



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

EL AGUA SUBTERRANEA Y EL
MEDIO AMBIENTE

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO GEOLOGO
P R E S E N T A :
AMELIA CASTRO LAGUNA

DIRECTOR DE TESIS
ING. HECTOR LUIS MACIAS GONZALEZ



CIUDAD UNIVERSITARIA,

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Gracias.....

A Dios

A Mi Madre:

Por su amor, su cariño, por apoyarme y no dejarme caer, por enseñarme el sentido del trabajo y la responsabilidad, por darme esta enseñanza de la cual se preocupo, por aconsejarme lo mejor, por siempre estar a mi lado, por confiar en mi y ayudarme a dar este gran paso, por ser todo para mí y ser una mujer excepcional. Gracias

A mi Hermana:

Por no dejarme sola desde el primer momento de nuestra vida, por ser mi amiga y compañera, por tu apoyo, cariño, amor y por ser mi ejemplo. Gracias

A mi Papá,

Por su apoyo, gracias

A mis Tías:

Mary: Por ser mi segunda madre, por su tiempo, cariño y paciencia, sus enseñanzas y ternura, por siempre estar al pie del cañón. Gracias

Yola: Por ser mi hermana mayor y amiga incondicional, por guiarme y enseñarme este camino del estudio, por su inmenso amor, cariño y paciencia, por estar en las buenas y malas. Gracias

Oralia: Por enseñarme que el mejor camino para alcanzar lo que uno se propone es el estudio y el trabajo. Gracias

A mis Primos:

Norma: Hermanita del alma, por ser el remolino de la casa, por tus locuras, tu apoyo, amor y fe incondicional. Gracias

José María, Ruth y Diego: Mis niños, por sus energías, sonrisas y travesuras. Gracias

Beto, Paco, Bogar y Mixtil, por creer en mi y mantenerse al pendiente. Gracias

A mis Tíos: Teodoro, José María, Beto y Paco, Gracias

A mi Madrina Nena, Mary y Linda: Por ser parte fundamental de mi familia, por su apoyo, cariño y amistad. Gracias

A mis Amigas de toda la vida:

Mimi: Por ser mi segunda hermana, por tu apoyo, cariño y consejos. Gracias

Teresa: Por que a pesar de los años, marido y niños seguimos juntas. Gracias

Gaby: Por tu confianza, por las buenas y malas. Gracias

A mis Amigos del terrible anexo:

Israel: Por ser mas que mi amigo, soportar a mi lado ese terrible calvario que fue el anexo y seguir al pie del cañón. Gracias

Mary: Por que a pesar de los malos entendidos, seguimos juntas, por tu confianza, por darme animos y echarme porras. Gracias

Liliana: Por no dejarme caer, por su amistad y siempre estar conmigo. Gracias

A mis Amigos de Carrera:

Lupex, José Manuel, Claudia G, Héctor ,Irasema, por enseñarme que los amigos son como una familia y nunca se salen del corazón, por todos esos momentos inolvidables en clases y prácticas, por su apoyo, cariño y respeto. ¡Los quiero mucho! Gracias

A los lobos de mar:

Edith, Nancy y Luis Lynn: Por guiar en este camino de las ciencias de la tierra, y ayudarme a dar pasos firmes, por confiar en mi y ayudarme a dar mis primeros pasos en la cuestión laboral, por sus enseñanzas, consejos, apoyo y comprensión. Gracias

A todos mis cuates:

Guillermo Chacon, Miguel Ángel Ibarra, Valentín Ortega, Gerardo Ochoa, Alexis Ayala, Dante, Mario Estrada, Fernando Miguel, Claudia H, Igor , Tahí, Omar, Gonzalo Condado, Isaías, Arturo Rojo, Paco, Lucy, Daniel, Ivan Vladimir, Pedro Santillán, Diana, Rosalía Guerrero, Acuaman, Esther Leyva, Alejandra Mayo, Salvador Carranza "Chava", Arturo, Agustín Leo, Alejandro Lara "mamers", Luz María Piña, Luz María Carrasco, Max, Pancho, Yiriri Leon , Nahum, Martha, Alejandro Monzón, Toño, y todos y cada uno que me acompañaron en alguna de mis clases, por su amistad y su tiempo. Gracias

A las secretarías de la división de ciencias de la tierra:

Gloria, Tere, Julia P, Julia S, Conchita y Carmen, por todas las facilidades prestadas. Gracias

A los Ingenieros:

Héctor Luis Macías González por su disposición, paciencia, consejos y facilidades otorgadas para la realización de éste trabajo. Gracias

Bernardo Martell Andrade por su apoyo, y ayudarme a ser mejor profesionista y transmitirme sus conocimientos. Gracias.

Alberto Arias Paz, Martín Vidal y Emiliano Campos Madrigal por los comentarios y sugerencias al presente trabajo. Gracias

Alberto Herrera Palomo por ser mi amigo y brindarme su apoyo y ayuda a lo largo de mis estudios. Gracias

Dra. Blanca Buitrón Sánchez, Mario Gutiérrez Estrada (+), Ricardo Castrejon, Baldomero Carrasco y Javier Arellano Gil por sus enseñanzas, consejos y apoyo siempre. Gracias

A la Facultad de Ingeniería por sus enseñanzas. Gracias

A la Universidad Nacional Autónoma de México, gracias por permitirme ser parte de ti. Gracias

A PEMEX, PEP, Activos Litoral y Burgos por permitirme realizar prácticas escolares en sus instalaciones. Gracias

A CNA Campeche y Mérida por permitirme laborar es sus instalaciones. Gracias

“EL AGUA SUBTERRANEA Y EL MEDIO AMBIENTE”

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1: SOBREEXPLOTACIÓN	5
CAPITULO 2: EFECTOS DIRECTOS DE LA SOBREEXPLOTACIÓN	10
2.1 Descenso del nivel de aguas subterráneas	10
2.1.1 Desaparición de cuerpos de agua superficial	12
2.1.2 Desaparición de manantiales	13
2.1.3 Ensalitración del suelo	14
2.1.4 Pérdida de vegetación y extinción de fauna	14
2.1.5 Pérdida de suelo por erosión	16
2.1.6 Aumento en el costo de energía eléctrica	21
2.1.7 Pozos secos	23
2.1.8 Decremento de la calidad del agua	24
2.1.8.1 Caso Comarca Lagunera	25
2.1.9 Abandono de tierras agrícolas	26
2.2 Compresibilidad de acuíferos	27
2.2.1 Subsistencia	30
2.2.2 Agrietamiento	30
2.2.2.1 Afectación a estructuras urbanas e industriales	32
• Oleoductos	
• Gasoductos	
• Gasolineras	
• Red de agua potable	
• Red de aguas negras	
• Caso Palacio de Minería	36
2.2.2.2 Activación de fallas	38
2.3 Aceleración de la contaminación	41
2.3.1 Caso Lerma	42
2.3.2 Caso Chapala	45
2.3.3 Caso León	48
CAPITULO 3. MEDIDAS CORRECTIVAS Y PRESERVACIÓN DE ACUÍFEROS	
3.1 Las fábricas de agua	53
3.1.1 Deforestación	53
3.1.2 Áreas Protegidas	55
3.1.3 Recursos Forestales	58
3.1.4 Preservación de la Recarga Natural	61
3.1.5 Recarga artificial	62
CAPITULO 4. LA LEGISLACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE	65
CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
BIBLIOGRAFÍA	76
ANEXO FOTOGRAFICO	84

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La asignatura Geohidrología tiene un contenido temático muy completo, dentro del cual se encuentra al tema de Sobreexplotación o Desarrollo de Aguas Subterráneas. Por otra parte los estudiantes constantemente se enfrentan al problema de la carencia de algunos libros y artículos técnicos, o necesitan consultar bibliografía que no siempre está a su alcance; por lo cual es importante la redacción de notas apuntes que suplan la carencia mencionada.

Por tal motivo, se elaboró este material didáctico que integra un tema del programa de la asignatura con los subtemas correspondientes que se consideran necesarios para la evaluación de desarrollo de aguas subterráneas o sobreexplotación.

Objetivo General

Analizar, explicar y evaluar el impacto que genera en el medio ambiente el desarrollo de aguas subterráneas o sobreexplotación de cuencas.

Objetivo Particular

Integrar el acervo bibliográfico y elaborar material didáctico para la asignatura de Geohidrología de la carrera de Ingeniería Geológica, desarrollando los apuntes del tema “ El Agua subterránea y el medio ambiente”.

Metas

Realizar la recopilación, análisis e integración de la información sobre la aplicación de los conceptos de desarrollo de aguas subterráneas o sobreexplotación.

Realizar la recopilación, análisis e integración de información sobre los daños que ocasiona en diversas regiones del territorio nacional el desarrollo de aguas subterráneas o sobreexplotación.

Método de trabajo.

La metodología que se siguió para elaborar este trabajo fue la siguiente:

- a) Recopilación de información de diferentes textos, artículos y páginas de Internet, basados o relacionados con los diferentes subtemas de la sobreexplotación; así como figuras y diagramas para una mejor comprensión del tema.
- b) Se hizo una selección y análisis de toda la información recopilada, para posteriormente realizar una síntesis y desarrollar de la forma más adecuada los subtemas contenidos en este trabajo.
- c) Finalmente se redactó este material, presentándolo de la manera más sencilla posible para su fácil comprensión, análisis y utilización por parte de los estudiantes de la carrera de ingeniería geológica.

Marco Teórico.

México al ser un país con gran extensión territorial (1,972.,546 Km.), presenta condiciones hidrológicas, hidrogeológicas, fisiográficas, climatológicas y de vegetación que varían a lo largo y ancho del país; por ello los efectos del impacto ambiental son diferentes dependiendo de las características propias de cada región.

El impacto ambiental es la alteración favorable o desfavorable que experimenta el medio ambiente, resultado principalmente de la actividad humana o de la naturaleza. La degradación potencial que sufre el medio ambiente, afecta la calidad del agua superficial y subterránea, ocasionando que se hagan evaluaciones cuidadosas, para que en el futuro se encuentre y se lleve a cabo la manera más adecuada para su explotación.

El estudio del impacto ambiental es una actividad diseñada para identificar, predecir y evaluar la modificación de los componentes biogeofísicos y socioeconómicos del ambiente, para interpretar y comunicar información acerca de los impactos, así como la forma de atenuar o minimizar los adversos.

Toda acción o actividad en el medio ambiente provoca un "impacto ambiental" no sólo en superficie, sino que directa o indirectamente se notarán tales efectos en el interior terrestre por que el agua subterránea actúa como conductor.

El agua subterránea, en ciertas condiciones, constituye un importante recurso de abastecimiento de agua para distintos usos. En algunas ocasiones determina que la cantidad, accesibilidad y en especial la calidad del agua se torne inadecuada para todos los usos requeridos. Por lo tanto, **es importante dejar claro que el agua subterránea no siempre es sinónimo de recurso disponible.**

A pesar de que el agua subterránea puede ser una alternativa factible para proveer agua a las áreas de alto consumo, se debe poner especial cuidado para protegerla de la degradación a partir de fuentes externas de contaminación o por la sobreexplotación. Los acuíferos son menos vulnerables a la contaminación que las aguas superficiales, pero cuando son afectados el daño puede ser irreversible.

En general, los contaminantes pueden entrar al medio subterráneo a través de tres caminos:

- La disposición de líquidos o productos solubles con el agua sobre la superficie del terreno
- El sepultamiento de sustancias, por encima del nivel de saturación
- La inyección de materiales en el subsuelo por debajo del nivel de saturación.

El concepto de sobreexplotación de acuíferos y aguas subterráneas es relativamente ambiguo y controversial. Comúnmente la sobreexplotación está referida como un fenómeno contrario a la explotación de aguas subterráneas, existiendo ciertos criterios técnicos, que permiten determinar si un acuífero se encuentra en proceso de explotación intensa o sobreexplotación como lo son:

- El descenso permanente de nivel freático, producto del desbalance entre recarga y extracción.
- El cambio de la composición química del agua.
- Falta de recarga de los acuíferos por períodos largos de sequía o por la expansión poblacional en las zonas de recarga.

En la Ciudad de México el ritmo de extracción supera ampliamente el de recarga. Esta sobreexplotación se manifiesta en diversos fenómenos: el descenso del nivel del suelo en más de nueve metros en el centro de la ciudad, el descenso del nivel del agua y en consecuencia, la extracción de agua a profundidades mayores. Estos factores conducen a un aumento considerable del costo de abastecimiento de agua en la Zona Metropolitana del Valle de México.

Problemas similares, pero de menor magnitud, enfrentan otros grandes centros urbanos, así como ciudades menores. En Monterrey, la escasez de agua motiva frecuentes racionamientos a la población. En Guadalajara se ha logrado un cierto equilibrio entre la explotación y la recarga mediante la conducción del agua del lago de Chapala y la transferencia de las aguas del río Santiago, que además de recorrer 100 Km debe ser bombeada a una cota superior de 77 m para abastecer 80% del consumo de una población de tres millones de habitantes. (Eurosur, 2003).

En muchos casos el problema se complica con procesos de contaminación e intrusión de agua de mar en los acuíferos como consecuencia de la sobreexplotación de estos últimos. Ejemplo de contaminación se tiene en los alrededores de Torreón, Gómez Palacio y Ciudad Lerdo, donde las aguas subterráneas están contaminadas con arsénico, cuya concentración tiende a aumentar por la sobreexplotación del acuífero. En León, la industria de la curtiduría ha sido la principal causante de contaminación de los acuíferos, con sustancias tóxicas como cromo, plomo y zinc (metales pesados). En Mérida, la contaminación proviene de la disposición inadecuada de aguas residuales. La intrusión de agua salina en los acuíferos se ha constatado en Hermosillo y algunos centros urbanos de Yucatán.

El impacto del medio ambiente por la explotación del agua subterránea, depende de diversos factores como son: procedimiento de explotación, condiciones hidrogeológicas locales, clima, tipo de rocas y topografía. Dicha explotación deja una marca considerable en la tierra, el agua y el aire, la cual posteriormente se traduce a problemas sociales como respuesta a un incremento en la demanda de usos y servicios en las áreas de explotación; inconvenientes que son parte del mismo fenómeno y que por ende, es el precio que hay que pagar.

El riesgo de deterioro casi irreversible de los acuíferos y la pérdida prematura de la inversión de capital asociado con la explotación indiscriminada de las aguas subterráneas es de tal magnitud que obliga a las naciones a implantar urgentemente algún tipo de control sobre la explotación de los acuíferos como un primer paso positivo en el manejo del recurso de aguas subterráneas.

CAPITULO 1

SOBREEXPLOTACION

El concepto de desarrollo de aguas subterráneas o sobreexplotación se emplea cuando se extrae una fracción significativa del recurso renovable de los acuíferos, que en consecuencia, modifica significativamente su régimen hidrogeológico. Y causa impactos ecológicos, políticos o sociales importantes.

El desarrollo del agua subterránea es progresivo y se vuelve más complejo a medida que se intensifica, cuando los beneficios deberían estar incrementándose y el conocimiento debería ir mejorando.

El uso intensivo del agua subterránea se está convirtiendo en una situación común en muchas áreas del mundo, especialmente en las áridas y semiáridas, en islas pequeñas y zonas costeras.

El desarrollo intensivo del agua subterránea o sobreexplotación produce efectos colaterales negativos como son: el descenso del nivel del agua subterránea, la desaparición de cuerpos de agua superficial y subterránea, aumento de salinidad del suelo, la pérdida de ecosistemas dependientes del agua subterránea, y el deterioro de la calidad del agua, además de la compresibilidad de acuíferos y la aceleración de la contaminación en ellos, entre otros.

En México, el desarrollo intensivo del agua subterránea configura un panorama que se caracteriza por presentar problemas de disponibilidad y calidad del agua.

Por la ubicación geográfica de México, sus climas y su topografía, el 56% del territorio comprende zonas muy áridas, áridas y semiáridas que dominan el norte y centro del país. El 37% es subhúmedo y se presenta en las sierras y en las planicies costeras del Pacífico, Golfo de México y el noreste de la Península de Yucatán. Las zonas húmedas, con sólo el 7% del territorio, se encuentran donde se inicia el ascenso a las sierras, además de una pequeña porción en la vertiente del Pacífico al sur del país.

El promedio anual de escurrimiento natural de agua superficial en México es de 397 Km³ (Programa Nacional Hidráulico 2001–2006), y debido a la variabilidad temporal y espacial de estos en el territorio, es imposible aprovecharlos en su totalidad.

En cuanto a aguas subterráneas se refiere, la recarga de los acuíferos es del orden de 75 Km³/año (Programa Nacional Hidráulico 2001–2006), de los cuales se estiman aprovechamientos por 28 km³/año. El volumen almacenado en los acuíferos del país es alrededor de 17,000 Km³ de agua, pero tiende a bajar hasta en un 50%, debido a que la mayor parte de esa agua subterránea no se aprovecha debido a su gran profundidad (mayores de 800 m) y a su mala calidad (Programa Nacional Hidráulico 2001–2006).

Del volumen extraído de aguas subterráneas aproximadamente el 66% se destina al riego de la producción agrícola. La tabla No. 1 muestra el número de acuíferos con los que cuenta cada estado de la República Mexicana y la cantidad en Mm³, que se extraen y se utilizan de estos.

Tabla 1. Muestra el número de acuíferos, extracción y uso que se le da al agua subterránea en algunos Estados de la República Mexicana.

Estados	Acuíferos	Agrícola	Extracción y uso (Mm ³)			Total
			Público	Doméstico	Industrial	
Coahuila de Zaragoza	22	394.9	159.4	29.9	72.1	656.3
Chihuahua	11	52.9	15.1	0	46.6	114.5
Distrito Federal	21	152.4	74.9	6	19	252.3
Durango	22	2 284.5	260.3	36.7	141.5	2 273.0
Guanajuato	35	20.1	75.9	0	1.5	97.5
Jalisco	5	119.9	448	31.3	71.8	671
Estado de México	22	715.9	278.5	13	68.9	1 076.3
Querétaro de Arteaga	5	47	99.2	0.4	3.7	150.3
Región Lagunera	8	783	108	18	41	950

Fuente, INEGI 2003

El 70% del volumen de agua que se suministra a las ciudades proviene del subsuelo, con lo que se abastecen aproximadamente 75 millones de personas (55 millones de los mayores centros urbanos y 20 millones del medio rural). El agua subterránea se ha convertido en un elemento indispensable en el suministro a los diferentes usuarios bien sea en las zonas áridas donde constituye la fuente de abastecimiento más importante y a menudo única o en las diferentes ciudades del territorio las cuales han tenido que recurrir a ella para cubrir sus crecientes requerimientos de agua.

Un balance nacional de aguas subterráneas resulta positivo en su conjunto, sin embargo, es engañoso ya que cubre situaciones críticas en muchos de los acuíferos principalmente en los sobreexplotados. En estos acuíferos sobreexplotados la recarga es de 9 Km³/año, y la extracción es de 14 Km³/año (Programa Nacional Hidráulico 2001–2006).

El problema sobre los acuíferos se incrementa debido a que, además de la extracción excesiva, los volúmenes de infiltración se reducen como resultado de la pérdida de zonas de recarga, a consecuencia de la deforestación y los cambios de uso de suelo.

El problema de la sobreexplotación de los acuíferos del país es cada vez más grave; en 1975 eran 32 los acuíferos sobreexplotados, número que se elevó a 36 en 1981, a 80 en 1985 y a 96 en el 2000.

El crecimiento acelerado de la población en México es la fuente principal de muchos problemas, ya que entre otros aspectos, implica un aumento en la demanda de agua. La tasa media anual del crecimiento de población, según INEGI, de 1980 – 1990, fue de 1.9%, la cual aumentó sensiblemente, de 1990 – 1995, a 2.1% anual, pero de 1995 – 2000 bajo a 1.9%, como se muestra en la Tabla No.2. Considerando la población actual que es de 97 483 412 habitantes, cada año hay cerca de 1.9 millones más de mexicanos que requieren alimentación, materias primas y servicios adicionales, lo que implica una demanda de agua muy significativa.

Tabla No.2 Donde se muestra la cantidad de población en algunos Estados de la República Mexicana y la tasa de crecimiento

Ciudad	Población			Tasa de crecimiento (%)	
	1990	1995	2000	1990 - 1995	1995 - 2000
Ciudad de México	15 226 800	16 898 316	17 942 172	1.9	1.4
Toluca	825 163	992 081	1 151 651	3.3	3.5
Querétaro	555 491	679 757	787 341	3.6	3.5
Guadalajara	2 987 194	3 461 819	3 677 531	2.6	1.4
León	951 521	1 139 401	1 235 081	3.2	1.9
Torreón	878 287	958 886	1 007 291	1.6	1.2
Monterrey	2 573 527	2 988 081	3 243 466	2.7	1.9

Fuente: INEGI,2003

Por otro lado, el incremento en la demanda de agua de las ciudades es cada vez más difícil de satisfacer y está generando serios problemas de sobreexplotación. Estos se agravan en ocasiones por la ocurrencia de asentamientos diferenciales y agrietamientos del terreno, que a su vez provocan daños en la infraestructura urbana.

El desarrollo a futuro de las regiones afectadas por la sobreexplotación de acuíferos es limitado y se agravará aun más de persistir la tendencia climática de los últimos años, caracterizada por condiciones extremas que incluyen sequías más severas, prolongadas y frecuentes, las cuales tendrán un impacto negativo sobre la disponibilidad de agua superficial y la recarga de los acuíferos.

En un número cada vez mayor de regiones la reserva almacenada en el subsuelo será la principal y en ocasiones única fuente de agua para los diversos usos, por lo que los acuíferos se convertirán en un recurso patrimonial estratégico, que debe ser manejado y administrado en forma muy eficiente para asegurar el desarrollo del país.

Ejemplos de Ciudades que presentan el problema de explotación.

El estado de Sonora se caracteriza por su aridez, debida a las escasas precipitaciones (media de 350 mm/año) y a las altas evaporaciones. Aunado a este panorama, se cuenta con una escasa presencia de cauces superficiales, por lo anterior, la explotación del agua subterránea, se ha convertido en un medio esencial para el desarrollo del estado.

El desarrollo de los distritos de riego a partir de 1950, trae consigo la perforación de un gran número de pozos, cuyas extracciones rebasan en gran medida la recarga natural de los acuíferos. En 1965, se detectan los primeros problemas de abatimiento de los niveles estáticos y la presencia de intrusión salina en las costas.

Por sus características fisiográficas, se distinguen dos grupos de acuíferos: los costeros y los intermontanos. Entre los primeros tenemos los valles de San Luis Río Colorado, Sonora, Caborca, Costa de Hermosillo, Guaymas, Yaqui y Mayo; entre los segundos están los acuíferos de Magdalena, Río Sonora, Moctezuma, Bavispe, Sahuaripa, San Bernardino y Cuchujaqui, por mencionar algunos.

Estos acuíferos están clasificados en 41 zonas Geohidrológicas, explotadas aproximadamente por 16,500 aprovechamientos, que pueden ser pozos profundos o norias. De acuerdo con estimaciones, la recarga total a los acuíferos del estado es de 2,556 Mm³/año. La sobreexplotación se da a consecuencia de industrias agroquímicas y mineras.

Otro estado con problemas de sobreexplotación es Chihuahua, el abastecimiento de agua potable en Ciudad Juárez, depende exclusivamente de agua del acuífero llamado El Bolsón del Hueco, este aprovechamiento subterráneo, se encuentra en condiciones de sobreexplotación desde hace varios años, los 145,450,081 m³ para el año 1980 solo alcanzaron para abastecer a Ciudad Juárez y en el año de 2001 el sistema cuenta con 142 pozos profundos con un gasto promedio de 42 litros/seg., se tienen 30 rebombes y 29 tanques de regulación.

Estos pozos, tanques y rebombes, se encuentran diseminados en toda el área urbana de Ciudad Juárez. Los volúmenes de extracción mensual en el año 2001 son del orden de 14.000,000 m³ en los meses de verano y del orden de 9.000,000 m³ en los meses de invierno.

Uno más de los estados que no se escapa a la sobreexplotación es Tlaxcala, ya que los acuíferos de Atoyac-Zahuapan, Huamantla y Soltepec, han mostrado signos de sobreexplotación, en el primero de ellos se han presentado abatimientos del orden de 20 a 85 cm/año. El segundo el acuífero de Huamantla presenta abatimientos del orden de 50 – 80 cm/año. En el acuífero de Soltepec los descensos de sus niveles aun no son de importancia, sin embargo es necesario aplicar una buena administración de los recursos para no llegar a los mismos problemas.

Finalmente no se puede dejar de mencionar la sobreexplotación que sufre el acuífero del Valle de México, el cual abastece a los 17,942,172 habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México. Este suministro se hace a través de 2,746 pozos, de los cuales se extraen 46 m³/seg ,aunados a las aportaciones del sistema Cutzamala (10.6 m³/seg) y del aprovechamiento de pozos de la zona de Lerma. (AIC; et al .,1995)

Los niveles de este acuífero se abaten en 1m/año, al extraerse entre el 30% y 65% mas de agua que la que se recibe como recarga. Las consecuencias negativas de la sobreexplotación del acuífero local, han obligado a buscar fuentes adicionales cada vez más alejadas: primero Lerma, luego Cutzamala y finalmente se buscan convencer a la población de Temascaltepec y en el futuro se buscaran cuencas cada vez más alejadas.

Los acuíferos anteriormente descritos son parte del centenar que en nuestro país son considerados por la CNA como sobreexplotados. El problema no parecería tan grave de no ser que el 50% del agua subterránea que se extrae en el territorio nacional proviene de ese centenar de mantos que se agotan y contaminan, resultado del crecimiento demográfico, expansión industrial y la escasa o nula cultura de cuidado y uso racional del agua.

CAPITULO 2

EFFECTOS DIRECTOS DE LA SOBREEXPLOTACIÓN

El término sobreexplotación se ha vuelto común y quiere decir que el agua que se extrae de los acuíferos es mayor que la que ingresa por concepto de recarga; es decir, existe una diferencia que ocasiona la disminución del agua almacenada en el acuífero.

La disminución de agua superficial y/o subterránea trae consigo una serie de factores asociados como son la desaparición de cuerpos de agua, ensalitración del suelo, pérdida de vegetación, decremento en la calidad del agua y contaminación. Los cuales afectan directa o indirectamente a la humanidad siendo ella misma la causante de la sobreexplotación.

Los efectos de una sobreexplotación son, a corto y hasta mediano plazo, lentos y poco espectaculares, pero una vez que se manifiestan, la situación del acuífero suele ser ya crítica, en extremo difícil y costoso de remediar.

2.1 Descenso del nivel de aguas subterráneas

El primer efecto en los acuíferos a causa de la sobreexplotación es el descenso del nivel de almacenamiento (sólo cuando la recarga es menor que la descarga), que en su fase inicial es imperceptible (Figura No. 1). Los efectos colaterales son: agotamiento de norias y pozos de profundidades reducidas, disminución de caudales de extracción, paulatina desaparición de cuerpos de agua superficial, ensalitramiento del suelo, afectación irreversible a la flora y fauna, reposición de pozos afectados y mayores costos en el uso de energía eléctrica para elevar el agua desde profundidades mayores.

Un ejemplo de sobreexplotación, es el del abastecimiento de la Ciudad de México, lo cual dio lugar al descenso continuo de sus niveles, el cual se puede atribuir no solamente a la explotación intensiva o sobreexplotación de las aguas subterráneas, sino también a la falta de recarga de los acuíferos, ya sea por los periodos largos de sequía o por la expansión poblacional en las zonas de recarga.

Como consecuencia, desaparecieron los manantiales de Xochimilco y Tepepan, entre los principales y hay subsidencia en muchas localidades de la ciudad.

Otro ejemplo es el del Valle de Querétaro en donde existen actualmente 492 pozos con profundidades de perforación que oscilan entre los 150 y 500 metros. Los volúmenes de extracción han ocasionado que los niveles del agua subterránea se encuentren en la actualidad entre los 100 y 105 metros de profundidad, cuando en 1970 éstos se encontraban a menos de 30 metros (Macías y Arroyo,1995). Para el año de 1995 la velocidad de abatimiento del nivel del agua subterránea es en este valle de tres metros por año en promedio y de diez metros en algunas zonas dentro de la zona industrial (Macías y Arroyo).

