrientes que emergen de ella para enfrentar este problema: Por un lado tenemos a la corriente de “endogenización de la tecnología”, generada por la propia “intelligentsia”

local y que sin desdeñar la transferencia tecnológica y dentro del marco científico ortodoxo, genera, como hemos visto de forma muy abreviada, bastantes soluciones. Por otro lado, tenemos lo que Vessuri señaló “*la generación propia de cultura de las masas*” (2007: p. 126) las cuales, aun cuando son ignoradas, siguen produciendo sus propias soluciones. Es posible que ante la crisis ambiental se asista a la reasignación del reuso como parte de la construcción de una racionalidad ambiental que se alza frente a “*la racionalidad económica, entrópica e insostenible*” (Leff, 2001: p. 37), la cual prima en la visión humana. Córdova y Knuff muestran la convergencia del interés pragmático y de conservación ecológica de personas de niveles socioeconómicos altos y bajos (2005: p. 237) en la república mexicana.

El análisis documental aquí revisado muestra que existen personas e instituciones que desde diversos ángulos generan propuestas viables y que por lo que parece, con un alto grado de eficacia. Casi al finalizar, surge la cuestión inquietante: Las aguas residuales son un problema formidable que amenaza la sustentabilidad de la Cuenca Central de México en particular, así como la estabilidad hidrológica del centro de la república y representan una carga que cada vez gravita de forma mas onerosa sobre las finanzas nacionales; sin embargo, la persistencia del problema que lejos de resolverse crece año con año sugiere que existe, mas allá de las soluciones tecnológicas o científicas, un componente sistémico que impide ver la raíz del problema como un problema de racionalidad.

## **Evaluación externa de los sistemas depurativos.**

### **1.- Costo por no actuar. (situación actual)**

El costo anual por subir el agua a la Cuenca Central desde la Cuenca del rio Balsas, así como su potabilización representa un gasto de \$ 6 811 618 391.00 M.N (2002) anuales, de los cuales solo se recuperan por cobro de los usuarios 635 751 049.8 (2002), es decir, la Federación asume \$ 6 175 867 341.00 MN anuales (2002). Si a esto se suma el gasto anual para bombear el agua residual fuera de la cuenca, el cual llega a \$ 497 248 187.00 MN anuales (2002) así como el gasto del GDF para el sistema de distribución y potabilización, el cual asciende a 2 900 052 000.00 MN anuales (2002), esto suma un total de 9 573 167 528.00 MN anuales (2002), ello sin contar por el gasto del GDF por derechos de descarga en drenaje y aguas nacionales según las norma NOM-ECO-001 y NOM-ECO-002. Si a lo anterior, que ya en si es aplastante, se suma el costo de la cuarta etapa del Cutzamala (que prevee traer el agua desde la cuenca del Amacuzac) el total llegaría a sumar 14 426 167 528.00 MN anualmente (2002). Lo anterior significa que el costo del agua potable, sin subsidio,

sea de \$25/m<sup>3</sup>, pero una vez que se formalice la cuarta etapa del Amacuzac, el costo del agua sin subsidiar se disparara a los \$ 51.00/m<sup>3</sup>.

### **Escenario 1**

Estos enormes gastos solo garantizan que el agua potable será cada vez mas cara, de menor calidad y con mayores costos sociales en las comunidades campesinas donde se extraiga el agua dulce y donde se viertan las aguas negras. Por otro lado, se incrementara la subsidencia de la ZMCM, con un mayor peligro de inundaciones de aguas negras.

### **2.- Costo por actuar ahora.**

Si las 27 PTAR trabajarían a toda su capacidad, procesarían 271 209 600 m<sup>3</sup> de agua a un costo de \$ 832 531 136.79 MN (2002), esto es, a un costo de \$3.06/m<sup>3</sup>; si esta agua sustituye al 20% del consumo de agua potable 54 241 920 m<sup>3</sup> (principalmente para el riego de áreas verdes y uso industrial) habría un ahorro de \$252 306 840 MN (2002) (con el costo del tratamiento ya descontado), lo cual representa la posibilidad de reconvertir 10 PTAR de lodos activados a Reactores Biológicos de Lecho Móvil, a un costo de \$ 25 168 390.00 MN (2002) en promedio o mejor aún, alcanza para dotar a cada PTAR de lodos activados con un reactor anaerobio con un costo promedio de \$899 584.41 MN c/u (2002), quedando un sobrante suficiente para reconvertir una instalación anticuada a una mas moderna con un reactor anaerobio. La adición de un reactor anaerobio a un PTAR de Lodos Activados moderno no solo permite reducir la cantidad de lodos producidos sino que facilita aún mas su tarea degradativa, por lo que permite ahorrar 1 KWH por cada kilogramo DQO depurado, es decir, puede representar un ahorro de 4/ 5 partes del gasto de Mantenimiento y Operación mensual, lo cual significa que una vez instalados los reactores anaerobios (los reactores UASB serían quizás la opción mas adecuada) se pueden ahorrar \$ 66 602 490.40 pesos anuales. (2002). Lo anterior significa que con cada año que trabaje la dupla Reactor anaerobio (ya sea UASB o EGSB) acoplado con un rector aerobio (ya sea el tradicional de Lodos activados o con el Reactor de Membrana) no solo se ahorra el 80% del gasto en energía para degradar la materia orgánica, sino que hay un ahorro por no pagar los derechos de vertido en los cuerpos de agua nacionales y en los drenajes, así como las multas previstas en la NOM-ECOL-001 y NOM-ECOL-002. Un beneficio adicional es que el volumen de los lodos será menor, así como menos costosa será su disposición como biosólido para los suelos agrícolas, respetando lo señalado por la NOM-ECOL-004.

Los ahorros generados sirven a su vez para depurar el agua (según los estándares más exigentes internacionales (Halbinger 2004: p. 14) con fines de reinyectar a los acuíferos donde los hundimientos del subsuelo son más agudos (Tlahuac, Chalco, Netzahualcoyotl entre otros lugares) en cantidades tan modestas como  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ , es decir, reinyectar  $86\,400 \text{ m}^3$  al año, con un costo de  $\$ 5/\text{m}^3$ , a un costo de  $129\,600\,000.00 \text{ MN}$  (2002). Lo anterior no resolvería el problema del hundimiento del subsuelo, pero desacelera dicho proceso; por otro lado es mucho más económico que sostener el actual sistema de bombeo de aguas negras en el oriente de la ZMCM, que es más oneroso y solo es un paliativo momentáneo.

En cuanto a los costos de instalar tecnologías apropiadas tales como los humedales (superficiales y subsuperficiales) en el contexto de la ZMCM, los resultados son ambivalentes, ya que desde la perspectiva económica, tienen los costos más elevados por depurar el agua (León 2006: p 24) es de  $\$10.44/\text{habitante día}$ , es decir,  $\$ 2\,088/\text{m}^3$  por no hablar que su eficiencia en el tiempo va disminuyendo, hasta que al cabo de una o dos décadas se vuelve nula (Belmont 2004, p. 209), además de solo ser útiles cuando se colocan para pulir efluentes de los reactores aerobios o anaerobios. Lo anterior significa que su utilidad es en extremo limitada y de costos más elevados. Sin embargo, desde la perspectiva ambiental y social este tipo de sistemas prestan inestimables servicios ambientales (como secuestro de  $\text{CO}_2$ , producción de oxígeno, desnitrificadores muy eficientes, filtros antiamibianos en sus interacciones suelo-raíz, por mencionar solo algunos). Sin embargo, el mayor beneficio (y que es irreducible a términos económicos) es del incremento a la biodiversidad y a la conservación del paisaje lacustre, por no hablar de la conservación del modo de vida campesino en las últimas zonas rurales de la cuenca.

## Escenario 2.

El reintegrar el agua a la cuenca no solo disminuye la explotación del agua de otras cuencas (y ayuda a mejorar la sostenibilidad de la ciudad de Guadalajara), sino que disminuye el subsidio federal de forma progresiva. Con los ahorros se puede aplicar medidas remediales a las zonas de hundimiento del subsuelo para desacelerar este fenómeno. Esto no revierte el abuso derrochador de un siglo a corto plazo pero si amplía la sustentabilidad de la ZMC



## **CONCLUSIONES.**

- 1.- Los sistemas anaerobios de depuración, principalmente los UASB, tienen la mejor depuración de materia orgánica. Por su parte, las PTAR de lodos activados y los humedales presentan resultados muy modestos para la depuración de materia orgánica
- 2.- Los sistemas anaerobios de depuración generan subproductos, los cuales en su mayor parte están desaprovechados (como el biogás), susceptibles para reconvertirse en energía, mientras que los sistemas aerobios los subproductos generados representan un riesgo ambiental y un gasto.
- 3.- Los ahorros potenciales de estos sistemas (tales como el no pago de multas por violar la norma NOM-ECOL-002 y la no compra de agua potable para usos no domésticos) favorece netamente a los sistemas aerobios.
- 4.- La emergencia de nuevos contaminantes, los cuales se muestran recalcitrantes al tratamiento, así como la formación de subproductos que son un riesgo a la salud (como los colorantes azo) llevan a postular el uso sinérgico de los sistemas aerobios-anaerobios.
- 5.- De sostenerse la situación actual, esto llevará a que el agua sea más escasa, de menor calidad y mucho más cara, con costos indirectos como el hundimiento de la ZMCM y la degradación constante de su infraestructura, así como el peligro constante de que se elimine el subsidio federal, de forma total o parcial. La alternativa analizada es que con los propios recursos materiales, financieros y humanos se puede enfrentar y comenzar a revertir esta situación.

## **RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS.**

### **RECOMENDACIONES.**

1.- En el plano Técnico- económico.

a) Valorar la presencia de los nuevos contaminantes emergentes y su impacto en la depuración del agua según los sistemas aquí presentados, principalmente con estudios de factibilidad técnica y económica.

b) Impulsar la investigación en los sistemas depurativos más eficientes (principalmente en los reactores aerobios de membrana y en los EGSB). Si bien es importante la investigación y la formación de prototipos y su posterior escalamiento a nivel industrial, esta actividad genera el capital humano para generar nueva tecnología o de recibir de forma adecuada la transferencia de tecnología.

2.- En el plano social.

a) Más allá del discurso oficial, no parece existir una supervisión eficiente de la emisión de los contaminantes en las cuencas del país. De ahí se señala que al hacer la necesaria revisión de la política hidráulica, se le debe de dar las herramientas necesarias para que los organismos operadores del agua a los 3 niveles de gobierno puedan de forma coordinada ser eficientes en sus funciones.

b) Una política hidráulica es inexistente sin una visión que señale que los modelos productivos actuales son, al menos para ciertas industrias, derrochadores y que no solo les acarrearán pérdidas económicas a dichas unidades, sino que tienden a externalizar los costos. Racionalizar la producción significa que de forma paralela el agua residual es más biodegradable y el costo por tratarla es menor.

### **SUGERENCIAS.**

La presente indagación parece indicar que el problema de fondo es la existencia de una racionalidad que de alguna manera articula el actual paradigma del agua y que en consecuencia, sea la responsable de visos de irracionalidad que se han señalado a lo largo de estas líneas. Una cuestión que queda por dilucidar es, desde esta posibilidad, como la racionalidad articula el actual paradigma.

## BIBLIOGRAFIA.

- Aboites, Luis, (1998). *El agua de la Nación: Una historia política de México (1888-1946)*. Centro de investigación y Estudios sociales en Antropología. 220 p.
- Abbagnano, Nicola (Ed) (2004). *Diccionario de Filosofía*. Nicola Abbagnano. Fondo de Cultura Económica. México.
- Academia de la Investigación Científica, A.C. y Academia Nacional de Ingeniería, A.C. (eds. 1995). *Mexico City's Water Supply: Improving the Outlook for Sustainability*. National Academy Press, Washington, D.C.
- Acevedo Flores Javier, Etzae Perez Sánchez, Contreras Montoya Adrian, Bernal Islas Manuel (2001). *Diagnostico y tratamiento para la planta de tratamiento de aguas residuales de la Ciudad de Manzanillo, Colima, México*. Tesis profesional. (Ingeniería Civil). Facultad de Ingeniería UNAM. 267 p
- Aguilar N; B. Jiménez, Cisneros.B. Becerril; L.P. Castro. (2008). "Use of nanofiltration for potable water from an aquifer recharged with wastewater". *Water Science and Technology*. Vol. 57 No. 6, 927-933.
- Aguilar Ortega Paulina Araceli.(2006) *La plata como desinfectante de lodos provenientes del tratamiento de agua residuales domésticas mediante un proceso de coagulación y floculación*. Tesis de maestría en Ingeniería Ambiental (agua). Facultad de Ingeniería. UNAM. 118 p.
- Aguilar Pérez, L.A; Ortega Guerrero, M.A; Lugo Hubp, J; Ortiz Zamora, D.C. (2006) "Análisis numérico acoplado de los desplazamientos verticales y generación de fracturas por extracción de aguas en las proximidades de la Ciudad de México." *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. Vol. 23 No 3, pp 247-261
- Albarran Murillo, J.M. (2004) *Planta De tratamiento de aguas residuales domésticas por el proceso de lodos activados "La Esperanza"* Tesis profesional.(Ing. Civil) Facultad Ingeniería. 109 p.
- Al Jamal, M.S.; Sammis, T.W; Mexal J.G; Picchioni, G.A.Y y Zachritz, M.H. (2002). "A growth irrigation scheduling model for wastewater use in forest production". *Agricultural water management* 56, 57-79
- Almendariz, F.J; Meraz, M, Olmos, A.D; Monroy, O. (2005) "Phenolic refinery wastewater biodegradation by an expanded granular sludge bed reactor". *Water Science Technology*. Vol 52, No. 1-2, 391-396.
- Altamirano B. (2005). *Degradación de fenoles totales durante el tratamiento de aguas de producción petrolera*. Ciencia 13(3), 281-291
- Alvarez Bernal, D; Contreras Ramos, S.M.; Trujillo Tapia, N; Olalde Portugal, V; Frias Hernandez, J.T. Dendooven. L. (2006) "Effects of tanneries as chemical and biological soil characteristics" *Applied Soil Ecology*. Vol. 33, No. 3, October 2006, Pages 269-277
- Álvarez Estrada, A.A. (2006) *Filtración combinada anaerobia para el tratamiento de aguas residuales municipales*. Tesis profesional (Ing. Civil) Facultad de Ingeniería UNAM. 119 p.

- Armstrong J. (1990). "Pathways and mechanisms of oxygen transport in *Phragmites australis*". en: *Memories of Constructed wetland water pollution control. Reino Unido, pp 529-534.*
- Anónimo. (1848). "Mejoras de la capital." periódico *El Eco del Comercio* 12 de julio de 1848.en: *Ruiz Castañeda M.C. (Edit): La ciudad de México en el siglo XIX* . Colección Popular Ciudad de México No. 9 1974, 133 páginas.
- Anónimo (1992) "Escalamiento" *Diccionario Enciclopédico de ciencia y Tecnología.* Prentice Hall Hispanoamericano tomo 2, p.1145
- Anderson, Ken; Sallis, Paul, Uyanic, Simonn. (2003). "Anaerobic treatment processes", 391-426 in: *The Handbook of water and wastewater microbiology* Duncan Mara and Nigel Hosan (editors) Academic Press. New York. USA
- Aragon, J.A.G; Delgado, C.D; Reyes, P.M.; Pèrez P.A.; Vega, S.T.; Ortega, G.Z.(2003) "Metal concentrations in sediments and its relationship with deposition patterns in the Jose Antonio Alzate Reservoir. State of Mexico". *Ingenieria Hidráulica en México* Vol. 18 No. 4, 59-71
- Aragon, P.E; Romero, J; Negrete, Sharma V.K. (2005) "Desulfuration of mexican heavy oil by sulfate reducing bacteria". *Journal of enviromental science and Health part A: Toxic Hazardous Sustances and environmental engineering.* Vol 40 No. 3, pp. 553-558.
- Arcos Ramos R.; Diaz Rodriguez G.; Dominguez Rosas A. (2002) "Macrofitas acuáticas ¿Contaminantes o soluciones de la contaminación por metales pesados". *VI International Simposium on Environmental Biotechnology.* Veracruz, Veracruz. 27 al 31 de octubre 2002.
- Armienta,-M-A Segovia,-N (2008). "Arsenic and fluoride in the groundwater of Mexico". *Environmental-Geochemistry-and-Health*". 2008; 30(4) 345-353.
- Arreguin, F.; Márquez, L. y Gómez A. (1996). *Water Research Development.* Vol. 12 No. 4, páginas 483-490
- Arundel, John. (2000). *Tratamiento de aguas negras y efluentes industriales.* Editorial Acribia. Zaragoza, España. 337 p.
- Arvanitis Rigo. (1996). "*La relación incierta. Ciencia aplicada y desarrollo en Venezuela*" Fondo Editorial FINTEC. Caracas. 1996. 360 p.
- Aslan S; Karapinar K. (2006) "Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae. *Ecological Engineering, Vol. 28, No. 1, pp.6470*
- Ayala, Islas A. (2007) *Efecto desinfectante del ozono sobre los huevos de helmintos, bacterias y amibas en aguas residuales.* Tesis profesional (Químico en Alimentos) Facultad de Química, UNAM. 53 p.
- Barceló, I.; Flores, J.; Solís, H.; (1993) "Especiación de Pb y Zn en el Sedimento del Parque Tezozomoc en 3 campañas de Muestreo". *Memorias del IX Congreso Nacional de la SMISAAC y I Congreso Internacional del Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de Norteamérica y del Caribe en Mar del Plata, Argentina, del 17-23 oct. 1993*
- Barradas Victor. (2000). "Energy Balance and transpiration in an urban hedgerow in México City" *Urban Ecosistems* 4, 55-67

- Barrera Diaz, C; Colin Cruz, A; Ureña Nuñez, Palomar Pardave; M. (2004) "The Cr (VI) removal from wastewater using low cost sorbent material: roots of *thypha latifolia* and ashes." *Environmental technology* Vol 25 No 8, pp. 907-917.
- Barrera Diaz. (2005) "Lead removal from wastewater using Cu(II) polyacrylate formed by gamma radiation" *Tour. Polymer Research*. No 12 pp 421-428
- Barrios, J.A; Jiménez, B; Salgado, G y Garibay A. (2001). "Growth of fecal coliforms". *Water Science Technology*. Vol. 44 No 10, 85-90.
- Barron C.; Equihua C. ; Mestre J. (2000). "B.O.O CASE. Water management project for the use of reclaimed wastewater and desalated seawater for the Antonio Davali refinery, Salina Cruz". *Water Science Technology* Vol.42 No. 5 paginas 29-36
- Barros Sierra, Fundación. (2004). *Prospectiva de la demanda de agua en México 2000 2030*. Edit. Fundación Javier Barros Sierra. 105 p.
- Becerril Albarran, Josefina. (1991). *Estudio de la calidad del agua en pozos cercanos al tiradero de basura de Santa Catarina*. Tesis de maestría (Ingeniería ambiental) Facultad de Ingeniería UNAM. 146 p
- Becerril, J.E; Jimenez B. (2007) "Potable water and sanitation on Tenochtitlan: Aztec Culture". *Water Science Technology*. Vol 7 No. 1 pp 147-154.
- Bell, E.T., (1953) *La mathématique reine et servante des sciences*. Edit Payot, París,
- Belmont, M.A.; Castellano E.; Thompson, S.; Williamson, M.; Sánchez A. ; Metcalfe, C. (2004) "Treatment of domestic wastewater in a pilot-scale natural treatment system in central Mexico" *Ecological Engineering*. Vol. 23 No. 4-5. pp 299-311.
- Belmont M.A; Ikonou, M; Metcalfe, (2006) "Presence of nonylphenol ethoxylate surfactants in a watershed in central Mexico and removal from domestic sewage in a treatment wetland". *Environmental Chemistry*. Vol 25 No. 1, pp 29-35
- Benitez Prestado, Carolina (2006) *Ingeniería básica y procura para la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cabeza Olmeca ubicada en el Municipio de Boca del Rio, Veracruz*. Tesis profesional (Ing. Civil) FES Acatlan. 113 p.
- Benson; Peterson K; Stein, J. (2007). "Anasazi (pre-Columbian Native-American) migrations during the middle-12th and late-13th centuries - Were they drought induced?" *Climatic Change*. 83(1-2), p 187-213
- Bertoglio, J. (1982). *Introducción a la teoría general de sistemas*. Editorial Limusa; primera edición. 167 p.
- Bermúdez C.; Vite G. y Buitron G. (1998) Degradación de compuestos fenólicos por medio de un biofiltro discontinuo adicionado con carbón activado". *Memorias del Primer Simposio Latinoamericano de tratamiento y reuso del agua y residuos industriales*. pp. 8-1 a 8-10
- Biswas, A. K. (2002) "El manejo del agua en la zona metropolitana de la ciudad de México. La forma difícil de aprender" Centro del tercer Mundo para el manejo del agua. A.C

- Biswas, A.K.; (2006). "Water Management for major urban centres". *Water Resources Development* Vol. 22 No. 2, p 183-197
- Biswas, A.K.; Tortajada, Cecilia; Lundquist, J. (2006). "Megacities and water management" *Water resources development*". Vol 22 No. 2. 377-394.
- Blumenthal U. ; Cifuentes E; Bennet S.; Quigley, M.; Ruiz Palacios, R. (2001). "The risk of enteric infection associated water, wastewater reuse. The effect of season and degree of storage of wastewater". *Transactions of the Royal society of Medicine and hygiene*. No. 95, p. 131-137
- Bonsiepe, G. (1985) *El diseño de la periferia : Debates y experiencias*. Edit. Gustavo Gilli. México. 241 p.
- Bordieu, P. (1995), *La causa de la ciencia. Como la historia social de las ciencias sociales puede servir al progreso de estas ciencias* p. 111- 127. en: *Intelectuales, política y poder* Buenos Aires. Editorial EUDEBA. P.111- 127
- Borzaconni, L.; López, I; Viñas, M. (1995). "Application of anaerobical digestion to the treatment of agroindustrial effluents in Latin America". *Water Science Technology*. Vo. 32, No. 12, pp 105-111.
- Bravo Inclan, L.A; Saldaña Fabela, M.P; Sanchez Cháves, J.J. (2008) "Long term eutrophication diagnosis of high altitude body of water, Zimapan Reservoir, México". *Water Science and Technology* Vol. 57, No. 11, páginas 1843-1849
- Brix, H. (1996) "Role of macrophytes in constructed wetland". en: *Memorias of the 5<sup>th</sup> international conference on wetland, systems form water pollution control. Austria. pp 2-1 a 2-6*
- Broncano, Fernando 1995. *Nuevas meditaciones sobre la técnica*. Editorial Trotta. Madrid España 235 p.
- Bruner, Jerome. (2000). *La educación puerta de la cultura..* Editorial Visor. Colección Aprendizaje. Madrid. España
- Buch, Thomas. (2001). *El tecnoscopio* Editoria AIQUE, Buenos Aires, Argentina, 502 p.
- Buenorostro, J.F. Ramirez Arias, A; Caffaret Mendez, C; Schettino Bermudez y Poggi-Varaldo. (2000) "Treatment of a 2,4-D diclorophenol acid contaminated wastewater in a membrana bioreactor" *Water Science and Technology, Vol. 42 No. 5-6, 185-192.*
- Buitron J.; Ortiz. J. (1998) "Biodegradation of phenolic compounds with a sequencing batch biofilter" *52<sup>ava</sup> Purdue Industrial waste conference proceedings purdue univ. West Lafayette Indiana. USA. pp 262-267.*
- Bunge, Mario. (1980). *Ciencia y Desarrollo*. Ediciones Siglo Veinte. Buenos Aires, Argentina. 173 páginas.
- Bustamante, Miguel E. 1984. "Saneamiento del medio en los pueblos prehispánicos. En: *Historia general de la medicina en México. T. 1*". México antiguo. Facultad de Medicina UNAM/ Academia Nacional de Medicina. México
- Cabrera, F.I; Rodríguez, A.M.G. (1999) "Genotoxicity of soil from farmland irrigated with wastewater using three plant bioassays". *Mutation Research*, 426, páginas 211-214.

- Caire, Georgina (2007) *“Retos para la Gestión Ambiental de la Cuenca Lerma-Chapala: Obstáculos institucionales para la gestión del manejo integral de Cuencas”* páginas 195-211 en: Helena Cotler (compiladora) *El manejo integral de cuencas en México. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. SEMARNAT-INE. Segunda Edición. México D.F. 317 páginas.
- Caracheo Mora Antonio. (2008). *Metodología de evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales*. Tesis de Maestría en Ingeniería. Facultad de ingeniería UNAM. 184 p.
- Cardinale C, P.P. Bookland, E.A. (2007) *El significado ambiental de las pruebas de biodegradabilidad y un ensayo recomendado para América Latina*. Procter and Gamble Latinoamerica. M 108 USA 7, citado por Baltasar 2001, página 3
- Carranza Álvarez, Alonzo Castro, Alfaro de la Torre, García de la Cruz, (2008) *“Accumulation and Distribution of Heavy Metals in Scirpus americanus and Typha latifolia from an Artificial Lagoon in San Luis Potosi, Mexico”*. *Water, Air, Soil Pollution*, páginas 297-309
- Carreon Freyre, D.C.; Hidalgo Moreno C.; Hernandez Marin M (2006).” Mecanismos de fracturamiento arcillosos en zonas urbanas. Caso de deformaciones diferenciales en Chalco, Estado de México” *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana No. Especial de Geología Urbana. Tomo LVIII No. 2, pp 237-250*.
- Castañón Gonzales, J. H ; Juárez Ramirez, C., Galindez Mayer, J: , Ruiz Ordaz Nora. (2006) *“Perturbación de un sistema de tratamiento de aguas residuales por un efluente sintético adicionado con 4-clorofenol” XI Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería*. 15 de mayo del 2006
- Castellanos Rosas Maria Cristina (1997) *Funciones administrativas aplicadas a la ejecución de una planta de tratamiento de aguas residuales*. Tesis profesional. (Ing. Químico) Facultad de Química. 1997. 150 p.
- Castro Martínez E.; García Inocencio V.; Ponce Rojas F. (1996) *Tratamiento de aguas residuales de una industria textil*. Tesina profesional.(Ingeniería Bioquímica Industrial. UAM Iztapalapa.
- Celis García L, González Blanco G.;Meraz, M (2008) *“Removal of sulfur inorganic compounds by a biofilm of sulfate reducing and sulfide oxidizing bacteria in a down-flow fluidized bed reactor” Journal of Chemical Technology and Biotecnology*. Vol 83 No. 3, página 260-268.
- Centro del Tercer Mundo para el Manejo del Agua. A.C. (2003) *El recurso hídrico en México. Análisis de la situación actual y perspectivas futuras*. México. CTMMA-Miguel Ángel Porrúa. México. 267 páginas.
- Cervantes Olvera Alejandro. (2005) *Manejo de las aguas residuales en restaurantes de comida rápida (HAMBURGUESAS)*. Tesis Profesional. (Ingeniería Civil). Facultad de Ingeniería UNAM. 60 p.
- Chantereau, Jean. (1985). *Corrosion Bacteriana* Editoria Limusa, México, 212 paginas.
- Chavez,G; Moeller, G; Mijailova,N.P.; Cardoso, L; Ramírez, E; López S. (1996). *Alternativas de tratamiento y reuso de lodos residuales. Volumen 1”*. Informe Técnico. IMTA.

- Chavez, B. Jimenez Cisneros y C. Maya. (2006) "Particle size distribution as a useful tool for microbiol detection". *Water Science Technology*. Volumen 50 Número 2 páginas 179-186
- Chavez, C; Castillo R; Dendeoven L; Escamilla Silva. (2005). "Poultry slaughter wastewater treatment with an up-flow anaerobia sludge blanket (UASB) reactor". *Bioresource Technology* 96, páginas 1730-1736.
- Chavez Zárate, G. (2003) "Del gobierno a la gobernabilidad de los recursos hídricos en México" en: Helena Cotler (compiladora). *El manejo integral de Cuencas en México. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. SEMARNAT-INE. México D.F. 347 páginas.
- Chargoy Vivaldo, O. (2004). *Evaluación y propuestas de optimización del funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales de una instalación industrial*. Tesis profesional. Ing. Química. Facultad de Química. UNAM. 86 p.
- Cifuentes R; Gomez, M; Blumenthal, U; Tellez Rojo, M.M; Romien, I; Ruiz Palacios, G.; Ruiz Velazco. (2000) "Risk factors for Giardia intestinalis infection in agricultural villages practicing wastewater irrigation in México". *American Journal of Tropical medicine and higiene*, Vol. 62 No 3, páginas 388-397.
- Clemente Ortega, A.Meza G.M; Ponce Noyola, M.T.: Montes Horcasitas; Caffarell Mendez M.C.et al. (2007). "Comparision of two continuos fungal bioreactors for treatment of anaerobical pretreated weack Black liquuor from Kraft pulp Mil". *Biotech. And Bioengieneering*. Vo. 96. No. 4, pp 640-650.
- Comisión Nacional del Agua (CNA) (2007) *Gestión del agua en cuencas y acuíferos sobreexplotados 200*" Ediciones CONAGUA, México D.F. 57 páginas
- \_\_\_\_\_ (CNA). (2008) *Estadísticas del Agua en México*. ubicado en [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_2008/06\\_agua/cap6\\_2.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_2008/06_agua/cap6_2.html) México, D.F
- Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH) (2001). "Recomendación 16/2000". *CNDH. 2001, México*.
- \_\_\_\_\_ (CNDH) (2001) *Informe de actividades del 16 de noviembre de 1999 al 15 de noviembre del 2000* consultado el 10 de abril del 2010 en <http://www.cndh.org.mx/lacndh/informes/anuales/00activ.pdf>
- Comision Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (1998). *La Diversidad Biológica de México. Estudio del país*. 1998. México D.F. página 342 paginas.
- Cordova, A.; Knutff, B (2005) "User satisfaction in large scale urban dry sanitation programs in Mexico". *Urban Water Journal*. Vol. 2 No. 4, 2005, pp. 227-240
- Crites, Ron; Tchobanoglous, George. (1998). *Small and decentralized Wastewater management Systems*. Edit , Mc. Graw Hill Science engineering. New York. USA. 776 páginas.
- Crittenden, J.C. Rhodes Trussel, R; Hand, David; Hand, David; Howe, K; Tchobanoglous, George. (2005). *Water treatment: Principles and design*. Second Edition. Hohn Wiley and Sons. New Jersey, USA. 1948 páginas.

- Crook, James (1996). "Water reclamation and reuse" in: *Water Resources Handbook*. Larry May (Edit in chief) Edit. MacGraw Hill. New York, página 21.3.
- Cuevas Soto J.C.(2006) *Estudio del tratamiento de aguas residuales en hospitales de la ciudad de Uruapan, Michoacan, en el año 2005*. Tesis profesional. Universidad Don Vasco. A.C. 258 p.
- De-Anda,-Jose; Shear,-Harvey; Maniak, Ulrich; Riedel,-Gerhard. (2000). "Phosphorus balance in Lake Chapala (Mexico)". *Journal-of-Great-Lakes-Research*. 26(2): 129-140
- De la Cruz, Rafael. (1987). *Tecnología y Poder*. Siglo veintiuno editores, México 1987, 225 paginas.
- De Velázquez, M.T.; Corro, J.M.D; Rodríguez I.M. (1998). "Improvement of wastewater coagulation using ozone" *Ozone science and engineering*. Vol. 20 No. 2, página 151-162
- Delgado, O.B; Ojeda B. S.; Marquez B. L. (2007). "Comparative analysis of hazardous household waste in two Mexican regions". *Waste Management 2007*; 27(6): 792-801.
- Del Rio, L.; Aguilar, M; Salazar, E; González o y Fragoso, A, Martínez, M.P. (1988). *Evaluación de tecnologías en la industria de refinación del petroleo*. Instituto Mexicano del Petroleo. Subdeireccion de transformación industrial PEMEX-Refinación. Subdirección de producción
- Demat, Alain. (1978). "Características del eje neovolcanico transmexicano y sus problemas de interpretación". *Revista del Instituto de Geología*. Vol 2, No. 2, páginas 172-187.
- Denny, P. (1997). "Implementation of constructed wetlands in developing countries". *Water Science Technology*. Vol 35, No. 5, páginas 27-34.
- Departement for Internacional Development (DFID), (1998), *Impact of wastewater reuse on groundwater in the Mezquital Valley, Hidalgo State. México*. Comisión Nacional del Agua, Brithis Geological Survey . University of Birmingham. Survey Technical report. W.C/ 98/92
- Díaz de Cossio, R. (1999) Barreras a la innovación tecnológica en México México : UNAM, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, 1999. 54 p. Tambien hay en formato de videocasete.
- Díaz Elena; Texera, Yolanda; Vessuri, Hebe. "La ciencia periférica.Ciencia y Sociedad en Venezuela". Monte Ávila Editores. 1983. Caracas Venezuela.291 páginas.
- Díaz Martínez Carlos Alberto. (2004). *Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas por el proceso de lodos activados "La Esperanza"*. Tesis Profesional (Ing. Civil, facultad de Ingeniería. UNAM.103 p.
- Dirección General de Construcción y operación hidráulica. (DGCOH) (1995a). *Análisis actual y proyección futura del suministro de agua en bloque a la zona metropolitana de la Ciudad de México*. Departamento del Distrito Federal. Dirección General de Operación y Construcción Hidráulica. México D.F. México. 59 p.

- (DGCOH) (1995b)  
Determinación de la demanda en el suministro de agua potable en el Distrito Federal. Departamento del Distrito Federal. Dirección General de Operación y Construcción Hidráulica. México, D.F 50 p.
- Downs, T.C.; Cifuentes García E.; y Suffet.M.S. (1999). "Risk screening for exposure to groundwater pollution in a wastewater irrigation of the México city region"..*Environmental Health Perspectives*. Vol 107, No. 7,p. 553-561
- Duarte Vázquez M.A; Ortega Tovar, M.A.; Garcia Almencarez, B.F; Regalado C. (2003). "Removal of aqueous phenolic compounds from a model system by oxidative polymerization with turnip (*Brassica napus*)". *Journal of Chemical technology* Vol. 78 No 1, p. 42-47
- Duran Hinojosa, Ulises. (2005). *Tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria de resinas poliméricas con aceptores de electrones simultaneos*. Tesis de Maestría en Biotecnología. UAM-Iztapalapa
- Durand Laasserve Alain (1985) "La cuestión del suelo y la problemática de la vivienda en las ciudades en desarrollo. Tendencias generales de la evolución cultural" pp. 5-21..en: *De la Metrópoli mexicana. Revista A*. Volumen VI No 18. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco. División de Ciencias Sociales y Humanidades.
- Echeverría, Javier.(2004) "La revolución tecnocientífica" *CONfines No. 1-2. página 9-15*.
- Elizondo Alarcón Jorge. I Esquivel Garduño Gabrie, Delgado Wise Mario, Cruz Quintana Ricardo, Sánchez Granados Gabriela. (2004). *Prospectiva de la demanda de agua en México 2000-2030*. Fundación Gonzalo Río Arronte. Fundación Javier Barros Sierra 105 p..
- Ellison, E.; Hendrick T.; Buisman,C. (2006). "A new reactor concept for sludge reduction using aquatic worms". *Water Research*. No 40, p. 3713-3718.
- Ericsson, Jon. (1992). *Las edades del hielo. La próxima glaciación*. Editorial McGraw Hill. México, p. 85-86.
- Escalante, V; Moeller, G; Rivas, A. (2000). "Pond evaluation and upgrading in México". *Water Science and Technology*. Vol 42 No. 10-11, p. 43-50
- Escamilla, M; A Krutycz; R. van de Helm. (2003) "Water participation for poverty alleviation. The case of meseta purepecha", México. *Water Science and Technology*. Vol. 47 No. 6, p. 145-148.
- Esponda Aguilar P.L. (2001) *Arranque de un sistema experimental de flujo vertical a escala piloto de tipo humedal artificial de flujo vertical descendente para el tratamiento de aguas residuales*. Tesis profesional (Ing. Químico) Facultad de Química. UNAM, 89 p.
- Esquivel Martínez Maricela. (2003) *Parámetros que influyen en el diseño de un sistema aerobio*. Tesis Maestría (Biotecnología) UAM Iztapalapa. CBS.
- Estelles, M.V. y C. Díaz Delgado. (2002). "Environmental effects of aquifer over exploitation: a case study in the highlands of México". *Environmental Management*. Vol 29, No. 2. p. 266-278.

