

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
CURSOS ABIERTOS  
VII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS  
MODULO II: CONTAMINACION DE ACUIFEROS  
DEL 25 AL 29 DE SEPTIEMBRE DE 1995  
DIRECTORIO DE PROFESORES

ING. MA. AURORA ARMIENTA HERNANDEZ  
JEFE DEL LABORATORIO DE QUIMICA  
ANALITICA  
INSTITUTO DE GEOFISICA, UNAM  
CIUDAD UNIVERSITARIA  
04510 MEXICO, D.F.  
TEL. 622 41 14

QUIM. ALFONSO AQUINO ESPEJEL  
JEFE DEL AREA DE CROMATOGRFIA  
P.I.DET., S. A.  
AV. SANTA LUCIA 265  
MEXICO, D.F.  
TEL. 651 00 08

FIS. ALEJANDRA CORTES SILVA  
INVESTIGADOR I.G.F.  
INSTITUTO DE GEOFISICA, UNAM  
CIUDAD UNIVERSITARIA  
04510 MEXICO, D.F.  
TEL. 622 41 35

ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES  
ADMINISTRADOR  
LESSER Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V.  
RIO GUADALQUIVIR 3  
COL. PATHE  
76020 QUERETARO, QRO.  
TEL. 23 15 15 Y 23 33 61

DR. RAMIRO RODRIGUEZ CASTILLO  
JEFE DEPTO. DE RECURSOS NATURALES  
INSTITUTO DE GEOFISICA  
CIUDAD UNIVERSITARIA  
04510 MEXICO, D.F.  
TEL. 550 54 15

ING. FRANCISCO SUZAN COLOMBES  
SUBGERENTE DE RESIDUOS SOLIDOS  
BANCO NAL. DE OBRAS Y SERVS. PUBLICOS, S.N.C.  
INSURGENTES SUR 1582 PISO 3  
COL. CREDITO CONSTRUCTOR  
MEXICO, D.F.  
TEL. 420 55 19

SECRET  
OFFICE OF THE DIRECTOR  
CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY  
WASHINGTON, D.C. 20505

MEMORANDUM FOR THE DIRECTOR  
SUBJECT: [Illegible]

DATE: [Illegible]

SECRET

[Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]

ALL INFORMATION CONTAINED  
HEREIN IS UNCLASSIFIED  
DATE [Illegible] BY [Illegible]

**VII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS****MODULO 2.- CONTAMINACION DE ACUIFEROS**

25 AL 29 DE SEPTIEMBRE DE 1995

<b>DIA</b>	<b>HORA</b>	<b>T E M A</b>	<b>PROFESOR</b>
<b>LUNES 25</b>	9:00 A 14:00	CONTAMINACION DE ACUIFEROS	ING. JUAN M. LESSER ILLADES
	16:00 A 19:00	PRINCIPIOS DE QUIMICA ORGANICA	QUIM. ALFONSO AQUINO
<b>MARTES 26</b>	9:00 A 12:00	CALIDAD DEL AGUA	FIS. ALEJANDRA CORTES DRA. MA. AURORA ARMIENTA
	12:00 A 14:00	RADON	
	16:00 A 19:00	QUIMICA DEL AGUA. CICLOS DEL FIERRO Y DEL NITROGENO	
<b>MIERCOLES 27</b>	9:00 A 14:00	CONTAMINACION DE ACUIFEROS	DR. RAMIRO RODRIGUEZ C.
	16:00 A 19:00	RIESGOS E IMPACTO EN LA SALUD	DR. RAMIRO RODRIGUEZ C.
<b>JUEVES 28</b>	9:00 A 13:00	RIESGOS E IMPACTO EN LA SALUD (CONTINUACION)	DR. RAMIRO RODRIGUEZ C.
	15:00 A 19:00	RELLENOS SANITARIOS, IMPACTO AMBIENTAL, DISEÑO Y OPERACION	ING. FRANCISCO SUZAN COLOMBRES
<b>VIERNES 29</b>	9:00 A 14:00	CONTAMINACION POR HIDROCARBUROS Y RELLENOS SANITARIOS	ING. JUAN M. LESSER ILLADES
	16:00 A 19:00		

[Faint, mostly illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page. Some words like "TABLE", "ITEM", and "NO." are faintly visible.]







**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM  
CURSOS ABIERTOS**



**CURSO:** VII Curso Internacional de Contaminación de Acuíferos, Mód. II: Cont. de Acuífero  
**FECHA:** del 25 al 29 de septiembre de 1995.

**EVALUACIÓN DEL PERSONAL DOCENTE**

(ESCALA DE EVALUACIÓN: 1 A 10)

CONFERENCISTA	DOMINIO DEL TEMA	USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES	COMUNICACIÓN CON EL ASISTENTE	PUNTUALIDAD
Ing. Juan Manuel Lesser Illades				
Quim. Alfonso Aquino				
Fis. Alejandra Cortes				
Dra. Ma. Aurora Armienta				
Dr. Ramiro Rodríguez C.				
Ing. Francisco Suzan Colombres				

Promedio \_\_\_\_\_

**EVALUACIÓN DE LA ENSEÑANZA**

CONCEPTO	CALIF.
ORGANIZACIÓN Y DESARROLLO DEL CURSO	
GRADO DE PROFUNDIDAD DEL CURSO	
ACTUALIZACIÓN DEL CURSO	
APLICACIÓN PRACTICA DEL CURSO	

Promedio \_\_\_\_\_

**EVALUACIÓN DEL CURSO**

CONCEPTO	CALIF.
CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL CURSO	
CONTINUIDAD EN LOS TEMAS	
CALIDAD DEL MATERIAL DIDÁCTICO UTILIZADO	

Promedio \_\_\_\_\_

Evaluación total del curso \_\_\_\_\_

Continúa...2

1. ¿Le agradó su estancia en la División de Educación Continua?

SI

NO

Si indica que "NO" diga porqué:

---

2. Medio a través del cual se enteró del curso:

Periódico <i>Excelsior</i>	
Periódico <i>La Jornada</i>	
Folleto anual	
Folleto del curso	
Gaceta UNAM	
Revistas técnicas	
Otro medio (Indique cuál)	

3. ¿Qué cambios sugeriría al curso para mejorarlo?

---

---

---

---

---

---

---

4. ¿Recomendaría el curso a otra(s) persona(s) ?

SI

NO

5. ¿Qué cursos sugiere que imparta la División de Educación Continua?

---

---

---

---

---

---

---

6. Otras sugerencias:

---

---

---

---

---

---

---

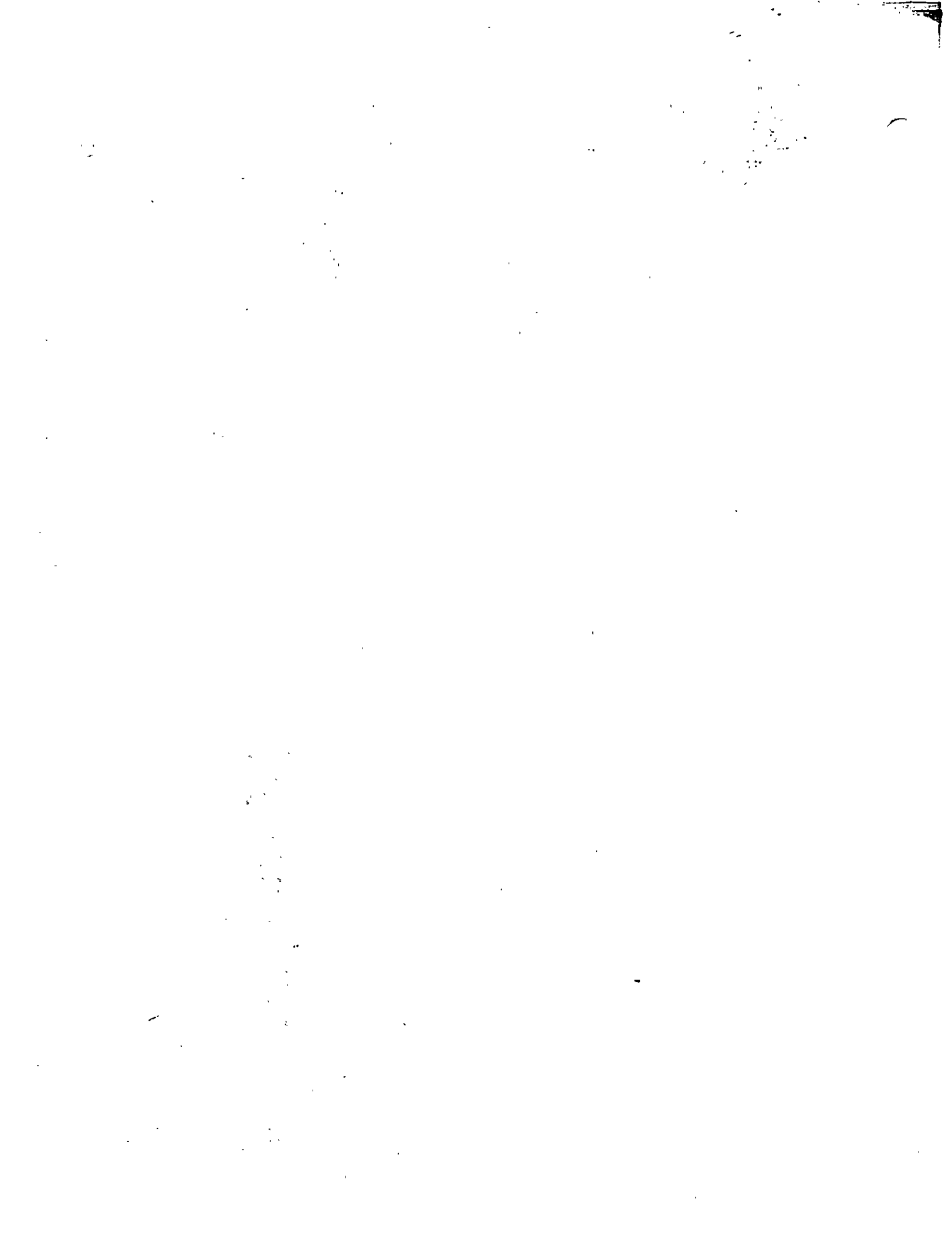


**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS  
VII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS  
MODULO II: CONTAMINACION DE ACUIFEROS**

**CONTAMINACION DE ACUIFEROS**

**ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES**



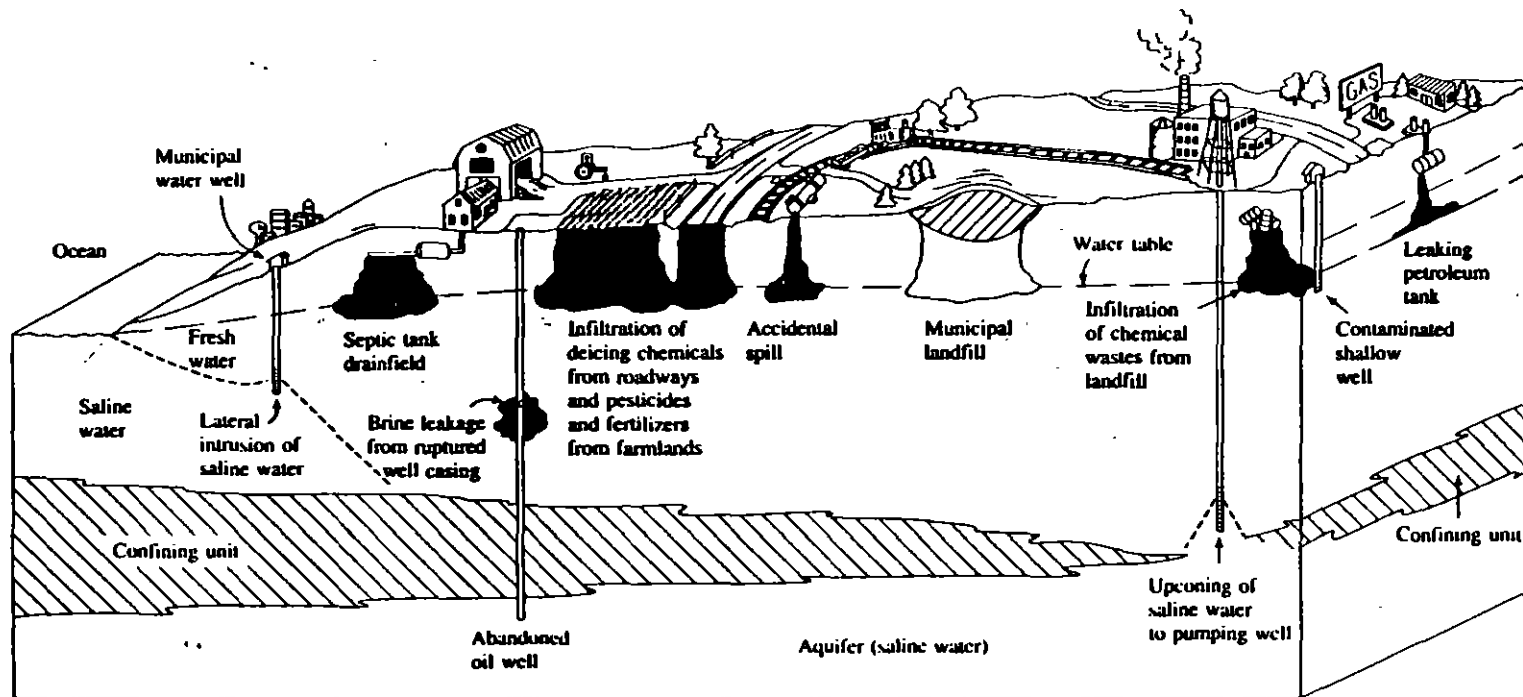
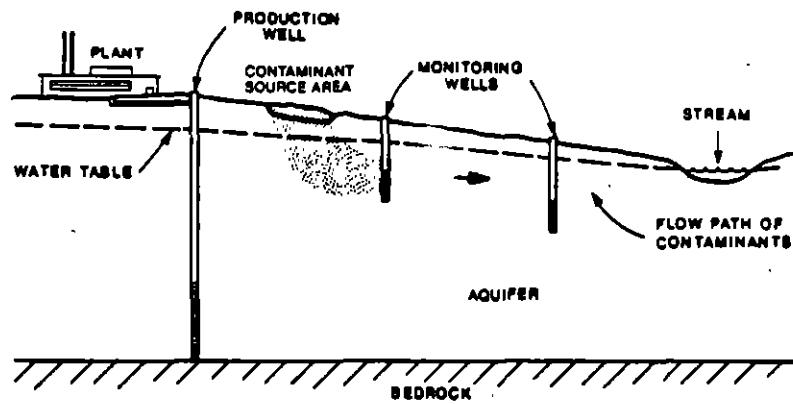
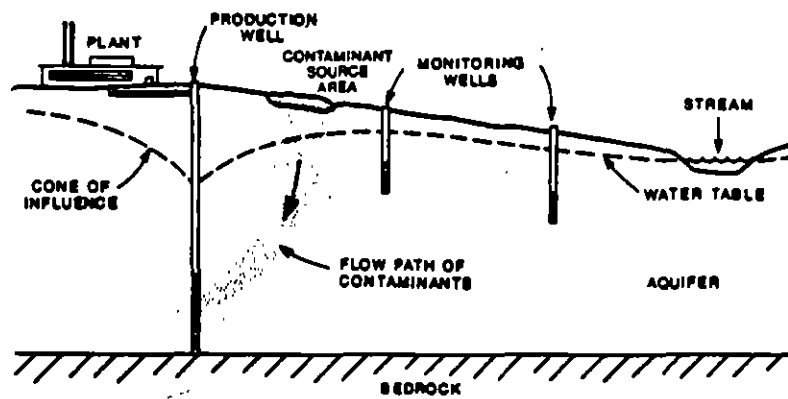


FIGURE 1.1 Mechanisms of ground-water contamination.



A. IF NO PUMPING OCCURS



B. IF PUMPING OCCURS

Figure 3-46. Locating monitoring wells to map contaminants in an area affected by pumping w

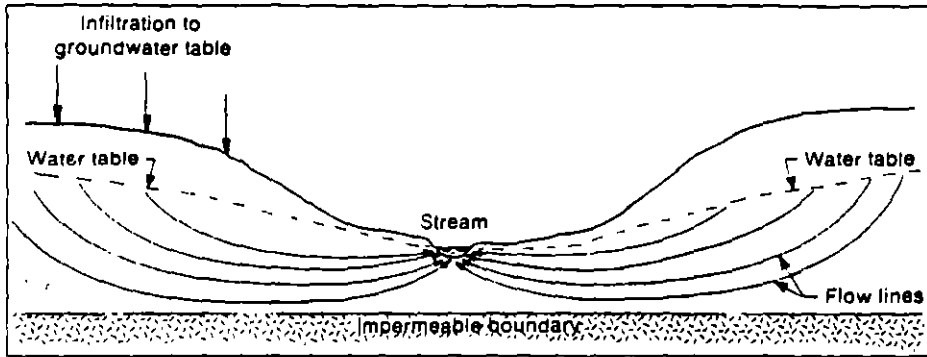


Figure 5.17a. Cross section through a stream valley showing flow lines in the groundwater system.

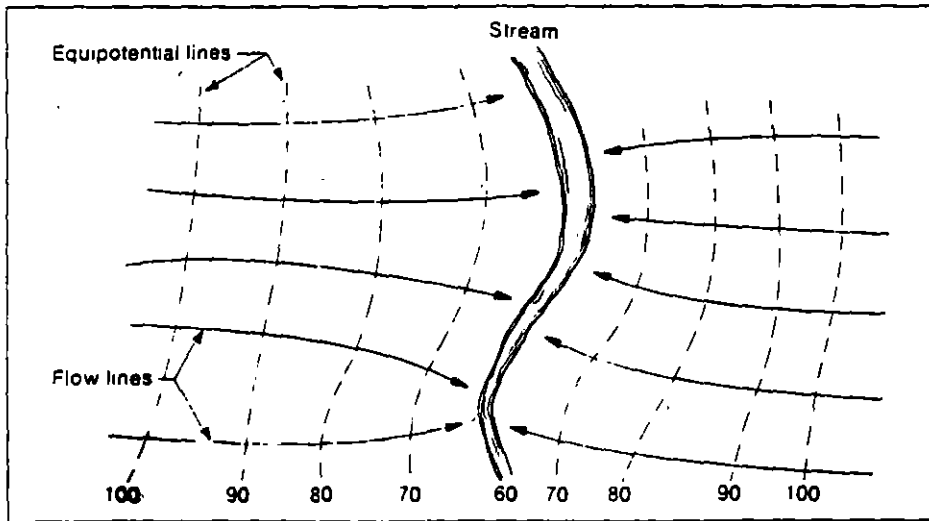
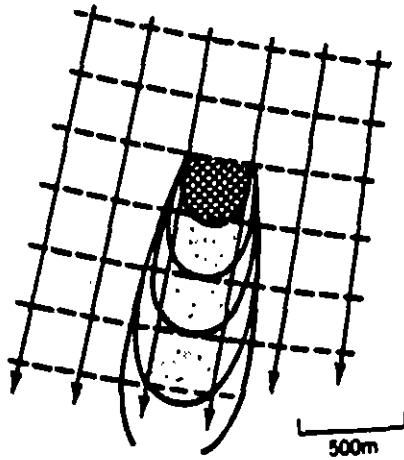
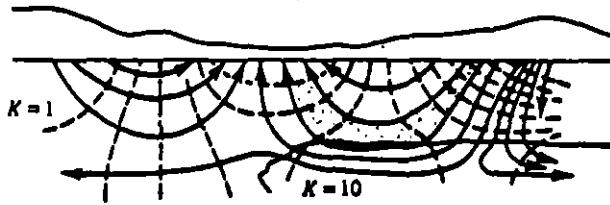
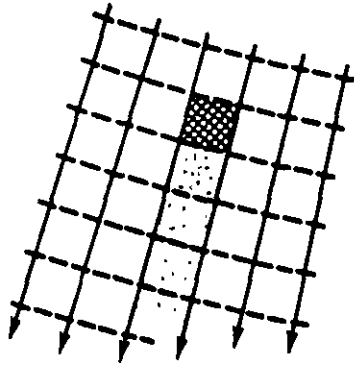
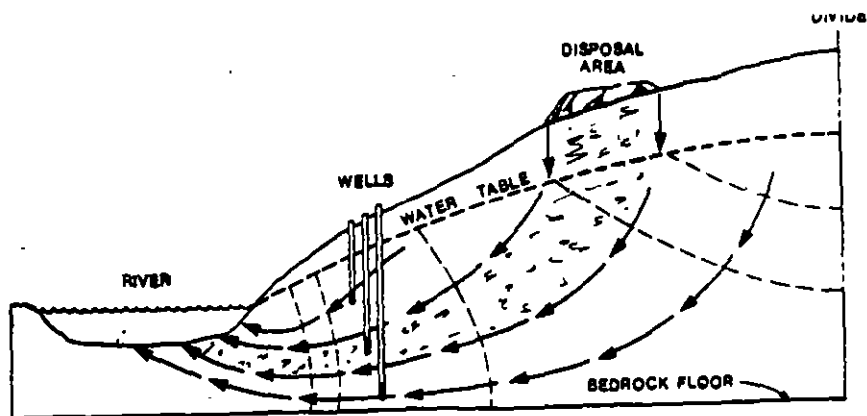
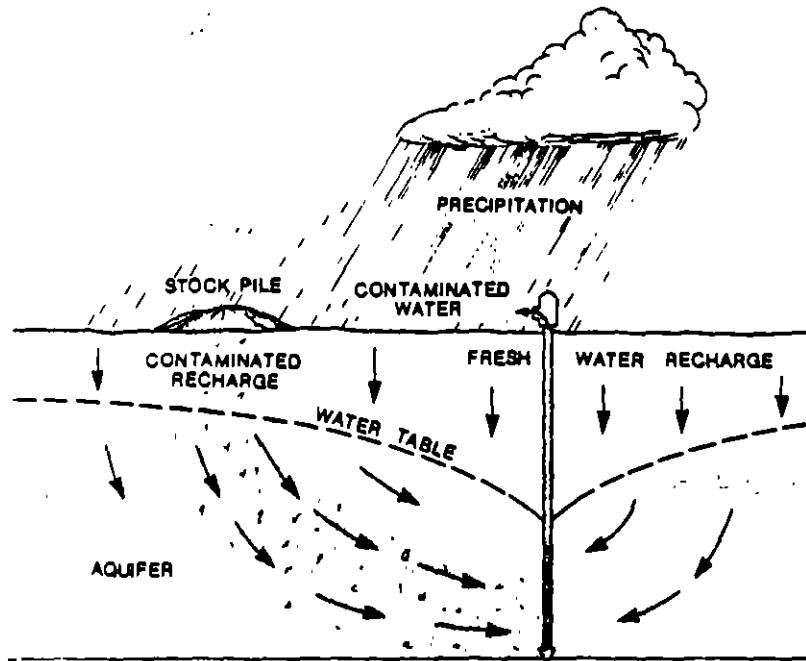
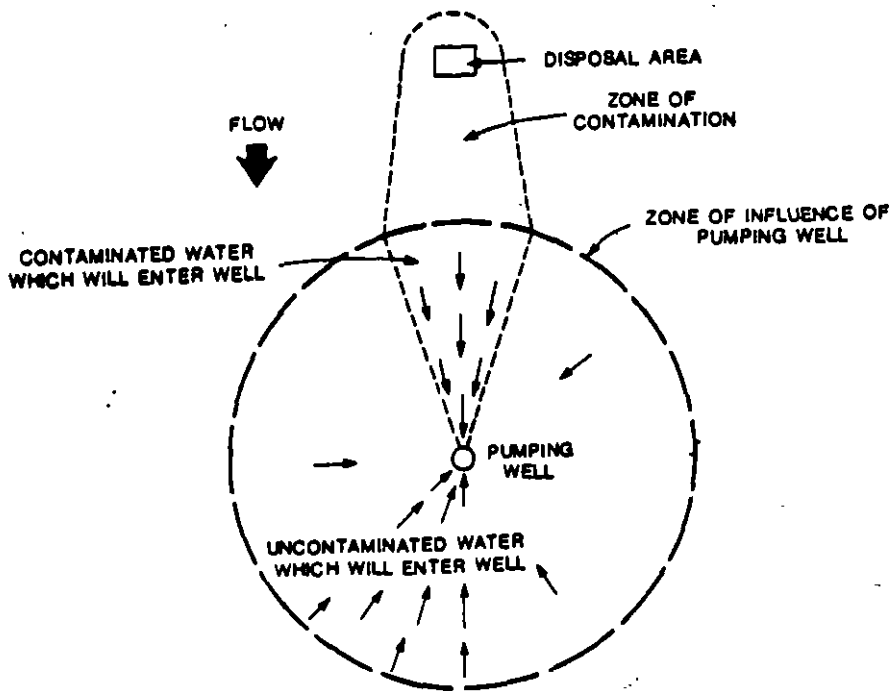
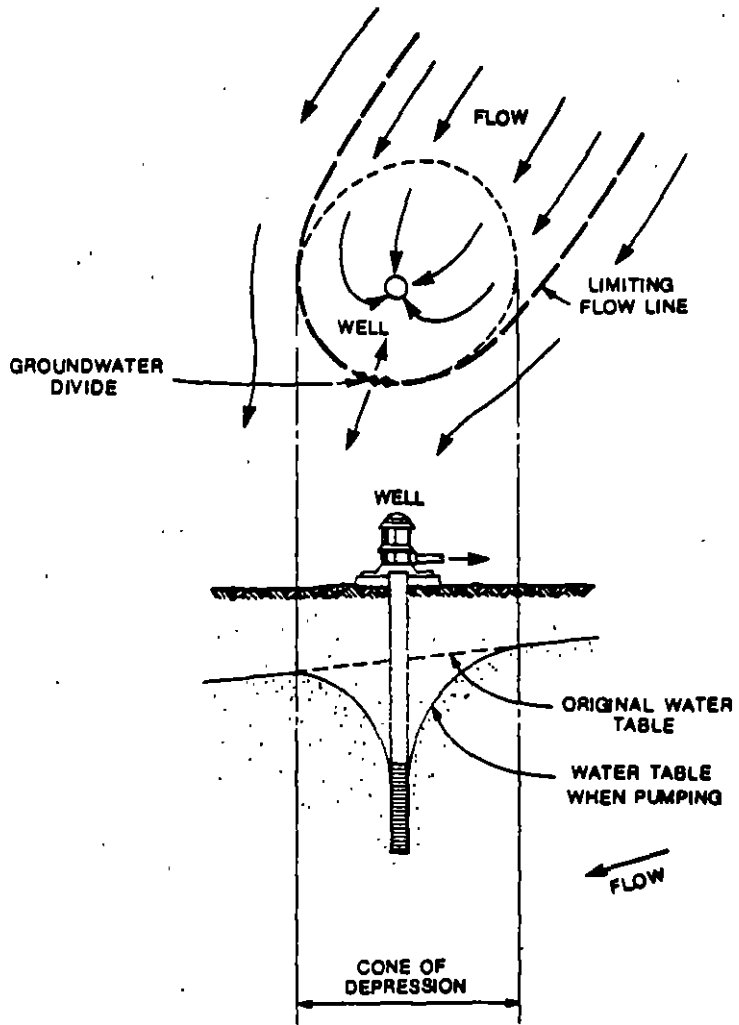


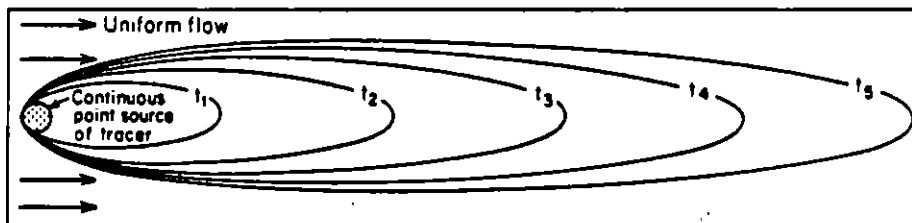
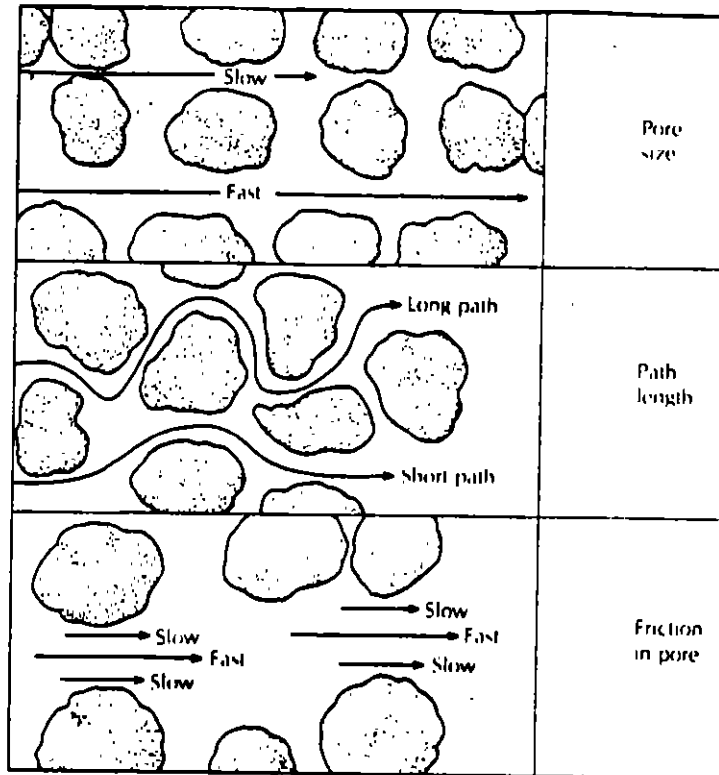
Figure 5.17b. Looking down on the stream valley from above with the water table exposed. The dotted lines represent points of equal groundwater elevation.



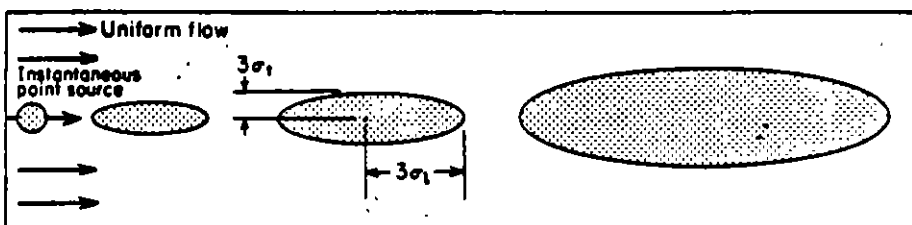






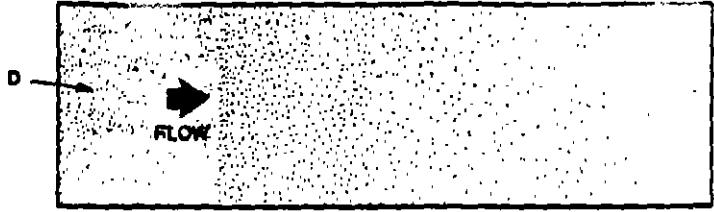


(a)

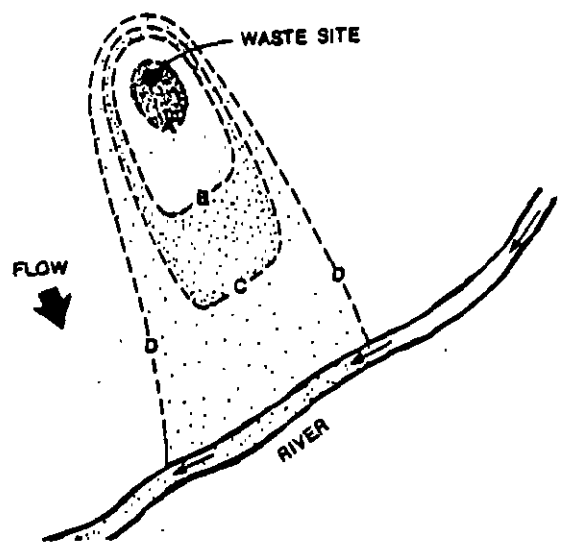
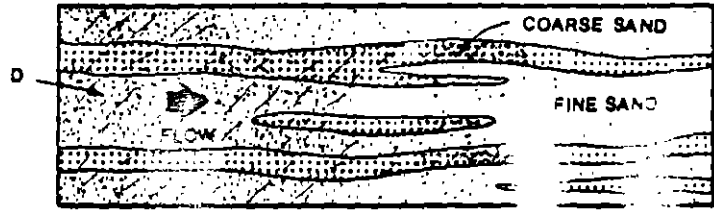


(b)

Figure 9.5 Spreading of a tracer in a two-dimensional uniform flow field in an isotropic sand. (a) Continuous tracer feed with step-function initial condition; (b) instantaneous point source.