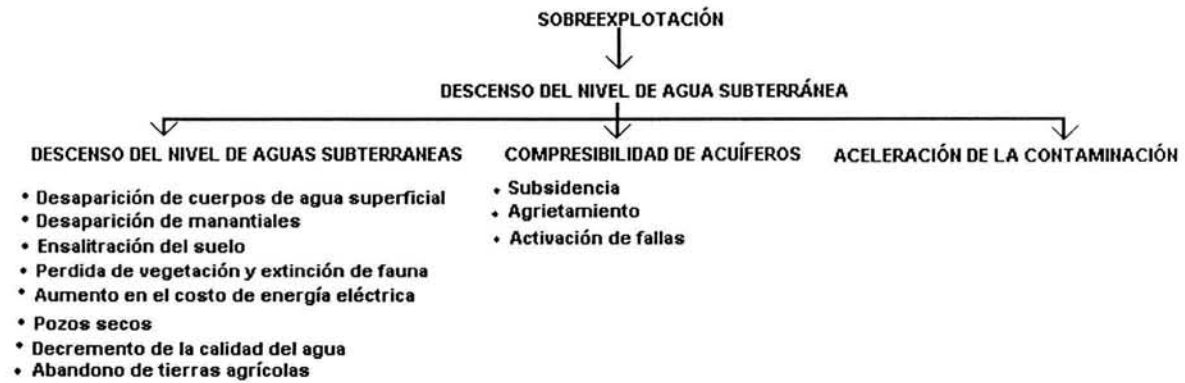


Figura No.1. Organigrama que muestra los efectos de la sobreexplotación

2.1.1 Desaparición de cuerpos de agua superficial

El segundo de los efectos de la sobreexplotación lo constituye la afectación del flujo base en los ríos (siempre y cuando el Río es afluente). El flujo base en los ríos es mantenido por la aportación de los mantos acuíferos hacia ellos. Al sobreexplotar los acuíferos, bajan los niveles piezométricos lo que provoca que la aportación de las aguas subterráneas hacia los ríos se reduzca disminuyendo el flujo base.

Un ejemplo es el río Santiago, que es drenaje natural del lago de Chapala, y que a partir de 1959 se vio disminuido su gasto de 100 a 30 m³/s consecuencia de la sobreexplotación en la ciudad de Guadalajara (figura No.2).

Figura No. 2. Imagen de satélite que muestra la trayectoria del Río Santiago y su desembocadura en el Océano Pacífico .



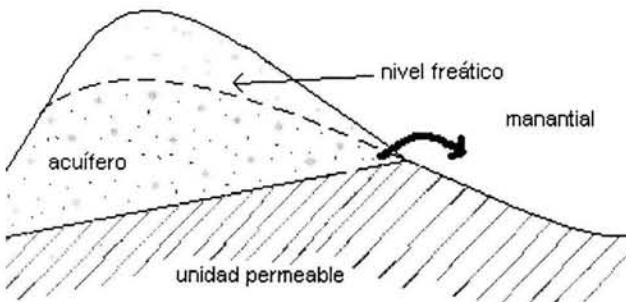
Fuente los amigos del lago.com

2.1.2 Desaparición de manantiales

El tercer efecto de la sobreexplotación sería el agotamiento de manantiales (figura No.3 y 4) que es uno de los efectos casi inmediatos causados por el abatimiento de niveles al sobreexplotar un acuífero. Ya que los manantiales se originan en el contacto de la superficie del terreno con la superficie piezométrica, al abatirse esta última, el manantial desaparece.

Sobreexplotación de manantiales

Manifestación habitual de manantiales



Manifestación de manantial sobreexplotado

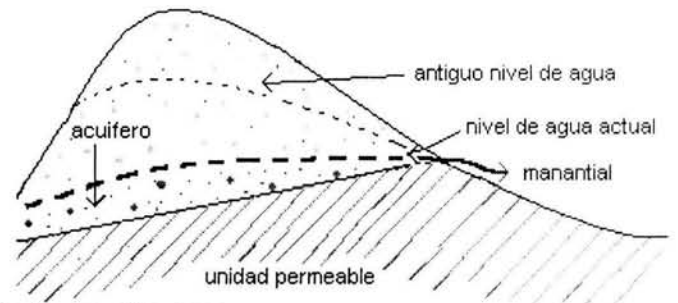


Figura No. 3 Manifestación habitual de un manantial sin explotación de agua subterránea

Figura No. 4 Manifestación de un manantial con características de sobreexplotación de aguas subterráneas

Otro ejemplo de la sobreexplotación del acuífero de la Cuenca Alta del Río Lerma que produjo una disminución del nivel freático, que se tradujo en la desecación de las lagunas y que implica una disminución en su escurrimiento base. Pero también las márgenes del río, las norias y manantiales presentan disminuciones en sus niveles; el caso del manantial de Alférez ilustra este efecto. El manantial se localizaba en las cercanías de Jalatlaco y de Santiago Tilapa, y proporcionaba un gasto de $0.1 \text{ m}^3/\text{seg}$. (SDUOP,1983); al disminuir su capacidad de abastecimiento debió afectar las condiciones de vida de los lugareños. El caso de las norias, de un uso mucho más restringido que los manantiales, pero en cambio mucho más próximas a las necesidades domésticas, puede interpretarse como una alteración de los pequeños suministros en las viviendas que en poco tiempo se traducen en obras de infraestructura.

Otro ejemplo es en el Valle de Matatipac, Tepic, Nayarit; se disponía de 50 manantiales y ahora sólo quedan tres Acayapan, Balsedeño y Caja del Agua, gracias al excesivo consumo de agua, a la cubierta de cemento y asfalto, a la deforestación y a la contaminación de los ríos, el líquido vital se torna más escaso.

Otro problema relacionado con la disminución de los niveles del agua en el subsuelo es que al perder éste humedad, la vegetación es afectada hasta llegar incluso a desaparecer. Al desaparecer la vegetación quedan los suelos expuestos a los agentes erosivos, mismos que no solo los degradan, sino que además se producen tolvaneras que afectan la calidad del aire, llegando inclusive a modificarse la fauna vinculada con dicha vegetación. Estos efectos aunados a la disminución del volumen almacenado en lagos y lagunas afectan severamente a la ecología de la zona.

2.1.3 Ensalitración del suelo

El cuarto efecto de la sobreexplotación es la ensalitración que es un proceso complejo que incluye aspectos climatológicos, geológicos, geomorfológicos y ecológicos. Es una evolución del paisaje hacia situaciones periódicas o permanentes de carencia de agua. Además de cambiar el régimen hídrico, la ensalitración genera procesos erosivos al nivel de los suelos. Enormes cantidades de sedimentos son removidos y transportados aguas abajo, depositándose en las llanuras aluviales, en los lagos y en las zonas oceánicas contiguas a las desembocaduras de los ríos. Una vez que la vegetación desaparece y los suelos son erosionados, se produce un cambio microclimático e incluso climático regional que ya no puede regresarse a la situación original.

Otro ejemplo es el que se presenta en el valle de Mexicali a causa de la sequía y una deficiente planificación en las obras de riego, que al exigir grandes demandas de agua, se sobreexplotan los acuíferos, comenzando su agotamiento, y teniendo consecuencias graves para el suelo, aunado al incremento de la salinidad del río Colorado, ha provocado que cerca de 200 000 hectáreas de tierras cultivables estén dañadas por las grandes cantidades de sales que permanecen en el suelo una vez que el agua se ha evaporado o infiltrado.

2.1.4 Pérdida de vegetación y extinción de fauna

La cobertura vegetal es fundamental para mantener el equilibrio hidrológico. Su alteración afecta el ciclo de lluvias y modifica negativamente la función de las zonas de recarga de acuíferos, así como la capacidad para retardar el escurrimiento.

La cubierta vegetal en una localización determinada puede estar afectada, directa o indirectamente, e incluso controlada totalmente por el flujo de agua subterránea, a través de los contenidos de humedad del suelo y de su salinidad. Tanto el tipo como la calidad de las plantas son muy sensibles a las condiciones locales del flujo subterráneo. Como muchas plantas toleran un cierto rango de humedad y salinidad, son las asociaciones y no las especies individuales las que reflejan el esquema de flujo subterráneo. Los tipos principales de plantas que reflejan condiciones muy secas, medias y húmedas reciben respectivamente el nombre de xenofitas, mesofitas y freatofitas. Las plantas que toleran alta salinidad reciben el nombre de halofitas.

Las plantas perennes o comúnmente llamadas árboles gotean agua, y su hábitat se ve rodeado de orquídeas, musgos, helechos, insectos, pájaros, lagartijas, y demás especies de plantas y animales. Los bosques actúan a modo de esponjas, captando agua de las nubes cuando entran en contacto con la vegetación y nutren de agua a todas las especies que viven en ellos, constituyendo una prioridad para la conservación de la biodiversidad.

Los bosques son afectados por la falta de agua a causa de las sequías y la más importante por la disminución de cauce de ríos, lagos y manantiales generalmente consecuencia de la sobreexplotación en los poblados cercanos o por las grandes ciudades, como puede ser el caso de la rivera del río Lerma, el lago de Texcoco y los manantiales del Peñón de los Baños y Chapultepec entre otros. Cuando los bosques desaparecen, ya no quedan plantas para captar el agua. Tampoco pueden actuar como protección entre la superficie del suelo y el impacto de las fuertes lluvias torrenciales, con la consecuencia de la seria erosión de los suelos.

Lamentablemente la tala y su degradación son cada vez más frecuentes, sumándole las malas prácticas agrícolas que apoyan a que las áreas boscosas sean deforestadas, causando la extinción de especies que necesitan agua para sobrevivir y ayudando a que los efectos de la sobreexplotación sean más rápidos y extensos.

Según el Programa Nacional Hidráulico 2001 – 2006, en el marco de la Cruzada Nacional por los Bosques y el Agua, se destaca que la deforestación afecta alrededor de 600 000 hectáreas anuales. El 64% de las tierras agropecuarias y forestales ha sido dañado por erosión y otros procesos de degradación, y 20 millones de hectáreas de suelo han perdido entre el 40 y el 60% de su capacidad para retener agua.

Si se reconoce la estrecha relación de interdependencia dentro del binomio bosque – agua, podrá entenderse la importancia que tiene mantener el equilibrio de esta relación para la conservación de la biodiversidad. De las 110 regiones hidrológicas prioritarias por su diversidad, identificadas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO), 75 de ellas poseen alta riqueza biológica. Un número similar de estas regiones presenta desequilibrios, cuyas causas se asocian, entre otras, con la explotación y contaminación de los recursos hidráulicos. De aquí la importancia de resaltar esta visión dentro de la planeación y programación de su manejo (Programa Nacional Hidráulico 2001-2006)

La cuenca del río Bravo ejemplifica este hecho. A partir de información recolectada durante 138 años se podía apreciar la existencia de dos ictiofaunas. Una de ellas se localizaba en la cuenca alta y estaba compuesta principalmente por especies estrictamente dulceacuícolas. La otra se encontraba en la cuenca baja y estaba formada por una mezcla de elementos de agua dulce y estuarios. Recientemente (2000), se han detectado serias alteraciones en la composición de estas poblaciones. La fauna de la cuenca alta aparentemente ha perdido muchos de sus componentes, sus poblaciones son menos abundantes y las especies nativas están siendo remplazadas por especies exóticas y estuarinas.

Por otra parte, la fauna de la cuenca baja parece tener menos número de especies dulceacuícolas las cuales están siendo remplazadas por especies estuarinas y marinas. Estos cambios están relacionados con la disminución del volumen del río y el incremento de la contaminación, lo que ha resultado en una salinización del agua (Edwards y Contreras – Balderas, 1991)

La consecuencia de la pérdida de vegetación y la extinción de fauna, tarde o temprano afecta a las comunidades, ya que al sobreexplotar los bosques y el agua subterránea y superficial, afectan su modo de vida que puede estar basado en la pesca, caza y extracción de fauna y flora tanto acuáticas y /o terrestres. Por lo que las personas que habitan estas comunidades se ven en la necesidad de abandonar sus tierras y emigrar a las grandes ciudades.

2.1.5 Pérdida de suelo por erosión

Factores que afectan la infiltración (erosión, escurrimiento y sedimentación)

La erosión es un término general que describe la desintegración física, la solución química y el transporte de los materiales de rocas fragmentadas, así como los disueltos, de un lugar a otro en la superficie de la Tierra (Robinson, 1990).

La lluvia tiene un efecto a través del impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo, y por el propio humedecimiento del suelo, provocando desagregación de las partículas primarias; provocando también transporte de partículas por aspersion y proporciona energía al agua de escurrimiento superficial (Ellison, 1947). Como consecuencia de la desagregación(*) se produce un sello superficial que disminuye sustancialmente la capacidad de infiltración del suelo al agua de lluvia (Duley, 1987; Ellison, 1947).

De acuerdo a la intensidad y la cantidad de lluvia, tipo de suelo y grado de protección de la superficie se producirá erosión hídrica de distinta gravedad.

Así se encuentra la erosión laminar, que es la de menos gravedad pero también importante, en donde el suelo se va perdiendo en forma de capas delgadas. Luego puede aparecer la erosión digital, en forma de los dedos de una mano, donde el agua que escurre desde las lomas altas a partes bajas en donde es capaz de cortar el suelo y formar pequeños surcos de menos de 5-10 cm de profundidad. Por último, la forma más grave de erosión lo constituye la formación de surcos y canales profundos, llamados cárcavas. Estas cárcavas pueden tener varios metros de ancho y de profundidad, formando pequeños arroyos.

La erosión actúa de manera selectiva, arrastrando las partículas más finas y más reactivas del suelo (arcilla y materia orgánica) y dejando las partículas más gruesas, pesadas y menos reactivas. De esta manera la erosión provoca una disminución de la concentración de nutrientes en el suelo degradado (Stocking, 1984).

La degradación del suelo, junto con los cambios en las propiedades de éste a consecuencia de la erosión, al final, provoca la reducción de la productividad del suelo y alteraciones en el nivel de fertilidad, afectando consecuentemente su capacidad de sostener una agricultura productiva.

En la actualidad se consideran dos tipos de erosión: erosión natural y erosión causada por el hombre. La erosión natural es difícil de manejar pero se pueden establecer controles. La erosión causada por el hombre se puede controlar e incluso evitar en la mayor parte de los casos.

Desagregación: separación de las diferentes partes de un mineral o roca producida por la descomposición a que dan lugar los agentes atmosféricos y las reacciones químicas

Como daños asociados con el desarrollo urbano, se mencionan los siguientes:

- Cambios en los patrones de drenaje debido a la nivelación del terreno, construcción de carreteras y otras estructuras.
- Aumento en la impermeabilidad del terreno debido a la pavimentación y eliminación de la foresta, dificultando la filtración de agua hacia los acuíferos
- Aumento en el volumen de erosión, sedimentación y escurrimiento, ya que al mover la capa natural del terreno para construir o sembrar hay menos filtración de agua, aumentando el escurrimiento y la erosión, consecuentemente la cantidad de sedimento llevado a nuestros cuerpos de agua será mayor
- En muchos casos no se toma en cuenta el patrón del escurrimiento y en época de lluvias, este error hace que los terrenos pierdan su capa fértil, ocasionando un aumento en la sedimentación.
- La industria de la construcción se ha convertido en una de las principales fuentes de erosión y contaminación de nuestras aguas superficiales y subterráneas, ya que impide la retención e infiltración del agua de lluvia la cual sólo escurre y no se recarga el acuífero. Como ejemplo tenemos: El Ajusco, La Sierra de las Cruces y La sierra de Guadalupe entre otros.
- Según pasa el tiempo más y más terreno son utilizados para urbanizar, donde no se lleva un control de la erosión, sedimentación y escurrimiento. La técnica más común en el inicio de una construcción es la deforestación total del área y muchas veces eliminar el control natural de los terrenos. Los terrenos deforestados quedan expuestos a la acción directa de la lluvia y el aire, pasando a formar parte de la masa de sedimentos que llegan a los cuerpos de agua con las primeras lluvias por lo que no se tiene retención e infiltración de agua al subsuelo.
- Otra práctica agrícola que trae problemas de erosión es el pastoreo descontrolado en terrenos de áreas ganaderas. Debido a esta práctica muchos terrenos pierden toda la protección que brinda la vida vegetal y queda a merced de las lluvias y por consiguiente a la erosión.
- La extracción de materiales de la corteza terrestre por sí misma, es un tipo de erosión particular causada por el hombre de manera drástica, pero permite infiltración en casos de canteras.
- Una vez que la vegetación desaparece y los suelos son erosionados, aumentan las temperaturas teniendo lugar un cambio climático, por un lado se tiene un clima con periodos de sequía más largos, y por otro lado las

precipitaciones parecen ser que no tienden a disminuir sino a concentrarse en periodos cada vez más cortos de tiempo. Si esta tendencia sigue la erosión puede aumentar por las lluvias torrenciales sobre suelos a causa de las sequías

- Obras públicas poco conservadoras del medio ambiente, las actividades mineras poco cuidadosas y actividades petroleras descuidadas pueden causar que la erosión aumente al quedar los suelos desprovistos de parte de la vegetación y humedad que los cohesionan. Además de que el escurrimiento e infiltración puede llevar consigo una gran cantidad de contaminantes resultado de estas actividades poco cuidadosas y consecuentemente afectar a los acuíferos más cercanos

Todos estos fenómenos van a dañar tarde o temprano a los acuíferos por que si presenta una fuerte erosión y escurrimiento, no se tendrá el material suficiente para retener el agua de lluvia, consecuentemente no habrá infiltración y no se podrán recargar y preservar los acuíferos, solo habrá un escurrimiento abundante que llenará de sedimentos los cuerpos de agua superficial y se verá afectado una parte del ciclo hidrológico el cual posteriormente puede afectar al planeta.

Efectos indeseables de la erosión para la preservación de acuíferos:

La pérdida de recursos hídricos: La presencia de las plantas y las primeras capas del suelo son imprescindibles para que el agua de las precipitaciones se infiltre y recargue los acuíferos. Por tanto, un aumento de la erosión significa siempre una disminución en la recarga de los acuíferos y un riesgo para todos aquellos que se abastezcan de dichos acuíferos. Por otro lado la modificación que esto supone para los ciclos hidrológicos y climáticos puede suponer graves alteraciones de estos en el futuro.

El crecimiento de los desiertos es uno de los problemas ambientales que más preocupan a los científicos, gobernantes y ciudadanos. Por que una vez que ha alcanzado el punto culminante de su evolución es prácticamente irreversible, conseguir que un desierto vuelva a ser suelo fértil, es una tarea de siglos o milenios. En cambio conseguir que los suelos fértiles se vuelvan áridos cuesta muy poco, basta una lluvia no excesivamente fuerte sobre una ladera desprovista de vegetación para que el proceso de la erosión se inicie.

Escurrecimiento: Parte de la precipitación que fluye bajo la acción de la gravedad por la superficie del terreno (escurrecimiento superficial). El escurrecimiento superficial es igual a precipitación menos la evapotranspiración, la retención superficial y la infiltración (paso por movimiento del agua a través de la superficie del suelo) (Davis y de Weist, Hidrogeología, Ed. Ariel, 1971).

El escurrimiento superficial es una función de la intensidad y duración de la precipitación, permeabilidad o conductividad hidráulica de la superficie del suelo, tipo y extensión de la vegetación, área de la cuenca de captación, geometría de los cauces, profundidad de la superficie freática y pendiente del terreno.

Parte del agua que se infiltra en el suelo continúa fluyendo lateralmente a pequeñas profundidades debido a la presencia de horizontes relativamente impermeables situados muy cerca de la superficie del suelo, alcanzando de este modo los cauces de los ríos sin haber sufrido una infiltración profunda. Otra parte de esta agua es infiltrada hacia la zona de saturación de las aguas subterráneas las cuales fluyen hasta que eventualmente alcanzan la red hidrográfica (cuando comienza el escurrimiento hacia la cuenca) para suministrar el caudal base de los ríos. Existe otra porción del agua infiltrada que no llega a alcanzar el nivel de saturación de las aguas subterráneas y queda retenida en la zona saturada por encima del nivel freático (Peña, 2000)

El flujo base en los ríos es mantenido por la aportación de los mantos acuíferos hacia ellos. Al sobreexplotar los acuíferos, bajan los niveles piezométricos lo que provoca que la aportación de las aguas subterráneas hacia los ríos se reduzca disminuyendo los escurrimientos, sobre todo en época de estiaje, y dando como resultado que solo lleven agua en época de lluvias.

La disminución del caudal de los ríos, trae consigo un agotamiento del agua que abastece a las comunidades, por lo que se tienen que sustituir por otras.

Sedimentación: Fragmentos de roca no cementados y granos minerales derivados de las rocas, que han sido transportados; materia orgánica o mineral depositada por el agua, el aire o el hielo (Robinson, 1990).

Es el proceso mediante el cual se mezclan con el agua partículas desprendidas del terreno, partículas de superficie pavimentada y partículas de desechos de actividad humana; y se depositan en los cuerpos de agua (Brooks et al., 1997)

La sedimentación tiene efectos dañinos en las aguas superficiales cuando se trata de sedimentos cargados con sustancias tóxicas o cuando hay una alta densidad de partículas como resultado de la erosión del terreno. Interponiéndose a la penetración de la luz solar al agua y reduce la cantidad de oxígeno disuelto poniendo en peligro la vida de los organismos acuáticos. Muchos de éstos organismos vivos son de vital importancia en la eliminación de desperdicios suspendidos en el agua aumentando la calidad de la misma.

Muchos sedimentos cargan consigo sustancias tóxicas, tales como pesticidas arrastrados por el escurrimiento de áreas agrícolas y tóxicos industriales. Estos tóxicos llegan hasta abastos de agua potable poniendo en peligro la salud de personas. Aunque esta agua pase por un proceso de filtración la presencia de mayor cantidad de sedimentos tóxicos aumenta la probabilidad de que estos puedan llegar hasta los hogares.

En cuanto a aguas subterráneas se refiere, como ya se mencionó anteriormente los sedimentos arrastran consigo sustancias tóxicas, las cuales contaminan este tipo de agua por lixiviación y traen consigo un grave daño a los acuíferos. Por lo que se han realizado estudios para conocer la interacción entre sedimentos y contaminantes, esto de acuerdo a la porosidad efectiva de los sedimentos, la capacidad de difusión y la interacción de ésta con los contaminantes, y el resultado es la composición química de los fluidos en los poros.

Para garantizar la preservación de agua subterráneas, es necesario establecer una relación de equilibrio entre la explotación y la recarga de los acuíferos. Para ello es importante comprender que la recarga natural ocurre a partir de la infiltración de las aguas de lluvia que escurren al acuífero. La infiltración se puede ver afectada por el tipo del uso del suelo, ya que determina el grado de afectación a la permeabilidad, y por tanto, a la capacidad de infiltración en los sedimentos.

Otros factores que impiden la infiltración del agua en los sedimentos son la basura, desechos, materiales, sustancias tóxicas y lodos producto del tratamiento de aguas residuales, por lo que se deben formular y seguir programas integrales para prevenir que estos factores dañen a estos recursos hídricos y no se vea reducida su disponibilidad, consecuentemente se protejan los ecosistemas relacionados a ellos.

2.1.6 Aumento en el costo de energía

La generación de energía también puede ser un factor de utilización excesiva o inapropiada del agua.

La utilización del agua para la generación de electricidad se emplea de dos maneras: en los procesos de enfriamiento de las centrales termoeléctricas y en presas de almacenamiento o de derivación para centrales hidroeléctricas.

Las centrales termoeléctricas en México generan 80% de la energía producida en el país y las hidroeléctricas el 20% restante, mediante la utilización de 143.2 km³ de agua. Esta industria demanda grandes volúmenes de agua, sin embargo no representa un insumo real del recurso, ya que su consumo es mínimo.

Las plantas termoeléctricas consumen agua debido a la evaporación que se da durante su enfriamiento; en ellas se presentan problemas de contaminación del líquido con sales acumuladas en los sistemas cerrados de recirculación del agua, descarga de agua con temperaturas elevadas, problemas de sedimentación y cambios drásticos en el volumen del cuerpo de agua, los cuales pueden afectar los ecosistemas acuáticos receptores.

En el caso de las centrales hidroeléctricas, los problemas de abastecimiento más frecuentes se presentan sólo cuando otros usos, como el riego, requieren agua en los momentos en que las demandas de energía son mayores (horas-pico), o cuando efectos de escasez, de temporal o de sequía disminuyen los niveles de las presas (SEMARNAP).

A pesar de los problemas ambientales relacionados con el uso del agua para la generación de energía eléctrica, el Estado se ve en la necesidad de construir sistemas de grandes presas que por un lado permitirán aprovechar las aguas para la generación de energía, para riego e incluso para fines recreativos y, por el otro, controlar las inundaciones y desecar los humedales que representan áreas con uso agropecuario potencial. Los efectos negativos sobre los suelos provocan grandes desajustes en el ciclo del agua. Las tierras al inundarse, se fertilizan gracias a los aluviones que anualmente bañan las planicies. Una vez que pasan los efectos destructivos, proporcionan excelentes cosechas para los campesinos (Sánchez et al., 1989).

Al cierre del mes de marzo de 2003 la Comisión Federal de Electricidad (CFE), incluyendo productores externos de energía, cuenta con la capacidad efectiva instalada para generar energía eléctrica de 40,354.24 megawatts (MW), de los cuales 9,378.82 MW son de hidroeléctricas, 26,160.46 MW corresponden a las termoeléctricas que consumen hidrocarburos; 2,600.00 MW a carboeléctricas; 847.90 MW a geotermoeléctricas; 1,364.88 MW a las nucleoeeléctricas y 2.18 MW a la eoloeléctrica (CFE, 2003).

Aunque las cifras del uso de agua en termoeléctricas revisten poca importancia en comparación con los industriales totales, la instalación de centrales de ese tipo genera puntualmente conflictos en la competencia por agua. Este es el caso, por ejemplo, de las grandes centrales de Villa de Reyes en San Luis Potosí, Río Escondido y Carbón II en Coahuila y de la Región Lagunera.

La actividad industrial en el país se concentra en sitios donde el recurso hídrico es escaso, con el fin de aprovechar economías de escala, abundancia de mano de obra y otras ventajas comparativas, lo que ha resultado en la sobreexplotación de los acuíferos, contaminación de ecosistemas, altos costos de disponibilidad del agua y conflictos por el uso y explotación del recurso.

El uso industrial del agua se refiere, de acuerdo al Programa Nacional Hidráulico 2001-2006, al recurso empleado por las industrias que se abastecen directamente de los cuerpos de agua y descargan a cuerpos receptores. El volumen anual de agua suministrada a la industria durante 2002 fuera de zonas urbanas, fue de 59.69% del total de la energía generada por la CFE. El suministro para este uso proviene principalmente del agua subterránea (75%), y el 25% restante, de fuentes superficiales.

Es evidente que en el país, el aumento en la concentración de industrias en determinadas localidades ha tenido costos muy altos y un efecto negativo sobre el medio ambiente. La Comisión Nacional del Agua (CNA) estima una demanda para la industria de 3 Km³/año o 95 m³/seg para el año 2020. Esto obliga a plantearse un mejor aprovechamiento del recurso, reubicando industrias situadas en zonas críticas o adicionarles sistemas anticontaminantes específicos para cada tipo de efluente y plantas de tratamiento de agua, y mejorar el control de las pérdidas en los sistemas de almacenamiento y distribución.

2.1.7 Pozos secos

Otro efecto de la sobreexplotación es cuando los niveles piezométricos disminuyen mucho, que los pozos se secan o se vuelven obsoletos, ya que el nivel del agua puede quedar por debajo de la perforación del pozo provocando el abandono de éste, o requiriendo hacer más profunda la perforación y cambiar el equipo de bombeo.

No siempre se considera a un pozo seco cuando el nivel estático está por debajo de la perforación, sino que se considera que este ya no trabaje eficientemente cuando la profundidad es menor a $\frac{2}{3}$ partes de la profundidad del diseño del pozo y no tenga un funcionamiento adecuado. Se considera que la eficiencia de un pozo trabajando bajo estas condiciones es muy baja, y no resulta rentable.

En Saltillo, Coahuila ocho de los 66 pozos que dejó en operación el Sistema Municipal de Aguas y Saneamiento de Saltillo (SIMAS) se han secado en el último año y medio a causa de la sobreexplotación de los pozos, principalmente los ubicados en los acuíferos de Carneros, Zapalinamé y Loma Alta.

2.1.8 Decremento en la calidad del agua

En algunos acuíferos a mayor profundidad se tienen aguas con mayor tiempo de residencia, las cuales necesariamente son de menor calidad, ya que han disuelto elementos de las rocas que contaminan el agua, y al bombear a más profundidad se empieza a extraer agua contaminada que en muchos casos no puede ser utilizada como agua potable.

En función de las actividades de la población el agua superficial, presenta concentraciones variables de uno o más contaminantes y hace inminente el riesgo de contaminación de los acuíferos; la materia orgánica, los detergentes y los metales pesados, son los contaminantes predominantes del agua superficial y subterránea. La contaminación del agua de un acuífero también se puede deber a la migración de aguas de acuíferos vecinos con mala calidad por el cambio en el flujo subterráneo.