- Estrada Alvarado María Isabel, Gutierrez Ceron Miguel Angel, Martinez Nito Marcelo. (1993). *Paquete Tecnológico. Sistema de aguas residuales para la industria quesera* UAM Iztapalapa
- Estudillo Clavería Magali Jasmin. (2004). *Contenido de arsénico en suelos agrícolas regados con agua residual no tratadas*. Tesis profesional. Ingeniería química. Facultad de Química. 103 p.
- Ezcurra, E; Mazarí Hiriart, M.; Major David C. Brimblecombe P.; Cohen M. (1996) "¿Are megacities viability. A cautionary tale from Mexico City ?", *Environment*. Vol. 38 No. 1 p. 4-24
- Ezcurra, E; Mazari-Hiriart, Pisanty I y Aguilar, A. (1999). *The basin of Mexico critical environmental issues and sustainability*. United Nations University. Press Tokyo. 216 p.
- Fair, G.M.; Geyer, J; Alexander, Okum, D. (1981). *Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales*. Editorial Limusa, México D.F. 761 p..
- Fenoglio Limon, F. (2000) *Bases de diseño para la construcción de un reactor biológico experimental basado en los sistemas artificiales de flujo experimental*. Tesis profesional (Ing. Químico) Facultad de Química. UNAM. 107 p.
- Ferrusquilla Villafranca, Ismael. (1998) "Geología de México. Una sinopsis" en : *Diversidad Biológica de México. Origen y distribución*. Ramamoorthy, T.P; Bye, Robert; Antonio Lot y John Fa. UNAM, p.57-59
- Flores Olea, Víctor; Moriño Flores Abelardo. (2004). *Crítica de la globalidad. Dominación y liberación en nuestro tiempo*. Fondo de Cultura Económica. México. 3ª edición. 598 p.
- Flores Torres,C.A.. (2001) *Tratamiento anaerobio de aguas residuales municipales*. Tesis Profesional (Ingeniería Civil) Facultad de Ingeniería UNAM. 166 p.
- Fourez, G. (1994) *La construcción del conocimiento científico : sociología y ética de la ciencia*. Editorial Narcea. Madrid España. 206 p.
- Frias Figueroa, J. Rolando.(1983). *Evaluación del tren del proceso de tratamiento de aguas residuales del sistema regional Toluca Lerma*. Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería, UNAM, 79 p.
- Fuentes Guridi V. (2001). *Evaluación técnica económica del tratamiento de aguas residuales municipales en México*. Tesis profesional. Ingeniería Civil. UNAM,
- Full, C; Loarne Navia. J.L. (2007). "Design of a tracer test experience an dinamical calibration." *Water Environmental Research*. pp.893-900
- Galeana Chavez Ernesto; Ramos Sanchez Marcial; Velázquez Salas Juan. (1989). *Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea* Ingeniería Química. Tesina Proyecto Terminal. UAM Iztapalapa. CBS..
- Gallego-Badillo R. (2001). *Discurso constructivista sobre las tecnologías. Una mirada epistemológica*. Cooperativa Editorial Magisterio. Primera edición. Bogota, Colombia. 304 p..
- García Aragon J.A. et al. (2007) "Assessment of pollution by heavy metals and hydraulic storage capacity reduction by sediment filling of a mexican reservoir". *Hidrobiologica* 17(2), p. 127-138

- García Chavez, M.G. Curiel Ballesteros A. (2006). "La transformación de las visiones del agua en Jalisco. De lo espiritual a lo utilitario *en: El debate del agua en Jalisco y Andalucía*. Navarro García y Regalado Santillan (Coordinadores) Junta de Andalucía. CSIC. p.202-203. Sevilla España.
- García Díaz G. (1988) *Producción de proteína microbiana a partir del tratamiento aerobico de las aguas residuales de un ingenio azucarero*. Ingeniero en Alimentos CBS, 1998. UAM Iztapalapa. Dirigio Carmen Duran de Bazúa
- García, D.J.; Lozano, L.; Agüero, J.J.; (2005). *Química Industrial*. Escuela técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad politécnica de Cartagena. Primera Edición, 975 p.. Cartagena, España.
- García Jaramillo Hugo Cesar. (2002). *Empleo de un sistema de información geográfica (sig) en la evaluación de la calidad del suelo en un distrito de riego de Tula, Hidalgo*. Ciencias Biologicas y de la Salud. Servicio Social. UAM Iztapalapa.
- García Perez Eunice. (2007). *Estudio de factibilidad para la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales como alternativa para el sistema de riego de un campo de golf localizado en el D.F., delegación Tlalpan*. Tesis profesional.( Lic. en Economía) Facultad de Economía. UNAM,. 156 p.
- García Rodríguez Lino.(2007). *Construcción de la planta de bombeo de aguas pluviales y residuales de la Unidad Habitacional San José de la Palma, en el Estado de México*. Tesis Profesional Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería UNAM. 117 p.
- Garrido Hoyos, S.E; Campo Sanchez, M.G.M; Gómez Beltran, C; Vaca Paulin, R; Lugo de la Fuente, J.A. (2005). "Use of biosolids and compost in broad bean crop (Vicia faba)" *Ingenieria Hidráulica* Vol. 20 No 4. pp 121-135.
- Garzón Lozano, L.E. *Xochimilco Hoy*. Instituto Mora, Gobierno del Distrito Federal Delegación Xochimilco, 93 p.
- Gasparini, Olga (1969). *La investigación en Venezuela. Condiciones de su desarrollo*. Publicaciones IVIC. Caracas. 234 p.
- Gelover, S; Bandala, F.R; Leal Ascencio; Perez S; Martínez E. (2000). "Determination of volatile compound in drinking water supplies in México" *Environmental toxicology*. No 26 paginas 465-474.
- Gerrit, H. ; Bobbink, R; "México Central Volcanoes area: An introduction" in: *Ecology and Man in México Central Volcanoes area*, páginas 7-9. Kluwer Academic Publisher Dorduech. The Netherlands.
- Giao, M.S.; Azevedo, N.F.; Wilkins, S.A. ; Vieira, M.J.; Keevil N.O. (2008) "Persistence of Heliobacter pylori in heterotrophic drinking water biofilm". *Applied and environmental microbiology*, p. 5898-5904
- Green Ruiz Carlos. (1997). "Mercury (II) removal from aqueous Solutions by nonviable Bacillus sp from a tropical estuary". *Bioresource technology*. 97(2006) 1907-1911
- Guevara Sánchez, Arturo.(1986) *Arqueología del área de Cuarenta Casas, INAH/SEP*. México. 1986. Colección científica. t 151
- Gobierno Constitucional del estado libre y soberano de Jalisco.(1995). *Plan Estatal de Desarrollo Jalisco 1995-2000*. Guadalajara, Jalisco.

- Gómez Morales, E. (2005). *Manejo de aguas residuales en la ciudad de México. Alternativas de solución*. Tesis Profesional (Ing. Químico). Facultad de Química. UNAM. 116 p.
- Gómez Villa, H; Voltolina, D; Nieves, M; Poña, P. (2005). "The biomass production and nutrient budget in outdoor cultures of *Scenedesmus obliquus* (Chlorophyceae) in artificial wastewater under the winter and summer conditions in Mazatlan, Sinaloa, México." *Vie et Milieu. Life and environment*. Vol 55 No. 2, pp. 121-126
- Gonzalez Blanco, G. (2007). *Conversión de sulfato a azufre elemental en un reactor de lecho fluidizado inverso bajo condiciones de limitación de oxígeno disuelto* Tesis Maestría (Biotecnología). CBS, UAM Iztapalapa. 108 p.
- Gonzales Brambila M. (2006). *Estudio del comportamiento de biopelículas aerobias en membranas permeables*. Doctorado en biotecnología. UAM Iztapalapa.
- Gonzalez Estrada Diana Miroslava (1998). *Evaluación de la contaminación de aguas residuales en el río Papalotes, Tizayca, Hidalgo-Zumpango, EDOMEX* Tesis Profesional (Biología) FES Zaragoza. UNAM
- Gonzalez Lorenzo Ernesto. (2001). *Selección de un pretratamiento fisicoquímico de aguas residuales con fines de recarga artificial del acuífero del Valle de México*. Tesis maestría (Química Ambiental). Facultad de Química, UNAM. 147 p.
- González Martínez S.; Duque Luciano J. (1992) " Aerobic submerged biofilm reactor for wastewater treatment". *Water Research* Vol. 26 No. 6, pp 823-833.
- Gurria Lacroix, Jorge. (1978). *El desagüe del Valle de México durante la época novohispana*. UNAM, Dirección General de Publicaciones. México. 175 p.
- Gutierrez Salinas G.(1993). *Estudio experimental de tratamiento químico para remover cadmio y cromo de las aguas residuales*. Tesis Profesional. (Ingeniero químico). Fac. de Química. UNAM. 131 p.
- Gutierrez Macias A. (2009) *Tratamiento biológico avanzado de aguas residuales utilizando reactores con cintas de poliestileno*. Tesis Maestría ( Ing. Ambiental) Facultad de Ingeniería UNAM 63 p.
- Gutiérrez Sarabia, A.; Fernández Villagómez, G; Martínez Pereda, P; Rinderknecht-Seijas, N.; Poggi Varaldo, H. M. (2004) Slaughterhouse Wastewater Treatment In a Full-scale System With Constructed Wetlands. *Water Environmental Research*. Vol. 78 No. 4, pp 334-343.
- Guzman Q. A; Palacios V. O; Carrillo G. R; Chávez M. J.(2007). "Surface water pollution at the Texcoco River basin in Mexico". *Agrociencia*. 41(4) 385-393.
- Ha, J.H.; Ong, S.K. (2007). "Nitrification and denitrification".. *Water Science and Technology*. Vol. 55 No. 1-2
- Haberl, R. (1999) "Constructed Wetlands: A Chance to Solve Wastewater Problems in Developing Countries" *Water Science and Technology* Vol. 40 No. 3 pp 11–17
- Halbinger Flores Cristian (2004). *Evaluación de los procesos de desorción e intercambio iónico para eliminar amoníaco contenido en las aguas residuales*

- tratadas con fines de recarga artificial a los acuíferos* Tesis Profesional. (Ingeniero Químico). UNAM. 99 p.
- Haro Osorio, G. (2000). "El problema del agotamiento de los acuíferos", en: Mazari, (editor): *Dualidad población agua. Inicio del tercer milenio*. El Colegio Nacional, México.
- Hammer, Mark, K.J.; Hammer, Jr Mark, K.J. (1996). *Water and wastewater technology*. Prentice Hall international. London England. 249 p.
- Harleman D.R.F y S Murcott (1999). "The role of physical-chemical wastewater treatment in the megacities of the developing world." *Water Science and Technology* Vol. 40 No. 4-5, pp 75-80
- He Lian Sheng; Liu Hong Liang; Xi Bei Dou; Zhuy Ying Bo. (2006). "Effects of effluent recirculation in vertical flow constructed wetland on treatment efficiency of livestock wastewater." *Water Science Technology*. Vol. 54 No. 11-12, p. 137-146.
- Henze, Moens; Harremoes, Paul; Cour Jansen, Jes la Cour; Arvin Eric. (2002). *Wastewater treatment. Biological and Chemical processes*. Springer-Verlag. Berlin-Nueva York. 430 p.
- Herbig Jost (1996) *La evolución del conocimiento. Del pensamiento mítico al pensamiento racional*. Edit. Herder. Barcelona España, 333 p.
- Hernández Calvo. Abel Baltasar (2008). *Selección de una prueba de biodegradabilidad para la evaluación de aguas residuales*. Tesis Profesional (Quimicofarmacobiólogo). FES Zaragoza, UNAM. 102 p.
- Hernández Muñoz, Aurelio. (1998). *Depuración de aguas residuales. Colegio de Ingenieros de caminos, canales y puertos*. Colección Senior No. 9. 1003 p, Madrid, España.
- Hernandez Zamora, José Antonio. ( 2001). *La participación de la iniciativa privada en la prestación de los servicios públicos de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales*. Tesis Profesional (Derecho) Facultad de Derecho UNAM. 121 p.
- Herrera Toledo C. (2006). *A long-term forecast for the future of water resource in Mexico* . 4ª foro Mundial del agua . pp. 79-86.
- Hiriart, F.; Marzal, R.; Cruickshank, G.; Key, F. (1952). *Contribución de la Comisión Federal de Electricidad a la solución del problema de abastecimiento de agua a la ciudad de México*. CFE, México, 241 p.
- Holum, J.R. (2000). *Introducción a los principios de química*. Editorial Limusa, Noriega Editores, 273 p.
- Houbron, E; Larrinaga, A; Rustrian, E. (2003) "Liquefaction and methanization of solid and liquid coffee wastes by two phases anaerobic digestion process" *Water Science Technology*. Vol. 48 No. 6, pp 255-262.
- Humboldt, Alejandro de (1993). *Ensayo político sobre el Reino de la Nueva España*. México, Porrúa.

- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.(IMTA) (1987). “*Visita al Sistema Cutzamala*”. *Boletín No. 2*, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, p. 23.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (INEGI) (1992) *Síntesis Geográfica del Estado de Hidalgo*. Aguascalientes, México. 65 p.
- 
- (INEGI (2000) *Estadísticas del medio ambiente y zona metropolitana de la ciudad de México*. Aguascalientes, México. 259 páginas.
- 
- (INEGI) (2000) *Cuaderno estadístico de la zona metropolitana de la Cd. De México*. Aguascalientes, México. 247 páginas.
- 
- (INEGI) (2004a). *Estadísticas a propósito del día mundial del medio ambiente*. México 2004. 63 páginas.
- 
- (INEGI) (2004b) *Panorama censal de los organismos operadores del agua en México*. Aguascalientes, México.(octubre 2007), 49 p.
- 
- (INEGI) (2004C) *Electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final* Aguascalientes, México.(octubre 2006) 80 p.
- 
- (INEGI) (2005). *Cuaderno estadístico de la zona metropolitana de la Cd. De México*. Aguascalientes México. 227 p.
- 
- (INEGI). *Carta Geológica Valle de México escala 1:500 000*. Aguascalientes México.
- 
- (INEGI) (2007) *Estadísticas del agua en México*. Aguascalientes, México. 259 p.
- Iranzo, J.M. (1995) “Visiones del poder desde la sociología del conocimiento científico”., páginas 283-302 en: *Sociología de la ciencia y la tecnología*. J. Manuel Iranzo, J. Ruben Blanco, Teresa Gonzalez de la Fe, Cristobal Torres y Alberto Castillo (Editores). Consejo Superior de Investigacion Científica. Madrid . 468 páginas
- Islas Bernal, Israel Felipe. (2007) *Evaluación de opciones de modernización de una planta de tratamiento de aguas residuales*. Tesis de Maestria en Ingeniería Química. Fac. Química. UNAM. 175 p
- Iza, J. (1991). “*Fluidized bed reactors for anaerobic wastewater treatment*”. *Water Science and technology*. Vol. 24 No. 8, 109-132.
- Jayaweera, M.W.; Kasturiarachchi J.C (2004). “Removal of nitrogen and phosphorus from industrial wastewater by phytoremediation using wáter hyacint.” *Water Science Tecnology*. Vol. 50. No 6, 217-225.
- Jaramillo Monterrubio; Mendez Ramírz Miriam. (1998). *Determinación de la especiación química de metales pesados en suelos agrícolas irrigados con aguas residuales de tizayuca, Hidalgo, así como su riesgo de magnificación al nivel trófico inmediato*. Tesis Profesional (Biología). FES Zaragoza. 84 p.

- Jenkis, R; Russel, L.F. (1994). "Heavy metals contribution of household washing products to municipal wastewater". *Water Environmental Research*. No. 66, 805-813
- Jimenez Cisneros B. (1995). "Wastewater reuse to increase soil productivity". *Water Science and technology*. Vol. 32, No. 12, 1773-1780.
- Jimenez Cisneros, B.; Ramos, J. (1996) "Reuso potencial del agua residual municipal en Mexico. Federalismo y Desarrollo. Banobras Vol 10 No. 59-60 (Jul-Dic 1997)
- Jiménez Cisneros B; Chávez, A. (1998a). "Removal of helminth eggs in an advanced primary treatment with sludge blanket". *Environmental Technology*. No. 99 1061-1071
- Jiménez Cisneros B; Landa Homero.(1998b). "Physico-chemical and Bacteriological characterization of wastewater from México city". *Science Water Tech*. Vol 37. No. 1, 1-8
- Jimenez Cisneros B; Chavez a.; Jardínez, L; (2001a). "Removal of microorganisms in different stages of wastewater treatment for México City". *Water Science Technology*. Vol. 43, No. 10, 155-162
- Jimenez Cisneros B. E; C. Maya Rendón; G. Salgado Velázquez. (2001b). "The elimination of helminth ova, faecal coliforms, salmonella and protozoan cysts by various physicochemical process in wastewater and sludge". *Water Science and Technology*. Vol. 43 No. 12, 179-182
- Jimenez Cisneros B; Mendez, J.M, Barrios, J.A; Salgado, G; Sheinbaum, C. (2004) "Characterization and evaluation of potential reuse options for wastewater sludge and combined system sediments in México", *Water Science and Technology*, Vol. 49 No. 10, paginas 171-178.
- Jiménez Cisneros, B; Cho, J; Kim, S.. (2007) "Helminth ova removal from wastewater for agriculture and aquaculture reuse" *Water Science and Technology*. Vol. 55, No., 1-2, 485-493.
- Jiménez Tovar B.J. (1999) *Construcción y arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales tipo humedal artificial de flujo horizontal*. Tesis profesional (Ing. Químico) Facultad de Química. UNAM. 182 p.
- Koné, D; Cofie, O. ; Zurbrügg, C; Gallizzi, K; Moser D; , Drescher S.; and Strauss, M. (2007) "Helminth eggs inactivation efficiency by faecal sludge dewatering and co-composting in tropical climates" *Water Research Volume* Vol. 41, No.19, 4397-4402
- Kootatep T y Polprasert C. (1997) "Role of plant uptake on nitrogen removal in constructed wetland located in tropics". *Water Science and Technology*. Vol. 36 No.12, 1-8
- Ladriere Jean (1978). *El reto de la racionalidad: La ciencia y la tecnología frente a las culturas*. Ediciones Sigueme. Salamanca. España. 196 p.
- Large, P.T.. (1983). *Methylothyrophy and methanogenesis*. American Society for Microbiology. 3-12.

- Latetenmair, D; Mc Cabe, G; Stakhin, E. (1993). *Global climate change in: Water Resources Handbook*. Larry May (Edit. In chief) Mac Graw Hill. New York. 245 p.
- Leff, E. (1998) *Saber ambiental, sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder*. Editorial siglo XXI, 4ª edición, México, D.F.285 p.
- Leff, E. (2001) *Espacio, lugar y tiempo. La reapropiación social de la naturaleza y la construcción local de la racionalidad ambiental*. Revista Nueva Sociedad. No. 175, 28-42.
- Lehninger, Albert. (1995). *Bioquímica. Las bases moleculares de la estructura y función celular*. Ediciones Omega. S.A. Barcelona, 1092 p.
- Lenz, Hans (1969) *México Tenochtitlan. Ciudad lacustre según el relato de sus cronistas*. Grupo Editorial Miguel Angel Porrúa. México.55 p.
- León Ibarra, J.F. ( 2007) *Planeación, diseño y construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas en lechos de carrizo*. Tesis profesional (Ing. Civil) Facultad de Ingeniería UNAM. 91 p.
- Lessard, Paul; Le Bihan, Yan. (2003). "Fixed film process". páginas 317-336 in : *The Handbook of water and wastewater microbiology*. Duncan Mara and Nigel Hosan (editors) Academic Press. New York. USA.
- Londoño Rodríguez, W. 2004. *Tratamiento de los lixiviados con procesos facultativos biológicos mediante el sistema de lagunas facultativas operadas con aguas residuales domésticas*. Tesis profesional (Ingeniería Civil). Facultad de Ingeniería UNAM. 77 p.
- Lozano-Garcia,-Socorro; Sosa-Najera,-Susana; Sugiura,-Yoko; Caballero,-Margarita. (2005)."23,000 year of vegetation history of the Upper Lerma, a tropical high-altitude basin in Central Mexico" *Quaternary Research*. Vol. 64 No. 1, 70-82
- Lloyd B.J.; Leitner, A.R; Vorkas, C.A; Guganesharajeah. (2003). "Under performance evaluation and rehabilitation strategy for waste stabilization ponds in México". *Water Science Technology*. Vol 48.
- Ludlow-Wiechers,-Beatriz; Almeida-Leñero,-Lucia; Sugiura,-Yoko. (2003). *Palinomorfos del holoceno en la cuenca alta del Río Lerma, Estado de México, México*. Boletín de la Sociedad Botánica de México No. 72, 59-105
- Lue Hing, Matthew, P; Namer Okuna; Spinoza. (1996). "Sludge management in highly urbanied areas". *En: Global Atlas of wastewater sludge and biosolids*. Mattehews (Edit) Scientific and technical report No 40 (AW. U.K)
- Lugo Lugo.V.; Barrera Díaz C. ; Hernández López S. (2006) "Remoción de plomo (II) presente en soluciones acuosas empleando cáscara de naranja (*Citrus sp*) modificada". *V Congreso . Internacional y XI Congreso Nacional de Ciencias Ambientales 7-9 de julio del 2006*.Universidad Autonoma del Estado de Morelos, Academia Mexicana de Ciencias Ambientales
- Maciel Luna, M.A. (1997). *Tratamiento biológico de aguas residuales del procesamiento de Cempasuchitl. Estudio de Factibilidad*. Tesis Profesional. (Ing química) Facultad Química, UNAM. 100 p.
- Maldonado, Yadira (1999). *Participación de la iniciativa privada en los organismos operadores en: Aqua forum publicación bimestral de la Comisión Estatal del*

Agua y Saneamiento del Estado de Guanajuato". Año 4 No 18, Julio Agosto 1999. 13-16

- Maleaba, Franco. (2009). "La teoría evolucionista: Las aportaciones empíricas", p. 49-68 en: (Riccardo Viale. Compilador) *Las nuevas economías. De la economía evolucionista a la economía cognitiva; mas alla de las fallas de la teoría clásica*. Editorial FLACSO, Segunda Edición. México D.F. 332 p.
- Maloney, Lawrence (1992). "Ingeniería de diseño". en: *Diccionario Enciclopedico de Ciencia y Tecnología*. Prentice Hall Hispanoamericana. Tomo 2, p. 685
- Manrique y Asociados. (2003). *Estudio para diagnosticar el funcionamiento actual en las plantas de tratamiento de agua residual que opera el sistema de Aguas de la Ciudad de México*. No CONTRATO 06-PD-SA-10-0334-1-03 350 p.
- Maqueda, M.A; Martínez S.; Narvèez D.; Rodríguez R.; Aguilera R.; Herrera V. (2006) "Dynamical modelling of an activated sludge system of a petrochemical plant operating at high temperatures". *Water Science and Technology*. Vol. 53 No 11, pp. 135-142
- Marín Galvin, Rafael. (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas*. Ediciones Díaz de los Santos. México . 311 p.
- Marquez Morfin L. (1992) *La desigualdad ante la muerte en la Ciudad de México. El tifo y el colera ( 1813 y 1833)* Siglo XXI editores. México D.F.
- Marquita K.Hill. (1997). *Understanding environmental pollution*. Cambridge University Press. U.K. 316 p.
- Martin, E.J.; Redwood, M. (2005) "Wastewater irrigation in developing countries. Limitation for farmers to adopt appropriate practices". *Irrigation and drainage* Vol. 54 Suppl. 1, s63-s70
- Martinez Cruz Miguel Angel; Salas Bañales Eduardo; Torres Reyes Marco Antonio. (2003). *Recuperacion de metales pesados por biomasa*. Tesina. (Ingeniería Química). UAM Iztapalapa.
- Martínez Delgadillo, S.A; Rodríguez Rosales, M.C.; Aguilar Lopez R; Soto Croates, G.(2004) "Performance evaluation of electrochemical reactors for the removal of Cr (VI) from wastewater". *Ingeniería Hidráulica*. Vol 19 No. 4, pp. 97-103
- Martínez G.L. y Chacalo H.A. (1994). *Los árboles de la ciudad de México*. UAM, México. 351 p.
- Martínez Gallegos, S; Martínez V; Bulbulian S. (2004) "Chromium (VI) separation from tannery wastes utilizing hidrotalcites separation" *Science and Technology* Vol. 39 No. 3, 667-681
- Martínez Irineo, Fernando. (2006). *Implementación de un sistema de aguas residuales en la industria textil con un sistema de recuperación. Reporte de titulación por experiencia profesional*". (Lic.) Ingeniero Químico. FES-Zaragoza. 85 p.
- Marron Montiel, E.; Ruiz Ordaz N.; Rubio Granados C.; Juárez Ramírez C.; Galíndez Mayer, C.J (.2006). "2-4-d degrading bacterial consortium in batch and continuous culture and application for bioaugmentation and activated sludge microbial community". *Process Biochemistry*. No. 41 1521-1528.

- Mazari Hiriart, M.; Bojórquez Tapia, L.; Noyola Robles A.; Díaz Mondragón, S. (2000a). "Recarga, calidad y reuso del agua en la zona metropolitana de la Ciudad de México". 137-165 , en: Mazari, (editor) *Dualidad población agua. Inicio del tercer milenio*. El Colegio Nacional, México 281 p.
- Mazari Hiriart, M; Cifuentes, E.; Velázquez, E. ; Calva, J.N.(2000b). "Microbiological groundwater quality and health indicators in Mexico City". *Urban Ecosystems* No. 4 91-103,
- Mazari Hiriart, M; López Vidal y Alva J.J. ( 2001). "Heliobacter pylori in water systems for human uses in México city". *Water Science and Technology*. Vol. 43. No 12. 93-98.
- Mazari Hiriart,M.; Bojorquez Tapia; Noyola, A.; Exqurra, E. (2006a). "Ciudad de México: Dependiente de sus recursos hídricos". *Ciudades* 51. Julio Septiembre , 42-51
- Mazari Hiriart, M.; Cruz Bello, G; Bojorquez Tapia, L, Juarez Marusichi, L (2006b) "*Groundwater vulnerability assesment for organic compounds: Fuzzi multicriteria approach for México City*". *Environmental Assesment*. Vol. 37 No. 3, 410-421
- Maya Rendon, C.; Jiménez Cisneros, B.; Barrios Perez, J.A. (2002) "Evaluación microbiológica de un lodo residual de México. Perspectiva de Reuso". 1-7 en: *XXVII Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental*. Cancún, México, del 27 al 31 de octubre 2002.
- Medina Manuel. (2000). "Ciencia, tecnología, cultura en el siglo XXI" 12-15 en: *Ciencia, tecnología/naturaleza, cultura en el siglo XXI* Manuel Medina y Teresa Kwiatowska (Editores) edición ANTHROPOS-UAM Iztapalapa, 252 p.
- Mendez, G.T; Guajardo, V; Hernández H. (1990). "Impacto de los suelos del DDR 063 por el efecto del boro , detergentes, grasas y aceites presentes en las aguas residuales de la zona metropolitana de la Ciudad de México" 44-45 en: *Memoria del primer simposio Nacional de Degradación del suelo*. Instituto de Geología UNAM.
- Mendez, J.M.; Jiménez, B.E; Barrios, J.(2002). "Improved alkaline stabilization". *Water Science technology*. Vol 46 No 10, PP. 139-146
- Mendoza Espinosa; Orozco Borbon, M.V.; Silva Nava, P. (2004). "Quality assessment of reclaimed water for its posible use for crop irrigation and aquifer recharge in Ensenada, Baja California, México". *Water Science Technology* Vol. 5 No. 2, 285-291.
- Mendoza Espinosa, L.G.; Cabello Pasini A.; Macías Carranza, W.; Dásele Hever, M.; Orozco Borbon, M.V.; Quintanilla Montoya, A.L. (2008). "The effect of reclaimed wastewater the quality and growth of grape wines". *Water Science Technology*. Vol. 57 No. 9, 1445-1450
- Mercado-Silva,-Norman; Lyons,-John ; Diaz-Pardo,-Edmundo; Gutierrez-Hernandez,-Altagracia ; Ornelas-Garcia,-Claudia-Patricia; Pedraza-Lara,-Carlos; Vander-Zanden,-M-Jake. (2006). "Long-term changes in the fish assemblage of the Laja River, Guanajuato, central Mexico". *Aquatic-Conservation.*; Vol. 16 No. 5: 533-546.

- Metcalf and Eddy (Inc.); Tchobanoglous, George ; Burton, Franklin L (2005). *Ingeniería de aguas residuales : tratamiento, vertido y reutilización*. Editorial Mc Grw Hill College. . New York, USA. 1819 p.
- Metcalf, S; Davies, S.J.; Braisb J.D; Leng M.J. ; Newton A.J.;Terret N.L. (2007) "Long and short term change in the Patzcuaro Basin, Central México". *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*. Vol. 247 No. 3-4, 272-295
- Micham C. (1989) *¿Que es la filosofía de la tecnología?*. Editorial Anthropos. Servicio editorial universidad del pais Vasco. Bilbao, España. 214 p.
- Mijailova Nacheva P; Torres Bustillos Luis; Ramirez Camperos Esperanza; López Armenta Socorro; Cardoso Viguera Lina. (1996) "Characterization and coagulation-flocculation treatability of México City Wastewater applying ferric chloric and polymer". *Water Science Tech*. Vol. 34 No. 3-4. 235-247.
- Mijaylova Nacheva, P.; Moeller, G.; Chavez E.; Ramírea E.; Cardoso; Vigeros L. (2002). "Characterization and dewaterability of raw and stabilized sludge using different treatment methods". *Water Science Technology*. Vol. 46, No. 10, 123-130.
- Mijailova N, P.; Armenta, S.I; Camperos, E.R; Viguera E.C. (2003) "Technology for trivalent chromium removal and recovery in tanneries effluents". *Ingeniería Hidráulica en México*. Vol 18 No 1 pp. 21-37
- Mijailova, Nacheva, P, Moeller, G. . (2004). « Alternative treatment strategy ». *Water Science and Technology*. Vol 56 No. 2, 121-130
- Mijaylova Nacheva,P; Canul Chuil, A. (2006a). "Anaerobic biodegradation of chlorinee aliphatic compounds using packed bed reactor". *Water Science and Technology*.Vol. 54, No. 10, 193-200
- Mijaylova Nacheva P.; Peña Loera B; Cuevas Velasco S. (2006b). "Anaerobic treatment of organic chemical wastewater using packed bed reactors". *Water Science and Technology*. Vol. 54 No. 10, 67-77.
- Miranda, M.G. (1998). *Estudio sobre absorción del plomo por Lemna gibba. Cambios bioquímicos básicos*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias UNAM, página 91-93
- Moeller G.; Chávez I.; Seguí, L.; Alfrance Burriel, V.; Escalante Estrada, F.; Bozo Roman, F.; Rivas Hernández, R. (2004) "Water reuse in the Apatlaco river basin (México). A feasibility study". *Water Science and Technology*. Vol. 50 No. 2, pp 320-337.
- Moeller, Ch, G; Escalante E, V. (2005). "Las lagunas de estabilización: Tecnología apropiada o tecnología de punta para el tratamiento de las aguas residuales?. La experiencia mexicana" 1-6. *XXVII Congreso interamericano de Engenharia Sanitaria e ambiental*. Sao Paulo, Brasil.
- Mohan, D; Pittman, C.V. (2007) "Arsenic removal from wastewater using adsorbents. A critical review" *.Journal of Hazardous Materials*. Vol 142 No. 1-2, 1-53.
- Molina Vázquez Diana Marcelina (2008)- *Remocion de nonifenoles en plantas de tratamiento de aguas residuales en Mexico*. Tesis Maestria Fac. Ingenieria UNAM. 96 p.

- Mondragón Godinez Josefina (2001). *Análisis microbiológicos en el tratamiento de aguas residuales por lodos activados*. Tesis Profesional. (Químico Farmacobióloga). FES Cuautitlan. 97 p.
- Monroy, O.; Vazquez F.; Derramadero, J.C.; Guyot, J.P. ; (1995). "Anaerobia-aerobia treatment of cheese wastewater with national technology in México. The case of "El Sauz" *Water Science and Technology*. No 32, No. 12, 149-156.
- Monroy, O; Fama, G.; Meraz, M.; Montoya, Leticia.; Macarie, H. (2000). "Anaerobic digestion for wastewater treatment in México. State of the technology". *Water Science and Technology*. Vol. 34 No 6, 1803-1816.
- Monroy Hermosillo, O. (2007) *La digestión anaerobia como parte modular de la sustentabilidad ambiental*. Manuscrito. <http://ai.org.mx/archivos/coloquios/3/La%20Digestion%20Anaerobia%20como%20parte%20Modular%20de%20la%20Sustentabilidad%20Ambiental.pdf>. Consultado el 20 de agosto del 2010
- Montiel, M; Ruiz Ordaz N; Rubio Granados C; Juarez Ramírez C; Galíndez Meyer, C.J. (2006) "2-4-d degrading bacterial consortium. Isolation, kinetic, characterization in batch and continuous culture and application for bioaugmentation an activated sludge microbial community". *Process biochemistry* 41, 1521-1528
- Morales Victorio Axel (1998). *Utilización del biogas proveniente de la digestión anaerobia de lodos via cogenerados de la planta de aguas residuales Texcoco Norte*. Tesis Profesional (.Ingeniero Químico) Facultad Química. 109 p.
- Moreno Grau, M.D. Luque Moreno, J. (1991). *Depuración por lagunaje de aguas residuales*. Manual de operadores. Monografías de la Secretaría de Estado par alas políticas del agua y del medio ambiente. Ministerio de Obras Públicas y transporte. Madrid. España. 369 p.
- Morgan, S.J.M.; López, H.J.; Noyola, R. A. (1999). "Tratamiento de aguas residuales. Matriz de descision de tecnología". *Vector de la Ingeniería Civil*. No. 31. Federación de Colegios de Ingenieros civiles de la República mexicana. A.C. 7-14 y 20
- Morles, Victor. (2002). "Sobre la metodología como ciencia y el método científico: un espacio polémico. *Revista de Pedagogía (Universidad Central de Venezuela)*. Vol. 23 No. 66, 121-146.
- Muñoz Cuevas A. (2007). *Pulimiento del efluente de un reactor anaerobio de lodos expandidos (EGSB) con macrofitas flotantes*. Tesis especialidad en Biotecnología. Universidad Autonoma Iztapalapa. 95 p.
- Muñoz Nava, Hipólito. (1997). *Lixiviación de aluminio en lechos de disposición de lodos*. Tesis de Maestria (Ing. Ambiental). División de Estudios de Posgrado. Facultad de Ingeniería. UNAM. 103 p.
- Muñoz Ramirez B. y Jiménez Ramirez. W. (2004). *Combinación de oxidación avanzada y adsorción y biodegradación sobre carbón activado para la depuración de aguas residuales*. Tesis Profesional (Ingeniería Química) . Facultad Química. UNAM. 136 p.