A) HOMOGENEOUS SAND LAYER



# BIOTREATMENT SYSTEM SCHEMATIC

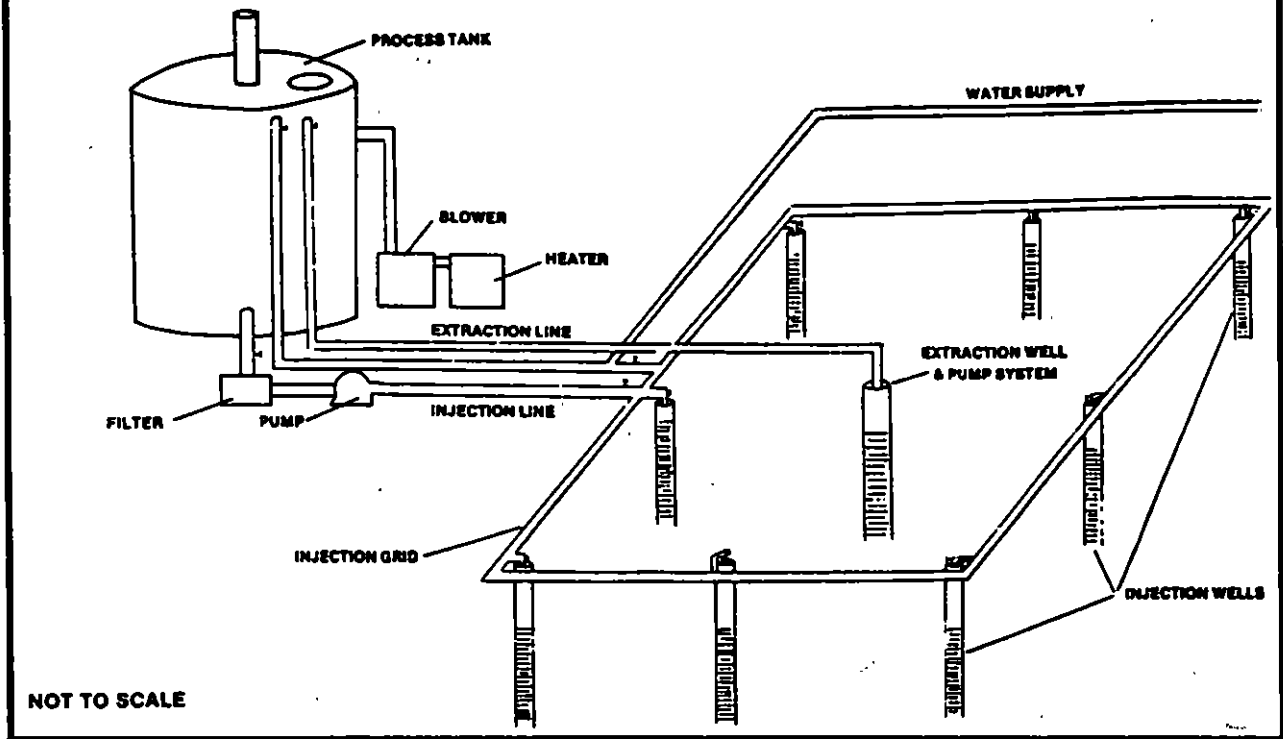
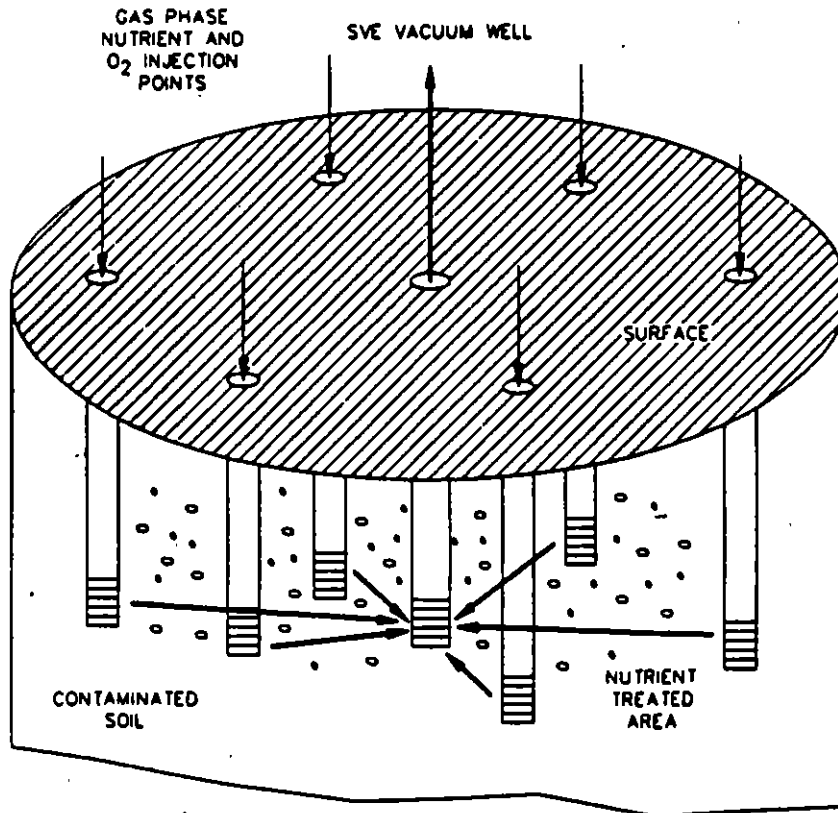
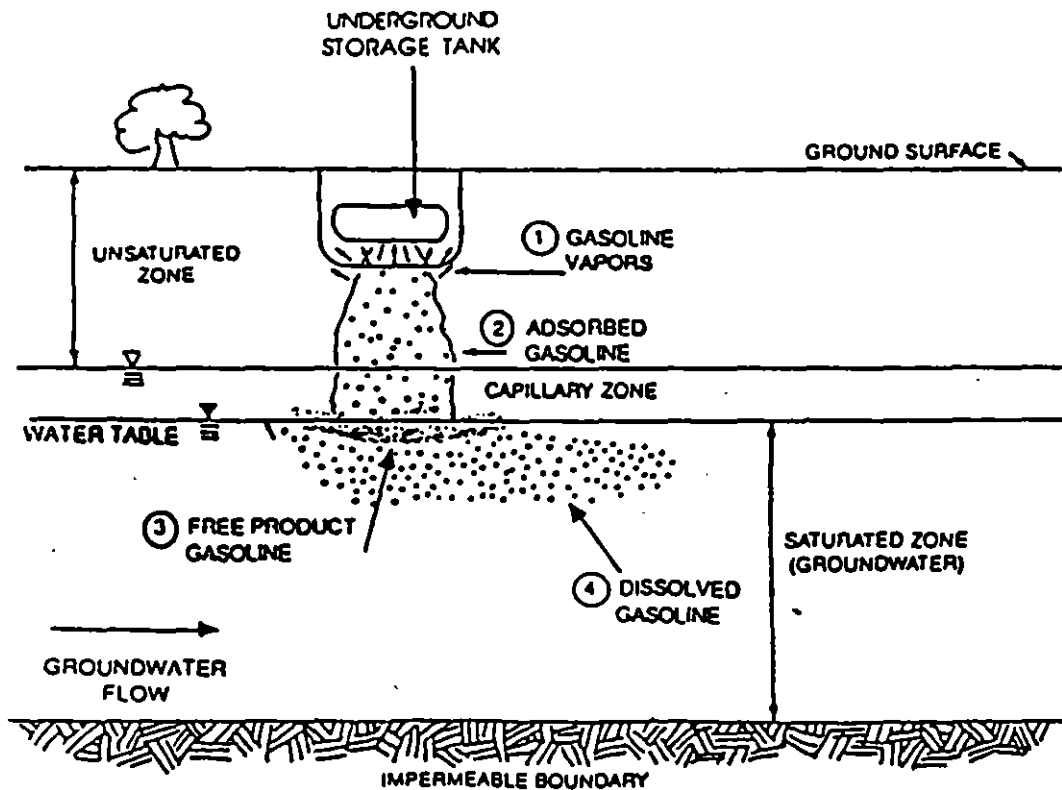
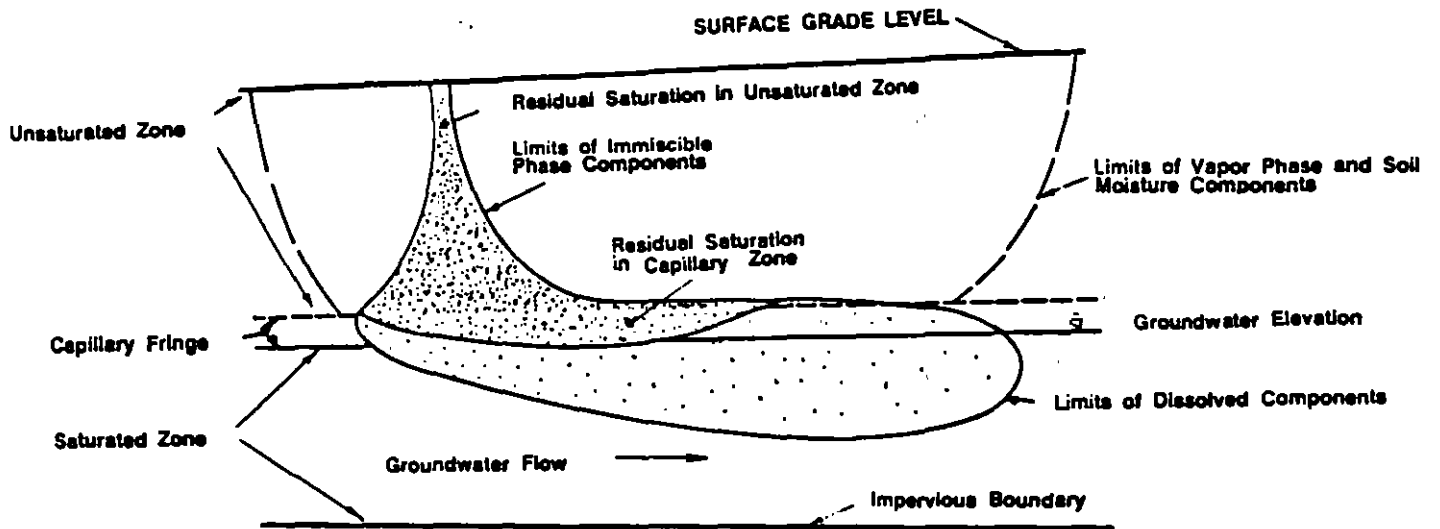
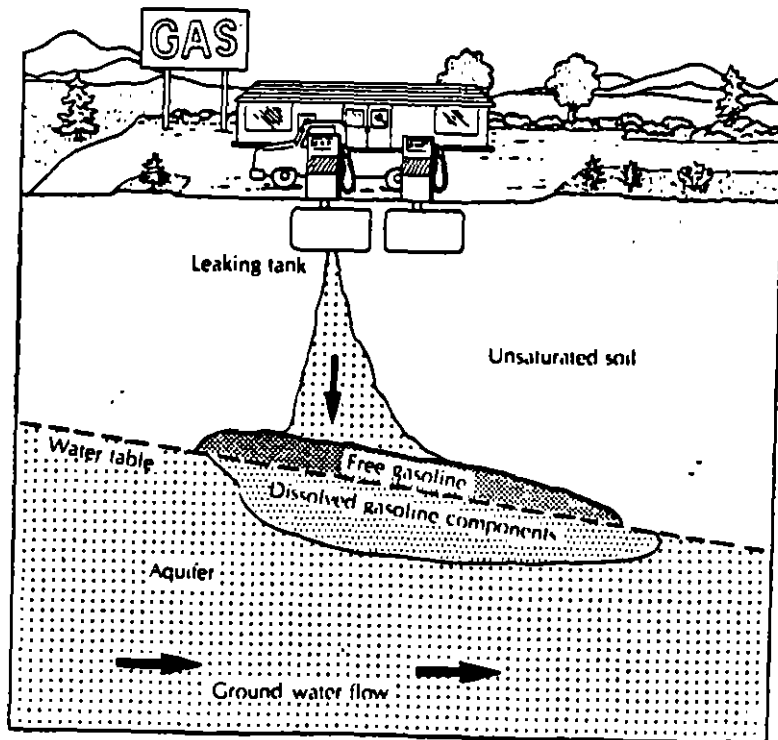
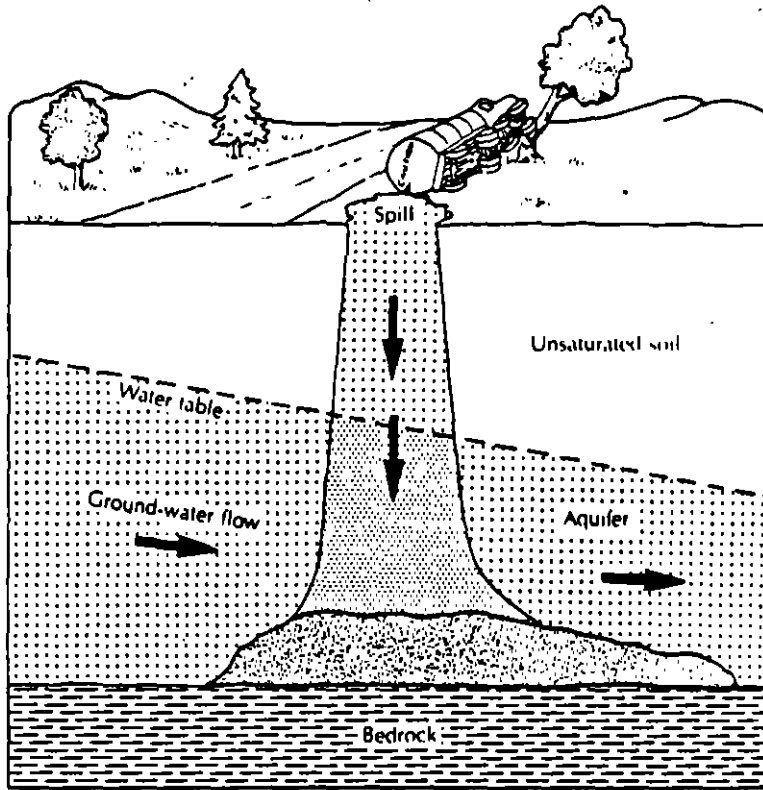
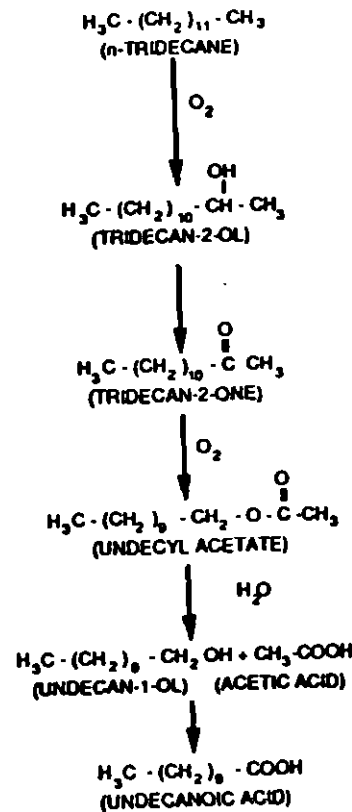
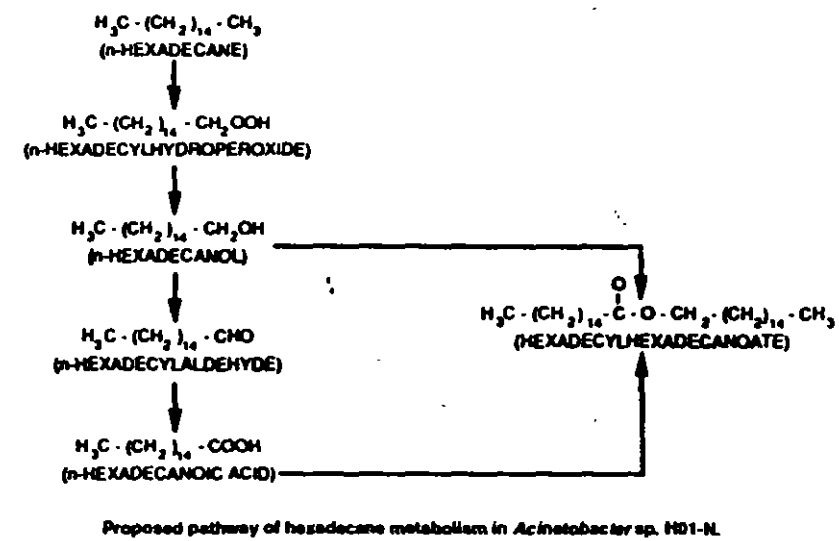
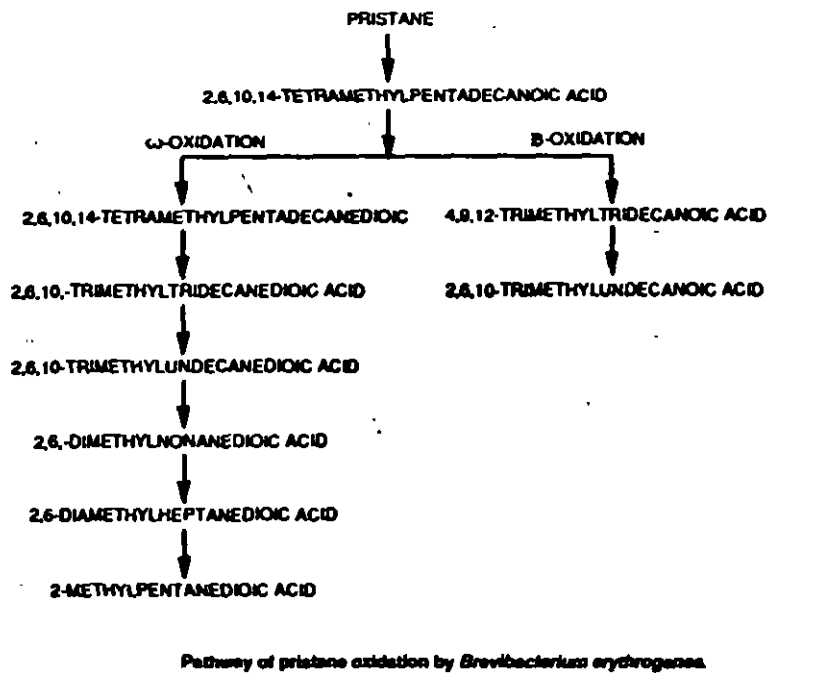


Figure 1. Continuous recirculation.

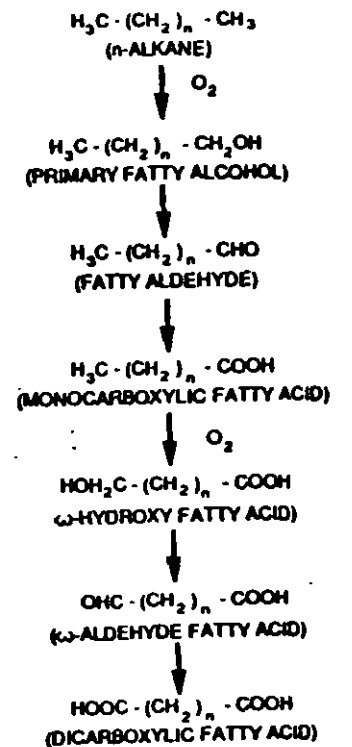








Pathway of Subterminal Alkane Oxidation in *Pseudomonas*.



Pathway of Diterminal Alkane Oxidation

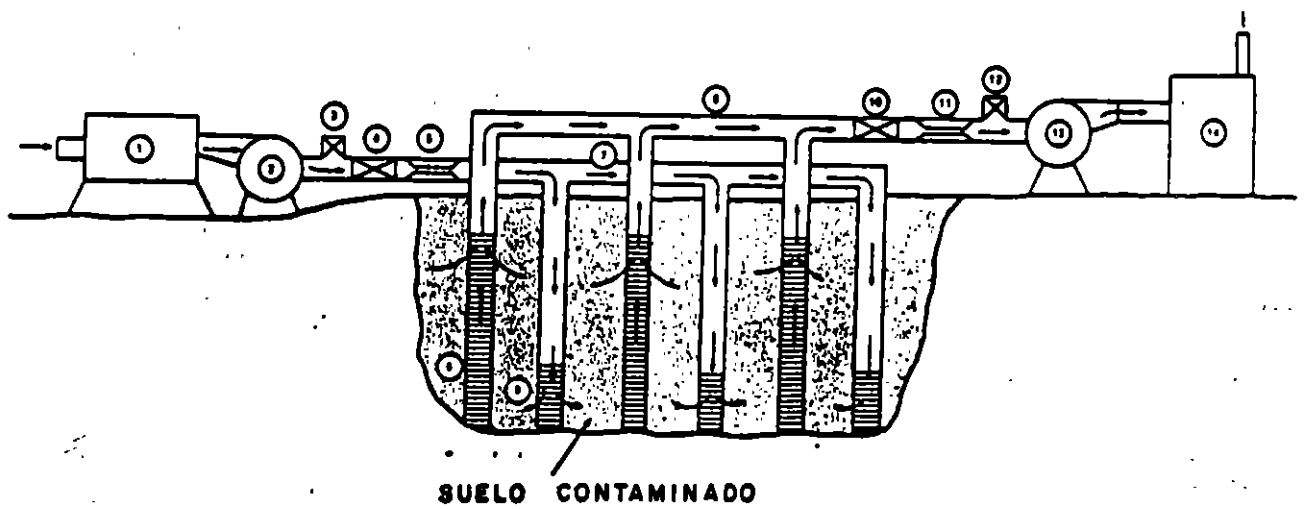
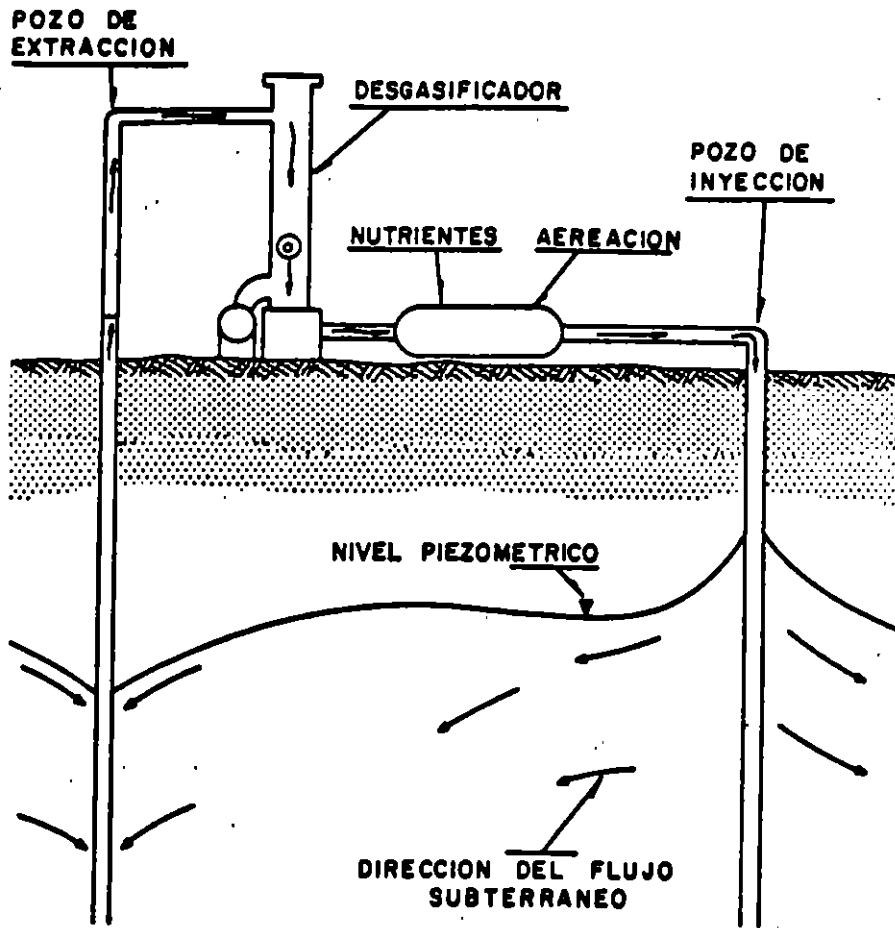
Figure 11-4. (continued).

$$\mu = \frac{\mu_{max} C}{(K_s + C)} \quad (11.3)$$

where  $\mu = dB/dt (1/B) =$  specific growth rate ( $day^{-1}$ )  
 $B =$  microbial population density ( $\frac{\text{bacteria cell count}}{g \text{ soil}}$ )  
 $\mu_{max} =$  maximum specific growth rate ( $day^{-1}$ )  
 $C =$  substrate concentration ( $\frac{g \text{ hydrocarbon}}{g \text{ soil}}$ )

Figure 11-4. Pathways of biodegradation for several hydrocarbons. Source: Adapted from Singer and Finnerty, 1984.





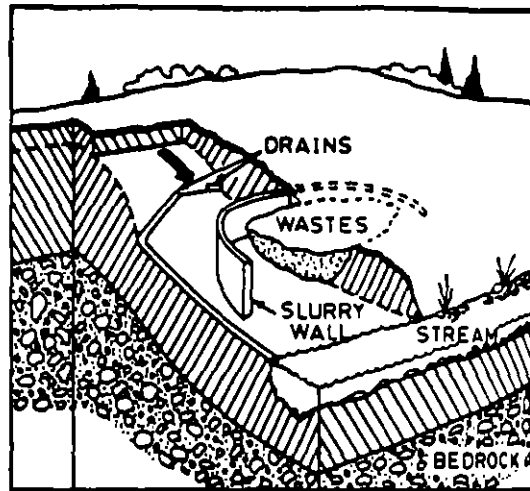
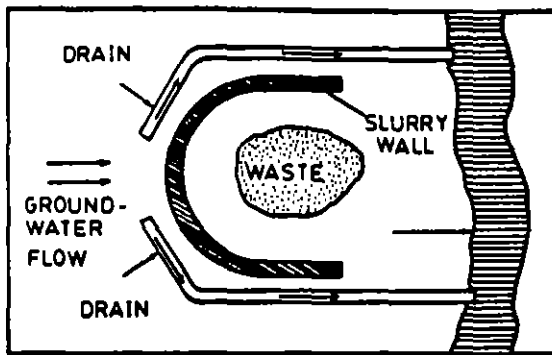


Figure 9-6. Combination of drains and slurry wall used to prevent leaching of contaminants into groundwater and a surface stream.

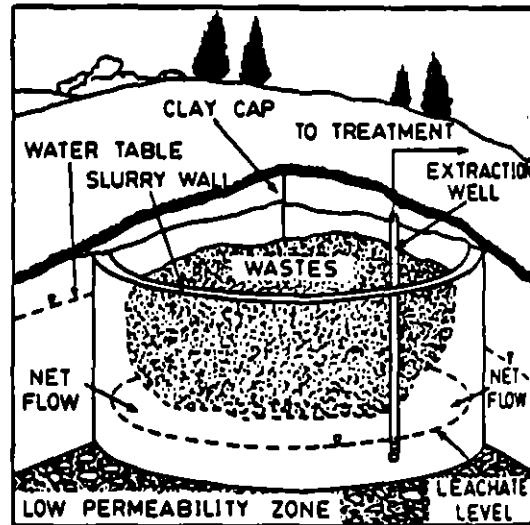
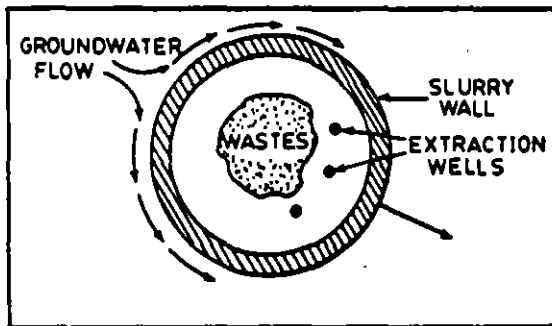


Figure 9-7. Circular slurry wall and groundwater extraction combined to prevent groundwater contamination.

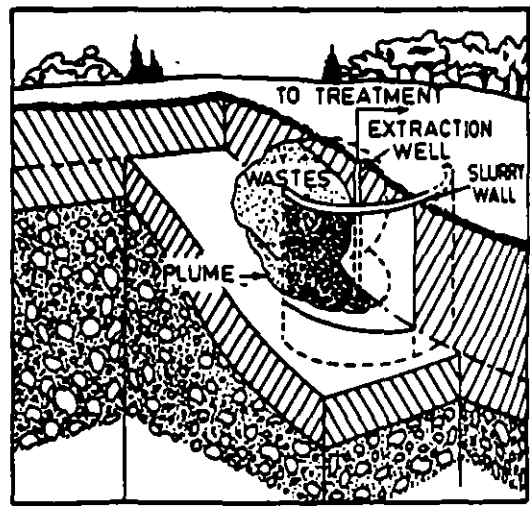
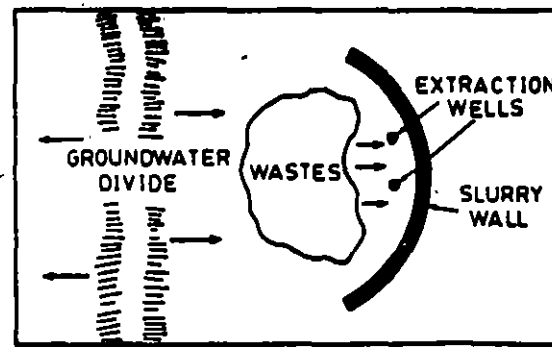


Figure 9-8. Slurry wall and extraction wells used to collect leachate.

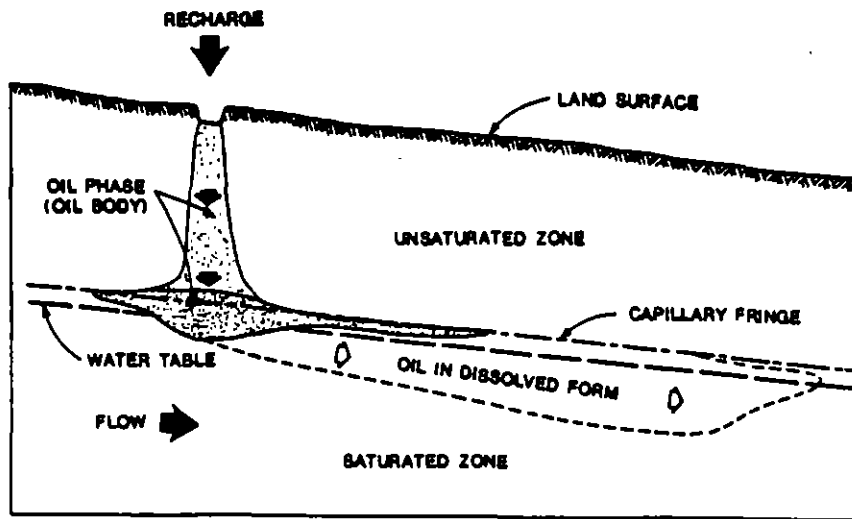


Figure 3-35. Example of multiphase flow in the subsurface (adapted from Schuille, 1975).

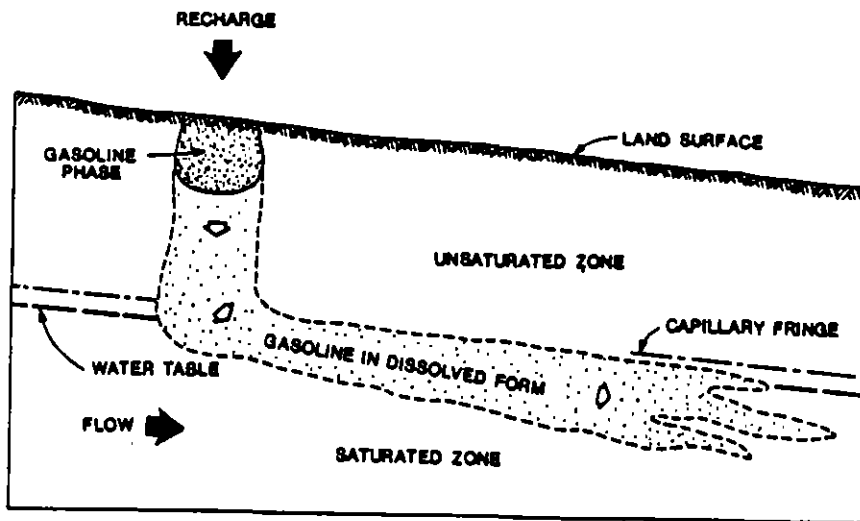


Figure 3-34. Movement of gasoline in the subsurface (adapted from Schuille, 1975).

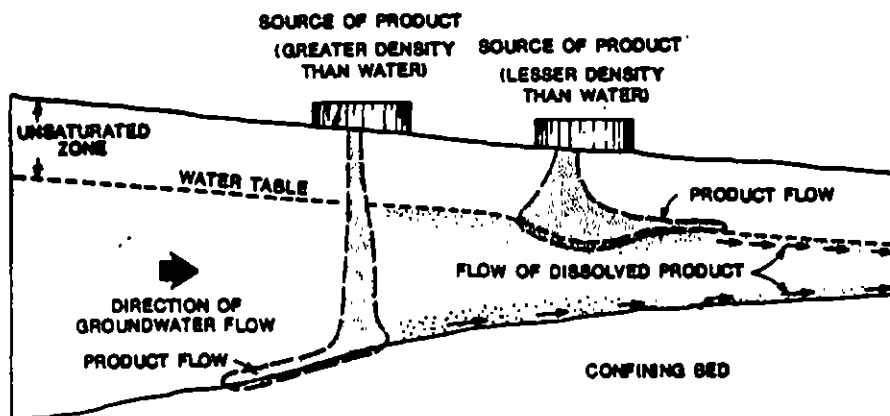


Figure 3-36. Example of the subsurface movement of fluids with densities greater than, and less than, that of water.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS  
VII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS  
MODULO II: CONTAMINACION DE ACUIFEROS**

**NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA PARA  
CONSUMO HUMANO**

**ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES**



**DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULICA  
SUBDIRECCION DE DESARROLLO  
UNIDAD DEPARTAMENTAL DEL LABORATORIO CENTRAL DE CONTROL  
RESULTADO DE ANALISIS FISICOS, QUIMICOS Y BACTERIOLOGICOS.**

PARAMETROS	NORMAS mg/l				
TURBIEDAD	10 UTN				
pH	6.9-8.5				
COND. ELEC.	1250				
ALC. TOTAL	400				
CLORUROS	250				
COLOR	20 UPT/Co				
O.C.M.A.	3				
DUREZA TOTAL	300				
DUREZA DE Ca	114				
DUREZA DE Mg	186				
FLUORUROS	1.5				
SOL. TOT.	500				
N. DE NITRATO	5				
N. DE NITRITO	0.05				
N. AMONIACAL	0.5				
N. PROTEICO	0.1				
SULFATOS	250				
S.A.A.M	0.5				
D.Q.O. TOTAL	4				
ALUMINIO	**				
ARSENICO	0.05				
CADMIO	0.005				
CALCIO	200				
CINC	5				
COBRE	1.5				
CROMO	0.05				
FIERRO	0.3				
MAGNESIO	125				
MANGANESO	0.15				
MERCURIO	0.001				
PLOMO	0.05				
POTASIO	12				
SELENIO	0.05				
SILICE	**				
SODIO	100				
CUENTA STD.	**				
COLIFORME TOTAL	2COL/100ml				
COLIFORME FECAL	0				

**OBSERVACIONES**

LOS RESULTADOS DE *Vibrio cholerae* FUERON NEGATIVOS.

NO SE DETECTARON COMPUESTOS VOLATILES NI EXTRACTABLES.

\* PARAMETRO FUERA DE NORMA

\*\* PARAMETROS NO SANCIONADOS POR S.S.A.

ción o información que proporcionen los interesados podrán dictar las medidas sanitarias para corregir, las irregularidades que se hubieren detectado, notificándolas al interesado y dándole un plazo adecuado para su realización, que podrá ser hasta por treinta días naturales, el cual podrá prorrogarse por un plazo igual a petición del interesado, siempre y cuando demuestre que está corrigiendo las anomalías.

ARTICULO 203.—En los casos en que el interesado acuda de propia iniciativa ante la autoridad sanitaria competente para cumplir con una obligación fuera de los términos señalados en este Reglamento, la autoridad calificará la infracción considerando dicha circunstancia como atenuante de la sanción que corresponda.

ARTICULO 204.—En los casos de reincidencia, se estará a lo dispuesto por el artículo 423 de la Ley.

ARTICULO 205.—Las infracciones no previstas en este Reglamento, serán sancionadas en los términos del Artículo 422 de la Ley.

#### CAPITULO XV

##### Procedimientos para aplicar sanciones y medidas de seguridad

ARTICULO 206.—El procedimiento para aplicar las medidas de seguridad y sanciones, que se deriven del ejercicio del control sanitario en las materias que comprende este Reglamento, se sujetará a lo que dispone el Capítulo III, del Título Décimo Octavo de la Ley.

#### CAPITULO XVI

##### Recurso de Inconformidad

ARTICULO 207.—Contra actos y resoluciones de la Secretaría, que con motivo de la aplicación de este Reglamento, den fin a una instancia o resuelvan un expediente, los interesados podrán interponer el recurso de inconformidad y su tramitación se ajustará al Capítulo IV del Título Décimo Octavo de la Ley.

ARTICULO 208.—El recurso de inconformidad podrá desecharse en los siguientes casos:

- I.—Cuando se presente fuera del término a que se refiere el artículo 439 de la Ley;
- II.—Cuando no se acredite, en términos de la Ley, la personalidad del promovente;
- III.—Si el recurrente, dentro del término señalado en el acuerdo respectivo, no cumple con la prevención emitida por la Secretaría, y
- IV.—Los demás que procedan conforme a las disposiciones legales aplicables en la Ley y el Código Federal de Procedimientos Civiles.

#### TITULO TERCERO

##### Agua y hielo para uso y consumo humano y para refrigerar

#### CAPITULO I

##### Agua

ARTICULO 209.—Se considera agua potable o agua apta para consumo humano, toda aquella cuya ingestión no cause efectos nocivos a la salud.

Se considera que no causa efectos nocivos a la salud, cuando se encuentra libre de gérmenes patógenos y de sustancias tóxicas, y cumpla, además con los requisitos que se señalan en este Título y en la norma correspondiente.

ARTICULO 210.—Para considerar que el agua es potable, la investigación bacteriológica se realizará de acuerdo a las normas respectivas y deberá dar como resultado lo siguiente:

I. El número de organismos coliformes totales, deberá ser, como máximo, de dos organismos en 100 ml, según las técnicas del número más probable (NMP) o de la de filtro de membrana, y

II. No contendrá organismos fecales.

Aparte de lo anterior, se podrán realizar, a satisfacción de las autoridades sanitarias, todas las pruebas que se consideren necesarias, a fin de identificar otros riesgos a la salud.