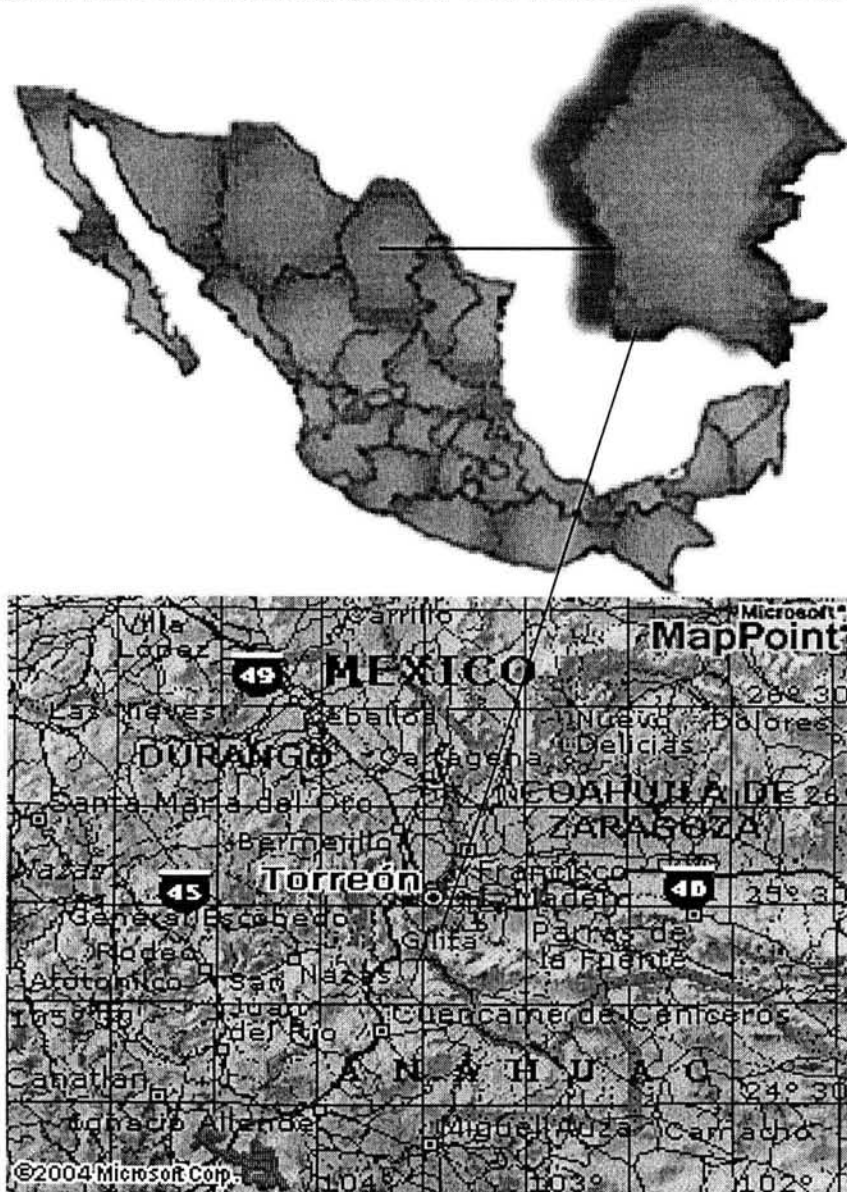
Con el incremento de la profundidad, hay una tendencia creciente hacia la compactación y consolidación de los sedimentos y hacia la disminución de la capacidad de almacenamiento y la conductividad hidráulica. Esto se traduce generalmente en una mayor mineralización del agua. Por esta razón, y debido a los costos crecientes con la profundidad, la mayoría de los acuíferos profundos resultan inadecuados para el suministro de agua en zonas de alto consumo.

En muchos casos el problema se complica con procesos de contaminación como consecuencia de la sobreexplotación. Un ejemplo es la conurbación de Torreón, Gómez Palacio y Ciudad Lerdo, donde las aguas subterráneas están contaminadas con arsénico, cuya concentración tiende a aumentar por la sobreexplotación del acuífero.

2.1.8.1 Caso Comarca Lagunera, deterioro de la calidad del agua con la profundidad

En el caso de la Región Lagunera, el efecto inmediato de la sobreexplotación fue el descenso progresivo de los niveles del agua subterránea, que ha continuado hasta la fecha, el mayor abatimiento ocurre en los sectores agrícolas de Francisco. I. Madero y Matamoros, así como en la zona conurbana de Torreón. Consecuentemente, ahora los niveles estáticos del agua se detectan a profundidades de 50 a 130 m en la misma área.

Figura No.5, Muestra la ubicación geográfica de Torreón, Coahuila, Durango y el Río Nazas..



La calidad natural del agua en el acuífero principal presenta fuertes variaciones en el área. La salinidad total varía entre 500 y más de 3000 ppm de sólidos totales disueltos. El agua de mejor calidad se encuentra en la faja fluvial del río Nazas, en el área llamada "La Burbuja", que es de vital importancia por ser la fuente que suministra casi la totalidad del agua destinada a consumo humano. Respecto a la contaminación por arsénico, se sabe que de 1992 a 1999 existe un incremento de arsénico en áreas vecinas a las márgenes del río Nazas (CNA,2000), la zona conurbana de Torreón - Gómez Palacio - Ciudad Lerdo, tiene concentraciones de 0.01 mg/l a 0.05 mg/l, siendo éstas últimas cercanas al río Nazas.

La CNA tiene más de 3500 pozos registrados, 2400 en operación (2115 se usan en la agricultura). De ellos se extraen 930 Mm³ de agua mientras que la recarga natural es de 480 millones. La sobreexplotación es de casi medio millones de metros cúbicos.

Según la CNA (1999), señala que el 70% de los pozos está a más de 100 metros de profundidad. Pero extraoficialmente se maneja que el promedio es mayor de 300 metros y en algunas zonas hasta de 500, cuando hace 50 años los pozos tenían sólo 30 metros de profundidad.

2.1.9 Abandono de tierras agrícolas

Al sobreexplotar un acuífero, se reduce su almacenamiento y se provoca un descenso en los niveles de agua subterránea, trayendo consigo una serie de problemas de diversa índole como los que se mencionaron anteriormente estos a su vez traen consigo problemas de tipo económico y social, ya que afectan de manera directa e importante a la población, incrementando los costos de producción, pérdida de empleos y finalmente la migración.

La agricultura es el principal usuario del agua subterránea por lo que es la que más sufre con los cambios de disponibilidad de agua. Entonces al secarse los pozos por encontrarse los niveles del agua a profundidades muy grandes y disminuir el caudal de los ríos que abastecían a las tierras de cultivo, la agricultura se ve obligada a tomar otras medidas para no llegar a un abandono de tierras.

Al aumentar la profundidad del nivel estático hay que profundizar los pozos los cuales además del costo de infraestructura que esto tiene, hay que sumarle el costo por concepto de energía eléctrica, ya que aumenta con la profundidad.

Cualquiera de las dos situaciones provoca que se aumenten los costos de producción, haciendo que muchos de los cultivos no sean costeados, y como la agricultura es muy importante para el país, el gobierno subsidia el costo de la energía eléctrica para los agricultores siendo de \$0.20 Kw/h, muy por debajo del

costo real, ya que según el Banco Mundial el costo real de la electricidad es del orden de \$0.60 Kw/h.

Se puede dar el caso de que se abandonen las tierras por no resultar rentable la actividad agraria o por que definitivamente se han acabado las fuentes de abastecimiento. Si esto ocurre se tiene un altísimo costo, ya que se pierden zonas de cultivo, infraestructura, pérdida de empleos, migración a las ciudades, provocando un costo muy grave para el país y ocasionando una gran variedad de problemas sociales.

2.2 Compresibilidad de acuíferos

Para entender este fenómeno y otros que se le asocian, a continuación se explica matemáticamente lo que ocurre en un punto A.

En un punto cualquiera de una acuífero, la presión ejercida en los granos del mismo es producida por el peso del material y el agua, y se llama presión total. La presión sobre el esqueleto sólido se llama presión efectiva y la presión del agua contenida en los poros se llama presión intersticial o presión de poro. Cuando la presión de poro disminuye debido al descenso de la carga hidráulica, la presión efectiva aumenta en la misma proporción en que desciende la carga hidráulica debido a que la presión total permanece constante a menos que se haga una excavación o se construya una obra (Figura No 6). Como se muestra en la siguiente figura:

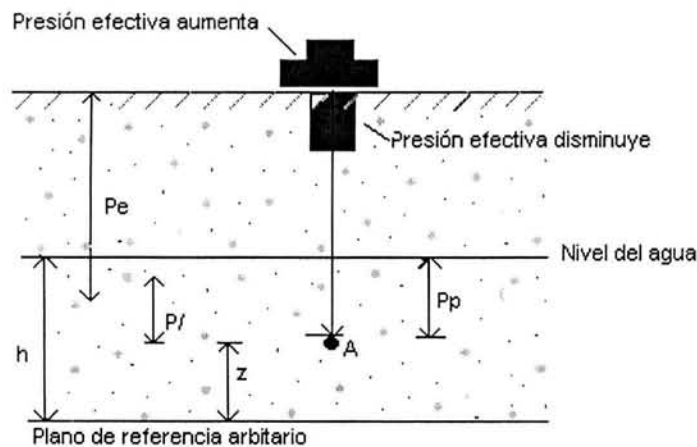


Figura No.6. Que ilustra el fenómeno de la compresibilidad

La ecuación siguiente resume lo antes descrito para el punto A

$$P_t = P_e + P_p$$

Donde:

Pt = Presión Total

Pe = Presión efectiva

Pp = Presión del poro

Si el bombeo reduce la carga hidráulica (dh), la presión efectiva aumenta y el espesor del acuífero (db). La compresibilidad del acuífero se expresa como:

$$\alpha = (db/b) / dh \quad (\text{Fetter, 1994})$$

Donde:

α = Compresibilidad del acuífero en (m²/Kg ó m²/N)

b = Espesor del acuífero (m)

dh = Cambio en la carga hidráulica en (m)

db = Cambio en el espesor del acuífero en (m)

El coeficiente de consolidación (difusividad hidráulica), se puede realizar de la siguiente manera:

$$\alpha = (db/b) / dh$$

Por otra parte el coeficiente de almacenamiento específico (Ss) se define como la cantidad de agua almacenada que es liberada por unidad de volumen de acuífero cuando existe una disminución unitaria de la carga hidráulica, y se expresa

$$Ss = \gamma (\alpha + n \beta) \quad (\text{Fetter, 1994})$$

En donde

γ = peso específico del agua

α = coeficiente de compresibilidad de agua liberada

n = porosidad

β = coeficiente de compresibilidad del agua

Y si S = coeficiente de almacenamiento que se define como la cantidad de agua liberada por una columna de área horizontal unitaria y altura igual al espesor saturado de acuífero, cuando la carga hidráulica decrece una unidad:

$$S = Ss \cdot B$$

Donde b = es el espesor del acuífero y S_s es el coeficiente de almacenamiento específico. Por otra parte se sabe que el coeficiente de transmisibilidad (T) de un estrato está dado por el producto de su permeabilidad y su espesor saturado

$$T = b \cdot K$$

Donde K es el coeficiente de conductividad hidráulica y se define como el caudal de agua que circula a través de un área unitaria normal al flujo, bajo un gradiente hidráulico unitario, y b el espesor del acuífero.

Por otra parte, el coeficiente de consolidación (C_v) se define como la relación entre la transmisibilidad lineal y el coeficiente de almacenamiento:

$$C_v = T/S \quad (\text{Pérez, Franco 1982})$$

Es utilizado también para conocer la compresibilidad de un suelo. A continuación se describe el método y sus principios fisicomatemáticos únicamente con carácter descriptivo.

$$C_v = T/S$$

En el cálculo se toma en cuenta lo siguiente:

$$\gamma = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

La relación de vacíos $e = V_v/V_s$

Donde V_v es el volumen de vacíos y V_s el volumen de sólidos

$$e = 7.8 \quad (\text{Matíaz, 1989})$$

Se sabe que la porosidad $n = V_v/V_t = e/(1+e)$

$$\text{Entonces } n = 7.8/(1+7.8) = 0.886 = 88.6\%$$

$$\beta = 4.42 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{Kg}$$

$$K = 1.44 \times 10^{-5} \text{ m/día} \quad (\text{Herrera, 1947})$$

α es conocido

Por lo que como se dejó arriba también se puede calcular el coeficiente de consolidación C_v , a partir del coeficiente de consolidación (α).

2.2.1 Subsistencia

Fenómeno resultante de la sobreexplotación de los acuíferos es la subsidencia en los terrenos que se encuentran cerca del área de extracción. La subsidencia se inicia con efectos visibles en la superficie del terreno, al observarse en primer término grietas de desecación y en la etapa de sobreexplotación avanzada en forma de fracturas, depresiones y activación de fallas geológicas (como se muestra en el anexo fotográfico).

Un ejemplo es el que se observa en la Ciudad de Querétaro, donde las primeras perturbaciones del terreno se evidenciaron en 1985 en el Parque Industrial Benito Juárez, donde aparecieron fracturas que alcanzaban los 5 metros de profundidad por 20 de longitud. En la actualidad, éstas se han profundizado y extendido. A su vez el descenso de los niveles del agua subterránea ha ocasionado que muchos de los pozos en la actualidad estén secos y/o contaminados

2.2.2 Agrietamiento

El fenómeno que se presenta siguiendo a la subsidencia es el agrietamiento, principalmente en las franjas de gradiente hidráulico muy pronunciado, ubicados en la periferia de los conos de abatimiento, aparecen las diferentes fases de la deformación: hundimiento, agrietamiento y fallamiento inducido.

Las grietas en zonas de hundimiento por explotación de acuíferos son su consecuencia lógica. De hecho, 30 cm de abatimiento o 30 cm de hundimiento parecen ser suficientes en la mayoría de los casos para la formación de grietas. Por lo que se concluye que, los hundimientos y agrietamientos sólo son dos etapas del mismo fenómeno de deformación de los suelos.

El Valle de México es una típica región de características hidrogeológicas que propician agrietamientos, que afectan construcciones, edificaciones y obras de ingeniería que se realizan en terrenos dentro y fuera de la ciudad. A principios de 1960 y antes de 1984, empezó un intenso bombeo en el acuífero fuera de la zona lacustre oriental, ocasionando un efecto de subsidencia en la planicie de Chalco, la que alcanzó en una amplia porción de ella, de 2 a 3 metros de hundimiento. El total de la subsidencia en esta parte de la planicie, actualmente es de 6 a 7 metros. Comparativamente, la Ciudad de México tuvo una máxima subsidencia en el centro de 7.5 m de 1947 a 1985 (CNA, 1991).

Las principales áreas donde se han estudiado agrietamientos, en la Cuenca de México y que afectan a diversas obras civiles son:

- Zona del evaporador solar de “El Caracol”
- Campo de explotación de pozos de Salmuera de “Sosa Texcoco”
- Unidad Profesional Zacatenco (I.P.N)
- Avenida Azcapotzalco y Cien Metros
- Indios Verdes (sobre la Avenida Insurgentes)
- Avenida Nacional y Autopista México – Pachuca
- Libramiento Lechería – Texcoco
- Avenida Emiliano Zapata (San Pedro Xalostoc)
- Calzada Ignacio Zaragoza (Peñón del Márquez)
- Avenida Añil (Palacio de los Deportes)
- Avenida Central (Municipio de Nezahualcoyotl y Ecatepec)
- Lago San Juan de Aragón
- Avenida Ixtapalapa
- Zona del aeropuerto Benito Juárez
- Zócalo Alameda (Centro de la Ciudad)
- Echegaray y la Florida
- Villa Coapa
- Xico (Estado de México)
- Ixtapaluca (Estado de México)
- Chalco, Estado de México
- Colegio de Ciencias y Humanidades, Plantel Vallejo
- Xochimilco –Nativitas
- Ciudad Nezahualcoyotl
- Monumento a la Revolución
- Palacio de Bellas Artes
- Palacio de Minería
- Caoacalco, Estado de México
- Mixquic, Estado de México
- San Vicente Chicoloapan, Estado de México

La compactación del suelo modifica su actividad bioquímica y microbiológica. El mayor impacto físico que se produce, contrario a la preservación de los acuíferos es la reducción de la porosidad, lo que implica una menor disponibilidad tanto de aire como de agua para las raíces de las plantas. Al mismo tiempo, las raíces tienen más dificultad en penetrar en el suelo y un acceso reducido a los nutrientes. La actividad biológica queda de esta forma, sustancialmente disminuida. Otro efecto de la compactación es el aumento del escurrimiento, disminuyendo la capacidad de filtración del agua de lluvia. Esto incrementa el riesgo de erosión producida por el agua y la pérdida de las capas superficiales de suelo y la consiguiente pérdida de nutrientes.

A continuación se mencionaran algunos de los factores que van a incidir en el proceso de compactación del suelo:

- Características físicas y propiedades mecánicas del suelo (textura, tipo y estabilidad de la estructura, densidad aparente, carga histórica, resistencia a la deformación).
- Contenido de humedad del suelo: a mayor contenido de humedad, el suelo puede deformarse y compactarse con menores presiones recibidas. Por lo que las actividades de agricultura deben realizarse con el suelo lo más seco posible.

La compactación del subsuelo, es más persistente y no puede ser eliminada fácilmente ya que las técnicas actuales no aportan soluciones a largo plazo, y tienen un costo muy elevado. La compactación de la superficie del suelo, eventualmente puede desaparecer después de un par de años si se deja que los procesos biológicos sigan su curso.

Para tratar de frenar el problema de compactación, se pueden tomar algunas medidas como:

- Se puede incorporar materia orgánica al suelo para que actúe directa e indirectamente favoreciendo la formación y la estabilidad de la estructura del suelo, lo que puede ayudar a prevenir la compactación.
- Usar una cubierta de vegetación, la penetración de las raíces y su posterior muerte producen poros continuos que ayudan al movimiento del aire y el agua en el suelo.

2.2.2.1 Afectación a estructuras urbanas e industriales

El consecuente hundimiento del terreno ha constituido un serio problema para la Zona Metropolitana del Valle de México desde principios del siglo XX. En 1925, Roberto Gayol reportó a la Sociedad Mexicana de Ingenieros y Arquitectos que las investigaciones mostraban el paulatino hundimiento de la Ciudad de México; Gayol agregaba que las causas de esto era, posiblemente, el drenaje del subsuelo, relacionado con la entonces construcción del Gran Canal del Desagüe y del túnel de Tequisquiac. La relación entre hundimiento y la explotación del acuífero ha sido examinada de cerca desde aquella época.

Hacia 1950, el hundimiento de la ciudad era ya tan serio que hubieron de construirse diques para confinar la corriente de agua pluvial; asimismo, fue necesario bombear para elevar el agua del drenaje subterráneo al nivel del Canal del desagüe. El aumento relativo del nivel del lago continuó amenazando a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México con inundaciones, lo que llevó a la necesidad de trabajar en el sistema del drenaje profundo y en las excavaciones para hacer más hondo el lago de Texcoco.

Con el creciente bombeo efectuado en el periodo que va de 1948 a 1953, el hundimiento del terreno había llegado a los 46 cm/año en algunas áreas. De acuerdo con la Gerencia de Aguas del Valle de México, el hundimiento neto en los últimos cien años ha hecho descender el nivel del suelo de la Zona Metropolitana del Valle de México un promedio de 7.5 m. El resultado ha sido un daño extensivo a la infraestructura de la ciudad, que abarca los cimientos de los edificios y el sistema de alcantarillado.

En 1953 ya se había demostrado que dicho hundimiento estaba asociado a la extracción de agua subterránea, por lo que muchos pozos del área urbana fueron clausurados, al tiempo que se inició la construcción de otros nuevos en las regiones meridionales de Chalco, Tlahuac y Xochimilco.

El Distrito Federal emplea en la actualidad (2000) versiones modernas de modelos para sistemas semiconfinados de agua subterránea, junto con una red de 320 pozos de observación (Herrera, 1994) para determinar los niveles del agua y la dirección del flujo. Cada año se realizan 1400 inspecciones para medir las variaciones del hundimiento.

El Valle de México está asentado en su mayor parte, sobre el fondo del antiguo Lago de Texcoco, por lo que las características del suelo en la Ciudad junto con la excesiva extracción del agua ocasiona que se compacte el suelo, provocando el hundimiento de la Ciudad. Se han llevado a cabo estudios donde se muestra que el hundimiento promedio de la Ciudad es de 10 cm /año y en lugares donde existieron lagos, el suelo se ha compactado hasta 40 cm.

El hundimiento del Valle de México es de trascendental importancia para su desarrollo debido a las conexiones que dicho hundimiento tiene con el abastecimiento de agua potable, con las inundaciones de amplias zonas urbanizadas. La extracción de agua en la ciudad ocasiona hundimientos no uniformes, por lo que, la red de drenaje presenta alteraciones importantes en sus pendientes respecto al proyecto original, siendo deficiente, por tanto, su funcionamiento hidráulico. Por otro lado, las construcciones civiles son afectadas por asentamientos diferenciales que pueden poner en peligro su estabilidad.

En el Valle de México se pueden observar problemas derivados por el hundimiento del terreno, como lo puede ser el hundimiento diferencial de las vías de comunicación en los pasos a desnivel, ya que los puentes no sufren hundimientos por estar soportados por pilotes apoyados en la capa dura, lo que provoca una ruptura de pavimentos y de los pasos a desnivel. Así como también en la línea del metro se tienen esos efectos negativos.

La red de líneas del metro se ha visto afectada desde su primera etapa de construcción (1967 – 1972) por el efecto de hundimiento, ya que la mayoría de estas líneas se encuentran construidas sobre suelo inestable, que presenta poca resistencia al esfuerzo cortante y alta deformabilidad. El resultado es la carencia de una sustentación adecuada y el desigual hundimiento del terreno (de 5 a 15 cm /año), provocando desniveles en el trazo original de las vías, de manera que se forman obstáculos naturales para el peso de los convoyes, poniendo en peligro la seguridad de los usuarios y de las instalaciones, e incrementando significativamente el mantenimiento del equipo rodante, el desgaste de los rieles de seguridad, cambio de los durmientes y la reparación de la catenaria (sistema de suspensión de cable eléctrico)(DDF, 2003)

Por su parte, trabajadores del Metro informaron que las vías, registran un hundimiento pronunciado por la sobreexplotación del acuífero y lo cavernoso del suelo, y se refleja en la existencia de columpios y ondulaciones en las vialidades aledañas, y no se han podido corregir por que los trabajos de renivelación y compactación buscan sólo tapar los hoyos más profundos, y que son cuando menos 8 estaciones del Metro las que registran hundimientos graves (Flores L. Y Romero G, 2003).

Mientras que la Dirección General de Construcción y Obras del Sistema de Transporte Colectivo trabaja desde hace meses en estudios sobre cuatro fallas geológicas localizadas en la línea Férrea A, que se mantienen en observación desde 1996, para realizar los trabajos pertinentes que permitan atender los asentamientos diferenciales y deformaciones en esos tramos, y ver los efectos que pueden causar en otras líneas del Metro (DDF;2003)

A consecuencia de lo anterior, el director del Sistema de Transporte Colectivo (Metro), Dr. Javier González Garza confirmo que se tienen que renivelar todas las líneas completas, como sucedió en la línea 2 y en la línea 9, agregó que en el presupuesto de este año se considero una ampliación de 1,800 millones de pesos más para el mantenimiento del Sistema del Transporte Colectivo (Metro), (DDF; 2003).

Los efectos de la extracción del agua subterránea es la razón fundamental del hundimiento obligando a cambiar proyectos y programas de investigación, haciendo imperativo buscar fuentes de abastecimiento de agua potable alejadas de la superficie urbanizada.

La desestabilización de la superficie por la compresión de los horizontes acuíferos afecta tanto a edificaciones como a las redes de ductos de gasoductos, oleoductos, gasolineras, líneas de alta tensión, telefónicas, redes de distribución de agua potable y alcantarillado, así como vías de comunicación entre otras. A este nivel las capas drenadas del acuífero se comprimen y reducen su capacidad

de almacenar y conducir a las capas saturadas el agua proveniente de la superficie (Macías y Arroyo, 1995).

Hundimientos Observados

Por las nivelaciones de la Comisión Hidrográfica a principios de siglo, las llevadas a cabo por la Dirección de Geografía periódicamente desde 1937, y las realizadas por la Comisión Hidrológica e Ingenieros Civiles Asociados, S.A de C.V.(ICA), recientemente, se ha podido reconstruir la aproximación de los asentamientos con relación al tiempo en algunos puntos. Entre ellos se puede citar la Catedral Metropolitana, El Palacio Nacional, El Palacio de Minería, y El Palacio de Bellas Artes, que son de especial interés para analizar algunos aspectos del fenómeno.

Las nivelaciones que la Comisión Hidrográfica hizo a la Catedral entre 1905 – 1911, demuestran que los hundimientos en ese período se presentaban a razón de 3 cm/año. Durante 1938 – 1948 la velocidad de hundimiento es del orden de 15 cm/año y se incrementa en los últimos años, siendo el promedio de 30 cm/año para la parte céntrica de la Ciudad. Llama la atención que en 1937 – 1948, años que se destacan por un cambio brusco en el asentamiento, coincida con una intensificación del bombeo dentro del área urbanizada, para fines de abastecimiento de agua potable.

Durante el siglo XX, el Zócalo, la Plaza Central, con la Catedral y el Palacio de Gobierno, descendieron 9m; entre 1950 y 1980. El período más crítico se vivió alrededor de 1950, con una medida de 45 cm/año. En Xochimilco, la zona lacustre del sur, el hundimiento es de 12 cm/año. La causa es la extracción del 70% del líquido del subsuelo a profundidades comprendidas entre 30 y 45 m.

Para contrarrestar los hundimientos en algunos edificios y monumentos de la ciudad, se han tenido que instalar diversos sistemas para mantener en pie y conservar su nivel original. Este es el caso de los pilotes que se encuentran debajo del Ángel de la independencia. Esta columna, a diferencia de las construcciones que se encuentran a su alrededor ha mantenido su nivel, por lo que ahora hay que subir 23 escalones para llegar a la base, a diferencia de los nueve originales. Otra muestra es la que se aprecia en la fuente, de Le Cibeles. Un banco de nivel colocado allí en 1980 se elevó 75 cm, es decir, éste se ha hundido casi 3 cm/año hasta la fecha (DDF, 1997).

Entre los graves daños ambientales provocados por la necesaria extracción y el consecuente hundimiento destaca, en primer lugar la pérdida de pendiente del Gran Canal, uno de los drenajes más importantes. Esto hace que el agua residual, en lugar de salir, tienda a regresar a la ciudad. En segundo lugar, se producen roturas en redes de infraestructura subterráneas como son el desagüe domiciliario, las tuberías del agua potable y los conductos y depósitos de gasolina.

Efectos del hundimiento en las Obras de la Ciudad de México

Son de todos conocidos los daños que ocasiona el hundimiento en las obras de diferentes tipos asentadas en el fondo del antiguo Lago de Texcoco. Los edificios cimentados en algunas zonas de la Ciudad emergen de la superficie y, por efecto de la fricción y la adherencia, restringen el hundimiento en el terreno adyacente, provocando serios daños a estructuras colindantes cimentadas superficialmente.

Como es el descenso en la desembocadura de los colectores Norte, Centro y Sur respecto al nivel original de la plantilla del Gran Canal, los citados tubos funcionaban ahogados en épocas de lluvias, ocasionando inundaciones en los distritos bajos de la Ciudad.

La saturación de los drenajes y el hundimiento del subsuelo de la Ciudad de México son dos de los problemas ambientales más significativos que tendrán que resolver las autoridades durante los próximos años.

Otro ejemplo de hundimiento es el que se contempla sobre la Avenida de Tlalpan, donde se observa claramente las diferencias que hay en el suelo entre las zonas que no están cimentadas y las cimentadas cuando se cruzan los pasos peatonales que la cruzan. Uno más es el que se observa sobre la Avenida Congreso de la Unión que por diferencia de peso entre las estaciones de la línea 4 del sistema de transporte colectivo (metro), se ve reflejado en un sube y baja de dicha avenida.

Caso Palacio de Minería, México DF

Las variaciones de compresibilidad en el centro histórico de la Ciudad de México, producen hundimientos diferenciales en el Palacio de Minería y han sido causa de daños acumulados desde el inicio mismo de su construcción.

A los asentamientos por consolidación, debidos al propio peso de la estructura, se sumaron aquellos generados por el hundimiento regional, que dieron origen a asentamientos mayores que los que se pueden desarrollar en un sitio con una distribución homogénea de compresibilidad. El hundimiento diferencial se agrava por la deshidratación ocasionada por el bombeo de los acuíferos profundos de la Ciudad de México (Zaldívar S. 2003)

A consecuencia del hundimiento, el edificio del Palacio de Minería sufrió serias mutilaciones y modificaciones que alteraron su aspecto original, entre las que se encuentran: las modificaciones que sufrió el patio poniente con el desalojamiento del muro norte y la adición de dos contrafuertes, lo que se repitió en el patio suroriente, y se suprimió el entrepiso que existía entre el nivel de la planta baja y

el de la planta alta, lo bueno fue que muchas de las modificaciones se hicieron con materiales endebles y perecederos, como se muestra en el anexo fotográfico.

Los fenómenos naturales también intervinieron para alterar y transformar la geometría original de la edificación. La fachada norte se caracteriza por su singular desplome hacia parte interior de la edificación. Las dos fachadas laterales presentan severos agrietamientos, así como una deformación muy acusada hacia su parte media que origina que los ornamentos sigan una apreciable curva, la cual ejemplifica el complejo problema de la consolidación en los mantos arcillosos. Independientemente de las diferencias de asentamiento, todo el edificio sufre un hundimiento general muy importante que lo hace perder sus proporciones, ya que han desaparecido elementos arquitectónicos completos cubiertos por las sucesivas capas de pisos y pavimentos obligadas por el descenso de la propia edificación. La acción sísmica también contribuye al deterioro del edificio, pero su acción destructiva es moderada (Facultad de Ingeniería, UNAM; 2003).