- Nandini, S. Valdez, M.H.; Sarma, S.S.S. (2005) "Life History Characteristics of cladocerans fed on wastewaters". *Acta hidrochimica et hidrobiologica*. Vol. 33 No. 2, 133-141.
- Naranjo González Mario Alberto (2004) "*Innovación y Desarrollo tecnológico: Una alternativa para los agronegocios*" Revista Mexicana de Agronegocios No. 14 (Enero-junio) Universidad Autónoma de la Laguna. Torreón, México. Página 237-250.
- Navarrete R. (2000) *Tratamiento biológico anaerobio de efluentes del procesamiento de alimentos marinos*. Tesis profesional (Ing. Químico) Facultad Química UNAM.
- Nelson N; Odum, H.T. Brown, M.T.; Alling A. (2001). "Living off the land" Resource efficiency of wetland wastewater treatment" *Space life sciences: Closed ecological systems; earth and space applications*". Advances in Space Research.
- Nelson, K; Jimenez Cisneros, B.; Tchonobanoglous, G.; Darby, Jeanine. (2004) "Sludge accumulation, characteristics and pathogen inactivation in four primary waste stabilization ponds in central Mexico" *Water Research*, Vol. 38, No. 1, 111- 123
- Nicanor Palmer, E. (1994). *Tratabilidad de detergentes en aguas residuales y planteamiento para el cambio de elaboración de detergentes*. Tesis profesional (Ing. Químico) Facultad de Química, UNAM. 149 p.
- Nieburg, H.L. (1973) *En el nombre de la ciencia: Análisis del control económico y político del conocimiento*. Editorial Tiempo contemporáneo. Colección Crítica ideológica. Buenos Aires, Argentina. 485 p.
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 (1996), "Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales", *Diario Oficial de la Federación* 24 de junio de 1996,
- Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997,(1998) "Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público". *Diario Oficial de la Federación* el 21 de septiembre de 1998
- Norma Oficial Mexicana NOM-004-ECOL-2001 (2002), "Que establece las especificaciones y límites máximos permisibles que regulen los contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final". *Diario Oficial de la Federación* el 18 de febrero del 2002
- Noyola Robles; A; Monroy, O. (1994). "Experiencias y perspectivas de tratamiento anaerobio en México". *III Taller latinoamericano de Digestión anaerobia* Montevideo, Uruguay.
- Noyola Robles, A. (1998) "*Anaerobio vs Aerobio, un debate (casi) superado: Biológico vs Primario Avanzado, ¿ el nuevo debate*". *Ingeniería y Ciencias Ambientales México*
- Noyola Robles, A. (1999). "Una experiencia en el Desarrollo de tecnología biológica para el tratamiento de aguas residuales". *Interciencia (Mayo-Junio) Vol. 24 No. 3, pp 169-172*

- Noyola Rocha, J. (1999). *Valle de Chalco Solidaridad. Monografía municipal* Instituto Mexiquense de cultura..
- O` Brian, E; Dietrich, D.R. (2004). "Hindsight rather than foresight: reality versus E.U. draft guideline on pharmaceutical in the environment". *Trends in Biotechnology*. Vol 22 No. 7, 326-330.
- Olguin, E y Hernandez E. (1992). "Aprovechamiento de plantas acuaticas para el tratamiento de aguas residuales". *Tecnología ambiental para el desarrollo sustentable*.
- Olguin Martínez Miguel Angel (2005) *Manejo de sistemas pequeños y descentralizados de aguas residuales*. Tesis profesional (Ing. Civil) Facultad de Ingeniería. 202 p.
- Oliva, H.; Velazco, D.; Ventura, C.; Ballinas, E.J.; Salvador, J.L.; Dendooven, F. (2004) "Estudios de eliminación de microorganismos patógenos de aguas residuales porcinos en un birreactor con tiempo de retención corto. *Revista computadorizada de Produccion Porcina*. Vol. 11 No. 1 2004.
- Olivé, León (2000) *El bien, el mal y la razon : facetas de la ciencia y de la tecnología* UNAM, Seminario de Problemas Cientificos y Filosoficos : Paidós, Mexico,. 212 p.
- Omnes, Roland (2000) *Filosofía de la ciencia*. Editorial Ideas Books, Barcelona España, 334 p.
- Orantes Ávalos julio Ceser (2001). *Reactor de lecho movil para tratar aguas residuales usando un nuevo material de soporte*. Tesis de Ingeniería. (Maestría Ambiental) . Facultad de Ingeniería. UNAM. 73 p.
- Orduña, Miguel Angel. (2002). *Migración de compuestos nitrogenados de lodos de desecho de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales de ciudad universitaria en columnas de suelo*. Tesis de Maestría en Ingeniería. Facultad de Ingeniería, UNAM. 104 p.
- Organization for Economic Cooperation and Development. (OCDE) (2002) *Frascati Manual. Propuesta de norma práctica para encuestas de Investigación y Desarrollo Experimental*. Edita Fundación Española de Ciencia y Tecnología, descargado el 13 de septiembre de 2009 en <http://redc.revistas.csic.es/index.php/redc/article/viewFile/200/255>
- 
- (OCDE). (2004). *Understanding Economic Growth: macro-level, industry-level, firm-level*. Paris. Organization for Economic Cooperation and Development. Palgrave Mac Millan Paris. 165 p.
- Orozco Cabrera,J.M. (2001) *Ingeniería de los sistemas de tratamiento de aguas residuales mediante zanjas de oxidación*. Tesis profesional (Ing. Civil)
- Ortega Clemente A.; Marín Mezo G.; Ponce Noyola M.T.; Montes Horcaditas M.C.; Caffarel Méndez S.; Barrera Cortés J.; Poggi-Varaldo J.S.(2007) "Comparison of two continuous fungal bioreactors for posttreatment of anaerobically pretreated weak black liquor from kraft pulp mills" . *Biotechnology and Bioengineering* Vol. 96, No. 4, 640–650.

- Ortega Larrocea M. P.; Siebe C, Bécard, G; I. Méndez, I; Webster R. (2001) "Impact of a century of wastewater irrigation on the abundance of arbuscular mycorrhizal spores in the soil of the Mezquital Valley of Mexico" *Applied Soil Ecology*. Vol. 16, No. 2, 149-157
- Ortíz Hernández, M.C; Saenz Morales R. (1997). "Effects of organic material and distribution of fecal coliforms in Chetumal Bay, Quintana Roo, México". *Environmental Monitoring and assessment* 55, 423-434.
- Ortíz Zamora, D.C.; Ortega Guerrero, M.A. (2007). "Origen y evolución de un nuevo lago en la planicie de Chalco: Implicaciones de peligro por subsidencia e inundación de áreas urbanas en Valle de Chalco (Estado de México9 y Tlahuac (Distrito Federal)" *Investigaciones Geográficas del Instituto de Geografía*. No 64 pp 26-42
- Otero Gonzáles, Alberto. (2007). *Análisis de los beneficios de la reutilización de aguas residuales en unidades habitacionales mediante la instalación de una planta de tratamiento*. Tesis profesional. (Ingeniería Civil). FES Acatlan, UNAM.
- Owens, J.E; Niemeyer, E.D. (2006) "Analysis of chemical contamination with a canal in a mexican border colonia" *Environmental pollution* 140, 506-515.
- Pacheco Salazar, V.; Pavon Silva, T.; Sanchez Meza, J.C.; Mejía Pedrero G.; (2006) "Reingeniería de una planta de tratamiento de lodos activados para abatir el fenómeno de esponjamiento" *V Congreso. Internacional y XI Congreso Nacional de Ciencias Ambientales 7-9 de julio del 2006*. Universidad Autonoma del Estado de Morelos, Academia Mexicana de Ciencias Ambientales. Manuscrito: [http://www.uaemex.mx/Red\\_Ambientales/docs/congresos/MORELOS/Extenso/TA/EO/TAO-53.pdf](http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/congresos/MORELOS/Extenso/TA/EO/TAO-53.pdf). Bajado el 01 de agosto 2010.
- Pacheco Vega, R. (2007). "Construyendo puentes en la política ambiental y la política de tratamiento de aguas en la Cuenca Lerma-Chapala" *Economía, Sociedad y Territorio*. Vol. VI No. 24, páginas 995-1024. SEMARNAT. 1118 p.
- Paez Rubio, T; Vian E; Romero Hernández S.; Peccia, J. (2005). "Source bioaerosol concentration and RNA gene based identification of microorganism aerolize at a flood irrigation wastewater reuse site". *Applied and environmental microbiology*. Vol. 71, No. 2, 804-810
- Palerm, Angel (1973) *Obras hidraulicas prehispanicas en el sistema lacustre del valle de México*. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México, 244 p.
- Pankratz, S.; Young, T.; Cuevas Arellano H.; (2007) "The ecological value of constructed wetland for treating urban runoff" *Water Science and Technology* Vol. 55 No. 3, 63-69.
- Pavitt, Perth. (1997). "Los objetivos de la política tecnologica" páginas 151-160 en: *Ciencia, tecnología y sociedad*. Marta I Gonzalez García; Jose A. López y Jose Luis Lujan. (Editores). Editorial Ariel. Barcelona. España. 235 p.
- Perez García.; Mancebo del Castillo, U.; Charleston, L.O.; Noyola Robles, A. ( ) Digestion anaerobia no convencional de lodos biológicos utilizando un reactor tipo UASB. Bajado el 15 de abril del 2010 en <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/142.pdf>
- Perez Tamayo, R. (1979) *En defensa de la ciencia*. Editorial Limusa, México D.F 168

- Puig Grajales Laura del Carmen. (1999). *Degradación de compuestos oxigenados y alquilfenólicos bajo condiciones anaerobias*. Tesis de Maestría (Maestro en Biotecnología) UAM Iztapalapa. Ciencias Biológicas y de la Salud
- Puig-Grajales, L.; Tan N.G.; Van der Zee, F.; Razo Flores E.; and J. A (2000) "Anaerobic biodegradability of alkylphenols and fuel oxygenates in the presence of alternative electron acceptors". *Field Applied Microbiology and Biotechnology* Vol. 54, No. 5, 692-697,
- Qasim, S.R.; Chiang, W. (1994). "Sanitary landfill leachate". In: *Generation control and treatment*. Printed in USA. Technomia publication 339 p.
- Qi-Tang Wua, Ting Gao, Shucai Zeng y Hong Chua (2006) "Plant-biofilm oxidation ditch for in situ treatment of polluted waters" *Ecological Engineering*. Vol. 28, No. 2, 124-130
- Quezada Cruz M.; Linares I.; Buitrón G.; (2000) "Use of a sequencing batch biofilter for degradation of azo dyes (acids and bases)" *Water Science & Technology* Vol. 42 No. 5-6, 329-336
- Quintanilla, M.A (1988). *Tecnología: un enfoque filosófico*. Edit. Los libros de FUNDESCO. Colección Impactos. Madrid España. 141 p.
- Ramírez Bautista, J.C. (2006) *Actualización del sistema de tratamiento de aguas residuales de "San Juan Cosala" en Jocotepec, Jalisco*. Tesis profesional (Ing. Civil) FES Acatlan, UNAM. 94 p.
- Ramírez Carrillo H.F. (1998) *Desarrollo de la ingeniería básica para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales a base de un humedal artificial de flujo horizontal*. Tesis profesional (Ing. Químico) FES Zaragoza, UNAM. 113 p.
- Ramírez, E; Robles E; Bonilla, P; Sainz, G.; López, M; J.M. de la Cerda y A. Warren. (2005) "Occurrence of pathogenic free living Amoebae and Bacterial Indicators in a Constructed Wetland Treating domestic Wastewater from a Single Household" *Engineering in life sciences*. Vol. 5 No. 3, 253-258
- Ramírez Fuentes, F.; Lucho Constantino C.; Escamilla Silva, E.; Dendooven, L. (2002). "Characterization and carbon, nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths in time". *Bioresource Technology*. 85, páginas 179-182
- Ramírez Luna S.K. (2008). *Depuración de aguas residuales de una refinería de petróleo empleando un reactor aerobio de flujo cerrado*. Tesis profesional. (QFB) Facultad de Química. UNAM. 106 p.
- Ramírez Zamora, R.M; Chavez Mejía A.; Domínguez M.; Durán M.A. (2004). "Performance of basaltic dust issued from an asphaltic plant as a flocculant additive for wastewater treatment". *Water Science Technology*. Vol. 49 No. 1, 147-154.
- Regalado Jorge; Bañuelos Medina, Luis. (2006). *La gestión del agua en Jalisco en: El debate del agua en Jalisco y Andalucía*. CSCI. Sevilla España, 247 p.
- Reidl, A. (1985) "Las Chinampas de Iztapalapa. Su tecnología, historia y desaparición" 183-192 en: *De la metrópoli mexicana*. Revista Azcapotzalco. Vol. VI No. 15, mayo agosto de 1985. UAM Azcapotzalco. DCSH.

- Rescher, Nicolas. (1999) *Razon y valores en la era científico-tecnológica*. Editorial Paidós, Barcelona España. 209 p.
- Restrepo, I. (1995). *Agua, Salud y derechos humanos* CNA México. 409 p.
- Reynolds, William C. (1965). *Termodinámica*. Ediciones del Castillo. Madrid, España, 348 p.
- Reynolds, K. A. (2002). "Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica"; Rev. *Agua Latinoamericana*, Septiembre-octubre de 2002.
- Rijsbernam, Frank. (2006). "Hill the 4th World water forum increase water security", 29-35 in: *World water forum* (4:2006:México) México, Comisión Nacional del Agua, 248 páginas.
- Rinoskogi, Blas. *Opciones para la participación del sector privado*. Ponencia seminario. Barcelona España, 23-27, octubre de 1995
- Riva Palacio, Vicente (1972) "El virreinato. Historia de la dominación española en México desde 1521 a 1808" en *México a través de los Siglos*. Editorial Cumbre. Tomo II 589 p.
- Rivera F., Alan Warren, Elizabeth Martínez, Olivier Decamp, Patricia Bonilla, Elvia Gallegos,;Calderón,A, ; Trinidad Sánchez J. (1995). "Removal of pathogens from wastewater by the root zone method". *Water Science and Technology*. Vol. 32 No. 3, 211-218
- Rivera, Fermín; Warren,Allan.; Colin R Curds, Robles, Esperanza Alejandro Gutierrez, Elvia Gallegos y Arturo Calderón.(1997). "The application of the root zone method for the treatment and reuse of high strength abattoir waste in Mexico". *Water Science and Technology*. Vol. 35 No 5, 271-278.
- Rodríguez Carmona T. (1994) *Control de operaciones de un reactor anaerobio que opera con excreta de cerdo en suspensión*. Reporte de Investigación. UAM Iztapalapa. CBS.
- Rodríguez, Martínez, j.; Rodríguez Garza, I; Pedroza Flores, E; Balagurusamy, N; Sosa Santillan, G; Garza García Yolanda. (2002). "Kinetics of Anaerobic treatment of Slaughterhouse waste water in batch and upflow anaerobic sludge blandet reactor". *Bioresource Tech*. 85, 235-241.
- Rodriguez Martìnez J; Martpinez A.S; Garza García Y. (2005). "Comparative anaerobic treatment of wastewater from pharmaceutical, brewery, paper and aminoacids producing industries". *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. Vol. 32, numeros 11-12, 691-696
- Rodriguez Mosso M:A:(2003). "Respuesta de Estress en Lemna giba a diferentes concentraciones de boro" *Informe de SERVICIO SOCIAL*. Lic. Biología. CBS. UAM Iztapalapa.
- Rodríguez, V.J.A. (1996). "Experiencias en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales domésticas". *IV taller y Seminario Latinoamericano "Tratamiento anaerobio de aguas residuales. 19 al 22 de noviembre*. Bucaramanga, Colombia. 197-220.
- Roemer Andrés (1997) *Derecho y Economía. Política pública del agua*. Porrúa- CIDE. México, 308 p.

- Rojas R. T.; Strauss, K. R; Lameiras, J. (1973). *Nuevas noticias sobre las obras hidráulicas prehispánicas y coloniales en el valle de México*. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Centro de investigaciones superiores SEP/INAH, 231 p.
- Román Rodríguez M.A. (2000) *Evaluación técnicaeconómica de la implementación de un sistema anaerobio con un reactor EGSB en una planta de tratamiento de aguas residuales de la industria textil*. Tesis profesional (Ing. Químico) Facultad de Química. UNAM. 79 p.
- Romero Aguilar M; Colín Cruz A; Sánchez Salinas E; Ortiz Hernández M.L. ( 2009) "Tratamiento de aguas residuales por un tratamiento piloto de humedales artificiales. Evaluación de la remoción de la carga orgánica". *Revista Internacional de Contaminación Ambiental Vol. 25 No. 3, pp 157-169*.
- Romero Rojas, J.A. (1999). *Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización*. Ediciones Alfa Omega. Grupo Editor. México D.F. 275 p.
- Romero González J; Parra Vargas F, Cano Rodríguez I. Rodríguez E y Fuentes R. V. (2006) "Biosorción de Cu(II) por biomasa de Agave tequilana weber (Agave Azul)" *Congreso Internacional y XI Congreso Nacional de Ciencias Ambientales 7-9 de julio*. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Academia Mexicana de Ciencias Ambientales.
- Rosas Robles A.. "La ciudad en el islote" 18-29. *en: Teodoro Gonzalez de León (edit) La ciudad y sus lagos*. Edit Clio. 1998, 123 p.
- Rosas Urbina Alcantara. (2007). *Granulación aerobia por el tratamiento de aguas residuales municipales*. Tesis Profesional (Ingeniería civil) Facultad de Ingeniería. UNAM.
- Rosenbleuth, A. (1971) *El método científico*. La prensa médica mexicana IPN-CINVESTAV. 94 p.
- Rosenberg. Nathan (1979), *Tecnología y Economía*. Editorial Adolfo Gili, Barcelona, España, 425 p.
- Runes, Dagoberto. 1981. *Diccionario de Filosofía*. Ediciones Grijalbo México. D.F. 397 p.
- Russel, Bertrand (1971). *La perspectiva científica*. Editorial Ariel Barcelona España. 87 p
- Ruiz Castañeda, María del Carmen. (1974). *La Ciudad de México en el siglo XIX*. Colección Popular Ciudad de México No. 9 1974, México, D.F. 234 p.
- Saade Hazin, Lilian (2001). "La gestión de l'eau á Mexico. D.F. *Flux No. 44-45, pp 65-79*
- Sabino Sámano José. Noyola, Adalberto. (1996). *Análisis del costo de inversión y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales para poblaciones pequeña*. *Revista Federalismo y Desarrollo*. Año 9 Abril-Mayo-Junio 1996.
- Sainz Santamria, J; Becerra Pérez M. (2007) *Los conflictos por agua en México: avances de investigación*. Disponible en: : [http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/gacetitas/389/conf\\_agua.html](http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/gacetitas/389/conf_agua.html) . Fecha de consulta. Agosto del 2009.

- Salazar, R; Ferenc, S; Emery, C. Rojano A. (2007). "Application of game theory for a groundwater conflict in México." *Journal of Environmental Management*. Vol. 84 No. 4, 560-571.
- Salomon, M; Guaman, Riox, C; Rubio, C; Coalarraga, R; Abraham, E. (2008). "Indicadores de uso del agua en una zona de los Andes Centrales de Ecuador. Estudio de la cuenca del rio Ambato". *Ecosistemas* 17(1) 72-85
- Sánchez, M. (2000). "El Servicio de Agua en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México"; *Cuadernos de Investigación*, Vol. 1, México, 57 p.
- Sanchez Millan A. (1997). "Ciencia, tecnología y racionalidad" , paginas 85-116 en : *Ciencia, tecnología y Sociedad. Contribuciones para una cultura de la paz*. Universidad de Granada. Eirene. España, 370 p.
- Sanches Pasten Hugo. (1998). *Propuesta de tratamiento, manejo y disposición de lodos generados en los procesos biológicos del tratamiento de las aguas residuales municipales*. Tesis profesional (Ing. Civi) Facultad de Ingenieria.. UNAM. 89 p.
- Sandoval Minero Ricardo (2005) Comisión Estatal del Agua. "Participation of the private sector in water and sanitation services of Guanajuato, México". *Water Resources Development*. Vol. 21 No 1, 181-197
- Sarma, SSS; Trujillo, Hugo Enrique y Nandini, S. (2003) " Population on growth of herbivorous rotifers and their predator (Asplanchna) on the wastewaters". *Aquatic Ecology* 31, 243-250
- Scragg. 1999 *Biotecnología Ambiental*.. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 307 p.
- Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) Comisión de aguas del Valle de México.. (1984) "Datos del Valle de México correspondiente al año 1977". *Boletín hidrológico No 30*. Biblioteca Archivo Histórico del agua
- Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (2000). *Uso Eficiente del Agua en el Distrito Federal, su Tratamiento y Reutilización, Reunión sobre el Día Mundial del Agua El Agua y la Ciudad de México*, 22 Mayo, 2001, 43 p.
- \_\_\_\_\_ (2005). *Manejo ambiental de los residuos provenientes del desazolve del sistema de drenaje del DF y plantas de tratamiento del Distrito Federal*. Direccion de proyectos de agua, suelo y residuos.
- Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.(SEMARNATa) (2003). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales*. México, SEMARNAT. 275 p.
- (SERMARNATb). (2007a) *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales*. México, SEMARNAT 380 p.
- (SEMARNATc) (2007b). *¿Y el medio ambiente?. Problemas en México y el mundo*. México SEMARNAT, 154 p.
- Seguí Amortegui, Luis Alberto. (1998) *Metodología para la evaluación de proyectos de inversión en sistemas de tratamiento de aguas residuales*. Maestría en

Ingeniería en Investigación de Operaciones (Finanzas) Facultad de Ingeniería UNAM. 114 p.

- Seron Muñoz, Juan Manuel. (1998). *La educación ambiental hoy: perspectivas y contradicciones en : III Jornadas de Medio Ambiente*. Universidad de Cádiz, España.
- Shiklomanov, L. (1993). "World fresh water resources" \_ Chap\_2 in P. Gleick (edit). *Water in crisis : A guide to world's fresh water resources* Oxford. Univ. Press. Oxford. Pacific Institute For Studies In Development, Environment, And Security New York, USA. 473 p.
- Sherr, Evelyn B.; Sher, Barry I.; (2005). "Phagotrophy in aquatic microbial Food Webs" in: *Manual of Environmental Microbiology*. Christian J Hurst (editor) ASM Press. American Society of American. 500 p.
- Siebe, Christina. (1995). "Heavy metals available to plants in soil irrigated with wastewater from Mexico City". *Water Science Technology*. Vol. 32 No. 12, 29-34
- Sierra. J. Carlos. (1974). *Historia de la navegación en la ciudad de México*. Colección Popular Ciudad de México. DDF. Secretaria de Obras y servicios. 150 p.
- Simental, Lourdes y Martínez Urtaza Jaime. (2008). "Climate patterns governing the presence and permanence of salmonellae in costal areas of Bahía de todos los Santos, México". *Applied and environmental microbiology*. Oct. 2008, 5918-5924
- Simon Legorreta, Nadina. (2008). *Monitoreo de la acumulación de polihidroalcanoatos mixtos en aguas residuales*. Tesis Profesional. Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería UNAM. 73 p.
- Sistema Nacional de Información ambiental y de recursos naturales Y Programa Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).
- Soanes Calvo, Mariano. (1999). *Aguas residuales: Tratamiento por Humedales artificiales. Fundamentos científicos y tecnológicos*. Ediciones Mundi Prensa. Madrid Barcelona. México. 326 p.
- Solano Tovar, Paolo. (1998) *Regimen jurídico y Política gubernamental de la prevención y control de la contaminación ambiental por las descargas de aguas residuales en los Estados Unidos Mexicanos*. Tesis profesional. (Derecho) Facultad de Derecho. UNAM. 157 p.
- Sole Carlota (1998) *Modernidad y modernización*. Colección Anthropos. Universidad Autónoma Metropolitana. Iztapalapa. No. 19, Barcelona España., 305 p.
- Solorzano Mier Ana Irene; Zavala Escandon Luisa Fernanda. (1982) *Extracción de proteína foliar del lirio acuático* Tesina UAM Iztapalapa. S/hojas foliadas.
- Sotomayor, Arturo (1990) *La ciudad antigua de México. Siglos XVI-XX.*. Bancomer. S.N.C. Fundación cultural Bancomer.
- Soto Esquivel María Guadalupe. (1997) *Tratamiento terciario de aguas residuales agroindustriales mediante el uso de reactores con plantas vasculares submergentes*. Tesis Profesional.(Ingeniería Química). Facultad de Química 152 p.

- Suárez de Aquiz. G. R. (2005) *Desarrollo de una metodología para la formulacion y actualizacion de proyectos de tratamientos de aguas residuales municipales dentro del marco de desarrollo sustentable*. Tesis de Maestria (Ing. Sistemas) Facultad de Ingeniería. UNAM.
- Suárez Pareyón, Alejandro. (1995 ) "El Capulín" en *El movimiento vivandista mexicano*, Habitat International Coalition, México D.F.30 p.
- Suliman, F; French, H.K; Haugen, L.E.; Souik, A.K. (2006). "Change in flow and transport patterns in horizontal subsurface flow constructed wetlands as a result of biological growth". *Ecological engineering* 27, 124-133
- Sützl, W. (2004). "Contaminación y pureza. Violencia y emancipación en los usos "desobedientes" de la técnica". 69-89. en *TECHNÉ 1.0. Arte, pensamiento y tecnología (Teoría y práctica del arte)* Antología 2004.
- Tang C.; J. Cheng; S. Shindo; Y Sakura; W Zhang y Y. Shen. (2004). "Assesment of groundwater contamination by nitrate associated with wastewater irrigation: A case study in Shijrazhuang region, China". *Hidrological processes*. 18, páginas 2303 a 2312.
- Ternero Mecalco, J. (2003) *Biodegradación anaerobia en 2 etapas de alquilbenceno sulfonato de sodio en un reactor UASB*. Tesis de Maestria (biotecnología). Division CBS. UAM-I.
- Tesillos Martínez C.; Ubaldo Alvide R. ( 2007) *Programa preliminar del diseño de humedales artificiales de flujo horizontal para emplearse como sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas*. Tesis profesional (Ing. Química) FES Zaragoza. UNAM
- Thimoty J. Downs, Cifuentes García, E y Buffet, Irvin Mel (1999) . "*Environmental Health Perspectives*". Vol 107, Num 7, july. 553-561
- Toledo, Victor. (2006) . "Frameworks themes and cross cutting perspectives". p. 75-82. *World Water Forum* (4:2006:México) México, Comisión Nacional del Agua,. México city. March 16-22 2006. Comisión Nacional del Agua. 248 p.
- Torres Castro, Ana Patricia (1986) *Evaluación de la operación y eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales a base de filtros rociadores*. Tesina. CBI UAM Iztapalapa.
- Torres Esquivel J.N. (2005) *Eficiencia de remoción de material orgánico, nutrientes y bacterias en un sistema de tratamiento de aguas residuales por medio de humedales residuales*. Tesis profesional (Biólogo) FES Iztacala. UNAM. 53 p.
- Tortajada, C. (1999). "Environmental sustainability of Water Management in Mexico". *Third World Center for water management*". México. D.F. 155 p.
- Tortajada, C.(2006) "Water Managment in México city metropolitan area". *Water Resources development*. Vol 22, No. 2, 353-376.
- Tortajada, C.; Castelán, E. (2003). "Water management for a megacity: Mexico City Metropolitan Area". *Revista Ambio*, Vol 32, No 2, pp. 124-129.
- Touraine, Alain (1992). *Critica de la modernidad* Fondo de Cultura Económica. México. 391 p.

- Trang Do Thy; Bui Thi Thu Hien; Kare Malbak, Phung Dac Cam y Anders Dalsgaard. (2007) "Epidemiology and etiology of diarrhoeal diseases in adults engaged in wastewater fed agriculture and aquaculture in Hanoi, Vietnam". *Tropical Medicine and International Health*. Vol. 12 supl. 2, 23-33
- Trivedy, R.K.; Pattannshetry, S.M; (2003). "Treatment waste of dairy waste by using water hyacinth". *Water Science Tehnology*. Vol. 45, No. 12, 329-334.
- United Nations Human Settlement programe. (2003). *Water and sanitation in the World cities. Local actions for globlas goals*. Edit. Earthscan. London, 274 p.
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (2005). *Environmental issues. The Mexico city metropolitana area*. Programa universitario del Medio Ambiente. Departamento del Distrito Federal. Gobierno del Estado de México. Sermarnat. México 123 p
- UNESCO. (2006). *Case studie No 10. State of México in: Water . A shared responsibility*. The United Nations World water development. Report 2. Edit. World water assessment program. UNESCO. Berbhlahn books pp 492-494.
- Valdez Salazar, Hilda Alicia (2002). *Análisis patogénico y molecular de Escherichia coli aerolizados de sistemas de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de México*. Tesis de Maestría (Biología Celular) en Ciencias. Facultad de Ciencias. UNAM. 74 p.
- Valdivia Soto C.A. (1998) *Filtración combinada en lechos de tezzontle para el tratamiento de aguas residuales*. Tesis Maestría (Ambiental) Facultad de Ingeniería. 93 p.
- Varis, Olli; Biswas, A; Tortajada, C. (2006) "Megacities and water management water" *Water Resource Development*. Vol 22 No 2. pp 377-394.
- Vázquez Borges E. (2002) *Evaluación de un reactor anaerobio para el tratamiento de aguas residuales de granjas porcícolas*. Tesis Doctoral (Ing. Ambiental) Facultad de Ingeniería. 131 p.
- Vega López, Armando; Ramon Gallegos Eva; Galeana-Martínez, Marcela; Jiménez Orozco, Alejandro; García Latorre, Ethel; Domínguez López, María Lilia.(2007) "Estrogenic, anti-estrogenic and cytotoxic effects elicited by water from the type localities of the endangered goodid fish *Girardinichthys viviparous*". *Comparative Biochemistry and Physiology Part C* 145 (2007) 394-403
- Vessuri, H. (1992) . "Divergencias y convergencias en el desarrollo de la ciencia y la tecnología" en: C. Di Primo y E. Wagner (Compiladores) *Visiones de la Ciencia*. Monte Avila Editores. Caracas, Venezuela. 174 p.
- Vessuri H.(2007a). "De la transferencia a la creatividad. Los papeles culturales de la ciencia en los países subdesarrollados" páginas 111-143. en: Vessuri (editora) *O inventamos o erramos*. *La ciencia como idea-fuerza en America Latina*. Primera Edición. Universidad Nacional de Quilmes. Buenos Aires, Argentina 400 p
- Vessuri. H. (2007b). "La ciencia como idea-fuerza en America Latina" *O inventamos o erramos*. Primera Edición. Universidad Nacional de Quilmes. Buenos Aires, Argentina 400 p.

- Villalobos, Braulio, M.C.; Sandoval Silva E.A; Silva Perez M. (2004). *Tratamiento de aguas residuales a nivel planta piloto*. Reporte final. UAM Iztapalapa. s/paginas foliadas.
- Villaroel Lopez et al. (2005) "Presence of Aeromonas". *Water Environmental Research*. Vol 77, No 7, p 3074-3079
- Viniegra Osorio, F. (1992). *Geología Histórica de México*. Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 213 p
- Vite Meraz, C.B (2005). *Evaluación de alternativas para el tratamiento de aguas residuales para fines de reuso*. Tesis profesional. (Ingeniería química), Facultad de Química, UNAM, 90 p.
- Voet, D; Voet, J. (1992). *Bioquímica*. Ediciones Omega. Barcelona, España. 1315 p.
- Ward, Peter M. (2004). *México, Megaciudad, Desarrollo y Política. 1970-2002*. México D.F. El Colegio Mexiquense. Miguel Angel Porrúa. 665 páginas
- White, David, (2007). *The physiology and biochemistry of prokaryote*. Third edition. Oxford University Press. New York. p. 625.
- Whitney, D.; Rossman, A.; Hayden, N. (2003) "Evaluating an existing subsurface flow constructed wetland in Akumal, Mexico" *Ecological Engineering* Vol. 20 No. 1, p. 105-111
- Winkler, M.A. (1996). *Tratamiento biológico de aguas de desecho*. Limusa. Noriega Editores. México. 338 p.
- Winograd M. (1994). *Indicators environmental for Latin America and the Caribbean, toward to land use sustentability*. GASE. Group Analysis Sustentaiblility Ecological. World Resources Institute. Washinton D.C.
- World Resources Institute et al., (2002-2004). Oxford University Press, New York, U.S.A., 2004. 407 p.
- Wolfer José. (1975). "La cuenca en la geografía". en: *Memoria de las obras del sistema de drenaje profundo del Distrito Federal*. DDF. Tomo 1. 1975.
- Wright Mills, (1961) *La imaginación sociológica*. Fondo de Cultura Económica. Primera Edición. 236 p.
- Zemelman, Hugo. (1981) "Totalidad y forma de razonamiento. Ensayo de ideas sobre la función analítica de la dialectica " en Leff, E. (Editor) *Biosociología y articulación de las ciencias*. UNAM. México. 238 p.
- Zemelman, Hugo (2005) *Voluntad de conocer. El sujeto y su pensamiento en el paradigma crítico*. Editorial Anthropos. México, 159 p..

## ANEXO 1

### 1.1.- Principios Básicos del tratamiento de aguas residuales. 1.1.1.- OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS.

La depuración del agua implica limpiar el vital líquido, esto es, retirar, ya sea en forma total o parcial los contaminantes (orgánicos e inorgánicos) que lo contienen: Para lograr este propósito se aplican técnicas, los cuales son formas por medio de los cuales se manipulan los fenómenos naturales con el fin de obtener un resultado predeterminado. Dichos fenómenos pueden ser de naturaleza física, química o biológica. Los fenómenos físicos se caracterizan por operar sobre los cuerpos, pero sin afectar la naturaleza molecular de dichos cuerpos, razón por la cual los denominamos como operaciones unitarias, es decir, estamos hablando de fenómenos físicos que se dan dentro del ámbito de la transformación, es decir, tecnológico.

En contraposición con lo anterior, aquellos fenómenos que si ejercen un cambio molecular dentro de los cuerpos se les denomina como procesos unitarios, los cuales pueden ser químicos (donde el ambiente actúa sin la mediación de agentes vivos) o biológicos (donde los agentes bióticos ejercen una acción evidente). En consecuencia, dentro del ámbito de la transformación y de la producción veremos que las operaciones y los procesos unitarios son fenómenos naturales dirigidos hacia fines concretos. Por supuesto, la creatividad humana, en busca de mejoras combina las operaciones y los procesos unitarios con la finalidad de que el producto de dichas transformación tenga ciertas características (como durabilidad, ligereza/pesadez, economía de recursos en su manufacturación, etc). A dicha combinación de operaciones y procesos se le conoce como "tren de transformación"; aunque para el ámbito de la depuración de las aguas residuales, se le denomina como "tren de tratamiento", cuyo producto final es precisamente el agua tratada (ver figura 1)

**Figura 1. Esquema general del tratamiento de las aguas residuales.**



**Tabla 2. Operaciones y procesos unitarios.**

<b>FENOMENOS NATURALES</b>  <b>Metcalf y Eddy 2005</b>	<b>Operaciones unitarias</b> <b>(fenómenos físicos)</b>	Gravedad-precipitación	Desarenamiento
		Impenetrabilidad de los cuerpos	Rejillas de filtración
		Separación capas polares y no polares	Desengrasamiento.
	<b>Procesos unitarios</b> <b>(Fenómenos químicos y biológicos)</b>	Agentes abióticos	Floculación y coagulación
		Agentes bióticos	Degradación y absorción metabólica

## 1.1.2.- ENERGIA Y TRABAJO.

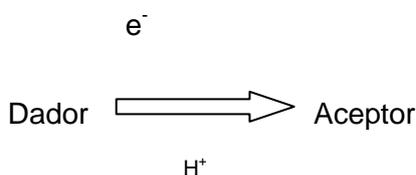
Como seguramente se recordará, materia y energía son conceptos estrechamente ligados desde los mismos inicios de la química, ya que a finales del siglo XVIII Lavoisier, al refutar la teoría del flogisto, encuentra que la materia se encuentra constante, aun cuando esta se transformara, de ahí su conclusión de "La materia no se crea ni se destruye, solo se transforma"; de forma análoga la energía también se transforma y cuando materia y energía interactúan, el sistema puede realizar trabajo, razón por la cual la energía interna del sistema cambiará. (esto es, el calor es una modalidad de la energía resultante cuando se compensa la diferencia entre trabajo y energía interna)

$$\Delta U = W - Q$$

Lo anterior indica en términos prácticos que la energía interna de un sistema se aplica solo una pequeña parte en trabajo, mientras que la energía tiende a transformarse en sus formas menos aprovechables (de hecho, el calor es una de las formas más degradadas), razón por la cual referimos que existe un constante incremento de desorden en el universo, el cual, por razones de brevedad se le denomina como entropía:

Lo anterior indica que no toda la energía puede ser aprovechada, es decir, que solo podemos aprovechar una fracción reducida de todo el espectro de energía. Para el caso que nos interesa, la mayoría de los sistemas químicos y la totalidad de los sistemas biológicos aprovechan solo una pequeña fracción del universo de energía, a través de las reacciones de óxido-reducción, las cuales, de forma abreviada, podemos señalar como el intercambio de cargas eléctricas entre una molécula que pierde dicha carga (es decir, es una molécula dadora) y otra molécula que recibe la carga (que llamaremos la aceptora).