ARTICULO 211.—Los requisitos organolépticos y físicos, se establecerán atendiendo a las siguientes características: aspecto, pH, sabor, olor, color, turbiedad del agua y, en su caso, los demás que señale la norma.

ARTICULO 212.—Se considera que el agua es potable, en lo relativo a las características organolépticas y físicas, cuando se encuentre dentro de los límites siguientes:

- I. Aspecto: Líquido;
- II. pH: De 6.9 a 8.5;
- III. Sabor: Característico;

IV. Olor: Característico;

V. Color: Hasta 20 unidades de la escala de platino cobalto, o su equivalente en otro método, y

VI. Turbiedad: Hasta 10 unidades de la escala de sílice, o su equivalente en otro método.

ARTICULO 213.—El contenido, expresado en miligramos por litro, de elementos, iones y sustancias, no excederá los límites permisibles que a continuación se expresan:

Alcalinidad Total expresada-Como $\text{CaCO}_3$ .....	400.00
Aluminio.....	0.20
Arsénico.....	0.05
Bario.....	1.00
Cadmio.....	0.005
Cianuro expresado como-ión CN.....	0.05
Cobre.....	1.50
Cloro libre: En agua clorada.....	0.20
En agua sobre clorada.....	1.00
Cromo hexavalente.....	0.05
Dureza de Calcio expresada como- $\text{CaCO}_3$ .....	300.00
Fenoles o compuestos fenólicos.....	0.001
Hierro.....	0.30
Fluoruros expresado como elemento.....	1.50
Magnesio.....	125.00
Manganeso.....	0.15
Mercurio.....	0.001
Nitratos expresados como nitrógeno.....	5.00
Nitritos expresados como nitrógeno.....	0.05
Nitrógeno orgánico.....	0.10
Oxígeno consumido en medio ácido.....	3.00
Plomo.....	0.05
Selenio.....	0.05
Sulfatos, expresados como ión.....	250.00
Zinc.....	5.0
SAAM (Substancias Activas al Azul de Metileno).....	0.5
ECC (Extractables Carbón-Cloroformo).....	0.3
ECA (Extractables Carbón-Alcohol).....	1.5

Los demás que señale la norma correspondiente.

ARTICULO 214.—En materia de agua para consumo humano, se determinará en la norma:

I. El tratamiento a que deberá sujetarse en los sistemas públicos de abastecimiento, para asegurar su potabilidad;

II. El tipo, contenido y periodicidad de los análisis y exámenes necesarios para vigilar su potabilidad;

III. Las técnicas para la toma, conservación, transporte y manejo de muestras, así como los métodos para realizar las determinaciones necesarias para verificar su potabilidad;

IV. Los métodos de prueba de equipos y aparatos purificadores de tipo doméstico, y

V. Los demás aspectos, condiciones, requisitos y características que la Secretaría juzgue necesarios para que el agua pueda ser destinada para consumo humano.

ARTICULO 215.—Para los efectos de este Reglamento, se entiende por sistema de abastecimiento, el conjunto intercomunicado o interconectado de fuentes, obras de captación, plantas potabilizadoras, tanques de almacenamiento y regulación, líneas de conducción y distribución, que abastece de agua para consumo humano a una o más localidades o locales, sean de propiedad pública o privada.

ARTICULO 216.—La Secretaría establecerá los requisitos sanitarios que deban cumplir las construcciones, instalaciones y equipos de los sistemas de abastecimiento para proteger la salud de la población.

ARTICULO 217.—Los gobiernos de las entidades federativas otorgarán, de confor-



**3.5 Características físicas y organolépticas.**- Son aquellas que se detectan sensorialmente. Para efectos de evaluación, el sabor y olor se ponderan por medio de los sentidos y el color y la turbiedad se determinan por medio de métodos analíticos de laboratorio.

**3.6 Características químicas.**- Son aquellas debidas a elementos o compuestos químicos, que como resultado de investigación científica se ha comprobado que pueden causar efectos nocivos a la salud humana.

**3.7 Características radiactivas.**- Son aquellas resultantes de la presencia de elementos radiactivos.

**3.8 Coagulación química.**- Adición de compuestos químicos al agua, para alterar el estado físico de los sólidos disueltos, coloidales o suspendidos, a fin de facilitar su remoción por precipitación o filtración.

**3.9 Contingencia.**- Situación de cambio imprevisto en las características del agua por contaminación externa y que pongan en riesgo la salud humana.

**3.10 Desinfección.**- Destrucción de organismos patógenos por medio de la aplicación de productos químicos o procesos físicos.

**3.11 Filtración.**- Remoción de partículas suspendidas en el agua, haciéndola fluir a través de un medio filtrante de porosidad adecuada.

**3.12 Floculación.**- Aglomeración de partículas desestabilizadas en el proceso de coagulación química, a través de medios mecánicos o hidráulicos.

**3.13 Intercambio iónico.**- Proceso de remoción de aniones o cationes específicos disueltos en el agua, a través de su reemplazo por aniones o cationes provenientes de un medio de intercambio, natural o sintético, con el que se pone en contacto.

**3.14 Limite permisible.**- Concentración o contenido máximos o intervalo de valores de un componente, que garantiza que el agua será agradable a los sentidos y no causará efectos nocivos a la salud del consumidor.

**3.15 Neutralización.**- Ajuste del pH, mediante la adición de agentes químicos básicos o ácidos al agua en su caso, con la finalidad de evitar incrustación o corrosión de materiales que puedan afectar su calidad.

**3.16 Osmosis inversa.**- Proceso esencialmente físico para remoción de iones y moléculas disueltas en el agua, el cual por medio de altas presiones fuerza el paso de ella a través de una membrana semipermeable de porosidad específica, reteniendo los iones y moléculas de mayor tamaño.

**3.17 Oxidación.**- Introducción de oxígeno en la molécula de ciertos compuestos para formar óxidos

**3.18 Potabilización.**- Conjunto de operaciones y procesos, físicos y/o químicos que se aplican al agua a fin de mejorar su calidad y hacerla apta para uso y consumo humano.

**3.19 Precipitación.**- Proceso físico que consiste en la separación de las partículas suspendidas sedimentables del agua, por efecto gravitacional.

**3.20 Sistema de abastecimiento.**- Conjunto intercomunicado o interconectado de fuentes, obras de captación, plantas cloradoras, plantas potabilizadoras, tanques de almacenamiento y regulación, cárcamos de bombeo, líneas de conducción y red de distribución.

#### 4 LÍMITES PERMISIBLES DE CALIDAD DE AGUA

##### 4.1 Límites permisibles de características bacteriológicas

El contenido de organismos resultante del examen de una muestra de agua simple, deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 1.

Bajo situaciones de emergencia sanitaria, las autoridades competentes dictarán las medidas necesarias para identificar la presencia de otros agentes biológicos nocivos a la salud.

TABLA 1

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	2 NMP/100 ml 2 UFC/100 ml
Organismos coliformes fecales	No detectable NMP/100 ml Cero UFC/100 ml

Los resultados de los exámenes bacteriológicos se deben reportar en unidades de NMP/100 ml (número más probable por 100 ml), si se utiliza la técnica del número más probable o UFC/100 ml (unidades formadoras de colonias por 100 ml), si se utiliza la técnica de filtración por membrana.

**4.2 LIMITES PERMISIBLES DE CARACTERISTICAS FISICAS Y ORGANOLEPTICAS**

Las características físicas y organolépticas deberán ajustarse a lo establecido en la Tabla 2.

**TABLA 2**

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Color	15 unidades de color verdadero en la escala de platino cobalto.
Olor y sabor	Agradable (se aceptarán aquéllos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico)
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.

**4.3 LIMITES PERMISIBLES DE CARACTERISTICAS QUIMICAS**

El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 3. Los límites se expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad.

**TABLA 3**

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros (como CN <sup>-</sup> )	0.07
Cloro residual libre	0.5-1.00 (después de un tiempo de contacto mínimo de 30 min)
Cloruros (como Cl <sup>-</sup> )	250.00
Cobre	2.00
Cromo total	0.05
Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> )	500.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001
Hierro	0.30
Fluoruros (como F <sup>-</sup> )	1.50
Fosfatos (como PO <sub>4</sub> <sup>=</sup> )	0.10
Manganeso	0.10
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos (como N)	0.05
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50
Oxígeno consumido en medio ácido	3.00
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5
Plaguicidas en microgramos/l Aldrin y dieldrin (separados o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.30
DDT (total de isómeros)	1.00

Gamma-HCH (lindano)	2.00
Hexaclorobenceno	0.01
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Metoxicloro	20.00
2,4 - D	50.00
Plomo	0.025
Sodio	200.00
Sólidos disueltos totales	1000.00
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> =)	400.00
Sustancias activas al azul de metileno	0.50
Trihalometanos totales	0.20
Zinc	5.00

Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.

#### 4.4 LÍMITES PERMISIBLES DE CARACTERÍSTICAS RADIACTIVAS

El contenido de constituyentes radiactivos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 4. Los límites se expresan en Bq/l (Becquerel por litro).

TABLA 4

RADIATIVIDAD ALFA GLOBAL	0.1
RADIATIVIDAD BETA GLOBAL	1.0

#### 5 TRATAMIENTOS PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA

La potabilización del agua proveniente de una fuente en particular, debe fundamentarse en estudios de calidad y pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio para asegurar su efectividad.

Se deben aplicar los tratamientos específicos siguientes o los que resulten de las pruebas de tratabilidad cuando los contaminantes biológicos, las características físicas y los constituyentes químicos del agua enlistados a continuación, excedan los límites permisibles establecidos en el apartado 4.

##### 5.1 Contaminación biológica.

5.1.1 Bacterias, helmintos, protozoarios y virus.- Desinfección con cloro, compuestos de cloro, ozono o luz ultravioleta.

##### 5.2 Características físicas y organolépticas.

5.2.1 Color, olor, sabor y turbiedad.- Coagulación-floculación-precipitación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos, adsorción con carbón activado u oxidación.

##### 5.3 Constituyentes químicos.

5.3.1 Arsénico.- Coagulación-floculación-precipitación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos, intercambio iónico u ósmosis inversa.

5.3.2 Aluminio, bario, cadmio, cianuros, cobre, cromo total y plomo.- Intercambio iónico, ósmosis inversa o adsorción con carbón activado.

5.3.3 Cloruros.- Intercambio iónico, ósmosis inversa, o evaporación.

5.3.4 Dureza.- Ablandamiento químico o intercambio iónico.

5.3.5 Fenoles o compuestos fenólicos.- Adsorción con carbón activado u oxidación con ozono.

5.3.6 Hierro y/o manganeso.- Oxidación-filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa.

5.3.7 Fluoruros.- Adsorción con carbón activado, ósmosis inversa o coagulación química.

5.3.8 Materia orgánica.- Oxidación-filtración o adsorción con carbón activado.



# HANDBOOK OF DRINKING WATER QUALITY

Standards  
and  
Controls

**John De Zuane, P.E.**  
*Consulting Engineer and Former  
Director of the Bureau of  
Public Health Engineering  
New York City Department of Health*

 VAN NOSTRAND REINHOLD  
New York

CADMIUM
---------

**CHEMISTRY**

A soft, blue-white metallic chemical element occurring as a sulfide or carbonate in zinc ores; symbol Cd; at. wt. 112.41; at. no. 48; sp. gr. 8.65; valence 2. As an element it is insoluble in water; in nature cadmium appears in zinc, copper and lead ores. Chlorides, nitrates, and sulfate of cadmium are soluble in water. (Cadmium will precipitate at high pH since carbonate and hydroxide are insoluble.)

Similar to zinc, it is used in electroplating, in many types of solders, batteries, television sets, and as a yellow pigment. It is also used in ceramics, photography, insecticides, and as an alloy with copper, lead, silver, aluminum, and nickel.

**ENVIRONMENTAL EXPOSURE****Raw Water**

Since it is found in low concentrations in rocks, coal, and petroleum, it is found in ground water more than in surface water as a natural occurrence. Therefore, it may enter the water supply from mining, industrial operation, and leachates from landfill. Also, cadmium may enter the distribution system from corrosion of galvanized pipes. Raw water may contain normally less than 1  $\mu\text{g}/\text{L}$ .

**Air and Nutrition**

Cigarettes contain high levels of cadmium (1 ppm). Urban air has higher levels of cadmium: reported levels in air from 0.0005–0.01  $\mu\text{g}/\text{mc}$  according to Regulatory Agencies in the U.S. With 20 mc/day ventilation rate and a typical value of 0.01  $\mu\text{g}/\text{mc}$ , a male adult respiratory intake is 0.2  $\mu\text{g}/\text{day}$ . Exposure to cadmium dust should not exceed 0.15 mg/mc (15 min). Cadmium oxide fume exposure should not exceed 0.05 mg/mc.

Daily dietary intake of cadmium for an adult male averages between 10 and 50  $\mu\text{g}$ , with grains, cereals, potatoes, meat, fish, and poultry as major cadmium suppliers. A tolerable weekly intake of 0.4–0.5 mg/individual was accepted by FAO\* /WHO in 1972.

\* United Nations Food and Agricultural Organization (Rome, Italy)

**Water Surveys**

The USEPA reported the results of federal surveys conducted between 1969 and 1980 of 707 ground water supplies and 117 surface water supplies as:

Ground water—27% above 2  $\mu\text{g}/\text{L}$  (mean of positives: 3  $\mu\text{g}/\text{L}$ ).  
Surface water—20% above 2  $\mu\text{g}/\text{L}$  (mean of positives: 3.2  $\mu\text{g}/\text{L}$ ).

Soft water of low pH may register higher values when plumbing systems contain cadmium.

**HEALTH EFFECTS**

Human beings reported nausea and vomiting at 15 mg/L, with no adverse effects at 0.05 mg/L. Severe toxic, but not fatal, symptoms are reported at concentrations of 10–326 mg (NAS, Vol. 4, 1982). The death of a boy within 1.5 hr was reported after ingestion of 9 g of cadmium chloride. The kidneys are the critical target organ by ingestion (renal dysfunction, hypertension, and anemia).

**A. HUMAN STUDY—One-Day assessment**

Uncertainty factor = 10

0.043 mg/kg/day of NOAEL

Consumption: 1 liter per 10-kg child = 43  $\mu\text{g}/\text{L}$

2 liters per 70-kg adult = 150  $\mu\text{g}/\text{L}$

**B. ANIMAL STUDY—Ten-Day assessments**

Uncertainty factor = 1000 (+ additional factor of  $10^{-1}$ )

0.08 mg/kg/day NOAEL (proteinuria in rats)

Consumption: 1 liter per 10-kg child = 8  $\mu\text{g}/\text{L}$

2 liters per 70-kg adult = 29  $\mu\text{g}/\text{L}$

**C. AADI**

Endpoint: renal dysfunction

Threshold: critical concentration of cadmium in the renal cortex

Range: 50–300  $\mu\text{g}/\text{g}$

LOAEL = 0.352 mg/day (in humans)

Provisional AADI = 0.018 mg/L [ $0.352 + (10 \times 2)$ ]

Uncertainty factor = 10

Consumption: 2 liters of water per day

IARC = group 2B (limited evidence of carcinogenicity in humans, sufficient evidence for animals)

Exposure: inhalation

Ingestion: no evidence of carcinogenicity in animals or humans

EPA Regulation: based on chronic toxicity

## STANDARDS

USPHS 1925-1942-1946	= not stated
USPHS 1962	= 0.01 mg/L
NIPDWR	= 0.01 mg/L
WHO Guidelines	= 0.005 mg/L
European Community	= 0.005 mg/L
RMLC (1985)	= 0.005 mg/L
NAS-SNARL	= 0.005 mg/L*
EPA Classification	= B1 = "Limited evidence in humans exposed to cadmium fumes, cancer in rats exposed to cadmium chloride aerosol, injection site tumors in animals given cadmium salts. However, regulating as "D" (see Barium) since there is inadequate evidence to conclude that the chemical is carcinogenic via ingestion." MLCG (1989) and MCL (1989) = 0.005 mg/L (USEPA)

## ANALYSIS

*Standard Methods* introducing cadmium states that the cadmium concentrations of U.S. drinking water have been reported to vary between 0.4–60 µg/L, with a mean of 8.2 µg/L.

Reliable analytical methods have been determined and applied for cadmium in drinking water. Atomic Absorption Spectrometric Method is the preferred with the Dithizone Method considered acceptable when an AA Spectrometer is unavailable. The USEPA (1985) approved the same methods reported for barium.

## REMOVAL/NOTES

There is no accepted, economically effective method for direct removal of cadmium at high concentration. Pilot plant study may be used attempting precipitation as carbonate and hydroxide at high pH. Every effort for locating the source of cadmium contamination and its partial or total elimination should be undertaken prior to consideration of a treatment solution.

\* Based on 10 mg/L concentration of cadmium as the no-effect level in rats, resulting in 0.75 mg/kg, using a safety factor of 1,000, a 70-kg human consuming 2 L per day and assuming a 20% exposure from drinking water. SNARL is calculated as:

$$\frac{0.75 \text{ mg/L} \times 70 \text{ kg} \times 0.20}{1000 \times 2 \text{ L}} = 0.005 \text{ mg/L (NAS Vol 4, 1982)}$$

The USEPA *Quality Criteria For Water* of 1976 recommends 10 µg/L for domestic water supply (based on health criteria). New York State limits to 0.3 mg/L cadmium content reaching all fresh waters with none in amounts that will be injurious to fish life or shellfish, or that would impair any designated uses of water.

Water treatment industry has confidence in cadmium removal by lime softening when concentrations are less than 0.5 mg/L. Less effective is the removal with ferric sulfate and alum clarification.

USEPA proposed in 1989 the following treatment processes as BAT for cadmium removal: ion exchange; reverse osmosis; coagulation/filtration; and lime softening.

## CHROMIUM

## CHEMISTRY

Defined as a grayish-white crystalline, very hard metallic chemical element with a high resistance to corrosion; used in chromium electroplating, in alloy steel (stainless steel), and in alloys containing nickel, copper, manganese, and other metals: symbol Cr; at. wt. 51.996; at. no. 24; sp. gr. 7.20; valence 2, 3, or 6. Principal ore is chromite—FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. The most important compounds are the chromates of sodium and potassium (K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>); the dichromates (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), and the potassium and ammonium chrome alums (KCr(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> × 12H<sub>2</sub>O); and lead chromate.

chromous ion Cr <sup>2+</sup>	metallic chromium
chromic ion Cr <sup>3+</sup>	trivalent—more stable in general
chromite ion CrO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> or CrO <sub>2</sub>	but not in chlorinated water
chromite ion CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	hexavalent—with tendency to be
dichromate ion Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup>	quickly reduced by organic species

- chlorides, nitrate, and sulfate (trivalent chromic salts) are soluble in water;
- hydroxide and carbonates are quite insoluble; and
- sodium, potassium, and ammonium chromates (hexavalent chromates salts) are soluble; corresponding dichromates are quite insoluble.

Chromium is also used as a corrosion inhibitor in the textile, glass, and photographic industries.

**Benzene**  
**C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>**

**Contaminant**

A volatile, flammable, colorless liquid with an ethereal odor. Basically a commercial solvent and a product by chemical processes related to petroleum refining, coal tar distillation, and coal processing.

**Use**

Benzene is normally used as a chemical intermediate in the manufacturing of styrene, cyclohexane, detergents, pesticides, synthetic rubber, aviation fuel, dye, paints, pharmaceuticals, gasoline and photographic chemicals.

**Occurrence in the Environment**

In gasoline benzene accounts for 0.8% by volume normally, with some higher concentration occasionally. In ambient air of gasoline stations, benzene varies between 0.001–0.008 mg/L. The highest concentration reported in drinking water was 10 µg/L. Summarizing reported values in drinking water, NAS—1980 (Vol. III) recorded from surveys conducted by the USEPA 0/111, 7/113 (0.4 µg/L), and 4/16 (0.55 µg/L) as positive samples for benzene per number of cities sampled.

**Health Effects**

According to USEPA (*Fed. Reg.* Vol. 49, No. 114, June 12, 1984, and Vol. 50, No. 219, Nov. 13, 1985, carcinogenic effects in humans have been documented: myelocytic anemia, thrombocytopenia, and leukemia. Toxic effects include the central nervous system, hematological and immunological effects.

A NOAEL of 1 mg/kg was determined in animals, so using an uncertainty factor of 1,000, the ADI resulted in 0.025 mg/L (100% exposure from drinking water, 70-kg adult and 2 liters of water per day and 5/7 correction factor for weekly feeding

days). The IARC, NAS, and USEPA classify benzene as a contaminant with sufficient evidence of carcinogenicity in humans.

**Standards**

USEPA final MCL	= 0.005 mg/L (July 1987)
USEPA RMCL	= zero (Nov. 1985)
USEPA proposed MCL	= 0.005 mg/L (Nov. 1985)
WHO recommended 1984	= 0.010 mg/L as a guide (see Notes)
EEC 1980	= No Guideline

**Analytical Methods**

Benzene can be analyzed as other volatile aromatic and unsaturated organic compounds in water by purge-and-trap gas chromatography (photoionization detector). Also all regulated VOCs in the above mentioned regulations can be determined by purge-and-trap gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS).

**Notes**

Minimum detectable concentration of benzene in water is registered at 0.5 mg/L, with taste detectability at 4.5 mg/L. NAS—1977, Vol. 1—recognized only the possibility of carcinogenicity of benzene in water. Because all data were related to industrial exposure to benzene, more toxicological studies were recommended prior to the issuance of drinking water standards by USEPA.

The USEPA final rules for public notification include the following language to be used by public water supply system responsible managers:

*"Benzene.* The United States Environmental Protection Agency (EPA) sets drinking water standards and has determined that benzene is a health concern at certain levels of exposure. This chemical is used as a solvent and degreaser of metals. It is also a major component of gasoline. Drinking water contamination generally results from leaking underground gasoline and petroleum tanks or improper

waste disposal. This chemical has been associated with significantly increased risks of leukemia among certain industrial workers who were exposed to relatively large amounts of this chemical during their working careers. This chemical has also been shown to cause cancer in laboratory animals when the animals are exposed at high levels over their lifetimes. Chemicals that cause increased risk of cancer among exposed industrial workers and in laboratory animals also may increase the risk of cancer in humans who are exposed at lower levels over long periods of time. EPA has set the enforceable drinking water standard for benzene at 0.005 parts per million (ppm) to reduce the risk of cancer or other adverse health effects which have been observed in humans and laboratory animals. Drinking water which meets this standard is associated with little to none of this risk and should be considered safe."

The WHO (1984) issued a guideline value for benzene of 10  $\mu\text{g/L}$  under the organic constituents of health significance. This value was computed "from a conservative hypothetical mathematical model." The WHO recognized that drinking water concentrations of benzene did not exceed 1  $\mu\text{g/L}$  and all the studies involved inhalation exposure. Because benzene tends to effect the entire organism (systemic), WHO guidelines were set on data for leukemia applied to a linear multi-stage extrapolation model.

Total uptake of benzene in urban environments have been estimated in about 125 mg/year; food is considered to have contributed with 90 mg/year. Normal water concentration of less than 1  $\mu\text{g/L}$  would contribute to less than 1 mg/year ( $1 \mu\text{g/L} \times 2 \text{ L/day} \times 365 \text{ days} = 0.730 \text{ mg/year}$ ).

Vinyl Chloride  
or Chloro Ethylene  
or Monochloroethylene  
 $\text{CH}_2 = \text{CHCl}$

*Contaminant*

Commercially synthesized by the halogenation of ethylene; slightly soluble in water (less than 0.11% by weight). CAS #75.01-4.

*Use*

The major use in the U.S. is in the production of polyvinyl chloride (PVC) resins for the building and construction industry (pipes, conduit, floor covering).

USEPA banned the sale of propellants and all the aerosols containing vinyl chloride monomer due to human and animal carcinogenicity. A distribution system constructed with PVC pipes showed concentrations of 1.4  $\mu\text{g/L}$ .

*Occurrence in the Environment*

USEPA in 1975 tested the finished water of 10 cities registering a concentration of 5.6  $\mu\text{g/L}$  in Miami and 0.27  $\mu\text{g/L}$  in Philadelphia. States recorded 2 positives out of 646 samples collected with a max. = 17 ppb.

*Health Effects*

Industrial exposure to this contaminant in workers confirmed hepatic angiosarcoma when liquified vinyl chloride under pressure was handled, probably in concentrations from 1,000 to several thousand ppm (NAS—1977). Lesions of skin, bones, liver, spleen, and lungs were reported after chronic exposure. NAS—1983 (Vol. 5) recorded the no-observed-effect level at less than 1.7 mg/L. Mutagenicity and teratogenicity studies did not produce conclusive results (mutagen *in vitro*), but carcinogenicity in animals was proved by inhalation (NAS—1977 and 1983).





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS  
VII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS  
MODULO II: CONTAMINACION DE ACUIFEROS**

**CICLOS DEL NITROGENO Y DEL FIERRO**

**DRA. MA. AURORA ARMIENTA HERNANDEZ**



**CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS  
MODULO II. CONTAMINACION DE ACUIFEROS**

**CICLOS DEL NITROGENO Y DEL FIERRO**

Dra. Ma. Aurora Armienta H.  
Septiembre 1995

**CICLO DEL NITRÓGENO.**

*Aspectos Generales.*

La mayor abundancia de nitrógeno se encuentra en el aire, donde constituye alrededor del 79% en volumen, y se presenta en forma molecular (como  $N_2$ ).

Los procesos químicos y biológicos que transfieren el nitrógeno de y hacia la litósfera, atmósfera, hidrósfera y biósfera, constituyen el **Ciclo del Nitrógeno**.

El cambio en el grado de oxidación del  $N_2$  gaseoso y su transformación en compuestos químicos que contienen nitrógeno se conocen en general como "fijación de nitrógeno". Para ello se requiere una gran cantidad de energía debido al triple enlace que une los dos átomos del elemento.

Existen pocas especies capaces de transformar el nitrógeno atmosférico en formas útiles para los organismos vivos. Estos organismos pueden recuperar y utilizar nuevamente el nitrógeno **biodisponible** siendo una parte fundamental del ciclo del nitrógeno (Figura 1). La primera **etapa** de este ciclo es la fijación del nitrógeno atmosférico por organismos fijadores del mismo para producir amoníaco. El nitrógeno queda así en forma útil para la mayoría de los organismos con vida. Además existen bacterias del suelo que obtienen su energía oxidando el amoníaco para formar nitrito ( $NO_2^-$ ) y posteriormente, nitrato ( $NO_3^-$ ). A este proceso se le conoce como **nitrificación**. El nitrógeno que usan las plantas se encuentra en su mayoría en forma oxidada. Debido a la abundancia y actividad de las

bacterias nitrificantes, casi todo el amoníaco que llega al suelo se oxida a nitrato. Las plantas y muchas bacterias son capaces de reducir el nitrato a óxido nítrico o a nitrógeno gaseoso. A este proceso se le conoce como **denitrificación**. El proceso de conversión del nitrógeno orgánico a  $\text{NH}_4^+$  se conoce como **amonificación**. El amoníaco formado se incorpora a los aminoácidos de las plantas que luego sirven de alimento a los animales proporcionándoles los aminoácidos con los que se construyen las proteínas animales. Cuando los animales mueren, las proteínas se degradan por la acción de los microorganismos y de esta manera, devuelven amoníaco al suelo donde las bacterias nitrificantes lo convierten nuevamente en nitrito y en nitrato.

### ***El Nitrógeno en las Aguas Subterráneas.***

El nitrógeno disuelto, principalmente en forma de nitrato, es el contaminante más común en las aguas subterráneas.

El nitrógeno presente en los acuíferos puede provenir de diversas fuentes, tanto naturales como antropogénicas. En la atmósfera existen óxidos de nitrógeno que se forman por los procesos de combustión de carbón y productos de petróleo (que contienen por lo general cerca de 1 % de nitrógeno), y por la acción de los rayos. Los óxidos de nitrógeno de la atmósfera se transforman a nitratos que se solubilizan en el agua de lluvia, la cual contiene también amoníaco.

El **nitrógeno** se encuentra en el agua subterránea en forma aniónica como nitrito (con grado de oxidación III +) o nitrato (con grado de oxidación V +), o en forma catiónica como amonio,  $\text{NH}_4^+$  (con grado de oxidación III -), también puede encontrarse en estados intermedios de oxidación formando parte de solutos orgánicos. Algunas otras formas tales como los cianuros,  $\text{CN}^-$  (con grado de oxidación III-), pueden presentarse en aguas afectadas por contaminación.

La influencia del hombre en el ciclo del nitrógeno incluye la producción y el uso de fertilizantes sintéticos como el amoníaco y otros compuestos de nitrógeno, además del riego con aguas negras y la utilización de estiércol como fertilizante.

Debido a las distintas formas químicas en que se encuentra, el nitrógeno puede comportarse de manera diversa en los acuíferos (Figura 2). Los iones amonio son adsorbidos fuertemente en las superficies minerales. Las especies aniónicas como el nitrato son fácilmente transportadas por el agua y se mantienen estables en un amplio rango de condiciones. Las especies orgánicas y el nitrito son inestables en agua que contiene oxígeno y se consideran como indicadores de contaminación debida a la disposición de drenaje o basuras orgánicas. La presencia de nitrato o de amonio también puede ser indicativa de este tipo de contaminación pero en un lugar o tiempo alejado del punto de muestreo del agua en cuestión. Los iones amonio y cianuro son capaces de formar complejos solubles muy estables con ciertos iones metálicos, contenidos en algunos tipos de efluentes industriales.

En las áreas rurales pueden presentarse concentraciones excesivas de nitratos debido al estiércol y/o a fosas sépticas. Esto ocurre principalmente donde se tiene una gran concentración de ganado.

El  $\text{NO}_3^-$  contenido en el agua subterránea puede introducirse como tal a partir de residuos o fertilizantes aplicados al suelo, o bien, originarse por la oxidación del nitrógeno orgánico o el  $\text{NH}_4^+$ . Los procesos de amonificación y nitrificación normalmente ocurren arriba del nivel freático, generalmente en la zona de suelo, donde abunda la materia orgánica y el oxígeno. Las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  que se encuentran normalmente en las aguas subterráneas no están limitadas por su solubilidad. Los  $\text{NO}_3^-$  pueden transportarse a grandes distancias en acuíferos someros en sedimentos con alta permeabilidad o roca fracturada, debido a que la concentración de  $\text{O}_2$  disuelto es por lo general alta. Sin embargo, una disminución en el potencial redox del agua puede, en algunas situaciones causar la denitrificación, produciendo  $\text{N}_2\text{O}$  o  $\text{N}_2$ . Si en estas condiciones el agua se mueve hacia la zona no saturada, una parte del  $\text{N}_2\text{O}$  o del  $\text{N}_2$  se pierde por degasamiento en el

suelo. La denitrificación se ha observado en numerosos estudios de sistemas de suelo en el laboratorio y en el campo. Este proceso es factible en el agua subterránea, aunque se realiza en condiciones no favorables debido a la ausencia de materia orgánica adecuada para el crecimiento de las bacterias denitrificantes.

Las concentraciones excesivas de nitrato en el agua potable en concentraciones mayores de 45 mg/L pueden ocasionar metahemoglobinemia en los niños pequeños. Es por ello que la concentración máxima permisible en el agua potable en México es de 5 mg/l como N de  $\text{NO}_3^-$ .

## CICLO DEL FIERRO

### *Aspectos Generales*

El hierro es un elemento abundante y ampliamente distribuido en rocas y suelos. En forma de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  constituye el 1.5 % de la corteza continental y como  $\text{FeO}$  el 3.5%.

Los minerales de rocas ígneas con contenidos de hierro relativamente altos incluyen los piroxenos, anfíboles, biotita, magnetita y olivino. En la mayoría de ellos el hierro se encuentra en forma ferrosa con grado de oxidación (II+). Cuando estos minerales son atacados por el agua, el hierro puede disolverse y generalmente se reprecipita como especies sedimentarias. Bajo condiciones reductoras cuando existe azufre disponible se pueden formar polisulfuros ferrosos como pirita o marcasita. Cuando el azufre es menos abundante es posible la formación de siderita. En medios oxidantes las especies sedimentarias del hierro son los óxidos u oxihidróxidos como hematita o goetita. El hierro recién precipitado se presenta como hidróxido férrico con una estructura poco cristalina.

La disponibilidad del hierro para disolverse, depende fuertemente de las condiciones ambientales, especialmente de los cambios en el grado o intensidad de las reacciones de oxidación o reducción. Se pueden presentar altas concentraciones de hierro ferroso disuelto

en lugares donde se produzca la reducción de oxihidróxidos ferrosos o la oxidación de sulfuros ferrosos.

El hierro está presente en los residuos orgánicos en los suelos. En los procesos de oxidación y reducción del hierro juegan un papel muy importante los microorganismos, algunos de los cuales usan estas reacciones como fuentes de energía.

### ***El Hierro en las Aguas Subterráneas***

El diagrama potencial-pH para el Fe en las aguas subterráneas es uno de los más importantes y estudiados. En el rango típico de pH de los sistemas acuíferos el  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  precipitado es termodinámicamente estable a potenciales moderados o altos. La principal especie disuelta es el Fe(II). Arriba de pH 9.5 el hidróxido ferroso  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  precipitado puede ser la forma predominante del Fe(II). Arriba de pH 11 los aniones  $\text{Fe}(\text{OH})_3^-$  o  $\text{HFeO}_2^-$  pueden existir en el agua en concentraciones apreciables, aunque este valor de pH es muy raro en el agua subterránea. El par iónico  $\text{FeSO}_4$  llega a ser importante en soluciones conteniendo unos cuantos miligramos de sulfato por litro. Muchas moléculas orgánicas complejan al hierro ferroso, y los complejos formados generalmente son más resistentes a la oxidación que los iones ferrosos libres. Cuando las aguas contienen cantidades apreciables de carbono inorgánico y azufre a bajos valores de Eh se favorece la formación de  $\text{FeCO}_3$  y  $\text{FeS}_2$  que precipitan. La solubilidad del Fe puede cambiar de manera significativa ante pequeñas modificaciones en el pH o el Eh del agua.

El hierro férrico puede presentarse en soluciones ácidas como  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{FeOH}^{2+}$  y  $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ , la forma predominante y la concentración dependen del pH. Arriba de pH de 4.8 la actividad de todas las especies en equilibrio con hidróxido férrico será menor que  $10\mu\text{g/L}$ .

El ión férrico forma complejos con sustancias orgánicas y con los iones  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{PO}_4^{3-}$ . Aunque generalmente los complejos orgánicos son los más importantes. El

hierro férrico asociado con coloides orgánicos o material tipo húmico da a algunas aguas un color amarillo o café. Otro efecto de la materia orgánica es la reducción del ión férrico a ferroso.

Las superficies del óxido-hidróxido férrico tienen una gran capacidad de adsorción que puede afectar la concentración de constituyentes menores en aguas en las que se presente este tipo de material. En tales condiciones es posible que ocurran procesos redox de coprecipitación que controlen la solubilidad de otros metales en solución.

La presencia de bacterias es capaz de aumentar o disminuir la concentración de Fe disuelto.

### ***Diagrama de Predominio de Especies para el Hierro***

El comportamiento químico del hierro puede predecirse teóricamente como función del pH, Eh y actividad de otros iones en solución. El diagrama Eh-pH del hierro es una gráfica bidimensional en la cual el pH se grafica en la abscisa y el potencial redox en la ordenada. La aplicación de la ley de Nernst y de balances de masas permite expresar las relaciones entre las especies químicas presentes como puntos o líneas en el diagrama.