Los trabajos de restauración en este edificio se iniciaron con la determinación de los elementos que concurrían al proceso de degradación del edificio. Las graves fallas del estado de la cimentación que provocaron situaciones críticas, fueron la cimentación, que desde su construcción son la causa primordial de tal degradación. Al cabo de los años, los sucesivos movimientos del edificio lo habían hecho perder importantes aspectos en su estructura y por ende, sus valores arquitectónicos, fundamentalmente basados en el sentido de la proporción y el trazo armónico, los que se alteraron por los continuos rellenos y hundimientos en la edificación (Facultad de Ingeniería, UNAM; 2003).

En la fachada principal era notoria la desaparición de la base de la columnata central y particularmente de la de la portada poniente. Al retirar las banquetas construidas con posterioridad, reintegrando el nivel de desplante al rebajar no menos de ochenta centímetros. Se rescataron estas bases acomodándolas al aspecto general del edificio. En el costado que da al callejón de la calle Condesa, los daños sufridos eran ciertamente más graves. Los hundimientos, destruyeron por abajo del nivel del piso los diferentes estratos y pavimentos, que existen desde el inicio de su construcción (Facultad de Ingeniería, UNAM; 2003), como se muestra en el anexo fotográfico.

Después de haberse llevado a cabo el proceso de consolidación a lo largo de muchos años, el edificio se encontraba en un equilibrio estático, aunque con grandes deformaciones. Por esta razón, y por estar el Palacio en una situación adecuada de estabilidad, se recimentó en forma parcial en donde existiera alguna deficiencia local de la cimentación ya que pretender restablecer la forma original del edificio es cosa por demás muy difícil, ya que parte de las diferencias de asentamiento se produjeron durante el periodo de construcción, como se puede comprobar en sus fachadas donde se evidencia que la curvatura de la catenaria

del primer nivel es mucho más pronunciada que la del segundo (Facultad de Ingeniería, UNAM; 2003).

Como parte del patrimonio de la Universidad Nacional Autónoma de México, el Palacio cumple esencialmente con funciones de carácter educativo y cultural que por sí mismas definen importantes lineamientos para el arreglo de los espacios interiores. Por lo que dentro del proyecto de restauración se buscó una flexibilidad y adaptabilidad para las nuevas necesidades del edificio, sin alterar el carácter, el estilo y la imagen del majestuoso Palacio de Minería (Facultad de Ingeniería, UNAM; 2003).

2.2.2.2 Activación de fallas

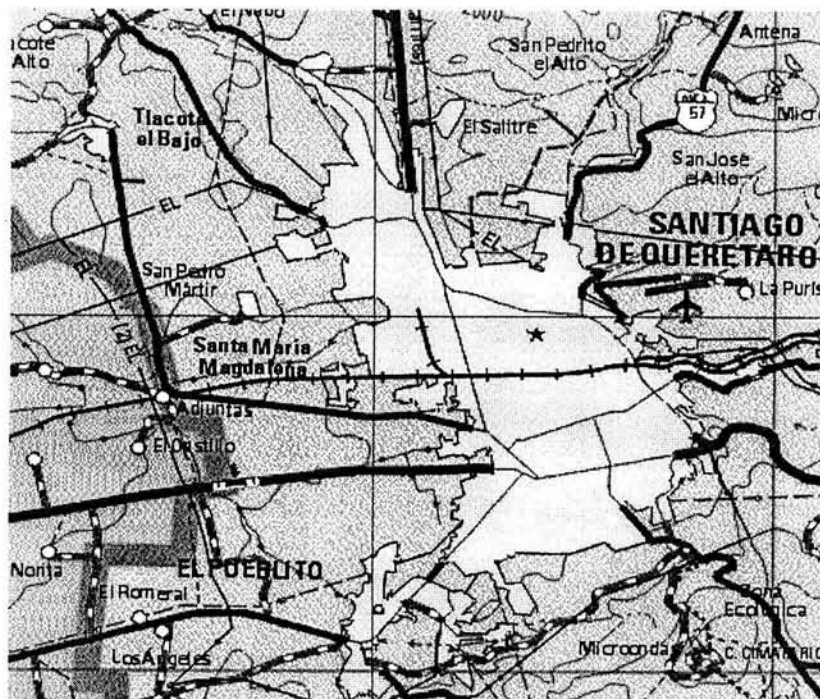
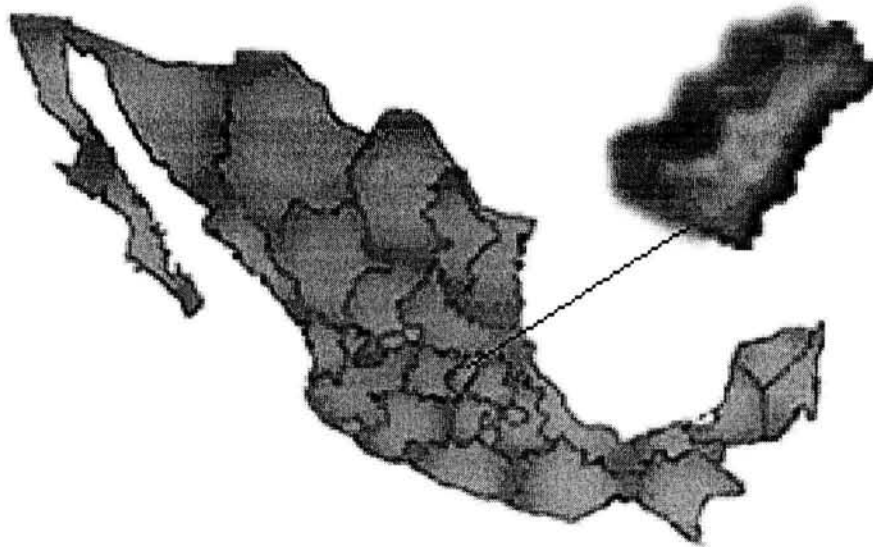
Además de la consolidación que se manifiesta en hundimientos en la superficie del terreno, se generan fracturas cuando la situación de esfuerzos generados por el bombeo sobrepasa la resistencia del acuitardo. Estas fracturas, se pueden transformar en grietas de varios centímetros y metros de longitud, dependiendo de las condiciones hidrogeológicas locales.

Cuando la inestabilidad del terreno afecta a un piedemonte, se forman grietas, con el hundimiento del bloque inferior se asemeja a fallas que dan lugar a un escalonamiento (dos o tres niveles), y consecuentemente provocan daños graves a edificaciones y calles. Un ejemplo es el que se observa en la margen inferior del Cerro del Peñón del Marqués cuyo origen se debe a la extracción de agua del subsuelo, ya que hay siete pozos alrededor del Peñón del Marqués.

Otro ejemplo es el Valle de Querétaro donde se ha reportado una excesiva extracción de agua subterránea en los últimos 30 años, ocasionando el fenómeno de **fracturamiento** observado en la superficie.

El acuífero del Valle de Querétaro está integrado por dos unidades: a) unidad superficial de tipo granular semiconfinada en su parte superior, y b) unidad fracturada subyacente a la anterior, confinada en la parte central del valle y libre en la periferia hacia las sierras circunvecinas. La unidad acuífera granular está compuesta por sedimentos fluviolacustres con intercalaciones de lavas y piroclastos con espesor de 150 m hacia las partes bajas del valle. La unidad acuífera fracturada consiste en su conjunto de rocas volcánicas de composición basáltica a riolítica, con intercalaciones de ignimbritas, tobas y brechas cuyo espesor llega a 350 m hacia la zona de sierras aledañas (Vargas C. y Carreón D, 2002).

Figura No. 7, Muestra la ubicación geográfica del Estado de Querétaro y los ríos que lo cruzan.



Fuente: querétaro.com

La configuración de la superficie piezométrica en la parte meridional del Estado de Querétaro indica la conexión hidráulica que existe en los valles de la región y señala una dirección de flujo del agua subterránea del norte, sur y este hacia el Valle de Querétaro y su condición de zona de descarga regional. La excesiva extracción del agua subterránea en este valle ha ocasionado un abatimiento de los niveles piezométricos a un ritmo promedio de 3.8 m/año en lugares como la zona industrial Benito Juárez (Vargas C. y Carreón D, 2002).

Asociado a este abatimiento piezométrico se encuentra el desarrollo de fracturas y fallas en zonas urbanas ubicadas en relleno fluvio – lacustre dentro del valle. Sin embargo, la evolución de las fracturas esta condicionada principalmente por la interacción entre los factores geológicos y geomecánicos. Los factores geológicos tales como fallas preexistentes y las condiciones de deposición del relleno sedimentario influyen en la evolución y geometría de la deformación superficial regional; mientras que los factores geomecánicos tales como heterogeneidad en la compresibilidad y permeabilidad de sedimentos fluviales, lacustres, depósitos piroclásticos y rocas volcánicas, controlan las variaciones de la deformación en escala local y en tiempos relativamente cortos. (Vargas C. Y Carreón D, 2002).

Un ejemplo de cómo se ven afectadas las construcciones por los movimientos geológicos en la zona es la que se observa en Bercel del Centro, S.A., ubicada en la carretera Querétaro – San Luis Potosí Km 4 + 500. En el año de 1986 se empezaron a manifestar agrietamientos en muros y pisos, y deformaciones en los mismos, agudizándose el problema a partir de 1988 en el que una franja transversal del orden de 10 m presentó una serie de fallas en muros, losas de piso, cimentaciones, instalaciones hidráulicas y sistemas de alcantarillado.

Entre los estudios que se hicieron, se realizaron sondeos con pozos a cielo abierto, con toma de muestra y los ensayos de laboratorio correspondientes, con los cuales se determinó la estratigrafía del sitio, concluyéndose finalmente que la capa superficial de suelo se manifiesta con alto potencial de expansión. Y el diagnóstico en este caso fue el de inestabilidad volumétrica del subsuelo por alteraciones en el contenido de humedad. Como los daños seguían apareciendo, en 1991, se realizaron otros estudios y se concluyo que los daños que ha sufrido la planta se deben a la presencia de una falla geológica activa que cruza la zona con orientación aproximada de 15° N-W (Falla Taxco – San Miguel de Allende cuya orientación es NNW), moviendo los piso en 1 año, un promedio de 5 cm (Trejo A y Martínez A, 2000).

2.3 Aceleración de la Contaminación de Acuíferos

Las 15 cuencas que reciben mayor carga de contaminantes en el país son las de los ríos:

- Moctezuma, Papaloapan, Jamapa, Bravo-San Juan, Soto La Marina, Atoyac, Lerma-Salamanca, Lerma-Toluca, Santiago-Guadalajara, Santiago-Aguamilpa, Grande-Amacuzac, Tamuín, Pánuco, Yaqui, y La Laja.(Figura No.8)

Figura No 8, Mapa que muestra las zonas críticas de contaminación del Agua



2.3.1 Caso Lerma:

El municipio de Lerma está ubicado en la cuenca del río del mismo nombre, se encuentra al poniente de la Ciudad de México y al oriente de la ciudad de Toluca, por lo que su localización en la geografía lo convierte en un municipio estratégico (Figura No. 9).

Figura No.9, localización de la cuenca del Río Lerma.

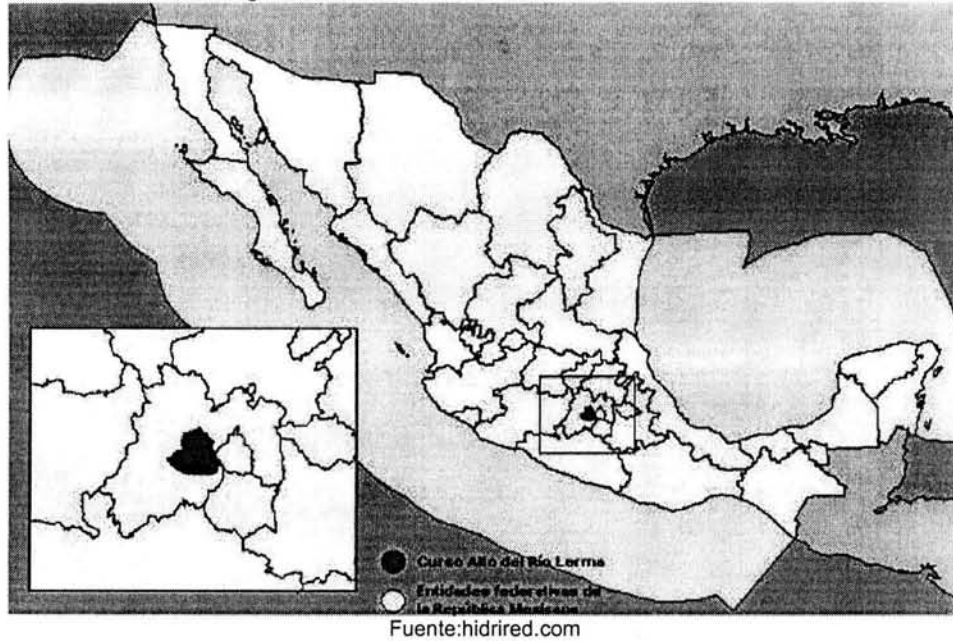


Figura No.10 , Muestra la trayectoria que lleva el Río Lerma, cruzando por varios estados de la República Mexicana. Obsérvese la gran cantidad de poblados que se abastece de sus aguas

La cuenca del Lerma se origina en las faldas del Nevado de Toluca y se extiende hacia el norte, al valle del mismo nombre, creado por una obstrucción volcánica del drenaje, formando cuerpos de agua lacustres y humedales, que en su conjunto se denominan actualmente: Ciénega de Lerma y que comprende los municipios de Lerma, Ocoyoacac, Capulhuac, Atizapan Almoloya del Río, Tianguistenco, Texcalyacac, Rayón, San Antonio la Isla, Calimaya, Chapultepec, Mexicalcingo, San Mateo Atenco y Toluca. En tiempos anteriores los otomíes conocían a esta región como el Mexphi y los nahuas como Matlatzinco.

El cauce del río Lerma es insuficiente para contener toda el agua que mana en el sitio; así es que dicha agua se desborda y se extiende a uno y otro lado del río, formando ciénegas (Salinas, 1929). Estas ciénegas se han reducido gradualmente en tamaño, en parte por evolución hidrológica natural, pero sobre todo debido a la acción humana. Debido a esto último, la gran laguna histórica se separó en tres cuerpos de agua diferentes conocidos bajo el nombre de ciénega de Chiconahuapan, de Chimaliapan y de Chignahuapan. Actualmente se extienden por unas 1425 Ha, desde San Pedro Techuchulco en el extremo sur hasta Santa María Atarasquillo, en el norte.

La mayor parte de los cuerpos de agua provienen de los escurrimientos de la Sierra de Las Cruces, formando una gran cantidad de arroyos intermitentes, entre los que destacan: Salto de Agua, Flor de Galla, San Mateo, Río Seco y Peralta.

Originalmente la región lacustre estaba formada por un sólo lago de gran tamaño, pero a medida que se rellenó con sedimentos aportados de las cadenas montañosas vecinas y elementos volcánicos se fue fragmentando en cuerpos menores. Además de que el proceso de relleno y desecación natural fue acelerado por la acción humana (la construcción de chinampas en tiempos pre-coloniales y más tarde la desecación y el bombeo voluntario y planificado).

Hasta 1943 los cuerpos de agua se consideraban lagos y tenían una extensión de aproximadamente 3500 Hectáreas. cada uno, con profundidades mayores a 3m. Sólo en las tres últimas décadas se redujeron a unas 1000 ha. cada uno debido a las malas políticas que permitieron la desecación, sobreexplotación y contaminación de las aguas del Lerma, y el crecimiento de la mancha industrial y urbana, todo esto de manera indiscriminada.

Cabe destacar que, tanto el río como las ciénegas, existen debido al agua que brota desde los mantos freáticos que yacen bajo la planicie aluvial, a través de manantiales, que en 1970, a partir de un estudio de la Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica (SRH), se calculó existían 100 de ellos, sin contar los "ojos de agua".

Hace diez años se reportó (Contreras, 1995) que, “la sobreexplotación del agua y la contaminación de la que se usa en la industria, la vivienda y los servicios, han rebasado desde hace tiempo, la capacidad del acuífero para atender la demanda actual del agua y evidentemente para resolver las demandas futuras”.

La sobreexplotación alcanzó en 1988 los 200 millones de m³. , y no se trata adecuadamente un solo litro de agua contaminada de origen urbano o industrial. Mencionándose el estado de las ciénegas como en vías de desaparición y a la vez, se propone que paulatinamente el volumen de extracción se reduzca, ajustándolo al punto en el que se recupere el manto freático y se evite tanto la resequedad y agrietamiento del suelo en las áreas antiguamente inundadas, como el agotamiento del acuífero, pues no hay que olvidar que desde que entro en operación el sistema Lerma, en el año de 1953, se ha mantenido un gasto de alrededor de 9 m³, por espacio de 45 años.

Es sabido que el manto acuífero del Lerma es afectado por la sobreexplotación de los bosques del nevado de Toluca, es pertinente, por tanto, considerar que, si se ejecutara el programa de manejo para el Parque Nacional del Nevado de Toluca en los puntos referentes a recuperación de bosques, se aseguraría, en parte, la paulatina recuperación de los niveles estáticos del acuífero.

El acelerado crecimiento poblacional que sufrió en el municipio del Lerma en las últimas décadas genera la ampliación de la superficie de uso urbano, para 1986, estaban ocupadas 646.9 hectáreas, y para 1990, los asentamientos humanos ya tenían cubierta una superficie de 1054 hectáreas, la degradación entrópica causada por el consumo humano afecta intensamente la calidad del agua.

2.3.2 Caso Chapala:

El lago se originó a causa de una depresión creada por una falla de la corteza terrestre hace 38 000 años, formando parte de una fractura llamada línea de San Andrés - Chapala; que captó en su estructura, las aguas del sistema hidrológico Lerma – Santiago (Estrada, 1983), como se muestra en la Figura No. 11.

Figura No.11., Que muestra la localización del Lago de Chapala

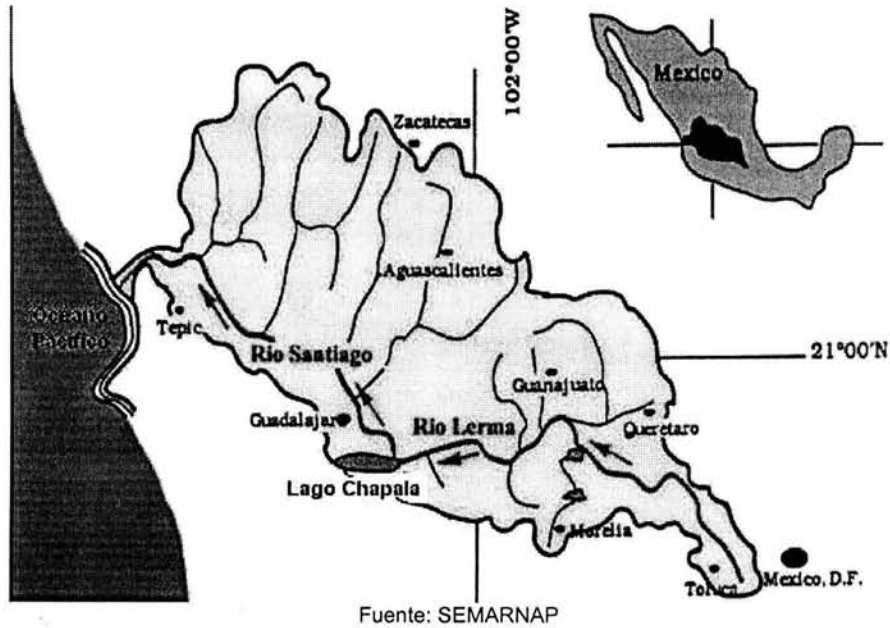


Figura No. 12, Muestra el recorrido que sigue el Río Lerma hasta cambiar su nombre al de Río Grande de Santiago cruzando varios estados de la República Mexicana y que finalmente desemboca en el Pacífico.

Desde el punto de vista socioeconómico el sistema Lerma- Chapala- Santiago es muy importante, debido a que ha desempeñado un papel clave en la vida de México. Hacia 1950 se acelera el proceso de industrialización del Valle de México, así como un cambio de patrón en los asentamientos en la cuenca y un mayor crecimiento demográfico, por lo que se empiezan a consolidar un conjunto de centros urbanos que traen como consecuencia una mayor demanda de agua.

La ciudad de México inició su abastecimiento de agua de los manantiales del Lerma en ese mismo año con $3.5 \text{ m}^3/\text{seg}$, cuando contaba con 3.5 millones de habitantes; en 1980, la capital tenía 13,921 millones de habitantes y captaba del Lerma $8.44 \text{ m}^3/\text{seg}$, procesos que contribuyeron a la problemática del lago.

El sistema hidrológico Lerma - Chapala - Santiago recibe a los tributarios de los ríos: La Laja, Apaseo, Turbio, Zula, Calderón, Verde, Juchipila, Bolaños, El Duero y La Pasión, por lo que se considera que tiene una área drenada de $125,600 \text{ Km}^2$.

La superficie histórica promedio del lago ha sido de 900 Km^2 de 1900 a 1990, aunque algunos le atribuyen de 1200 hasta 1740 Km^2 . Tiene una longitud máxima de 78 a 82 Km; 19 Km de ancho promedio, con una profundidad máxima de 7 a 9 m y una media de 4.5 m, aunque en los últimos tiempos, la escasa aportación que recibe de sus afluentes y la precipitación pluvial ha abatido su profundidad hasta 4m.

El lago se abasteció durante muchos años en un 50% de las aguas del Lerma. Actualmente, las aportaciones de ese río representan el 10% del aprovisionamiento. Cuando se ha medido a su mayor capacidad, alcanza los 8148 millones de m^3 de agua, pero en sus momentos críticos, ha reducido su volumen de almacenamiento hasta 1576 m^3 . Según datos de la Comisión Nacional del Agua (CNA) en 1998 se encontró al 33% de su capacidad.

Tomando en cuenta los 323 m^3 que se extraen de los acuíferos del estado de México para suministrar agua a la Ciudad de México y los 237 m^3 que se extraen del lago de Chapala para el área metropolitana de Guadalajara, el volumen total de la demanda en la cuenca Lerma - Chapala asciende a $1,303 \text{ m}^3$.

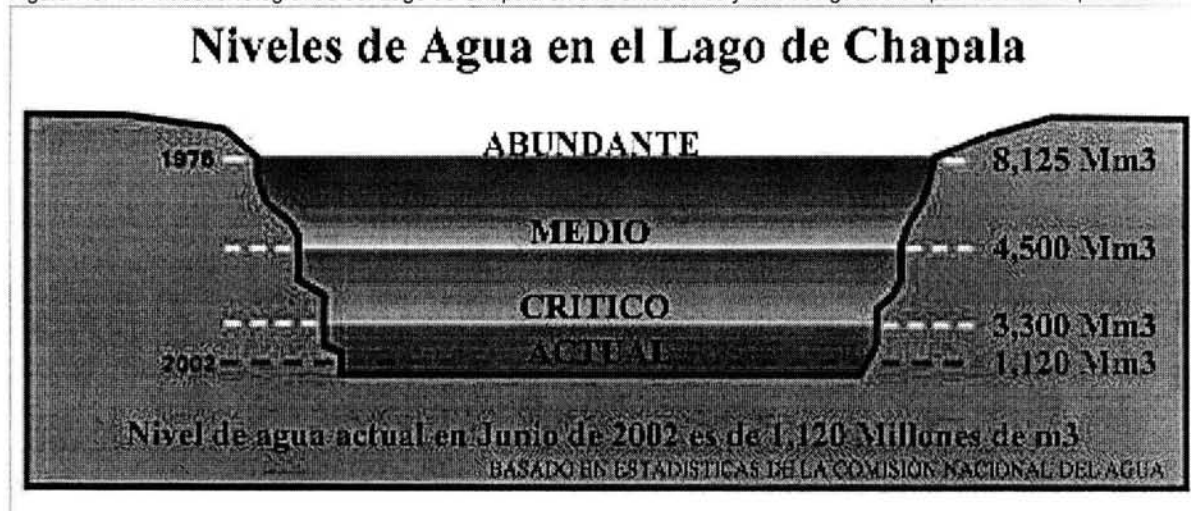
Se estima que del total de agua suministrada al lago sólo un 67% retorna a los diferentes sistemas de drenaje, de lo que se puede obtener el volumen total de descarga que escurren o se almacenan en diferentes cuerpos de agua de la cuenca.

Los cambios en el volumen del lago, los reporta la CNA como sigue: desde octubre de 1993, cuando Chapala alcanzó el nivel de almacenamiento de agua más alto en este decenio, el lago ha perdido $3,404 \text{ m}^3$, es decir, casi el 61% del recurso, efecto de cinco años de temporales erráticos que han reducido su

superficie en casi 300 Km². De este modo, el mayor embalse de México sólo alberga en la actualidad 2,194 m³, el volumen más bajo desde 1991, cuando la sequía en la cuenca del Lerma, iniciada en el 1988, llegó a su punto más crítico (1,978 m³). Considerándose que son problemas cíclicos que presenta esta región hidrográfica.

A pesar de la transferencia de agua hacia el Lago de Chapala, su superficie es menor que en años pasados: en mayo de 2001 media 773 Km² y, al final del trasvase de 2002, era de 771 Km², así como la superficie de lago que se encuentra sin agua y con características de un desierto es de 328 Km², (figura No. 13), (CECEI, 2003), como se observa en el anexo fotográfico.

Figura No. 13. Muestra fotografías del Lago de Chapala en diferentes años y con desiguales etapas de sobreexplotación.



Fuente: amigos del lago.com.

La de ahora no es la peor etapa que ha sufrido el lago de Chapala; En 1955, albergaba menos de 850 m³ y su superficie se redujo en más de 500 Km². Una fecha más crítica aún fue 1897, ya que en ese entonces, según los registros oficiales, el agua descendió alrededor de 600 m³ y la reducción del área original en más de 660 Km², que se convirtieron temporalmente en dunas. A poco más de un siglo, el ecosistema sigue vivo, ¿pero durante cuanto tiempo más?.

La CNA estimó que en mayo del 1998 Chapala se encontró con un almacenamiento de 2418 m³ de agua y ha bajado 90 cm el nivel, lo que significa que el lago ha perdido un volumen aproximado de 843 m³ de agua. Y con relación a las perspectivas a futuro, la misma CNA advierte que probablemente durante el periodo de sequías o hasta lluvias, el volumen del lago baje 40 cm lo que representa una pérdida adicional de 400 m³.

Por lo que durante este siglo, el lago ha sufrido dos crisis graves: una se inició en 1948 y alcanzó su nivel más crítico en 1955.

Hacia 1989, la contaminación que presentaba el río Lerma se debía a que recibía las descargas de aguas residuales de los parques industriales de Santiago Tianguistenco, Lerma - Toluca, así como las aguas residuales urbanas de las poblaciones de Toluca, Lerma, Atlacomulco y otras del estado de México, al grado de clasificarlo como altamente contaminado.

Esta situación no se ha modificado de manera significativa; se han establecido algunas plantas de tratamiento para las descargas de agua residuales de los estados involucrados en la cuenca; sin embargo, los aportes que recibe el lago siguen estando altamente contaminados.

Este sistema Lerma - Chapala - Santiago comprende al lago de Chapala como destino final de las descargas del río Lerma, que es receptor de la contaminación de aproximadamente 8 millones de habitantes, una gran cantidad de industrias de diversos giros (como son: productos químicos, petroleros, azucareros, lecheras, alimenticias, madereras), otras fuentes de contaminación (como las granjas porcícolas, ganaderas y avícolas), y los desperdicios de las actividades que se originan por la explotación de más de 750 000 hectáreas dedicadas a la agricultura. Todo esto en el principal receptor de los escurrimientos, una cuenca con una área tributaria de 54 000 Km² aproximadamente.

Debido al incremento en la actividad económica, demográfica y urbana, han causado que el aprovechamiento de los recursos hidráulicos de la cuenca hayan alcanzado niveles muy elevados, alterando las condiciones naturales de los cauces y generando problemas graves de contaminación.

2.3.3 Caso León, Guanajuato:

El valle de León se localiza en la porción occidental del estado de Guanajuato, ubicado en la Provincia fisiográfica denominada "Mesa Central", caracterizada por la presencia de extensas mesetas constituidas por rocas volcánicas de tipo riolítico, intercaladas con sedimentos aluviales y lacustres, abarca parcialmente los municipios de León, San Francisco del Rincón y Purísima de Bustos.(Figura No. 14).

La zona pertenece a la región hidrológica No.12 "Lerma - Santiago", la cual descarga sus aguas hacia el Océano Pacífico.