**Figura 2. Esquema general de las reacciones de óxido-reducción.**



Cuando ocurre lo anterior se genera energía, la cual es capaz de ejercer un trabajo. En los sistemas biológicos dicha energía se puede almacenar en una moléculas especiales donde los enlaces fosfodiéster pueden acumularlo en energía potencial (Lenhinger, 1995)

Si este tipo de reacciones ocurren en condiciones naturales, podemos afirmar que ocurren de forma espontánea., en consecuencia podemos afirmar que los sistemas químicos y biológicos aprovechan una pequeña fracción del universo de energía donde la energía disponible (óxido-reducción) aparece como energía libre ( $\Delta G$ ). De acuerdo a lo anterior, podemos establecer que (Lenhinger 1995):

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

Esta relación nos muestra que la energía libre es pues, el residuo que queda de la entalpía y de el incremento de la entropía en el sistema

**Tabla 3. Características generales de la energía libre**

	SIGNO	NOMBRE	ESPONTANEIDAD

Energía libre $\Delta G$	+	Endergonico	No espontáneo
	-	Exergonico	Espontáneo

Genera energía espontánea (Calorías o Joules)

### 1.1.3.- BIOENERGÉTICA (METABOLISMO.)

Los seres vivos interactúan con su ambiente y para realizar sus funciones vitales intercambian tanto materia como energía, es decir, aprovechan la energía libre y que se encuentra en forma oxidación-reducción y que se encuentra en ciertas sustancias. La transformación de dichas sustancias en energía aprovechable por los seres vivos se le conoce como metabolismo y las sustancias que intervienen en ellos como metabolitos. Los procesos heterótrofos pueden ser catabólicos—es decir, por destruir las sustancias para extraerles la energía y poderla aprovechar o pueden ser anabólicos; como es de esperarse, utilizan su propia energía para construir sus propias moléculas, si bien ambos procesos son importantes, por el momento nos enfocamos más en detalle al catabolismo.

**Tabla 4. Características generales del Metabolismo**

<b>Heterótrofo</b>  Organismos que son incapaces de producir sus propios alimentos	<b>Aerobio</b>	
	Utilizan el oxígeno como aceptor final. Animales, bacterias aerobias estrictas.	
	<b>Anaerobio</b>	<b>Facultativas</b>
		<b>Estrictas.</b>
<b>Anóxico</b>		
Este es un proceso que se desarrolla en condiciones de ausencia total de oxígeno atmosférico con organismos aerobios, los cuales aprovechan el oxígeno ligado a las moléculas orgánicas para llevar a cabo su metabolismo		
<b>Autótrofo</b>  Organismos que a partir de una fuente de energía externa, pueden utilizarla para sintetizar sus propios alimentos.	<b>Fotoautótrofo</b>	
	A partir de la fotosíntesis, reducen el $CO_2$ para formar alimentos y biomasa. Cianobacterias, algas, briofitas, plantas vasculares	
	<b>Quimioautótrofo</b>	
Estos organismos obtienen su energía a partir de las sales y minerales. Desulfobrio.		
<b>Chantereau. 1985</b>		

Elaborado a partir de Crites y Tchobanoglous (1998, página 353) Lenhinger (1995, páginas 344 y 377)

El objetivo del catabolismo es degradar las moléculas utilizando grupos de proteínas especializadas conocidas como “enzimas” y que al descomponerlas en una serie de pasos que se conocen como “vías metabólicas”, las cuales al final producen metabolitos ( es decir, moléculas intermediarias) y lo que es más importante, moléculas cargadas, es decir,  $2H^+$  o  $H_2$ . Estas moléculas cargadas en literatura son denominadas también como “protones” y son acarreadas por moléculas especializadas conocidas como “transportadores”. Si se desea observar los ambientes donde las cargas interactúan y que prefiguran las vías metabólicas. Ver la Tabla.

**Tabla 5. Ambientes de carga y procesos metabólicos**

Ambiente de la carga	Aceptor	Producto	Proceso
Aerobio	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Catabolismo aerobio
Anaerobio	NO <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	Desnitrificación
Anaerobio	SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	Reducción del sulfato
Anaerobio	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	Metanogénesis
Anaerobio	FeO <sub>2</sub>	Fe <sup>+3</sup>	Quimiolitotrofo
Aerobio	CO <sub>2</sub>	C <sub>N</sub> H <sub>N</sub> O <sub>N</sub>	Fotosíntesis

Elaborado y modificado a partir de Crites y Tchobanoglous (1998 p 353) y de (Lehninger 1995, p 377.

Tales transportadores como el NAD y el FAD (por mencionar solo algunos), los cuales los acarrearán hacia unas moléculas que se conocen genéricamente como “aceptores”. Cuando finalmente el H<sub>2</sub> o 2H<sup>+</sup> se encamina hacia el “aceptor” y se une a él, ocurre una reacción de óxido-reducción, la cual genera energía libre que los seres vivos pueden aprovechar para realizar trabajo, es decir, una función vital, aunque también los seres vivos pueden “almacenar” dicha energía en forma de enlaces fosfodiéster, los cuales, posteriormente al romperse liberan dicha energía para realizar el trabajo correspondiente (a estas moléculas se les denomina Adenosín trifosfato o usando solo sus iniciales, como ATP). Dependiendo del tipo de “molécula aceptora se puede caracterizar la vía catabólica. En consecuencia, si el aceptor final del H<sub>2</sub> es el oxígeno, se le conocerá como “proceso aerobio” y como producto final producirá CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O; si el aceptor final es la molécula de carbono o el azufre, entonces estamos ante una vía anaerobia (sin oxígeno) cuyos productos finales son, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y H<sub>2</sub>S. Las vías aerobias son más rápidas y de alta energía (producen más ATP’s) mientras que las vías anaerobias son más lentas y producen menos ATP’S. Por lo anterior, nada tiene de extraño que los seres vivos, en su gran mayoría, sean aerobios, mientras que son pocos los organismos—que por lo general son los más sencillos y primitivos—sean anaerobios.

Si bien estas son las formas más predominantes, existen también seres vivos capaces de aprovechar el oxígeno ligado a los nitritos (NO<sub>2</sub>) y nitratos (NO<sub>3</sub>) cuando en este ambiente no existe oxígeno libre para metabolizar y poder en consecuencia aprovecharlos energéticamente. A esta vía catabólica se le denomina “Anóxica”

Por último, en forma breve, revisaremos los procesos autótrofos, los cuales, como su nombre lo indica, los presentan aquellos organismos que son capaces de sintetizar su propio alimento. De forma general estos organismos toman de una fuente externa la energía que puede provocar una corriente de H<sub>2</sub>, los cuales posteriormente por óxido-reducción generan ATP. En el caso de los fotoautótrofos—las plantas son los ejemplos más conocidos—toman de la luz del sol los fotones, los cuales estimulan a unas moléculas fotosensibles—la clorofila—y hacen que un electrón de su nivel más bajo de energía pase momentáneamente a su estado más alto, es decir, el electrón pasa de un estado basal a un estado excitado; la energía capturada que se “excita” al electrón de la clorofila es capturada por moléculas especiales los cuales al irse transportando por la cadena electrónica generan una serie de reacciones de óxido-reducción, las cuales generan energía y que son almacenadas en forma de ATP. Otros electrones estimulados pueden “golpear” a la molécula de agua para romperla, generando H<sub>2</sub> y ½ O<sub>2</sub>; el oxígeno es liberado y el H<sub>2</sub> es “transportado” por el NADP hacia otra parte de la célula vegetal. Donde una vía metabólica llamada “el ciclo de Calvin” reduce—es decir une—el CO<sub>2</sub> con el H<sub>2</sub>, para formar primero carbohidratos y posteriormente biomasa. Por último, es importante señalar que las plantas—principalmente las plantas acuáticas—puedan incorporar directamente a sus vías metabólicas el nitrógeno reducido—es decir, el nitrógeno con hidrógeno, como el amoníaco—para transformarlo en biomasa.

## ANEXO 2

### 2.1.- Esquemas de depuración generales

## 2.1.2.- Esquemas de depuración física y química.

**Tabla 6. Operaciones y procesos abióticos**

Operaciones unitarias (ver tabla 2)			
P	Nombre	Concepto	Propósito
R O C E S O S  U N I T A R I O S  Q U I M I C O S	<b>Coagulación Química</b>	El agua residual tiene materia suspendida en forma de geles; si se agregan sales metálicas dichas sustancias tenderán a desestabilizarse e iniciarán un proceso de agregación de materia orgánica disuelta	Se busca que la materia orgánica se vaya agregando a estos "centros" de materia orgánica y bacterias, lo cual le permite que se vaya concentrando ahí, lo que permite que se decremente la concentración de materia orgánica en el agua residual. Una idea interesante que puede ayudar a depurar el agua y al mismo tiempo utilizar los desechos de la planta de Asfalto de la Ciudad de México (que produce 200 toneladas al día) es utilizarlos como elementos que ayudan a flocular la materia orgánica, lo cual ayuda a disminuir en un 30 % el consumo del sulfato de Aluminio, el cual se utiliza como floculante. (Ramírez 2004).
	<b>Precipitación química</b>	Si bien este proceso puede operar de forma independiente, por lo general se liga con la coagulación química. Los flóculos, conforme van creciendo, se vuelven mas pesados, por lo que tienden a sedimentarse	Cuando los sólidos suspendidos se van depositando en el fondo de un recipiente, se va arrastrando no solo la materia inorgánica y orgánica, sino también una gran cantidad de bacterias, así como quistes y huevecillos de parásitos, mejorando la calidad del agua
	<b>Proceso de oxidación avanzada</b>	Se utiliza el reactivo de Fenton, el cual produce una "súper oxidación" mucho mas eficiente que si se oxigenara el agua residual con aire atmosférico. La materia orgánica tiende a flocular de forma acelerada. Se puede usar el ozono	El reactivo de Fenton asegura que la oxidación de la materia orgánica se lleve a cabo de forma muy eficiente en un periodo de tiempo muy corto, con el consiguiente ahorro de tiempo y la capacidad de poder depurar una gran cantidad de materia orgánica. También es importante agregar que es igualmente eficiente en la remoción de coniformes fecales y totales, a cerca de un 45% de Salmonella, la cual llega con valores originales de 500 millones por 100 ml, mientras que los quistes de Entamoeba hystolítica es de 1052 quiste, baja a 31 quistes. Si a este proceso se le agregan filtros de arena y cloración su eficiencia se incrementa aun más. (Jiménez 2001)
	<b>Intercambio iónico</b>	Este es un proceso usado para remover los constituyentes iónicos disueltos. Este proceso se le considera como un proceso no convencional	Se busca eliminar los iones cuya presencia afectan las condiciones isoeléctricas y al pH del agua residual, afectando con ello el proceso de depuración de las aguas residuales. Su remoción ayuda a eliminar un problema molesto.
	<b>Desinfección química</b>	Este proceso está dirigido para los microorganismos que se encuentran en las aguas residuales, principalmente bacterias y trofozoitos de protozoos, sin embargo, no es efectivo contra virus ni quistes y huevecillos de protozoos y helmintos.	Las aguas residuales siempre se han caracterizado por ser en extremo infecciosas ya sea por contacto directo o indirecto. La desinfección por cloro permite reducir de forma espectacular el número de bacterias, muchas de ellas patógenas.

**Tabla 7. Conceptos de diseño que deben de tomarse en cuenta para los procesos de depuración del agua**

<b>Volumen</b>	ml (mililitro), L, (litro), m <sup>3</sup> (metro cúbico)	Unidad de capacidad según el sistema internacional	Winkler (1996) Hernández (1998)
<b>Potencial de hidrógeno</b>	pH	Unidad que mide el grado de acidez o alcalinidad y se define como el logaritmo negativo del inverso de los hidrogeniones presentes	Henze (2002)
<b>Concentración</b>	[mg/L] g/L] [kg/L]	Unidad que mide la cantidad de soluto entre una unidad de solvente	Henze (2002)
<b>Flujo</b>	L/hora	Unidad que mide el paso de un líquido entre una unidad de tiempo	Henze (2002)
<b>Tiempo de retención hidráulica</b>	TRH	Se define como la relación que existe entre el volumen y el flujo que existe en un recipiente que tiene de manera simultanea un influente y un efluente. Se expresa en unidad de tiempo (de preferencia en días).  TRH= Volumen/ flujo	Crittenden et al (2005) Metcalf and Eddy (2005)  Henze (2002)
<b>Carga orgánica</b>	B <sub>v</sub>	Unidad que mide la cantidad de materia orgánica que existe entre una unidad de capacidad y de tiempo. Se expresa como kg/m <sup>3</sup> día	Winkler (1996) Critenden Tchonobanoglous (2005)
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	DQO	Indica la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica que se encuentra en una muestra. Se expresa en mg/ml	Winkler (1996) Critenden Tchonobanoglous (2005)
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno</b>	DBO	Indica la cantidad de oxígeno necesario para una oxidación biológica de la materia orgánica que se encuentra en una muestra. Se expresa en mg/ml	Crites (1998)

## ANEXO 3

### 3.1.- . Esquemas de depuración biológica.

#### Características generales.

En términos generales, los seres vivos que se involucran en la depuración del agua por lo general son microorganismos sencillos, por lo general son bacterias (organismos de estructura simple y primitiva, que carecen de núcleo, por lo que su cromosoma se encuentra en el citoplasma) aunque también participan protistas (microorganismos de estructura mas elaborada y que al contrario de las bacterias, sus cromosomas si tienen una envoltura que los proteja, es decir, tienen núcleo). Dichos microorganismos pueden encontrarse suspendidos en el agua o por el contrario, fijados a una superficie

**Tabla 8. Clasificación general de los métodos biológicos de depuración del agua**

<b>AEROBIOS</b>	Suspensión	Fangos activados
-----------------	------------	------------------

Presentas vías degradadoras de azúcares, ácidos grasos y proteínas (glucólisis, beta oxidación de ácidos grasos y degradación oxidativa de los aminoácidos), una vía oxidativa para la mayoría de las moléculas (Ciclo de Krebs) y una vía formadora de ATP's (cadena respiratoria) (Metcalf y Eddy 2005, página 550)		Lagunas
	Fijos	Filtros percoladores
		Biodiscos
<b>ANAEROBIOS</b>  Dos grandes etapas en la que actúan los organismos facultativos primero y los estrictos posteriormente. La primera es la etapa acidogénica, donde la materia orgánica es degradada hasta sus ácidos orgánicos mas simples; en la segunda que se conoce como acetogénica, los ácidos grasos se fragmentan hasta sus partes mas simples y se reducen a CH <sub>4</sub> (Noyola 2006)	Suspensión	Reactores anaerobios
		Lagunas anaerobios
	Fijos	Filtros anaerobios
<b>ANOXICOS</b>  Este proceso se puede llevar en cultivos o con comunidades fijas sobre un sustrato. En todos estos casos las comunidades bacterianas toman el oxígeno unido al nitrógeno (como nitrito y nitrato) para utilizar dicho oxígeno como aceptor de protones. La posterior conversión de los óxidos de nitrógeno en nitrógeno gaseoso no solo da energía a las comunidades bacterianas anóxicas para degradar los compuestos del agua residual, sino que además, es una forma de retirar parte de la carga de nitrógeno. (Metcalf y Eddy 2005, páginas 611-623)	Suspensión	Desnitrificación en cultivo de suspensión
	fijos	Desnitrificación en cultivo fijo
<b>HUMEDALES</b>  La principal vía que se utiliza (y que proporciona la energía necesaria) es la vía fotosintética) aunque las plantas puedan utilizar las vías que tienen los organismos aeróbicos. La asimilación directa del nitrógeno amoniacal y del fósforo se da en las plantas acuáticas, mientras que las plantas terrestres asimilan mejor el nitrógeno oxidado (como nitritos y nitratos (Soanes Calvo, 1999)	Flujo superficial	Plantas emergentes
	libre	Plantas sumergidas
	Flujo subsuperficial	Flujo horizontal
		Flujo vertical
		Flujo mixto
<b>TRATAMIENTO POR SUELO</b>  Este tratamiento se basa en una serie de complejas reacciones químicas y bioquímicas del agua residual con los componentes del suelo (compuestos y flora bacteriana) de tal forma que el agua sufre una depuración bastante notable. Los procesos pueden ser como volatilización de amonio, absorción, filtración, quelación de metales, degradación aerobia, anaerobia y anóxica.	Tasa baja	
	Uno de los tratamientos de aguas residuales mas antiguos, es cuando se aplica de forma intermitente sobre el conjunto suelo-planta.	
	Infiltración Rápida  Proceso parecido a la filtración con arena, se utilizan en terrenos con drenaje rápido. El elemento crítico de este proceso es que el regadío debe de ser intermitente, para que de la oportunidad de que el oxígeno se encuentre presente cuando el agua se este percolando en el terreno.	
Flujo superficial		

<b>ZOOREMEDIACION</b> Sarma 2003; Sherr, 2005	Se caracteriza por utilizar la microfauna que se encuentra en las aguas residuales (principalmente como cladóceros (las pulgas de agua son los más conocidos de este grupo) y los rotíferos para que por medio de la bacteriofagia depuren este medio.
<b>REACTOR DE OLIGOQUETOS</b> H.J.H. Ellisen; T.M.L.G. Hendrick; Ardí Temmink; Cees J.N. Buisman. Water research 40 (2006) 3713-3718	Se utiliza el grupo de los lumbricidos para alimentarse del lodo residual (en la fracción de los sólidos suspendidos volátiles) y dejar solo la parte de los sedimentos inorgánicos.
<b>REACTOR FUNGICO.</b> (Clemente 2007)	Esta novedosa concepción de reactor, utiliza hongos filamentosos con la finalidad de descomponer metabolitos secundarios recalcitrantes a la mayoría de los tratamientos químicos y que pueden ser tóxicos a los consorcios microbiológicos bacterianos. Estos gusanos aparecen de forma natural en los sedimentos de las plantas de tratamiento de aguas residuales y que pueden reducir hasta en un 75% el volumen de lodos en una planta de lodos activados. (Ellison 2006)

### ANEXO 3

#### Esquemas aerobios.

##### 3.1.- Depuración por métodos aerobios. Perfil general

Este tipo de método se caracteriza, en líneas generales, por la formación de un conglomerado de materia heterogénea (orgánico e inorgánico) que se encuentran suspendida en el agua y que por añadidura tiene adheridas una cantidad de microorganismos aerobios y anaerobios facultativos; estos microorganismos se alimentan no solo de la materia orgánica del sólido suspendido sino también del agua residual que lo rodea, multiplicando la biomasa y por tanto, el floculo incrementa su tamaño, por lo que de forma directa aumenta su peso y por gravedad cae al fondo del recipiente. Este tipo de procedimiento requiere que se aplique una gran cantidad de oxígeno para poderse llevar a cabo.



**Tabla 9. Clasificación general de los métodos aerobios**

<p style="text-align: center;"><b>Suspendidos,</b></p> <p>Las comunidades bacterianas y los sólidos suspendidos de las aguas residuales, en un proceso de oxigenación constante, van a flocular<sup>1</sup> primero y posteriormente, van a precipitar en un</p>	<b>Reactores de fangos activados</b>	
	<p><b>Lagunas</b></p> <p>Cuerpos de agua artificiales, excavados para fines depuradores,</p>	<p style="text-align: center;"><b>Aerobias</b></p> <p>La oxigenación se lleva a cabo por procesos naturales pasivos, tanto por el intercambio entre la atmósfera (con gran presión de oxígeno atmosférico) y el medio acuático (con baja presión de oxígeno disuelto). Además, la oxigenación se lleva a cabo por procesos pasivos (oleaje por el viento así como por la fotosíntesis de las microalgas)</p>

recipiente, en forma de lodos.	por lo general son de baja profundidad	<b>Facultativas</b> En este caso las lagunas se diseñan un poco mas profundas, con la finalidad de que exista una zona donde no exista oxígeno disuelto en el agua, con la finalidad de que se lleve ahí un metabolismo anaerobio. Tiene por finalidad de que se aproveche ambos procesos, con una depuración más eficaz.	
<b>Biopelícula.</b>  Las comunidades bacterianas quedan fijas, por medio de una matriz mucoproteica a un sustrato fijo, en el cual va a pasar el agua residual (ya sea de forma continua o intermitente). Estos organismos van a asimilar la materia orgánica, depurandola y mejorando la calidad del efluente	<b>Filtros percoladores</b>  El agua residual se eleva hasta la parte superior de estas torres y por gravedad se deja correr a través del filtro. Los filtros son rodados con agua residual y con aire.	Carga baja	
		Carga intermedia	
		Carga alta	
		Carga muy alta	
	<b>Biodiscos</b>  Las comunidades que se encuentran asentadas en un disco rotatorio, se sumergen en un recipiente con agua residual; dicho disco va girando sobre su eje, permitiendo así que de forma alternativa secciones del disco queden sumergidas donde entran en contacto con las sustancias nutritivas de las aguas residuales) y posteriormente, se encuentran en contacto con el oxígeno atmosférico,, el cual les proporciona la energía para degradar dichas sustancias.		

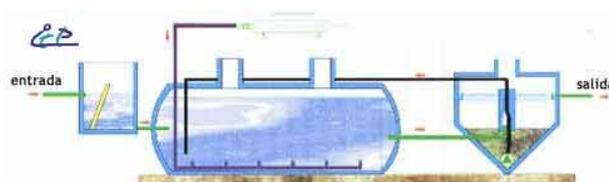
Elaborado a partir de Metcalf y Eddy (2005) y Crites (1998)

### 3.2.- Fangos activados. Descripción del proceso

Estos son los métodos más utilizados en las últimas décadas para el tratamiento de las aguas residuales, producen agua de buena calidad, aunque requieren altos insumos de energía eléctrica para las bombas de aireación, así como generan como subproducto, lodo.

#### 3.2.1 Reactores de lodos activados.

figura 1. Esquema del proceso general de un reactor de lodos activados



Este tratamiento fue el más utilizado no solo en México sino también en el mundo por el alto valor de depuración de las aguas. Básicamente se debe de tener previo al tratamiento una biomasa de microorganismos aerobios y facultativos aglutinados con materia orgánica. A dicha biomasa se le conoce como lodo activado (y que por regla general, es parte del excedente del ciclo depurativo previo) En un depósito que sirve *ex profeso* para tal propósito y que se le llama "tanque de mezclados" se le agrega con un determinado volumen de agua residual. A esta mezcla se le llama "licor". Una vez realizado esta acción se procede a verter en un gran depósito el licor con el agua residual a tratar (que por lo general es un volumen considerable) De forma paralela se agrega oxígeno (por medio de bombas de burbujeo o por aspersión) para asegurar que los microorganismos puedan, por vía aerobia, degradar la materia orgánica y transformarla en biomasa celular y bióxido de carbono. Dicha biomasa se transforma en flóculos que al transcurrir el tiempo incrementa su masa y peso y por tanto, la fuerza de gravedad hace que precipite al fondo del depósito en forma de lodo. El efluente resultante es de gran calidad, con eficiencias en la remoción de la materia orgánica.

### Antecedentes del proceso

Desde la mitad del siglo XIX el método preferido para depurar las aguas eran los filtros lentos de arena, los cuales si bien se mostraban efectivos, requerían de grandes extensiones de terreno, además de que con altas cargas orgánicas estos se colmataban. Así que cuando en 1880 Angus Smith estudió el efecto de la aireación sobre las aguas residuales en un tanque y reportó la existencia de lodo en el fondo, con una evidente mejora en la calidad del efluente, abrió las puertas a una nueva línea de investigación. Para 1910 Phelps y Black reportan que una vez que aparece el lodo, hay una baja considerable de materia orgánica en el efluente. Posteriormente, en la Estación experimental de Lawrence Gage y Clark en 1914 aplicando mayores concentraciones de bacterias (cultivadas para tal fin previamente) así como un aporte continuo de oxígeno atmosférico, se logra un alto porcentaje de remoción de materia orgánica. Poco después, en la década de los años 20's, un equipo inglés encabezado por Fowler y Anders desarrolla esta línea de investigación y son, los que por primera vez denominan al sedimento final de los tanques como "lodos activados"; esta forma de depurar el agua desplaza a los filtros lentos de arena. A partir de este momento, la inventiva de científicos, técnicos y operadores comienzan a diversificar este método, justo cuando la industrialización incorpora al drenaje de las ciudades grandes cantidades de descargas industriales (lo que trae consigo la subsiguiente intoxicación de los consorcios bacterianos de los lodos activados) Es ahí cuando surge la innovación de la "mezcla completa, la cual permite que la totalidad de los consorcios entren en contacto con toda el agua residual y en consecuencia, se diluya el efecto tóxico de los contaminantes. En los años 70's tiene este proceso un auge. En Holanda, país que no solo tiene una alta densidad de población sino que, por su especial situación de encontrarse bajo el nivel del mar (además de no tener mucha disposición de terreno) los lleva a innovar este proceso con las Zanjas de oxidación, donde, en un espacio muy reducido de terreno, se puede depurar grandes cantidades de materia orgánica. En otros lugares del mundo se desarrolla el método de inyección con oxígeno puro, así como el método SBR (Secuencial Batch Reactor) el cual se le incorporan elementos electrónicos para que pueda mejorar su desempeño. (Metcalf y Eddy 2005, página 661)

**Tabla 10. Clasificación general de los métodos aerobios por fangos activados.**

<b>FANGOS ACTIVADOS</b>  (Metcalf y Eddy 2005 páginas 664-670)	Tanque de mezcla completa Aireación graduada Oxígeno puro Aireación modificada Contacto y estabilización Zanja de oxidación SBR
--	---

### 3.2.2.- Lagunas aerobias

Las lagunas aerobias son una versión de bajo costo operativo (ya que su consumo de energía eléctrica para bombas de aeración es nulo) en el cual, como su nombre lo indica, son cuerpos de agua artificiales que reciben las aguas residuales y en el cual el oxígeno necesario para el metabolismo aerobio es proporcionado por las algas fotosintéticas que ahí se encuentran, así como por la difusión del oxígeno atmosférico al agua; para asegurar que el oxígeno esté presente en la mayor parte de la laguna, esta es de baja profundidad con la finalidad de evitar que ante la ausencia de oxígeno, se formen zonas anaerobias (Romero 1999) de manera que se asegura que la luz solar llega a todos lados para que la fotosíntesis se lleve a cabo, con la consiguiente producción de oxígeno.

### 3.2.3.- . BIOPELÍCULAS O CULTIVOS FIJOS. Descripción del proceso

**figura 2. Filtro percolador.**



Es en el año de 1890 cuando en Inglaterra se ponen los cimientos de esta técnica cuando en depósitos de agua residual se empacaban piedras, con operaciones de llenado y vaciado; Para después, en la década de los años 30's, se utiliza preferentemente para el tratamiento de compuestos olorosos. Solo 17 años después se dan a conocer las bases teóricas de esta técnica de forma pública, siendo los primeros países en aplicarlo Alemania occidental y Estados Unidos. poco después en 1950 se usan los filtros de bajo consumo y se le agregan rociadores, con un flujo descendente. Para 1950 las rocas fueron sustituidas con plásticos. En el periodo 1970-1980 se diseñan biofiltros de lecho sumergido, con lo cual ya se reduce el área del reactor, siendo Degremont, en Francia el principal impulsor.

Si bien muchos organismos se encuentran suspendidos en el medio, existen también bastantes microorganismos que, en contacto con una superficie sólida, se unen a ella segregando moléculas de adhesión ( por regla general, son proteínas y carbohidratos de alto peso molecular), los cuales producen una matriz gelatinosa que las fija; si se encuentran en contacto constante con los nutrientes del agua residual y el oxígeno, poco a poco se va formando un consorcio, donde las bacterias de la parte externa siguen siendo aerobias, mientras que las bacterias mas internas son anaerobias; es decir, tenemos un consorcio muy eficiente para depurar el agua residual. Si la biopelícula se encuentra en un medio donde el agua residual corre constantemente, no existe límite de nutrientes para los consorcios y por tanto, está biopelícula crecerá, hasta que las fuerzas cortantes de la corriente del agua desprenda parte de la biopelícula, la cual al depositarse forme lodo (Lessard 2003).

### **3.2.4.- . Filtros percoladores.**

Es en el año de 1890 cuando en Inglaterra se ponen los cimientos de esta técnica cuando en depósitos de agua residual se empacaban piedras, con operaciones de llenado y vaciado; poco después en 1900 se usan los filtros de bajo consumo y se le agregan rociadores y se dejan fluyendo de forma descendente. Para 1950, las rocas fueron sustituidas con plástico. En 1970-1980 se diseñan biofiltros de lecho sumergido, con lo cual ya se reduce el área del reactor, siendo Degremont en Francia su principal impulsor. Si bien originalmente estaba pensada para el tratamiento de compuestos olorosos, el primer biofiltro fue patentado en 1934, aún cuando fue hasta 1950 cuando se dan a conocer los fundamentos de la técnica de forma pública donde Alemania Occidental y Estados Unidos son los primeros países en aplicarlo.

Este tipo de sistemas se caracterizan por fijar la biomasa a un sedimento, (cerámica rota, tezontle, pequeñas piedras, etc.) de tamaño pequeño y al cual se hace fluir el agua residual. El agua escurre por gravedad de forma intermitente, de manera que el aire siempre se encuentra presente al mismo tiempo que el agua y por tanto, existe el suficiente oxígeno para que se lleve a cabo el metabolismo aerobio y la subsiguiente degradación de la materia orgánica. La biomasa excedente es arrastrada por gravedad, convirtiéndose en lodo.

Los filtros percoladores se pueden clasificar como de carga baja, intermedia, alta y muy alta. La distancia entre ellas se dan por los materiales que los componen (para la primera son piedras y desechos mientras que para las de carga alta y muy alta se utilizan plásticos en forma de anillo. Esto hace que la carga orgánica que pueden recibir varía mucho y que puede ser de hasta 500 veces la diferencia que hay entre un filtro percolador de carga baja y un filtro percolador de muy alta carga (Anderson 2003)

### **3.2.5.- . Sistemas biológicos rotativos de contacto (biodiscos)**

**figura 3. Biodisco**



Un reactor rotatorio de biodiscos o de contacto son, como se aprecia en la figura (n), que los discos están semisumergidos en un recipiente y colocados en serie. El material de dichos discos puede ser poliestireno o cloruro de polivinililo, ajustados todos ellos a un eje conectado a un rotor, los cuales los hace girar lentamente, de forma que en un determinado lapso de tiempo, la superficie del disco ya habrá estado en contacto con la fase aérea y acuosa del sistema. Sobre la superficie de dichos discos se forma una biopelícula compuesta de una comunidad de bacterias aerobias y facultativas.

Una vez que el agua residual entra al recipiente, el rotor comienza a girar, sumergiendo alternativamente el disco, mientras que en la fase aérea existe una transferencia de oxígeno atmosférico, lo que proporciona la energía suficiente para que se pueda metabolizar la materia orgánica. Conforme el agua residual va pasando del área de un disco a otro disco posterior, la carga orgánica va disminuyendo hasta que al llegar al último disco, esta se ha decrementado de manera sensible.

**Esquemas de depuración por humedales y filtración del suelo.** (Ver anexo 5)

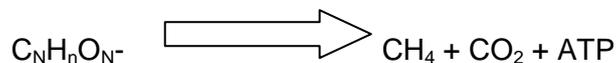
## ANEXO 4

### Esquemas de depuración anaerobia y anóxica.

#### 4.1.- Depuración por métodos anaerobios. Perfil general

##### Descripción del proceso

Si bien los métodos aerobios son ampliamente usados, también es cierto que sus altos insumos de energía y su alta producción de lodos (los cuales hay que darles un tratamiento y disposición ulterior) generan costos elevados. En contraparte, los procesos anaerobios, como ya se había apuntado anteriormente, tienen la ventaja de que la materia carbonatosa puede ser aceptora de los protones formando con ello metano (CH<sub>4</sub>), así como CO<sub>2</sub>. La consecuencia de ello es que el carbono de la materia orgánica, en vez de formar una biomasa sólida en forma de lodo, esta se convierte en los gases CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>, por lo que en estos métodos la generación de lodos es muchísimo menor que en los métodos aerobios, tal como se muestra a continuación:



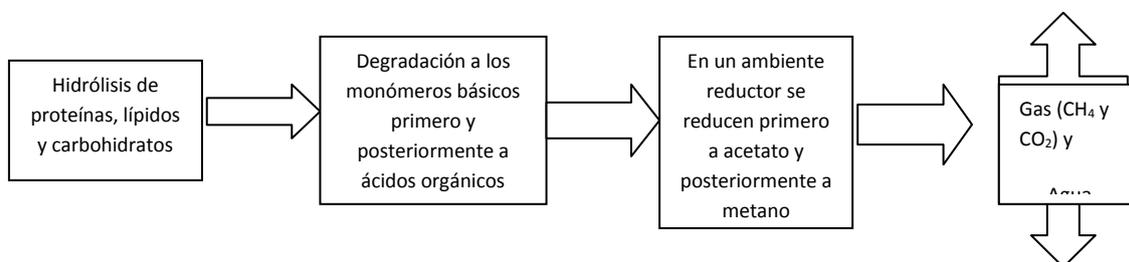
De la misma forma como ya se había revisado en los métodos aerobios, los organismos anaerobios pueden encontrarse en suspensión o fijos como biopelículas. Cuando se encuentra en suspensión estos pueden estar en reactores, los cuales son estructuras que buscan las mejores condiciones para que los organismos anaerobios degradan la materia orgánica. El diseño de dichos reactores se ha ido modificando con el paso de los años, desde las cámaras Imhoff hasta los reactores EGSB.

##### Microbiología y metabolismo

Como se recordara, anteriormente se había apuntado que los procesos anaerobios son de baja energía, razón por la cual la degradación de la materia orgánica por las bacterias hidrolíticas es más lenta que en la aerobia la cual, al ser de alta energía, le permite fragmentar esas moléculas de forma más rápida.

Los microorganismos que se encuentran en estos procesos son principalmente bacterias heterótrofas facultativas (las cuales si bien son tolerantes al oxígeno, pueden vivir bien en ausencia de el, así como de bacterias heterótrofas anaerobias estrictas (para las cuales cualquier rastro de oxígeno es altamente tóxico).

**Figura 4**



El primer grupo, representado por los géneros de *Clostridium sp*, *peptococcus anaebus*, *Bidfidobacterium sp*, *Desulfphovibrio sp*, *Corynebacterium sp*, *Lactobacillus*, *Actinomicey*, *Staphylococcus* y *Eschericha coli*. su metabolismo les permite degradar a la materia orgánica (formada en una primera instancia en proteínas, lípidos y carbohidratos, para posteriormente convertirlas a aminoácidos, ácidos grasos y fragmentos cetohidroxi, para que en una siguiente etapa estas moléculas se conviertan principalmente en ácidos orgánicos, razón por la cual a esta etapa se le conoce como acidogénica) hasta formar moléculas de 2 carbonos (las cuales se llaman acetilos, razón por la cual se le conoce como la etapa acetogénica); el otro grupo de bacterias, anaerobias estrictas representado por los géneros *Methanobacterias*, *methanobacillus*, *methonococcus*, *methanosarcina*. utilizan el H<sub>2</sub> del medio— que se encuentra altamente protonizado o reducido) y utilizando las pequeñas moléculas de carbono como aceptoras, generan sus ATP's , dando como producto final tanto CO<sub>2</sub> como CH<sub>4</sub>. Es importante hacer notar que la materia carbonacea, al ser utilizada como aceptora de los protones, no va a formar lodo sino gas, lo cual le da una gran ventaja como sistema depurativo.