Este tipo de diagramas potencial-pH fue desarrollado por Pourbaix en Bélgica en años anteriores a la segunda Guerra Mundial. Aunque se trata de un diagrama teórico, las predicciones respecto al comportamiento del hierro se ajustan bastante a su comportamiento real.

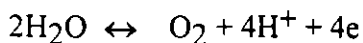
Para la construcción de este diagrama se asumen condiciones estándar (25 °C y 1 atmósfera) y se realizan los cálculos en función de actividades.

El rango de condiciones esperadas en los sistemas acuosos está limitado obviamente al dominio de estabilidad Eh-pH del agua.



Los límites del diagrama entonces están dados por las reacciones de oxidación y de reducción del agua.

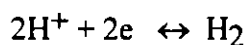
El agua se oxida según la reacción:



Para la cual la ley de Nernst será:

$$E = 1.23 + (0.06/4) \log p\text{O}_2 [\text{H}^+]^4 = 1.23 - 0.06\text{pH}$$

El agua se reduce según la reacción:



Para la cual:

$$E = 0.00 + (0.06/2) \log \frac{[\text{H}^+]^2}{p\text{H}_2}$$

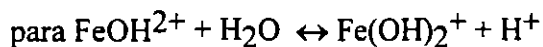
$$E = -0.06 \text{ pH}$$

Para elaborar el diagrama Eh-pH para el fierro considerando la formación de hidróxidos, se consideran las actividades de las fases sólidas y del agua como 1. Se utilizan los siguientes datos:

$$E_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} = 0.78\text{V}$$

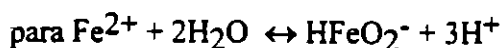
$$K_{\text{eq}} = 10^{-2.3} = \frac{[\text{FeOH}^{2+}] [\text{H}^+]}{[\text{Fe}^{3+}]} \quad \text{para } \text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{FeOH}^{2+} + \text{H}^+$$

$$K_{\text{eq}} = 10^{-3.4} = \frac{[\text{Fe}(\text{OH})_2^+] [\text{H}^+]}{[\text{Fe}(\text{OH})_2^{2+}]}$$

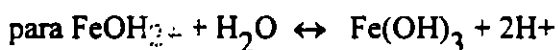


$$pK_s \text{Fe(OH)}_2 = 15.1$$

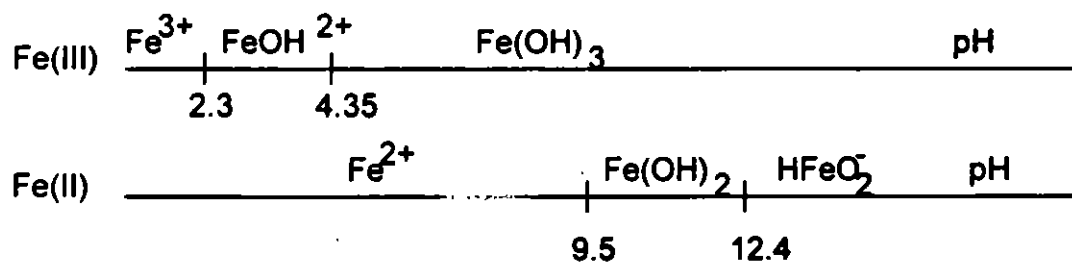
$$K_{eq} = 10^{-31.58} = [\text{HFeO}_2^-] [\text{H}^+]^3 / [\text{Fe}^{2+}]$$



$$K_{eq} = 10^{-2.7} = [\text{H}^+]^2 / [\text{FeOH}^{2+}]$$



Por facilidad se puede iniciar la construcción del diagrama especificando las especies de  $\text{Fe}^{2+}$  y de  $\text{Fe}^{3+}$  en los diversos rangos de pH para una concentración de  $\text{Fe(III)} = \text{Fe(II)} = 10^{-6} \text{ M}$ .



Para construir el diagrama los límites entre especies con el mismo grado de oxidación se fijan por las reacciones y sus respectivas constantes de equilibrio, y se grafican como líneas verticales. La variación de los potenciales de las reacciones entre especies con diferente grado de oxidación se obtienen por la ley de Nernst y se grafican como líneas horizontales o inclinadas. Los cambios en la pendiente de las líneas ocurren solamente cuando intersectan o son intersectadas por una línea vertical.

Con estas consideraciones puede obtenerse la gráfica del sistema  $\text{Fe(III)/Fe(II)}$  en función del pH, para concentraciones de  $\text{Fe(II)} = \text{Fe(III)} = 10^{-6} \text{ M}$  ( $56 \mu\text{g/L}$ ).

Para  $\text{pH} < 2.3$ :

El sistema es independiente del pH. El potencial es igual a 0.77V

Para  $2.3 < \text{pH} < 4.3$ :

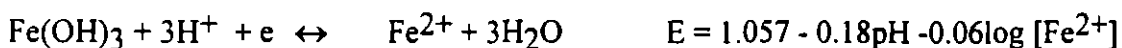
El sistema  $\text{FeOH}^{2+} / \text{Fe}^{2+}$  depende del pH según



$$E = 0.91 - 0.06\text{pH} + 0.061 \log \frac{[\text{FeOH}^{2+}]}{[\text{Fe}^{2+}]}$$

Para  $4.3 < \text{pH} < 9.5$ :

El sistema  $\text{Fe}(\text{OH})_3 / \text{Fe}^{2+}$  es función del pH según



Para  $9.5 < \text{pH} < 12.4$

El sistema  $\text{Fe}(\text{OH})_3 / \text{Fe}(\text{OH})_2$  es función del pH según



Para  $\text{pH} > 12.4$ :

El sistema  $\text{Fe}(\text{OH})_3 / \text{HFeO}_2^-$  es independiente del pH según



Con base a estas ecuaciones se elaboró el diagrama de la figura 3.

## ***Papel de las Bacterias en la Precipitación del Hierro***

Termodinámicamente las bacterias pueden influir el comportamiento del hierro en el agua por los siguientes procesos:

Procesos en los cuales las bacterias ejercen un efecto catalítico para acelerar las reacciones que son termodinámicamente favorables pero que ocurrirían muy lentamente en ausencia de las mismas. En este tipo de procesos participan bacterias tales como *Gallionella*, *Crenothrix* y *Peptothrix* que oxidan el hierro ferroso. Estos géneros requieren oxígeno, por lo tanto viven en ambientes en los que el hierro ferroso es inestable.

Procesos que requieren la contribución de energía de otra fuente para alterar el status del hierro y pueden ser promovidos por las bacterias que consumen alguna otra sustancia como fuente de energía. Estos procesos involucran especies reductoras del hierro y del azufre que requieren una sustancia oxidable, usualmente orgánica como fuente de energía. Incidentalmente puede ocurrir la oxidación o reducción del hierro y éste puede no jugar un papel esencial en los procesos vitales de las bacterias.

Las bacterias oxidantes del azufre son capaces de ejercer una acción indirecta en el comportamiento del hierro al catalizar las reacciones que solubilizan al hierro, por ejemplo la oxidación de la pirita. Esta catálisis bacteriana llega a incrementar la velocidad de conversión del  $\text{Fe}^{2+}$  a  $\text{Fe}^{3+}$  en soluciones ácidas en presencia de pirita hasta en seis órdenes de magnitud, y es un factor primordial en la generación del drenaje ácido de minas.

Las bacterias pueden entonces aumentar o disminuir la concentración de hierro disuelto en el agua de pozos. Es posible separar parcialmente las colonias de bacterias en pozos y tuberías moviendo el agua periódicamente, lo que origina también la liberación ocasional del hidróxido férrico acumulado. En el agua subterránea la presencia de hierro es fundamentalmente un fenómeno químico. Sin embargo, la biota asociada con la disolución y precipitación del hierro puede agravar cierto tipo de problemas relacionados con la presencia del mismo.

## REFERENCIAS

Andres A.S., 1993, Nitrate contamination of Ground and Surface Watersm Coastal Sussex County, Delaware, Hydrological Science and technology, AIH, 9pp 106-128.

Armienta M.A., 1988, La Contaminación de las Aguas Subterráneas, Comunicaciones Técnicas IGF, UNAM, Serie Investigación No. 76, 40 pp.

Chapelle F.H. and D.R. Lovley, 1992, Competitive Exclusion of Sulfate Reduction by Fe(III)-Reducing Bacteria: a Mechanism for Producing Discrete zones of High-Iron Ground Water, Groundwater, 30, pp 29-36.

Cherry J.A., 1984, Groundwater Contamination, MAC Short Course Handbook 10, Ed. M. A. Fleet Cap. 11 pp 269-306.

Cherry J.A., R.W. Gillham and J.F. Barker, 1984, contaminants in Groundwater: Chemical Processes, en: Studies in Geophysics, Groundwater Contamination, National Academy Press, Washington D.C., pp 46-64.

Drever J.I., 1982, The Geochemistry of Natural Waters, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J., 388 pp.

Foster S.S.D., 1989, Diffuse Pollution of groundwater by Agriculture-Lessons learnt and Future Prospects, in: J.E. Moore, A.A. Zaporozec, S.C. Csallany and T. C. Varney (eds.) Recent Advances in Groundwater Hydrology, AIH, pp 185-194.

Freeze R.A., J.A. Cherry, 1979, Groundwater, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 604 pp.

Garrels R.M. and C.L. Christ, 1965, Solutions, Minerals and Equilibria, Harper& Row, N.Y., 450 pp.

Garrels R.M., 1976, A survey of low Temperature Water-Mineral Relations, en: Interpretation of Environmental Isotope and Hydrochemical Data in Groundwater Hydrology. Proceedings of an Advisory group Meeting, Vienna, Austria, 27-31 Junio, 1975, AIEA.

Gillham R.W. and L.R. Webber, 1969, Nitrogen Contamination of Groundwater by Barnyard Leachates, Journal WPCF, pp 1752-1762.

Gillham R.W. and J.A. Cherry, 1978, Field Evidence of denitrification in Shallow Groundwater flow Systems, Water Poll. Res. Canada, 13, pp 53-70.

Gshwend P. M. and M.D. Reynolds, 1987, Monodisperse Ferrous Phosphate colloids in and Anoxic Groundwater Plume, *J. of Contaminant Hydrology*, 1, pp 309-327.

Hem J.D., 1992, Study and Interpretation of the chemical Characteristics of Natural Water, Geological Survey Water Supply Paper 2254, Washington D.C., 264 pp.

Lloyd J.W., J.A. Heathcote, 1985, Natural Inorganic hydrochemistry in relation to groundwater, Clarendon Press Oxford, n.Y., 296 pp.

Mariotti A., 1986, La dénitrification dans les eaux Souterraines, Principes et Méthodes de son identification: Une Revue, *J. of Hydrology*, 88, pp 1-23.

Snoeyink V.L., D. Jenkins, 1987, *Química del Agua*, Limusa, México D.F., 508 pp.

Stumm W. and J.J. Morgan, 1981, *Aquatic Chemistry*, John Wiley & Sons, N.Y., 780 pp.

Thornton I., 1983, *Applied Environmental Geochemistry*, Academic Press, N.Y., 501 pp.

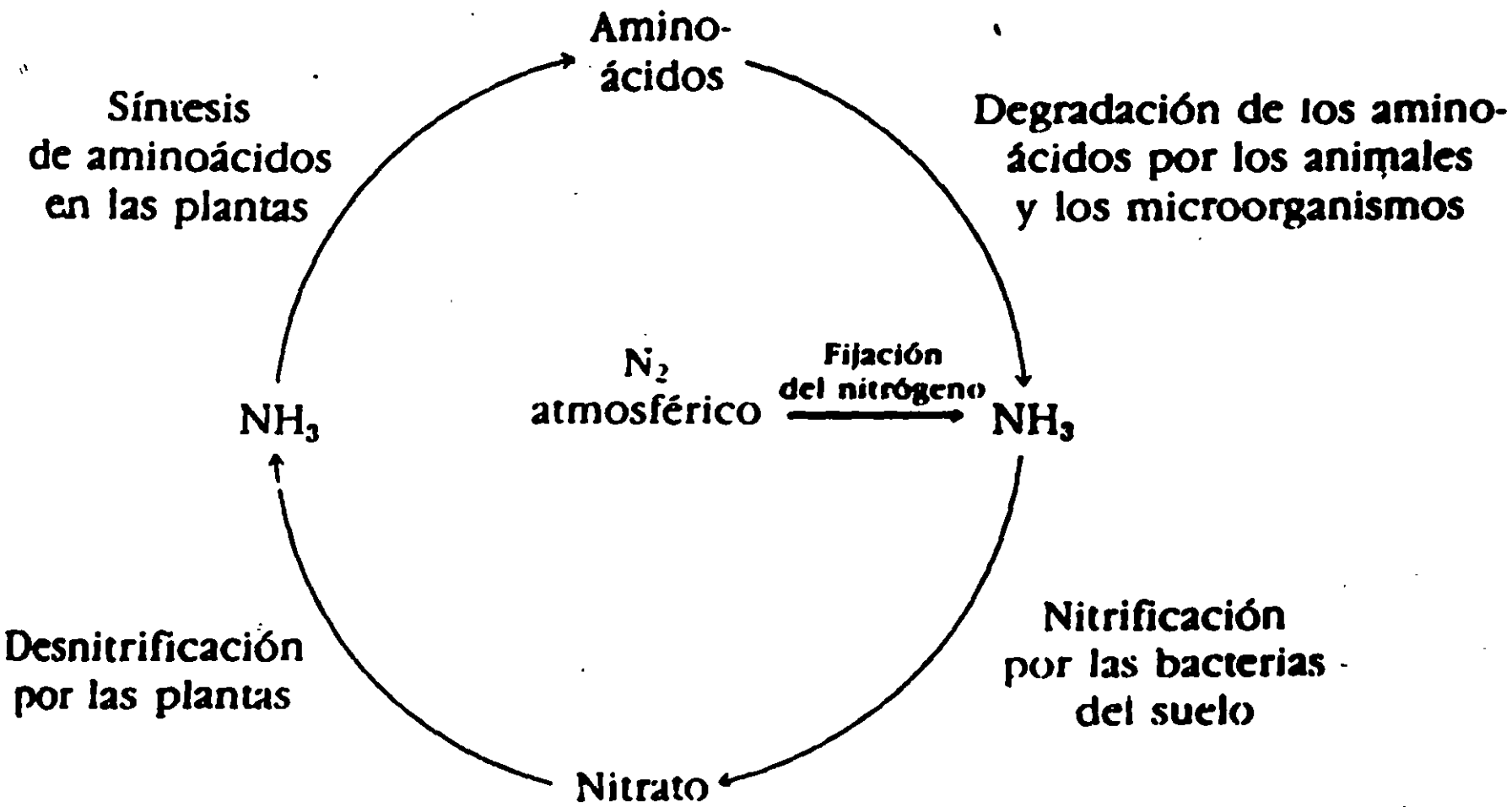


Figura 1

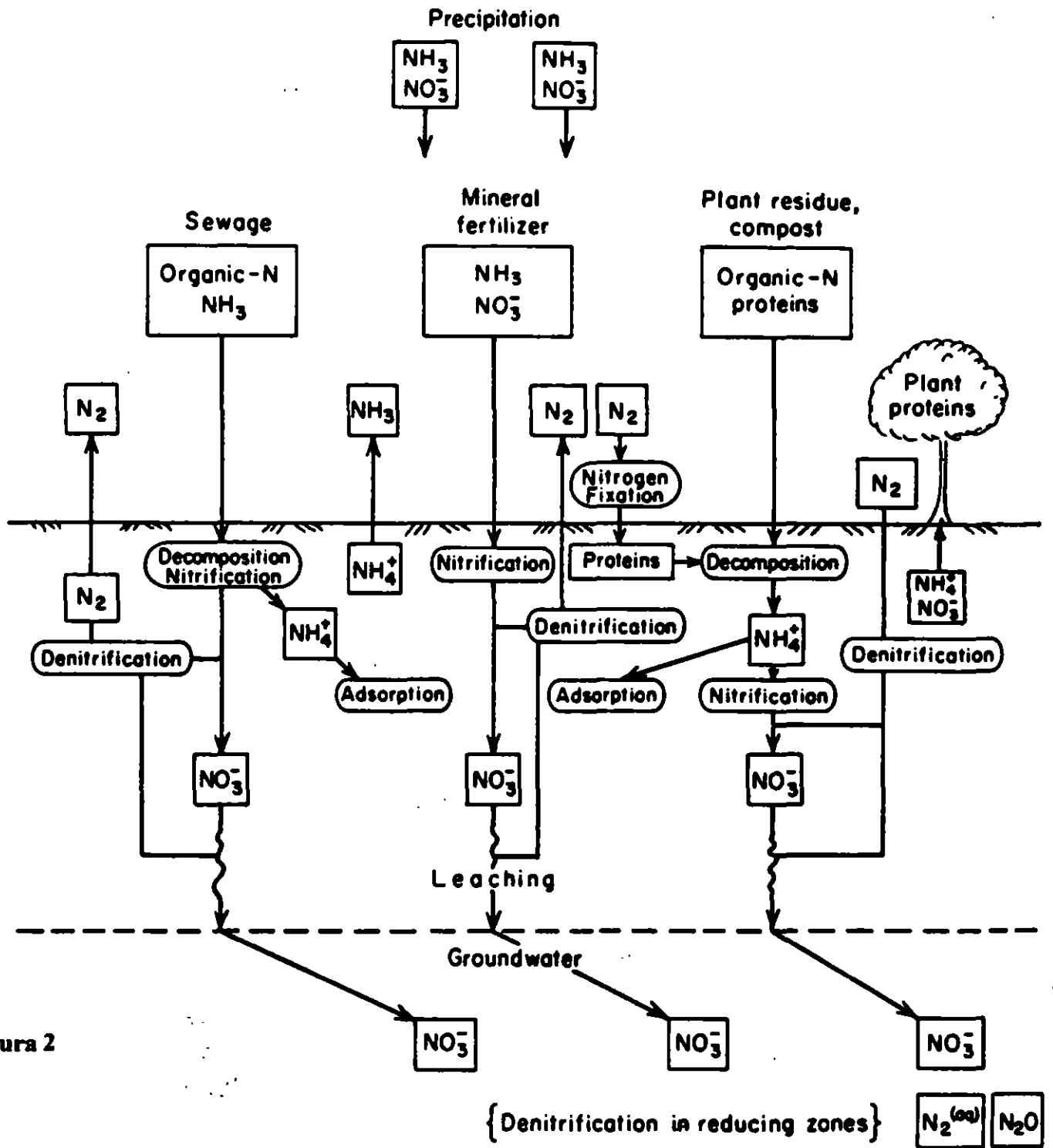


Figura 2



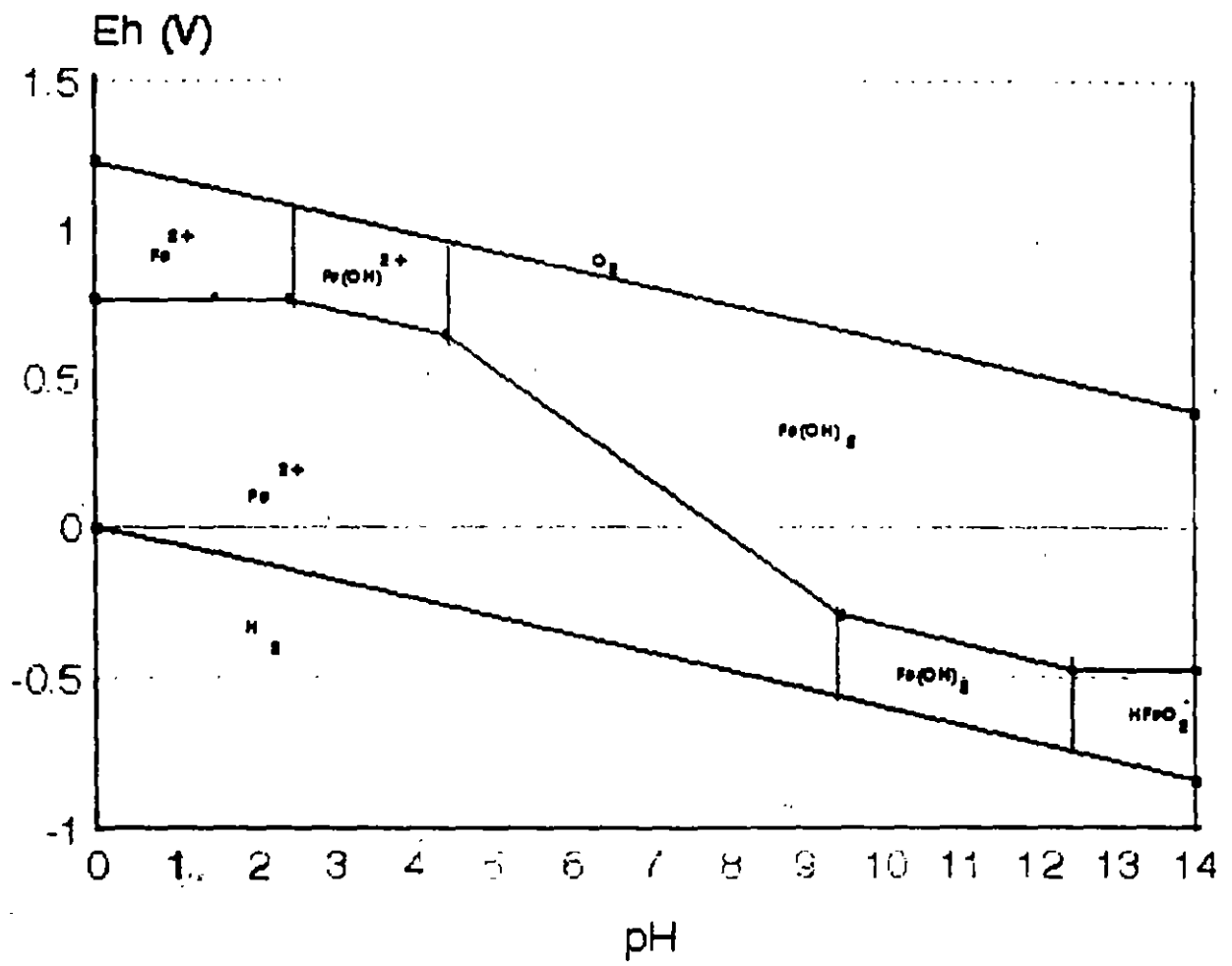


Figura 3

# THE IMPACT OF URBAN DEVELOPMENT ON RECHARGE AND GROUNDWATER QUALITY IN A COASTAL AQUIFER NEAR PERTH, WESTERN AUSTRALIA

by

S. Appleyard  
 Geological Survey of Western Australia  
 100 Plain Street  
 East Perth WA 6004, Australia

**ABSTRACT:** Near Perth, Western Australia, thirty boreholes were drilled at eleven sites in similar hydrogeological settings. The sites represent three levels of urban development: an uncleared area, a new residential area (less than 20 years old), and an old residential area (more than 60 years old). The objective was to assess the impact of sewered urban development on recharge and groundwater quality. Tritium data suggest that a greater proportion of recharge in the urban areas is from point sources, and this probably caused high redox potentials (up to 291 mV) in groundwater in the old residential area. Recharge in the new urban area is estimated to be about 37 percent of the average annual rainfall of about 0.8 m, and this value is probably greater than recharge in undeveloped areas. Concentrations of sulphate increase progressively with the age of urban development, from an average of 8 mg/L to 69 mg/L, probably as a result of fertilizer input and the oxidation of soil-held sulphides with land clearing. Nitrate concentrations are significantly higher in urban areas (average concentration >1 mg/L as N) than in the non-urban areas (average concentration <0.5 mg/L as N). However, the measured concentrations are all lower than expected from current fertilizer inputs in sewered urban areas of about 80 kg/ha, indicating that denitrification is taking place. A limited reservoir of reducing agents may be available for denitrification, and this may have implications for the sustained use of groundwater as a potable supply in coastal suburbs of Perth.

**RÉSUMÉ:** Près de Perth, en Australie occidentale, 30 forages ont été réalisés en 11 sites dans les mêmes conditions hydrogéologiques. Ces sites présentent trois degrés de développement urbain : une zone non aménagée, une zone résidentielle nouvelle (de moins de 20 ans), une zone résidentielle ancienne (de plus de 60 ans). L'objectif était de déterminer l'impact de l'assainissement urbain sur la recharge et sur la qualité des eaux souterraines. Les données de tritium indiquent qu'une recharge plus importante se produit ponctuellement dans les zones construites, ce qui est probablement responsable des potentiels redox élevés (jusqu'à 291 mV) dans l'eau souterraine à long temps de séjour. La recharge dans la zone nouvellement urbanisée est d'environ 37% des précipitations moyennes annuelles (800 mm); cette valeur paraît supérieure à celle de la recharge dans les zones non urbanisées. Les concentrations en sulfates augmentent progressivement avec l'âge du développement urbain, de 8 à 69 mg/l en moyenne, probablement à cause des apports d'engrais et de l'oxydation des sulfures lors du lessivage des sols. Les teneurs en nitrates sont significativement plus fortes en zones urbanisées (concentration moyenne supérieure à 1 mg/l en N) qu'en zones non urbanisées (concentration moyenne inférieure à 0.5 mg/l en N). Ces teneurs restent cependant nettement inférieures à celles que produiraient, comme on le connaît, des apports continus d'engrais de 80 kg/ha en zone urbanisée avec assainissement, ce qui prouve qu'une dénitrification se produit. Un réservoir limité d'agents réducteurs doit donc intervenir dans la dénitrification, ce qui peut avoir des implications pour une utilisation durable des eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable dans la banlieue côtière de Perth.

**RESUMEN:** Cerca de Perth, Australia Occidental, se perforaron treinta sondeos en once localizaciones similares características hidrogeológicas. Las localizaciones representan tres niveles de desarrollo urbano: un área no desarrollada, un área residencial moderna (menos de veinte años de edad) y un área residencial antigua (más de 60 años). El objetivo era evaluar el impacto del desarrollo en las redes de saneamiento urbanas en recarga y calidad de las aguas subterráneas. Los datos de tritio sugieren que una gran proporción de la recarga en áreas urbanas procede de focos puntuales; esto es una posible causa de los altos potenciales redox (hasta 291 mV) de las aguas subterráneas en el área residencial antigua. La recarga en el área urbana moderna se estima sobre el 37% de la precipitación anual media, de alrededor de 0.8 m, y este valor es probablemente mayor que la recarga en áreas no desarrolladas. Las concentraciones de sulfato aumentan progresivamente con la edad del desarrollo urbano, desde una media de 8 mg/l hasta 69 mg/l, probablemente como resultado del aporte de fertilizantes y de la oxidación de los sulfuros retenidos durante la explanación del terreno. Las concentraciones de nitratos son significativamente más altas en áreas urbanas (concentración media >1 mg/l en forma de N) que en áreas no urbanas (concentración media < 0.5 mg/l en forma de N). Sin embargo, las concentraciones medidas son todas menores que las esperadas a partir de los valores de aporte de fertilizantes habituales en áreas urbanas con red de saneamiento, que son del orden de 80 kg/ha. Esto indica que está teniendo lugar un proceso de desnitrificación. Esta desnitrificación puede ser posible por la presencia de una acumulación limitada de agentes reductores, lo que puede tener implicaciones para el uso sostenido del agua subterránea como suministro de agua potable en los suburbios costeros de Perth.

## INTRODUCTION

Urban development can radically change the spatial distribution of groundwater recharge. Diffuse recharge by infiltration through soil profiles is partly replaced by new point sources, including septic tanks, leaking sewers and water mains, intensive irrigation of domestic and municipal gardens, and the recharge of stormwater runoff. The extent to which changes in recharge occur depends on various factors, including the density of urban development, rainfall, the amount of water imported from external sources, and the amount of water exported in sewers and drainage systems. Urbanization may cause either increases or decreases in net groundwater recharge (Lerner et al., 1990). Changes in recharge in urban areas may change groundwater quality, either directly by allowing chemicals used in urban areas to be leached into a groundwater system, or indirectly by changing chemical conditions within an aquifer.

The city of Perth in Western Australia overlies extensive unconfined and confined aquifers that provide about 30 percent of the city's potable water supply and about 70 percent of Perth's total water usage (Cargeeg et al., 1987). The population of Perth is expected to double to about 2 million by 2030, and much of the urban development necessary to house this population increase will take place in coastal areas north of Perth (fig. 1). Public water supplies in this coastal strip will probably rely heavily on groundwater abstraction from a regional unconfined aquifer, and production wells may be sited within residential areas.

Most of the urban development in the coastal strip north of Perth is taking place by the encroachment of new housing estates directly into areas of native bushland, and the development is currently moving progressively in a northerly direction, thereby leaving suburbs of increasing age to the south. Although much has been written about the quality of groundwater in many parts of the Perth Metropolitan Region (e.g., Martin and Harris, 1982; McFarlane, 1984; Cargeeg et al., 1987; Attwood and Barber, 1989; Gerritse et al., 1990; Bawden, 1991), little is currently known about the impact that changes in land use will have on the water balance and on groundwater quality in coastal areas. Consequently, the Water Authority of Western Australia has initiated studies to investigate the groundwater resources and groundwater quality in these areas.

## HYDROGEOLOGIC SETTING

Coastal areas north of Perth are underlain by dunal deposits of Pleistocene age, which constitute the Tamala Limestone (fig. 1). This formation consists of medium-to-coarse-grained sand and weakly-to-well-lithified calcarenite, which ranges in thickness from 20 to 80 m in the region, depending on topography. These sediments are generally underlain by shale and siltstone of Tertiary or Cretaceous age. In areas where aquitards are absent, the surficial aquifer provides recharge for deeper aquifers in Mesozoic sediments, or it receives leakage from these aquifers where hydraulic head increases with depth.

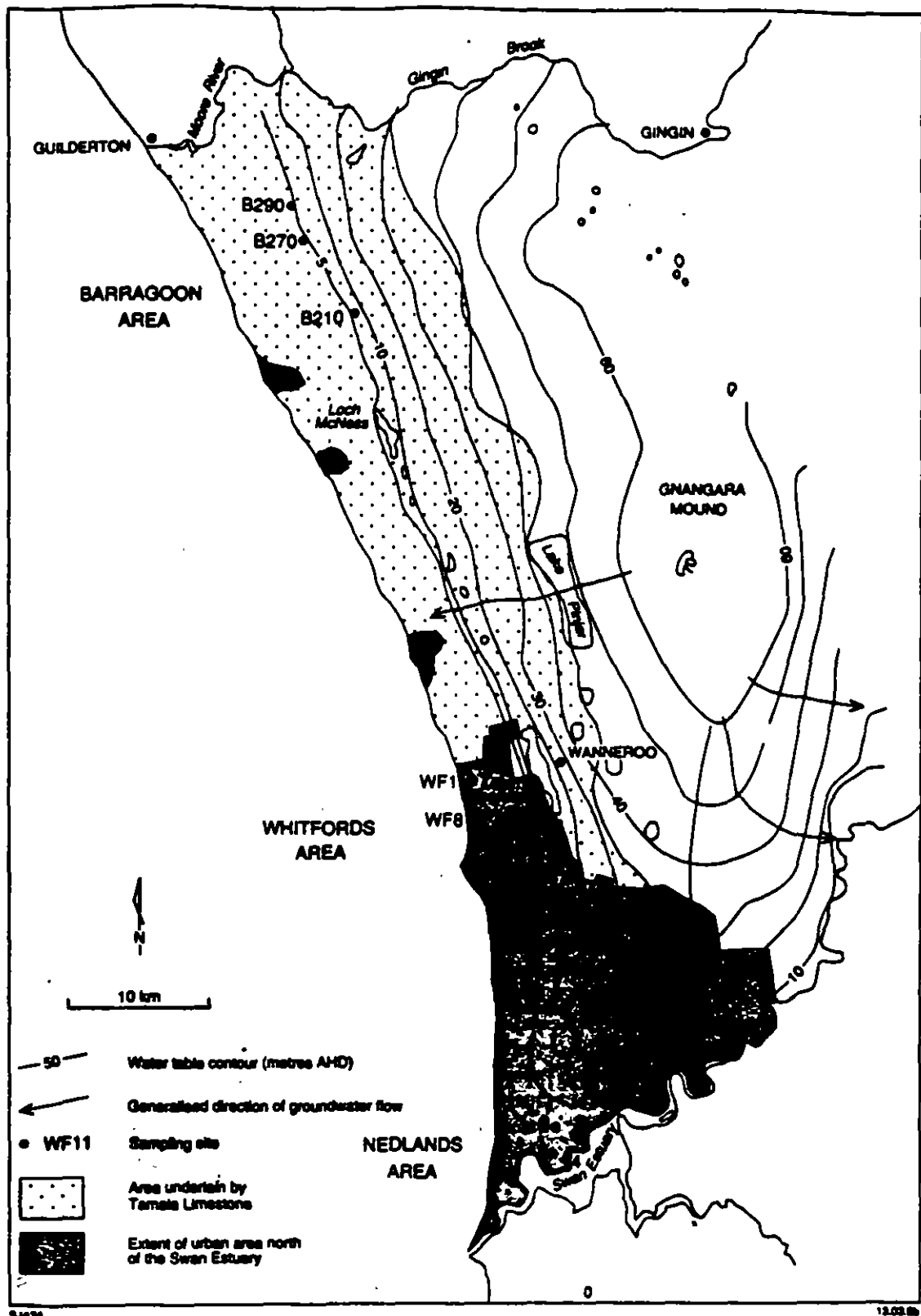


Figure 1. Location of study area, showing sampling sites.

The coastal sediments form part of an extensive unconfined aquifer, which underlies most of the Perth flow systems near Perth. North of the Swan Estuary, groundwater occurs in a single, large flow system discharged to wetlands, the Swan Estuary, and the ocean.

Sites sampled in this study are near the Swan Estuary and the coast, toward the edge of the Gnangara Mound flow system. Boreholes at each site were constructed within a similar sequence of sediments and are in a similar position in the groundwater flow system. The sites were selected to allow the effect of land-use changes on groundwater quality to be investigated in similar hydrogeological settings.

## METHOD OF INVESTIGATION

Thirty boreholes were sampled at a total of eleven sites (fig. 1) in an uncleared area (Barragoon area), a new residential area (Whitfords area; housing less than 20 years old), and an old residential area (Nedlands area; housing about 60 years old). The objective was to evaluate the impact of sewered urban development on groundwater quality and the groundwater flow regime. At each site, two or three monitoring intervals were established to allow water samples to be collected at various depths from the aquifer.

Four sites were selected in the Nedlands in small parks amongst medium-density housing (average block sizes 800 to 1,000 m<sup>2</sup>) and adjacent to a golf course. Boreholes were also constructed at four sites in the Whitfords area in small parks adjacent to housing (average block size 600 to 800 m<sup>2</sup>). Samples were also collected from boreholes at three sites in uncleared bushland in the Barragoon area, which is currently north of the Perth metropolitan area.

Each borehole was sampled by pumping with a variable-rate electric submersible pump. The pumped water was passed through a perspex flow-cell, where air-free measurements of redox potential (Eh), dissolved oxygen, pH, conductivity, and temperature were made. Each borehole or sampling interval was pumped until a minimum of three casing volumes of water had been displaced, and until field measurements had stabilized.

Separate samples were collected for the analysis of major ions, heavy metals, tritium, nutrients, pesticides, and other trace organic compounds using standard sampling procedures. Samples were also collected from selected boreholes for microbiological analysis.

## RESULTS

### Groundwater Age and Recharge

Measured tritium activities (table 1; fig. 2) indicate that a large variation exists in groundwater age throughout the surficial aquifer in the three sampling areas. Groundwater in the lower part of the aquifer in the uncleared Barragoon area is more than 35 years old, indicating that this part of the aquifer does not receive recharge. Intermediate tritium values near the water table in this area are probably due to mixing of old, tritium-free groundwater with young, tritiated recharge. The low tritium values at the water table in this area suggest that recharge rates are low relative to the rate of groundwater throughflow.