La ciudad de León es atravesada por numerosos arroyos que fluyen en dirección norte - sur y que al juntarse, aguas debajo de la zona urbana, forman el Río Turbio, el cual continúa por varios kilómetros en esa dirección, hasta unirse al Río Lerma por su margen derecha, en el municipio de Penjamo.

Figura No.14. Que ilustra la ubicación geográfica del Valle de León, Guanajuato



Fuente: león, com.

En este valle, la utilización del agua subterránea para abastecimiento de agua potable a la ciudad de León, se inició en la década de los cuarenta, como apoyo al suministro de agua superficial que la presa El Palote, ubicada al norte de esa ciudad, le venía proporcionando (Macías, 1980).

El impulso que la actividad industrial experimentó hacia esa misma década, generó demandas adicionales de agua, de tal manera que para mediados de los años cincuenta, la dotación de agua superficial de la Presa El Palote y del agua extraída por los pozos ubicados dentro de la ciudad se volvió insuficiente (Macias, 1980).

Así, al inicio de los sesenta, el continuo desarrollo industrial y el crecimiento demográfico de la zona, indujeron a buscar nuevas fuentes de abastecimiento.

De acuerdo con datos tomados en 1992 (CNA), en el Valle de León existen un total de 1340 aprovechamientos del agua subterránea, que extraen un volumen conjunto de 204 Hm³/año, provocando una sobreexplotación de 108 Hm³ anuales ya que la recarga es de solamente 96 Hm³/año. En esta zona solo existe una unidad hidrogeológica, la cuál esta constituida por rocas volcánicas, depositadas en un ambiente lacustre, intercaladas con sedimentos aluviales formados por gravas, arenas, arcillas y tobas, predominando el paquete de tobas volcánicas. La transmisibilidad de los materiales que integran el acuífero es baja, sobre todo en las zonas cercanas a la ciudad, donde varía de 80 a 450 m²/día (Castañón et al, 1995). La ciudad de León ha alcanzado una población de 1.100.000 habitantes y es uno de los centros más importantes de fabricación de calzado en América Latina. El abastecimiento urbano depende, en gran parte del agua subterránea que se extrae de unos 80 pozos, distribuidos dentro de la mancha urbana (Esteller, 2002).

Como resultado del rápido crecimiento de la ciudad el uso del agua subterránea se ha incrementado de tal forma que el caudal extraído del acuífero es aproximadamente el doble de la recarga media anual. Esta sobreexplotación se manifiesta por un constante descenso de los niveles de agua subterránea, de 1 a 5 m/año detectándose una de las zonas más afectadas en la porción suroriental de la ciudad donde existe concentración de pozos y baja permeabilidad.

En contraste, el área regada con aguas residuales, al sureste de León, ha parecido un acuífero somero colgado con un nivel piezométrico que se encuentra a una profundidad comprendida entre los 5 y 10 metros. Se ha comprobado que este nivel permanece bastante estable en el tiempo y que la infiltración de las aguas residuales es una fuente importante de recarga para este acuífero (Esteller, 2002)

El agua residual contiene concentraciones significativas de metales pesados, entre los que destaca el cromo. Las concentraciones de cromo en las aguas subterráneas son mayores a los valores límite establecidos, y se debe a la descarga de aguas de desecho originadas en plantas productoras de derivados de cromo, o de aquellas que lo incluyen en alguna etapa del proceso productivo, por ejemplo: fábricas de cemento, de colorantes, de pigmentos inorgánicos, de

pinturas, de cromatos, de curtiduría o plantas metalúrgicas. La lixiviación de los residuos sólidos de cromo depositados dentro o sobre el terreno también puede originar su introducción en el agua (Armienta, 1992).

Aunado a esto, el desarrollo industrial de la zona, encaminado principalmente hacia la industria de la curtiduría y del zapato, ha aumentado la descarga de aguas residuales con altas concentraciones de sustancias tóxicas. La mayor parte de las curtidurías utilizan el proceso de curtido al cromo, y descargan sus aguas residuales directamente al desagüe municipal.

La infiltración de las aguas residuales procedentes de las curtidurías había sido considerada como la fuente principal de aporte de cromo hacia el acuífero. Sin embargo, otra fuente importante de contaminación ha sido la empresa Química Central que produce las sales de cromo que se utilizan en la industria curtidora local. El manejo inadecuado de sus residuos sólidos y líquidos, principalmente antes de 1982, provocó la lixiviación del cromo por el agua de lluvia y su infiltración en el acuífero (Armienta, 1992).

Una de las lagunas de oxidación de las aguas negras de la ciudad (a la cual llegan todo tipo de aguas residuales), constituye otro posible foco de contaminante, ya que sus aguas son utilizadas para riego, distribuyéndose a través de canales en áreas agrícolas al poniente del valle. Existen además, zonas dentro del mismo valle que son irrigadas directamente con las aguas residuales de la ciudad, cuya infiltración también puede degradar la calidad del agua subterránea en dicha área.

Finalmente un afloramiento de piroxenitas al noreste del valle, las cuales son rocas ultramáficas con contenidos importantes de cromo comparados con otros tipos de roca. Sedimentos producto de estas rocas podrían encontrarse en gran parte del acuífero y al erosionarse y estar en contacto con el agua podrían aportar a la misma una cierta cantidad de cromo, cuya presencia se debe a la propia matriz sólida del acuífero (Armienta, 1992).

Es evidente la importancia de controlar la presencia de cromo, en las aguas subterráneas para evitar problemas en la salud humana, así como alteraciones en el equilibrio ecológico.

Por eso desde 1998 en el estado de Guanajuato se ha implementado una red piezométrica para el monitoreo y evaluación de la cantidad de agua subterránea en este estado y para contar con la información sobre la calidad del agua se conformo desde 2002. la red de monitoreo en el municipio de León y en San Francisco del Rincón (Petkova y Fuentes, 2002).

CAPITULO 3

MEDIDAS CORRECTIVAS Y PRESERVACIÓN DE ACUÍFEROS

Considerando la importancia de las aguas subterráneas en el suministro para diferentes usos, se tiene la necesidad de implantar y consolidar políticas para proteger a los acuíferos contra la explotación excesiva o irracional y contra el deterioro de su calidad a causa de la contaminación. En especial es el caso dentro y alrededor de las áreas urbanas, donde las captaciones de agua subterránea se encuentran bajo una presión ambiental causada por el rápido desarrollo.

Dadas las características de la contaminación de los acuíferos y su difícil regeneración, las medidas anticontaminación deben ser preferentemente protectoras, regulando, ordenando o prohibiendo determinadas actividades en determinadas zonas, o bien estableciendo ciertas medidas de seguridad sobre actividades potencialmente nocivas. Esto es especialmente importante para acuíferos y captaciones que sirven para el abastecimiento público a fin de evitar que los diferentes agentes contaminantes alcancen el agua extraída.

Los programas de protección de calidad de las aguas subterráneas en varios países, revelan dos líneas básicas y casi independientes de conducta dirigida a los pozos de captación, estableciendo alrededor de la obra perímetros de protección o el comportamiento hidráulico del acuífero; otra dirigida al acuífero, donde son definidas restricciones de uso de la tierra frente a la vulnerabilidad de contaminación de los acuíferos y a la importancia del recurso como origen de abastecimiento público.

El reforzamiento de una cultura del agua es muy importante desde el punto de vista de la protección, junto con la posibilidad de actuaciones rápidas en caso de sucesos accidentales, los cuales deben ser avisados con prontitud por los propios ocasionantes y por el público en general, como fruto de una responsabilidad conciente.

Al desarrollar estrategias para el control de la contaminación de las aguas subterráneas es importante distinguir entre la protección del recurso o acuífero como un todo y las fuentes individuales de abastecimiento público de agua en particular. Se debe obtener, de acuerdo a las circunstancias locales, un balance realista entre la protección del recurso y a la protección de la fuente.

En cuanto a los requisitos legales para la conservación de suelos y aguas, así como para el manejo de áreas cercanas a las fuentes de agua y otras vulnerables que necesitan protección, tanto la Ley Nacional de Aguas como diversas normas oficiales mexicanas, establecen las regulaciones correspondientes.

3.1 Las fábricas de agua

3.1.1 Deforestación

Se entiende por deforestación a la destrucción a gran escala del bosque por la acción humana. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) avanza a un ritmo de unos 17 millones de ha al año en el planeta. Entre 1980 y 1990, las tasas anuales fueron de 1.2% en Asia y el Pacífico, un 0.8% en Latinoamérica y un 0.7% en África. La deforestación no es lo mismo que la degradación forestal, que consiste en una reducción de la calidad del bosque. Ambos procesos están vinculados y producen diversos problemas. Pueden producir erosión del suelo, lo que a su vez favorece las inundaciones o sequías. Reduce la biodiversidad, lo que resulta sobre todo significativo en los bosques tropicales, que albergan buena parte de la biodiversidad del mundo. Los bosques desempeñan un papel clave en el almacenamiento del carbono; si se eliminan, el exceso de dióxido de carbono en la atmósfera puede llevar a un calentamiento global de la Tierra, con múltiples efectos secundarios problemáticos.

Durante los años transcurridos desde la Cumbre de la Tierra que se llevó a cabo en Río de Janeiro, Brasil, en el mes de Junio de 1992 (según la FAO) los gobiernos han estado enfocados en una serie de procesos internacionales con el objetivo declarado de asegurar la conservación de los bosques del planeta. Sin embargo, poco o nada demostraron en la Cumbre de Johannesburgo, Sudáfrica, (2002) en cuanto a resultados concretos logrados, por lo sencilla razón de que los bosques han seguido desapareciendo. En el mejor de los casos algunos pocos gobiernos (especialmente Europeos) argumentan que han logrado revertir el proceso de deforestación y que ahora tienen más bosques que antes. Sin embargo, ellos no toman en cuenta que, la aplicación de las áreas boscosas se tratan en realidad de la plantación de monocultivos forestales que poco tienen que ver con sus bosques originales. Por otro lado, esconden que la conservación de sus bosques se ha hecho a expensas de los bosques de otros países, en particular los tercermundistas.

La causa de que todas estas actividades se realicen en forma depredadora e insustentable es el modelo de desarrollo vigente. Este implica la explotación irrestricta de la totalidad de los recursos del planeta, con el objeto de alimentar un crecimiento de mercado, en particular en los países industrializados. La desigualdad de los términos de intercambio entre países desarrollados y subdesarrollados, ha generado una creciente e impagable deuda externa que obliga a extraer y exportar cada vez más recursos naturales que sólo para pagar sus intereses, ha acrecentado la devastación.

Según la FAO, el 90% de la deforestación es provocada por prácticas de agricultura insustentable, mientras que la tala y la plantación de árboles para explotación forestal desempeñan un papel más importante en la degradación de los bosques. Por más controvertidas que sean estas cifras, en todo caso puede decirse que la agricultura insustentable es sin duda una de las principales causas directas de la deforestación y la degradación de los bosques en muchos países del mundo. Un enfoque simplista del problema podría llevar a culpar a la "ignorancia" de los agricultores involucrados en este proceso, el cual, es mucho más complejo.

La SEMARNAT, reconoce la gravedad de pérdida de bosque en México.

En diciembre de 2001, el titular de la SEMARNAT, Víctor Lichtinger, dio a conocer el Inventario Forestal del cual se extraen las cifras de deforestación del país: durante los últimos siete años, la tasa anual de deforestación creció a 1.1 millones de hectáreas. Prácticamente se duplicó el índice anterior de 600 mil hectáreas anuales. **Esto coloca a México en el segundo lugar mundial en pérdida de bosque y selva, después de Brasil.** Entre los años 1993 y 2000 se perdieron en total 7.8 millones de ha, distribuidas de la siguiente manera: el Estado de Campeche perdió el 100% de sus bosques (200 mil ha.), Tabasco el 58%, Chihuahua, el 7% (576 mil ha.), Yucatán el 35% (272 mil ha.), Querétaro el 30% (44 mil ha.) y Veracruz el 22% (270 mil ha.).

De mantenerse esta tendencia, las selvas, que cubren una superficie de 308 Km², desaparecerán en 58 años, mientras los bosques, que actualmente suman 329 Km², bajarán a 260 Km² en 25 años y en 127 años se acabarán. Las principales causas de la desaparición de bosques son atribuidas al incremento de la superficie destinada a uso agropecuario, la cual pasó de 15% del territorio nacional a casi 17%. Sin embargo, nada han dicho las autoridades respecto de las causas que desencadenan ese proceso, entre las que seguramente juegan un papel importante el Tratado de Libre Comercio de América del Norte, las inversiones extranjeras, los monocultivos a gran escala y la tenencia de la tierra, entre otras (Boletín No. 54, WRM 2002).

Los árboles talados son llevados a los sitios de depósito, a través de sendas de arrastre y luego son transportados fuera del bosque por una red de caminos y carreteras, utilizando maquinaria pesada que destruye la vegetación y compacta el suelo. Además cuando los árboles caen lo hacen aplastando lo que queda debajo, incluyendo muchos árboles. La descomposición de los desechos puede impedir el crecimiento de las semillas y las ramas pueden formar el apoyo ideal para las enredaderas trepadoras que impiden la regeneración posterior de los árboles. La amenaza a la biodiversidad biológica es enorme, debido a los cambios radicales sufridos por grandes áreas del ecosistema del bosque.

Los impactos posteriores son grandes. Se altera el ciclo hidrológico al disminuir la cantidad de agua de lluvia interceptada por la fronda reducida; disminuye la evapotranspiración y el arrastre del agua de lluvia es mayor debido a la disminución de la eficiencia de infiltración de los suelos. Las operaciones de maderero también degradan el suelo y los cursos de agua a causa de la compactación, erosión y sedimentación, que a su vez conducen a una pérdida de nutrientes, también originada en la remoción de biomasa. La temperatura de la superficie aumenta debido a los grandes cambios en la evapotranspiración, y una cantidad significativa de dióxido de carbono almacenada en los árboles es liberada a la atmósfera.

El gran perdedor es este negocio es el planeta en su conjunto. Los bosques juegan un rol crucial en el funcionamiento de la Tierra como un todo. Son los que regulan el clima y constituyen algunos de los reservorios más importantes de carbono en el Planeta. El carbono almacenado en los bosques del mundo es diez veces mayor que todo el combustible fósil que se ha quemado en los últimos cien años.

La destrucción de los bosques, especialmente por la quema, determina que buena parte del carbono almacenado sea liberado a la atmósfera. El despeje de grandes áreas de bosque no solamente aumenta los impactos sociales y ambientales de los fenómenos climáticos naturales (como sequías, inundaciones, huracanes) sino que también acelera el cambio climático y sus impactos impredecibles.

Las regiones forestales más críticas en el país por este problema son:

La Selva Lacandona, Selva Uxpanapa-Chimalapas-El Ocote, Bosques mesófilos de la Sierra Madre Oriental, Valle de México, Sierra Madre de Chiapas, Altos de Chiapas, Los Tuxtlas, Región de la Mariposa Monarca, Cuenca del Lago de Pátzcuaro, Sierra Norte de Oaxaca, Sierra Tarahumara, Sierra de Manantlán, Sierra Sur de Oaxaca, Sierra Norte de Oaxaca, Sierra Sur de Guerrero, Región Huasteca, Sierra La Giganta-Magdalena.

3.1.2 Áreas Protegidas

México es el país latinoamericano con mayor diversidad de ecosistemas en los cuales se encuentra alrededor del 10% de las especies de plantas y de animales terrestres conocidas en el mundo. El uso y aprovechamiento de estos recursos biológicos es, sin duda, una de las mayores riquezas que posee nuestro país para promover y desarrollarse socioeconómicamente. Asimismo, esta diversidad representa una gran responsabilidad, dada la acelerada e irreversible pérdida de hábitats y especies.

En México, no ha sido aprovechada racionalmente la enorme diversidad de ecosistemas, especies silvestres, de flora, fauna y ecología. Tradicionalmente, esta gran riqueza ha sido sobreexplotada o subutilizada. La mayoría de las actividades actuales (rurales y urbanas), que usan directa o indirectamente los recursos naturales, tienen un marcado énfasis extractivo. Para frenar esas tendencias de deterioro y pérdida del agua, así como para sentar las bases que estimulen su conservación y aprovechamiento sustentable, es impredecible identificar los atributos, funciones y valores de las mismas, así como sus ventajas y el potencial económico que encierran.

Así pues, la información recabada por las autoridades federales, estatales y locales responsables del manejo y planeación de los recursos naturales, se encuentra dispersa, rara vez publicada y no ha sido integrada ni analizada colectivamente por la comunidad científica. Monitorear y evaluar las políticas para el manejo integral del uso del agua requieren la asociación a largo plazo entre investigadores, dependencias y usuarios. Para iniciar estas acciones regionales y considerando al mismo tiempo la conservación de los recursos, se debe reconocer las características hidrológicas y biológicas de las cuencas, identificar las necesidades de diversos tipos de usuarios (agricultura, industria y consumo humano), y reconocer a aquéllos dispuestos a colaborar con los científicos de conservación (Banco Mundial, 1991).

La Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) por medio de la Dirección General de Parques y Reservas propuso, en 1993, la creación de un Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINAP) conformado por áreas naturales prioritarias de carácter federal por su alta biodiversidad.

El proyecto sobre las áreas protegidas de México se inicia en 1992 con el estudio de las áreas protegidas a cargo de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Este estudio fue patrocinado por el Banco Mundial dentro de su estudio sobre el sector forestal de México. En 1993 la Secretaría de Desarrollo Social, con el apoyo del Banco Mundial, invitó a los autores del estudio anterior para expandirlo a todas las áreas protegidas y evaluar su eficacia en la protección de la biodiversidad del país. Dicho estudio fue terminado y entregado a la SEDESOL en noviembre de 1994 (Gómez P. Arturo., Dirzo Rodolfo, Centro de Ecología de la UNAM, 1993).

Las reformas a la Ley General del equilibrio ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) de 1996 ratifica las necesidades de integrar el SINAP con el propósito de incluir en él las áreas que por su diversidad y características ecológicas se consideren de especial importancia en el país; la ley señala también que la inclusión de áreas protegidas en el SINAP requerirá la previa opinión favorable del Consejo Nacional De Áreas Naturales Protegidas (CONANP).

Mediante un acuerdo secretarial publicado en el Diario Oficial el 8 de agosto de 1996, se organiza y pone en funcionamiento el CONANP, el cual se encuentra integrado por 28 instituciones, organismos no gubernamentales, representantes de organizaciones sociales y personalidades de amplia trayectoria nacional e internacional en materia de conservación de recursos naturales y áreas protegidas. Adicionalmente, en el Programa de Áreas Naturales Protegidas de México 1995-2000, se establecieron los elementos para el funcionamiento de este Sistema.

El CONANP identificó en la primera relación de áreas naturales, 41 áreas, cuya superficie representa el 74% de las 117 áreas naturales protegidas con decreto (*) y reconocidas por el Instituto Nacional de Ecología (INE).

El Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas tiene como función integrar las diferentes categorías de Áreas Naturales Protegidas existentes y sistematizar los criterios para su administración y manejo.

* Un decreto transforma un áreas natural en área natural protegida: Definiendo con claridad los objetivos de cada área, representa la infraestructura jurídica necesaria para un cambio en las relaciones de gestión de los ecosistemas y recursos naturales y para la organización de las comunidades locales y de los intereses relevantes a favor del desarrollo sustentable, crea una oferta que tiende a generar una demanda propia de organización, favoreciendo o induciendo la integración de grupos locales y la participación de instituciones académicas y gobiernos estatales y municipales, en un plano de intereses a favor de la conservación.

En la sesión del 5 de marzo de 1999 del CONAP, la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAT) oficializó la inclusión de todas las áreas propuestas por este consejo, a continuación se nombran algunas:

- Reserva de la Biosfera El Vizcaíno, Baja California Sur
- Reserva de la Biosfera Sierra de La Laguna, Baja California Sur
- Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas, Coahuila
- Reserva de la Biosfera Lacantún, Chiapas
- Reserva de la Biosfera Montes Azules, Chiapas
- Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena, Chihuahua
- Reserva de la Biosfera Mapimí, Durango y Coahuila
- Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala, Jalisco
- Área de Protección de Flora y Fauna Corredor Biológico Chichinautzin, Morelos, Estado de México y Distrito Federal
- Parque Nacional Lagunas de Zempoala, Morelos y Estado de México

Uno de los pilares en la conservación de los recursos naturales es la protección de hábitats considerados críticos por la diversidad de especies que albergan o por el carácter único de fenómenos biológicos o especies que presentan. Dicha protección se da a través de esquemas legales, como las áreas naturales protegidas. A nivel de la Federación, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) dentro de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) es responsable de 128 áreas protegidas federales, que abarcan una superficie equivalente a aproximadamente un 8.7% del territorio nacional. Un 95% de esta superficie pertenece a ejidos, comunidades o propietarios privados, por lo que la conservación de estos hábitats forzosamente debe ocurrir en un marco de corresponsabilidad social y búsqueda conjunta de alternativas sustentables en el uso de los recursos naturales.

Actualmente se estima que 35 400 Km² de la superficie terrestre continental aún se encuentran bajo cubierta forestal (Noble y Dirzo, 1997). La proporción bosque/población humana, sin embargo, ha venido disminuyendo de 1.2 ha per cápita en 1960 a 0.6 ha per cápita en 1995; la expectativa para 2025 es de 0.4 ha per cápita (Gardener-Outlaw y Engelman, 1999).

La transformación, alteración o destrucción de los ecosistemas naturales ha provocando la desaparición de hábitats, su fragmentación, la invasión de especies introducidas, la sobreexplotación de los recursos y la contaminación, lo cual ha puesto en peligro de extinción a numerosas especies y ha eliminado ya del planeta a un buen número de ellas.

3.2. Recursos Forestales

Los recursos naturales son de vital importancia para el bienestar de la sociedad, no sólo por los beneficios directos que ellos proporcionan, tales como madera, leña combustible, alimento, medicina, forraje, etc., sino también por las funciones ecológicas o los servicios ambientales que ellos generan, tales como la captación de agua, protección al suelo, captura de carbono, protección a la biodiversidad (hábitat para plantas y animales), recreación, entre otros.

Sin embargo, los recursos forestales siempre han estado bajo la presión de la humanidad, y cuando no se tiene un manejo forestal sostenible se conduce a su degradación o a su eliminación total en el peor de los casos. Cuando este proceso sucede, los ecosistemas forestales pierden sus funciones productivas y ecológicas, ya que se erosiona el suelo, se reduce la productividad del sitio y se pierde la biodiversidad.

Por otra parte, al no tener un desarrollo sostenible efectivo, existe el riesgo del cambio climático global, fenómeno que traerá como consecuencia el alza en el nivel del mar, incremento de inundaciones, ciclones y sequías.

En México se ha manifestado el interés por conocer los recursos forestales, que dada su ubicación geográfica, se tienen bosques de clima frío, selva y vegetación de zonas áridas.

Desde 1961 a la fecha, en México se han realizado 3 inventarios forestales a escala nacional, la información generada en cada uno de ellos ha variado dependiendo de los objetivos de interés en cada caso.

En el periodo 1961 – 1965 con apoyo técnico y económico de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), se realizaron los inventarios forestales de las áreas arboladas de los estados de Durango, Chihuahua, Sonora y territorio de Baja California. Posteriormente, se llevaron a cabo los inventarios forestales en el resto de los estados, lográndose el cubrimiento total del territorio nacional en el año de 1985, como se muestra en la Tabla No.1.

Tabla 1. Superficie Forestal en México 1961 – 1985.

ECOSISTEMA	SUPERFICIE (Ha)
Bosques	27'482, 917
Selvas	29'343,039
Chaparrales	7'772,172
Mezquitales	3'355,500
Matorrales	56'098,175
Áreas Perturbadas	17'837,867
Veg. Hidrofila	1'524,675
TOTAL	143'414,344

Fuente IFN

Este inventario arrojó una superficie forestal de 143.4 millones de hectáreas., que corresponde al 73.3% del territorio del país. De esta superficie, 56.8 millones de hectáreas. Es la superficie arbolada.

En 1992 se llevó a cabo el Inventario Nacional Forestal de Gran Visión, el cual actualiza la información ya existente y sentó las bases para realizar la evaluación periódica de los recursos forestales del país.

Este trabajo indicó una superficie forestal de 141.5 millones de ha (72.3 % del país), del cual 49.6 millones de hectáreas es la superficie arbolada.

En 1994 se realizó en México una zonificación forestal la cual dio como resultado que existen 109'172,229 ha para la producción forestal, 30 636 797 ha para restauración y 9'017,969 ha para la conservación. Este inventario indicó una superficie forestal de 141.7 millones de ha (72% del País), de las cuales 56.8 millones de ha corresponden a la superficie arbolada (Tabla No.2)

Tabla 2. Superficie forestal absoluta y relativa, 1992 – 1994.

Ecosistema	Superficie (ha)	% del Territorio
Bosques	30'433,893	15.47
Selvas	26'440,061	13.44
Vegetación de zonas áridas	58'472,398	29.72
Vegetación Hidrofila y Halofila	463,343	2.12
Áreas forestales perturbadas	22'235,474	11.30
TOTAL	141'745,169	72.05

Fuente INFP

Para el Inventario Forestal Nacional 2000 – 2001, el Artículo 9° de La Ley Forestal vigente (DOF, 20-May-97) establece que la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) formulará y organizará el inventario forestal nacional, el cual debe incluir, por lo menos la siguiente información:

- La superficie de los terrenos forestales y de aptitud preferentemente forestal
- Los tipos y la localización de la vegetación forestal
- La dinámica de cambio de la vegetación forestal
- La cuantificación de los recursos forestales

Los resultados para 2002-2001 indican que la vegetación de zonas áridas cubre 64.2 millones de ha (33.1%), le siguen los bosques con 31.6 millones de ha (16.3%) y las selvas con 28.3 millones de ha (14.6%). Los otros tipos de vegetación cubren 3.5 millones de ha (1.8 %) (Tabla No.3). La superficie total forestal es de 127.7 millones de ha, que corresponden al 65% del país, 7% menos que en 1994.

Los estados con mayor superficie de bosque son Chihuahua (6.2 millones de ha), Durango (4.4 millones de ha), Oaxaca (3.4 millones de ha), Jalisco (2.2 millones de ha), Guerrero (2.2 millones de ha) y Sonora (1.8 millones de ha), que en conjunto representan el 63.9% del total de bosque.

Los estados con mayor superficie de selva son Campeche (4 millones de ha), Quintana Roo (3.2 millones de ha), Oaxaca (2.8 millones de ha), Chiapas (2 millones de ha) y Yucatán (2 millones de ha), que en conjunto representan el 49.5% del total de selvas.

Los estados con mayor superficie de vegetación de zonas áridas son Coahuila (12.7 millones de ha), Chihuahua (10.7 millones de ha), Sonora (10.4 millones de ha), y Baja California Sur (6.2 millones de ha), que en conjunto representan el 62.3% del total de la vegetación de zonas áridas.

Destacan por tener mayor superficie forestal, incluyendo la parte arbolada y la no arbolada, los estados de Chihuahua (17.5 millones de ha), Sonora (14.4 millones de ha), Coahuila (13.3 millones de ha) y Durango (8.7 millones de ha), que en conjunto representan el 42.2% del total de la superficie forestal.

Tabla 3. Superficie forestal y de uso del suelo absoluta y relativa, 2000 - 2001

Cobertura vegetal y uso del suelo	Superficie (ha)	% del país
Bosques	31'645,959	16.3
Selvas	28'337,815	14.6
Vegetación de zonas áridas	64'206,938	33.1
Plantaciones forestales	22,639	0.01
Otros tipos de vegetación	3'490,131	1.8
Pastizales	31'363,974	16.2
Agricultura	32'785,496	16.9
Otras coberturas	2'345,458	1.2
TOTAL	194'198,41	100

Fuente INF

México realiza una explotación intensa de los recursos forestales y esta falta implica costos naturales y sociales para todos los mexicanos e hipoteca el futuro de las generaciones venideras. Si bien recientemente se ha avanzado en la actualización de las normas legales que regulan dicha actividad, se requiere este proceso mediante la promulgación de alguna nueva Ley del Bosque.

Así como esta compleja problemática exige la renovación de una ley también necesita la renovación de compromisos entre sociedad y gobierno bajo el enfoque del desarrollo sustentable, en el que las medidas de bienestar social estén acordes con el cuidado del ambiente y del aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

3.1.4 Preservación de las áreas de recarga natural

La protección de áreas de recarga contra la contaminación consiste en definir una zona alrededor del pozo en la que se prohíben o limiten determinadas actividades. Estas áreas deben extenderse hasta las zonas de recarga y han de tener en cuenta:

- a) Intensidad, régimen y localización de la recarga
- b) Características, disposición y propiedades hidráulicas del terreno, en especial sus características de autoprotección contra la contaminación
- c) Controles naturales y artificiales existentes
- d) Posición y variaciones del nivel freático y nivel piezométrico
- e) Límites en la profundidad y laterales
- f) Diferentes causas de contaminación

Es importante considerar que las normas y reglas deben estar adaptadas a cada caso peculiar y son función de la velocidad del agua subterránea, posibilidad de dilución y fijación de contaminantes, tanto en el plano como en tres dimensiones.