Algunas reacciones anaeróbicas.

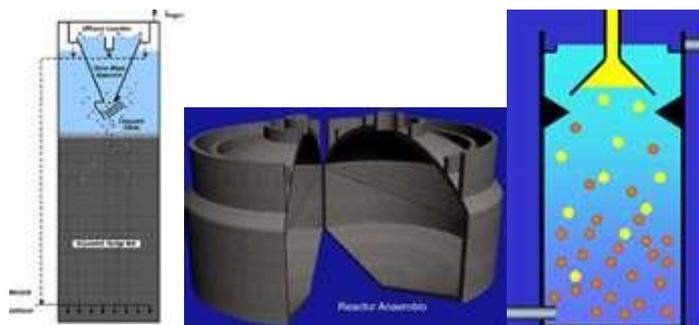


**Tabla 11. Clasificación general de los esquemas anaerobios.**

<b>Suspensión</b>	<b>Reactores</b>	<p><b>Imhoff.</b></p> <p>Se cuenta entre los primeros sistemas de depuración anaerobia. Consta de una instalación subterránea dividida en dos cámaras, la primera de ellas servía como sedimentador, mientras que la segunda cámara sirve a su vez como digestor.</p>
		<p><b>Mezcla completa</b></p> <p>Para evitar los problemas de diseño del sistema Imhoff, se le agrega la innovación de incorporar un rotor, el cual le permite recircular la materia orgánica con los microorganismos; asimismo, se evita con ello que la etapa acidogénica inhiba las subsiguientes etapas.</p>
		<p><b>UASB</b></p> <p>Surgido en Holanda a finales de los 70's, rompe con el diseño tradicional del reactor de dos fases, ya que al incorporar lodos granular de gran peso, le permite el paso continuo de agua residual de muy alta carga orgánica, con excelentes niveles de depuración de materia carbonatosa, aunque no es capaz de disminuir (antes bien incrementa) la cantidad de nitrógeno amoniacal y ortofosfatos.</p>

		<p><b>EGSB</b></p> <p>Esta variación del diseño original del UASB se caracteriza por presentar la notable innovación de expandir el lecho de lodos, es decir, aplicar una fuerza extra—que es el líquido del propio reactor que recircula—para que el lecho de lodos pueda separarse un poco, con lo que se incrementa el área de contacto de las bacterias que se encuentran en esos lodos granulados con el agua residual, con el consiguiente incremento de la materia orgánica degradada.</p>
	<b>Lagunas</b>	<p><b>Anaerobias</b></p> <p>Este sistema es muy utilizado cuando se tienen altos gradientes de materia orgánica, principalmente como sólidos suspendidos. Por lo general son estanques más profundos que los tanques aerobios, lo cual garantiza zonas libres de oxígeno, con lo que se favorece la degradación anaerobia. Si la laguna está bien llevada, la producción de lodos es en extremo reducida. La estabilización se consigue por medio de una combinación de precipitación de conversión anaerobia de los residuos orgánicos en bióxido de carbono, metano, otros productos gaseosos finales, ácidos orgánicos y tejidos celulares. Normalmente, es fácil conseguir de forma continua eficiencia de eliminación de DBO superiores al 70%. En condiciones óptimas de funcionamiento, es posible conseguir eficiencias de eliminación hasta el 85%</p>
<p><b>Biopelícula</b></p> <p>Las innovaciones que se encuentran en este proceso varían de la forma clásica de la torre en cuyo interior se encuentra con el material que sirve de sustrato donde las comunidades bacterianas se encuentran fijas, haciendo pasar la mezcla de agua residual y de aire a través de los espacios libres, donde no solo se trata la materia carbonatosa sino que al degradarse las macromoléculas, se libera el nitrógeno como nitrógeno reducido y el fósforo como ortofosfato, es decir, fósforo soluble susceptible a ser aprovechado biológicamente. Dado que las bacterias están adheridas al medio y no son arrastradas por el efluente pueden obtenerse tiempos medios de retención celular del orden de 100 días. En consecuencia, es posible conseguir grandes valores de tiempo de retención celular, con bajos tiempos de detención hidráulica, de esta manera el filtro anaerobio pueden utilizarse para el tratamiento de residuos de baja concentración a temperatura ambiente.</p>		

**Figura 5**



pp 6

El filtro anaerobio fue introducido por Young y Mc Carthy en 1969, el cual consistió en un reactor de flujo ascendente empotrado en soportes plásticos o con piezas de 3 a 5 cm de diámetro promedio.

#### 4.1.1.- Reactores anaerobios

## Cámara Imhoff.

De antiguo se han vertido los desechos domésticos en zanjas (abiertas o cerradas); posteriormente se observó que en las zonas que no se encontraban en contacto con el oxígeno atmosférico tendían a presentar buenas velocidades de degradación. Lo anterior llevó a Imhoff a proponer un sistema de depuración donde los desechos domésticos se verían a una cámara cerrada donde el oxígeno era rápidamente consumido y las condiciones anaerobias prevalecían, propiciando la degradación anaerobia de los desechos. A pesar de que no siempre alcanzaba las mejores eficiencias, debido a que al no mezclarse de forma completamente y de forma continua el sustrato las zonas donde predominaba la etapa acidogénica llevaban a inhibir la etapa metanogénica. Sin embargo, por la sencillez de su diseño, el bajo costo y su posibilidad de instalarse aún en carencia de infraestructura, fueron muy populares a finales del siglo XIX y a principios del siglo XX

### 4.1.2.- Reactor de Mezcla completa.

Para hacer frente a la pérdida de efectividad de las Cámaras Imhoff, se implementó la mejora de añadir un sistema rotatorio (por lo general asociado a una hélice) que permitía mover continuamente el sustrato, lo que facilitaba que los microorganismos no solo tuvieran contacto con más materia orgánica, sino también evitar que se acumulara en algunas zonas del reactor los productos metabólicos que a la larga inhibirían a la etapa metanogénica. Asimismo se agregan otras mejoras, como vertedores donde se recoge el efluente así como captadores del gas ( $\text{CO}_2$  Y  $\text{CH}_4$ ). Si bien representa una innovación notable en comparación con las cámaras Imhoff, aún existe inhibición por la presencia de los metabolitos secundarios de la etapa acidogénica y para términos prácticos, este sistema al final del proceso tiene que detener para vaciar su contenido en la siguiente etapa, con la consiguiente pérdida de tiempo.

### 4.1.3.- Reactor UASB

A finales de los años 70's en los países bajos se da un avance muy notable, ya que Lettinga diseña un sistema anaerobio donde se podía trabajar de forma ininterrumpida, con una muy baja producción de lodo y alta producción de biogás y lo más importante, con niveles de depuración de aguas residuales bastantes buenas con cargas orgánicas altas. A este sistema se le denominó "Upflow Anaerobic Sludge Blanket" o una traducción al español como "Lecho de lodos anaerobios". Si bien en términos formales solo es una innovación, en la práctica significó el advenimiento de una explosión de trabajos científicos y técnicos que aún no concluye. Por otro lado, si bien los grupos de investigadores nacionales iniciaron con una gran desventaja, pudieron reconvertir esta situación y en la actualidad han logrado hasta la obtención de patentes.

### 4.1.5.- Reactor EGSB.

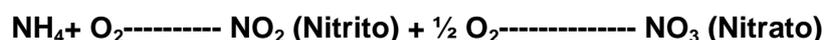
El mejoramiento que representó este procedimiento se basa en que al aplicarse, de forma adicional una corriente de agua (que por lo general es parte del efluente que retorna de nueva cuenta) hace que los lodos granulados del sistema se "expandan", lo que implica que los consorcios bacterianos presenten una mayor área de contacto con el agua residual y por tanto, se incrementa la eficiencia en la degradación y remoción de la materia orgánica.

## 4.2.- Depuración por métodos anóxicos. Perfil general

Los métodos de tratamiento por regla general son muy eficientes para depurar la materia carbonácea del agua residual; sin embargo, tanto los métodos aerobios como los anaerobios no pueden separar al nitrógeno y al fósforo del agua tratada, de hecho, al romper las moléculas orgánicas los microorganismos implicados en estos procesos liberan al ambiente tanto el nitrógeno ( en su forma reducida como aminas y amonio  $\text{N-NH}_4$ ) como el fósforo (en su forma de ortofosfato  $\text{PO}_4^{2-}$  )



Como pueden apreciarse en las ecuaciones (n) y (n+1), la liberación de grandes cantidades de estos nutrientes al efluente de las plantas tratadoras de agua residual, las cuales, al ser descargadas en los cuerpos de aguas naturales (como son lagos y rios) el contacto con el oxígeno (fotosintético y atmosférico) promueven las siguientes reacciones:



Tanto el amonio como los nitritos y los nitratos son moléculas que favorecen el crecimiento de las plantas, provocando en consecuencia el fenómeno de la eutricación (el enriquecimiento de nutrientes). Este fenómeno en si es poco recomendable para los cuerpos de agua naturales, ya que al favorecer el crecimiento de todo tipo de organismos en el agua desmejora su calidad, haciendola no potable. Los métodos anóxicos pueden enfrentar este problema, ya que existen organismos capaces de utilizar el oxígeno ligado a los nitritos y nitratos, tal como se muestra en la siguiente ecuación:



Como puede apreciarse, este método presenta una gran cantidad de ventajas, ya que el producto final del proceso es el nitrógeno gaseoso (N<sub>2</sub>) el cual se libera a la atmósfera y no deja ningún residuo sólido (como los lodos); por otro lado, presenta la ventaja de que al no utilizar bombeo de aire ni aspersión par que se oxigene—solo necesita el bombeo del líquido para que pase a través del medio que soporta a los microorganismos y que pueden estar en suspensión o en una biopelícula—el gasto de energía eléctrica es mucho menor que cualquiera de los métodos aerobios.

## ANEXO 5

### Esquemas de depuración por humedales y filtración del suelo.

#### 5.1.- Depuración por humedales artificiales. Perfil general

##### Antecedentes históricos del proceso.

(...) Uno de los primeros documentos registrados fue el escrito por Mc Kney, en Australia en 1904 (Mackney, B. 1990. The design of wetland for wastewater treatment. An Australian perspective. En Memories of Constructed Wetland water pollution control. Reino Unido, pp 471-475) en Australia en 1904 , en el cual describe la construcción de un sistema que remueve sólidos y materia orgánica existentes en el agua residual, mediante un lecho de arena c on plantas las cuales poseían un rápido crecimiento y una alta estabilidad a los cambios de concentración del influente.

En 1953 Serdel publicó un artículo en el que discutió la posibilidad de disminuir la contaminación y azolvamiento de los sistemas de drenaje utilizando plantas acuáticas apropiadas como la espadaña común (*Schoepepectus lacustris*) en um medio sólido. Según Deidel, este tipo de vegetal aumenta la eficiencia del tratamiento puesto que ayuda a la mineralización de la materia orgánica, incrementa la población de microorganismos e inclusive genera antibióticos que eliminan bacterias no deseables como las coliformes, Salmonella y enterococos. Seidel también demostró que el sistema es capaz de estabilizar metales pesados y compuestos con hidrocarburos, como los fenoles y sus derivados. (Brix 1996)

El trabajo desarrollado por Seidel fue llevado a practica por varias instituciones en Europa. En los años 60's en Alemania, Francia y Austria se construyen los primeros sistemas empleando diversos tipos de especies vegetales y midos de soporte. En 1967 se construyó en Holanda el primer sistema a gran escala para tratar un volumen de agua generado por 6000 habitantes.

En Alemania, a finales de los años 60's Seidel con el apoyo de Kichzkut, desarrollo una serie de investigaciones consistentes en la construcción de un sistema en el que se adicionó al lecho aluminio, calcio y hierro en complemento con arenas y arcilla fina. Este arreglo facilitó la precipitación de una mayor cantidad de compuestos fosfatados que se encuentran comúnmente en el agua residual. Adicionalmente sembró el medio con vegetales como el carrizo (*Phragmites australis*), que aumentaron los fenómenos de la nitrificación y desnitrificación del efluente (Amstrong 1990) (En México se tiene registradas las primeras experiencias desde el año 1989, con investigaciones desarrolladas en la UNAM, UAM y otras instituciones.

Un método que ha aparecido desde hace pocas décadas es el de los humedales artificiales. Como anteriormente se había señalado, las plantas tienen la capacidad de obtener energía de la luz solar para sintetizar su propio alimento ( y capturar el CO<sub>2</sub> atmosférico reduciéndolo con el H<sub>2</sub> del agua para formar carbohidratos primero y posteriormente biomasa). Por añadidura, las plantas acuáticas—como los juncos, los nenúfares, las jacintos acuáticos y los tules—pueden incorporar de forma directa el amonio directamente a su anabolismo; de la misma forma, el ortofosfato (PO<sup>-2</sup><sub>4</sub>) que es un nutriente eutricante, es asimismo absorbido por las plantas. Cuando estas plantas retiran el nitrógeno y el fósforo del agua residual y lo incorpora a su biomasa (a condición de que se este cosechando frecuentemente la biomasa y retirarla del sistema, ya que de no hacerlo, la biomasa de la planta, al caerse, reintegran los nutrientes al medio acuático, cosa poco recomendable), la calidad del efluente es mucho mejor. Otra ventaja que presenta este método es que no requiere de operarios especializados, puede ser incorporado a la tradición campesina de la región y por añadidura, captura el CO<sub>2</sub> atmosférico, lo que ayuda a desacelerar

el efecto invernadero. Por último y no menos importante, es que los humedales no solo por lo ya mencionado, sino que son una forma económica para remover bacterias y patógenos

Además de la vía de la asimilación directa del nitrógeno amoniacal y del ortofosfato a la planta, existen otros mecanismos implicados en la depuración de las aguas residuales asociadas a las plantas. El primero de ellos es que estos organismos, durante su proceso de fotosíntesis, sus tejidos verdes producen, a través de la fotólisis del agua una gran cantidad de oxígeno, mismo que se transfiere a todos sus tejidos. De hecho, la elevada tensión del oxígeno del tejido radicular se difunde al agua y al sedimento circundante, lo cual hace que se incremente la flora bacteriana, los cuales realizan una labor sinérgica con las raíces, ya que degradan por la vía aeróbica a la materia orgánica; por otro lado, el oxígeno y la materia orgánica quelan a los metales pesados (es decir, fijan e inmovilizan a los metales tóxicos de origen industrial)

### 5.1.1.- Humedales artificiales de flujo superficial

Estos son los humedales que fueron los de aplicación más temprana. A partir de los trabajos pioneros de se avizoro el gran potencial de estos sistemas, aunque los intentos de utilizarlos como sistemas secundarios no han sido exitosos, su aplicación mas conveniente es como sistemas de pulimento de cualesquiera de los sistemas tradicionales de depuración. En términos generales, se utilizan plantas flotantes libres, tales como lenteja de agua, jacinto acuático, lechuga de agua u ombligo de Venus. Si bien se pueden utilizar de forma indistinta en sistemas con flujo o en sistemas sin flujo, parece que los resultados mas interesantes son en los primeros, ya que no solo se reportan una depuración mas alta, sino que ademas, la susceptibilidad a sufrir plagas y enfermedades es menor.

### 5.1.2.-Humedales artificiales de flujo subsuperficial.

Este tipo de humedales tiene algunas ventajas adicionales que no siempre presentan los humedales de flujo libre. En primer lugar, al ser el flujo subsuperficial no le permite a ciertos insectos (como moscos) que utilicen el medio acuático como vivero, con evidente irritación de los vecinos. En segundo lugar, al intervenir el suelo en el proceso de depuración, potencia aún mas la capacidad de los humedales de depurar cargas orgánicas altas que los humedales de tipo superficial no podrían tolerar. El tipo de plantas que se recomienda utilizar son del tipo enraizadas emergentes (tales como los juncos y los tules) aunque se pueden utilizar con cierto éxito los papiros.

### 5.2.1.- .Depuración por suelo. Perfil General.

Este mecanismo se caracteriza por hacer reaccionar la microbiota del suelo con los contaminantes del agua, combinando al mismo tiempo procesos aerobios (en las capas superficiales de tierra) con anaerobios (en las zonas profundas del suelo, donde hay carencia de oxígeno), al tiempo que los minerales y otros compuestos inorgánicos reaccionan a su vez con los compuestos contaminantes, las comunidades microbianas del suelo y del agua residual. Esta red compleja de reacciones tiene sin embargo la ventaja de que tiende a mineralizar los nutrientes que contaminan el agua y transformarlos en fertilizantes, lo que a la larga se convierte en un beneficio. Según algunos autores (Al Jamal, 2002) el arte de regar suelos forestales sin acceso al público es controlar los poros y la anaerobiosis. En Australia se promueve este tipo de depuración en suelos semiáridos con el triple objetivo de recargar—deforma controlada—los acuíferos, promover la biomasa forestal y de disponer de manera adecuada a los contaminantes. Israel hace lo mismo irrigando plantaciones de Eucalipto en el desierto del Hegevev, mientras que en el estado norteamericano de California se hace de manera intensiva con 20 m<sup>3</sup>/ hectárea, mientras que Brasil lo hace con 56 m<sup>3</sup>/hectárea. El valle del Mezquitil ha ocupado la atención de la comunidad científica ya que es no solo el distrito de riego mas grande del mundo sino también el mas antiguo (de hecho, tiene mas de un siglo, ya que desde la apertura del tajo de Tequixquiac se abrió la posibilidad de regar un área semidesértica con aguas cada vez mas contaminadas) y es en consecuencia, el lugar donde es mas evidente del país donde se aprecian los beneficios y perjuicios de esta práctica<sup>2</sup>.

## ANEXO 6.

### Recuadros con información especializada.

#### Recuadro I. El agua en México.

En los más de 2 millones de Km<sup>2</sup> de superficie que comprende México tiene en promedio una precipitación anual de 777 mm, lo cual es equivalente a 1 522 Km<sup>3</sup>. Sin embargo, la distribución espacial es muy irregular. Aproximadamente el 42% de el país, principalmente en el norte, recibe en promedio una precipitación anual de menos de 500 mm y en algunos casos, como en las cercanías del río Colorado, menos de 50 mm. En el otro extremo, el 7% del territorio de la nación tiene un promedio anual de 2 000 mm de precipitación, e inclusive en algunas regiones localizadas donde los 5 000 mm de lluvia son comunes. En términos generales, el 80% de las lluvias ocurre durante los meses de verano.

De el 27% de el agua que se precipita sobre el territorio nacional es transformado en agua superficial (como ríos, lagos), lo cual equivale a 410 Km<sup>3</sup> los cuales se concentran en 314 cuencas. La distribución es muy irregular, la mayor parte del agua que se encuentra en esta situación se encuentra localizada en el sureste del país, lo cual geográficamente es el 20% de la superficie del país, mientras que el 4% del agua que corre se encuentra en el norte, lo cual representa el 30% del total del agua.

La capacidad de almacenamiento de los lagos y lagunas mexicanas es de 14 km<sup>3</sup>. y las presas algo mas de los 189 km<sup>3</sup>. lo cual representa el 47% de el promedio anual de las aguas superficiales.

De las precipitaciones que se infiltran, 48 km<sup>3</sup>. renuevan los acuíferos. En las áreas irrigadas, los acuíferos reciben en una recarga artificial un volumen adicional de 13 km<sup>3</sup>. Finalmente esto nos da un estimado de 110 km<sup>3</sup>. de el agua de los acuíferos que pueden ser usados.

La disponibilidad de agua por persona es también en extremo variable a través de la nación. Hay regiones donde entre 211 y 1478 km<sup>3</sup>. se encuentran disponibles por persona mientras que en otros lugares la disponibilidad varía entre 14 445 y 33 285. En promedio, cada habitante puede usar 5 200 m<sup>3</sup> por año.

Contaminación del agua en México.

Basado en los estudios llevados en 218 cuencas que cubre el 77% de la nación y que cubren las necesidades del 93% de la población, el 72% de la producción industrial, el 98 % de las áreas irrigadas, 20% de las cuencas son las responsables del 83% de la carga contaminante total, medida como Demanda Bioquímica de Oxígeno. Las cuencas del Pánico, Lerma, San Juan y el Balsas reciben el 50% de todas las aguas residuales. Otras cuencas con altos niveles de contaminación son las cuencas del río Blanco, Papaloapan, Culiacan y Coatzacoalcos.

La mayor contaminación de los acuíferos se da en el distrito de la Comarca Lagunera, en el Valle de México y en el Distrito del Bajío, así como en el Valle del Mezquital, así como otros que se encuentran en áreas agrícolas. Estas últimas se encuentran afectadas por la lixiviación de las sustancias agroquímicas que se están usando. Por otro lado, la deforestación también contribuye a la degradación de la calidad del agua de las cuencas de la nación.

México genera cada año 7.3 km<sup>3</sup>. de aguas residuales, de las cuales solo 5.5 son colectadas en los sistemas de drenaje. La capacidad de tratamiento es de 1.4 km<sup>3</sup> por año. Sin embargo, con las deficiencias en las solo 0.53 km<sup>3</sup>. pueden ser adecuadamente tratados. Por lo menos, de forma anual, 6.8 km<sup>3</sup>. de aguas residuales sin tratar son descargadas anualmente al ambiente.

Usos del agua.

En 1995, la población de México alcanzó los 91.6 millones de personas, de las cuales 15.1 millones de personas podrían no tener agua potable para beber en sus casas y 30.2 millones pueden no tener acceso a los servicios de drenaje. Estas deficiencias son mas marcadas en las áreas rurales. Se ha estimado que 8.5 km<sup>3</sup>. de agua se ha extraído para cubrir estos usos. En promedio, el 95% del aporte del agua para abastecer en las comunidades se encuentra desinfectada y 2.2 km<sup>3</sup>. se potabiliza cada año.

Las cosechas mexicanas cubren 20 millones de hectáreas, de las cuales 6.2 millones se utilizan para la irrigación. El resto de las tierras agrícolas su aporte de agua es de las lluvias. En 1994, 61.2 km<sup>3</sup>. de agua fue extraída para estos propósitos, 41.1 desde las aguas superficiales y 20.1 de los acuíferos. Las industrias localizadas en las áreas suburbanas y en las zonas rurales usan 2.5 km<sup>3</sup>. de agua, mientras que las plantas termoeléctricas e hidroeléctricas usan 113 km<sup>3</sup> en 1994. (Arreguin 1996: pp. 483-490)

#### Recuadro II. Los nuevos patógenos emergentes del sistema hidráulico en México.

En realidad no podemos saber que tan potable es el agua potable que consumimos, ya que entre mas potentes herramientas aplicamos al análisis del agua, encontramos mas evidencias de nuevos patógenos emergentes, que hasta hace poco pasaban desapercibidos (Giao 2008, pp 5898-5904) como es el descubrimiento de que estos organismos agente causal de la úlcera estomacal, está presente en las redes de distribución del agua potable en cantidades que superan, los 430 millones de bacterias en algunas zonas. Por el momento las evidencias parecen indicar que las infecciones de *H. pylori* son mas un padecimiento tipo países en desarrollo que de países desarrollados ( Mazari 2001, pp. 93 y 94), con altas prevalencias en niños menores de 10 años; Mexico, según calculan de estos autores, tiene un 66% de seropositivos. Es posible que la vía de contaminación de la población de la ZMCM sea por el agua que llega del Sistema Cutzamala, así como de los alimentos frescos y crudos regados con diferentes tipos de aguas. Los autores por ultimo señalan que estas bacterias han sido ignoradas por las autoridades. Otro tanto podemos decir del género *Aeromonas*, el cual puede tener un comportamiento patógeno para personas susceptibles—personas muy jóvenes así como los adultos mayores y que no solo se encuentra presente en plantas de tratamiento de aguas residuales, cuerpos de agua residuales y recreativos (como son los lagos artificiales—sino que también están en las plantas potabilizadoras del Rio Magdalena y de Santa Cruz Meyehualco, en el Distrito Federal (Villaroel 2005, pp. 3075 y 3076) lo cual no es sorprendente porque también se han encontrado *Aeromonas* en las tuberías de agua potable de la Ciudad de Guadalajara; de hecho, según estos autores, se encuentra en el efluente del 50% de las plantas potabilizadoras de agua de México. De la misma forma, *Escherichia coli*, bacteria que se encuentra de forma normal en nuestro intestino presenta a su vez formas patógenas todas ellas en el sur de la Ciudad de México, (Valdéz 2002, pp. 2 y 14) entre las que destacan los grupos enterotoxigenica, enterohemorrágica y enteropatogénica.

### Recuadro III. Las chinampas

En Mesoamérica surgió una de las mas grandes agrotecnologías de las sociedades agrícolas: Las chinampas, la cual se origino, según evidencia presentada por Armilla, desde antes de cristo (Reidl 1985: p 184). Si bien esta agrotecnología es el resultado de aportaciones continuas de los pueblos ribereños del antiguo lago, son los aztecas los que logran la máxima eficiencia, ya que podía llegar hasta las 4 ton/hectárea para el cultivo de maíz, por no hablar del aporte de la gran variedad de legumbres; así que no tiene nada de raro que el Estado Azteca coordinara grandes obras hidráulicas, como la transformación de 120 km<sup>2</sup> de pantanos, así como el dique que diseñó Netzahualcoyotl, el cual no solo protegía a Tenochtitlan de las inundaciones, sino mas importante aún, evitaba la salinización de las chinampas del centro y del sur de las lagunas, asegurando así el aporte alimenticio de decenas de miles de personas.

### Recuadro IV. El sistema lacustre en el siglo XIX y la opinión médica.

Al revisar la prensa de la capital donde se hace referencia al moribundo sistema lacustre se pueden encontrar opiniones como: (...) "Las zanjas enzovadas, del canal de Texcoco"—leemos en el periódico El Eco del Comercio. 12 de julio de 1848. Se publicó bajo el título de "mejoras de la capital" "cubiertas de musgo y despidiendo pestíferas emanaciones, montones enormes de basura que revuelven multitud de infelices algunos restos que aprovechar, algunos animales muertos rodeados de perros que los devoran o de una turba de inmundos zopilotes que vuelan en torno de su presa, la desgarran y la despedazan, y salpican el suelo con los restos asquerosos del cadáver: unos potreros sin vegetación y sin vista, en donde pacen algunas vacas malicentas y dos o tres caballos flacos que apenas pueden sostenerse en pie; aquí y allí extensas excavaciones en las que se depositan las aguas de las lluvias, formando lodazales, con la tierra removida por las ruedas de los carros y el paso de las bestias que atraviesan frecuentemente estos lugares; casuchas miserables habitadas por gente todavía mas infeliz, largos y solitarios callejones a los lados, en donde las diligencias, los caños rebosantes de lodo pestilente, en cuya superficie vercosa sobrenada no pocas veces un gato muerto o las excrementos de algunos vecinos arrojaron a estos albañales". Y esta opinión se reforzó cuando las epidemias del colera, que en siglo XIX arrojaron miles de muertos en la ciudad, reforzó la opinión del gremio de los médicos, los cuales, al interpretar ese fenómeno bajo la teoría de las "miasmas" clamaban por la desecación del lago. Al respecto García Cubas, distinguido científico de la época señaló " Las verdaderas causas de la insalubridad de México para no atribuirlo, como muchos pretenden, a su propia naturaleza. Mi opinión a este respecto es diametralmente opuesta, porque en efecto ¿Qué medidas se han tomado alguna vez para mejora las condiciones higienicas de la ciudad? ¿No vemos diariamente remover el cieno de inmundas atarjeas impregnando el aire las miasmas nocivas?" ( Marquez 1992, p 176)

### Recuadro V. El ocaso del lago y del sistema chinampero.

Tradicionalmente, la historia de México la podemos dividir en las siguientes etapas: Prehispánica, colonial e independiente; sin embargo para el caso que nos ocupa, no es posible distinguir cambio a la percepción del recurso hidráulico, antes bien, parece existir una visión continua donde el trazo de la ciudad tiene prioridad sobre los agroecosistemas tradicionales; la percepción del sistema lacustre como un problema o como un recurso que se puede sobreexplotar de forma indiscriminada. Bajo esta lógica resulta claro que la expulsión de las aguas de la Cuenca — desde la construcción del Tajo de Nochistongo hasta la construcción del Emisor Oriente— responde a esa visión, aún cuando la pérdida de humedad se haya incrementado a lo largo de los últimos siglos, gracias a la disminución del área del lago primero y a la posterior destrucción de los sistemas chinamperos. Es importante hacer notar que a lo largo de casi 150 años de vida independiente fueron mas destructivos que los 300 años del periodo colonial, ya que las acciones expoliadoras de las autoridades y los hacendados primero y de los fraccionadores coludidos con los funcionarios capitalinos y federales dan al traste con el sistema chinampero de Iztapalapa, el cual hasta los años 70's del siglo XX era un importante abastecedor de la ciudad. Sin embargo, ante el imperativo de hacer una nueva central

de abastos, llevó a expropiar las chinampas y posteriormente a una acción policiaca de gran envergadura, encarcelar a los comuneros disidentes. (Reidl 1985, pp. 188-191)

#### **Recuadro VI. El sistema hidráulico de la ZMCM.**

El abasto de agua a la Ciudad de México se logra con una de las infraestructuras hidráulicas mas grandes y complejas del mundo, la cual fue contruida durante varias décadas, ya que cuenta con 514 km de líneas de conducción hacia 279 tanques de almacenamiento, con capacidad conjunta de 1 700 millones de litros, de donde se distribuye a los usuarios mas de 10 700 kilómetros de redes primarias y secundarias. Adicionalmente se utilizan 227 plantas de bombeo para incrementar la presión de red y dotar de agua a los habitantes de las partes altas. Para adecuar la calidad del agua se utilizan 16 plantas potabilizadoras (12 de ellas a pie de pozo) y 360 dispositivos de cloración (DGCOH 1995<sup>a</sup>: p.23) El uso del agua que se emplea en las casas se distribuye a la manera siguiente: 1% en bebidas, 3% en alimentos, 13.5% lavado de trastes, 30% sanitarios, 40% aseo personal, mientras que el resto no esta identificado (DGCOH 1995b: pp. 14-15) Asimismo, a partir del uso extendido que se hace de detergentes, insecticidas y en general, de los surfactantes en general, la cantidad de noxyfenoles ha tenido un incremento impresionanate (Belmont 2006, pag 29), detectandose grandes cantidades en la cuencas de los rios Texcoco, con el posible riesgo de no solo afectar los ecosistemas acuaticos por bioacumulación, sino mas grave aún, que esta se pueda exportar a los sistemas agroecosistemas de la zona.

#### **Recuadro VII. La gestión del agua potable en la ciudad de México. De la inequidad a la irracionalidad.**

El conflicto por el agua potable es algo que ya se había valorado desde hace bastantes décadas. Una de las soluciones que desde finales de los sesenta se presentó a la regencia de la Ciudad de México, por parte de algunos investigadores de la ciudad de México es narrada aquí (Díaz de Cossio 1999, p 9):

“A finales de los años sesenta se tuvo la idea de diseñar un medidor de agua paara casas que funcionarios con una tarjeta que ahora llamariamos inteligente, cargaba con un número fijo de litros de agua, como ahora son las tarjetas telefonicas. Pensemos entonces que si tendría éxito, el medidor podría patentarse y venderse, enseguida. Noda mas la ciudad de México se ahorraría millones de pesos porque el agua sería pagada antes de consumirla. La gente compraría sus tarjetas en cualquier tienda. La idea era valiosa, ademas, porque induciría un circulo virtuoso al lograr que se crearia en el consumidor una conciencia de ahorro del agua. Se creo el medidor y la Tarjeta que lo haria funcionar. El proyecto no fue patrocinado y la ciudad de México siguió desperdiciando agua. Ningun empresario lo tomo porque las autoridades de la Ciudad no guardaron su compra y eso que teniamos grandes amigos en las áreas tecnicos del DDF”

En vez de eso, se prefirió expoliar el agua de las cuencas vecinas, con altos costos con criterios de reparto dispares así como de su pago. Para las zonas mas deprimidas económicamente, se da la paradoja que las personas que no tienen acceso al agua potable conectada pagan mas cara el agua que los usuarios regulares. El costo de llenar un contenedor de 200 litros de agua cuesta hasta 25% del salario mínimo diario (Restrepo 1995, p. 25). Por otro lado se hace notar (Tortajada 2003, p. 124) la inequidad de la distribucion de agua potable se hace evidente en los aportes que reciben las zonas pudientes reciben hasta un aporte de 600 litros/habitante de agua subsidiada, principalmente en el poniente de la Ciudad, mientras que en las zonas económicamente deprimidas del oriente, el abasto del agua esta de forma intermitente o peor aun, el agua se distribuye en camiones cisterna con una consumo diario de 20 litros/habitante y con un pago de 500 % superior al de los consumidores que tienen registro fijo, es decir, con un costo que representa del 6 al 25% del salario diario.

#### **Recuadro VIII. Los nuevos contaminantes emergentes.**

Estos microcontaminantes son sustancia químicas que pueden interrumpir el buen funcionamiento hormonal que controla el desarrollo normal del cerebro, el sistema cardiovascular, esquelético y urogenital durante el desarrollo y a lo largo de la vida de los seres vivos, ocasionando efectos permanentes e irreversibles. El EPA (1997) define a estos compuestos como agentes exógenos que interfieren en la síntesis, secreción, transport, acción o eliminación de hormonas naturales en el cuerpo que son responsables para el mantenimiento de la homeostasis, reproducción, desarrollo y/o comportamiento. Existen 3 tipos de disruptores endocrinos

- Estrogénicos
- Androgénicos
- Tiroidal

En la actualidad se conocen 45 compuestos con propiedades disruptivas confirmadas y unas 600 consideradas potenciales (...) los cuales han sido introducidas a los circuitos ambientales y están presentes en la vida cotidiana. Entre los compuestos disruptores endocrinos (CDE´s) naturales mas importantes se pueden mencionar las feromonas y los fitoestrógenos, entre el grupo de los CDE´s artificiales se encuentran los insecticidas y sus metabólicos, los funguicidas, moluscocidas, insecticidas, los bifenoles policlorados, ftalatos, bisfenol, alquilfenoles, alquilfenoles, polietoxilatos y en particular, el productos de degradación mayoritario de estos, el 4-n-nonifenol., estrógenos artificiales, como el dietilestribestrol, componentes de los filtros UV en cremas ( 3-benzofenona) dioxinas, furanos, hidrocarbonos

policíclicos. (Molina 2008). Es importante señalar que es de máxima importancia el noxifenol etoxilato, el cual es un compuesto derivado de los surfactantes no iónicos y que se utiliza en la manufactura de pinturas, textiles y papel, destacando en la fabricación de detergentes. Este compuesto y sus derivados tienden a representar del 4 al 10% del carbono total de las aguas residuales, aún cuando algunos tipos de estas sustancias son degradados en las PTARS de losodos activados. Los remanentes de estas moléculas tienden a bioacumularse en las cadenas alimenticias.

#### **Recuadro IX. Documentos científicos.**

El documento científico por excelencia es el artículo científico que se adscribe a 3 principios básicos (Rosembleuth 1994, p. 36) los cuales son Descripción de los hechos o eventos. Refiere que la descripción minuciosa no constituye una aportación científica; Sistematización de los hechos o eventos. Esto no es necesariamente cierto, ya que un directorio telefónico tiene la misma categoría. Es importante apuntar que la ciencia requiere sistematización. Medida. Las medidas son elementos esenciales en la construcción de las ciencias, pero el conjunto de mediciones, por sí solo, no hacen a la ciencia. La explicación de los hechos. Por supuesto, este criterio es importante, pero por sí mismo, no puede referenciarse a una actividad científica. Predicción. Lo mismo que el anterior.

La investigación conducida por estos criterios es publicada en una revista indexada internacionalmente, después de haber sido aceptada por el comité revisor. Los autores son señalados justo debajo del título, dando por hecho que el primer autor, es, en la mayoría de los casos, el autor del artículo (por eso se le denomina el autor principal), mientras que el último autor es en ocasiones, el jefe del laboratorio. Se señalan sus adscripciones institucionales así como un correo electrónico para contactar. En términos generales, este documento está compuesto por un abstracto o resumen, al que le sigue una introducción. En la mayoría de los artículos, en el último párrafo de la introducción viene manifestada la hipótesis, a la que le siguen los objetivos y propósitos de la investigación. Sigue la parte de "Diseño Experimental" (aunque otras publicaciones la refieren como "Metodología" o en su defecto, como "Material y Métodos"). Los resultados en ocasiones se muestran por separado del análisis y discusión de los resultados, pero esto no siempre se cumple. Finalmente todos estos documentos terminan con las conclusiones, agradecimientos y bibliografía. A veces existen anexos.