In contrast, tritium activities in groundwater beneath the Whitfords area are high throughout much of the surficial aquifer, suggesting that recharge is much greater in this area than in Barragoon. Tritiated groundwater occupies about 70 percent of the saturi thickness of the aquifer, and the interface between tritiated and tritium-free groundwater is 20 to 30 m below the water table.

### Chemical Composition of Groundwater

The composition of groundwater at each sampling site is dominated by calcium, sodium and bicarbonate ions (table 2) and is similar in composition to groundwater elsewhere in the Tamala Limestone aquifer. The major differences between the composition of groundwater in the three sampling areas, are in the concentrations of sulphate and in the sulphate-chloride ratios. Both parameters increase progressively with the age of residential development (fig. 3). Elevated sulphate concentrations in groundwater have been detected elsewhere in Perth (Bawden et al., 1983; Gerritse et al., 1990), and have been attributed to widespread fertilizer use and the oxidation of organic and inorganic sulphides in soil profiles as land is cleared for urban development. Attwood and Barber (1989) also used historical data to indicate that sulphate concentrations may increase progressively with time as urban development takes place in Perth.

Another difference in groundwater chemistry between the sampling areas is that the measured redox potentials in the old residential area of Nedlands are commonly much higher than in the newly developed Whitfords area and the uncleared Barragoon area. Although low redox potentials were measured in

Nedlands, they appeared to be associated with leachate from an old landfill (site 1) and a cemetery (site 5). High redox potentials are probably partially controlled by the concentration of dissolved oxygen in groundwater, because a good linear correlation exists between these variables (correlation coefficient = 0.78).

Table 1. Tritium age of groundwater.

Well no. and interval <sup>1</sup>	Tritium units (TU)	Age <sup>2</sup>
<b>Nedlands area</b>		
1 S	3.1	Modern
1 I	2.6	Modern
1 D	3.1	Modern
2 S	2.5	Modern
2 I	2.2	Modern
2 D	0.4	Old
3 S	1.1	Mixed
3 I	1.4	Mixed
3 D	1.3	Mixed
4 S	0.9	Old
4 I	0.7	Old
4 D	0.5	Old
<b>Whitfords area</b>		
WF1 S	--	--
WF1 D	3.4	Modern
WF5 S	1.8	Modern
WF5 I	1.7	Modern
WF5 D	0.4	Old
WF8 S	2.4	Modern
WF8 I	2.2	Modern
WF8 D	0.4	Old
WF11 S	3.5	Modern
WF11 I	1.3	Mixed
WF11 D	1.1	Mixed
<b>Barragoon area</b>		
B210 S	1.1	Mixed
B210 D	1.1	Mixed
B270 S	1.0	Mixed
B270 I	1.3	Mixed
B270 D	0.6	Old
B290 S	1.2	Mixed
B290 D	0.5	Old

<sup>1</sup> S, Shallow; I, Intermediate; D, Deep

<sup>2</sup> Modern, post-1954 AD;

Mixed, water of mixed origin;

Old, pre-1955 AD

Other couples, such as  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  and  $SO_4/S$  are probably important in buffering redox potentials when dissolved oxygen concentrations are low.

Strictly speaking, redox potentials measured in the field are not true thermodynamic values, because they cannot be attributed to a single oxidation-reduction reaction and because it is unlikely that chemical species in the water sample are in a state of thermodynamic equilibrium (Stumm and Morgan, 1981; Drever, 1988). However, the relationship between measured redox potentials, iron concentrations, and stability fields for iron species (fig. 4) suggests that a good relationship exists between measured redox potentials and true thermodynamic values.

### Nitrate

Nitrate is generally the contaminant of most concern in urban areas, because of its widespread distribution and its adverse impacts on potable groundwater resources. High nitrate concentrations in groundwater in urban areas of Perth have been associated with widespread fertilizer use and leaks from septic tanks (Appleyard and Bawden, 1987; Attwood and Barber, 1989; Gerritse et al., 1990).

Nitrate concentrations in the uncleared Barragoon area are all less than 0.5 mg/L and are similar to concentrations measured in groundwater elsewhere in areas of native vegetation. In contrast, nitrate concentrations in samples from the two urban areas are generally greater than 1 mg/L as N (fig. 5), and are probably associated with widespread fertilizer use on domestic gardens. The distribution of nitrate in the unconfined aquifer in both urban sampling areas is similar, with high concentrations usually occurring at the water table associated with high concentrations of dissolved oxygen. However, high nitrate concentrations occurred throughout the saturated thickness of the aquifer at Nedlands site 4 and Whitfords site WF1.

Distinct differences exist between nitrate concentrations in groundwater beneath non-urban and urban areas, and the degree of scatter of nitrate concentrations observed in groundwater appears to increase with the age of urban development (fig. 5).

### Other Contaminants

Concentrations of heavy metals, chlorinated and aliphatic hydrocarbons, and pesticides are generally below detection limits in all sampling areas. Although groundwater contamination by pesticides has occurred

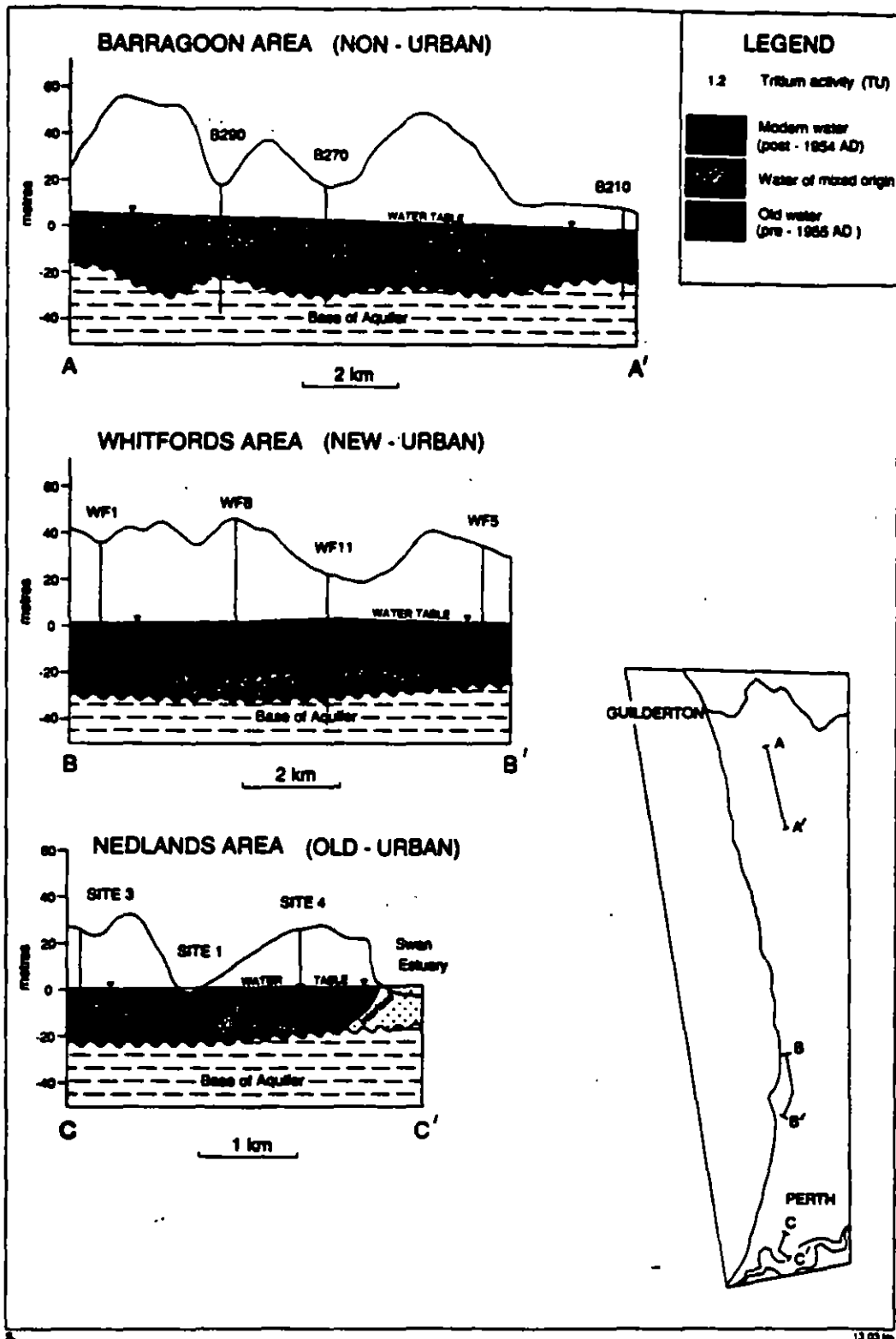


Figure 2. Hydrogeologic sections showing groundwater age in the three sampling areas.

Table 2. Chemical analyses of groundwater.

Well no. and Interval <sup>1</sup>	Chemical properties and constituents <sup>2</sup>												
	TDS	Eh (mV)	D.O.	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub> -N	Fe
Nedlands area													
1 S	920	195	2.4	150	16	160	8	436	263	88	9	0.74	<0.05
1 I	670	-106	0.7	105	16	111	17	298	195	63	17	0.03	0.05
1 D	680	146	0.7	105	20	119	7	309	202	53	17	1.1	<0.05
2 S	820	289	6.7	121	22	143	7	306	249	54	20	10	<0.05
2 I	750	230	4.1	97	19	147	4	226	265	66	20	3.3	<0.05
2 D	16,200	-1	1.5	885	690	4,020	65	244	8,720	1,680	19	0.03	0.16
3 S	780	251	6.8	137	17	115	10	369	210	64	21	4	<0.05
3 I	630	133	1.7	108	14	91	16	304	159	71	17	1.2	<0.05
3 D	610	-102	-1.5	98	15	92	16	296	152	70	17	0.47	0.16
4 S	950	291	9.7	121	25	195	6	310	332	81	19	3.2	<0.05
4 I	1,040	273	7.1	114	30	230	8	300	393	80	19	3.8	<0.05
4 D	880	203	5.9	108	25	178	6	302	308	67	18	3.5	<0.05
Whitfords area													
WF1 S	620	106	5.5	93	24	99	4	329	177	12	17	5.6	0.08
WF1 D	640	120	5.2	93	24	107	4	330	194	13	17	5.4	<0.05
WF5 S	580	131	5.6	101	16	93	3	351	156	14	16	0.6	<0.05
WF5 I	580	134	4.7	100	15	92	3	335	159	14	16	2.4	<0.05
WF5 D	700	31	2.2	102	18	125	6	272	235	20	19	2.9	0.05
WF8 S	540	94	4.9	90	16	82	4	319	142	12	15	3.6	<0.05
WF8 I	460	33	3.0	76	14	72	5	237	130	9	18	2.6	0.05
WF8 D	230	-165	0.6	37	5	31	6	134	60	1	23	0.26	0.53
WF11 S	650	-51	0.3	97	15	110	12	352	171	33	22	3.7	0.76
WF11 I	510	-89	0.2	73	12	96	7	262	147	29	19	0.1	0.70
WF11 D	480	-126	0.2	69	11	86	7	242	137	25	21	0.1	1.30
Barragoon area													
B210 S	290	124	1.4	45	7	51	2	133	95	8	13	0.39	<0.05
B210 D	280	88	0.8	44	7	48	2	133	92	9	13	0.14	<0.05
B270 S	400	115	4.9	69	8	70	2	204	127	9	11	0.12	<0.05
B270 I	370	118	2.1	45	9	80	3	136	140	9	13	0.03	<0.05
B270 D	390	97	1.9	55	10	76	4	188	134	3	13	0.11	<0.05
B290 S	380	108	5.2	56	9	72	3	179	126	6	15	0.08	<0.05
B290 D	400	56	0.4	62	9	76	3	191	132	11	12	0.03	<0.05

<sup>1</sup> S, Shallow; I, Intermediate; D, Deep

<sup>2</sup> All analyses except Eh are in mg/L; all cation-anion balances are within 5 percent; Eh, measured redox potential (mV); D.O., dissolved oxygen (mg/L)



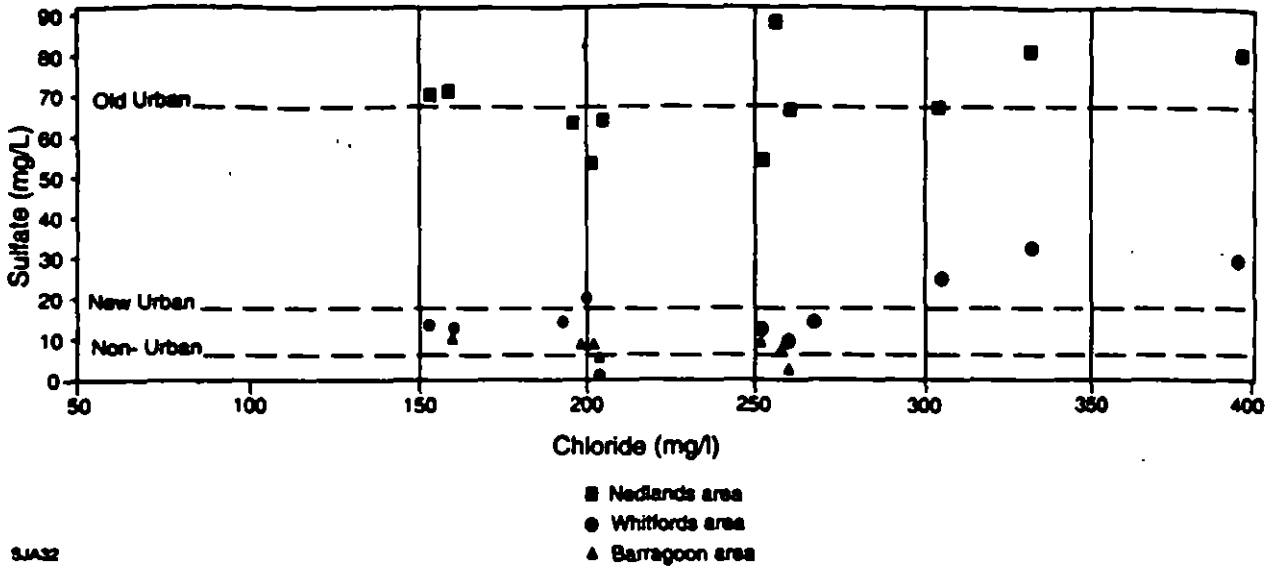


Figure 3. Relationship between sulphate and chloride concentrations in the three sampling areas.

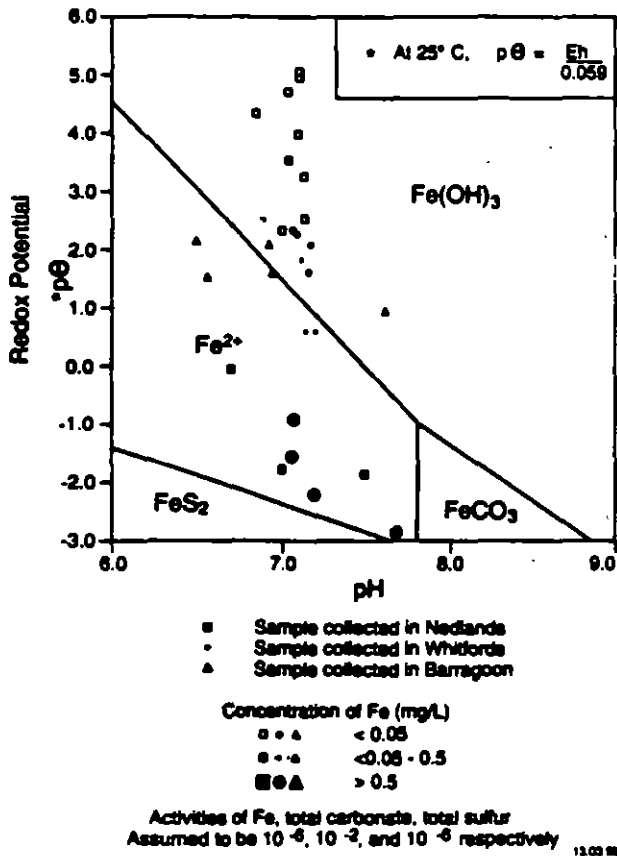


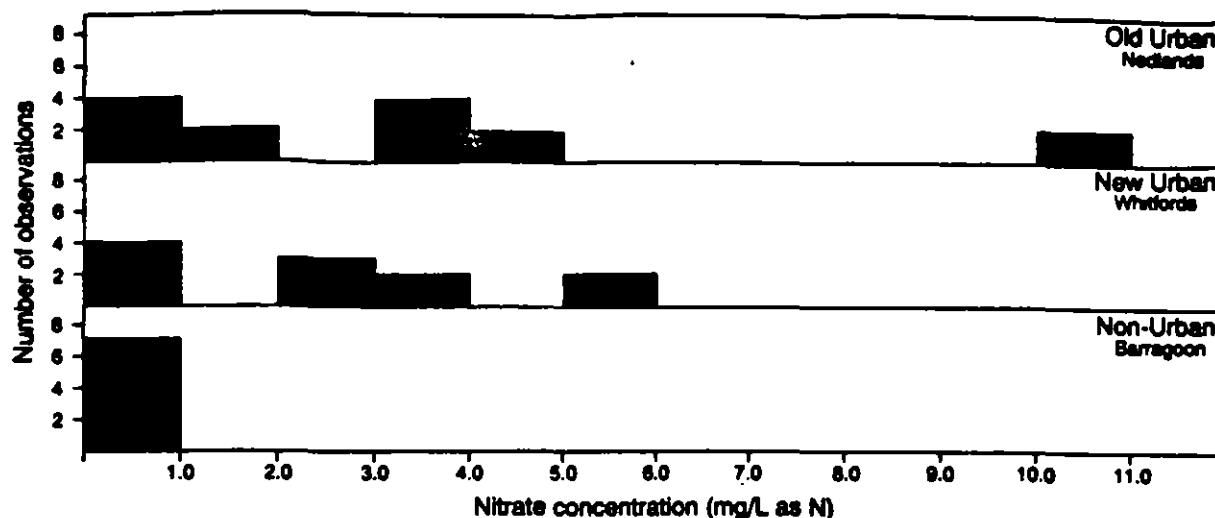
Figure 4. Pourbaix diagram showing variations in Fe concentration with pH and redox potential.

in Perth (Appleyard, 1993b), it has usually been the result of large point sources. Experimental work (Gerritse et al., 1990) has indicated that strong adsorption characteristics of organochlorine pesticides, and the short half lives of organophosphate pesticides makes groundwater contamination from the widespread diffuse applications of these chemicals in Perth unlikely.

High levels of coliform bacteria were detected at the water table in two sites in Nedlands (sites 1 and 4) near sewerage mains, suggesting that leaking pipes contribute at least a small proportion of groundwater recharge in this area. These bacteria may be persistent in groundwater, and residence times of up to 120 days have been recorded (Matthes, 1982). Hoxley and Dudding (1994) indicate that these bacteria can travel more than 500 m from contamination sources in Australian aquifers.

DISCUSSION

Sampling carried out during this study indicates that urban development has had an impact on groundwater quality in near-coastal suburbs of Perth, and that some groundwater-quality changes are probably caused by changes in the magnitude and, more particularly, the spatial distribution of recharge as areas are progressively urbanised. The presence of a distinct tritium interface in the Whitfords area allows the recharge rate to be estimated using the expression:



8.4.22

12.05.94

Figure 5. Distribution of nitrate concentrations in the three sampling areas.

$$R = (PD)/(Tr)$$

where

R = recharge rate over time T (percent of rainfall)

P = total porosity (approximately 0.3)

D = depth of the tritium interface below the water table (approximately 25 m)

T = time since bomb tritium first entered the aquifer (approximately 33 years)

r = average annual rainfall over time T (approximately 0.8 m)

Using these data, the average recharge rate in the Whitfords area is estimated to be about 37 percent of the average annual rainfall for the area. This recharge rate is similar to an estimate of 35 percent of annual rainfall made for this area with a water balance by Nidagal (1993), and is considerably higher than recharge estimates of 15-25 percent of annual rainfall that have been made for uncleared areas in the Perth region (Sharma and Craig, 1988; Farrington and Bartle, 1988; Thorpe, 1988).

Figure 2 may give a misleading impression of the uniformity of recharge in the Whitfords sampling area, because the major sources of recharge in urban areas of Perth are likely to be the infiltration of road and roof runoff through stormwater infiltration basins (Boughton et al., 1987; Smith and Cargeeg, 1987; Appleyard, 1993a) and, to a lesser extent, intensive irrigation of domestic and municipal gardens (Sharma et al., 1992). These sources are likely to give a very inhomogeneous

distribution of recharge, as is seen in the Nedlands sampling area. The presence of tritiated water throughout the surficial aquifer at site 1 in Nedlands supports the view of McFarlane (1984) that the wetland at this site, which is used for stormwater disposal, is a dominant recharge feature in this area. Tritium levels were also high beneath a golf course at site 3 due to intensive irrigation, but were low elsewhere due to the diversion of urban runoff to site 1, the lower intensity of garden irrigation, and transpiration losses from large trees in old established gardens.

Although evidence from the Whitfords sampling area suggests that recharge in new urban areas in Perth may be greater than in undeveloped areas, the amount of groundwater recharge within urban areas is likely to vary considerably, depending on local variations in the density of urban development. However, it is more likely that major changes occur in the distribution of recharge, with diffuse recharge being partly replaced by localised sources of groundwater recharge such as stormwater infiltration basins. Currently, more than 1,000 of these structures exist in the urban areas of Perth, and these receive more than 50 percent of the stormwater runoff in many suburbs. These localised recharge sources may allow water to percolate rapidly to the water table, and large amounts of dissolved oxygen may be introduced into the aquifer (Appleyard, 1993a). Although the oxygen may be rapidly consumed by reactions with such species as  $Fe^{2+}$ , if recharge rates are high relative to the rate of groundwater throughflow, and if there is no external source of reducing agents, recharge over a long period could increase redox potentials in groundwater. The high redox potentials measured in Nedlands are consistent with this

mechanism, although the data are too limited and variable to be conclusive.

Urban development has increased nitrate concentrations in the surficial aquifer, largely as a result of domestic fertilizer use. Gerritse et al. (1990) estimated that up to 80 kg/ha of nitrogen is applied to sewered urban areas in Perth each year, and that if this amount reached the water table, mean nitrate concentrations should be about 40 mg/L as N. The fact that nitrate concentrations are significantly lower than this suggests that denitrification is taking place within the aquifer. However, the large scatter of nitrate concentrations in groundwater in urban areas suggest that denitrification is not occurring uniformly, or that nitrogen inputs are not uniformly distributed. The range of concentrations increases with the age of urban development, with high concentrations occurring in locations of sustained heavy fertilizer use.

A probable consequence of increasing redox potentials is that the effectiveness of denitrification reactions is reduced. Denitrification takes place when redox potentials are less than about 300 mV, and when heterotrophic bacteria in the presence of organic carbon can reduce nitrate through reactions such as:



In the absence of organic carbon, other chemical species such as sulphides (Rodelsperger, 1989; Boettcher et al., 1990) and Fe(II) minerals (Postma, 1990) can reduce nitrate to nitrogen.

Concentrations of organic carbon, dissolved iron and sulphides are generally low in the Tamala Limestone (Bawden, 1991), and if there are no inputs from other sources, only a limited reservoir of dinitrifying agents may exist within the aquifer, and this may eventually lead to progressive increases of nitrate concentrations in groundwater in coastal areas. However, if large inputs of dissolved organic carbon and Fe<sup>2+</sup> occur from sources such as seepage from wetlands, and upward leakage from deeper aquifers, current nitrate concentrations in groundwater in coastal areas could be sustainable.

Not enough is known about denitrification processes in the Tamala Limestone aquifer and about the physical and chemical processes controlling the distribution of reducing agents in the aquifer to indicate whether nitrate concentrations are sustainable in coastal areas subject to urban development, and further research needs to be carried out before production wells for water supply are established in these areas.

## CONCLUSIONS

Urban development in coastal areas near Perth has increased both the magnitude and spatial variability of groundwater recharge and has caused significant changes in groundwater quality. The major groundwater-quality changes are increases in sulphate and nitrate concentrations, probably caused by the oxidation of soil-held sulphides on land clearing and fertilizer input. Nitrogen concentrations in groundwater in urban areas are generally lower than expected on the basis of current nitrogen inputs, indicating that denitrification is taking place. High redox potentials in groundwater in an old residential area suggest that the effectiveness of denitrification may decrease with time, and that current nitrate concentrations in groundwater in urban areas may not be sustainable.

## REFERENCES

- Attwood, D.F., and Barber, C., 1989, The effects of Perth's urbanization on groundwater quality - a comparison with case histories in the U.S.A.: Proceedings Swan Coastal Plain Management Conference, Perth, 1988, Western Australian Water Resources Council Publication, p. 177-190.
- Appleyard, S.J., 1993a, Impact of stormwater infiltration basins on groundwater quality, Perth metropolitan region, Western Australia: *Environmental Geology*, v. 21, p. 227-236.
- \_\_\_\_\_ 1993b, Resourcing the investigation and management of groundwater contamination in Western Australia - a case study of contamination from herbicide manufacture near Perth: *Journal of Australian Geology and Geophysics*, v. 14, p. 177-181.
- Appleyard, S.J., and Bawden, J.E., 1987, The effects of urbanisation on nutrient levels in the unconfined aquifer underlying Perth, Western Australia: Proceedings, International Conference on Groundwater Systems under Stress, Brisbane, p. 587-594.
- Bawden, J.E., 1991, Groundwater quality transformations on the Swan Coastal Plain: Perth, University of Western Australia, Ph.D. dissertation.

- Bawden, J.E., Bestow, T.T., and Harris, P.G., 1983, Increases in the sulphate content of shallow groundwater in the Perth region: Proceedings, Water Research Foundation of Australia Water Quality Seminar, Perth, 1983, p. 143-148.
- Boettcher, J., Strelbel, O., Voerkelius, S., and Schmidt, H.L., 1990, Using isotope fractionation of nitrate-nitrogen and nitrate-oxygen for evaluation of microbial denitrification in a sandy aquifer. *Journal of Hydrology*, v. 114, p. 413-424.
- Boughton, G.N., Townley, L.R., and Perkins, G.B., 1987, Large scale modelling of the unconfined groundwater system underlying Perth, Western Australia: Proceedings, International Conference on Groundwater Systems under Stress, Brisbane, p. 595-607.
- Cargoeg, G.C., Boughton, G.N., Townley, L.R., Smith, G.R., Appleyard, S.J., and Smith, R.A., 1987, Perth Urban Water Balance Study: Water Authority of Western Australia Publication, v. 1, 106 p.
- Drever, J.I., 1988, The geochemistry of natural waters (2nd ed.): Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 437 p.
- Farrington, P., and Bartle, G.A., 1988, Water and chloride balances of Banksia woodland on coastal deep sands of south western Australia, in Sharma, M.L., ed., Groundwater recharge: Proceedings, Conference on Groundwater Recharge, Rotterdam/Boston, A. Balkema Publishing Co., p. 185-196.
- Gerritse, R.G., Barber, C., and Adeney, J.A., 1990, The impact of residential urban areas on groundwater quality: Swan Coastal Plain, Western Australia: Australian CSIRO Water Resource Series Report no. 3, 27 p.
- Hoxley, G., and Dudding, M., 1994, Groundwater contamination by septic tank effluent: two case studies in Victoria, Australia: Proceedings, XXV Congress International Association of Hydrogeologists, Adelaide, 1994, v. 1, p. 145-152.
- Lerner, D.N., Issar, A.S., and Simmers, I., 1990, Groundwater recharge: a guide to understanding and estimating natural recharge: International Association of Hydrogeologists Monograph 8.
- Martin, R.E., and Harris, P.G., 1982, Hydrochemical study of groundwater from an unconfined aquifer in the vicinity of Perth, Western Australia: Australian Water Resources Council Technical Paper no. 67, 125 p.
- Mathesa, G., 1982, The properties of groundwater: New York, John Wiley & Sons, 406 p.
- McFarlane, D.J., 1984, The effect of urbanization on groundwater quantity and quality in Perth, Western Australia: Perth, University of Western Australia, Ph.D. dissertation.
- Nidagal, V., 1993, Hydrogeology of Whitforda groundwater scheme area: Western Australian Geological Survey Hydrogeology Report no. 1993/1.
- Postma, D., 1990, Kinetics of nitrate reduction by detrital Fe(II) silicates: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 54, p. 903-908.
- Rodelsperger, M., 1989, Natural denitrification processes in the aquifer: Proceedings, International Symposium on Contaminant Transport in Groundwater, April 4-6, 1989, Stuttgart, Germany.
- Sharma, M.L., and Craig, A.B., 1988, Comparative recharge rates beneath Banksia woodland and two pine plantations on the Gnangara Mound, Western Australia, in Sharma, M.L. ed., Groundwater recharge: Proceedings, Conference on Groundwater recharge, Rotterdam/Boston, A. Balkema Publishing Co., p. 185-196.
- Sharma, M.L., Herne, D.E., Kin, P.G., and Byrne, J.M., 1992, Impact of urban lawns on nutrient contamination of an unconfined aquifer: Urban Water Research Association of Australia, Research Report no. 49.
- Smith, G.R., and Cargoeg, G.C., 1987, Management of the unconfined groundwater system underlying Perth, Western Australia: Proceedings, International Conference on Groundwater Systems under Stress, Brisbane, p. 619-629.
- Stumm, W., and Morgan, J.J., 1981, Aquatic chemistry: New York, Wiley Interscience Publication, 583 p.
- Thorpe, P.M., 1988, Tritium as an indicator of groundwater recharge to the Gnangara Mound on the Swan Coastal Plain, Western Australia, in Sharma, M.L., ed., Groundwater recharge: Proceedings, Conference on Groundwater Recharge, Rotterdam/Boston, A. Balkema Publishing Co., p. 185-196.

# Competitive Exclusion of Sulfate Reduction by Fe(III)-Reducing Bacteria: A Mechanism for Producing Discrete Zones of High-Iron Ground Water

by Francis H. Chapelle<sup>a</sup> and Derek R. Lovley<sup>b</sup>

## Abstract

The Middendorf aquifer of South Carolina exhibits a 40-kilometer-wide zone where dissolved ferrous iron concentrations commonly exceed 1 mg/l. Downgradient of this zone, dissolved iron concentrations decrease to less than 0.05 mg/l. Geochemical and microbiologic evidence indicates that this zonation reflects the competitive exclusion of sulfate-reducing activity by Fe(III)-reducing bacteria in the high-iron zone and the emergence of sulfate reduction as the predominant process in the low-iron zone. Viable Fe(III)- and sulfate-reducing bacteria coexist throughout the aquifer. However, the observed linear relationship between dissolved iron and dissolved inorganic carbon as well as the lack of sulfate consumption indicates that sulfate-reducing bacteria are much less active than Fe(III)-reducing bacteria in the high-iron zone. Fe(III)-reducing bacteria appear to exclude sulfate-reducing activity by maintaining dissolved hydrogen (~1.0 nM), formate (~2.0  $\mu$ M), and acetate (~1.0  $\mu$ M) concentrations at levels lower than thresholds required by sulfate-reducing bacteria. Downgradient of the high-iron zone, Fe(III)-reducing activity becomes limited by a lack of Fe(III) oxyhydroxides as Middendorf sediments become progressively more marine in origin. Hydrogen, formate, and acetate concentrations then increase to levels (~3.0 nM, ~10.9, and 2.5  $\mu$ M, respectively) that allow sulfate-reducing bacteria to become active. Increased sulfide production strips ferrous iron from solution by precipitating ferrous sulfides, and dissolved iron concentrations decrease. The observed high-iron zonation is thus one manifestation of microbial competition for scarce substrates. The wide occurrence of similar water-chemistry patterns implies that microbial competition mechanisms are important to the ground-water geochemistry of many hydrologic systems.

## Introduction

Undesirably high concentrations of dissolved iron (>0.3 mg/l) are a common ground-water quality problem in a wide range of hydrologic environments. For example, many communities that tap deep aquifers of the Atlantic Coastal Plain must employ expensive water-treatment systems to remove dissolved iron before ground water is suitable for use. Discrete zones of high-iron ground water occur in the Potomac Group aquifers of New Jersey (Langmuir, 1969), Maryland (Back and Barnes, 1965; Chapelle and Kean, 1985), and in the Middendorf aquifer of South Carolina (Speiran, 1987). In spite of the wide occurrence and

economic impact of this phenomenon, the fundamental mechanisms involved in the development and zonation of high-iron ground water have not been investigated in detail.

High concentrations of dissolved iron in ground water have traditionally been explained in terms of equilibrium thermodynamics (Back and Barnes, 1965; Langmuir, 1969; Hem, 1985). Thermodynamic analysis indicates that, under anaerobic conditions, ferrous iron is the favored redox state of iron. Thus, it is well-accepted that high-iron concentrations in many anaerobic ground-water systems reflect the reduction of highly insoluble Fe(III) oxyhydroxides to the more soluble ferrous state. However, thermodynamic analysis does not explain the mechanisms by which Fe(III) is reduced or elucidate the factors controlling the rate and extent of Fe(III) reduction.

High concentrations of dissolved iron in ground water develop only if there is little or no sulfate reduction in the aquifer. This is because the generation of sulfide tends to precipitate ferrous iron as iron sulfides (Berner, 1969). Studies of anaerobic aquatic sediments have shown that sulfate reduction is largely absent if sediments contain

<sup>a</sup>U.S. Geological Survey, WRD, 720 Gracern Rd., Suite 129, Columbia, South Carolina 29210.

<sup>b</sup>U.S. Geological Survey, WRD, 432 National Center, Reston, Virginia 22092.

Received November 1990, revised May 1991, accepted May 1991.

Discussion open until July 1, 1992.

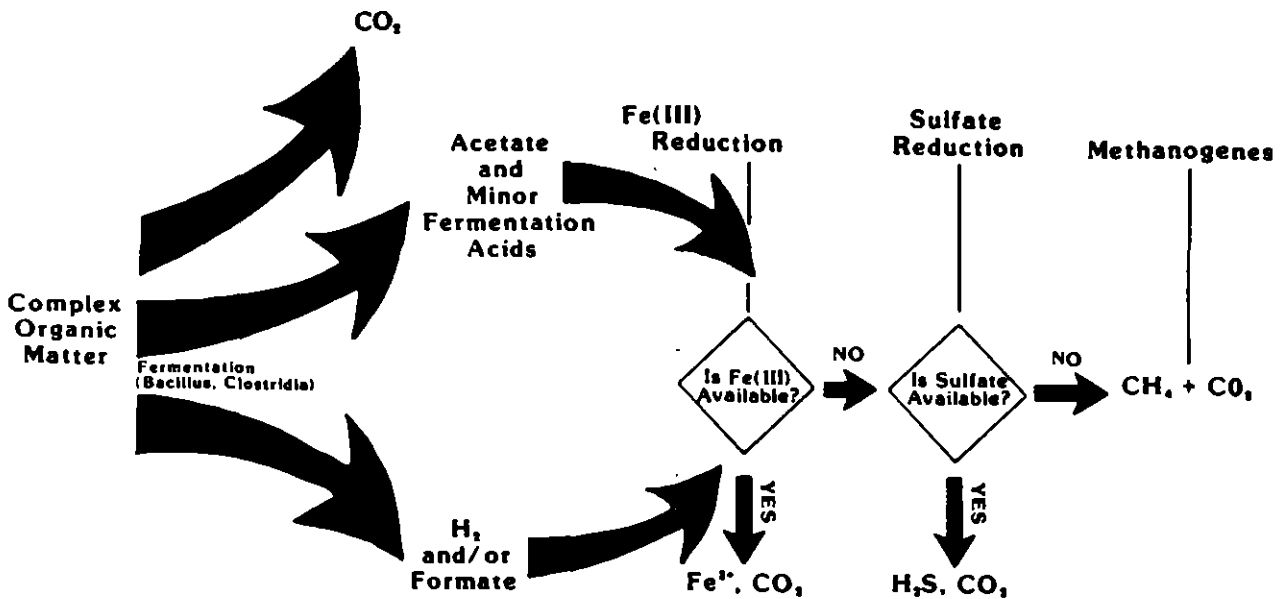


Fig. 1. Model for carbon and electron flow in sediments with Fe(III) reduction, sulfate reduction, and methanogenesis as potential terminal-electron accepting processes.

abundant Fe(III) oxyhydroxides. Rather, sulfate reduction is only observed after Fe(III) is depleted (Froelich et al., 1979; Ponnampertuma, 1972; Reeburgh, 1983). A similar progression of Fe(III) reduction to sulfate reduction is observed along ground-water flow paths of many aquifer systems (Champ et al., 1979). Laboratory and field studies of aquatic sediments have shown that this segregation reflects competition for fermentation products such as hydrogen, acetate, and formate (Figure 1). If sufficient Fe(III) is available, Fe(III)-reducing microorganisms outcompete sulfate reducers and maintain concentrations of these substrates at levels that are too low for sulfate reducers to metabolize (Lovley and Phillips, 1987).