Considerando que el flujo de las aguas subterráneas y el transporte de los contaminantes no se puede observar ni medir fácilmente, y ambos procesos son generalmente lentos tiende a existir cierta complacencia entre los administradores del suelo y los recursos hídricos sobre el riesgo del deterioro de las aguas subterráneas.

Por lo que, se mencionan numerosas causas del deterioro de aguas subterráneas:

- La creciente diversidad química de contaminantes, que estén siendo manufacturados, distribuidos y usados, deben ser controlados antes de ser arrojados a cauces
- La amplia disposición de afluentes domésticos e industriales al terreno, debido al alto costo de métodos alternativos de eliminación
- El enorme crecimiento en la aplicación de fertilizantes y pesticidas en la producción agrícola
- La impracticidad de un tratamiento adecuado para remover contaminantes desde diferentes captaciones de aguas subterráneas, aunque sean muy pequeñas
- El costo excesivo y la falta de práctica técnica en la restauración de acuíferos contaminados
- Los efectos de la salud, asociados con la contaminación de los suministros de aguas subterráneas, a consecuencia del crecimiento de contaminantes, etc

Se tiene en cuenta la respuesta lenta de muchos acuíferos a la carga contaminante, y las redes de monitoreo generalmente inadecuadas, por lo que, no es fácil, ni rápido actuar para controlar las cargas contaminantes en ellos.

Si se espera alcanzar un progreso en la protección de aguas subterráneas contra la contaminación antropogénica, será esencial, asignar prioridades, como serían:

- 1) Zonificación del suelo basado en un criterio simple pero consistente, que podría conseguirse haciendo mapas de la vulnerabilidad de contaminación del acuífero.
- 2) Distinguir la diferencia entre la contaminación proveniente de las fuentes puntuales, fácilmente identificables, y fuentes esencialmente difusas.
- 3) Elaborar un plan de manejo y aprovechamiento de las aguas subterráneas
- 4) Determinación de las áreas donde se pueden perforar pozos sin ninguna restricción y lugares donde no se puede perforar ningún pozo

De esta manera, la explotación del recurso se realizará en forma planificada, sin el riesgo de llegar a una situación de sobreexplotación.

Dentro del área de protección se deben instalar puntos de control y un servicio adecuado de alarma y actuación, en especial en caso de accidentes. También conviene controlar sondeos que pueden poner en comunicación varios acuíferos o que permitan la entrada de aguas superficiales, por medio de las diferentes dependencias que se encargan de estos estudios como la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH); Comisión Nacional del Agua (CNA); Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA); etc. Por lo que se establecerán mapas de vulnerabilidad de acuíferos por la contaminación a escalas variables, en los que se considera si un acuífero es libre o confinado, la profundidad del nivel piezométrico, la existencia de barreras a la contaminación, etc. Lógicamente los grandes acuíferos confinados son los mejor protegidos, así como los acuíferos en zonas montañosas, donde es más fácil establecer normas de protección, y que pueden coincidir con parques naturales.

3.1.5 Recarga Artificial

La recarga artificial podría definirse como el conjunto de técnicas cuyo objeto principal es permitir una mejor explotación de los acuíferos por aumento de sus recursos y creación de reservas, mediante una intervención directa o indirecta en el ciclo natural del agua (Idid, 1967).

Todd define en 1980 a la recarga artificial como “ un aumento en la infiltración natural en el subsuelo por algún método de construcción, extensión de agua o cambio en las condiciones naturales” .

En general, la recarga artificial consiste en la introducción de agua al subsuelo por medio de drenes, canales y pozos, en los puntos o períodos más convenientes a su régimen de explotación. Esta recarga debe realizarse de modo que no se impida o disminuya la recarga natural o la que pudiera inducirse de aguas superficiales. Cabe aclarar que la recarga artificial disminuye el ritmo de subsidencia del terreno, pero no restituye los niveles iniciales.

La sobreexplotación del agua subterránea en diversas partes de México ha traído como consecuencia el abatimiento del nivel estático, hundimientos y fallas, por lo que hay que estructurar programas de reglamentación de acuíferos mediante los cuales se presentan acciones a corto, mediano y largo plazo con el objeto principal de preservar y recuperar los acuíferos, y una medida para la preservación de los recursos es la recarga artificial.

Calidad del Agua para Recarga

La calidad del agua de recarga artificial depende de las condiciones locales, del método empleado, del uso al que vaya destinada el agua resultante, de la naturaleza del terreno que deba atravesar y de consideraciones económicas que pueden conducir a un tratamiento previo a la infiltración. En caso de efectuar un tratamiento previo, éste debe tender a eliminar toda materia en suspensión, eliminar algas y prevenir su crecimiento durante el proceso de recarga.

Consideraciones sobre la recarga artificial.

En ocasiones se piensa en la recarga artificial como una solución a los problemas de muchos acuíferos sobreexplotados pero es importante estudiar si realmente el método y las condiciones particulares del caso permiten que el aumento de infiltración que se logre cumpla con los objetivos deseados.

Al proyectar una instalación de recarga artificial y una vez definidos sus objetivos y comprobando que la recarga con el agua disponible para tal fin cubrirá los objetivos propuestos, se han de tener en cuenta consideraciones de varios tipos para elegir el sistema de recarga y para dimensionarlo adecuadamente. Además de las consideraciones económicas e hidráulicas, existen condiciones locales geológicas y de calidad de agua.

Entre las condiciones locales a considerar interesa en especial la incomodidad que representa disponer de balsas de extensión junto a zonas habitadas, por la necesidad de vigilar la zona de posibles accidentes, es importante también considerar los niveles que se alcanzan en el acuífero, previendo la inundación de zonas bajas y obras subterráneas.

Entre las consideraciones geológicas hay que considerar:

- a) La existencia de materiales permeables en su superficie, su granulometría y su continuidad o discontinuidad vertical y la eventual intercalación de niveles impermeables. Así como en medios fracturados, su discontinuidad y verticalidad, tamaño de la fractura y extensión.
- b) Porosidad y capacidad de almacenamiento del acuífero, en especial del nivel no saturado
- c) Barreras que impidan el movimiento horizontal
- d) Calidad del agua de recarga que pueda afectar a la propia instalación de recarga o que puedan dar origen a precipitados al introducirlos al acuífero.

Objetivos de la Recarga Artificial

Los objetivos generales más comunes son:

- Almacenamiento de agua en el subsuelo para posterior recuperación.
- Reducción del abatimiento o recuperación de los niveles de agua subterránea.
- Mejoramiento de la calidad natural del agua subterránea.
- Atenuación de los asentamientos del terreno.

Sistemas de Recarga a Profundidad

Los sistemas de recarga a profundidad son esencialmente los pozos verticales, cuyo inconveniente es un mayor costo de construcción y mantenimiento, además de que es indispensable utilizar agua de buena calidad para aminorar los problemas de colmatación. Una ventaja de la recarga artificial por pozos es que la ocupación de terrenos es pequeña, además a través de un pozo vertical se pueden recargar todas las capas que se desee.

Pozos de absorción. Estos pozos tendrán como objetivo permitir la infiltración de agua de superficie hacia las formaciones permeables del acuífero. La principal limitación es la colmatación de sus paredes. Cuando este fenómeno ocurre es prácticamente imposible restaurar el pozo a su condición original mediante bombeo por lo que se recomienda en forma paralela a la construcción de los pozos un sistema de prevención y control de la colmatación mediante estanques de filtración (Lara, 1998).

En Ciudad Universitaria la DGCOH construyó 6 pozos de 55 m de profundidad; donde el nivel estático está a 7 m por lo que permiten la infiltración del agua de lluvia hacia el acuífero, estos pozos se encuentran ubicados en : el estacionamiento de la Facultad de Filosofía y Letras, en la Facultad de Medicina , en el estacionamiento controlado de la Facultad de Odontología, en el estacionamiento controlado de la facultad de Economía y el último bajo el paso a desnivel que une al estadio olímpico con la zona comercial.

Pozos de inyección. Estos pozos tienen un diseño similar a los de producción. Su terminación deberá estar a unos metros por abajo del nivel freático a fin de evitar que la caída del agua introduzca aire a los poros y con ello se obstruya el flujo subterráneo. Los pozos deben suministrar un flujo continuo de acuerdo con el diámetro de la tubería establecida. El diseño de los pozos de inyección debe considerar la adaptación de un equipo de bombeo de tal forma que en un período funcionen como pozos de inyección y en otros como pozos de producción con objeto de evitar la colmatación en las paredes (Ibid, 1968).

CAPITULO 4

LA LEGISLACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

Tradicionalmente y desde los romanos, se ha considerado a las aguas subterráneas como *pars fundi*(*), sobre las cuales el dueño del fundo tenía un derecho absoluto y exclusivo de uso. Las legislaciones modernas tienden a regular el uso de este recurso, ya sea a través del dominio público o del poder de policía del Estado. La regulación por parte del estado es una consecuencia necesaria de las técnicas modernas de explotación.

La explotación en aquel tiempo era a escala limitada. El impacto era por lo tanto mínimo. En consecuencia, la regulación jurídica no era imperativa. Las técnicas modernas permiten la explotación intensiva, a escala prácticamente industrial y el impacto ambiental tanto como el de la contaminación puede ser grave.

En la actualidad la protección contra la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales requiere un manejo consciente y la cooperación por parte de los ciudadanos y de varias dependencias gubernamentales.

La integración del uso de aguas subterráneas o superficiales viene demandada por la conexión que existe entre todos los componentes del ciclo hidrológico. Muchas fuentes de agua superficiales, como manantiales, ríos, arroyos, lagos y lagunas dependen, parcial o totalmente, de aguas subterráneas. A su vez, éstas son abastecidas a través de cursos superficiales, desde los que se infiltra el líquido que se integrará en los acuíferos

Hay una conexión inevitable entre el manejo de aguas subterráneas y superficiales, por ello las regulaciones de agua subterránea y superficiales se deben centrar en el acuífero en su conjunto, considerando los campos de pozos, el área de recarga, la interconexión con aguas superficiales, es decir, toda la región del acuífero. Consecuentemente, los resabios legislativos por los cuales el agua subterránea se maneja como una entidad propia, son un recuerdo ingrato de épocas de ignorancia a su respecto.

* *Pars fundi*: Una parte del fundo

Por esta razón, las leyes deben reconocer y tomar en cuenta la relación que existe entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas. Los derechos sobre ambas fuentes de abastecimiento se deben integrar y los usos deben ser administrados y manejados en forma conjunta. No debe existir una legislación separada para aguas subterráneas y superficiales. Las leyes deben constituir cuerpos que abarquen todas las diversas fuentes de abastecimiento. En lugares donde las fuentes del recurso están de esa manera conectadas, el uso debe tender a maximizar los beneficios que se deriven de ambas, autorizando o requiriendo que los usuarios sustituyan una fuente de abastecimiento por otra.

En estrecha relación con este problema, está la necesidad de que las fuentes de agua superficial y subterránea sean manejadas por entidades públicas. La integración de extracción de aguas subterráneas y superficiales es aún primitiva, aunado a la ignorancia de usuarios desinformados y administraciones no proactivas son explicaciones parciales del problema, lo que permite que en algunos lugares vía el agua subterránea se afecten usos tradicionales y derechos a aguas superficiales como esteros, vertientes, pantanos y arroyos.

En relación con este problema está el de las implicaciones económicas en las aguas subterráneas. Estas constituyen lo que tradicionalmente se ha conocido como "recurso de propiedad común", que son aquellos en los cuales existe un derecho a usar el recurso, sin cargo y compartiéndolo con otros. Desde que el mismo no tiene precio, ningún usuario tiene incentivos para reducir el uso en la actualidad con vistas al futuro. Por el contrario, cualquiera que deje de usar el recurso, por preservarlo, se arriesgará a que su cuota sea extraída por otro, siendo su participación final menor. Esto da lugar que cada uno quiera maximizar su provecho, efectuando un uso excesivo y llegándose al agotamiento o inutilización del acuífero, innecesario en algunos casos y prematuro en otros.

Las consecuencias sociales son graves; el recurso se contaminará a una tasa mayor que la deseable y las actividades económicas que en él se basen se extinguirán prematuramente. Además, se producirá la desaparición de aquellos sistemas ecológicos que se basen en la existencia de aguas subterráneas.

Así pues, estas situaciones demandan la intervención del Estado a través de la regulación del recurso y de la creación de medios legales y económicos que induzcan su uso racional y máximo aprovechamiento. En la línea con los argumentos económicos se ha llegado a la conclusión de que el incentivo más eficaz para la conservación es la creación de tasas impositivas o precios a la extracción. Dentro de los esquemas regulatorios es bueno tener presente que las aguas subterráneas presentan características tales que hacen benéfica su preservación. (Solares Miguel, Aguas subterráneas: Necesidades Regulatorias, 2000).

Es por eso, que buena parte de los conflictos que hoy se observan respecto al uso de los recursos naturales responde a cambios en la visión y las demandas de la sociedad, o de sectores de ella, respecto a los recursos naturales y la naturaleza en general.

El alejamiento de la población del contacto directo y cotidiano con la naturaleza ha llevado a una valoración distinta y menos utilitarista de la naturaleza, conjugado con el avance en la tecnología de las comunicaciones, ha facilitado que la población pueda formar opiniones y juicios en relación con lo que sucede con el medio ambiente. Estos hechos han llevado a generar los cambios de visión y demandas que deben orientar las propuestas sobre recursos naturales que el país define. Como por Ejemplo: El uso cuidadoso y la eliminación apropiada de los productos químicos que causan contaminación son también necesarios. Las industrias, las granjas y los vecinos asentados encima de las reservas de aguas subterráneas necesitan practicar un buen manejo con respecto al uso y eliminación de productos químicos. Los reglamentos gubernamentales para el uso y eliminación de materiales tóxicos tienen que cumplirse. Un paso igualmente importante es hacer que las personas estén concientes del impacto potencial que ellos pudieran tener en el agua subterránea. En muchas partes de México se tienen que realizar muchas acciones para proteger los recursos acuíferos subterráneos.

En la medida que las situaciones de cultivo y su progresiva intensificación va produciendo el reemplazo de los mecanismos de regulación naturales por factores artificiales de regulación, se va perdiendo la especificidad de lo "ecológico" en la sustentabilidad de estas actividades para derivar hacia una problemática ambiental cuyo enfoque debiera aproximarse a la del común de las actividades económicas.

Bajo un marco de propiedad de los recursos naturales existentes en México, los responsables de las acciones sobre los recursos naturales y sus efectos son los propietarios. El estado debe proteger el bien común y entregar un marco claro de exigencias que aseguren la sustentabilidad y los derechos ciudadanos, mediante servicios públicos eficientes y oportunos que fomenten, regulen y fiscalicen a estos recursos. Privilegiándose las acciones que buscan evitar los daños a los recursos naturales y el medio ambiente, ya que la recuperación es más costosa y menos eficaz.

La sustentabilidad de los recursos naturales depende de la existencia de una estrecha complementariedad con algunas políticas afines como las de biodiversidad, recursos hídricos y ordenamiento territorial.

Consecuentemente el sistema público de gestión de recursos naturales debe contar con mecanismos e instrumentos que den cuenta de las especificaciones sectoriales, de los riesgos y de los niveles de artificialización (*) que se manifiestan en cada uno de los sistemas de uso, debiendo a la vez contar con flexibilidad para enfrentar las cambiantes dinámicas naturales y sectoriales.

Para consolidar el modelo de gestión ambiental, se reconoce la necesidad de perfeccionar la legislación y la institucionalidad.

En México, en materia de agua, prevalece un modelo protagonizado por una autoridad gubernamental centralizada y propietaria de los derechos sobre el agua que asigna concesiones y permisos de uso y que, además, posee amplios poderes para determinar las condiciones de acceso y utilización. En este modelo, en general, han predominado criterios políticos sobre consideraciones económicas y ambientales en el manejo de los sistemas hidráulicos, los cuales se ven reflejados en seis aspectos muy importantes: escasez, asignación ineficiente, financiamiento insuficiente en obras de infraestructura, impactos ambientales, sobreexplotación y agotamiento.

En términos de la ley, tanto la autoridad como la sociedad cuentan con un amplio conjunto de instrumentos de política ambiental para afrontar los problemas y cumplir con los objetivos ambientales. En este sentido, la política hidráulica del país está orientada a garantizar la disponibilidad de agua para satisfacer las necesidades de una población con una alta tasa de crecimiento demográfico y a impulsar el desarrollo de las actividades económicas de manera compatible con las capacidades ambientales de cada región.

La propiedad de las aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, de acuerdo con el artículo 27 constitucional, corresponde originalmente a la nación y por lo tanto son bienes del dominio público con carácter inalienable, imprescriptible e inembargable, en los términos de la Ley General de Bienes Nacionales. La explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales sólo podrá realizarse por los particulares mediante concesiones que otorgue el Ejecutivo Federal de acuerdo con las reglas y condiciones que establece el artículo 28 constitucional (Semarnap, 1996). En 1972 se publicó la Ley Federal de Aguas, la cual unifica una gran diversidad de leyes y reglamentos en materia de agua y al mismo tiempo revela serios problemas relacionados con las prioridades de distribución, derechos de propiedad, transferencias de derechos y títulos de concesión; sin embargo, no toma en cuenta consideraciones de tipo ambiental, de equidad y de sustentabilidad (Arriaga L. 2000).

* Artificialización: Se le llama al impacto sobre el medio ambiente de las actividades que mantienen las condiciones óptimas para el recurso cultivado, como son el uso de biocidas, remoción mecánica, contaminación por alimentos, y uso desequilibrado del agua, etc. (Definición de Políticas y Sistemas de Gestiones para los Recursos Naturales Renovables, 1999)

En la publicación *Eficiencia y uso sustentable del agua en México* (Céspedes y CMIC, 1998), se señala que el manejo sustentable y eficiente del agua, al igual que cualquier otro recurso, en particular de aquéllos que tienen una dimensión común o de bien público, requiere instituciones adecuadas. Las instituciones proveen la estructura de incentivos en una economía, fijan las reglas básicas para el uso de los recursos y establecen las bases para el control o regulación de mercados y procesos administrativos. Todos los diseños institucionales para el manejo de recursos hídricos deben considerar ciertas variables de tipo biológico, físico-químico, económico y social. Entonces se deben tomar en cuenta las condiciones de aprovechamiento y uso de los recursos hídricos, la naturaleza ecológica de los cuerpos de agua, el tipo y número de usuarios, la información disponible, la mezcla de intereses locales y públicos, la variabilidad temporal y espacial del recurso, y el tipo e intensidad de los conflictos prevalecientes, así como las tecnologías disponibles, las experiencias anteriores de organización y los costos y beneficios percibidos por los usuarios antes y después del establecimiento de las instituciones.

Una vez establecidas las reglas, es necesario que su aplicación esté garantizada a través de medidas de vigilancia, control y sanción, las cuales implican costos que, por lo general, asume quien lleva a cabo estas funciones.

Por otra parte una de las debilidades más significativas de la gestión pública en recursos naturales es la falta de una entidad o instancia de coordinación de la gestión pública en esta área, lo que da origen a la existencia de políticas sectoriales que no necesariamente muestran coherencia entre sí, dando como resultado intensidades diferenciadas en el uso de los recursos

Se requiere, entonces, una solución en la que se vean reflejados los beneficios mutuos, tanto para el individuo como para la sociedad, y en la que el uso sustentable de los recursos permita ganancias económicas pero no a costa del ambiente, sino a favor de la conservación de los recursos y del ecosistema.

No es conveniente prescindir de los elementos económicos en el manejo de aguas subterráneas, puesto que la contaminación o el agotamiento de las mismas tienen el potencial de afectar la economía de las áreas de extracción. También tiene un impacto similar la utilización de subsidios que promueven su utilización más allá de la demanda efectiva de productos, o de la sustentabilidad de los acuíferos. Es por ello que los criterios económicos se han aplicado en algunas jurisdicciones para denegar permisos por efectos adversos en áreas locales, o para declaraciones administrativas de bombeo irrazonable.

En la actualidad, el cobro todavía se hace en función del número de hectáreas sembradas y no de los volúmenes de agua usados, lo que favorece el predominio de cultivos intensivos en agua y el derroche del recurso (Arriaga L. 2000).

El estado podrá adoptar un sistema de precios para la extracción de aguas imponiendo una impuesto sobre los volúmenes extraídos. La tasa de bombeo cumple una función regulatoria, pero esa debe variar en función de volúmenes que se consumen. A mayores volúmenes corresponderá un aumento de los impuestos, a fin de reducir los mismos a los límites que se hayan establecido como aceptables.

Los fondos que se recauden pueden utilizarse en obras de mejoramiento o para financiar investigaciones. Dichos fondos no deberían retornar al usuario de aguas subterráneas bajo la forma de subsidio, pues de este modo desaparece el aliciente que para el mejor uso del agua supone la existencia de un precio por unidad consumida.

Además, desde un punto de vista puramente económico, se ha recomendado que se permita la libre transferencia de los derechos del agua subterránea entre predio y predio. Donde se está produciendo un agotamiento de las aguas subterráneas, el Estado, además de instituir una reglamentación de su uso, completada con medidas que fomenten el uso conjunto y más eficiente, puede decretar la reserva del mismo, por un determinado periodo de tiempo. El objetivo, en todo caso, debiera orientarse hacia un uso prudente y la conservación del recurso. Se deben tener no sólo factores físicos, sino también económicos, sociales y ecológicos. Los usos de las aguas subterráneas, para ser autorizados, deben estar basados en estudios previos de sus efectos.

Los efectos de la contaminación de aguas subterráneas pueden ser muy graves, pues tardan más en comprobarse y una vez producidos son de larga duración, muchas veces se compromete toda la utilidad futura del acuífero. Las causas pueden ser por pozos ciegos, filtraciones de petróleo, de aguas salinas, residuos de fertilizantes y pesticidas y residuos industriales. Al respecto, deben de haber leyes, normas y acuerdos que no sólo determinen la existencia de aguas subterráneas sino también su calidad y los fenómenos que las afectan.

Las normas reglamentarias debieran comprender la perforación, operación y abandono de pozos a efectos de proteger la calidad de las aguas subterráneas. Las empresas perforadas de pozos deben ser controladas, requiriendo permisos antes de las perforaciones, así como informes de las tareas de operación y mantenimiento y de la calidad de las aguas que se obtengan.

A efectos de preservar las aguas subterráneas no basta con regular solamente las actividades que las afecten directamente, sino que además deben controlarse aquellas que pueden tener efectos indirectos sobre ellas. Entre otras podemos enumerar operaciones petroleras, mineras y, en forma general, todas aquellas que supongan el manejo de grandes extensiones de tierra.

Además, de que para tener más información sobre los acuíferos, el estado debe conducir investigaciones capaces de determinar: cuánta agua, dónde y cuáles serán los efectos del desarrollo y uso del recurso. Dado que muchos depósitos de aguas subterráneas dependen de aguas superficiales para su recarga, las dificultades para predecir su ocurrencia serán las de las aguas superficiales, más los especiales problemas que imponga predecir el movimiento de aguas debajo de la superficie terrestre. Los datos sobre aguas subterráneas son generalmente difíciles de obtener, costosos y menos precisos que los datos comparables para aguas superficiales. Ello demanda especial cuidado en la realización de las tareas de investigación. Sus resultados deben ser manejados y distribuidos de tal manera que la población, que aun sin tener conocimiento técnico usa aguas subterráneas, pueda entenderlos fácilmente.

A continuación se enlistan las Leyes, Normas y Acuerdos que regulan las condiciones en que se deben encontrar los acuíferos:

- Ley de Aguas Nacionales
- Ley General de Equilibrio Ecológico (Diario oficial de la Federación, 31 – Dic – 2002)
- Ley Federal de Derechos en Materia de Agua
- Acuerdo por el que se establece y da a conocer al público en general la denominación única de los acuíferos reconocidos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos, por la Comisión Nacional de Agua, y la homologación de los nombres de los acuíferos que fueron utilizados para la emisión de los títulos de concesión, asignación o permisos otorgados por este órgano desconcentrado, (Diario Oficial de la Federación, 5 de diciembre de 2001)
- Norma Oficial Mexicana NOM – 011 – CNA – 2000, Conservación del recurso agua que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales (Diario Oficial de la federación, 17 de Abril de 2002)
- Acuerdo por el que se dan a conocer los límites de 188 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, los resultados de los estudios realizados para determinar su disponibilidad media anual y sus planos de localización (Diario Oficial de la Federación, 31 de Enero de 2003)

- Norma Oficial Mexicana NOM – 011 – CNA – 2000, Conservación del recurso agua – que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales
- Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales
- Norma Oficial Mexicana NOM-004-CNA-1996. Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 8 de agosto de 1997.

Capítulo 5

Conclusiones .

1. El agua es un recurso vital para el desarrollo de la vida y a pesar de esto la sociedad no le da su justo valor repercutiendo en un mal uso, ineficiencia y desperdicio, llegando a situaciones de sobreexplotación y escasez en diversos lugares.
2. El impacto del medio ambiente por la sobreexplotación de aguas subterráneas, depende de varios factores como son: procedimiento de explotación, condiciones hidrogeológicas locales, clima, tipo de rocas y topografía. Dicha explotación deja marcas considerables en la tierra, el agua y el aire.
3. Los efectos negativos de la sobreexplotación pueden aparecer algún tiempo después, ser muy variados y con un alto costo económico y social. El desarrollo intensivo de aguas subterráneas produce efectos colaterales negativos como: descenso del nivel de aguas subterráneas, la desaparición de cuerpos de agua superficial y subterránea, aumento de salinidad, erosión y compactación del suelo, pérdida de ecosistemas dependientes del agua subterránea, y el aumento en procesos de contaminación en ellos.
4. El problema de sobreexplotación dl agua subterránea es cada vez más grave y va en aumento, debido al crecimiento acelerado de la población que implica un aumento incontrolable en la demanda de agua.
5. Cuando los niveles de recarga de agua a un acuífero son menores que la descarga, comienza el descenso en el nivel del agua subterránea, si este abatimiento es muy rápido y continuo, las consecuencias serán: la desaparición de cuerpos de aguas superficiales y manantiales.
6. Como consecuencia de la carencia de agua el paisaje sufre una evolución hacia situaciones periódicas o permanentes, favorecido a la ensalitración del suelo, que a su vez genera procesos erosivos, y consecuentemente a la desaparición del ecosistema
7. Los efectos negativos sobre los suelos provocan grandes desajustes en el ciclo del agua, impidiendo que el agua superficial llegue y llene las presas y consecuentemente el abastecimiento de energía eléctrica para los pozos que explotan el agua subterránea disminuye y aumenta su costo.

8. En el suelo altamente compresible, la sobreexplotación de agua subterránea origina la subsidencia y agrietamiento del terreno.
9. Las fallas geológicas en zonas urbanas se relacionan esencialmente con la sobreexplotación de acuíferos, además de que también son resultado de efectos del clima, de las técnicas de explotación (diseño del pozo) y de la respuesta del terreno.
10. Uno de los factores mas importantes que influye en la sobreexplotación de los acuíferos es el mal uso que se le da al agua, provocado por una falta de conciencia de la población acerca de la escasez y de los efectos secundarios que esto conlleva.
11. Como consecuencia de la falta de educación ambiental, de la que todos somos responsables, los residuos domiciliarios e industriales acumulados en terrenos baldíos o en los cursos de ríos o arroyos, un porcentaje significativo se infiltra.
12. Como consecuencia de la deforestación se altera el ciclo hidrológico al disminuir la cantidad de agua de lluvia, disminuye la evapotranspiración, aumenta la erosión y el arrastre del agua de lluvia es mayor debido a la disminución de la infiltración.
13. El lugar que ocupa México en la pérdida de bosque y selva, lo debemos de revocar, promoviendo el aumento de más áreas protegidas, dando una buena educación ambiental a la población, haciendo leyes que de verdad protejan a los recursos forestales y cuidar de que estas se cumplan.
14. Se deben modificar los reglamentos sobre los recursos hídricos o por lo menos vigilar la aplicación de los actuales, básicamente en los que respecta a las medidas del no desperdicio; tomando medidas adicionales que ayuden a la recarga de los acuíferos como puede ser la construcción de pozos de absorción en edificaciones que cubran una superficie importante para que el agua de lluvia sea recargada a los acuíferos; exigir en general áreas verdes o zonas de infiltración en las zonas urbanas, tratamiento y rehuso del agua.
15. Se necesita una solución para que se vean reflejados los beneficios mutuos, tanto para el individuo como para la sociedad, y en el que el uso sustentable de los recursos hídricos permita ganancias económicas pero no a costa del ambiente, sino a favor de la conservación de los recursos y del ecosistema.

16. Si la sobreexplotación para abastecer a las grandes ciudades continua, el mayor problema será: de donde se va a importar el agua , para tal suministro, probablemente la región de la cual sea factible conducir el agua tenga una demanda que no permita ceder este recurso, lo que provoca una competencia entre los usos por el agua y entre las regiones. Por lo que resultaría mejor reubicar o desarrollar las zonas industriales, agrícolas o habitacionales en donde se tenga una disponibilidad adicional del recurso.