#### **Recuadro X. Documentos tecnológicos.**

Estos documentos, por regla general no se encuentran para el escrutinio público, ya que por lo general se encuentran reservados o bien, se niega que existan, ya que son documentos donde se muestra como funciona la organización, institución, empresa o firma. Para el caso de solicitar un documento de un organismo público, se necesita apelar a la ley de transparencia (en su ámbito federal o estatal, según sea el caso) con fortuna desigual. Para enfrentar esta problemática, el autor de este documento se enfocó al análisis de las tesis, con el objetivo de acceder a la información tecnológica. Como ya algunos habían apuntado el documento tecnológico se caracteriza por valorar la factibilidad de una propuesta. Por lo anterior, se considera como documento tecnológico aquellos que tengan las siguientes características:

- 1.- Elaboración de un abanico de propuestas
- 2.- Evaluación de cada una de las propuestas desde la perspectiva técnico-económica.
- 3.- Una vez elegida la propuesta ganadora, se procede a elaborar:
  - a) La ingeniería básica (En el que se incluye un modelo, así como el diseño pertinente)
  - b) La ingeniería al detalle
  - c) Algunos consideran que la procura es un elemento importante (Benitez, 2006)
- 4.- Se elabora el estudio de factibilidad económica, donde aparece la inversión total, Mantenimiento y Operación, amortización, entre otros.
- 5.- En ocasiones van acompañados de la memoria de Cálculo, Manuales de operación, planos, entre otros (Castellanos 1997, p 13-15)

#### **Recuadro XI. Diferentes formas en la que puede intervenir la iniciativa privada en la depuración de aguas.**

Se puede aperturar a la iniciativa privada con propiedades públicas

- a) Contrato por servicios.

- b) Contrato por gestión
- c) Contrato por arrendamiento
- d) Contrato por concesión

Iniciativa privada con propiedades privadas

- a) BOOT (¿Construimos, operamos nuestro y transferimos?)
- b) BOT (Construimos, operamos, transferimos)

BOO. (Construimos, operamos y es nuestro)

(Rinoskogi, 1995)

### Recuadro XII. Un caso exitoso de transferencia de tecnología para depurar el agua residual.

En este artículo se muestra el resultado del esquema B.O.O en la refinería de PEMEX en Salina Cruz, en conjunto con las empresas Biconsa, Degremont y Marvbeni, ya que esta planta tenía un consumo alto de agua, razón por la cual se decidió a) Reciclar el agua residual b) Desalinizar el agua de mar. Para reciclar el agua residual era importante remover el azufre, razón por la cual esta se oxida y se alcaliniza para evitar que se forme ácido sulfhídrico, ya que el agua residual tratada va a ser utilizada para la torre de enfriamiento y con ello evitar que aparezca la corrosión. Por otro lado, para remover el nitrógeno y el fósforo—y con ello evitar el enlameamiento y el crecimiento biológico, lo cual hacía que disminuía la eficiencia del enfriamiento de la torre, se eligió la vía de los lodos activados, con una zona central anóxica, lugar donde ocurre la desnitrificación. Parte de la materia orgánica sobre todo los sólidos suspendidos son eliminados vía burbujeo donde las burbujas capturan y eliminan dicho material. También es importante la remoción de la dureza del agua, para evitar incrustaciones de calcio en la torre de enfriamiento. Los lodos son separados, adelgazados y deshidratados. No dicen que hacer al final con los lodos b) El agua del mar se desaliniza a partir de que el agua marina no se obtiene directamente del mar, sino más bien de unos pozos profundos de una playa cercana, la cual no solo proporciona agua salada sin sólidos suspendidos, sino con una proporción menor de sal. Posteriormente pasa a un sistema de ósmosis inversa. Esta agua sirve para formar vapor de agua.

### Recuadro XIII. Ejemplos de tecnología endogenizada.

Ventajas y desventajas de la remoción de nitrógeno y fósforo por microalgas. Son muy populares estos bichos cuando se proponen como la solución para remover estos contaminantes de las aguas, aunque también tienen sus asegures los cuales inmovilizaron a las algas en lechos de alginato y las pusieron en un reactor baty ch secuencial, encontrando que había una buena remoción si la eutrificación no sobrepasaba cierto nivel y que una vez sobrepasado la eficiencia de la remoción decae. (Aslan 2006)

Ejemplo sobre como abordar el problema de los lodos. El problema con los lodos es que tienen unos números muy altos de patógenos, principalmente de huevos viables de helmintos, razón por la cual no pueden por normatividad, ser aplicados como biosólidos. Aquí Jiménez discute un tema muy importante para mi tesis, ya que ella dice que se deben de desarrollar tecnologías que demuestren su efectividad para los países en desarrollo, de forma que se pueda utilizar de forma efectiva. Y vaya que lo logra, ya que al incorporar hidróxido de amonio a los lodos en diferentes cantidades no solo disminuye la cantidad de patógenos sino que además, logra una remoción impresionante de helmintos del 90% (caramba) otro hecho más notable aún es que si añade este reactivo en recipiente cerrado, se puede lograr una mayor efectividad que si lo hiciera en un sistema abierto. Si bien es cierto Jiménez y su equipo reconocen que el número de huevos de helmintos no les permitía alcanzar el ser biosólidos clase A, sino que apenas quedan como biosólidos clase B. (Méndez y Jiménez 2002)

Este es un elemento muy importante para la discusión, Es el trabajo de Rodríguez Martínez (2005) Marcan el muy trascendente propósito de adaptar el lodo granular a diferentes sustratos—como son los efluentes de la industria papelera, de las bebidas alcohólicas y de las farmacéuticas. Los autores observan que para la formación de buenos consorcios anaerobios es importante la presencia de los sulforreductores, ya que su presencia ayuda a remover buenas cantidades de DQO, producen ácido sulfhídrico. Este último compuesto es utilizado por los nitrato reductores. Los autores dicen que se logra una buena adaptación del lodo granular a los efluentes de la industria papelera y de bebidas si dicho aluente se diluye con agua residual normal. Esto nos puede llevar a elaborar diferentes tipos de estrategias para lograr buenas remociones de materia orgánica con aguas poco tratadas para ello es importante tener la presencia del ion sulfato, es importante para lograr dichas remociones.

---

En la página 10 se menciona de un informe de la CNA de 1995 donde se considera que el agua de la ZMCM no es muy adecuada para ser tratada biológicamente y por tanto, se proponen medios fisicoquímicos. Hay que incorporarlo, creo yo, a la discusión.. Por otro lado, creo mas que para los problemas del agua residual las soluciones técnicas ya estan a la mano, esto es, que son bastante antiguas y que son fáciles de aplicar. Vease si no (pagina indeterminada, la reacción de Fenton de 1894 aun cuando hay algunas especies químicas que son recalcitrantes a fenton, como son los alcanoclorados, las n-parafinas y algunos ácidos carboxílicos.Fenton también es bueno degradando los tensoactivos (página 28). Por otro lado la adsorción se conoce desde 1881 por Kayson sobre una bóxer acion de Fontana de 1777. En la página 33 viene una descripción rápida de adsorción. Historia del uso del tratamiento del carbon activado en la depuración de aguas. Y aquí esta la innovación que no esta registrada en los libros clásicos. Lecho fijo de carbon activado asistido biológicamente (pp 44) Pp 58. 63. Sin embargo, tiene sus inconvenientes, ya que si bien en un principio tiene remociones de un 100%, poco a poco van disminuyendo (Muñoz y Jiménez 2004)

---

Al irradiar un monómero con radiación gamma se obtiene un nuevo polímero el cual, cuando forma un complejo con cobre, el cual presenta propiedades interesantes para la remoción de plomo de las aguas residuales. (Barrera Diaz 2005)

---

Para el tratamiento de las aguas residuales por el tratameinto primario avanzado combinado con filtracion con cadena ramificada no solo los solidos totales sino que casi elimina los huevos de helmintos (0.2 huevos/L) para los tratamientos de lodos aplica agregados cal viva, asi como también con ácido acético y ácido paraacetico. Ambos procesos producen biosolidos tipo A. Para otros métodos de estabilización de los lodos se valoro que los lechos de lodos reducen de 26 a 2 huevos /litro, mientras que la floculación, balastras y decantación pasa de 24 a 1.2 huevos por litro, mientras que de las placas inclinadas es capaz de pasar de 27 a 1.2 huevos huevos por litro. (Jiménez (2001a)

---

Se logró coleccionar 25 cultivos de organismos sufoereductores, los cuales fueron aislados tanto del Sudeste del Golfo de México como del Oceano pacifico, asi como de las plantas de tratamiento de aguas residuales. De estas se probó para desulos petroleos pesados mexicanos. La ctividad desulfurante no fue afectada por los altos niveles de vanadio en los petroleos pesados. Las muestras obtenidas de los sedimentos tuvieron una eficiencia mayor que la s muestras de los digestores anaerobios. (Aragon 2005)

---

En México existen 600 industrias de cromado que producen aguas residuales con altos niveles de Cr<sup>+6</sup>, el cual es un metal pesado muy tóxico. Esta agua son descargadas al drenaje sin tratamiento alguno. En algunos casos se le da algun tratamiento (como por ejemplo el uso de sulfato ferroso, bisulfato de sodio y evaporación. El problema de este tratamiento es que produce una gran cantidad de lodos, los cuales se convierten en residuos sólidos peligrosos, lo cual implica que se deen de erogar los costos correspondientes para su manejo y su disposición. Los autores presentan una propuesta donde se desarrolla un reactor electroquímico donde se esste removiendo el cromo (VI) con lo que no solo se deja de generar el alto volumen de lodos, sino que ademas se puede reducir el cromo hexavalente de 130 mg/L a 0.5 mg/L (orale guey), la cual es la concentración límite para la legislación ambiental mexicana. (Martínez Delgadillo 2004)

---

Se desarrollaron pruebas de laboratorio en las fábricas de curtidurias que conumen una gran cantidad de agua, en la ciudad de Toluca. El tratamiento con Hydrocalcita calcinada se mostró muy eficaz para remover no solo el cromo hexavalente sino tambien cal, sulfato y bicarbonato. (Martínez Gallegos et al 2004)

---

Un estudio para evaluar el efecto del ozono sobre la remoción de sólidos durante la coagulación/floculación de las aguas residuales del drenaje de la ciudad de México. (Incluyendo efluentes domésticos e industriales). Los resultados de este estudio muestran un mejoramiento significativo de la calidad del efluente con pequeñas dosis de ozono se encontró que la dosis óptima de ozono de 3.32 mg/L aproximadamente. Con esta dosis es posible reducir la concentración de coagulante de 50mg/L a 40 mg/L sin afectar la calidad del efluente. Cuando la dosis de coagulantes no se modifica, se incrementa en cambio la velocidad de asentamiento de los clox debido a su gran tamaño (con su correspondiente decremento de la cantidad de SST). (De Velázquez 1998)

---

Produccion de la Fenoloxidasas-Lacasa del Genoderma sp y su aplicación en la bioremediación de aguas residuales. Arboleda Carolina, Mejia Amanda ; Jimenez Gloria y Penninck Michael J. . V Congreso . Internacional y XI Congreso Nacional de Ciencias Ambientales 7-9 de julio del 2006.Universidad Autonoma del Estado de Morelos, Academia Mexicana de Ciencias Ambientales

---

Uno de los factores limitantes mas importantes en el tratamiento aerobio de las aguas residuales es la baja solubilidad

del oxígeno en el agua, lo cual restringe la velocidad de consumo de la materia orgánica en el reactor por las bacterias. Esta baja velocidad de la remoción de la materia orgánica ocasiona que los reactores de tratamiento de aguas residuales sean excesivamente grandes y que el proceso sea lento; además, hay que eliminar la biomasa que se forma en el proceso. Una solución es tener a las bacterias fijadas en membranas permeables al oxígeno (...). La concentración de biomasa que se puede alcanzar en un reactor de membrana es 10 veces mayor que la de un reactor de lodos activados convencional, ya que un reactor de membrana llega a los 30 g/L, mientras que un reactor convencional es de 3 g/L. La autora considera que un reactor así se puede acoplar a un reactor EGSB, por lo que con un TRH de 2 a 6 horas, produce AGV's de forma continua. Es por ello que la transferencia de oxígeno debe de ser muy eficaz. (González Brambila 2006)

Enfocándonos al problema de los contaminantes que salen derivados de la industria papelera, los cuales, cuando se lleva a cabo el proceso Kraft, liberan al ambiente una gran cantidad de derivados de lignina y de sulfuro. El equipo de investigación del Cinvestav y del Tecnológico de Ecatepec. Este residuo oscuro se le ha sometido al tratamiento anaerobio, también es cierto que solo era biodegradable una parte pequeña, razón por la cual se diseñó un reactor de Trametes versicolor, el cual va a someter a degradación a los lignosulfuros. Dichos hongos estaban inmovilizados en cubos de madera. Los hongos soportaron el medio de aguas residuales con una remoción bastante mediana. (Ortega 2007)

Sobre la línea de adaptación de los lodos al shock tóxico se tiene el trabajo de Catoron Gonzales sobre la perturbación de los lodos por el 4-clorofenol. Después del golpe de esta sustancia, el sistema se recupera y pudo degradar efluentes con este tipo de sustancias.

#### Recuadro XIV. Ejemplos de tecnología apropiada.

El artículo refiere que en estas zonas la hidrología y la fisonografía de la meseta no solo no permite tener un acceso permanente al agua sino que además a consecuencia de ello viven permanente en un estado de pobreza. El autor refiere de un programa del gobierno de México de riesgo compartido (FIRCO) donde, por decisión de la comunidad se decidieron construir ollas de agua. Esto no solo inyectó recursos económicos vía salarios pagados por el gobierno por la labor, sino que al haber agua disponible para el ganado, esta actividad se recuperó. (Escamilla 2003)

Se utilizó un cultivo de *Scenedesmus* en aguas residuales sintéticas en un recipiente tanto en el verano como en el invierno en las condiciones tropicales de Mazatlán Sinaloa. Al final se encontró que en Verano hubo una depuración de 53 % del amonio original en verano y del 21 % en invierno. Los autores señalan, con muy buen acierto, que la incorporación del nitrógeno a la biomasa fue muy pequeña ya que este solo representó el 3.7% y que el resto se volatilizó, por los altos valores de pH. También encontraron que se removió en un 45% en el invierno y en un 73 % en el verano, de los cuales un alto porcentaje se fue a la biomasa. Los autores concluyen que este tipo de cultivos de microalgas son factibles de hacerse pero que requiere de grandes tiempos de retención, los cuales no pueden recomendarse este tipo de tratamiento para ciudades que tengan un crecimiento rápido. (Gómez Villa 2005).

Se recogen las experiencias de varios países en desarrollo que utilizan las aguas residuales para irrigar los campos de cultivo, a partir de los casos de estudio tales como son Ghana, Bolivia, Pakistán, Túnez y México. En todos estos casos se detectan las limitaciones tales como el manejo de nutrientes, cambios de irrigación, regulación de riesgos para la salud y derecho y uso de aguas. (Martin 2005)

Aquí se presentan las condiciones para que se remuevan el cromo hexavalente de una solución acuosa usando diferentes materiales sorbentes, tales como las cenizas piroclíticas de un lodo industrial y las raíces de *Thypha latifolia*. Al aplicarse se redujo la concentración en un 45 %, fue alcanzado usando las raíces y un 60% usando las cenizas piroclíticas. Para determinar el porcentaje de remoción, son importantes tanto la concentración inicial del cromo, la temperatura y el pH. Se observó que la máxima sorción ocurre a 40°C y es un pH de 2, independientemente del tipo de material usado. "Se demostró que el uso de materiales de desecho para el tratamiento de cromo hexavalente que este disuelto en el agua residual es un método alternativo efectivo y económico. (Barrera 2004).

Las raíces del nabo las cuales se encuentran disponibles en México son una buena fuente de peroxidasa. La eficiencia de usar peroxidasa de esta planta para remover compuestos fenólicos como polímeros insolubles en el agua. Los derivados del fenol que aquí fueron estudiados fueron el 2 clorofenol, el 3-cloro clorofenol, el m-creosol, el 2,4 diclorofenol y el 5 bifenol. El efecto del pH sobre la concentración del sustrato, así como otros factores fueron estudiados. Se alcanza una eficiencia del 85% de estos compuestos cuando el pH oscila entre 4 y 8, después de un

tiempo de contacto de 3 horas a 25 °C. Las peroxidases de esta palta si se le agrega glicol poletileno, se encuentra que la reacción se vuelve mas rápida y las eficiencias de remoción alcanzan el 95%. Estos resultados muestran que la peroxidasa del nabo es un buen compuesto para remover el fenol.(Duarte 2003)

---

Se han reportado altos niveles de arsénico en USA, China, Chile, Bangladesh, Taiwan, México, Argentina, Polonia, Canada, Hungría, Japon y la India. Esto afecta la calidad de los acuíferos en diferentes partes del mundo contaminados por arsénico, con riesgo para las poblaciones que dependen de esos aportes de agua. Sin embargo, para lograr la remoción de estos contaminantes se utilizan tecnologías que tradicionalmente han mostrado su efectividad (oxidación, precipitación y coagulación, separación por membrana. Los autores, por su parte toman los remedios tradicionales de remediación que van desde el carbón activado mientras que otros materiales también muestran su eficiencia como son las cáscaras de coco, los residuos del jugo de naranja, así como algunos productos comerciales como resinas, geles, silicon, etc. (Mohan 2007)

---

Los noxyfenoles pueden tener buenas remociones en las PTAR, aún cuando, en caso de no removerse, resulta muy toxicas para la fauna acuatica; Belmont nos dice que se pueden tener buenas remociones de los noxyfenoles, así como una buena remoción de DQO en la cuenca del rio Texcoco. En particular se hace notar la presencia previa de terrazas y zanjas de sedimentación para la remocion de solidos suspendidos, DQO y noxifenoles y de surfactantes antes de pasar a los humedales en Santa Maria Nativitas. (Belmont 2006)

---

Por otro lado, se observo que la microfauna que se forma en el sedimentador secundario de la PTAR de Iztacalco era un medio muy adecuado para la proliferación de ciliados y rotíferos, los cuales no solo consumian a las bacterias (los primeros) y las particulas suspendidas y el nitrogeno amoniacal (los segundos) Estos organismos pueden servir posteriormente como alimento vivo para los peces y de esa manera, reducir la masa orgánica difícilmente separable o una biomasa fácilmente separable. (Sarma y Nandini 2003,)

---

Aquí los doctores Nandini y Sarma nos refieren a su trabajo que realizaron en la planta de tratamiento de Iztacalco, donde valoró las tablas de vida de varios cladóceros. Encontró que cuando se agregan cladóceros a las aguas del reactor o del sedimentador, encontraron que si bien Daphnia puede vivir mas en las aguas residuales, Moina macrocapa tiene la tas mas altas de reproducción y es la mas adecuada para crecen en las aguas residuales. (Nandini 2005)

---

Si bien muchos biopolímeros son excelentes sorbentes de material tóxico, también es cierto que estos compuestos son inestables, razón por la cual se decidió estabilizar la cascara de naranja con formaldehido. Se encontró que después de dicho tratamiento las remociones de este metal pesado gracias al calcio de la biomasa que se encontraba en los poros de este biomaterial. (Lugo 2006)

---

Se reporta que con los residuos de la fabricación de aguardientes hecha con agaves son útiles para retirar por biosorción el exceso de cobre en aguas residuales de una zona industrial. Se hace observar que entre mas finos sean los fragmentos de los residuos mayor será la retirada del cobre. (Romero 2006)

---

Las formas secas de saneamiento proveen una alternativa potencial de enentar las necesidades de saneamiento urbano. Sin necesidad de consumir agua, en el mismo lugar tratando las excretas, estos sistemas reducen el abasto de agua de las ciudades, protegen la calidad del agua de las descargas con patógenos y de altas cargas de nutrientes y producen un mejorador de suelo, libre de contaminantes que puede ser reutilizado en la agricultura. Este tipo de saneamiento fue aplicado con éxito en comunidades urbanas y rurales, por diferentes motivaciones (que iban desde las ideológicas hasta las pragmáticas. (Cordova y Knutff 2005)

---

En el país existen 32 781 negocios y microindustrias que producen grandes cantidades de metales pesados—algunos de ellos son casi familiares—razón por la cual el tratamiento de agua residual que la ley exige les seria muy gravoso. La compañía Herrajes SA paga las siguientes cantidades por que se lleven sus aguas residuales. El costo por confinamiento por tambor de 200 litros es de \$450.00, siendo el costo por litro de 2.25. Se extraen 15 tambors cada mes y medio, por lo tanto se deschan 67 litros diarios; al año se tiene un promedio de 24 455 litros de aguas residuales o 24 m<sup>3</sup> con un costo promedio anual de \$ 55 000. 00. Para enfrentar a este problema se emplea a la aplicación de Lemna giba. El agua residual se obtiene de Herrajes S.A. Parece ser que el líquido es en su mayoría tolueno o xileno; en cuanto a metales pesados se obtuvo que la concentración de plomo va de 1.26 a 6.661 mg/L; el zinc va de 1.4 a 1.6 mg/L; el hierro va de 1.20 a 5; el níquel de 0.2 a 2.2 mg/L, cobre de 0.01 a 0.08. Eliminados los compuestos orgánicos del agua residual, se vio que Lemna puede absorber para plomo 1.138 mg/g lemna y para zinc 1.140 mg/g lemna. Se calcula que si se tiene un flujo de 67 litros al día la cantidad de plomo retirado seria de 6.7 gramos de plomo /día; para

ello se requiere 882 g/lemna. El costo de un sistema de tratamiento para metales pesados sería de \$ 19825 MN. (Martínez Cruz 2003)

---

En un recipiente que contenía agua residual artificial se colocó una masa de lirio acuático, la cual absorbió los nutrientes y los incorporó a su biomasa. Posteriormente se valoró el peso seco del lirio y se encontró, mediante análisis bromatológico que la cantidad de proteínas totales representaba 14.7 % de proteína con 7 aminoácidos esenciales. (Solórzano y Zavala 1982)

---

En la zona de conservación de Xochimilco han proliferado los asentamientos irregulares. Las macrofitas acuáticas pueden servir no solo para disminuir la eutrofización de este cuerpo de agua sino también para capturar el Zn y el Cadmio en las aguas. (Arcos 2002).

---

Se refiere que el excremento de cerdo no siempre es sencillo de degradarse en los reactores anaerobios, razón por la cual estos investigadores lo ensilaron con paja de sorgo, trigo, suero de leche y se mantuvo en condiciones microaerófilas. Se encontró que hay una gran producción de AGV'S—mucho mayor que en condiciones anaerobias, con la consiguiente baja del pH y la subsecuente remoción de bacterias patógenas (tales como Shigella, Escherichia coli y Salmonella sp) sin necesidad de tener aislamiento térmico, ya que este proceso trabaja bien a temperatura ambiente y en tiempos más cortos que los informados habitualmente. (Oliva 2004)

---

Los lodos provenientes de las PTAR tienen la desventaja de que llevan una gran cantidad de huevos de helmintos y de quistes de protozoos, los cuales pueden generar graves enfermedades parasitarias, esta autora informa que después de un tratamiento preliminar, se puede aplicar plata coloidal a dichos lodos con la finalidad de reusarlo. (Aguilar 2008)

---

Las fuentes antropogénicas del boro son su uso como blanqueadores en la lavandería y en la manufactura del vidrio, productos de la limpieza, fertilizantes, herbicidas, antisépticos y farmacéuticos. Se utiliza también en productos textiles y celulósicos para reducir su inflamabilidad. Recientemente en la Ciudad de México los niveles de Boro registrados en aguas han sido de 2.06 mg/L en el Gran Canal y de 2.96 mg/L en el sistema nacional de la calidad municipal. De hecho, se ha establecido una ingesta tolerable de 0.4 mg/kg peso seco de boro por día. Una alternativa ecológica para la remoción de contaminantes que se acumulan en el agua y otros ambientes ha sido la remoción basada en plantas y otros organismos (bioremediación) en que las macrofitas han mostrado tener gran capacidad de absorción y bioacumulación (Olguín 1992). Miranda realizó el estudio sobre absorción de plomo por Lemna gibba y encontró que a las 72 horas de exponer a la planta a altas concentraciones del metal, se redujo el contenido de clorofila total en un 40%, los fenoles totales se incrementaron en un 22 % y hubo un decremento en los niveles de almidón y proteínas totales. Con esto se comprobó que a pesar de las variaciones a las que se expuso la planta, esta mostraba resistencia, por lo que en este trabajo se realizaron experimentos para conocer algunas respuestas de estrés en esta planta a diferentes concentraciones de boro (Miranda 1998). CONCLUSIÓN. El boro inhibe el crecimiento de las plantas desde los 100 mg/L. (Ramírez Mosso 2003)

---

Las aguas residuales crudas de la ZMCM se vierten sin tratamiento previo en el Valle del Mezquital en la irrigación agrícola; sin embargo los efluentes que salen del emisor poniente son recibidos por la presa Heñido, en la cual hay un periodo de retención que varía de varias semanas a meses, por lo que existe una importante reducción de no solo coniformes fecales, sino también de huevos de helmintos. Cuando estas aguas no se aplican a la agricultura sino que pasan a almacenarse a la presa Rojo Gómez, la remoción de bacterias y de huevos de helmintos es muy importante, tanto que los huevos son removidos casi en su totalidad, alcanzando los parámetros de calidad adecuados según la Organización Mundial de la Salud para el riego agrícola seguro. (Blumenthal 2001)

---

#### **Recuadro XV. Un ejemplo de racionalización en la industria de la curtiduría.**

La industria de la curtiduría es una gran consumidora de agua y por otro lado, genera importantes cantidades de agua residuales con niveles de toxicidad variable, principalmente por el cromo hexavalente. Si se recicla los diferentes aguas de lavado y enjuague, se reduce hasta un 50% los sulfatos, 40% la cal y 60% del agua procesada; asimismo se puede recuperar el cromo de un 25 a un 55%. El problema de la industria es que si bien están de acuerdo a que se puede reusar las aguas tratadas para reincorporarlas a la curtiduría, esto no es factible debido a los altos costos del tratamiento; es por esa razón que el equipo de Mijailova se enfocó a los procesos de producción donde se prioriza una estrategia de minimización—eliminación de los desechos; esto ha llevado a que las pérdidas de cromo hexavalente pasen de 4-8 gr/L a 2-5 gr/L. Otra estrategia que funciona es la del tratamiento de los efluentes de un determinado

proceso "in situ", pero no solo recuperar el insumo sino evitar que este se diluya en las aguas residuales; de esta forma el cromo hexavalente que queda en el lavado es recuperado por precipitación alcalina y posteriormente por filtración, de forma que se pueda recuperar hasta un 98% y con el cromo trivalente se puede recuperar hasta un 99.8%. Los sulfuros que pueden ser en extremo inconvenientes se pueden tratar con manganeso como catalizador, removerse hasta 3.5 veces su valor original y además hay una remoción extra de DQO(6-9%). De igual forma se puede recuperar la proteína una vez que se ha resuelto el problema de los sulfuros, lo cual requiere que la proteína primero precipite, sedimente, se separe y se deshidrate.

#### **Recuadro XVI. Ejemplos de racionalización de los procesos industriales.**

Para el primer punto salta a la vista que ese es todo un reto desde la problemática actual de la subsistencia a la que nos enfrentamos, pero si revisamos las aportaciones realizadas, podemos vislumbrar algunas soluciones muy imaginativas que sin requerir tecnología avanzada, logrando muy buenos resultados. Por ejemplo, el equipo de el Instituto Mexicano del Agua (Mijailova 2006, p. 76) utilizando un sorbente bien conocido desde hace mas de un siglo lo aplicaron a un filtro percolador aerobio (que tampoco es un diseño revolucionador) logrando resultados espectaculares. Sabemos que los compuestos tóxicos inhiben a los consorcios bacterianos, por lo que realizan un truco muy sencillo para disminuir la cantidad de sustancias tóxicas y que es poner un medio sorbente—o sorpente— para que capture las sustancias tóxicas y en consecuencia, el consorcio trabajaba con menor presión. El sorbente es ni más ni menos que carbón activado. Si bien es cierto que el arranque del biofiltro aerobio no fue facil, así como de en recaídas que tuvo a lo largo del proceso, este filtro afronta cargas orgánicas tremendas. Hubo 2 filtros anaerobios Filtro anaerobio con carbon activado. Carga orgánica removida 18.16 kg DQO/m<sup>3</sup>día. Produce 0.33 a 0.35 m<sup>3</sup> de metano /Kg DQO removido. Filtro anaerobio con tezontle. Carga orgánica removida de 1.61 kg DQO/m<sup>3</sup>día

La industria de la curtiduría es una gran consumidora de agua y por otro lado, genera importantes cantidades de agua residuales con niveles de toxicidad variable, principalmente por el cromo hexavalente. Si se recicla los diferentes aguas de lavado y enjuague, se reduce hasta un 50% los sulfatos, 40% la cal y 60% del agua procesada; asimismo se puede recuperar el cromo de un 25 a un 55%. El problema de la industria es que si bien estan de acuerdo a que se puede reusar las aguas tratadas para reincorporarlas a la curtiduría, esto no es factible debido a los altos costos del tratamiento. "Existen pocas curtidurias en México con un sistema apropiado de tratamiento de las aguas residuales, solo el 1% del total(...) pero de todas estas solo 2 curtidurias tienen un proceso biológico adicional.

En el caso del análisis costo beneficio por aplicar la recuperación de reactivos, tratar las aguas residuales de un proceso "in situ" da para una curtiduría grande 341000 USD anual y hay una recuperación de la inversión de 1.8 a 3.2 meses. Si solo se desean recuperar la proteína y las grasas, aprovechamiento que se han eliminado los sulfuros, se pueden obtener beneficios de 144 000 USD al año y el costo de la infraestructura se puede recuperar en un periodo de 7 meses. En pocas palabras se puede ahorrar el 95% del cromo, se recuperan el 90% de las grasas y el 65% de las proteínas usando tecnicas de tratamiento bastante sencillos (Mijailova 2004)

La industria de la curtiduría en México se distingue por generar grandes volúmenes de agua residuales con grandes cantidades de cromo. Este estudio se enfoca en encontrar soluciones factibles para recuperar la máxima cantidad de cromo de los licores de desecho. De tal manera que a partir de este licor el cromo fue precipitado, separado de este precipitado y finalmente comprimido. Se compararon para la función de precipitación el hidróxido de sodio y el bicarbonato de Sodio. El cromo fue recuperado y reusado en los procesos de curtiduría por acidificación del compuesto del precipitado con ácido sulfúrico. El hidróxido de calcio dio una eficacia de 99,88 5 para precipitar y comprimir como hidróxido de cromo. De forma tangencial, se eliminó también el 50% de la DQO así como el 80% de los SST, además el hidróxido de calcio reduce en un 30% la salinidad del agua. (Mijailova 2003)

La producción de concreto premezclado se ve muy beneficiado si el líquido para la mezcla son aguas tratadas y no agua potable, ya que según Jimenez y Ramos, la comprensión del concreto se incrementa en un porcentaje apreciable cuando el agua utilizada es tratada en vez de potable. (pag 96). Otro uso que genera grandes rendimientos es el uso de aguas tratadas para las torres de enfriamiento (pagina 88).(Jimenez y Ramos 1996)

. La industria azucarera es una de las mas contaminantes del país, por la gran cantidad de materia orgánica que vierte a los drenajes y los rios, mismos que llegan al mar, esparciendo la polución. Sin embargo, si se tratan estos efluentes se puede obtener una biomasa microbiana de casi 17-20 gramos por cada 100 gr de sólidos, es decir, los lodos producidos pueden producir proteína de buena calidad. (García Díaz 1988)



# NOTAS

---

## Capítulo 1

<sup>1</sup> “Nuestro pensamiento tiende a enclaustrarse de forma inconsciente en varios esquemas, reflejos involuntarios que pueden encarrilarlo a conclusiones poco acertadas; de ahí es que se imponga una vigilancia epistémica, principalmente ante la deshistorización de las ciencias” (Bordieu 1995:pp. 111- 127), “es decir, ante una amnesia de la génesis”.

<sup>2</sup> Rescher también señala que el lenguaje es limitado ante la complejidad de la realidad, es por ello que considera que “la realidad excede a los recursos explicativos de la teorización científica (Rescher 1999: pp. 55 y 56)

<sup>3</sup> La propuesta de Zemelman (Op. Cit: p. 12) es no caer en el reduccionismo, sino mas bien en la reconstrucción de la “realidad” a partir de que “La totalidad articulada es una forma para organizar el conocimiento y las relaciones concretas entre sus niveles, sus objetos (...) en efecto, cada proceso en cuanto objeto posible de estudio, tiene que definirse según sus vínculos con otros procesos” Es decir, nos invita a que sin menospreciar la visión disciplinaria, busquemos la articulación de los fenómenos con los procesos productivos; los que atañen a la sociedad-naturaleza, así como los de la reproducción cotidiana de la sociedad, los cuales no son evidentes, invisibles desde el campo disciplinar (Ibidem: p 14)

<sup>4</sup> Siguiendo a Olive, podemos entender a la razón como los humanos podemos construir proposiciones argumentadas para aceptar o rechazar creencias para elegir un curso de acción o un determinado fin, mientras que la racionalidad se entiende como “el ejercicio apropiado de la razón al hacer elecciones en la búsqueda de fines apropiados (...) es decir, en actuar entre diversas opciones, al aceptar o rechazar creencias” (Olive 2000 p. 151); mas adelante señala que “la racionalidad no es una facultad, sino un método”

<sup>5</sup> El origen de la palabra causa, *aitia*, tan importante para el pensamiento científico, confirma la deducción de las ideas físicas del ámbito del derecho, propuesto por Jaeger. *Aitia*, la causa, procede de la jurisprudencia y significaba en un principio la culpa. Solo más tarde se transformo este concepto desde el ámbito jurídico a la causalidad física. (Herbig 1996: p. 168 y subsecuentes). Asimismo el autor refiere que desde Hesiodo en “Los trabajos y los días”, ya se habla de castigos y recompensas, en los países donde los jueces son justos, todo prospera, en cambio, donde son injustos, reina la miseria.

<sup>6</sup> Posteriormente, en la época contemporánea (según Apel, citado por Sánchez Millán (1997: p. 89) se sustituyen las explicaciones morales de la praxis siendo sustituidas por una argumentación pragmática, donde “los expertos”, desde una plataforma de objetividad, dan la justificación necesaria, apelando a las reglas de la ciencia y la tecnología.

<sup>7</sup> “Como Jaeger afirmó sobre Solón, este fue el primero en establecer relaciones causales entre los términos justicia-paz e injusticia-perturbación, de ahí que Solón, como su contemporáneo, Anaximandro, propone restablecer la *Dike* a través del nuevo concepto de la ciudad-estado como comunidad de derecho y una nueva forma de gobierno, es decir, como un compromiso colectivo conocido como Eunomia (buen orden) Para restablecer el orden dentro del caos que era Atenas, Solón propuso una nueva forma de relacionarse y de hacer gobierno, un experimento inédito llamado democracia. (Op cit, p. 169)

<sup>8</sup> Gallego refiere (Op. cit: p. 81) que Aristóteles, sostenía que el conocimiento y la inteligencia son mas bien patrimonios de la técnica que de la empiria y los técnicos pasan por ser mas sabios que los empíricos; es decir, los hombres que viven en la empiria saben que determinado cosa existe, los técnicos, por el contrario, conocen el por que de la existencia de la cosa y dan explicación causal de ella. Por eso, la superioridad de los jefes sobre los operarios no se debe a sus habilidades prácticas, sino al hecho de poseer esas explicaciones. Añádase a lo anterior que el carácter principal del conocimiento consiste en poder ser enseñado, y así, según la opinión de Aristóteles, la *Tekhné* mas que experiencia o empiria, es conocimiento porque los técnicos pueden enseñar, mientras que los empíricos no.