Given this observed behavior in aquatic sediments, it is reasonable to suggest that similar mechanisms affect iron geochemistry in ground-water systems as well. The purpose of the studies reported here was to test the hypothesis that the activity and interaction of Fe(III)- and sulfate-reducing bacteria are important mechanisms controlling the development and localization of high-iron ground water in the Atlantic Coastal Plain aquifer.

### Geology and Hydrology

The Atlantic Coastal Plain Physiographic Province in South Carolina consists of a wedge-shaped body of clay, silt, sand, and limestone of Cretaceous age and younger which dips to the southeast. Coarse-grained clastic sediments, separated by low-permeability confining beds, are important sources of ground water in South Carolina. The Middendorf aquifer, which in this report refers to the coarse-grained portion of unit UK<sub>2</sub> of Prowell et al. (1985) and unit K<sub>4</sub> of Gohn (1988), crops out adjacent to the fall line (Figure 2) and dips to the southeast. A cross section (A-A') showing the major hydrogeologic units present in coastal plain sediments between Lake Darpo, Florence, and Lake City, South Carolina, is shown in Figure 3.

The Middendorf aquifer is the most productive clastic aquifer in South Carolina and is the principal source of water for the towns of Hartsville, Darlington, Florence, Marion, and others (Figure 2). Recharge to the aquifer enters the system where the aquifer crops out, flows to the east and eventually discharges to surface-water bodies near the Atlantic coast (Aucott, 1988).

An important geologic feature of the Middendorf aquifer is a downdip change of depositional sedimentary environments (Speiran, 1987; Gohn, 1988; Prowell et al., 1985) change, based upon lithologic and paleontological description of the cored sediments (David C. Prowell and W. Fred Falls, U.S. Geological Survey, written communication,

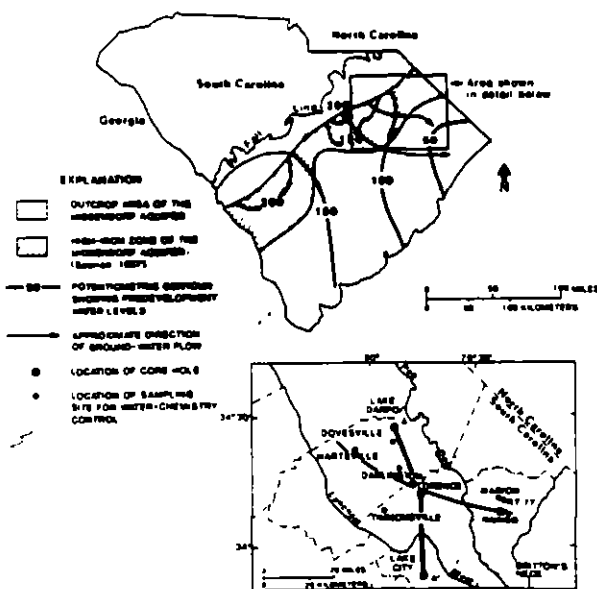


Fig. 2. Location of the study area, predevelopment potentiometric surface, outcrop area, and locations of water-chemistry sampling sites for the Middendorf aquifer.

1990), is shown schematically in Figure 3. In updip sediments, such as those at Lake Darpo, the Middendorf aquifer was deposited in an upper delta plain environment and is characterized by abundant Fe(III) oxyhydroxide coatings on mineral grain surfaces and by a lack of carbonate shell material. At the town of Florence, the coarse-grained portion of the Middendorf consists predominantly of lower delta plain sediments, although upper delta plain sediments are present at the top of the section. This is reflected in the electric log trace of the Florence core hole which shows the presence of symmetrical sand bodies that were deposited in distributary channels. In downdip sediments, such as those at Lake City, the Middendorf aquifer consists of lower delta plain and marine sediments that lack grain-coating Fe(III) oxyhydroxides and contain carbonate shell material (Reid et al., 1986).

### Methods and Materials

#### Drilling and Coring

Between 1988 and 1990, three continuous core holes were drilled in the coastal plain sediments of South Carolina near Lake Darpo, the city of Florence, and Lake City by the U.S. Geological Survey's research coring rig. Sediments recovered by these operations were assayed for (1) the presence of Fe(III)-reducing bacteria, sulfate-reducing bacteria, and methanogenic bacteria; (2) concentrations of acetate

and formate in pore water, and (3) concentrations of grain-coating ferric oxyhydroxides.

Cores were obtained with a rotary-type core barrel (Christensen; 5.0 cm diameter) that could be configured so that the shoe protruded as much as a centimeter ahead of the drill bit. This configuration greatly improved recovery of coarse-grained sands by restricting drilling fluid penetration into the sediments. This design also had the effect of reducing the incidence of drilling-fluid contamination of cored sediments. [Use of trade names in this paper is for identification purposes only and does not constitute endorsement by the U.S. Geological Survey.]

Core samples were screened for drilling fluid contamination by adding micron-sized carboxylated fluorescent microspheres (Polysciences, Inc.) to the drilling fluid to provide a final concentration of  $10^3$  spheres/ml of drilling fluid as a tracer (Chapelle and McMahon, 1991). Cores were broken in half immediately after removal from the core barrel and 1-ml subsamples were taken in a traverse from the outside to the center of the core. Each 1 ml sediment subsample was diluted 1:10 with distilled water, and microspheres enumerated at the drilling site using epifluorescent microscopy. The detection limit of this method is approximately 1 part drilling fluid per 1,000 parts of aquifer pore water. Screening cores for contamination at the time of coring made it possible to select sediments for analysis and

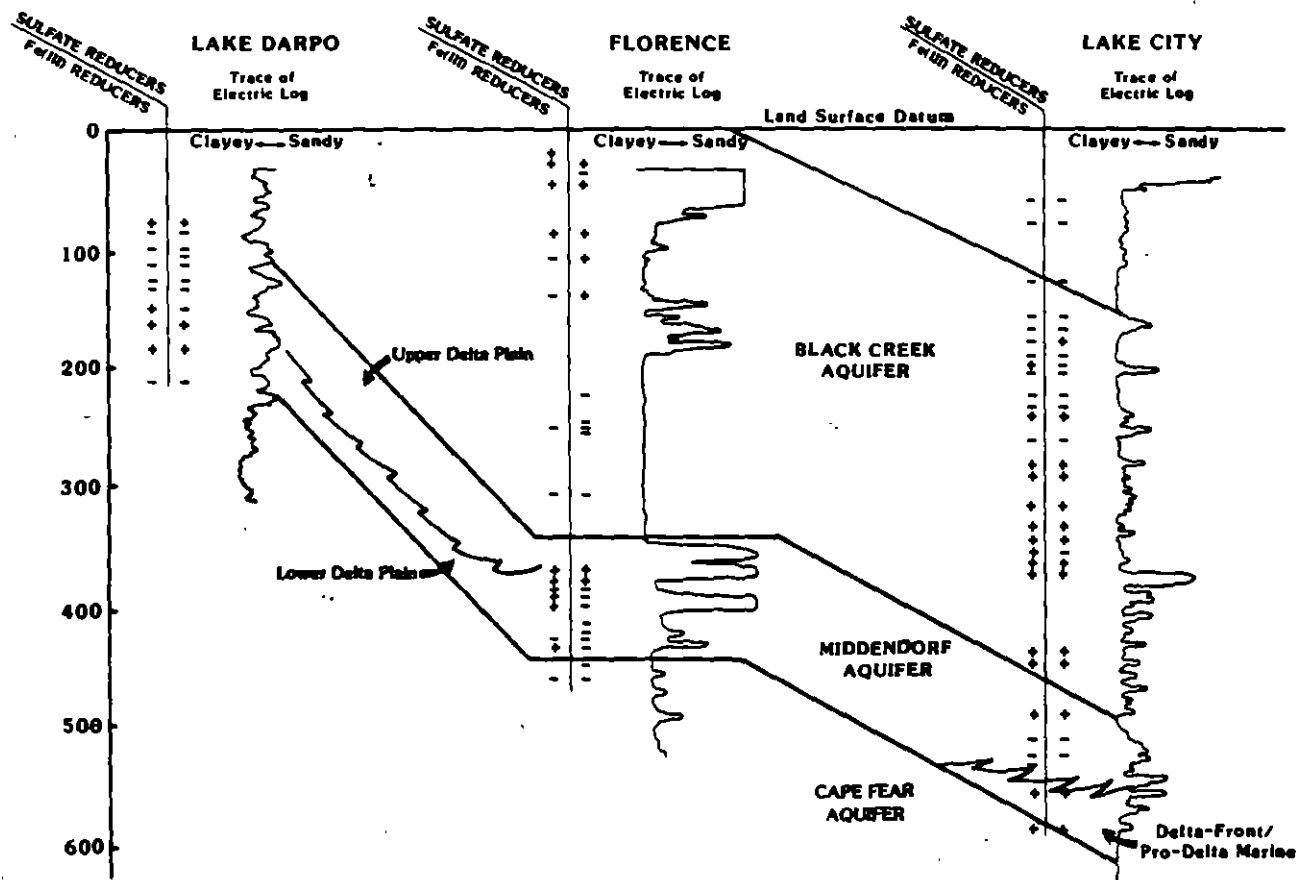


Fig. 3. Hydrogeologic section and presence (+) or absence (-) of viable Fe(III)-reducing and sulfate-reducing bacteria in the hydrologic units penetrated by three core holes. The line of section is shown on Figure 2.

complete enrichment inoculations within about 30 minutes of core recovery.

### **Water Chemistry Data**

All pore-water chemistry data were collected using standard water-quality techniques (Skougstad et al., 1978; Wood, 1976) and are available from the WATSTORE data base maintained by the U.S. Geological Survey. Unstable parameters such as pH, alkalinity, dissolved hydrogen, and dissolved oxygen were made in the field at the time of sample collection. Ground-water samples were collected and analyzed for the  $\delta^{13}\text{C}$  of dissolved inorganic carbon using methods described by Busby et al. (1983) and McMahon et al. (1990). Concentrations of dissolved oxygen were measured using a standard Winkler titration. The detection limit of this method is 0.1 mg/l of dissolved oxygen. Concentrations of dissolved hydrogen gas were measured using the method described by Chapelle and McMahon (1991).

Pore water associated with sandy sediments from the Middendorf aquifer was analyzed for concentrations of acetate and formate at the Lake Darpo and Lake City core holes. Cored sediments were first screened for drilling fluid contamination as described earlier. To collect pore waters, 20 to 30 grams of sediment were placed in acid-rinsed centrifuge tubes equipped with a perforated plastic septum, centrifuged for five minutes at 3000 rpm, and pore fluid drawn off with a sterile syringe. The samples were chilled to 4°C and transported to the laboratory for analysis. Concentrations of acetate and formate were determined by ion chromatography within 24 hours of sample collection. The detection limit for acetate and formate using this method is approximately 0.5  $\mu\text{M}$ .

### **Enrichment Media and Inoculation Procedures**

The medium of Lovley and Phillips (1988a) was used to selectively grow bacteria capable of respiratory Fe(III) reduction from cored sediments. This media contains a carbon source (acetate), vitamin and mineral stock solutions (to provide trace growth factors), and a ferric hydroxide suspension (as the sole electron acceptor). Growth of Fe(III)-reducing bacteria was recognized by the bright red ferric hydroxide suspension turning to black magnetite. Fe(III) reduction usually commenced within two weeks of inoculation. In this study, growth of Fe(III)-reducing microorganisms was confirmed by transferring each culture to fresh media a minimum of five times.

A medium modified from Postgate (1963) was used for enriching sulfate-reducing bacteria from cored sediments. The chief modification was the substitution of acetate for lactate as the sole carbon and electron source. After inoculation with sediment, growth of sulfate-reducing bacteria was recognized by the formation of a black ferrous sulfide precipitate in the otherwise grayish-white media (Postgate, 1963).

Enrichment media were inoculated in the field immediately following sample recovery. Sections of core were broken in half and one of the exposed faces screened for drilling fluid penetration as previously described. If the tests

indicated fluid penetration less than 0.5 cm, the radial center of the remaining exposed core face was subsampled using a flame-sterilized cork borer. About 2 mls of sediment was transferred to each tube of enrichment media under a stream of nitrogen. For the Fe(III)-reducing media, which is a liquid, the tube was shaken gently to mix in the sediment. For the sulfate-reducing media, which is a gel, a portion of sediment was pushed into the gel with a sterile pipette and the rest packed on top. In all cases, transfer of sediments to the enrichment tubes was accomplished within 30 minutes of core recovery.

### **Fe(III) Oxyhydroxide Content of Sediments**

Cored sediments were collected immediately after recovery in the field, screened for contamination as described above, placed in septated serum vials, and the vials purged with  $\text{N}_2$ . Anaerobic conditions were necessary in order to minimize oxidation of  $\text{Fe}^{2+}$  during sample storage. The sediments were transported to the laboratory for subsequent analysis. All analyses were completed within two weeks of sample recovery. Cored sediments were analyzed for concentrations of Fe(III) oxyhydroxides using the oxalate extraction method described by Phillips and Lovley (1987). The detection limit of this method is approximately 0.1  $\mu\text{mole Fe(III) per gram sediment}$ .

### **Results**

The locations of ground-water sampling sites were oriented along a flow-path segment of the Middendorf aquifer (Figure 2). Concentrations of dissolved oxygen ( $\text{DO}$ ), dissolved iron, dissolved inorganic carbon (DIC), dissolved sulfate, and dissolved hydrogen ( $\text{H}_2$ ) are shown plotted versus distance downgradient in Figure 4. The site that was furthest upgradient (Hartsville) was arbitrarily assigned a distance downgradient of zero km, and the locations of other sampling sites are located relative to Hartsville. The results of sediment enrichments for Fe(III)-reducing and sulfate-reducing bacteria from the Florence core hole are shown in Figure 3. Viable Fe(III)- and sulfate-reducing bacteria were recovered from sandy sediments of the Middendorf aquifer at all three sites. These microorganisms were much less in evidence in clayey sediments.

Near the outcrop-recharge area, concentrations of  $\text{DO}$  are relatively high and decrease along the flowpath (Figure 4a). Dissolved iron concentrations are low in the 15 kilometer-wide aerobic zone. Once the ground water becomes anaerobic, dissolved iron concentrations increase substantially, remain high in a zone about 40 kilometers wide, and then decrease (Figure 4b). Concentrations of DIC (Figure 4c) are low in the aerobic zone, increase in the high-iron zone, and continue to increase downgradient of the high-iron zone. The  $\delta^{13}\text{C}$  values of DIC in the high-iron zone is in the -26 to -18 per mil range (Figure 5a) which is identical to  $\delta^{13}\text{C}$  values of sedimentary organic matter present in the aquifer (McMahon et al., 1990). This suggests that the primary source of DIC in nonmarine, carbonate mineral-free sediments characteristic of updip areas is the oxidation of sedimentary organic matter. Downgradient of the high-iron zone, where the aquifer sediments are marine in origin and



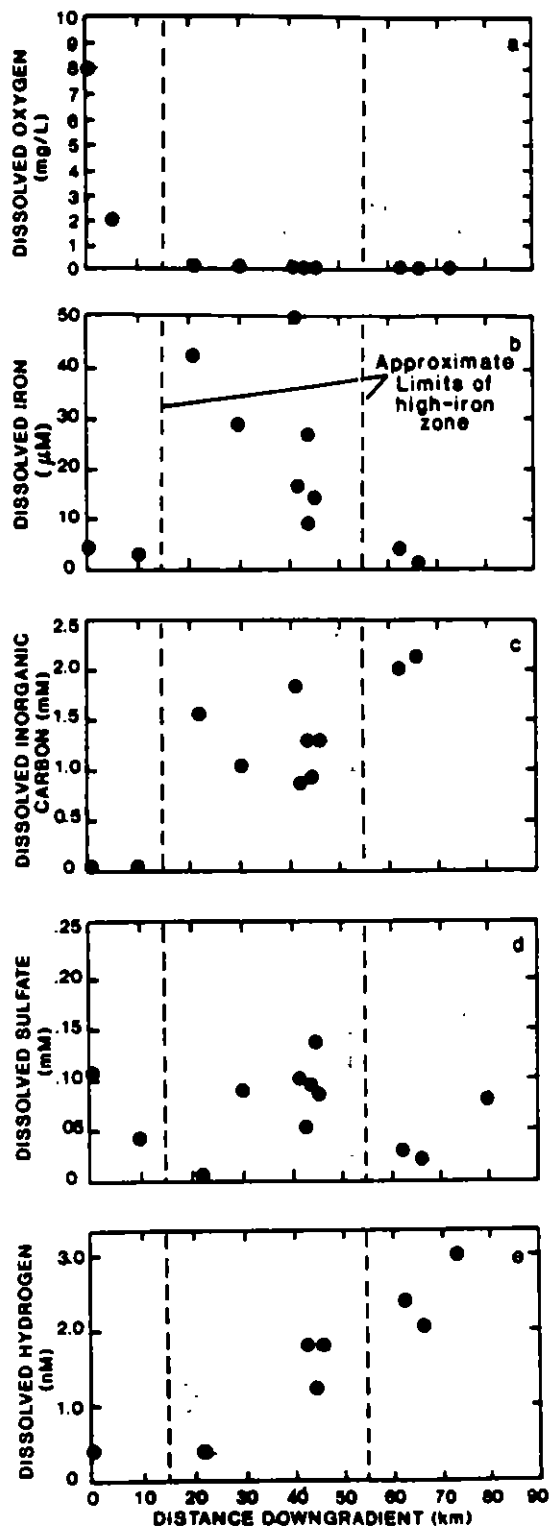


Fig. 4. Concentrations of (a) dissolved oxygen, (b) dissolved iron, (c) dissolved inorganic carbon (DIC), (d) dissolved sulfate, and (e) dissolved hydrogen plotted versus distance downgradient of the Middendorf aquifer.

contain carbonate shell material, the  $\delta^{13}\text{C}$  of DIC becomes much heavier reflecting dissolution of the isotopically heavy carbonates (Figure 5a).

There is a linear correlation observed between concentrations of dissolved iron and DIC in the high-iron zone

(Figure 5b). Similar correlations between dissolved iron and DIC have been reported from other carbonate mineral-lacking coastal plain aquifers characterized by high-iron ground water (Chapelle and Kean, 1985; Denver, 1986). Furthermore, the slope of the dissolved iron-DIC line ( $37 \mu\text{M}/\text{mM}$ ) is similar to the proportion of pore-water ferrous iron produced per mole of carbon oxidized observed in laboratory incubations of iron-reducing aquatic sediments (Lovley and Phillips, 1988b, p. 149). Additional evidence that Fe(III) reduction is the predominant terminal electron

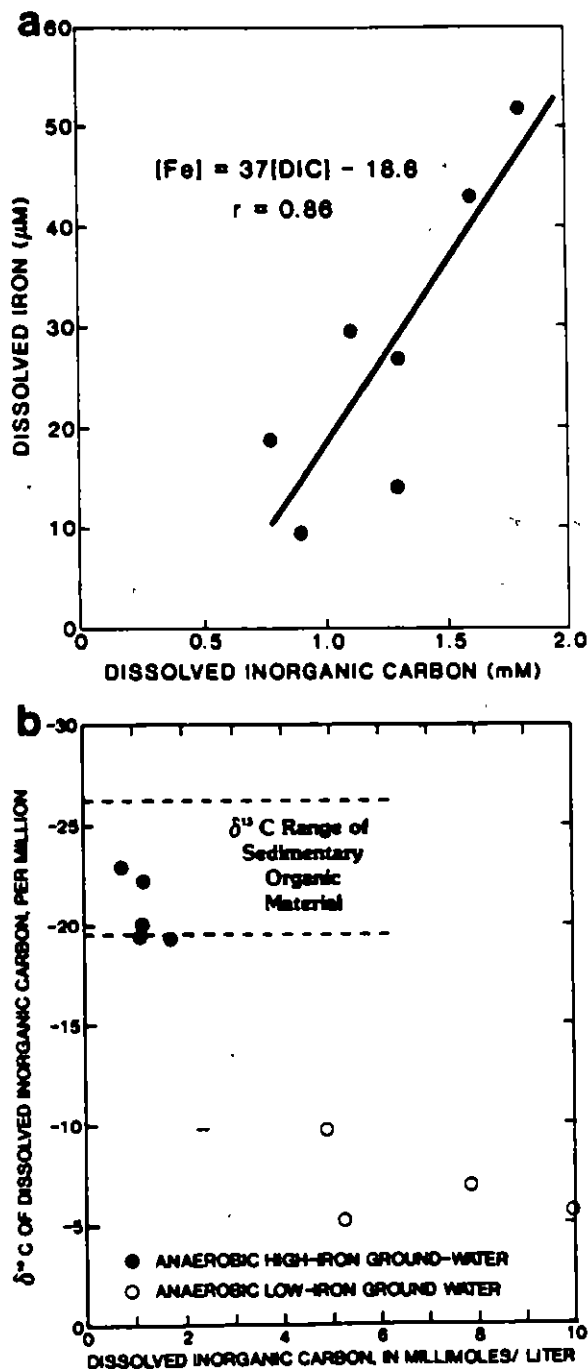


Fig. 5. (a)  $\delta^{13}\text{C}$  of DIC in Middendorf aquifer water. Closed circles are data from the high iron zone and open circles are data from locations downgradient of the study area.

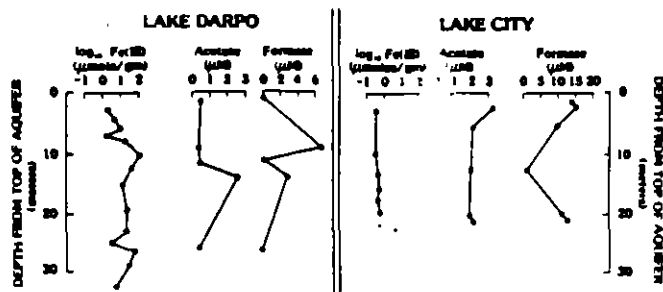


Fig. 6. Concentrations of poorly crystalline Fe(III) oxyhydroxides in Middendorf aquifer sediments and concentrations of dissolved acetate and formate in Middendorf aquifer pore water at the Lake Darpo (upper delta plain) and Lake City (lower delta plain/marine) core hole sites.

accepting process in the high-iron zone near Florence was provided by laboratory studies that show [2-14C]-acetate was oxidized to  $^{14}\text{CO}_2$  under anaerobic conditions without methane production (Chapelle and Lovley, 1990) and that [2-14C] acetate oxidation was not inhibited by molybdate (data not shown).

At the Lake Darpo Core hole, Middendorf aquifer sediments were deposited in a nonmarine environment and contained an average of about 20  $\mu\text{mole/gram}$  of poorly crystalline Fe(III) oxyhydroxides. Acetate and formate concentrations in the pore water of these updip sediments averaged 1.0  $\mu\text{M}$  and 2.0  $\mu\text{M}$ , respectively (Figure 6). This contrasts with the lower delta plain and marine sediments of Lake City where Fe(III) oxyhydroxide content was less than 1  $\mu\text{mole/gram}$ , and pore-water acetate and formate concentrations were significantly higher, averaging 2.4 and 10.9  $\mu\text{M}$ , respectively. The results of  $\text{H}_2$  measurements in ground water from the Middendorf aquifer (Figure 4e) show a similar pattern of increasing concentration along the flow path. In the aerobic and upgradient part of the high-iron zone,  $\text{H}_2$  concentrations are in the 0.5 nM range. These increase somewhat to between 1.3 and 1.7 nM further downgradient in the high-iron zone. Downgradient of the high-iron zone,  $\text{H}_2$  concentrations increase to greater than 3.0 nM. These measurements show that acetate, formate, and  $\text{H}_2$  concentrations are lower in the Fe(III) oxyhydroxide-containing sediments characteristic of upgradient areas than in Fe(III) oxyhydroxide-lacking downgradient sediments.

## Discussion

### Origin of High-Iron Ground Water

The results indicate that the activity and interaction of Fe(III) and sulfate-reducing microorganisms in the Middendorf aquifer are responsible for the development and localization of high-iron ground water. Furthermore, the results indicate that microbial activity is strongly influenced by hydrologic factors, such as directions of groundwater flow, and geologic factors such as the distribution of sedimentary depositional environments in the aquifer.

No accumulation of dissolved Fe(III) is expected in upgradient aerobic water because microbial Fe(III) reduc-

tion is inhibited by oxygen (Lovley and Phillips, 1988a) and because oxygen readily oxidizes Fe(II). However, as dissolved oxygen in Middendorf aquifer water is consumed along aquifer flow paths (Figure 4a) by the activity of aerobic heterotrophic bacteria (Hicks and Fredrickson, 1989) anaerobic conditions develop. Once the ground water is anaerobic, dissolved Fe(II) accumulates in relatively high concentrations. The direct correlation between DIC and dissolved Fe(II) within the high-iron zone indicates that organic matter is being oxidized to carbon dioxide with the reduction of Fe(III) (Figure 5a). This is supported by the similarity between the isotopic composition of DIC and sedimentary organic matter (Figure 5b) and by the observation that radiolabelled organic compounds injected into the sediments were anaerobically oxidized to carbon dioxide even though sulfate reduction was inhibited by molybdate. Fe(III) oxyhydroxides are present in these sediments (Figure 6) and Fe(III)-reducing microorganisms were readily recovered (Figure 3). These considerations, plus the fact that there are no known abiotic reactions that could reasonably account for the oxidation of sedimentary organic matter coupled to Fe(III) reduction under ambient conditions of the Middendorf aquifer (Lovley et al., 1991) suggest that the ongoing activity of Fe(III) reducers is responsible for the production of Fe(II) within the high-iron zone.

The results also indicate that Fe(III) reducers contribute to the development of the high-iron zone by inhibiting the activity of sulfate-reducing microorganisms. The ability of indigenous Fe(III)-reducing microorganisms to metabolize Fe(III) oxyhydroxides present in these sediments has been shown previously (Lovley et al., 1990). In addition, concentrations of hydrogen (Figure 4e), acetate, and formate (Figure 5), for which sulfate reducers and Fe(III) reducers actively compete, were much lower in sediments of the high-iron zone than contained abundant Fe(III) oxyhydroxides (Lake Darpo) than in low-iron, sulfate-reducing sediments lacking Fe(III) oxyhydroxides (Lake City). This is consistent with the hypothesis that Fe(III) reducers lower substrate levels below thresholds required for active sulfate reduction or methanogenesis (Figure 1).

The lack of Fe(III) oxyhydroxides in the downgradient low-iron zone limits the ability of Fe(III) reducers to maintain low concentrations of hydrogen, acetate, and formate. This, in turn, appears to permit the onset of sulfate reduction. The gradual increase of dissolved hydrogen between the high-iron zone and the downgradient low-iron zone is similar to the gradual increase in dissolved hydrogen that is observed over time in aquatic sediments as Fe(III) reduction becomes progressively limited by Fe(III) availability and sulfate reduction commences (Lovley and Goodwin, 1988). It is likely that the observed low-iron concentrations in downgradient areas reflect both the lack of active Fe(III) reduction and scavenging of Fe(II) by sulfides produced by sulfate reduction.

### Interplay of Microbial Processes and Aquifer Depositional Environments

The Middendorf aquifer provides an example of how the depositional environments of ancient sediments places

constraints on the kinds of microbial processes that occur. Fe(III) oxyhydroxides are produced by weathering reactions and are transported as clay coatings on detrital sediments in fluvial systems. However, because Fe(III) oxyhydroxide-coated clays tend to flocculate and drop out of suspension as water salinity increases, Fe(III) oxyhydroxides tend to be restricted to nonmarine or near-shore sediments. The predominance of Fe(III) reduction in the high-iron zone reflects the relatively high Fe(III) oxyhydroxide content of sediments deposited in fluvial, nonmarine environments. Conversely, the lack of Fe(III) reduction in down-gradient areas reflects the lack of Fe(III) oxyhydroxides deposited with sediments in a marine environment. Thus, the presently observed distribution of microbial terminal electron-accepting processes in this hydrologic system is highly dependent on sedimentary conditions at the time of deposition. It is likely that similar geological constraints affect the distribution of microbial processes in other hydrologic systems as well.

The Middendorf aquifer also provides an example of how understanding ground-water geochemistry requires knowledge about the physiological characteristics of the microorganisms that catalyze most of the important redox reactions. The predominance of Fe(III) reduction in the high-iron zone reflects (1) the presence of microbial food chains that ferment organic matter with the production of acetate, hydrogen, and formate; and (2) the ability of Fe(III) reducers to consume these fermentation products more efficiently than sulfate reducers. Thus, microbial competition for limited resources is a principal mechanism producing the observed ground-water chemistry patterns.

### Summary

Available evidence indicates that the zonation of high-iron water in the Middendorf aquifer is a manifestation of microbial competition for available resources and the subsequent exclusion of processes that are at a competitive disadvantage. In the zone of Fe(III) reduction, sulfate-reducing bacteria are at a disadvantage because Fe(III)-reducers maintain hydrogen, formate, and acetate concentrations below levels required for significant activity. Because production of Fe(II) exceeds the production of dissolved sulfide, Fe(II) accumulates in solution, and a discrete zone of high-iron concentrations develops. The downgradient decrease in iron concentrations reflects decreased Fe(II) production as the availability of Fe(III) oxyhydroxides becomes limiting, and increased sulfate-reducing activity with consequent precipitation of iron sulfides. Because water-chemistry patterns found in the Middendorf aquifer are so widely observed, it is likely that similar microbially mediated mechanisms are of fundamental importance to the ground-water geochemistry of many hydrologic systems.

### Acknowledgments

This research was funded by the South Carolina Water Resources Commission and the Regional Aquifer Systems Analysis (RASA) and Toxic Waste programs of the U.S. Geological Survey.

### References Cited

- Aucott, W. R. 1988. The predevelopment ground-water flow system and hydrologic characteristics of the coastal plain aquifers of South Carolina. U.S. Geol. Surv. Wat. Res. Inv. Rep. 86-4347.
- Back, William and Ivan Barnes. 1965. Relation of electrochemical potentials and iron content to ground-water flow patterns. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 498-C. 16 pp.
- Berner, R. A. 1969. Migration of iron and sulfur within anaerobic sediments during early diagenesis. *Am. Jour. Sci.* v. 267, pp. 19-42.
- Busby, J. F., R. W. Lee, and B. B. Hanshaw. 1983. Major geochemical processes related to the hydrology of the Madison aquifer system and associated rocks in parts of Montana, South Dakota, and Wyoming. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 83-4093. 180 pp.
- Champ, D. C., J. Gulens, and R. E. Jackson. 1979. Oxidation-reduction sequences in ground-water systems. *Can. J. Earth Sci.* v. 16, pp. 1466-1472.
- Chapelle, F. H. and T. M. Kean. 1985. Hydrogeology, digital solute-transport simulation, and geochemistry of the Lower Cretaceous aquifer system near Baltimore, Maryland. Maryland Geol. Surv. Rep. Inv. No. 43. 120 pp.
- Chapelle, F. H. and D. R. Lovley. 1990. Rates of microbial metabolism in deep coastal plain aquifers. *Appl. Environ. Microbiol.* v. 53, no. 11, pp. 2636-2641.
- Chapelle, F. H. and P. B. McMahon. 1991. Geochemistry of dissolved inorganic carbon in a Coastal-Plain aquifer: 1. Sulfate from confining beds as an oxidant in microbial CO<sub>2</sub> production. *Jour. of Hydrology.* v. 127, pp. 85-108.
- Denver, J. M. 1986. Hydrogeology and geochemistry of the unconfined aquifer, west-central and southwestern Delaware. Delaware Geol. Surv. Rep. Inv. No. 41. 100 pp.
- Froelich, P. N., G. P. Klinkhammer, M. L. Bender, N. A. Luedtke, G. R. Heath, D. Cullen, P. Dauphin, D. Hammond, B. Hartman, and V. Maynard. 1979. Early oxidation of organic matter in pleiocenic sediments of the eastern equatorial Atlantic: Suboxic diagenesis. *Geochim. et Cosmochim. Acta.* v. 44, pp. 1075-1090.
- Gohn, G. S. 1988. Late Mesozoic and early Cenozoic geology of the Atlantic Coastal Plain: North Carolina to Florida. In: R. E. Sheridan and J. A. Grow (eds.), *The Geology of North America*, v. 1-2, The Atlantic Continental Margin. U.S. Geological Society of America.
- Hem, J. D. 1985. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. U.S. Geol. Surv. Wat. Sup. Pap. 2254. 264 pp.
- Hicks, R. J. and J. K. Fredrickson. 1989. Aerobic metabolic potential of microbial population indigenous to deep subsurface environments. *Geomicrobiol. Jour.* v. 7, pp. 67-78.
- Langmuir, Donald. 1969. Geochemistry of iron in coastal-plain ground water of the Camden, New Jersey, area. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 650-C. pp. C224-C235.
- Lovley, D. R. and S. Goodwin. 1988. Hydrogen concentrations as an indicator of the predominant terminal electron-accepting reaction in aquatic sediments. *Geochim. et Cosmochim. Acta.* v. 52, pp. 2993-3003.
- Lovley, D. R. and E.J.P. Phillips. 1987. Competitive mechanisms for inhibition of sulfate reduction and methane production in the zone of ferric iron reduction in sediments. *Appl. Environ. Micro.* v. 53, pp. 2636-2641.
- Lovley, D. R. and E.J.P. Phillips. 1988a. Novel mode of microbial energy metabolism: organic carbon oxidation coupled to dissimilatory reduction of iron or manganese. *Appl. Environ. Microbiol.* v. 54, no. 6, pp. 1472-1480.
- Lovley, D. R. and E.J.P. Phillips. 1988b. Manganese inhibition of microbial iron reduction in anaerobic sediments. *Geomicrobiol. J.* v. 6, pp. 145-155.
- Lovley, D. R., F. H. Chapelle, and E.J.P. Phillips. 1990. Fe(III)-reducing bacteria in deeply buried sediments of the Atlantic

- Coastal Plain. *J. Geology*. v. 18, pp. 954-957.
- Lovley, D. R., E.J.P. Phillips, and D. J. Lonergan. 1991. Enzymatic versus nonenzymatic mechanisms for Fe(III) reduction in aquatic sediments. *Env. Sci. Tech.* v. 25, no. 6, pp. 1062-1067.
- McMahon, P. B., D. F. Williams, and J. T. Morris. 1990. Production and carbon isotopic composition of bacterial CO<sub>2</sub> in deep coastal plain sediments. *Ground Water*. v. 28, no. 5, pp. 693-703.
- Phillips, E.J.P. and D. R. Lovley. 1987. Determination of ferric and ferrous iron in oxalate extracts of sediment. *Soil Sci. Soc. Am.* v. 51, pp. 938-941.
- Ponnamperuma, F. N. 1972. The chemistry of submerged soils. *Adv. Agron.* v. 24, pp. 29-96.
- Postgate, J. R. 1963. Versatile medium for the enumeration of sulfate-reducing bacteria. *Appl. Microbiol.* v. 11, pp. 265-267.
- Prowell, D. C., R. A. Christopher, L. E. Edwards, L. M. Bybell, and Harold E. Gill. 1985. Geologic section of the updip coastal plain from central Georgia to western South Carolina. U.S. Geological Survey Map MF-1737. 10 pp.
- Reeburgh, W. S. 1983. Rates of biogeochemical processes in anoxic sediments. *Ann. Rev. Earth Plant. Sci.* v. 11, pp. 269-298.
- Reid, M. S., R. A. Renken, R. L. Wait, W. R. Aucott, and R. W. Lee. 1986. Hydrologic and geologic analysis of two wells in Marion County, South Carolina. U.S. Geol. Surv. Wat. Resour. Inv. Rep. 86-4102. 20 pp.
- Skougstad, M. W., M. J. Fishman, L. C. Friedman, D. E. Erdmann, S. S. Duncan, eds. 1978. Methods for analysis of inorganic substances in water and fluvial sediments. U.S. Geol. Surv. Open-File Report 78-679. 159 pp.
- Speiran, G. K. 1987. Relation of aqueous depositional environment, Middendorf aquifer, South Carolina. In: J. Vecchioli and A. I. Johnson (eds.), *American Water Resources Association Monograph series no. 9*. pp. 79-96.
- Wood, W. W. 1976. Guidelines for collection and field analysis of ground-water samples for selected unstable constituents. U.S. Geol. Surv. Techniques of Water-Resources Investigations. Book 1, Chap. D2, 24 pp.