Recomendaciones

- ❖ Para evitar un mal uso, ineficiencia, desperdicio, sobreexplotación y escasez de agua subterránea y superficial se debe de incrementar los medios de información, que llegan a la gente por medio de carteles, folletos, videos, internet, seminarios, conferencias y cualquiera otro medio que ayuden en la comprensión y la difusión de información y conocimiento adecuados para una buena educación ambiental.

BIBLIOGRAFIA

- Aguadelo M. Guillermo, 2001, Factor de Vida y Muerte para una Ciudad, 125 p.p Instituto de Investigaciones sobre la Evolución Humana, A.C
- Albores Zárate, Beatriz A. (1995). Tules y sirenas. El impacto ecológico y cultural de la industrialización en el Alto Lerma. El Colegio Mexiquense - GEM, Secretaría de Ecología. México, 478 pp.
- Albores, Beatriz A.; 1995; Tules y sirenas; el impacto ecológico y cultural de la industrialización en el Alto Lerma; El Colegio Mexiquense, A.C. y Gobierno del Estado de México, Secretaría de Ecología; p. 478.
- Alvarez Manila A, García Anguas P., 2001, Estado Actual del Conocimiento del hundimiento y agrietamiento, Secretaria de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte, 10 p.p , México
- Antón, Danilo, 1997; Ciudades Sedientas, CIID-Nordan-UNESCO, Montevideo.
- Appelo, C.A..J. y Postman, D., 1993; Geochemistry groundwater and pollution; A.A. Balkema. Rotterdam Brookfield. 536 pp.
- Arreguín -Cortés, Felipe I., 1994; "Efficient use of water in cities and industry"; en Efficient Water Use, pp.61-92, ed. Por UNESCO, Montevideo, Uruguay.
- Arreguín, Terán. Dos testimonios sobre historia de los aprovechamientos hidráulicos en México. CNA – CIESAS.,1994
- Arriaga, L., Espinoza,J.M., Aguilar E., Martínez, L Gómez y E. Loa, 2000; Regiones Terrestres Prioritarias de México; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. SEMANAP, 609 p.p. CORENA-SMA-DF
- Arriaga, Laura, Aguilar, Verónica, 2000, Aguas Continentales y diversidad Biológica de México, 300 p.p, México
- Armienta H. Aurora, Contribución al estudio de los mecanismos de transporte del cromo en el acuífero de León, Guanajuato. Tesis de Maestría en Geofísica, Instituto de Geofísica, México, 1992. UNAM
- Barceló Q.I., García A.J., Avila P.P. y Solís C.H., 1996; "La presa José Antonio Alzate y el desarrollo del valle de Toluca", en Memorias del X Congreso de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental A.C.
- Barcelo Q.I., Solís C.H. y González C. C., 1998, Evolución estacional de parámetros fisicoquímicos en la presa "J.A. Alzate"; México, XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, AIDIS, México.
- Barzetti, Valerie (Ed.) (1993). Parques y progreso. Washington D.C. UICN (Unión Mundial para la Conservación de la Naturaleza). Banco Interamericano de Desarrollo.

- Bethemont, J., 1980; Geografía de la utilización de las aguas continentales. Oikos Tau, Barcelona, España, p. 436.
- Boehm, B.; Sandoval. M. ,1999; "La sed saciada de la Ciudad de México y la nueva cuenca Lerma-Chapala-Santiago. Un ensayo metodológico de lectura cartográfica. Relaciones"; en Estudios de Historia y Sociedad XX (80), 15-68.
- Campillo García José, Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, procuraduría federal de protección al ambiente, instituto de investigaciones jurídicas serie doctrina jurídica, núm. 125
- Carmona Lara, Maria del Carmen, Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, procuraduría federal de protección al ambiente, instituto de investigaciones jurídicas serie doctrina jurídica, núm. 125
- Castañón, V.M.; Morales, A. y Pérez-Hernández, H. (1995). Efectos del reuso de aguas residuales sobre los recursos de agua subterránea para uso urbano en el Valle de León, Guanajuato. Reporte técnico GSA/95/2. Comisión Nacional del Agua, British Geological Survey y Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León.
- Castillo, I.; Sánchez Vázquez, C., Castillo Villavicencio, G. y Rosales, F. (1997). "Situación de la depuración de las aguas residuales municipales en México". en Memorias XI Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. Zacatecas, tomo I, pp. 456-462.
- Castro de Esparza, M.L., 1997; Contribuciones al manejo de los recursos hídricos en América Latina: acondicionamiento del agua para bebida; Conferencia; CIRA, Facultad de Ingeniería, UAEM. Toluca, México.
- Castañón, V.M.; Morales, A. Y Pérez – Hernández, H. (1995). Efectos del reuso de aguas residuales sobre los recursos de agua subterránea para uso urbano en el Valle de León, Guanajuato. Reporte Técnico GSA/95/2. CNA,British Geological Survey y Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León.
- CCRECRL (Comisión Coordinadora para la Recuperación Ecológica de la Cuenca del Río Lerma), 1993; Atlas Ecológico de la Cuenca Hidrográfica del Río Lerma; Tomo I. Cartografía. Gobierno del Estado de México. México. 414 pp.
- Cervantes, M.E., Islas, R.M.A. y Duarte; A.J.L.; 1989; Análisis de la producción agrícola nacional; Ingeniería Hidráulica en México, 1989.
- Custodio E. y Llamas, J.R. , 1983; Hidrología Subterránea; 2 Tomos. 2ª Edición. Editorial. Omega. Barcelona. 2459 pp.
- CHCVMVM, (1968). Estado de las obras de captación del D.D.F. en el Alto Lerma y del estudio correspondiente de los acuíferos, al 25 de marzo de 1968". Documento de la DGCOH. México, 9 pp.
- CHCVMVM, (1986). Estado de las obras de captación del D.D.F. en el Alto Lerma y del estudio correspondiente de los acuíferos, al 25 de marzo de 1968. Documento de la DGCOH. México. 9 pp.
- Cherry, J.A. (Guest editor),1983; "Migration of contaminants in groundwater at a landfill: a case study"; en Journal of Hydrology, Vol.63, N°1-2, mayo de 1983, p. 197

- Chilton, P.J.; Morris, B.L. y Foster, S., 1996; Los recursos hídricos subterráneos y la disposición de aguas residuales urbanas, interacciones positivas y negativas. VII Curso Internacional OMS-PNUMA-GEMS/OPS-CEPIS/ODA-BGS. p. 42
- Dekov V. M., Komy Z., Araújo F., Van Put A. y Van Grieken R. (1997). "Chemical composition of sediments, suspended matter, river water and ground water of the Nile (Aswan-Sohag traverse)". en *The Science of the Total Environment*, 201: 195-210.
- Departamento del Distrito Federal, México, Ciudad de Ríos y Oportunidades, Departamento del Distrito Federal, México, 1996, 24 p.p
- Deutsch, W.J., 1997; *Groundwater Geochemistry. Fundamentals and Application to Contamination*; CRC Press. Boca Raton. Fl. 221pp., EEUU.
- DGCOH (1997). Estudio de evolución de niveles piezométricos en la cuenca del alto Lerma para el periodo 1985-1997 [t. I]. Estudios y Técnicas Especializadas en Ingeniería, S.A. de C.V. México, 46 pp.
- DGCOH (1997). Estudio de la evolución de niveles piezométricos en la cuenca del alto Lerma para el periodo 1985 – 1997, Estudios y técnicas Especializadas en Ingeniería, S.A. de C.V. México, 46 pp.
- Diario Oficial de la Federación (DOF, 1997). Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Publicada el 6 de enero de 1997.
- Díaz Delgado, C., K-M, Ba, Iturbe-Posadas, A, Esteller, M-v García Aragón , J.-A., 1998; SIG para el análisis Geográfico-Hidrológico del Curso Alto del Río Lerma, Estado de México. XVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Oaxaca, México, memorias ISBN 968-7417-21-8, pp. 779-788.
- Domínguez Mariani, E. y Ortega Guerrero, M.A. (1998). "Interacción de aguas residuales con un acuífero regional"; en *Memorias de la Primera Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra*. México. p. 176.
- Dorfman, Robert y Nancy Dorfman (1993) *Economics of the Environment*. Nueva York, Norton.
- Dourejanni, Axel, 1991; *Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable*; Comisión Económica para América Latina y el Caribe; pp.73; Santiago de Chile.
- Economist, The, 1996; "Water, water everywhere"; 24 de febrero de 1996, pp.65-66.
- Escamilla, Hernández, F.J., El acuífero del Valle de Toluca-Ixtlahuaca-Atzacomulco, Un análisis conceptual para su racional explotación, Curso-Taller Internacional sobre Recursos Hídricos, UAEM, Toluca, México, 1990.
- Esteller, M.V. Contaminación de Aguas Subterráneas. El caso del Valle de León ,Guanajuato, México. Centro Interamericano de Recursos de agua. Facultad de Ingeniería de la UAEM.
- Estudio de factibilidad técnica, económica, financiera e institucional para el mejoramiento de los servicios de agua potable y alcantarillado del municipio de Toluca. [t. I]. Multiestudios grupo asociados, S.A. de C.V. México. 284 pp. (1992).
- Löehnberg, Alfred (1958). Plan que se propone para incrementar el abastecimiento de la ciudad de México por medio del Sistema Lerma. DDF-DGOH. México, 25 pp.

- Falkenmark, M., 1997; "Society's interaction with the water cycle: a conceptual framework for a more holistic approach"; Hydrological Sciences- Journal des Sciences hydrologiques, 42 (4) Agosto de 1997, p. 451- 466.
- Farah, Jumanah, 1994; Pesticide policies in developing countries; The World Bank Discussion Paper 238, Washington, DC.
- Field, Barry C. y Azqueta Oyarzún, Diego, 1996; Economía y medio ambiente; Mc Graw Hill, tres tomos, pp.874.
- Folk, R.L and Ward, W.C. 1957; "Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters". Jour. Sedimentary petrology. V.27, pp 3-26.
- Foster, S.; Gale, I. y Hespanhol, I., 1994; Impacto del uso y disposición de las aguas residuales en los acuíferos con referencia a América Latina; British Geological Survey y Organización Mundial de la Salud. 77 pp.
- Garcia – Paña Esteban, López – Forment Guillermo, Flores X. Ramiro, 2001, Los Recursos Forestales y El Cambio en el Uso de la Tierra en México, 3 p.p, GCP/RLA/133/EC, Santiago de Chile.
- Gardner, Gary y Perry, Jim, 1995; Big-dam construction is on the rise; World Watch, Septiembre/ Octubre de 1995; pp.36-37
- GEM (1981). Plan de Gobierno 1981 – 1987. Bases para una nueva estrategia de desarrollo. México, s.n.p.
- Gobierno del Estado de México, 1993; Atlas Ecológico de la cuenca hidrográfica del Río Lerma; pp. 249.
- Graves, William (ed.) et al, 1993; "Water: the power, promise, and turmoil of North America's fresh water"; en National Geographic Special Edition, Vol.184, N° 5a; pp.120
- Greenpeace, 1992; The Greenpeace book of water; Cameron Books
- Ham Chi, Manuel, 1996; "Gestión integral del agua: el caso de la cuenca Lerma- Chapala"; en Agua: Desafíos y Oportunidades para el Siglo XXI; pp.69-80 Gobierno del Estado de Aguascalientes.
- Herrera Revilla, Ismael et al, 1995; El Agua y la Ciudad de México; publicado por el Consejo Nacional de Investigación, p.353, México.
- Herrera, M.E. y Sánchez Zavala, J.L. , 1994; Estratificación y Recursos Minerales del Estado de México, Memoria y mapas; Gobierno del Estado de México. Secretaria de Desarrollo Económico, México
- Honorio, R.J. y Hernández, H.F., 1982; Origen, estratigrafía y petrología de la Cuenca de México y sierras circunvecinas; Tesis profesional. IPN-ESIA-México.
- <http://lanic.utexas.edu/la/Mexico/water/ch3esp.html>
- <http://www.bibliojuridica.org/libros/libro.htm?l=542>
- <http://www.todo-ciencia.com/geologia/0i35601400d990262708.php>
- <http://www.ambiente-ecologico.com/revist24/aguas24.htm>
- <http://www.ecotropia.com/d1021202.htm>
- <http://www.ccvn.org.mx/movimiento.htm>
- <http://www.cddhcu.gob.mx/bibliot/publica/inveyana/polisoc/dps03/3prononat.htm>
- <http://www.cna.gob.mx/portal/publicaciones/PNH01>
- http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_065.html

- http://www.conama.cl/14grandes_temas/definici%C3%B3n_de_pol%C3%ADticas_y_sistem.htm
- <http://www.csambientales.buap.mx/breviario/30.html>
- http://www.eurosur.org/medio_ambiente/bif74.htm
- http://www.irrigacion.mendoza.gov.ar/pol_agua_nivel_freaticas.htm
- http://www.imta.mx/proyectos/muestras_hca/hca_lermachap.htm
- <http://www.ine.gob.mx/esesaero11.html> 06/El_agua_recurso_1.pdf
- <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea31s/ch07.htm>
- INEGI, 1995; Censo de población de 1995; Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática; Estado de México, México.
- Jansson, Ann Mari, Monica Hammer, Carl Folke y Robert Constanza (1994). *Investing in Natural Capital: the Ecological Economics Approachs to Sustainability*. Washington, D.C., Island Press.
- Jiménez, B y Chávez A. (1998). Posibilidades de reuso en el Distrito Federal y el Valle de Mezquital. 1er Simposio Latinoamericano de Tratamiento y Reuso del Agua y Residuos Industriales. Memorias Tomo II: 58. pp 1-58.13.
- Lazarus, Jay y Drake Paul G. y Shoenfeld, Peter B., 1994; "Water reuse - water quality and water rights considerations"; en *Efficient Water Use*, UNESCO- ROSTLAC; pp.145-152.
- Leff, Enrique, 2000; "Pensar la complejidad ambiental"; en *La complejidad ambiental*, pp.7-53; Siglo XXI, PNUMA, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias, México.
- Lonergan, Stephen C. y Brooks, David B., 1994; *The economic, ecological and geopolitical dimensions of water in Israel*, Centre for Sustainable Development, University of Victoria, Victoria, Columbia Británica, Canadá.
- Lluria, Mario R., 1996; "Recuperación de aguas residuales por recarga artificial"; en *Agua: Desafíos y Oportunidades para el Siglo XXI*; pp.243-248; Gobierno del Estado de Aguascalientes.
- Macias González Héctor L. *El futuro del Agua Subterránea en el Valle de León, Guanajuato*. 1998. Facultad de Ingeniería. UNAM
- Macias Glez H. L. y Arrayo .C F. Alejandro. *Subsistencia del terreno por Sobreexplotación de Acuíferos: Un desastre geológico en tres fases*. Tercer Congreso Nacional de Universidades en Protección Civil, México, 1995.
- Martínez Alier, J., 1995a; *Curso de Economía Ecológica*; p. 15; Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental N°1; Red de Formación Ambiental, PNUMA, México.
- Martínez Alier, Joan, 1995b; *De la economía ecológica al ecologismo popular*; Ed. Nordan, Montevideo, Uruguay. (Primera edición en Barcelona, 1992, por Icaria Editorial.)
- Millot, Georges, 1979; "La arcilla"; *Investigación y Ciencia*, N°33, junio de 1979, pp.47-57.
- Morales Sales, E. Samuel (1988). *La industrialización del valle de Toluca y las poblaciones ribereñas del río Lerma*. UAEM - CICSyH. Toluca, 176 pp.
- Neri Flores Iris, *Experimento de Recarga Artificial en el Acuífero de la Comarca Lagunera*, Tesis Lic. Geofísico, 2001, Facultad de Ingeniería, UNAM.

- NOM-127-SSA1-1994; Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamiento que debe someterse el agua para su potabilización; DOF 108-112, 15 de agosto de 1994, México.
- Organización Mundial de la Salud (OMS), 1980; "World Health, Water Decade 1981- 9-1990"; en The Magazine of the WHO.
- Ortega, Adrián, 1992; Influence of clay aquitard fractures on non-reactive solute migration and land subsidence in the Chalco Basin, México; Waterloo Centre for Groundwater Research, University of Waterloo, Ontario, Canadá.
- Ortega, Adrián. 2000, Evaluación de Riesgos Relacionados con Hundimientos Regionales, Agrietamientos y contaminación del acuífero de la Ciudad de México, pag 21, Simposio Internacional de Riesgos Geológicos y Ambientales en la Ciudad de México, México
- Ouillon, Sylvain, 1993; Modélisation Mathématique de l' hydrodynamique à surface libre et du transport en suspension de sediments non cohesifs; Tesis de Doctorado; Institut National Polytechnique de Toulouse, Francia.
- Panizza, M. (Editor), 1996; "Environmental Geomorphology"; en Development in Earth Surface Processes, N°4, Elsevier Science Ltd.
- Pavón, S., Rojas, M., Morales, M., Pavón, J., Enfermedades hídricas, Contribuciones al Manejo de los Recursos Hídricos en América Latina, Editores: Diaz Delgado, C. y Esteller, M.V., UAEM, México, pp. 226-233, 1997.
- Petkova V. Simeona, Fuentes. H. Verónica y Serra M. Montserrat. Definición de la red de monitoreo para caracterización de la calidad de agua subterránea en el municipio de León, Guanajuato. Seminario: Intercambio del Conocimiento y Experiencias en el Manejo del Recurso Hídrico, Guanajuato, México, 2002
- Plan Nacional Hidráulico 2001 –2006, CNA, México, 2001.
- Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal. Gaceta Oficial del D:F. 1° de agosto del 2000. , 122 p.p. DGEA-SMA-GDF
- Reyes R, Hernández, H. y García J.A.; 1999. Determinación de zonas de azolve en la presa Alzate, Edo. de México. IV Congreso Nacional de Ciencias Ambientales (ANUIES). Facultad de Química-UAEM. Toluca México.
- Rios Ricardo, Garcia – Peña Esteban, 2001, Estado Actual del Manejo Forestal en México, 10 p.p, GCP/RLA/133/EC, Santiago de Chile.
- Rivera Tejeida J.F, Identificación de Zonas Potenciales de Incendios Forestales en México, Simposio Internacional de Riesgos Geológicos y Ambientales en la Ciudad de México, pag. 63, México 2000.
- Rodríguez Jáuregui, Carmen (1989). " Los hundimientos del subsuelo de la ciudad de Toluca: Efectos físicos y sociopolíticos 1986-87". Mimeo, UAEM – FAPUR. Toluca, 154 pp.
- Rudolph, D.L., Herrera, I. Y Yates, R., 1989; "Groundwater flow and solute transport of the Texcoco saline aquifer system near Mexico City"; en Geofísica Internacional, Vol 28-2, 1989, pp.363-408.
- S.D.U.O.P (1983). Patrón de ocupación territorial en los municipios metropolitanos del estado de México. Anexo 6: Problemas ambientales. GEM, Grupo de estudios Urbanos y regionales. Toluca, México, 37 pp.

- Saavedra, Jorge Carlos, 1996; "Análisis de las experiencias en programas de uso eficiente del agua en zonas urbanas de México"; en Agua: Desafíos y Oportunidades para el Siglo XXI; pp.155-166 Gobierno del Estado de Aguascalientes.
- Sáinz Ortiz. Infiltración artificial en la cuenca del Valle de México., 1963
- SARH, Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica. Dirección General de Grande Irrigación. Sub-Dirección de Geohidrología y de Zonas áridas. Nota informativa acerca de las condiciones Geohidrológicas de la Comarca Lagunera, Coah. Y Dgo. México. 1978
- Schoonmaker Freudenberger, Mark, 1988; State-of-the-art paper on desertification; International Development Research Center, West Africa Regional Office, Dakar, Senegal, pp.66.
- SEDESOL (1994). *México: Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 1993-1994*. México. INE.
- SEMARNAP Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, (1995). Programa Hidráulico 1995-2000. Gobierno de la Federación. México.
- SEMARNAP, Evolución de la Campaña de Prevención y Control de Incendios Forestales 1998, Foro Regional sobre Prevención y Combate a los Incendios Forestales y Regeneración de áreas Afectadas, México, D.F, 1998
- Siebe, C. y Cifuentes, E., 1993. "Environmental impact of wastewater irrigation in Central Mexico, an overview"; en Inter. J. of Environmental Health Research, 3(4): p. 28.
- Simons Robinson Edwin, 1990. Geología Física Básica, Ed. Noriega editores, Limusa, México.p 660
- Soberón Acevedo.- Rúbrica.- El Jefe del Departamento del Distrito Federal, Ramón Aguirre Velázquez.-Rúbrica.
- Solanes Miguel, 2000, Aguas Subterráneas: Necesidades Regulatorias, Jornadas de derechos de Aguas de la Pontificia Universidad de Chile, Chile
- Solís Morelos, C., 1990; Plantas compactas potabilizadoras accionadas con cargas hidráulicas. Reporte Técnico final, UAEM, CONACYT, México.
- Sonenshein, Roy S., 1996; "Delineation of saltwater intrusion in the Biscayne Aquifer, Eastern Dade County, Florida, 1995"; Water Resources Investigations Report 96-4285, USGS.
- SRH, 1972; Plan Lago de Texcoco, p.64.
- Tamez, Enrique, 2000, El Hundimiento Regional del Valle de México, Simposio Internacional de Riesgos Geológicos y Ambientales en la Ciudad de México,pag 22, México
- Tamhane R. V., Motiramani D. P. y Bali P. (1978). Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales. Ed. Diana, México. p. 36-37.
- Trejo Moreno A. Y Martínez Baini A. Agrietamiento de suelos zona de Querétaro. Universidad Autónoma de Querétaro
- Tricart, Jean, 1965; "Introduction a la géomorphologie Climatique"; en Traité de Géomorphologie, T.I, París, SEDES.
- Trujillo Flores, E., 1999; Análisis estadístico-probabilístico para la determinación de eventos extremos hidrológicos, Tesis de Maestría en Ciencias del Agua, Centro Interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México.

- UNESCO- ROSTLAC, 1986; Agua, vida y desarrollo; ed. UNESCO-ROSTLAC, tres tomos, Montevideo, Uruguay.
- UNITECNIA, S.A. de C.V. ,1996; Estudio para el diseño de redes de monitoreo de los acuíferos de los Valles de Toluca y Atlacomulco-Ixtlahuaca, en el Edo de México; Comisión Nacional del Agua. 66 pp., planos y anexos; México.
- Vargas C. Carlos; Carreón F.Dora;Garfias S: Jaime; Gámez G. Javier. Control Estratigráfico del flujo de agua subterránea en el Valle de Querétaro. Tercera Reunión Nacional de ciencias de la tierra, México, 2002
- Velasco-Molina, H.A., 1991; Las zonas áridas y semiáridas, sus características y manejo; Editorial Limusa, primera edición (s.l.).
- Velázquez, J.F. Mas,R. Mayorga-Saucedo,J.R.Díaz, C.Alcántara, R. Castro; 2000, Estado actual y Dinámica de los Recursos Forestales de México, 393 pp
- Velazquez, L. y Ordaz, A ,1994; "Provincias hidrogeológicas de México"; en Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo L11, México.
- Villarello. Hidrología Subterránea de la Comarca Lagunera del Tlahualili, 1910
- Waitz. Algunos datos sobre aguas subterráneas y su aprovechamiento, 1930
- WCED (World Commission on Environment and Development), 1987; Our common future (The Brundtland Report); Oxford University Press, Oxford, Reino Unido.
- Whiteford, Scott y Cortez, Alfonso, 1996; "Conflictos urbano/rurales sobre el agua del río Colorado en el ámbito internacional"; en Agua: Desafíos y Oportunidades para el Siglo XXI; pp.121-154 Gobierno del Estado de Aguascalientes, México.
- WRM (World Rain Forest Movement), Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales
- Zalewski M., Janauer G. A. y Jolankaj G.: «Ecohydrology: A New Paradigm for the Sustainable Use of Aquatic Resources », *Technical Documents in Hydrology* 1997; 7, UNESCO, Paris.
- Botkin. B. Daniel y Keller. A. Edward ; Environmental Science ; Jonh Wiley & ScnS. Inc. ; New York ; 1995.

ANEXO FOTOGRAFICO



Fotografía No.1, Se observa la subsidencia que sufre la calle de Valle de las Nueces de la colonia Valles de Coacalco, Estado de México.



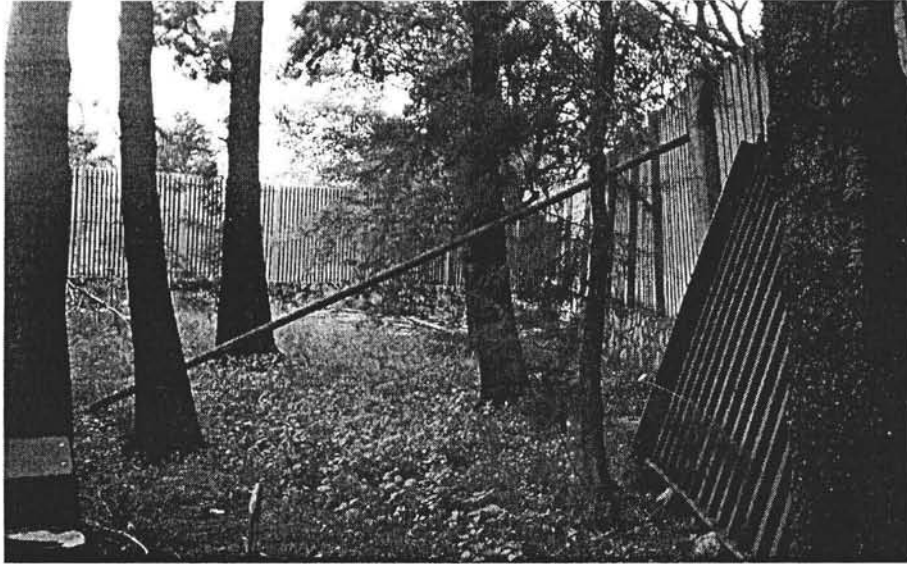
Fotografía No. 2, Después de la subsidencia y el agrietamiento continua el colapso en la calle de Valle de las Nueces de la colonia Valles de Coacalco, Estado de México.



Fotografía No.3, Muestra la subsidencia que se presenta en el patio trasero del Colegio de Ciencias y Humanidades Vallejo, se observan restos del edificio "A" ya demolido.



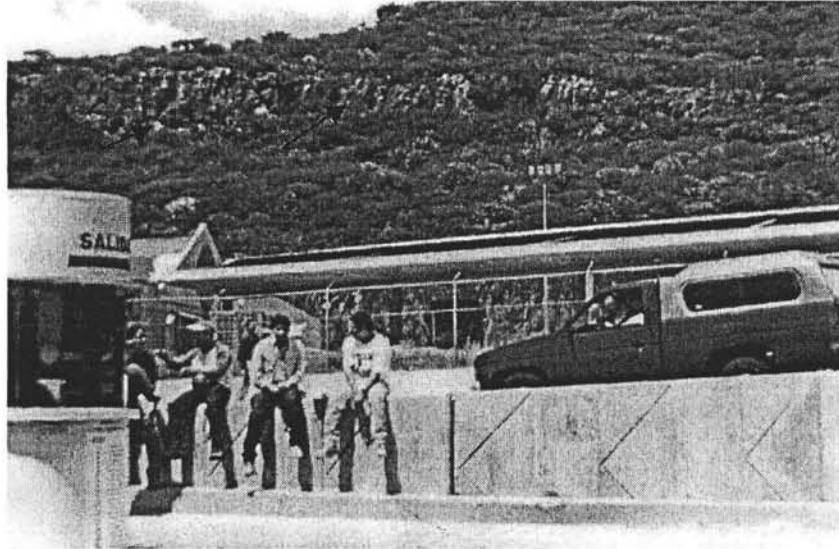
Fotografía No. 4, Se muestra otra perspectiva de la subsidencia que afecta al CCH, Vallejo. México D.F.



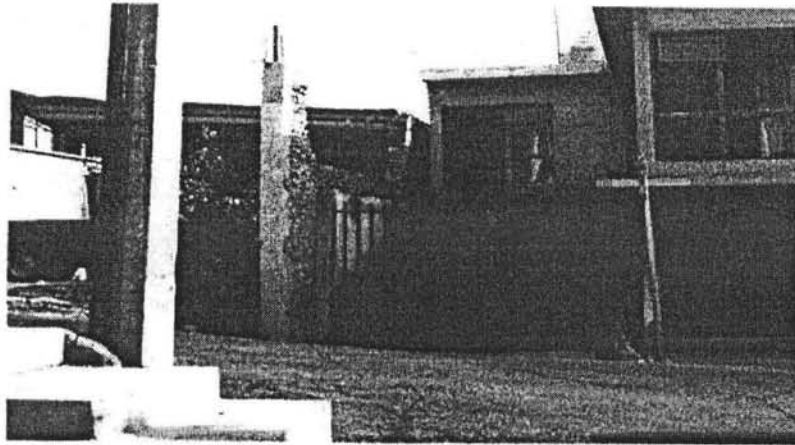
Fotografía No. 5, Se observa como se ha tenido que asegurar por medio de apuntalamientos la barda trasera del CCH Vallejo, México D.F.