---

<sup>9</sup> Tal era la opinión del norteamericano Walker, el cual (Mitcham 1989: p. 21) refería en su obra “Defense of Mechanical philosophy” que la tecnología no solo era un elemento que garantizaría no solo la abolición de la esclavitud, sino que era una garantía de la libertad y la democracia.

<sup>10</sup> Es por esta razón que afirma “La ciencia y la tecnología tienen sus leyes de desarrollo, pero la historicidad que se manifiesta en ella es emergente respecto a la que sostiene a la cultura. De hecho, la ciencia presenta una gran cantidad de sistemas tecnológicos parciales interconectados entre sí, con una mayor integración, presentado una mayor autonomía al principio, de los otros campos de actividad social y posteriormente invadiéndolos, acompañado con una sistemática disminución de lo azaroso, es decir, del cálculo de fines y medios” (Op. cit : p.63)

<sup>11</sup> Un antiguo hegeliano radicado en Estados Unidos, Kapp, es el primero en señalar no solo las primeras características de la instrumentalización, sino que señala, muy sagazmente para su época, la posibilidad de que esa perspectiva pueda colonizar “el ambiente en su parte exterior e interior”. (Mitcham 1989: p. 25)

<sup>12</sup> En efecto, una corriente de la sociología de la ciencia dirige su análisis en las relaciones entre el poder y el conocimiento científico. A este respecto se recomienda un documento que puede ilustrar esta corriente (Iranzo 1995: pp. 283-285) en la que sostiene, para efectos de nuestra discusión, el entrelazamiento entre los poderes cognitivos y fácticos, así como el papel de los “expertos” en la desactivación de los conflictos no solo en el ámbito científico, sino principalmente extracientífico

<sup>13</sup> Es importante señalar que no siempre se entendió “el conocer” y “el hacer” como conceptos separados en los pensamientos jonios que antecedieron a Platón (Medina 2000: pp. 12-15). Sin embargo, ya en Philelo (55d-58d) Platón comienza a considerar con “más confianza” “conforme los saberes y haceres se encontraban cerca de la **Episteme** de la época, que eran la filosofía y la geometría.

<sup>14</sup> Al respecto dice que “El pensamiento científico es (...) esencialmente un pensamiento poder, es esa clase de pensamiento, por decirlo así, cuyo propósito consciente o inconsciente es conferir poder a su poseedor. Ahora bien, el poder es un concepto causal y para obtener poder sobre un material dado, solo se necesita conocer las leyes causales a los que está sometido. Esta es una cuestión esencialmente abstracta”. (Op cit.: p. 70). Esta perspectiva coincide plenamente con autores contemporáneos tan alejados de la filosofía de la ciencia como Roger Díaz de Cossio, el cual señala que “La ciencia y la tecnología no suceden en el vacío refleja los prejuicios y los valores de la sociedad de la que son parte. No de todas las sociedades sino de las clases dominantes. El bienestar general y la desigualdad, social son contextos críticos para que se den las innovaciones y tengan éxito. (Díaz de Cossio 1999: p. 11).

<sup>15</sup> “La ciencia como técnica tiene una consecuencia, cuyas derivaciones aún no están del todo a la vista, a saber que hace posibles y aún necesarias nuevas formas de la sociedad humana. Ya ha modificado profundamente la forma de las organizaciones económicas y las funciones de los estados; comienza a modificar la vida de la familia y es casi seguro que haga lo mismo en un grado mucho mayor en un futuro distante”. (Op. Cit, pagina 8). Actualmente, desde la perspectiva de la Sociología del Conocimiento Iranzo (Op. cit, p. 287) en el que sostiene que “El poder es un aspecto de la distribución del Conocimiento que es la sociedad” que en consecuencia, dicha distribución se basa en acciones calculadoras para “realizar ventajosas transferencias de poder”.

<sup>16</sup> “El estímulo que en los últimos tiempos ha recibido el nacionalismo se debe en buena medida al aumento de organización, lo que viene a constituir la verdadera esencia del industrialismo. Siempre que se requiera un capital fijo importante, se necesita ciertamente una organización de gran envergadura. También la organización es factor de considerable importancia en el tipo de economía que desarrolla una producción en gran escala. Para determinados propósitos, si no para todos, muchas de las industrias tienden a organizarse nacionalmente, en forma tal que llegan a ser grandes negocios de un solo país”. (Op. cit: p. 64).

<sup>17</sup> Bunge se muestra muy escéptico y crítico ante la posición de Heidegger, ya que esta representa el “lamento romántico” muy de boga en algunos por la “supuesta maldad de la tecnología” y en contrapunto señala que esta se mantiene viva y amplía en una gran cantidad de campos del quehacer humano (Mircam 1989: p. 41)

<sup>18</sup> Desde el propio campo de la matemática, “el conocimiento por excelencia” se tiene una mirada muy desencantada sobre esta pretensión. Bell (1953: p. 23) nos dice “de todas maneras, aún si las matemáticas se han especializado demasiado e irreversiblemente, no emana de ellas que sea completamente “puro” en el sentido sociopolítico de la palabra. Los militares saben muy bien que las estructuras abstractas tienen (o son susceptibles a tener) aplicaciones muy concretas”

---

<sup>19</sup> Al respecto Pérez Tamayo refiere que tratar de encontrar una distinción entre ciencia básica y aplicada es irrelevante (Pérez Tamayo 1979: 86), con una confusión entre lo que significa ciencia y tecnología (la cual es profundamente transformadora). cuyo objetivo es la explotación de la naturaleza y cuyos productos son bienes de servicio y/o consumo.

<sup>20</sup> “Por si sola la ciencia básica no puede resolver ningún problema práctico, sea económico o político en particular militar) La ciencia es ante todo un componente de la cultura y esta un componente de la sociedad, de modo que el adelanto de la ciencia contribuye automáticamente a elevar el nivel cultural. Esto es, la investigación básica, por si sola e independientemente del valor que pueda alcanzar para la técnica, contribuye a resolver un problema nacional de primera magnitud en los países en desarrollo, a saber, el de su atraso cultural. Ciertamente, la investigación básica no es solo un valor cultural, sino también dan instrumento de desarrollo técnico, económico y político (...). Lo que sucede es que la ciencia básica provee algunas de las herramientas cognoscitivas necesarias para reconocer, abordar y resolver tales problemas. En otras palabras, la investigación básica es necesaria, aunque insuficiente para enfrentar y resolver los problemas nacionales”. ( Op.cit: p. 68)

<sup>21</sup> Fourez, desde la perspectiva wittgensteiniana, cierra para el este debate al señalar que “Entender una teoría es poder utilizarla” (Fourez 1994: p. 140).

<sup>22</sup> “La investigación básica se lleva a cabo normalmente por científicos, quienes tienen libertad para fijarse sus propios objetivos. Esta investigación normalmente se efectúa en el sector enseñanza superior, pero también, en cierta medida en el sector Administración pública. La investigación básica puede estar orientada o dirigida hacia grandes áreas de interés general, con el objetivo explícito de un amplio abanico de aplicaciones en el futuro. Un ejemplo son los programas de investigación pública sobre nanotecnología puestos en marcha por varios países. También empresas del sector privado pueden llevar a cabo investigación básica, con la finalidad de prepararse para la siguiente generación de tecnología. La investigación sobre las pilas de combustible es un buen ejemplo. Se trata de investigación básica según los términos de la definición anterior, ya que no se prevé ninguna utilización particular. En el *Manual de Frascati* tal tipo de investigación se define como “investigación básica orientada”. (p. 80)

<sup>23</sup> “250. En las ciencias sociales, el desarrollo experimental puede definirse como el proceso que permite convertir los conocimientos adquiridos a través de la investigación en programas operativos, incluidos los proyectos de demostración que se llevan a cabo con fines de ensayo y evaluación. Esta categoría tiene escasa o nula significación en el caso de las humanidades.(Op. cit: p. 83)

<sup>24</sup> “251. Hay muchos problemas, teóricos y prácticos, asociados a estas categorías. Tales categorías parece que atribuyen a las actividades de I+D una secuencia y una separación que raramente se da en la realidad. Sucede que los tres tipos de actividad de I+D pueden ser realizados en ocasiones dentro del mismo centro y básicamente por el mismo personal. Incluso puede ocurrir que la progresión se produzca en ambos sentidos. Por ejemplo, cuando un proyecto de I+D está en fase de investigación, aplicada o de desarrollo experimental, puede resultar necesario destinar determinados fondos para la realización de trabajos suplementarios experimentales o teóricos, que permitan conocer mejor los mecanismos que están en la base de los fenómenos estudiados. Más aún, algunos proyectos de investigación pueden estar a caballo en más de una categoría. Por ejemplo, el estudio de las variables que influyen en los resultados escolares de niños pertenecientes a distintos grupos sociales y étnicos, puede incluirse tanto en investigación básica como en aplicada”. (Ibidem: pp. 83-84)

<sup>25</sup> Si bien se reconocía un estatus menor, no por ello era menos considerada, de hecho, (Rosenberg 1979: p.133) ya gozaba de la mas alta consideración, ya que la fuerza laboral inglesa era muy refractaria a dejarse disciplinar, la introducción de dispositivos mecánicos cada vez mas perfeccionados no solo mejoro la productividad de la empresa, utilizando menos trabajadores, sino que cada vez los necesitaba menos cualificados. Rosemberg termina señalando que “Sería fácil multiplicar los ejemplo (...) esto se reduce a sugerir que las huelgas o el temor a ellas han servido históricamente, como poderoso agente para dirigir las investigaciones de nuevas técnicas en una determinada dirección”

<sup>26</sup> “Los Estados Unidos” nos dice Whright Mills “es una sociedad en que se emplean cada vez mas burócratas cada vez mas funcionalmente racionales en asuntos humanos y en decisiones que hacen historia. La nuestra parece ser una época en que las decisiones clave o la falta de ellas, adoptadas por minorías burocráticamente instituidas, son cada vez mas fuente de cambios históricos” (Op cit: p. 131)

<sup>27</sup> Este grupo, característico del incremento de la racionalidad (Solé 1998, página 192) se caracteriza por “impulsar y asegurar la implementación de los métodos y técnicas científicas en una sociedad”; con la burocracia flanqueando a este grupo que vienen siendo el grupo modernizador por excelencia. Este grupo se caracteriza por ser el “el grupo de individuos cuya tarea comporta cierto grado de habilidad y formación intelectual. En este grupo social incluimos a profesionales, técnicos, científicos y expertos en

---

general (los funcionarios y los burócratas podrían ser incluidos en esta definición en cuanto realizan tareas afines o complementarias a los de la “la intelligensia”) “la intelligensia” se compone de individuos que desarrollan una actividad primordialmente intelectual, así como por aquellos cuyas actividades es total o parcial manual o técnica, para lo cual es necesario un cierto grado de formación, entrenamiento o educación intelectual” (Op cit: p. 193)

<sup>28</sup> Sin embargo, desde el punto de vista de la lógica, la credibilidad del experto está sobre bases muy frágiles, ya que como se ha señalado por varios (Iranzo 1995: p. 284) los conocimientos expertos descansan sobre la premisa de que sabiendo del campo, se puede averiguar lo que no se sabe en forma análoga de donde se haya aplicado anteriormente, lo cual es una función inductiva del conocimiento previo, altamente discutible desde Hume.

<sup>29</sup> Ladriere (Op. Cit: p. 23), especifica que con el paso del tiempo, segmentos cada vez mayores de la ciencia apuntan a “no a resolver problemas específicamente científicos, sino a utilizar los conocimientos, los métodos, el *savoir faire* científicos para crear nuevos procedimientos industriales, fabricar nuevos ingenios militares o contribuir a realizaciones encaminadas al desarrollo de una región o de un país. En una palabra, la investigación se ha convertido en un factor de poder, tanto en el ámbito económico como en el directamente político. Por lo demás, después de la segunda guerra mundial la ciencia—o mas exactamente, la investigación científica—se ha convertido en un factor político”.

<sup>30</sup> Curiosamente, parece ser que mas que la aplicación de los conocimientos científicos en la industria, lo que se busca, según Nelson (Pavitt 1987: p. 195), en este informe, ante el hecho desconcertante de la gran demanda de estudiantes de postgrado en astrofísica en la industria no era tanto el bagaje de conocimientos científicos, sino en “también se muestra que en un amplio rango de industrias, el valor percibido de las universidades no se debe tanto al contenido de su investigación como a la formación proporcionada a los futuros investigadores industriales. Este patrón se refleja sobre la radioastronomía británica. Concluye que el principal beneficio económico de este tipo de investigación ha consistido en las habilidades adquiridas por los estudiantes de doctorado y de maestría que terminaron trabajando en la industria: en particular, las habilidades en informática y electrónica y la capacidad para definir un problema, comunicarse de forma efectiva y trabajar en equipo. Lo que los científicos e ingenieros formados en la universidad proporciona a la resolución técnica de problemas no consiste únicamente en su habilidades sustantivas y metodológicas, sino también en la rica e informada red de contactos profesionales a la que pueden recurrir como ayuda para resolver problemas; los graduados de ciencias y ingeniería dedicada a la aplicación son parte de un sistema de inteligencia mas amplio que incluye a maestros y colegas”

<sup>31</sup> Según algunos, siguiendo a Weber (Solé Ibid: p. 194), la racionalidad se le puede entender como la consecución de un calculo metódico a un fin determinado por el cálculo de los medios cada vez mas precisos aunque también puede entenderse como el “creciente dominio teórico de la realidad a través de conceptos mas y mas precisos y abstractos”; aun cuando también puede significar ordenación o planificación sistemática.

<sup>32</sup> Desde un abordaje de la etnometodología, Latour aborda el trabajo en los laboratorios y los seminarios. haciendo notar que la actividad científica donde la táctica y la retórica sirven para construir redes, por medio de las cuales enrolan y movilizan elementos de apoyo a su visión e interpretación de los fenómenos y desacreditar las visiones rivales en controversias, donde la infraestructura técnica sirve de apoyo a convalidar esta visión. Al finalizar las controversias los artefactos y las interpretaciones se fijan y se le da un carácter objetivizado.

<sup>33</sup> De la misma forma, en la conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente en 1972, se cuestionó la racionalidad económica y los desafíos que esto genera en la degradación ambiental (Leff 1998: p. 20).

<sup>34</sup> Por ejemplo, bajo un discurso de ayuda a las comunidades ribereñas del lago Victoria, en Uganda, se instalo una piscifactoría, cuando en realidad el propósito era abastecer el mercado europeo, así como de introducir las redes comerciales de la antigua metrópoli, lo cual llevó a la degradación de la pesca tradicional y por añadidura, una extensión de la pobreza en dichas comunidades ribereñas(Op. cit: p.31)

<sup>35</sup> En este aspecto Vesuri señala que las masas populares, con toda su tradición de creatividad han sido negadas por la tradición europeizante; aún así, ello “aunque despreciados por las elites europeizadas, los pobres continuaron sus procesos formativos con diferentes grados de autonomía, permitiendo que persistieran las raíces no europeas de sus culturas y ocasionalmente expandieran su creatividad dentro de los limites de su existencia socialmente ignorada” (Op. cit: p. 126)

---

## Capítulo 2

<sup>1</sup> Brunner hace énfasis especial en este aspecto. Si bien reconoce que exista una serie de perspectivas en el conocer (principalmente en los niños) es especialmente insistente en este aspecto ya que "(...) Y la cuarta es la cultura, la forma de vida y pensamiento que construimos, negociamos, institucionalizamos y, finalmente (después de que todo se ha hecho), terminamos llamando 'realidad' para reconfortarnos." (el subrayado es mío) (Brunner 2000: p.105). De esta forma Brunner sostiene la opinión de que se puede trascender el límite biológico ya que "*la psicología no sólo debe considerar los límites impuestos por la evolución biológica del hombre sobre la actividad mental, sino que también debe tener en cuenta constantemente una discontinuidad omnipresente en esa evolución: la emergencia de la cultura humana a través de la cual el hombre crea una representación simbólica de sus relaciones con el mundo*".(Op, cit: p. 151)

<sup>2</sup> Muchos de los implementos domésticos (principalmente electrónicos) son, para sorpresa de muchos, elementos tóxicos (Delgado 2007: p. 792 y subsiguientes), mismos que son desechos sólidos como envases de clarificantes y de insecticidas, pilas de celulares; en volúmenes totales pueden llegar hasta el 49%. Por supuesto, estos desechos sólidos no solo contaminan el suelo, sino que pueden ser movilizadas hacia los acuíferos vía las precipitaciones pluviales.

<sup>3</sup> Por ejemplo, en Baja California sur se tiene apenas 119 mm de lluvia al año, mientras que en Tabasco se recibe 2 587 mm, es decir, 13 veces más (SEMARNAT 2003 pp. 130 y 131). En resumidas cuentas, el 56% del territorio del país está ocupado por zonas áridas y semiáridas.

<sup>4</sup> Esta característica del ciclo hidrológico es muy aguda en los lugares donde se han relegado a los indígenas, como es el caso que se reporta de los indígenas purépechas de la meseta central de Michoacán, la cual recibe en un año hasta 1800 mm de lluvia en un periodo de 3 meses, pero las características fisiográficas de la región no les permite que esta se retenga en las montañas, razón por la cual sus actividades productivas -- agricultura y ganadería—se encuentran deprimidas, sin poder tener acceso al agua que ha escurrido a los valles desde sus montañas. Sobre decir que la situación que prevalece en esas comunidades es de pobreza extrema (Escamilla 2003: p. 145-148)

<sup>5</sup> Las emisiones de contaminantes hacia los océanos es una constante a lo largo de los litorales mexicanos, como es el caso de lo que ocurre en la Bahía de Chetumal (Ortiz 1997 p. 424) se encuentran niveles muy altos de coniformes fecales en aguas de la Bahía; de hecho, es el efecto de los elementos ambientales y no una acción humana la que evita que esto se vuelva un problema incontrolable.

<sup>6</sup> Esta es una situación que se encuentra extendida globalmente, ya que 300 millones de habitantes de las ciudades (74% de la población total) solo el 14% se le da algún tipo de tratamiento a los efluentes que se generan en los centros urbanos; con dichas aguas se riega una superficie de 500 000 hectáreas, las cuales reciben 225 000 toneladas de materia orgánica.

<sup>7</sup> Inclusive en los distritos rurales de estados poco desarrollados como Guerrero, se vierten cantidades de materia orgánica tan grandes como las provenientes de los centros urbanos. Tal es el caso del río Omitlán, del área de Chilpancingo (Caracheo 2008: p. 12). Por otro lado es importante señalar que los ingenios azucareros, la industria del café y la cría de cerdos, se presentan como los principales agentes eutrofizadores en el Golfo de México (Olgún, 2004: p. 642)

<sup>8</sup> Del total de plantas de tratamiento (1998) se tiene que 808 plantas,(Sánchez Pasten 1998: p. 29) de ahí se tiene que 193 no están en operación por diferentes problemas como diseños mal concebidos, fallas en la construcción, abandono de las unidades de tratamiento, falta de información de campo, falta de recursos financieros y falta de personal especializado.

<sup>9</sup> Por ejemplo, los contaminantes orgánicos (algunos de ellos tan peligrosos como el benceno) se les ha encontrado en 48 pozos y acuíferos de la república, a niveles por arriba de consumo sin riesgo para la salud (Gelover 2000: p. 467). Para el caso de la zona de Torreón, los niveles de estos compuestos son alarmantes

---

<sup>10</sup> Con tintes dramáticos Ismail Serageldin, vicepresidente del Banco Mundial—nos narra Rijsberna — refiriéndose a la actual situación de este recurso, predijo que las próximas guerras serán por este recurso. Su declaración ha sido citada en innumerables ocasiones (Rijsbernam 2006: p. 27)

<sup>11</sup> Existen en el país 17 acuíferos con intrusión salina. Este fenómeno también se da en los Estados de Colima y Veracruz (González García 2008: p. 10).

<sup>12</sup> Existen regiones donde la lluvia cae en cantidades tan abundantes y en un periodo de tiempo tan corto que el agua desborda ríos y presas, por lo que se desaguan grandes volúmenes en los mares y océanos circunvecinos. Por otro lado, la pérdida de la cobertura vegetal y que en nuestro país alcanza el mas del 50% de los bosques y selvas, impide que el agua sea retenida por las raíces del suelo y sea absorbida hacia los acuíferos, sino que por el contrario, arrastra el suelo ladera abajo y termina azolvando el fondo de los ríos, lagos y presas, disminuyendo con ello la cantidad de agua que estas pueden contener, vertiendo al mar el exceso de agua, con grave pérdida de volúmenes potencialmente útiles.(SERMARNAT 2007. p. 135)

<sup>13</sup> La agricultura recibe el 80% del agua nacional; sin embargo, la eficiencia es muy baja, ya que solo le aprovecha el 46%; esto significa que solo un poco menos de la mitad del agua se aprovecha para los cultivos.

<sup>14</sup> Existen regiones como la Comarca Lagunera y la ciudad de Ensenada, Baja California Norte que viven exclusivamente del agua de los mantos acuíferos. Sin embargo, es importante hacer notar que esta ciudad es la única del país que trata al 100 % sus aguas residuales (Mendoza Espinoza 2008: pp. 1445, 1448)

<sup>15</sup> La sobreexplotación de los acuíferos no solo se traduce en el abatimiento de los niveles de agua freática, sino que, en las regiones costeras, la intrusión de agua marina dentro de los acuíferos, tal como ha sucedido en los acuíferos de Hermosillo en el estado de Sonora y en el de Maneadero (Mendoza 2004, p 285-291) en el estado de Baja California norte. Este fenómeno no solo se ha traducido en la pérdida total de dichos acuíferos, sino que, a su vez ha significado la pérdida de cientos de hectáreas de valiosas tierras agrícolas por efecto de la salinización). Para el caso de la ciudad de Aguascalientes (CONAGUA 2007: p. 71) el hundimiento ha ocurrido sobre el núcleo urbano, con pérdidas tanto en la infraestructura urbana como en bienes particulares en el orden de 14 000 millones de pesos.

<sup>16</sup> El caso mas conocido es el del Valle del Mezquital, en el estado de Hidalgo, donde las aguas residuales que se expulsan de la zona metropolitana de la Ciudad de México sirven para irrigar 82 707 hectáreas. Sin embargo, debemos de considerar (Crook 1996:p. 21.3) que en amplias zonas del mundo, como Estados Unidos, el reuso de las aguas residuales es muy amplio, ya que se usan  $5.7 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ día, tan solo en el año 1992. De hecho, en el estado de California se utiliza el 12 % de las aguas residuales para este uso ( $0.93 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ día) mientras que en Florida esta alcanza el  $1.1 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ día, es decir, el 30 % de sus aguas residuales. Además, usa el 14 % de estas mismas aguas para la recarga de acuíferos. Sin embargo debemos de ser prudentes, ya que como ha mostrado (Cabrera 1999: pp. 211-214) estas pueden inducir mutaciones en varias plantas que utilizan estas aguas para riego, lo cual hace sospechar que exista un elemento potencialmente dañino para la salud humana.

<sup>17</sup> Un claro ejemplo de ellos son los derivados del petróleo, principalmente las gasolinas que a partir de 1990 se les ha modificado introduciendo el 2.7% de oxígeno y con el metil terbutil eter para disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub>, sin embargo, les facilitó, cuando esta se derrama en el suelo, que se infiltre velozmente hasta el acuífero, contaminándolo (Puig 1999: p. 3). Esta situación priva en varias regiones de la república, ya que en un estudio sobre acuíferos y aguas superficiales, se encontró que en casi todas (10 de cada una) presentan benceno, el cual es una sustancia cancerígena cuando se encuentra mas allá de los 0.031 mg/L (Gelover 2000: p. 467)

<sup>18</sup> El riego que a lo largo de 100 años se ha hecho en los distritos de riego 063 y 100—ambos pertenecientes en el Valle del Mezquital y del Valle de Tula—ha llevado a que si exista una fuerte recarga con agua contaminada en sus acuíferos (DFID 1998: p. 23) razón por la cual no es raro que hayan surgido nuevos manantiales en zonas semiáridas, De hecho, los niveles de contaminantes químicos y biológicos son tan elevados—como es el cerro Colorado—que no son aptos para el consumo humano (aún cuando la población local la consume como agua potable.

<sup>19</sup> Sin embargo, el costo se incrementaría sustancialmente cada vez más. Por ejemplo, el costo del suministro del agua potable en el periodo 1976-1996 fue de 2.5 veces mas (a precios de 1996) que en el periodo de 1950-1975 (Fuentes Guridi 2001: p. 5); ello implica que los subsidios estatales serán cada vez mas gravosos a la administración pública.

---

<sup>20</sup> Esta situación la comenta con mas amplitud (Mercado 2006:p. 2), donde desglosan los elementos que polucionan las cuencas y perturban las comunidades florísticas y faunísticas de las cuencas del país, agrupándolo no solo como los contaminantes orgánicos e inorgánicos, sino asimismo la disminución de los volúmenes de agua y la introducción de especies exóticas, y enfocando su atención al Rio la Laja, en el centro del país. A nivel nacional se producen 203 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales, de las cuales solo se depura el 27.6% (INE 2005. [www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx)) es decir, solo 56.1 m<sup>3</sup>/s

<sup>21</sup> Sainz y Becerra (2007 [http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/gacetitas/389/conf\\_agua.html](http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/gacetitas/389/conf_agua.html)) indican que no todo esa agua residual se tira, ya que al año la agricultura reutiliza 2.43 Km<sup>3</sup>, las industrias 0.29 km<sup>3</sup> y el servicio público 0.21 km<sup>3</sup>, lo cual da un total de 2.93 km<sup>3</sup>. Sin embargo, al no ser tratada y no ser utilizada en la agricultura, se vierte en los cauces del agua, dañándolos seriamente. Tal es el caso de la presa Alzate (Aragón 2003: p. 59) la cual ha visto incrementar en sus sedimentos una gran cantidad de metales pesados, los cuales parecen mostrar que las empresas de la zona alta de la Cuenca del Lerma vierten sus aguas residuales clandestinamente en las aguas del lago.

<sup>22</sup> A nivel nacional, según la CNA existen 1593 plantas de tratamiento en operación en el año 2006. (Op, cit: 2008)

<sup>23</sup> Y esto sería a un costo exorbitante. Según los cálculos que elaboró en 1995 el Banco Mundial calcula la infraestructura requerida requeriría aproximadamente de 1.7 mil millones de dólares, con un costo promedio de operación anual estimado en 1.06 millones de dólares (Iza 1991, p. 112). Se necesitaría 2 900 millones USD solo para obras de saneamiento, mientras que para depurar el agua y elevar los estándares de calidad se iban a requerir 12 000 millones USD anuales por 10 años. Lo raro, es que según el análisis que llevaron a cabo Jiménez y Ramos (1996: p. 51) es que, por derechos de descarga se pagan 597 139 737.00 ( pesos constantes 2002): mientras que el costo de depurar el agua es de 180 951 436.00 M.N (pesos constantes 2002), esto es, es mas económico depurar el agua que pagar derechos por depurarla

<sup>24</sup> Es posible que en algunas cuencas estemos en vísperas de graves tensiones por el recurso del agua, Salazar (2007: 569) para la cuenca Lerma Chapala, la cual tiene un gran requerimiento de agua para la agricultura y en periodos de baja precipitación la demanda de agua subterránea se incrementa, con repercusiones para otros sectores que dependen también del recurso de la cuenca. La situación en esta cuenca es tan grave que el mismo gobierno estatal de Jalisco lo reconoce de manera explícita en "Plan Estatal de Desarrollo Jalisco 1995-2000 en el cual se lee "La degradación de los suelos y la vegetación, la contaminación del agua y el aire, la reducción de sus áreas productivas, junto con la disminución de la biodiversidad, son factores que amenazan con romper el de por si frágil equilibrio ambiental. Ninguno de los 124 municipios de Jalisco contaba para sitios adecuados para el destino final de los residuos sólidos de origen doméstico y de tipo comercial e industrial peligrosos, contaminando, de forma grave, nuestras fuentes de agua. (Regalado. 2006: p.159)

<sup>25</sup> Inclusive las pequeñas ciudades del Bajío, como Celaya, al ser sede de grandes negocios agroindustriales pueden generar grandes volúmenes de agua con cargas orgánicas, como es el caso de la Empresa Bachoco en la que procesar una gallina lista para el consume humano demanda hasta 121 litros de agua y genera una DBO de 4 500 a 12 000 mg/L de DBO. La mayor fuente de contaminación proviene del matadero, donde se genera una DBO entre 4 500 a 8 700 mg/L, es decir, de 10 a 25 veces de lo recomendado por el EPA. (Chávez 2005: p. 1734). Sin embargo, es notable que incluso desde la parte alta de la cuenca, es decir, cerca de las fuentes, el agua ya aparece contaminada; tal es el caso de la presa Antonio Alzate, la cual sufre las descargas de las industrias cercanas, presentando una gran cantidad de metales pesados. (Martínez Gallegos 2004: pp. 667 y 679)

<sup>26</sup> Esta cuenca comprende 130 000 km<sup>2</sup> de extensión (Chargoy 2004: pp. 91-93., siendo una de las mas extensas del país El agua del lago de Chapala (que a pesar de las grandes mermas que a sufrido en los últimos 100 años) es el mas grande del país y el tercero mas grande de Hispanoamérica, es conducida a la ciudad de Guadalajara a través del acueducto Chapala –Guadalajara, el cual se inicio su construcción en 1984 y es un sistema con capacidad de 7.5 m<sup>3</sup>/s y una longitud de 42.4 km. La operación de los primeros 26 kilómetros del acueducto. con descarga al canal el Guayabo, conduce el agua y hasta el canal Las Pintas, del actual Sistema Atequiza-Las Pintas. Este lago tiene 80 kilómetros de longitud, una anchura de 6 a 25 kilómetros, una profundidad promedio de 7 metros, un área superficial de 1 112 km<sup>2</sup>, un volumen que fluctúa entre 4.418 X 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> y 79962 X 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.

<sup>27</sup> Por el norte, del este hacia el oeste, se encuentra limitada por los cerros de Sincoque, San Sebastián, Xalpan y Hueipoxtla, sierra de Tezontlalpan, cerro de Acayucan y sierra de Pachuca. Por el sur, de este hacia dirección oeste, por la sierra nevada. La sierra del Ajusco y la sierra de las cruces. Por el este de la cuenca, de norte a sur por la sierra de Pachuca, cerros Tejacate, San Gabriel Xihuínco, Tlalzalan, Tlaloc, Telapan y Papayo. (Gurria 1978: pp. 5-7)

---

<sup>28</sup> El origen de este sistema parece ser por la subducción (desplazamiento del suelo oceánico por debajo de la placa continental) al sur de México, con una gran actividad en el periodo Mioceno- Plioceno y con actividad final en el Cuaternario. Para una revisión mas completa véase el artículo clásico de Demat ( Demat 1978: pp. 172 y 174)

<sup>29</sup> De hecho, la meseta volcánica está surcada y drenada por numerosos ríos, como el Lerma Santiago por el Noroeste, los afluentes del Balsas Mezcala al sur y el Tula-Moctezuma al noroeste. Las depresiones locales se han convertido en cuencas endorreicas y otras se formaron lagos, como el de Chapala, Patzcuaro, Cuitzeo y Yuriria, así como el de la cuenca de México (Ferrusquilla 1998: pp. 57-59)

<sup>30</sup> Sobre esta zona se asientan varias características que la hacen única en el mundo, ya que no solo confluye la actividad tectónica y volcánica, sino que asimismo se sobrelapan dos zonas biogeográficas (la neártica y la neotropical) con una biodiversidad muy alta y un gran endemismo. Asimismo es la zona donde se domesticó el maíz y surge la zona de alta cultura conocida como Mesoamérica. Es por añadidura, el lugar donde se asientan dos de las mas importantes ciudades del país y donde se ubica la casi totalidad de la industria. Para ver una discusión mas amplia ver Gerrit ( Gerrit 2003: pp. 7-9)

<sup>31</sup> Los ríos de las avenidas de Pachuca y de Cuautitlan han sido culpables de 4 grandes inundaciones que afectaron a la ciudad (años 1449, 1465, 1555, 1626), mientras que solo una fue causada por lluvias en el sur (Wolfer, 1975: pp. 45.)

<sup>32</sup> Esta corriente, junto con el río las Avenidas de Pachuca, fueron durante mucho tiempo, el mayor responsable de las inundaciones que se sufrieron en la cuenca. Cuando ocurría un incremento desusado de lluvias, ambos ríos, con su caudal muy crecido se volcaban en el Lago Zumpango, sobrepasando en consecuencia su nivel. Una fracción de este lago, se volcaban posteriormente sobre el lago de Xaltocan y poco después, rebosaban el lago San Cristóbal, para terminar por derramarse en el lago de Texcoco. Cuando el nivel se incrementaba en demasía, la Ciudad de México se inundaba. SARH 1984: p. 23)

<sup>33</sup> Para comprender mejor la extensión del antiguo lago en su etapa anterior a la ocupación humana, basta ver el mapa geológico (INEGI. Carta Geológica Valle de México escala 1:500 000) puede verse las zonas donde se encontraba la antigua llanura lacustre, (tanto la zona lacustre como la referida como llanuras lacustre cubiertas con material volcanoclástico) alcanzando una extensión comparable a la cuarta parte de la cuenca.

<sup>34</sup> Por otro lado, es también que en esta zona las lluvias son mas intensas en los lomeríos del W que en el E. Esto se debe a que las corrientes de convección hacen que se eleven más las nubes en esta zona y por tanto se incremente la precipitación. Por otro lado la evaporación en el sur, sureste y suroeste es de las más bajas de la cuenca, mientras que en el noreste—las zonas correspondientes a los lagos de Texcoco y San Cristóbal, los valores de evaporación sean de los más altos. No es de extrañar, según Wolfer, que sea en esta micro región que las aguas sean más salobres. (Op.cit: p. 40).

<sup>35</sup> De hecho se pueden hacer reconstrucciones muy precisas sobre las condiciones ambientales de antaño. Por ejemplo, para el caso del lago de Chignahuacan, en el Estado de México, se pueden ver como se modifico a lo largo de los últimos 23 000 años (Lozano 2005: p. 74), en base a paleo análisis palinológicos. En dicho artículo se puede verificar el cambio de vegetación desde las condiciones glaciales de mediados del Pleistoceno hasta la formación de asentamientos humanos de agricultores de el Epiclásico (1 500 d.c.), así como la introducción de los diferentes tipos de maíz a raíz de su domesticación y mejoramiento. Estos resultados han sido coherentes con los hallazgos de otros investigadores (Ludlow 2003: p. 73).

<sup>36</sup> Es útil recordar que esta megafauna medraba en la estepa subglacial de la última edad del hielo. Al inicio del Holoceno y al producirse un cambio de la vegetación, dichas especies se ven sometidas a una gran presión de selección. Estamos pues, ante una “extinción prolongada”. Sin embargo, en el continente americano, en un corto periodo de tiempo (entre 11 000 y los 10 000 años) desaparecen 30 géneros de animales grandes (Op.cit: p. 203) entre ellos mastodontes, mamuts, camellos, tapires, caballos, leones y tigres dientes de sable. Recuérdese que los humanos llegaron a dicho continente aproximadamente 40 000 años.

<sup>37</sup> Algunos autores, como Ezcurra llaman la atención (Ezcurra 1996: p. 6) que desde el origen de la civilización en la cuenca la densidad de la población ha sido alta. Así pues, en el formativo temprano (antes conocido como preclásico) la densidad de la población, en el año 100 d.c. era de 30 000; sin embargo, para el 650, en el momento de máximo esplendor de Teotihuacan, la cuenca albergaba 150 000 habitantes, aún cuando el colapso del mundo clásico hizo que la población declinara hasta 10 000.