\* \* \* \* \*

*Francis H. Chapelle is a Hydrologist with the U.S. Geological Survey in Columbia, South Carolina. He received his Ph. D. in Geology and Geochemistry from The George Washington University. His research interests focus on the interaction of microbial processes with ground-water geochemistry.*

*Derek R. Lovley is a Microbiologist with the National Research Program of the U.S. Geological Survey in Reston, Virginia. He received his Ph. D. in Microbiology from Michigan State University. His research interests include anaerobic microbial metabolism and interactions of microbial populations in aquatic sediments and aquifer systems.*

## ASSOCIATION OF GROUND WATER SCIENTISTS AND ENGINEERS

**Membership is open to:**

**"those who are engaged in occupations pertaining to the supervision, regulation, or investigation of ground water or ground-water supply installations or who are teachers or students at recognized institutions in academic fields related to the study of ground water."**

**The purposes of this Division are:**

**"to cooperate with other Divisions of the N.G.W.A. in fostering ground-water research, education, standards, and techniques; to advance knowledge in engineering and science, as related to ground water; and to promote harmony between the water well industry and scientific agencies relative to the proper**

**development and protection of ground-water supplies."**

**Individual membership dues in the Association of Ground Water Scientists and Engineers of \$82 per year (\$97 international) include a subscription to *Ground Water*, *Ground Water Monitoring Review*, *The Well Log*, and in the U.S., Mexico, and Canada, the *Water Well Journal*. Membership application forms are available upon request.**

**National Ground Water Association, Inc.  
6375 Riverside Drive  
Dublin, Ohio 43017  
(614-761-1711)**

FIELD EVIDENCE OF DENITRIFICATION  
IN SHALLOW GROUNDWATER FLOW SYSTEMS

R.W. Gillham and J.A. Cherry  
Department of Earth Sciences, University of Waterloo, Waterloo, Ontario

ABSTRACT

A detailed hydrogeological study in a small agricultural watershed near Lake Erie in southwestern Ontario has provided evidence that denitrification is widespread in shallow groundwater in this area. In the groundwater zone of the unconfined sandy aquifer that underlies the study area,  $\text{NO}_3^-$  concentrations within two metres of the water table are commonly between 5 and 50 mg/l (expressed as  $\text{NO}_3^-$ ). At greater depth, however,  $\text{NO}_3^-$  concentrations are generally less than 0.02 mg/l. The aquifer varies in thickness from 3 to 10 m. The transition zone between the high nitrate zone and the low nitrate zone is very thin. In the high nitrate zone, dissolved oxygen occurs at concentrations above 2 mg/l, methane is absent, and Eh values obtained by the platinum electrode method are greater than 500 mV. In the low nitrate zone, dissolved oxygen occurs at levels less than 2 mg/l, methane is present, and Eh values are generally between 50 and 100 mV. The hydrogeologic conditions are such that it is very improbable that these trends are due to different groundwater sources. The data support the hypothesis that denitrification is the cause of the lack of  $\text{NO}_3^-$  in the deeper part of the aquifer. Nitrate and dissolved oxygen data from shallow groundwater systems in four other agricultural watersheds in southwestern Ontario support this conclusion.

INTRODUCTION

Nitrate is generally recognized as being the most widely spread of the common groundwater contaminants. In water, nitrate represents a health hazard at concentrations in excess of 10 mg/l (methemoglobinemia in infants) and can therefore render groundwater supplies unfit for consumption by humans. In addition, seepage of concentrated groundwater can cause degradation of surface-water quality, either by exceeding the recommended limit for human consumption or by contribution to eutrophication.

The sources of nitrate in groundwater include point sources such as feedlots, waste lagoons or septic systems and distributed sources such as precipitation, mineralization of nitrogen in soil organic matter and agricultural fertilizers. The continued use of agricultural fertilizers and an ever increasing number of potential point sources, will only increase the incidence of nitrate contamination. In order to avoid further contamination, and to apply effective remedial measures to groundwater resources which are currently contaminated, it is

M-2

essential that detailed information on the processes controlling the occurrence and migration of nitrate in groundwater be obtained.

Nitrogen in water has thus been the subject of considerable research. This research, however, has focused almost exclusively on agricultural applications, limnology and waste-water treatment engineering. Research on nitrogen in groundwater has been mainly limited to documentation of case histories of nitrate and ammonia occurrence in a variety of field situations. For example, there have been numerous investigations of nitrate contamination from point sources such as feedlots and septic sewage disposal systems, including the work of Gillham and Webber (1969), Crabtree (1970), Miller (1972), Pichin (1973) and many others. In spite of the large number of point-source studies that have been conducted, few have attempted chemical transformations of nitrate after it enters the saturated part of the hydrologic system. Notable exceptions are the work by Hanson (1977), who examined nitrogen transformation in soil with a fluctuating water table, and Schmidt (1977), who observed losses in nitrate beneath sewage disposal ponds. These authors concluded that denitrification was an active process in the systems that they studied.

In terms of widespread water quality degradation, the most important occurrences of nitrate contamination are those caused by non-point sources. Bodin (1970), Grisek (1973), Kreiler and Jones (1975), Coster and Thompson (1976) and Young and Hall (1976) have attributed widespread nitrate contamination of shallow groundwater to the release and oxidation of nitrogen from soil organic matter as a result of soil aeration caused by cultivation. In areas of intense irrigation, Wightengale (1970), Saltmarsh (1972), Cherry et al. (1978) and others have attributed the occurrence of widespread nitrate in shallow aquifers to leaching of inorganic fertilizers. Young and Hall (1976) report that parts of two main aquifers in the United Kingdom have nitrate concentrations in excess of the recommended limits for drinking water and that about 100 major public water-supply systems receive waters from those aquifers at nitrate levels above the recommended limits.

A distinctive feature of the literature describing non-point source nitrate contamination of groundwater is the lack of reported occurrences of denitrification. A rare exception to this is the work of Edmunds (1972) who studied the occurrence of nitrate and other chemical constituents in part of the Lincolnshire Limestone aquifer of Eastern England. He observed a decrease in nitrate concentrations in the direction of regional flow from the recharge area down into the aquifer system. Edmunds has attributed this decrease to denitrification and noted that the presence of denitrifying bacteria in the aquifer was previously established by Ineson and Downing (1963). Edmunds suggests that considerable denitrification takes place in the aquifer at relatively high Eh values. His conclusions were based on a regional study with nitrate data from only nine wells. The possibility that the loss of nitrate could have occurred by diffusion of nitrate into the

porous matrix of the limestone, as suggested by Foster (1974) for nitrate ions above the water table, was not evaluated. We know of no other studies of widespread nitrate occurrence in aquifers in which denitrification has been considered an important control on levels of nitrate concentration. The study that we describe in this paper, however, suggests that denitrification may be a mechanism of nitrate removal in several shallow groundwater zones of southern Ontario.

#### METHODS OF INVESTIGATION

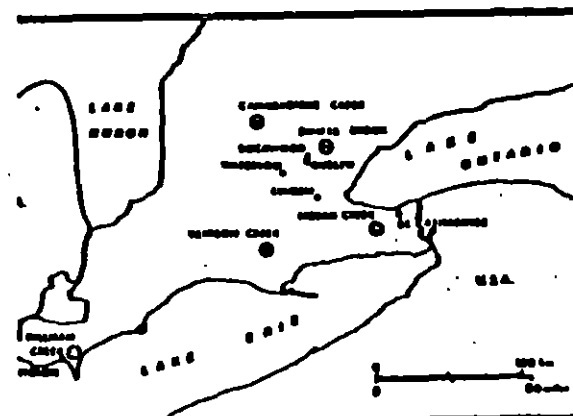
Since 1975, the Department of Earth Sciences at the University of Waterloo has been investigating the occurrence and transport of nitrate in the groundwater of several watersheds in southern Ontario. In particular, detailed investigations have been conducted in the Hillman Creek watershed, located near Leamington, Ontario and in the Swifts Brook watershed near Rockwood, Ontario (Fig. 1). Additional studies but in less detail have been conducted in the Venison Creek, North Creek and Conspanguis Creek watersheds (Fig. 1).

The studies involved determination of a wide range of physical and chemical parameters. Only those procedures that are directly related to the topic of this paper will be discussed here. Complete details of the Hillman Creek study can be obtained from Hendry (1978) or Gillham et al. (1978b) while the Swifts Brook study is described in detail by Stielbel (1977). The investigations of the other watersheds are described by Gillham et al. (1978a).

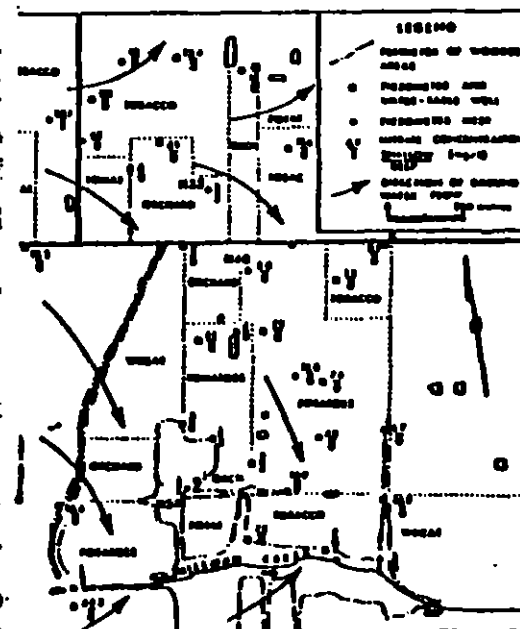
The basic unit of instrumentation in each watershed was the observation well. Observation wells provided a means for obtaining water samples for chemical analyses and also for down-hole geochemical measurements. They also provided a means for measuring hydraulic head and hydraulic conductivity. Super cuttings and core samples collected during installation of the wells provided stratigraphic information in the vicinity of each well.

The wells were constructed of 3.18 cm I.D. P.V.C. pipe. The intake zone of each well was constructed by slotting, and wrapping with glassfibre tape, the bottom portion of the pipe. Three lengths of slotted section were used, 30 cm, 60 cm and 1.5 m. The shorter lengths provided chemical data and hydraulic data averaged over short depth intervals (30 or 60 cm) in the geologic deposits. The wells with the longest intake zones (1.5 m) were used to monitor changes in the elevation of the water-table. These wells, which will be referred to as water-table wells, provided chemical data averaged over a much larger thickness of the geologic formation than the other wells.

The observation wells were installed by lowering pipe assemblies through the annulus of hollow-stem augers. In cohesionless materials, such as sand and gravel, withdrawal of the augers resulted in immediate caving of the deposits around the well. In materials which did not cave, a silica-sand pack was installed around the intake zone of the well. Circulation along the outer wall of the well was prevented by a 0.3 m layer of bentonite installed on



1. Locations of the study areas.



2. Map of the detailed study area in the Hillman Creek watershed.

top of the sand pack. The sand and bentonite were installed through the annulus of the hollow-stem augers as the augers were withdrawn. Above the bentonite layer, the drill hole was backfilled with cuttings from the augers. In order to prevent contamination of the natural groundwater in the vicinity of a well, foreign water was seldom used during the drilling operation.

In this paper, the chemical analyses of interest include nitrate, dissolved oxygen, Eh (platinum electrode) and methane. In the Hillman Creek and Swifts Brook watersheds, water samples for nitrate analysis were collected at approximately monthly intervals during the spring, summer, and fall of 1975 and 1976. Two sets of water samples for nitrate analysis were collected from the wells and piezometers in the other watersheds. All nitrate concentrations in this paper are expressed as mg/l -N. The detection limit was 0.02 mg/l.

Samplers for methane analysis were collected in syringes which were fitted to the outlet of a peristaltic pump. The samples were analyzed in the Department of Earth Sciences using a gas partitioner with the method described by Fritz and Barber (1976), as modified from Stainton (1975).

Dissolved oxygen and Eh measurements were made in the field. Eh measurements were made using a Radiometer (PH933) specific-ion meter, a Radiometer (R401) calomel reference electrode and a Radiometer (PH91) platinum electrode. The electrodes were fitted to an air-tight plexiglass box through which water from the observation well was circulated by means of a peristaltic pump. The dissolved oxygen measurements were made using a YSI model 54 DO meter and oxygen/temperature probe. The inlet end of a length of tygon tubing connected to a peristaltic pump, was attached to the probe, and lowered to within a few centimetres of the bottom of the well. The peristaltic pump provided a constant flow of water over the probe membrane resulting in stable readings.

#### DESCRIPTIONS OF THE STUDY AREAS

The investigations of greatest detail were conducted in the sub-basin of the Hillman Creek watershed. As a result of the relatively simple hydrogeologic environment at this site, the evidence in support of denitrification in groundwater was first recognized. The descriptions of the study areas given here are brief summaries. Emphasis is placed on the Hillman Creek area. The descriptions are based on soils and geologic reports as well as the results of the various test drilling programmes. Detailed descriptions are given by Hendry (1978), Gillham *et al.* (1978a), Gillham *et al.* (1978b) and Stabel (1977).

#### HILLMAN CREEK WATERSHED

The detailed study area is a sub-basin of the Hillman Creek watershed located in Maitland Township of Essex County, approximately 4 km northwest of Leamington, Ontario. It covers an area of

approximately 4.0 km<sup>2</sup> and is drained by the upstream portion of the east arm of Hillman Creek. The area is of low relief with a slope of approximately 1.0 to 0.3% from the northwest towards Hillman Creek in the south and southeast region of the study area (see Fig. 2). Fifty-eight geologic test holes showed the shallow stratigraphy to consist of a medium-grained sand overlying a silty-clay till. The sand consists of an upper reddish to reddish-brown sand, which varies in thickness from 1.5 to 3.0 m, overlying a grey sand. Response tests performed on the piezometers in the area showed the grey and brown sands to have average hydraulic conductivities of  $6.1 \times 10^{-4}$  and  $1.0 \times 10^{-4}$  cm/s respectively. The hydraulic conductivity of the silty clay was less than  $10^{-6}$  cm/s. The total thickness of the sand thinned from a maximum thickness of approximately 11.0 m in the vicinity of the pond in the northwest corner of the study area to less than a metre along the eastern boundary and to between four and five metres along the east-west reach of the stream.

A total of 163 observation wells were installed at 58 locations. Forty-three sites included a water-table well and a single well located near the bottom of the aquifer approximately 0.5 m above the clay surface. The remaining 15 sites consisted of a water-table well and six to twelve wells terminating at different depths below the water-table. These sites will be referred to as having detailed well nests. The locations of observation wells in the central portion of the study area are shown in Fig. 2.

The depth to the water-table varied from approximately four metres in the northwest corner of the study area to less than a metre in the southern portion. This left a saturated sand thickness that varied from about seven metres to three metres. The groundwater flow direction was determined from measurements of the water-table elevation and, as indicated in Fig. 2, is generally from the west towards the east and southeast. Tritium analyses of water samples taken from the sand and from the silty clay indicated that all the water within the sand entered the flow system after 1952, while the water in the silty clay entered prior to 1952. This, combined with the hydraulic conductivity values, indicates the presence in the sand of an active groundwater flow regime. The silty clay acts as a lower boundary to the active system.

The land within the study area is under intensive agricultural production with tobacco, potatoes and tomatoes being the major crops grown. Minor crops include peaches, apples, squash, peppers, other horticultural crops and small grains. The major categories of land use for 1976 are shown in Fig. 2.

The small stream (Hillman Creek) that flows through the study area is described in the paper by Lee and Hynes in this proceedings volume.

## SWIFTS BROOK

The Swifts Brook Watershed, which is a sub-basin of the Blue Springs watershed, is located approximately 13 km northwest of Ouelph, Ontario. It has an area of approximately 2.2 km<sup>2</sup>. The study area, located in the complex stratigraphic setting of the Paris moraine, is underlain by interbedded coarse and fine-textured deposits. The thickness of the drift varies from about three to nine metres. The surficial materials are underlain by Palaeozoic dolomite bedrock. At least the upper few metres of the bedrock are very permeable.

The surface soils are generally sandy to silty in texture and appear to have a high infiltration capacity. The principal crops grown in the area are corn, cereal grains and forage crops. Approximately 100 kg N/ha/year are applied as manure and chemical fertilizers.

A total of 75 wells were installed at 24 sites. Sites representative of all land use activities were selected. The wells located in recharge areas and discharge areas, were terminated in both coarse and fine-textured surficial deposits and in the bedrock.

## CANAGAGUIGUE CREEK

The east branch of the Canagagigue Creek watershed is located approximately six kilometres north of Elira, Ontario. It appears to have been part of a major glacial spillway, with the sediments consisting of modern alluvium as well as lame and outwash sands and gravels. Drilling during installation of the observation wells revealed a complex stratigraphy, with thin layers of sand and gravel interspersed with layers of clay and silty clay.

A total of seventeen observation wells were installed at six different sites. All sites were located near the stream and from measurements of hydraulic head they were indicated to be in areas of groundwater discharge.

In this watershed, the land is used primarily for livestock production with corn, small grains and forage being the main crops. The principal fertilizer used is livestock manure.

## NORTH CREEK

The North Creek watershed is part of the Twenty Mile Creek drainage system located in Lincoln County, just west of Smithville, Ontario. The glacial deposits in the watershed are generally less than 15 m thick and at the test drilling locations, varied from 2.0 to 4.5 m in thickness. The borehole logs showed the surficial materials to consist primarily of stratified silt and clay with a few minor seams of sand and gravel.

A total of seven observation wells were installed at three sites. All sites are near the stream and the hydraulic head measurements indicated that they are in a groundwater discharge zone.

The predominant land use in the watershed is pasture, with minor amounts of corn and small grains being grown. All the observation wells are located in areas of pasture.

## VENISON CREEK

The Venison Creek watershed is located in Norfolk County, approximately 10 km southwest of Delhi, Ontario. The uppermost geologic material in the watershed is sand of lacustrine and fluvial origin. Although the thickness of sand is quite variable, beds up to 23 m thick have been reported. The sand is generally underlain by silt, clay or bouldery clay. Geologic test holes were drilled at three sites and all terminated in sand. The maximum drilling depth was 19 m.

Fifteen observation wells were installed in a region of groundwater discharge near the stream. Although the study area is similar to the Hillman Creek area in that the surficial materials are sandy, the water table in the Venison Creek area was approximately 10 m below ground surface compared with an average depth of two metres in the Hillman Creek area.

The watershed has intensive agricultural production. Tobacco is the principal crop; however, corn, small grains and some forage crops are also grown.

## RESULTS AND DISCUSSION

## HILLMAN CREEK

Based upon the rather common assumption that once nitrate reaches the water table, it is non-reactive and travels with the water, one would anticipate that within the Hillman Creek study area, the nitrate concentrations in groundwater would reflect the various source areas. That is, shallow groundwater within a particular land use area would be expected to have a reasonably uniform nitrate concentration. In addition, the nitrate would be carried laterally from areas of high nitrate loading to areas of low nitrate loading. As a result, one would anticipate that groundwaters beneath uncultivated areas but adjacent to and down stream of cultivated areas would have a nitrate concentration similar to that of groundwater beneath the cultivated area.

Figure 2 shows the nitrate concentration in the shallow groundwater, as determined from the water-table observations, and also in the deeper groundwater as determined from the wells located just above the silty clay. Considering only the distribution of the shallow nitrate data, there is little indication



of the ideal non-reactive behaviour of nitrate described above. For example, in the tobacco-growing area in the upper portion of Fig. 2, which is an area of uniform land use, the nitrate concentration varied from 6.1 to 47 mg/l expressed as N. In addition, the nitrate concentrations in the shallow groundwater beneath the orchards, which are clearly down stream of the tobacco fields are generally less than 1.0 mg/l. Similarly, in the central portion of the study area, the nitrate concentration within the potato growing areas is quite variable, ranging from 4.3 to over 11 mg/l. The concentrations in wooded areas or orchards adjacent to the cultivated regions, however, are generally less than 1.0 mg/l. The fact that the concentrations are so variable and that they appear to recognise boundaries between cultivated and uncultivated areas indicates that the nitrate is not moving in the water as a non-reactive constituent. The lower concentrations beneath uncultivated areas suggests a loss of nitrate and thus denitrification.

The most striking feature of the nitrate distribution in Fig. 2 is the large difference between shallow and deep nitrate concentrations. All sites showing high nitrate concentrations have the high values only at the shallow depth. The highest concentration recorded in the sand just above the silty clay was 6.3 mg/l. Since all the groundwater in the sand aquifer is relatively young (post 1952), and since the saturated thickness of the aquifer in most of the study area is only three to four metres, a much more vertically homogeneous concentration distribution was expected.

Fig. 3 shows the vertical distribution of nitrate, DO, Eh and methane at site H40 (location shown in Fig. 1) on Aug. 19, 1976. The nitrate concentration in the shallow groundwater was approximately 5.0 mg/l, but decreased to less than 0.02 mg/l in the wells located at depths of 2.3 and 3.2 m. Although at this site the sampling interval was not sufficiently small to accurately define the transition zone, it is apparent from this and from data collected at other sites that the change from high nitrate to low nitrate water occurs over a very short vertical interval.

To explain the vertical nitrate distribution, two hypotheses were proposed. The first attributes the nitrate distribution to physical hydrogeologic factors. In this hypothesis, the high nitrate water is considered to have originated as infiltration through the soil zone and the deeper water in the aquifer is attributed to seepage from gravel-quarry ponds along the western boundary of the study area (Fig. 2). The hydraulic head data from the observation well network indicated this to be possible, but did not provide conclusive support of the hypothesis. Analyses of tritium, oxygen-18 and deuterium in the aquifer water (Bendry, 1978) also yielded equivocal results. The sharp division, which existed over the entire study area, between the high-nitrate water in the shallow zone and low-nitrate water in the deeper zone, as well as the fact that several monitoring sites are not in the path of groundwater originating from ponds (sites south of Hillman Creek), tend to refute the hypothesis that the two nitrate zones are caused by flow from different source areas.

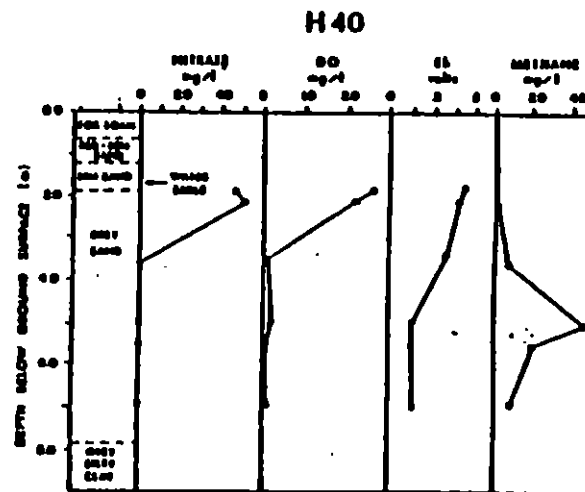


Fig. 3. Vertical profiles of  $\text{NO}_3^-$ , DO, Eh and methane at sampling location H40.

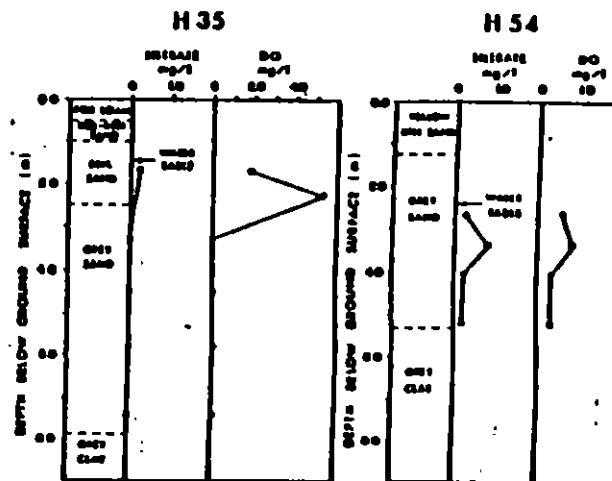


Fig. 4. Vertical profiles of  $\text{NO}_3^-$  and DO at sampling locations H35 and H54.

The second hypothesis attributes the decrease in the nitrate concentration to nitrate removal from groundwater, with denitrification being the most probable removal mechanism. Broadbent and Clark (1963) indicate that denitrification requires the presence of facultative anaerobic bacteria which, in the absence of oxygen, are capable of respiring nitrate. They further indicate that in order for denitrification to proceed, Eh potentials (Eh values) below 320 mV are required as well as an energy source of organic carbon for growth of the bacteria. Although no limiting values of organic carbon concentration were observed, it was indicated that the rate of denitrification decreases at lower contents of organic matter. In groundwater systems, solid organic matter may be the main source of organic carbon.

The DO, Eh and methane data included in Fig. 3 suggest that redox conditions suitable for denitrification to proceed exist in the groundwater of the study area. In particular, the decrease in the nitrate concentration accompanied by a decrease in DO from 2.0 mg/l to 0.1 mg/l (detection limit) and a decrease in Eh from 350 mV to the shallow groundwater to approximately 100 mV at depths below 3 m represent trends that would be expected in a denitrifying environment.

Although the decrease in DO corresponds with the decrease in nitrate, it should be noted that on the basis of equilibrium thermodynamics, a DO value of 0.2 mg/l, which is the measured value below the high nitrate zone, would result in an Eh value of approximately 750 mV at a pH of 8.0. Broadbent and Clark (1963) and Vais et al. (1976) have noted the occurrence of denitrification in systems where considerable dissolved oxygen is present. This apparent inconsistency between the measured DO values and the theoretical Eh necessary for denitrification is generally explained on the basis of a microsite concept. That is, the micro-environment in the immediate vicinity of the bacteria may be quite different from that perceived from analysis of bulk samples of the groundwater of well solution. Thus, the relationship between DO and the decrease in the nitrate concentration probably cannot be interpreted on a purely thermodynamic basis. Nevertheless, the relationship indicated in Fig. 3 was observed in all verified investigation sites, thereby suggesting a rather strong and potentially useful empirical correlation.

Figure 3 shows an increase in the methane concentration in the groundwater corresponding to the decrease in the nitrate concentration. As well as indicating the presence of strong reducing conditions, the production of methane indicates the presence of assimilable organic carbon. Thus, it appears that the principal conditions for the occurrence of denitrification have been met. Keeney (1971) indicated that Eh values below -150mV are required in order for methane to be produced. Thus, the presence of methane indicates that in some parts of the deep aquifer zone there are conditions considerably more reducing than those indicated by either the DO or platinum-electrode Eh data.

Figure 4 shows vertical profiles of nitrate and DO at sites N33 and N34. N33 is located in an orchard while N34 is located within a wooded area (Fig. 2). N33 is interesting in that within the groundwater, there is little or no nitrate present; however, the DO profile is similar to that observed at N40 (Fig. 3). This suggests that organic matter leached into the shallow groundwater system or that solid organic matter already present in the aquifer is oxidized, thereby causing anaerobic conditions at quite shallow depths. Thus, it appears that organic matter contributes to denitrification in two ways, by causing a reduction in the DO (or Eh) and also by acting as an energy source for the denitrifying bacteria. This would cause the geochemical conditions required for denitrification to develop independently of the presence or absence of nitrate.

Methane analyses were performed only on water samples from two detailed piezometer nests and, in 1976, DO and Eh measurements were performed only at the detailed piezometer nests. From this data no exceptions to the trends shown in Fig. 3 and 4 were observed.

In order to further investigate the apparent nitrate-DO relationship, 82 observation wells were sampled in 1977 for analysis of nitrate and DO. Fig. 5 is a graph of DO versus nitrate constructed from this data. Of the 82 data points, 40 fall near the origin of the graph (both DO and nitrate at or very near the limit of detection), 38 had appreciable concentrations of both DO and nitrate and four had appreciable nitrate concentrations (more than 2.0 mg/l) at low DO values (less than 2.0 mg/l).

The data indicate that at low dissolved oxygen concentrations, the nitrate concentration is low. This further supports the hypothesis that denitrification is occurring in the groundwater. It appears that 2.0 mg/l may be the limiting bulk-water DO value for denitrification to proceed. The significance of the four data points with appreciable nitrate but with DO values less than 2.0 mg/l is difficult to evaluate. In view of the large number of data points, the four anomalies should not seriously jeopardize the hypothesis. The data points could represent water which was in the process of denitrifying but still contained significant nitrate or could simply represent experimental or analytical errors.

#### SWIFTS BROOK WATERSHED

As discussed in a previous section, the hydrogeology and land use of the Swifts Brook area is quite different from the Millman Creek area. As a result of the geologic complexity and greater depth of the active flow system, little useful information was obtained from an examination of vertical profiles of the geochemical analyses. This was principally the result of being unable to accurately determine the flow direction in the vicinity of a particular sampling location.

Figure 6 is a graph of DO vs nitrate for all sampling points within the study area. Although low nitrate values accompany both low and high DO values, an appreciable number of data points occur in the high DO and high nitrate region while none occur in the high

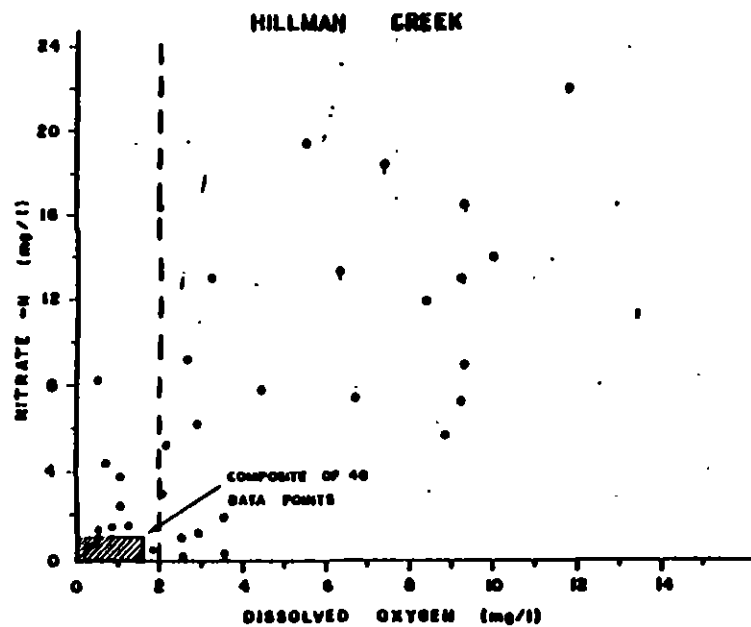


Fig. 5. Graph of  $\text{NO}_3^-$  vs. DO for the Hillman Creek watershed.

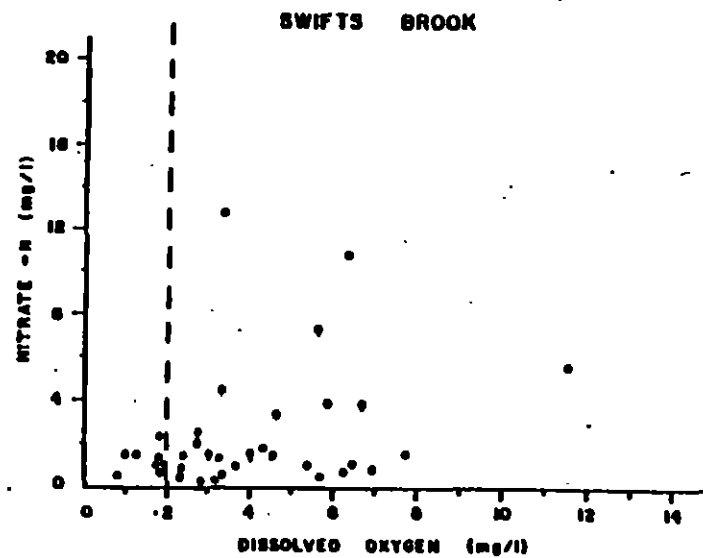


Fig. 6. Graph of  $\text{NO}_3^-$  vs. DO for the Swifts Brook watershed.

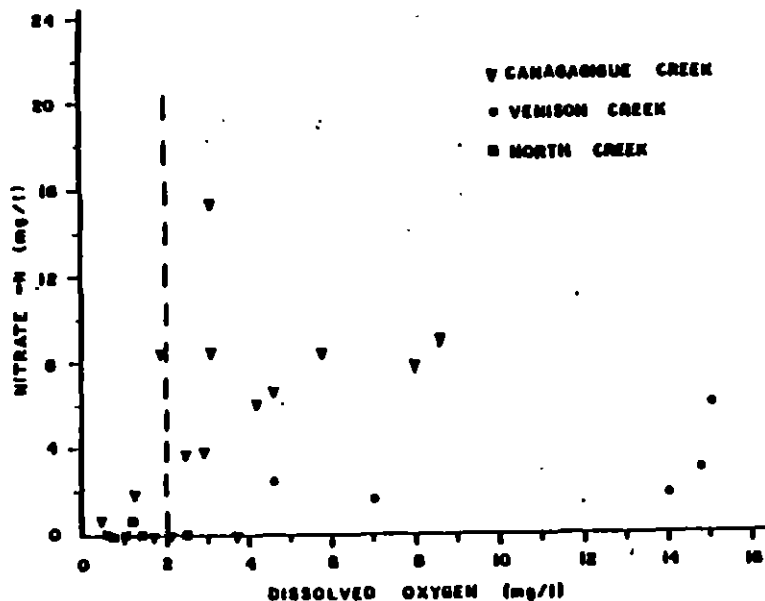


Fig. 7. Graph of  $\text{NO}_3^-$  vs. DO for the Canagagigue Creek, North Creek and Venison Creek watersheds.

nitrate and low DO region. The concentration of data points in the low DO - low nitrate region of the graph suggests that denitrification is occurring within the watershed. This is particularly significant when one considers the diverse hydrogeologic and land use conditions which were studied.