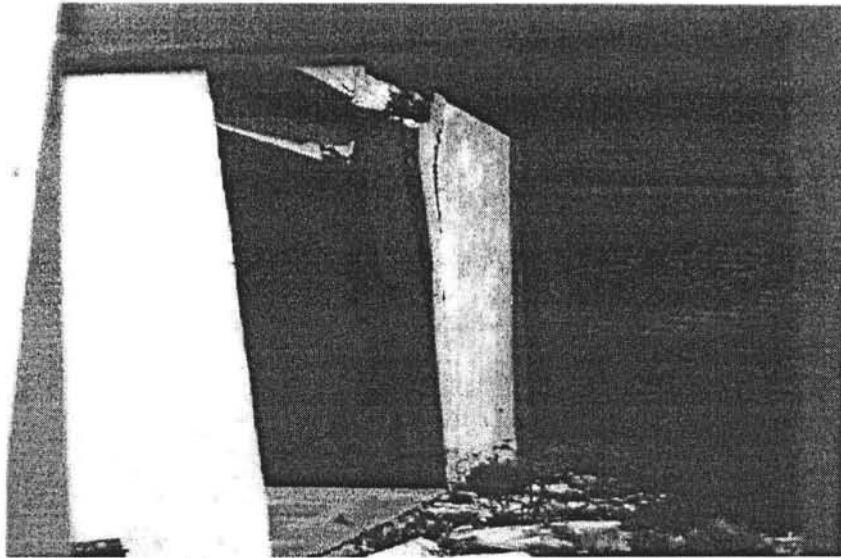
Fotografía No. 6, Hundimiento que se registra en el camellón de la Avenida Cien Metros, México D.F.



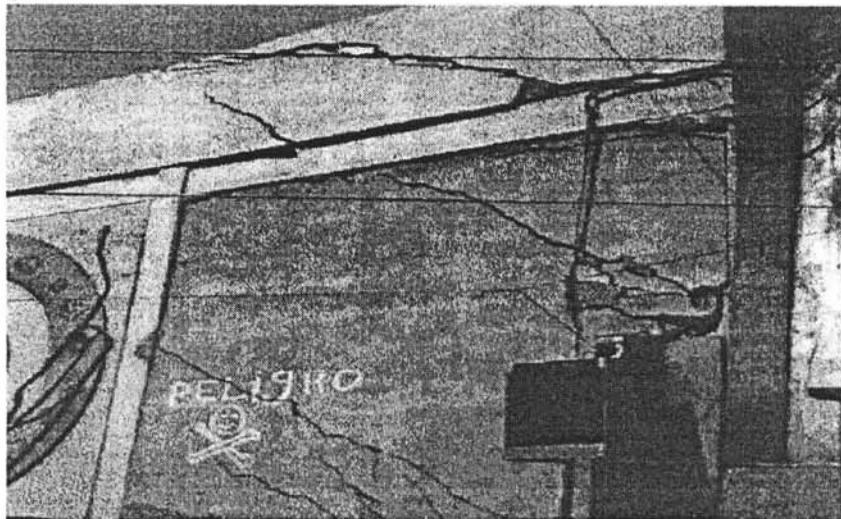
Fotografía No. 7, La Falla Querétaro cruza a la ciudad afectando varias construcciones.



Fotografía No.8, Esta vivienda se encuentra ubicada frente al hotel San Francisco, Celaya, Gto. Los daños que se observan en toda la construcción son efecto de una falla que cruza por la ciudad, provocando en este punto un desnivel de 1.04 metros, con una afección horizontal de 17metros.



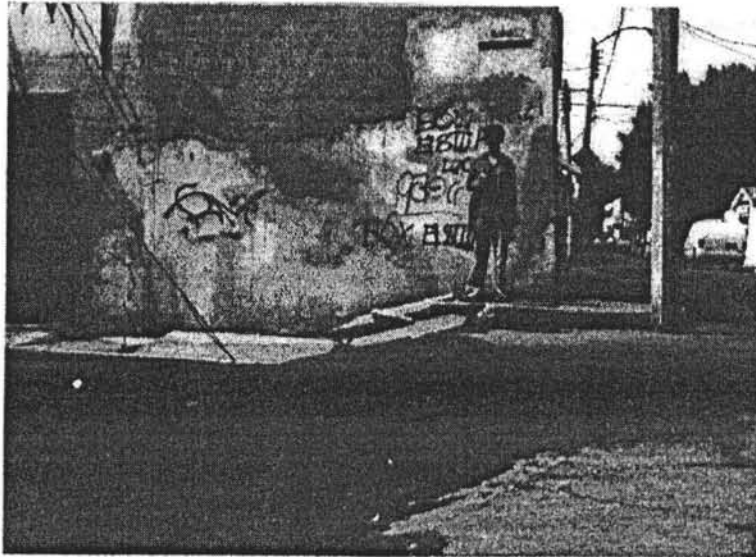
Fotografía No. 9, En esta casa habitación ubicada entre las calles de Pedro de Gante y Luis Velasco en la ciudad de Celaya, Guanajuato, el desnivel que presenta la falla es de 0.75 metro. Manifestándose en esta casa con un intenso fracturamiento, por lo que se encuentra desabitada actualmente.



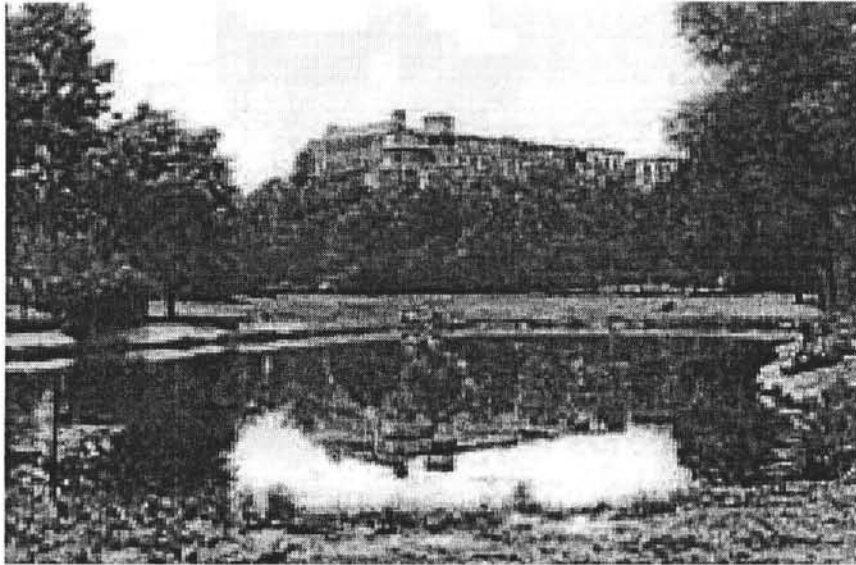
Fotografía No. 10, Muro perteneciente a la zona comercial ubicada entre las calles Quinto Centenario y Antonio Plaza. La falla tiene una dirección $SE25^{\circ}$, afectando los locales comerciales y la red telefónica.



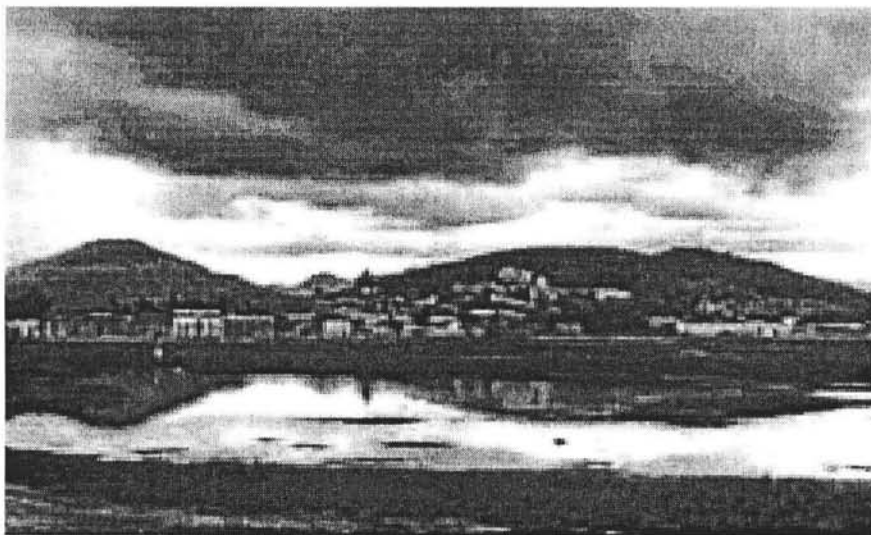
Fotografía No. 11, Parte trasera de una casa habitación ubicada en la calle Narciso Mendoza, la cual se encuentra prácticamente en ruinas y sería imposible poder habitarla, representando un gran riesgo por que en cualquier momento puede haber un colapso provocando algún accidente.



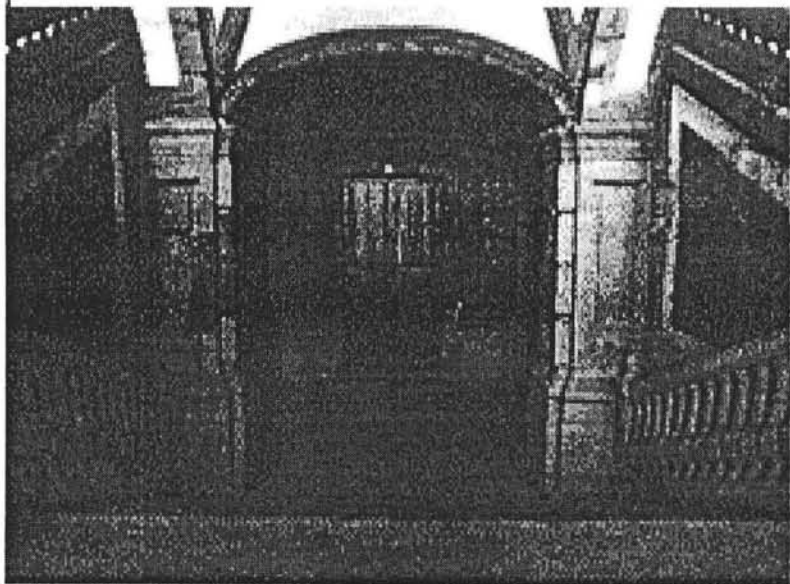
Fotografía No.12, Calle Ignacio Ramírez cruce con Luis Velasco. Se observa el intenso daño de la acera, el muro, y la calle con un agrietamiento y rompimiento de ellos, se han reparado tanto la calle y el muro de la casa habitación en repetidas ocasiones, lo cual sólo mitiga pero no detiene los alcances de la falla. El daño en la alcantarilla, es muy grande por lo que se infiere que las tuberías y el sistema general de drenaje esta afectado.



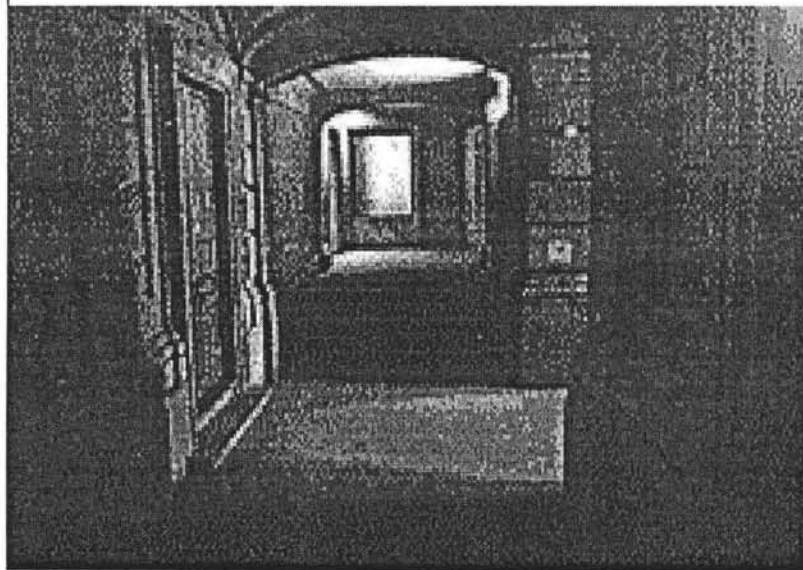
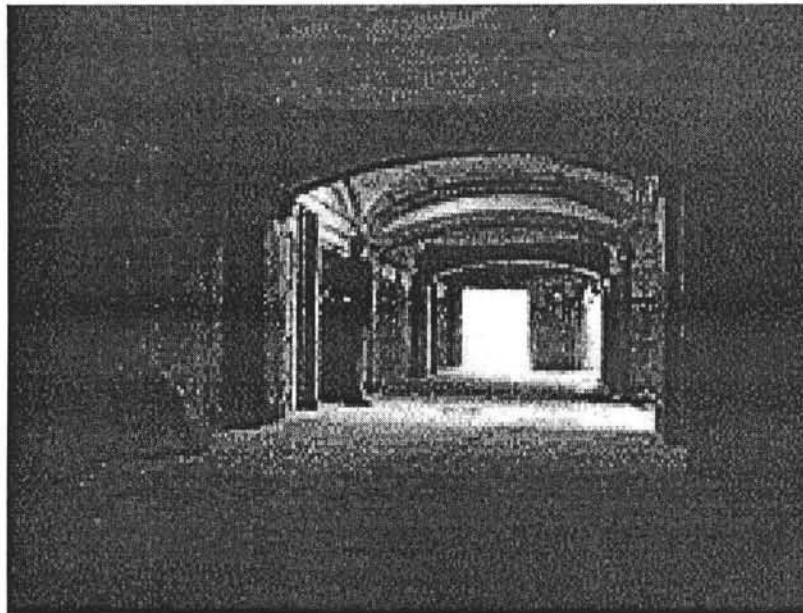
Fotografía No.13, Antiguo Lago de Chapultepec 1940. El cual era alimentado por los manantiales que se encontraban en sus alrededores, los cuales a consecuencia de la sobreexplotación en el Valle de México ya no existen ,obsérvese la calidad cristalina del agua.



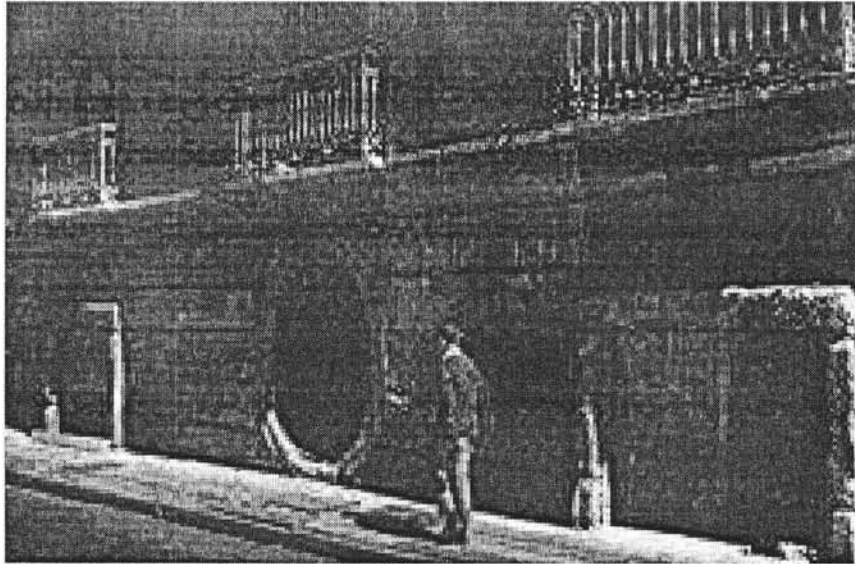
Fotografía No. 14, Antiguo lago de Guadalupe-Hidalgo 1940. Consecuencia de la sobreexplotación efectuada en la Ciudad de México, actualmente ya no queda nada de este gran lago.



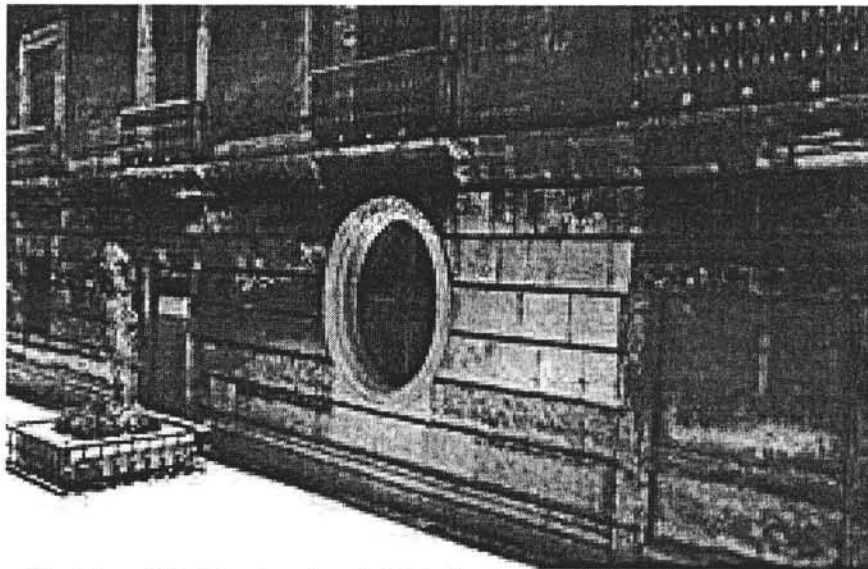
Fotografía No.15, Conforme se hundía el Palacio de Minería se iba rellenando el piso para mantenerlo al mismo nivel de la calle. Al recuperar su nivel original se rescataron los espacios como se muestra.



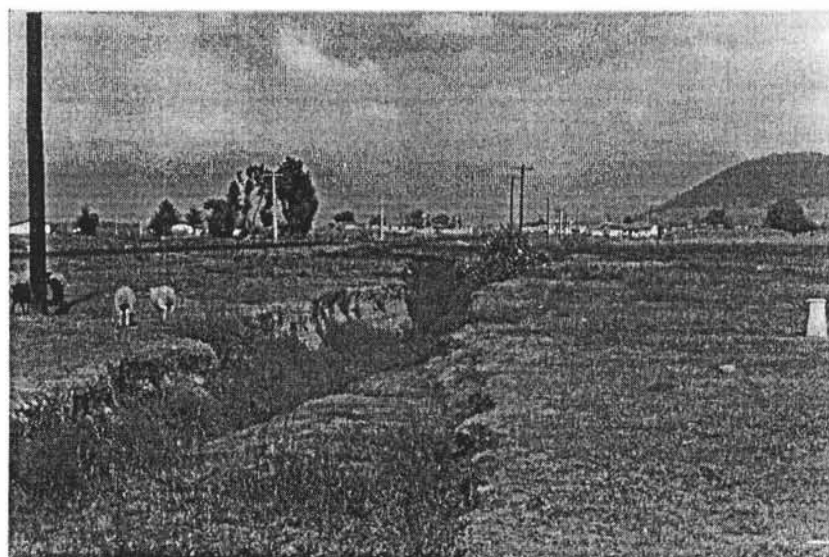
Fotografía No. 16, A medida que se hundía el edificio del Palacio de Minería 1960, se iba rellenando el piso para mantenerlo al mismo nivel que la calle. Al recuperar su nivel original se rescataron los espacios como se muestra.



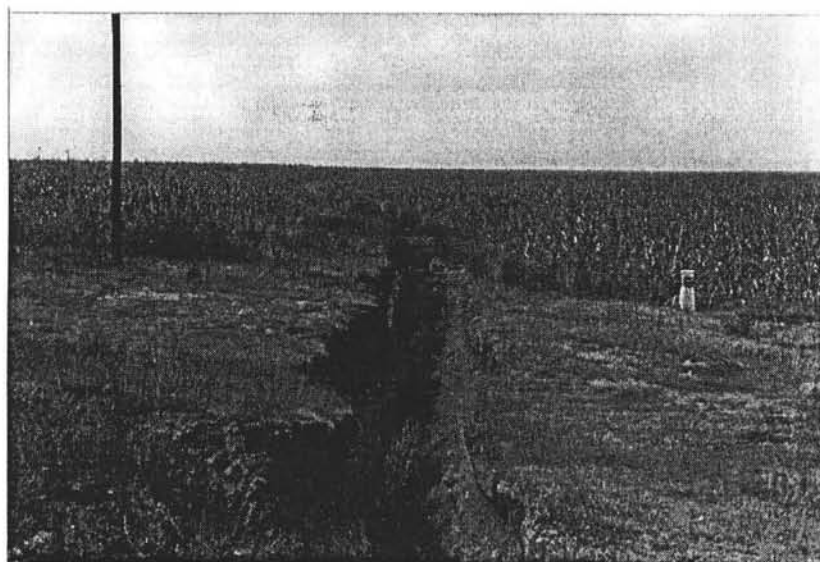
Fotografía No.17, Vista del Palacio de Minería desde la calle callejón de la Condesa, con el nivel que tenía antes de la restauración 1940.



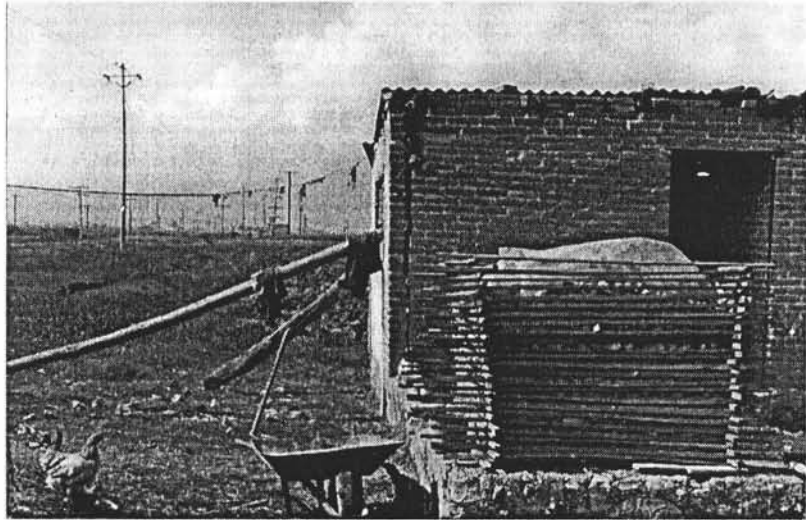
Fotografía No. 18, Fachada del Palacio de Minería que da a la calle callejón de la condesa, una vez restituido el nivel de la banqueta original.



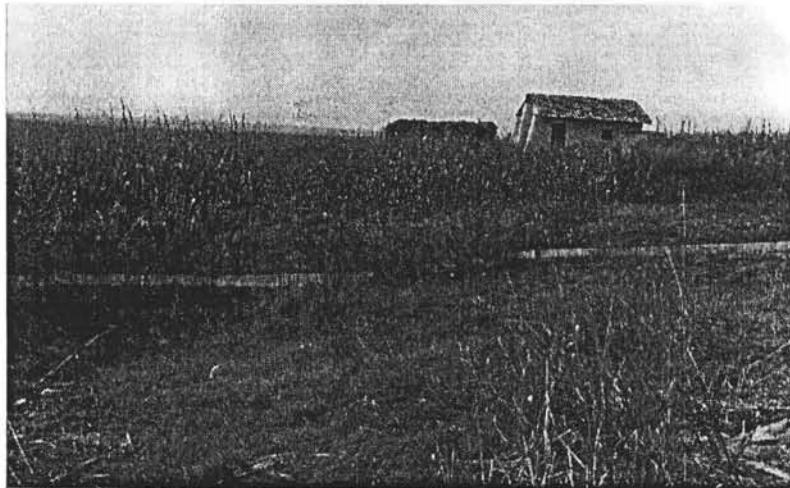
Fotografía No. 19, Muestra la de una grieta en la comunidad de Ixtlahuaca, Estado de México. Como consecuencia de la sobreexplotación de acuíferos.



Fotografía No. 20, Perspectiva diferente de la grieta en Ixtlahuaca, Estado de México. Obsérvese la profundidad de medio metro a ¡ metro.



Fotografía No21, La casa habitación muestra su muro lateral afectado a causa de la tensión que produce la gran grieta que pasa por debajo de esta, dejándola en una situación de alto riesgo e inhabitable. La grieta cruza varios kilómetros de Ixtlahuaca Estado de México.



Fotografía No. 22, Observe la subsidencia que presenta el terreno, afectando a la barda y produciendo una diferencia de niveles como consecuencia del la tensión que produce la grieta de Ixtlahuaca, Estado de México.



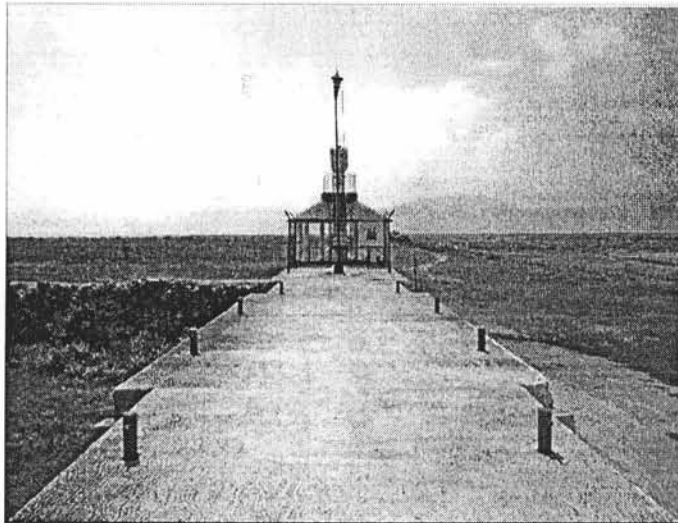
Fotografía No23, Muelle del Lago de Chapala 1976, cuando el nivel del lago era alrededor de los 8000 m³ y la economía del lugar giraba alrededor de la pesca.



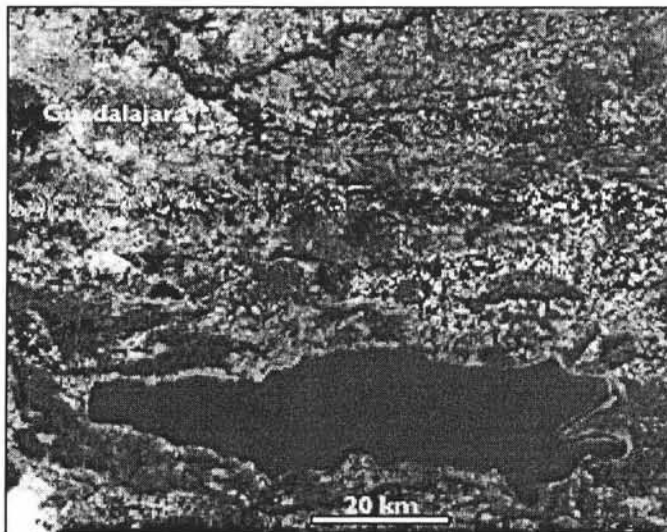
Fotografía No 24, Por la Sobreexplotación este es el aspecto del Lago de Chapala en 2001, la actividad económica ya no depende de la pesca, ya que sus aguas se utilizan para mantener a la población de las ciudades de Guadalajara y León entre otras.



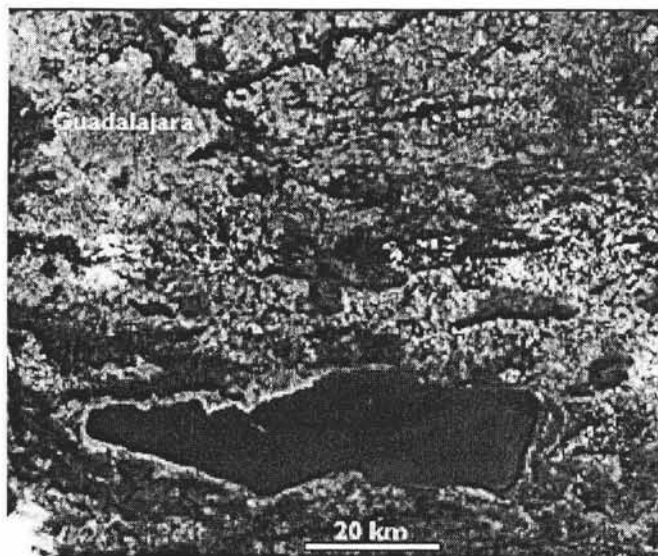
Fotografía No. 24 Muestra la gran cantidad de agua que tenía el Lago de Chapala en 1976. Con una superficie de 1,112 Km² y un área de captación de 53,500 Km²



Fotografía No.25, El mismo Kiosco de la foto anterior, 26 años después, ahora lo que queda es una gran planicie consecuencia de la sobreexplotación que afecta al Lago de Chapala 2002.



Fotografía No.26, Imagen Landsat del Lago de Chapala en 1986, a sus 1,525 msnm , con el nivel de sus aguas de 8,125 Mm³ y su área de 1048 Km².



Fotografía No. 27, Imagen Landsat del Lago de Chapala en 2001, notándose dramáticamente el descenso de sus aguas a un nivel de 1,120 Mm³ en un área de 812 Km². Estas imágenes muestran que el lago ha perdido 24 hectáreas y descendido entre 2 y 4 metros según reportes de la CNA.