---

<sup>38</sup> Es posible que el clima haya tenido cierta responsabilidad en la caída de las grandes civilizaciones. Por ejemplo, el equipo de la US. Geological Survey (Benson 2007: pp. 187-190) propone, en base a los datos que han recopilado, que para el caso de la civilización Anazasi, esta declino derivado a que la oscilación climática del Pacífico altero las precipitaciones monzónicas, lo cual derivó, a pésimas cosechas de maíz, con el subsiguiente desplome de su civilización.

<sup>39</sup> A este respecto, posiblemente fue una respuesta en la que estaba involucrada la sobrevivencia de las sociedades ribereñas al lago. Si las tierras de cultivo, durante una inundación quedaban cubiertas por las aguas salobres del lago, la tierra tendía a salinizarse. Ello equivalía a la pérdida de las cosechas y poco después, el hambre hacía acto de presencia (Rojas 1973: p. 33) "Mexicaltzingo estaba fundada—nos dice-- en tierra creada artificialmente en la laguna mediante el sistema de chinampas y también que estas se prolongaban hacia el norte hasta confinar con la laguna y las chinampas de México. Esta ciudad se encontraba en el punto geográfico de la unión de los lagos de México y el de agua dulce de Xochimilco. En este punto habría una acequia grande, por donde transitaban de 3 a 4 mil canoas diariamente, que van o vienen a la Ciudad de México. Esta acequia se llama la acequia real de Mexicaltzingo".

<sup>40</sup> Agrega la autora que "El poder económico y demográfico en el Valle de México, combinado con una organización político-militar muy relacionada a la organización hidráulica, permitió a los aztecas dominar a los pueblos y naciones, así como sus recursos de los valles vecinos. El agua fue un elemento estratégico en la guerra y un factor de dominación para que los aztecas tuvieran un control suplementario y de gobernanza en la región" (Op. cit, p. 150)

<sup>41</sup> Según Ezcurra, se importaban anualmente (Ibidem: p. 9), vía tributo, 7000 toneladas de maíz, 5000 toneladas de frijol y 4 000 toneladas de amaranto

<sup>42</sup> Ya desde los mismos días de la reconstrucción de la ciudad, se obligó a las ciudades del sur del lago a llevar a la capital grandes cantidades de madera para la construcción, para rellenar los pantanos de la isla y para edificar casas, calculándose según Cortes, que en la construcción de sus casas empleo 6 906 vigas de cedro. Según Lenz (Ibid 1969: p. 45) "En 1553, las autoridades nombraron una comisión para el estudio de los efectos de la devastación que se llevaba a cabo, notándose que "... los distritos de Cuajimalpa y Tepeaquilla, cercanos a la ciudad habían sido muy maltratados.... Y que un agente de Cortes, Juan Cano, fue uno de los mas connotados ofensores"

<sup>43</sup> Sin embargo, hay que tomar con ciertas reservas la idea ampliamente aceptada de que la intrusión europea aceleró la degradación y el asolvamiento de los cuerpos de agua, ya que como señalan los estudios paleosedimentarios a lo largo de 23 000 años del lago de Patzcuaro señalan mas bien que los procesos de erosión es continuo desde la ocupación humana en las zonas ribereñas desde el Holoceno temprano. De hecho, este proceso se sigue dando en la actualidad en los cuerpos de agua mexicanos. Un ejemplo de ello es la Presa "Alzate" en el estado de México, donde la contaminación, la deforestación y el azolve van de la mano (García Aragón 2007: p. 127-129) donde la batimetría demuestra que inclusive en unas pocas decenas de años, se puede perder hasta un 50% del aforo de un gran cuerpo de agua.

<sup>44</sup> Y por añadidura sin entender el papel tan importante que el lago tenía en la economía, por ejemplo Gibson (citado por Sierra, 1974: p. 29) dice que en los años de la conquista el número total de canoas fluctuaban entre 100 y 200 mil; para el siglo XVI mas de mil canoas entraban y salían al día de la ciudad. Para el siglo XVII, indican que entraban a la ciudad de 70 a 150 canoas diarias y un registro de 1777 da 26 246 cargas transportadas en canoas.; mas adelante (Op, cit: p. 32) siguiendo citando a Gibson, "en el siglo XVII se movilizaban 97 330 fanegas en 1419 canoas (1709) y luego 115 120 fanegas en 3463 canoas (1710), por no hablar, (...) que se extraían mas de 1 millón de peces al año"

<sup>45</sup> Posteriormente Vicente Riva Palacio hace notar lo que significó en términos poblacionales la construcción del tajo "Una de las causas de despoblamiento del Valle de México (Riva Palacio, 1972: p. 562) --se atribuye a la obra del desagüe: obligabase a los pueblos a contribuir con su trabajo y llegaban a Huehuetoca. Las enfermedades diezmaron a aquellos infelices, otros morían despedazados contra los muros del canal, porque acostumbraban ponerlos a trabajar suspendidos con cuerdas y cables de los bordes y la violencia de las aguas que llegaban repentinamente los azotaba y estrellaba".

<sup>46</sup> En efecto, ya en la segunda mitad del siglo XIX. (esto es, 1869) la ciudad tenía (Ruiz 1974: p 8) ya de superficie 15 329 113 m<sup>2</sup> (es decir 1 532.9113 hectáreas. Nota mía) En 18887, el Distrito Federal tenía una extensión de 1 200 km<sup>2</sup>

<sup>47</sup> Pero este no ha sido el único lago del eje neovolcánico en haber sido afectado en este periodo. Tal fue el caso del lago de Chapala; en 1842 existían presiones de los hacendados para desecarlo y dedicar su superficie a la agricultura (García Chávez 2006: pp. 202-203) En 1867 un hacendado, de nombre Ignacio Castellanos vuelve a solicitarlo, pero el presidente Juárez se opone. Sin embargo, con el gobierno de

---

Porfirio Díaz se obtiene la autorización para desecar 46.170 hectáreas del lago y fue así como entre 1904 y 1905 el lago pierde una tercera parte de su superficie. A partir de esa fecha la mengua en los volúmenes de agua, y la contaminación ha hecho que pierda más volumen. Sin embargo, aún sigue siendo el tercer lago más grande de América Latina. Pero a partir de 1974 a la fecha, se le han incorporado de 626 a 910 toneladas al año de fósforo orgánico, lo cual ha propiciado la plaga del lirio acuático y la pérdida de enormes volúmenes de agua por transpiración de la planta (De Anda 2000: p. 128) En el caso de la laguna Magdalena, en el mismo estado de Jalisco, sufre una suerte peor. Ya desde el porfiriano se solicitó al gobierno federal su desecación. Posteriormente, en 1924, la Secretaría de Fomento autoriza la desecación del resto de la laguna, lo cual se logró finalmente en los años 50's. Así se perdió un cuerpo de agua que almacenaba 150 millones de metros cúbicos de agua limpias que cubrían una superficie de 7 500 hectáreas. "Al día de hoy—concluye García Chávez (Op, cit página 206)-- "la agricultura en ese lugar esta moribunda y solo quedan extensos charcos de aguas negras donde retozan varios cerdos".

<sup>48</sup> A partir de 1880, en terrenos que habían pertenecido a los ejidos de la ciudad aparecen (Ruiz Castañeda, Op. Cit, página 19) las colonias de la Teja y Violante (1882) Morelos (1886) del Rastro , indianilla e Hidalgo (1889), San Rafael (1890), Limatour y Candelaria Atlampa (1891) Díaz León y de la Maza (1894) del Paseo (1897) Peralvillo (1804), Condesa, Roma y de la Bolsa (1902) Nueva del Paseo (1903) Cuauhtemoc (1904) de la Viga (1905) Escandon y de los Arquitectos (1909) del Chopo (1910) Balbuena y otras (1903) del Paseo de Bucareli (1906).

<sup>49</sup> El abasto de agua potable fue pronto visualizado como un buen negocio desde los inicios de la vida independiente, ya que desde 1857 para las ciudades de Puebla, Torreón, Mérida y San Luís Potosí, entre otras (Aboltes 1998: p. 69) donde los respectivos ayuntamientos confirmaron la inversión privada; sin embargo, pese a los intentos de 1857, 1884, 1885 y 1913, el ayuntamiento de la Ciudad de México no quiso formalizar dichas iniciativas y al final, ninguna prosperó (Opus cit.: p. 71). Sin embargo, dicha atribución dejó de ser municipal cuando en 1948 Miguel Alemán dio esas prerrogativas al gobierno federal.

<sup>50</sup> Sin importar la oposición al proyecto de desecación de los hermanos Remigio e Iñigo Noriega por parte de los pueblos de la zona de Chalco, el gobierno de Díaz extendió la concesión (17 de octubre de 1895) por el cual se permite la construcción de un canal a tajo abierto al oriente del Volcán de la Caldera, permitiendo además que el terreno liberado se conviertan en campos de cultivo de maíz (Noyola Rocha 1999: p. 81). Desde la perspectiva del "progreso porfirista" esta transformación fueron "Los esfuerzos colosales de convertir una laguna infecta a uno de los mayores graneros del Nuevo Mundo" (Op. cit: p.82)

<sup>51</sup> A raíz de esta extracción del agua, el nivel del líquido en los canales ha bajado 30 cm. al año y la introducción de aguas tratadas ha tenido severos efectos sobre la zona chinampero (ya que de un área que llegó a tener 75 km<sup>2</sup>, en la actualidad tiene 25 km<sup>2</sup> (Garzón 2002: p. 21)

<sup>52</sup> Por ejemplo, sociodemográficamente, los estratos más favorecidos se decantaron por la zona sur y poniente, donde no solo existen mejores servicios urbanos (como acceso al agua potable y drenaje, sino también buenos servicios ambientales (bosques, barrancas, etc). Por el contrario, los estratos mas pobres se han movido hacia el oriente y el norte de la ciudad, según nos dice Ward (Op. cit: p. 117)

<sup>53</sup> Con el transcurso del siglo XX se fue incrementando la demanda de suelo para vivienda, razón por la cual desde 1910 comenzó a darse el tipo de vivienda multifamiliar que posteriormente sería conocido como "condóminos" (Otero 2007: p. 4). No olvidemos que algunas ciudades perdidas, hoy célebres, como la "Marranera" en Tacubaya, son de ese periodo. Posteriormente en el periodo 1950-1970 es cuando el Estado postrevolucionario, diseña unidades habitacionales a través de algunos de sus órganos (ISSTE, IMSS, FOVI, DDF) cada vez mas masivos con menos espacio para áreas verdes y espacios mas reducidos para la propia vivienda (De los años 50's a los 80's, el área de vivienda pasó de casi los 100 m<sup>2</sup> a apenas los 40m<sup>2</sup> y por supuesto, al incrementarse la densidad poblacional, las redes de drenaje quedan rápidamente sobresaturadas (Op. cit: p. 6).

<sup>54</sup> De hecho, son las mismas autoridades agrarias, junto con los comisarios ejidales, son los que llevan a cabo su desaparición ya que al solicitar el incremento del área urbana ejidal con documentos muchas veces adúlteros. Una vez otorgado el permiso, la venta del terreno a particulares por los propios ejidatarios era el siguiente paso. A partir de los años 70's ya ni siquiera se realizaba este trámite e inclusive un ejido fue despojado de sus tierras – Los Reyes, en la Delegación Coyoacán—por una invasión masiva (Op. cit, página 92). Este tipo de invasiones son lo que se denomina " pacificación de las relaciones sociales en el medio urbano", esto es, cuando no hay justicia distributiva, el estado "hace la vista gorda para eliminar tensiones" (Durand 1985: p. 10)

<sup>55</sup> Si bien el arbolado de la zona urbana es menor que el de las zonas rurales, no significa que sea escaso. Por ejemplo, en la Delegación Azcapotzalco (Martínez 1994: p. 37) el 95.4 % de los fresnos se

---

encuentran en calles y avenidas, mientras que solo el 4.1% están en parques. De acuerdo con los valores calculados (Barradas 2000: p. 55-67) pueden emitir a la atmósfera  $0.0004 \text{ km}^3$  de vapor de agua, es decir,  $1\ 239.6 \text{ m}^3$  de vapor de agua al día.

<sup>56</sup> En realidad, desde el siglo XVII hasta principios del siglo XX, se han realizado grandes obras de ingeniería, con el fin de desaguar volúmenes cada vez mayores de agua hacia la vertiente del Golfo, a través de la cuenca del Panuco ( INEGI 2000b: p. 21)

<sup>57</sup> Sin embargo este sistema que distribuye el vital líquido es bastante grande, ya que cuenta con 414 pozos, que extraen  $1\ 476 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{día}$ , es decir,  $0.538 \text{ km}^3/\text{año}$ , 93 puntos de fusión de nieves con un aporte irregular y 16 presas, con una capacidad de almacenamiento de  $0.20 \text{ km}^3/\text{año}$ , así como de 30 ríos que aportan  $0.027 \text{ km}^3/\text{año}$ . (DGCOH 1995: p. 34)

<sup>58</sup> La extracción de agua de estas cuencas implica una fuerte erogación del gobierno federal, ya que solo para subir el agua desde la presa “Los Colorines” y elevar 1 100 metros significa (Tortajada 1999: p. 54) aplicar 1 787 millones de KWH energía equivalente para abastecer a una ciudad de 1.5 millones de personas

<sup>59</sup> Esta sobreexplotación provoca no solo el progresivo agotamiento del acuífero, sino que además es responsable del progresivo hundimiento del subsuelo de la ciudad de México. (Op. cit: p. 61)

<sup>60</sup> Es esa una de las razones de por que es tan caro traer el agua hasta la cuenca central de México, ya que el costo (García Pérez, 2007: p. 5) mas que por el agua en si, es por el gasto de energía e infraestructura requerida.

<sup>61</sup> Según este grupo de investigadores, los acuíferos que son explotados se encuentran interconectados y abastecen de agua para el área urbana. Basados sobre el volumen de extracción, el acuífero del sur es, al presente día, el mas importante. La sobreexplotación de este es uno de los problemas críticos de esta área geográfica. Esto es debido a la demanda de la población para que esta disponga de agua; haciéndose notar que solo el 50% del agua que se extrae es recargada. La autora indica que en 18 pozos se encontró que resultaron positivos para coliformes totales, mientras que para otros 14 la cantidad de ellos fue menos a los 2 NMP/100 ml. Cuando se analizaron para E. coli, los pozos no indican estar contaminados. 15 pozos fueron positivos para coliformes fecales. Para estreptococos fecales, se mostró que 22 pozos fueron positivos. Geográficamente, las áreas donde se detectan la presencia de patógenos y de microorganismos oportunistas son en las delegaciones de Azcapotzalco, Álvaro Obregón, Miguel Hidalgo, Coyoacan, Iztapalapa, y Xochimilco. El grupo de investigadores no encontraron diferencias significativas en el nivel de contaminación en las tres zonas hidrogeológicas estudiadas. En la zona lacustrina, el 44% del total de los pozos fueron contaminados por un indicador o mas, mientras que el 40% de el área de las montañas y el 33% de las ares de transición. Cuando los indicadores microbianos fueron comparados entre las dos áreas geográficas, el sureste y el oeste de la ciudad, si se encontraron diferencias significativas ya que la parte occidental muestra una mayor contaminación (54%) de pozos contaminados que el sureste (40%)

<sup>62</sup> En realidad los costos económicos llegan a ser escalofriantes, ya que para 1996, nos dice Tortajada, el costo tanto de inversión directa e indirecta como el de operación y mantenimiento llegó a los 1 300 millones de dólares; sin embargo, los costos sociales, que no son fáciles de calcular, son enormes, ya que los pueblos de Temascaltepec han visto amenazados su forma de vida, con la disminución de los arroyos con el que riegan sus cultivos. No es de extrañar que exista también en la zona una gran animadversión ante cualquier proyecto (Op cit,: p. 129)

<sup>63</sup> La Gráfica 2.11 nos señala que nos estamos acercando a pasos acelerados a un grave estrés regional hídrico. Este estrés se valora a través del indicador Falkenmark, el cual señala que un valor menor de  $1\ 700 \text{ m}^3/\text{hab. año}$ , indica estrés por agua, mientras que un valor menor de  $1\ 000 \text{ m}^3/\text{habitante año}$  indica un severo estrés de agua (United Nations Human Settlement programe. 2003: p.131). Es importante hacer notar que para el primer caso, la cantidad de 4657 litros diarios por habitante pueden parecer espléndidos; en realidad son muchísimos menos, porque la producción de alimentos, vestido y servicios de ese habitante consume casi la totalidad, quedando muy poca agua disponible. En realidad, esa cantidad muestra una restricción de agua muy fuerte. Para el segundo caso, correspondiente a 2 739 litros por habitante, ya estamos en un caso de sequía que bordea a la catástrofe.

<sup>64</sup> Un claro ejemplo de esto es lo que ocurre con el canal de la Compañía (Albarran 2004: p. 25), el cual recoge las aguas residuales del sur oriente de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Si bien este canal fue diseñado para trabajar por gravedad, los hundimientos diferenciales han llevado que para evitar su colapso, se tenga que disponer de un sistema de bombeo con un alto costo energético. Este

---

problema no solo se encuentra en este lugar sino que por el contrario, está bien diseminado en la zona oriente de la ZMCM, donde hay 122 plantas de bombeo para desalojar las aguas negras residuales.

<sup>65</sup> La subsidencia de la ciudad de México tiene como promedio 7.5 metros sobre los últimos 100 años (U.N. 2005: p. 141). Si bien en algunas áreas el hundimiento se ha estabilizado a 6 cm/año, en otras llega a los 40 cm./año. Si se desean ver una discusión mas detallada de los efectos de la sobreexplotación en los acuíferos, su puede ver a (Esteller 2002: p. 267)

<sup>66</sup> Si bien es innegable la alta productividad agrícola que ha recibido este distrito con el riego de aguas residuales en mas de 100 años, existen fenómenos preocupantes como los altos niveles de detergentes (Méndez 1990: pp. 44-45) Por otro lado, la naturaleza de los suelos—con una alta transmisibilidad – hace muy factible que los acuíferos superficiales se contaminen con las aguas negras. (INEGI 1992: p. 34). Por otro lado, si bien es innegable que la mayor parte de la contaminación es exportada desde la ZMCM, no menos importante es la polución generada desde la zona industrial de Tula; ejemplo de ello son las aguas residuales de la refinería de PEMEX en Tula, Hidalgo (Almendariz 2005: p. 391) las cuales no solo tienen una fuerte carga orgánica, sino que también son abundantes en compuestos cáusticos como la sosas, ácidos sulfhídrico y tóxicos como fenoles y creosoles.

<sup>67</sup> Según la CNA, en la subcuenca Zumpango, pieza vital del sistema de drenaje de las aguas residuales hacia la cuenca del Pánuco, sufre de una fuerte subsidencia de 1.15 cm./año. (CNA 2007: p 143)

<sup>68</sup> Esta obra según Tortajada y Castelán se diseño pensando evitar el problema que aquejó al Gran Canal de Desagüe en las sus primeras décadas de operación, es decir, se perfora el sistema por debajo de los 300 metros debajo del nivel de los acuíferos, para evitar el problema de la subsidencia y por tanto, la pérdida de pendiente (Op. cit.: p. 125) razón por la cual se incrementó significativamente. Dicho sistema es capaz de desalojar 48 m<sup>3</sup>/s de agua residual y 14 m<sup>3</sup>/s de agua de lluvia.

<sup>69</sup> Las inundaciones son en la actualidad un fenómeno complejo que envuelve no solo la forma en que se precipita la lluvia en la cuenca Central (de forma copiosa y súbita por cortos periodos de tiempo) sino también a la obsolescencia de la red secundaria de drenaje (y por los tapones de basura y sedimentos que se forman) por no olvidar a la subsidencia del subsuelo. En consecuencia, las inundaciones se han convertido en una realidad permanente en la Ciudad de México. (Ibidem, 2003: p. 128).

<sup>70</sup> En la primera mitad del siglo XX, nos indican Biswas y Tortajada (2006: 46) el gran canal podía descargar 90 m<sup>3</sup>/s, esto es, 2.838 km<sup>3</sup>/año, mientras que en la actualidad solo descarga 12 m<sup>3</sup>/s., significando con ello que descarga 0.378 km<sup>3</sup>/s. La pérdida en el desalojo es de 2.46 km<sup>3</sup>/año. Es importante tener presente que cuando un volumen de agua no fluye por gravedad a través de un cauce, este debe ser bombeado, con el consiguiente gasto de energía.

<sup>71</sup> Sin embargo, esta agua tiene desde hace varias décadas uso agrícola (Guzmán 2007: p. 386) han valorado que a pesar de que las aguas residuales de la zona de Texcoco siguen siendo salobres, el principal problema son los niveles tan altos de parásitos, patógenos y sustancias tóxicas, las cuales superan la NOM-ECOL-1996. La OCDE considera que en la ZMCM las pérdidas anuales por enfermedades gastrointestinales alcanzan los 3.6 mil millones de dólares

<sup>72</sup> Una fuente importante de contaminación del agua de los acuíferos es también por la lixiviación de los tiraderos de basura, es decir, por los líquidos con alta carga de contaminantes que expulsan dichos tiraderos. En el antiguo basurero de la zona de Santa Catarina, Iztapalapa (Becerril 1991: p. 43) revela que en los 14 pozos de esta zona se encuentran que los lixiviados de este tiradero ya contaminaron el agua subterránea con niveles de hasta 18 mg/L en forma de nitratos y de 22.8 mg/L de nitrógeno amoniacal. Sin embargo, estos no son las únicas sustancias que pueden contaminar un acuífero ya que los insecticidas – como el 2,4 diclorofenoxiacético (2,4-D)—se caracterizan por tener una baja afinidad con el suelo (Montiel 2006: p. 1522) razón por la cual no se adsorbe en las partículas del suelo y llegar fácilmente por percolación a los acuíferos. Por lo que parece, esta situación es la que se esta enfrentando con la PTAR DE Ecatepec ( Buenrostro 2000: p. 189)

<sup>73</sup> En la actualidad el número de plantas de tratamiento en el D.F. se ha incrementado a 30 plantas, las cuales con las 41 plantas que el Estado de México tiene en la cuenca incrementa su capacidad instalada (INEGI 2000: p. 227)

<sup>74</sup> Si bien el llenado de los lagos del área metropolitana busca no solo dotar de fines recreativos a la población así como de preservar a las especies endémicas originales, aunque quizás para algunas de ellas ya sea tarde, como por ejemplo *Girardinichthys sp.* (Vega 2007: p. 395)

---

<sup>75</sup> Como ya se había hecho notar por Mazari, en la actualidad se extraen 45 m<sup>3</sup>/s de los acuíferos del Valle de México, mientras que su recarga supone apenas 20 m<sup>3</sup>/s, lo cual significa que hay una sobreexplotación del 25%; ello lleva no solo a que se decremente la disponibilidad del agua sino que además incrementa la posibilidad de que se filtren, por fracturas del subsuelo, una gran cantidad de contaminantes orgánicos, algunos de los cuales son potentes cancerígenos (2006a: p. 411)

### Capítulo 3

<sup>1</sup> Quizás como señalan algunos (Omnes 2000: pp. 291-292) en la aplicación de estos términos se sobrelapan las lecturas que se hacen tanto de Bacon como de Descartes, los cuales señalaban que el método era una regla de comportamiento que podría, si se le respeta, conducir de forma indefectible a mas conocimientos, aunque posteriormente se visualizó como el tipo de reglas prácticas que permiten asegurar la calidad de la correspondencia entre la realidad y la representación científica, es decir, como el sujeto cognoscente reflexiona sobre el saber adquirido

<sup>2</sup> Si bien el término “sistemas de depuración del agua” es de uso corriente en muchos autores, debe de ser tomado con las reservas del caso, ya que un sistema dentro de la Teoría General de los Sistemas, se entiende como (Bertoglio 1982: p. 34) es un grupo de partes u objetos que interactúan y que forman un todo y en interacción para alcanzar un conjunto de objetivos. Con los elementos adicionales de poseer sinergia (la propiedad de una de sus partes, de forma aislada, no pueden explicar o predecir la conducta del todo (Op. cit: p.36) y recursividad, es cuando cada una de las partes u objetos, no importando el tamaño, tiene propiedades que lo convierten en una totalidad, es decir, en elementos independientes (Ibidem; pp. 44), así como sistemas de control con retroalimentaciones positivas y negativas (Ibid: pp. 130 y 134) así como sistemas de desviación y amplificación.

<sup>3</sup> La definición de cuenca que acepta la Comisión Nacional del Agua (CNA 2002) para cuenca es: “Cuenca Hidrográfica.- Territorio donde las aguas fluyen al mar a través de una red de cauces que convergen en uno principal, o bien el territorio en donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otras, aun sin que desemboquen en el mar. La cuenca, conjuntamente con los acuíferos, constituyen la unidad de gestión del recurso hidráulico.”

<sup>4</sup> Runes define como criterio (1981: p. 236) “Cualquier base o medio para juzgar o definir una cosa en alguna de sus cualidades, mientras que para Abbagnano (2004, p. 78) se adscribe a lo mas sencillo como “regla para decidir lo que es verdadero de lo que es falso, lo que se debe de hacer de lo que no se debe de hacer”

<sup>5</sup> Jiménez (1995: 1773) señala que las aguas residuales al ser canalizadas hacia el valle del Mezquital llevan una concentración de 100 a 250 mg/L, mientras que los SST van de 50 a 400 mg/L

<sup>6</sup> Esta evaluación es utilizada en el instituto Mexicano del Petróleo (Del Rio, 1988: pp. 63 y siguientes). “La evaluación técnica involucrada en el análisis del proceso (bases del diseño, características, flexibilidad y condiciones de operación del proceso) de documentación técnica así como de los servicios adicionales y experiencia técnica administrativa. La evaluación contractura implica el análisis de la tecnología, de los servicios técnicos y profesionales entre otros aspectos. Finalmente la evaluación económica se toma en cuenta la inversión en equipos y materiales (materias primas, servicios auxiliares, reactivos químicos, etec) mantenimiento, costo de ingeniería, licenciamiento, capital de trabajo. Este tipo de metodologías de evaluación son diseñadas para el estudio profundo y detallado de cada una de las alternativas tecnológicas del proceso”.

<sup>7</sup> Sin embargo, a pesar de que las normas Oficiales Mexicanas son publicadas después de que equipos de expertos las han discutido durante años, a algunos investigadores no dejan de parecerles inadecuadas (Biswas 2006: p. 195) indica al respecto que “Muchas de las aguas residuales producidos por las mega ciudades de los países en desarrollo no son tratadas o reciben un tratamiento inadecuado. Algunos gobiernos, desde Egipto hasta México tienen en su legislación estándares altos de calidad del agua por razones políticas o por una falsa e incompleta apreciación del problema. No consideran el hecho de que estos estándares son apropiados para algunas ciudades de los países en desarrollo y pueden ser implementados en ciudades como Nueva York o Londres pero estas mismas son irrelevantes o imposibles de implementar o quizás hasta contraproducentes para las ciudades de Lima u otras de América Latina”.

<sup>8</sup> Para ver una lista amplia de costos de una planta de tratamiento, ver a Nicanor, (Nicanor 1994: pp. 84-85) los cuales incluyen: “Costos de inversión: Los costos en un país en específico pueden variar

---

considerablemente, debido al costo de la mano de obra, costos de embarque y otros relacionados con la importación de equipo, diferencias en los precios de los materiales de construcción y equipos adquiridos, etc. Los costos aparte de los de construcción (administración, servicios legales, servicios de ingeniería/arquitectura, inspecciones e imprevistos) equivalen a un 25% del costo total de construcción, diferencias en los precios de los materiales de construcción y equipos adquiridos, etc. Pueden existir otras categorías de costos (adquisiciones de terreno, drenaje del terreno, etc), pero ellas deben ser consideradas en cada proyecto específico, realizando las respectivas reservas en la estimación del costo final del proyecto. Los costos de inversión por construcción para plantas de tratamiento de aguas negras, en especial para los sistemas propuestos, comprenden los costos de los siguientes elementos: Obra civil. Se considera la cantidad de obra requerida en m<sup>3</sup> de concreto armado. Equipamiento. Este estudio se limita al equipo electromecánico requerido (Bombas y aereadores)). sistema de tuberías. Se considera un 25% del costo total de inversión. Instalación eléctrica. Se considera un 10% del costo total. Controles e instrumentos. Se considera un 5% del costo total de inversión. Obra civil. Los volúmenes de obra se estiman en base al m<sup>3</sup> de concreto armado necesario. El costo de concreto armado de 250 kg. /cm<sup>2</sup> y con el 20% de acero, es de N\$ 1000.00 (Recuérdese que en ese año le quitaron 3 ceros a la moneda) e incluye el material, armado, cribado, descimbrado, curado, impermeabilización integral, excavación y relleno. El precio global simplifica la tarea de los precios unitarios requeridos en la industria de la construcción”.

<sup>9</sup> De hecho, se mueven 38.1 m<sup>3</sup>/s. de aguas residuales domésticas e industriales, mientras que también se desalojan 13m<sup>3</sup>/s. de aguas pluviales. Esto es, en términos anuales 1.201 km<sup>3</sup> al año de aguas residuales y 0.409 km<sup>3</sup> de aguas pluviales anuales. (Jiménez 1995: p. 1773)

<sup>10</sup> No debemos olvidar que el 16% del agua potable que se consume en la cuenca proviene de las cuencas de los ríos Lerma y Cutzamala, por lo que algunos autores (Varis 2006: pp. 379 y 380) consideran que dichas cuencas deberían ser consideradas asimismo dentro de una gran unidad.

<sup>11</sup> La industria de acabados metalizados genera cantidades importantes de metales tóxicos (Gutiérrez 1993: p. 62) ya que por ejemplo el cromo hexavalente, que es en extremo tóxico puede tener la concentración de 3 g/L—lo cual es en extremo elevado—y de cadmio de 0.6 g/L.

<sup>12</sup> Si bien el distrito de riego de Tula tiene casi un siglo de recibir aguas residuales, en el estudio realizado (Siebe 1995: p. 29) se encontró que salvo el cadmio en algunos lugares, los metales pesados, si bien tienen una presencia notable, aún se encuentran por debajo de los límites de la toxicidad.

<sup>13</sup> Para algunos autores como Jiménez este es uno de los indicadores críticos, ya que desde su perspectiva, se puede marcar la pertinencia de un sistema de tratamiento, ya que según este autor, la realidad de los países en desarrollo con el uso de las aguas residuales es muy diferente al de los países en desarrollo—ya que los primeros la cantidad de huevos de helmintos es con mucho, mas elevado que en el caso de los segundos. De ahí que su propuesta es que este indicador debe de ser considerado de primera importancia. Se hace énfasis (Rivera 1995, p. 212) en este aspecto, ya que la persistencia de quistes de helmintos y de huevos de helmintos en la tierra es muy prolongada, por ejemplo, los huevos de *Áscaris* pueden vivir en estado latente hasta 7 años en el suelo.

<sup>14</sup> Para algunos autores como Jiménez (2007: 490) este es uno de los indicadores críticos, ya que desde su perspectiva se puede marcar la pertinencia de un sistema de tratamiento, ya que según este autor, la realidad de los países en desarrollo con el uso de las aguas tratadas es muy diferente al de los países desarrollados, ya que en el caso de los primeros, la cantidad de huevos de helmintos es mucho mas elevado que en el caso de los segundos. De ahí que su propuesta es que este indicador debe de ser considerado de primera importancia; por su parte Rivera (1995: 212) hace énfasis en este aspecto, ya que la persistencia de quistes de protozoos y de huevos de helmintos en la tierra es muy prolongada; por ejemplo, los huevos de *Áscaris* pueden vivir en estado latente hasta 7 años en el suelo.

<sup>15</sup> Entre estos casos no solo se puede recordar la Cloaca máxima de la Roma Republicana, cuya función era la de evacuar las aguas residuales de la antigua urbe sino que en el actual territorio nacional se encontraban instalaciones especiales para la evacuación de desechos. Por ejemplo, en Casas Grandes, Chihuahua, desde el año 1000 antes de cristo, ya existía una serie de canales para desalojar la orina. Para este caso, (Guevara 1986: p. 35) se indica que: “Por las muestras que se analizaron todos con alto contenido de fosfatos, se dedujo que dicho sitio era utilizado como urinario por los habitantes originales y que el canal era para el desalojo de orines. Esto significa que aquellos pobladores sabían no solo el riesgo que significaba la acumulación de líquidos y a su afectación al suelo fértil, sino la ventaja de diseñar habitaciones para tal fin, como muestra de una cultura en evolución en la que el respeto a la intimidad era básico.”; mientras que para las áreas olmeca y maya se tienen muestras de uso de las instalaciones sanitarias y su posterior desalojo de desechos. Otros autores (Bustamante 1984: p. 42)“Igual que en Tres Zapotes, quedan restos de un canal de desagüe, bien construido, con predios

---

cortados ex profeso para permitir la salida del agua, así como desaguaderos acanalados de basalto, con tapa de piedra, que al parecer desembocaba a una de las pequeñas lagunas cercanas”. Y para el caso del área maya en Palenque: “Son muy pocos los inmuebles con ventanas o ventanillas, aunque suelen hallarse otros elementos ambientales y sanitarios, como los baños de vapor y el caso de Palenque, donde se encontraron varias letrinas conectadas a un desagüe o sumidero.”“En la construcción conocida como el Palacio, se añadieron con los años, en dos de sus patios, un baño de vapor y cuartos sanitarios, con sus correspondientes desagües o sumideros ”

<sup>16</sup> Las infecciones intestinales son la 18ava causa de muerte con 4561 casos (Datos de la Dirección General de Epidemiología (Ayala Islas 2007). Asimismo se reportan que las enfermedades por parasitismo alcanzan los 834 601 casos de amibiasis, 40 906 casos de giardiasis, 100 563 casos de parasitismo por otros protozoos, así como 185 424 ascariasis, 388 casos de teniasis y 524 646 de otras helmintiasis.

<sup>17</sup> Este tipo de compuestos puede llegar a ser un autentico problema, ya que si bien muchos de estos compuestos como las hormonas sexuales y derivados de estas provenientes de la industria farmacéutica pueden ser degradados en una planta de tratamiento de lodos activados (O`Brian 2004: p. 328) los remanentes que no fueron degradados son liberados a ríos y lagos, donde “feminizan” a los peces silvestres e inhiben sus procesos reproductivos. De la misma forma, en los ríos de la Unión Europea se han encontrado paracetamol, salbutamol, diazepam y cloranfenicol.

<sup>18</sup> Como se había visto anteriormente, la emisión de aguas residuales de la industria son hasta 10 veces superiores que las aguas de origen doméstico. Tal es el caso de la cervecería Cuauhtemoc en la ciudad de Orizaba, la cual emite contaminantes con una demanda química de oxígeno por litro 10 veces mayor que un litro de aguas residuales domésticas de la ciudad de México; sin embargo, (Rodríguez 2005: p. 693) la industria papelera no solo es una voraz consumidora de agua (60 litros por kilogramo de papel y de emitir hasta 4.71 g/L de DQO 20 veces mas que la que se encuentra en el Gran Canal de desagüe de la Ciudad de México), produciendo asimismo residuos de surfactantes, fenoles, dioxinas, furanos y otros compuestos de elevada toxicidad

<sup>19</sup> La presencia de Salmonella en el ambiente es un importante capítulo en la salud pública de México, con altas tasas de infección reportadas anualmente (Simental 2008: p. 5920). El número de casos varía grandemente de un año al siguiente a lo largo de los diferentes estados del país. En 1994, hubo un total de 100 342 infecciones reportadas en México ( 111.21 casos por 100 000 habitantes) pero para 1998 se registraron 215.155 casos, es decir de 223.53 casos por 100 000 personas) Estos valores son significativamente altos comparados con otros valores en el mundo, ya que en Estados Unidos solo hay 17.7 casos por 100 000 personas; en la Unión Europea hay 35 casos por 100 000 habitantes en 2006 y en Nueva Zelanda con 32.3 casos por 100 000 personas en 2006; en el otro extremo de la república, en la zona de Chetumal, Quintana Roo, la presencia de coliformes fecales en las playas y otros lugares recreativos se encuentran por arriba de la norma ( Ortiz 1997: p. 423)

<sup>20</sup> La población estimada para el 2010 está basada en la proyección que elabora Ward (2004); Tortajada (2003) hace una estimación semejante.