#### OTHER WATERSHEDS

The results of DO and nitrate analyses of water samples from the Canagagigue Creek, Venison Creek and North Creek watersheds are shown in Figure 7. The absence of high nitrate values at DO values less than 2.0 mg/l, along with the concentration of data points near the origin of the graph, further supports the contention that denitrification is proceeding in the groundwater and that 2.0 mg/l is the upper DO limit for denitrification to proceed.

The results from Venison Creek provide a particularly useful comparison with the results from Hillman Creek. From Fig. 7 it can be seen that all samples from Venison Creek contained significant DO and nitrate ranging from about 2.0 to 7.0 mg/l. Thus, there is no evidence that denitrification is proceeding within the groundwater sampled at the monitoring network. From the descriptions given previously, the principal difference between the Venison Creek and Hillman Creek watersheds is the greater depth to the water table in the Venison Creek watershed. As a result of the greater depth to the water table, much of the organic carbon leached from the soil zone may be oxidized within the unsaturated zone prior to the infiltrating water reaching the water table. If the content of dissolved organic carbon that reaches the groundwater zone is insufficient to cover consumption of the DO by oxidation, the DO could persist during transport along the groundwater flow paths. Redox conditions suitable for denitrification would therefore not develop.

#### CONCLUSIONS

1. The field data reported on in this investigation strongly support the hypothesis that widespread denitrification can occur in shallow groundwater. The data suggest that  $\text{NO}_3^-$  losses do not occur when the concentration of dissolved oxygen in groundwater is greater than about 2 mg/l but that denitrification can be a significant process at values below this dissolved oxygen content.

2. Denitrification in groundwater is a process that must be accounted for in studies of nitrogen budgets of agricultural watersheds and in models of nitrate occurrence and transport in groundwater flow systems. For watersheds with streams fed by shallow groundwater, the amount of nitrate that is leached to the shallow groundwater zone cannot be assumed to be the amount of nitrogen that is eventually transported by groundwater to the stream.

3. One of the necessary conditions for denitrification is the presence of organic matter which can be assimilated by the denitrifying bacteria. Whether or not the substrate for the denitrification process is organic matter transported in dissolved form from the soil zone to the groundwater zone or whether it is the solid organic matter incorporated in the anoxic deposits during the deposition is a critical factor that is at present unknown.

## ACKNOWLEDGEMENTS

We wish to express our thanks to James Hendry, Louise Lindsey, Boniface Egboka, Paul Johnson and Sam Valas for their assistance in the acquisition of the field data. Nearly all of the nitrate analyses were conducted at the Soils Research Institute of Agriculture Canada, Ottawa. The nitrate and DO data for the Swifts Brook watershed were obtained from a M.Sc. thesis by William Striobel. The tritium and oxygen-18 analyses were done in the Environmental Isotope Laboratory of the University of Waterloo.

With the exception of the Swifts Brook study, the investigations prior to 1977 were supported by Agricultural Canada and the Ontario Ministry of Agriculture and Food through the PLDARG research program of the International Joint Commission. The Swifts Brook project was supported by the research subventions program of the Inland Waters Directorate of the Department of Fisheries and Environment Canada. The studies conducted in 1977 and 1978 are being supported by the Department of Fisheries and Environment and the Department of Supply and Services under contract No. ISU77-00133.

## REFERENCES

- Broadbent, F.E. and F.E. Clark. 1975. Denitrification. Soil Nitrogen. (W.V. Bartholomew and F.E. Clark, ed.). Agronomy series 10: 344-353.
- Cherry, J.A., R.W. Gillham, E.O. Frind, P. Frits, R.G. Blackport and R.M. Brown. 1976. Groundwater contamination from agricultural activities in a small sandy watershed near Lake Erie in Southwestern Ontario. Geol. Assoc. Canada Ann. Mtg., May, Abstr. Vol. p. 49.
- Crabtree, H.T. 1970. Nitrate variation in groundwater. Technical completion report OWRB B-004-41a., University of Wisconsin Water Resources Center, Hydraulic and Sanitary Laboratory, 60 p.
- Custer S.G. and G.R. Thompson. 1976. Shallow groundwater salinization in dryland - farm areas of Montana. Rept. Montana University. Joint Water Resources Research Center Bozeman, Mont., Proj. 397.
- Edmonds, W.N. 1972. Trace element variations across an oxidation-reduction barrier in a limestone aquifer. Proc. Symp. On Hydrogeochemistry And Biogeochemistry. Tokyo, Japan. Sept. 7-9, 1970, 1: 500-526.
- Foster, S.S.D. 1974. The Chalk groundwater tritium anomaly - a possible explanation. J. Hydrology 25(1): 159-163.
- Frits, P. and J.F. Barker. 1976. Methane in groundwater. Unpublished progress report submitted to Inland Waters Directorate, Department of Fisheries & Environment Canada.
- Gillham, R.W., R.J. Blackport and J.A. Cherry. 1978a. Studies of the agricultural contribution to nitrate enrichment of groundwater and the subsequent nitrate loading to surface waters. Part II: Reconnaissance survey of nitrate concentrations in shallow groundwater. Submitted to the International Reference Group on Great Lakes Pollution From Land Use Activities (PLDARG) an organization of the International Joint Commission.
- Gillham, R.W., M.J. Hendry, J.A. Cherry, E.O. Frind, P. Frits and G.M. Pucovsky. 1978b. Studies of the agricultural contribution to nitrate enrichment of groundwater and the subsequent nitrate loading to surface waters. Part I: Field investigations of the processes controlling the transport of nitrate in groundwater. Final Project Report. Submitted to the International Reference Group on Great Lakes Pollution From Land Use Activities (PLDARG), an organization of the International Joint Commission.
- Giesak, G.E. 1975. Nitrates in groundwater near Lethbridge. Alberta Environment, Env. Prot. Services, Rept. Of Investigation.
- Hedlin, R.A. 1971. Nitrate contamination of groundwater in the Neopawa - Langruth area of Manitoba. Can. J. Soil Sci. 51: 73-84.
- Hendry, M.J. 1976. Nitrates contributed by groundwater to a small stream in an agricultural watershed. M.Sc. Thesis. Department of Earth Science, University of Waterloo, Waterloo, Ontario.
- Ineson, J. and R.A. Downing. 1963. Changes in the chemistry of groundwater of the Chalk passing beneath argillaceous strata. Bull. Geol. Surv. Ct. Brit. 20: 176-192.
- Keaney, D.R. 1973. The nitrogen cycle in sediment - water systems. J. Environ. Qual. 2(1): 15-29.
- Kreitler, C.U. and D.C. Jones. 1975. Natural soil nitrate: the cause of the nitrate contamination of groundwater in Humble County, Texas. Groundwater 13(1): 53-62.
- Miller, J.C. 1972. Nitrate contamination of the water table aquifer in Delaware. Delaware Geological Survey, Report of Investigations, No. 20, 36 p.

- Nightrengale, 1970. Statistical evaluation of salinity and nitrate content and trends beneath urban and agricultural areas. *Groundwater* 8(1): 22-28.
- Piskin, R. 1973. Evaluation of nitrate content of groundwater in Hall County, Nebraska. *Groundwater* 11(6): 4-13.
- Raposo, R.B., Jr. Changes in inorganic nitrogen compounds from septic tank effluent in a soil with a fluctuating water table. *J. Environ. Qual.* 6(2): 173-178.
- Seliternik, 1972. Groundwater pollution by nitrogen compounds. *Proc. Sixth Int. Conf. On Water Pollution, Jerusalem, June 18-23.*
- Schmidt, K.D. 1973. Nitrate in groundwater of the Frieno - Clevis metropolitan area, California. *Groundwater* 10(1): 30-64.
- Stanton, M.D. 1971. A syringe gas-stripping procedure for gas-chromatographic determination of dissolved inorganic and organic carbon in fresh water and carbonates in sediments. *J. Fish. Res. Board Can.* 28: 1441-1443.
- Stiebel, W.H. 1977. An investigation of the occurrence and origin of nitrate in groundwater in the Swifts Brook watershed. M.Sc. Thesis. Department of Earth Science, University of Waterloo, Waterloo, Ontario.
- Veit, M.C., M.S. Andakani, R.E. Shula, L.G. Stolzy and A.D. McLaren. 1976. Soil nitrate loss during irrigation: enhancement by plant roots in Nitrate in Effluent from Irrigated Lands, Annual Report to the National Science Foundation, University of California, 1976.
- Young, C.P. and E.S. Hall. 1976. Investigations into factors affecting the nitrate content of groundwater. *Proc. Conf. Groundwater Quality, Measurement, Prediction and Protection, Water Research Centre, England (in press).*



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

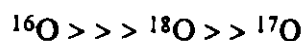
**CURSOS ABIERTOS  
VII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS  
MODULO II: CONTAMINACION DE ACUIFEROS**

**CONTAMINACION DE ACUIFEROS EVALUACION DE RIESGO**

**DR. RAMIRO RODRIGUEZ CASTILLO**

## MOLECULA DEL AGUA

Abundancia de isotopos de oxigeno

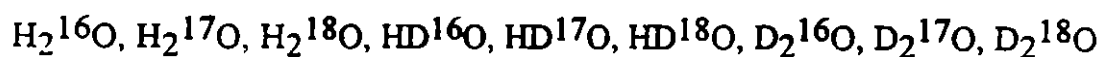


Abundancia de isotopos de hidrogeno

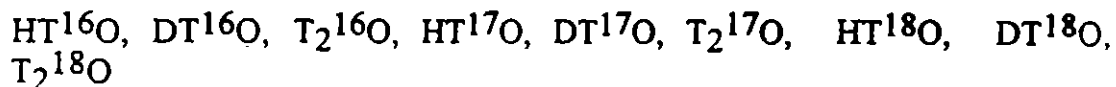


⇒ 48 moléculas diferentes, 39 radioactivas

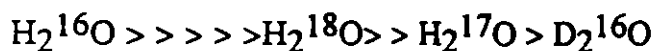
⇒ 9 moléculas estables de agua



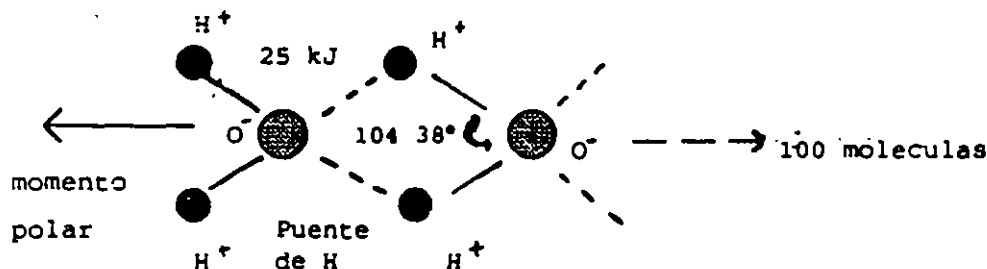
aunque, también es posible encontrar las siguientes moléculas



abundancia relativa



### Agregado molecular de agua a 20°C



En una molécula gramo de agua la energía de los puentes o ligaduras de Hidrogeno constituye alrededor de 25 KJ. Esto provoca que el agua sea un líquido prácticamente incompresible.



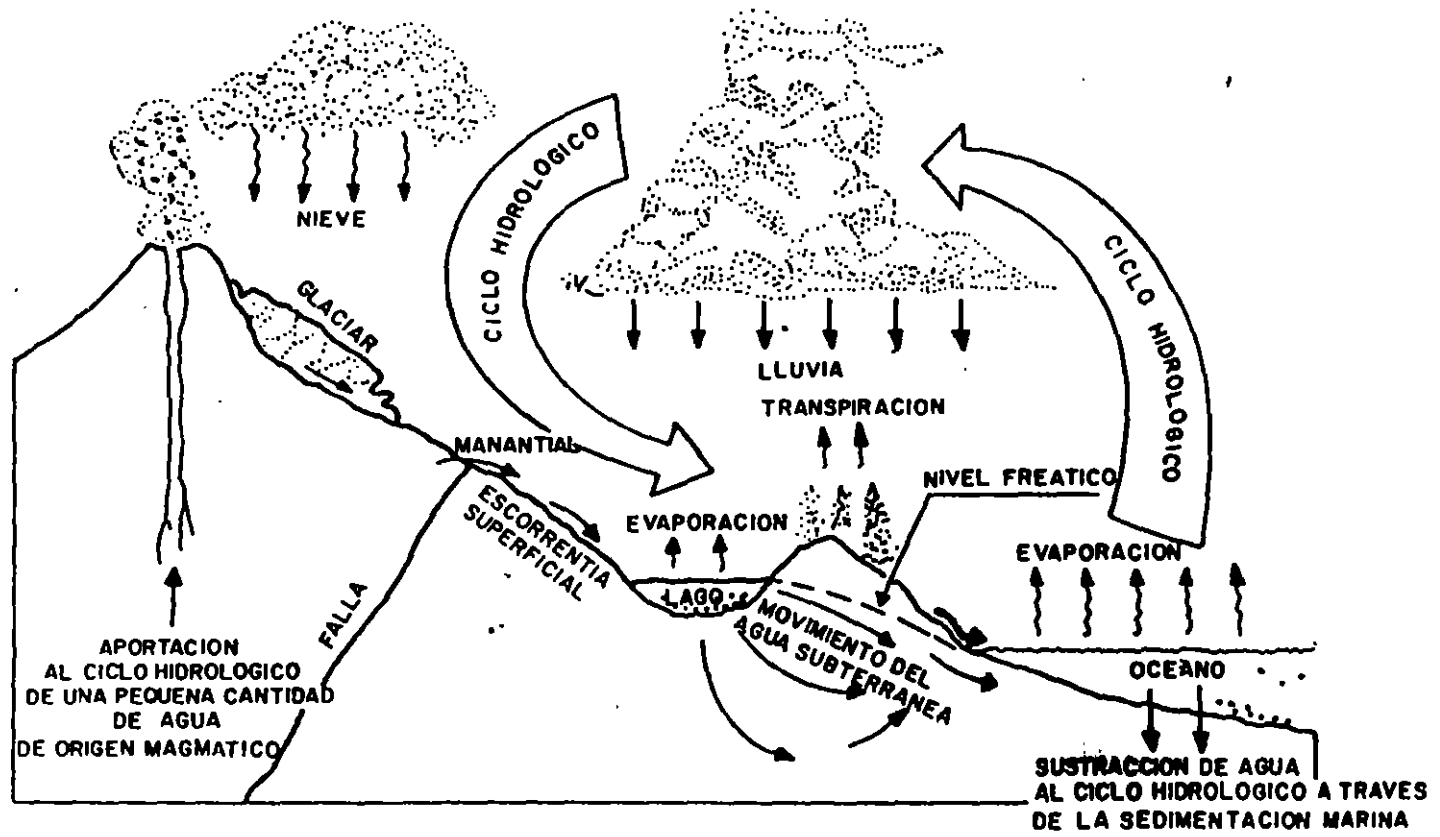
## Propiedades Físico-Químicas del agua

Propiedad	Simbología	Valor	Peculiaridades
Densidad	$\rho$	998.2 g/cm <sup>3</sup>	f(T)
Viscosidad	$\mu$	1.0 x 10 <sup>-2</sup> centipoise	f(1/T)
Coef. Cinemático de Viscosidad	$\nu$	1.01 x 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s [stockes]	f(1/T)
Coef. Conductividad Térmica	K	140 x 10 <sup>-5</sup> cal / cm s	no es buena conductora de calor
Calor de fusión	C <sub>f</sub>	79.71 cal/g C	
Calor de vaporización	C <sub>v</sub>	595.4 cal/g C	
Calor específico	C <sub>e</sub>	1.0 cal/g °C	buna moderadora del clima
Coef. Lamé Modulo de rigidez	$\mu$	0	En líquidos no existen ondas longitudinales
Vel. ondas P	V <sub>p</sub>	1.485 Km/s	
Compresibilidad isotérmica		4.6 cm <sup>2</sup> /dina 10 <sup>-11</sup>	f(T)
Coef. de Compresibilidad	$\beta$	4.88 x 10 <sup>-10</sup> m <sup>2</sup> /N	$\beta = 1/\epsilon$
Coef. de elasticidad	$\epsilon$	0.205 x 10 <sup>10</sup> N/m <sup>2</sup>	
Indice de Refracción para luz de sodio	I <sub>r</sub>	1333	
Resistividad (agua Kohlrausse)	$\rho_{max}$	28 x 10 <sup>6</sup> ohm cm <sup>-1</sup>	f(1/mineralización)
Conductividad eléctrica específica	$\mu$	5 x 10 <sup>-6</sup> S/m	f(mineralización)
Constante o permeabilidad dieléctrica	$\epsilon$	80.4	f(1/frecuencia) hace del agua el disolvente natural mas fuerte
Tensión superficial		72.75 dinas/cm	

valores a T de 20° C

## ***PROPIEDADES "ANÓMALAS" DEL AGUA***

- Al congelarse, aumenta su volumen 10 % a presión normal
- Al aumentar la presión desciende la temperatura de fusión, en las sustancias comunes el proceso es inverso.
- Con excepción de algunas sustancias, tiene mayor peso en estado líquido que en estado sólido.
- Tiene máxima densidad a 3.98 ° C
- Posee el mayor calor específico - capacidad calórica- de todas las sustancias sólidas o líquidas
- La temperatura de congelación decae con el aumento de presión
- Tiene el mayor Calor de Evaporación de todos los líquidos comunes
- Tiene el mayor Calor de Fundición (excepto el amoníaco)
- La mayor constante dieléctrica de los líquidos comunes
- Es el mejor solvente natural conocido
- La molécula de agua posee un momento dipolar muy alto
- Posee una tensión superficial excepcionalmente grande.



CICLO HIDROLOGICO

## **RESIDUOS SOLIDOS (RS)**

Desechos de actividades antropogenicas

no se incluyen

- Descargas de liquidos domesticos
- Descargas de aguas residuales industriales
- Retorno de riego
- Material nuclear
- Residuos mineros

## **RESIDUOS INDUSTRIALES PELIGROSOS (RIP)**

Es un RS o una combinacion de RS's que por su cantidad, concentracion de solutos o las características físicas, químicas o infecciosas puede:

- Causar o incrementar mortalidad o enfermedades
- Ser un riesgo potencial para la salud o el medio ambiente cuando son tratados, almacenados, transportados o dispuestos inadecuadamente.

Un RS puede ser considerado como un RIP si

- Muestra al analizarlo cualquier característica de un RIP
- Ha sido definido y catalogado como RIP
- Es una mezcla que contiene RS's y por lo menos un RIP
- No esta excluido de las regulaciones vigentes como RIP

Un RS es un RIP si muestra alguna de las siguientes características:

- **Flamabilidad** Punto Ignición menor a 60° C. Sólido que bajo condiciones normales presenta combustión espontánea
  
- **Corrosividad** un RS con  $12.5 < \text{pH} < 2$  o líquido que corroe acero a razón de cm/año a una  $T = 55^\circ \text{C}$
  
- **Reactividad**
  - Un RS -Inestable que reacciona violentamente sin detonación
  - reacciona violentamente con agua
  - forma mezcla explosiva con agua
  - genera gases tóxicos, vapores, humos cuando se añade agua
  - contiene cianuro o sulfatos y genera gases tóxicos, vapores o humos a  $2 < \text{pH} < 12.5$
  - detona cuando es calentado bajo confinamiento
  - detona a P y T normales
  - catalogado como explosivo
  
- **Toxicidad** Afecta adversamente a la salud. Puede ser cancerígeno o no-cancerígeno

## ACTIVIDADES ANTROPOGENICAS QUE APORTAN CONTAMINANTES AL AGUA SUBTERRANEA

<b>DISPOSICION DE RESIDUOS</b>	
<b>SISTEMAS SEPTICOS</b>	Bacterias, virus, nitratos, fosfatos cloruros, TCE
<b>BASUREROS (ACTIVOS)</b>	SDT, metales, Fe, Mn, Cd, acidos, compuestos orgánicos
<b>POZOS INYECCION</b>	SDT, bacterias, Na,
<b>ALMACENAJE Y MANEJO MAT.</b>	
<b>TANQUES SUBTERRANEOS</b>	B, T, X, hidrocarburos
<b>AGROQUIMICOS</b>	Nitratos, compuestos orgánicos
<b>DUCTOS</b>	B, T, X, hidrocarburos
<b>ACTIVIDADES MINERAS</b>	
<b>JALES</b>	Acidos, Fe, Mn, U, Th, Mo, Se, As
<b>ACTIVIDADES PETROLERAS</b>	
<b>POZOS</b>	Salmueras
<b>ACTIVIDADES AGROPECUARIAS</b>	
<b>AGROQUIMICOS</b>	Nitratos, fosfatos, compuestos orgánicos
<b>IRRIGACION</b>	SDT, nitratos, fosfatos
<b>HECES ANIMALES</b>	Nitratos, nitritos, bacterias, fosfatos
<b>ACTIVIDADES URBANAS</b>	
<b>FUGAS DRENAJE</b>	Bacterias, hidrocarburos, STD, plomo
<b>FUGAS DUCTOS</b>	Hidrocarburos { gasolinas }, solventes

Modificado del U.S. Geol. Survey, 1988

Contaminant	Examples of uses
<b>Aromatic hydrocarbons</b>	
Acetanilide	Intermediate manufacturing, pharmaceuticals, <u>dye-stuffs</u>
Alkyl benzene sulfonates	Detergents
Aniline	<u>Dyestuffs</u> , intermediate, photographic chemicals, pharmaceuticals, <u>herbicides</u> , <u>fungicides</u> , petroleum refining, explosives
Anthracene	<u>Dyestuffs</u> , intermediate, semiconductor research
Benzene	Detergents, intermediate, <u>solvents</u> , antiknock gasoline
Benzidine	<u>Dyestuffs</u> , reagent, stiffening agent in rubber compounding
Benzyl alcohol	<u>Solvent</u> , perfumes and flavors, photographic developer inks, <u>dye-stuffs</u> , intermediate
Butoxymethylbenzene	NA <sup>a</sup>
Chrysene	Organic synthesis, coal tar by-product
Creosote mixture	<u>Wood preservatives</u> , disinfectants
Dibenz[a,h.]anthracene	NA
Di-butyl-p-benzoquinone	NA
Dihydratrimethylquinoline	Rubber antioxidant
4,4-Dinitrosodiphenylamine	NA
Ethylbenzene	Intermediate, <u>solvent</u> , gasoline
Fluoranthene	Coal tar by-product
Fluorene	Resinous products, <u>dyestuffs</u> , <u>insecticides</u> , coal tar by-product
Fluorescein	<u>Dyestuffs</u>
Isopropyl benzene	<u>Solvent</u> , chemical manufacturing
4,4'-methylene-bis-2-chloroaniline (MOCA)	Curing agent for polyurethanes and epoxy resins
Methylthiobenzothiazole	NA
Napthalene	<u>Solvent</u> , lubricant, explosives, preservatives, intermediate, <u>fungicide</u> moth repellent
o-Nitroaniline	<u>Dyestuffs</u> , intermediate, interior paint pigments, chemical manufacturing
Nitrobenzene	<u>Solvent</u> , polishes, chemical manufacturing
4-Nitrophenol	Chemical manufacturing
n-Nitrosodiphenylamine	<u>Pesticides</u> , retarder of vulcanization of rubber
Phenanthrene	<u>Dyestuffs</u> , explosives, synthesis of drugs, biochemical research
n-Propylbenzene	<u>Dyestuffs</u> , solvent
Pyrene	Biochemical research, coal tar by-product
Styrene (vinyl benzene)	Plastics, resins, protective coatings, intermediate
Toluene	Adhesive solvent in plastics, <u>solvent</u> , aviation and high-octane blending stock, diluent and thinner, chemicals, explosives, detergents
1,2,4-Trimethylbenzene	<u>Manufacture of dyestuffs</u> , pharmaceuticals, chemical manufacturing
Xylenes (m, o, p)	Aviation gasoline, protective coatings, solvent, synthesis of organic chemicals, gasoline
<b>Oxygenated hydrocarbons</b>	
Acetic acid	Food additives, plastics, <u>dyestuffs</u> , pharmaceuticals, photographic chemicals, <u>insecticides</u>
Acetone	<u>Dyestuffs</u> , <u>solvent</u> , chemical manufacturing, cleaning and drying of precision equipment
Benzophenone	Organic synthesis, odor fixative, flavoring, pharmaceuticals
Butyl acetate	<u>Solvent</u>
n-Butyl-benzylphthalate	Plastics, intermediate

Contaminant	Examples of uses
<b>Hydrocarbons with specific elements (cont'd)</b>	
1,2-Dichloropropane	<u>Solvent</u> , intermediate, scouring compounds, <u>fumigant</u> , <u>nematocide</u> , additive for antiknock fluids
Dicyclopentadiene (DCPD)	<u>Insecticide manufacture</u>
Dieldrin	<u>Insecticides</u>
Diiodomethane	Organic synthesis
Diisopropylmethyl phosphonate (DIMP)	Nerve gas manufacture
Dimethyl disulfide	NA
Dimethylformamide	<u>Solvent</u> , organic synthesis
2,4-Dinitrophenol (Dinoseb, DNBP)	<u>Herbicides</u>
Dithiane	Mustard gas manufacture
Dioxins (e.g., TCDD)	Impurity in the herbicide 2,4,5-T
Dodecyl mercaptan (lauryl mercaptan)	Manufacture of synthetic rubber and plastics, pharmaceuticals, <u>insecticides</u> , <u>fungicides</u>
Endosulfan	<u>Insecticides</u>
Endrin	<u>Insecticides</u>
Ethyl chloride	Chemical manufacturing, anesthetic, <u>solvent</u> , refrigerants, <u>insecticides</u>
Bis-2-ethylhexylphthalate	Plastics
Di-2-ethylhexylphthalate	Plasticizers
Fluorobenzene	<u>Insecticide</u> and <u>larvicide intermediate</u>
Fluoroform	Refrigerants, intermediate, blowing agent for foams
Heptachlor	<u>Insecticides</u>
Heptachlorepoxyde	Degradation product of heptachlor, also acts as an insecticide
Hexachlorobicycloheptadiene	NA
Hexachlorobutadiene	<u>Solvent</u> , transformer and hydraulic fluid, heat-transfer liquid
$\alpha$ -Hexachlorocyclohexane (= Benzenehexachloride, or $\alpha$ -BHC)	<u>Insecticides</u>
$\beta$ -Hexachlorocyclohexane ( $\beta$ -BHC)	<u>Insecticides</u>
$\gamma$ -Hexachlorocyclohexane ( $\gamma$ -BHC, or Lindane)	<u>Insecticides</u>
Hexachlorocyclopentadiene	Intermediate for resins, <u>dyestuffs</u> , <u>pesticides</u> , <u>fungicides</u> , pharmaceuticals
Hexachloroethane	<u>Solvent</u> , pyrotechnics and smoke devices, explosives, organic synthesis
Hexachloronorbornadiene	NA
Isodrin	Intermediate compound in manufacture of Endrin
Kepone	<u>Pesticides</u>
Malathion	<u>Insecticides</u>
Methoxychlor	<u>Insecticides</u>
Methyl bromide	<u>Fumigants</u> , <u>pesticides</u> , organic synthesis
Methyl parathion	<u>Insecticides</u>
Oxathine	Mustard gas manufacture
Parathion	<u>Insecticides</u>
Pentachlorophenol (PCP)	<u>Insecticides</u> , <u>fungicides</u> , <u>bactericides</u> , <u>algicides</u> , <u>herbicides</u> , wood preservative
Phorate (Disulfoton)	<u>Insecticides</u>
Polybrominated biphenyls (PBBs)	Flame retardant for plastics, paper, and textiles
Polychlorinated biphenyls (PCBs)	Heat-exchange and insulating fluids in closed systems
Prometon	<u>Herbicides</u>



Contaminant	Examples of uses
<b>Oxygenated hydrocarbons (cont'd)</b>	
Di-n-butyl phthalate	Plasticizer, <u>solvent</u> , adhesives, <u>insecticides</u> , safety glass, inks, paper coatings
Diethyl ether	Chemical manufacturing, <u>solvent</u> , analytical chemistry, anesthetic, perfumes
Diethyl phthalate	Plastics, explosives, <u>solvent</u> , <u>insecticides</u> , perfumes
Diisopropyl ether	<u>Solvent</u> , rubber cements, paint and varnish removers
2,4-Dimethyl-3-hexanol	Intermediate, <u>solvent</u> , lubricant
2,4-Dimethyl phenol	Pharmaceuticals, plastics, disinfectants, <u>solvent</u> , <u>dyestuffs</u> , <u>insecticides</u> , <u>fungicides</u> , additives to lubricants and gasolines
Di-n-octyl phthalate	Plasticizer for polyvinyl chloride and other vinyls
1,4-Dioxane	<u>Solvent</u> , lacquers, paints, varnishes, cleaning and detergent preparations, <u>fumigants</u> , paint and varnish removers, wetting agent, cosmetics
Ethyl acrylate	Polymers, acrylic paints, intermediate
Formic acid	<u>Dyeing</u> and finishing, chemicals, <u>manufacture of fumigants</u> , <u>insecticides</u> , <u>solvents</u> , plastics, refrigerants
Methanol (methyl alcohol)	Chemical manufacturing, <u>solvents</u> , automotive antifreeze, fuels
Methylcyclohexanone	<u>Solvent</u> , <u>lacquers</u>
Methyl ethyl ketone	<u>Solvent</u> , paint removers, cements and adhesives, cleaning fluids, printing, acrylic coatings
Methylphenyl acetamide	NA
Phenols (e.g., p-tert-butylphenol)	Resins, <u>solvent</u> , pharmaceuticals, reagent, <u>dyestuffs</u> and indicators, germicidal paints
Phthalic acid	<u>Dyestuffs</u> , medicine, perfumes, reagent
2-Propanol	Chemical manufacturing, <u>solvent</u> , deicing agent, pharmaceuticals, perfumes, lacquers, dehydrating agent, preservatives
2-Propyl-1-heptanol	<u>Solvent</u>
Tetrahydrofuran	<u>Solvent</u>
Varsol	Paint and varnish thinner
<b>Hydrocarbons with specific elements (e.g., with N, P, S, Cl, Br, I, F)</b>	
Acetyl chloride	Dyestuffs, pharmaceuticals, organic preparations
Alachlor (Lasso)	<u>Herbicides</u>
Aldicarb (sulfoxide and sulfone; Temik)	<u>Insecticide</u> , <u>nematocide</u>
Aldrin	<u>Insecticides</u>
Atrazine	<u>Herbicides</u> , <u>plant growth regulator</u> , weed-control agent
Benzoyl chloride	Medicine, intermediate
Bromacil	<u>Herbicides</u>
Bromobenzene	<u>Solvent</u> , motor oils, organic synthesis
Bromochloromethane	Fire extinguishers, organic synthesis
Bromodichloromethane	<u>Solvent</u> , fire extinguisher fluid, mineral and salt separations
Bromoform	<u>Solvent</u> , intermediate
Carbofuran	<u>Insecticide</u> , <u>nematocide</u>
Carbon tetrachloride	Degreasers, refrigerants and propellants, <u>fumigants</u> , chemical manufacturing
Chlordane	<u>Insecticides</u> , oil emulsions
Chlorobenzene	<u>Solvent</u> , <u>pesticides</u> , chemical manufacturing
Chloroform	Plastics, <u>fumigants</u> , <u>insecticides</u> , refrigerants and propellants

Contaminant	Examples of uses
<b>Hydrocarbons with specific elements (cont'd)</b>	
RDX (Cyclonite)	<u>Explosives</u>
Simazine	<u>Herbicides</u>
Tetrachlorobenzene	NA <sup>a</sup>
Tetrachloroethanes (1,1,1,2 and 1,1,2,2)	<u>Degreasers, paint removers, varnishes, lacquers</u> , photographic film, organic synthesis, <u>solvent, insecticides</u> , fumigants, weed killer
Tetrachloroethylene (or perchloroethylene, PCE)	<u>Degreasers, drycleaning, solvent</u> , drying agent, chemical manufacturing, heat-transfer medium, <u>vermifuge</u>
Toxaphene	<u>Insecticides</u>
Triazine	<u>Herbicides</u>
1,2,4-Trichlorobenzene	<u>Solvent, dyestuffs, insecticides</u> , lubricants, heat-transfer medium (e.g., coolant)
Trichloroethanes (1,1,1 and 1,1,2)	<u>Pesticides, degreasers, solvent</u>
1,1,2-Trichloroethylene (TCE)	<u>Degreasers, paints, drycleaning, dyestuffs</u> , textiles, <u>solvent</u> , refrigerant and heat exchange liquid, <u>fumigant</u> , intermediate, aerospace operations
Trichlorofluoromethane (Freon 11)	<u>Solvent</u> , refrigerants, fire extinguishers, intermediate
2,4,6-Trichlorophenol	<u>Fungicides, herbicides, defoliant</u>
2,4,5-Trichlorophenoxyacetic acid (2,4,5-T)	<u>Herbicides, defoliant</u>
2,4,5-Trichlorophenoxypropionic acid (2,4,5-TP or Silvex)	<u>Herbicides and plant growth regulator</u>
Trichlorotrifluoroethane	<u>Dry-cleaning</u> , fire extinguishers, refrigerants, intermediate, drying agent
Trinitrotoluene (TNT)	Explosives, intermediate in dyestuffs and photographic chemicals
Tris-(2,3-dibromopropyl) phosphate	Flame retardant
Vinyl chloride	Organic synthesis, polyvinyl chloride and copolymers, adhesives
<b>Other hydrocarbons</b>	
Alkyl sulfonates	Detergents
Cyclohexane	Organic synthesis, <u>solvent</u> , oil extraction
1,3,5,7-Cyclooctatetraene	Organic research
Dicyclopentadiene (DCPD)	<u>Intermediate for insecticides</u> , paints and varnishes, flame retardants
2,3-Dimethylhexane	NA
Fuel oil	Fuel, heating
Gasoline	Fuel
Jet fuels	Fuel
Kerosene	Fuel, heating <u>solvent, insecticides</u>
Lignin	Newsprint, ceramic binder, <u>dyestuffs</u> , drilling fuel additive, plastics
Methylene blue activated substances (MBAS)	Dyestuffs, analytical chemistry
Propane	Fuel, <u>solvent</u> , refrigerants, propellants, organic synthesis
Tannin	Chemical manufacturing, tanning, textiles, electroplating, inks, pharmaceuticals, photography, paper
4,6,8-Trimethyl-1-nonene	NA
Undecane	Petroleum research, organic synthesis
<b>Metals and cations</b>	
Aluminum	Alloys, foundry, paints, protective coatings, electrical industry, packaging, building and construction, machinery and equipment
Antimony	Hardening alloys, solders, sheet and pipe, pyrotechnics

Contaminant	Examples of uses
<b>Metals and cations (cont'd)</b>	
Arsenic	<u>Alloys</u> , <u>dye stuffs</u> , medicine, solders, electronic devices, <u>insecticides</u> , <u>rodenticides</u> , <u>herbicide</u> , preservative
Barium	<u>Alloys</u> , lubricant
Beryllium	Structural material in space technology, inertial guidance systems, additive to rocket fuels, moderator and reflector of neutrons in nuclear reactors
Cadmium	<u>Alloys</u> , coatings, batteries, electrical equipment, fire-protection systems, paints, <u>fungicides</u> , photography
Calcium	<u>Alloys</u> , <u>fertilizers</u> , reducing agent
Chromium	<u>Alloys</u> , protective coatings, paints, nuclear and high-temperature research
Cobalt	<u>Alloys</u> , <u>ceramics</u> , drugs, paints, <u>glass</u> , <u>printing</u> , catalyst, electroplating, lamp filaments
Copper	<u>Alloys</u> , paints, electrical wiring, machinery, construction materials, electroplating, piping, <u>pesticides</u>
Iron	<u>Alloys</u> , machinery, magnets
Lead	<u>Alloys</u> , batteries, gasoline additive, sheet and pipe, paints, radiation shielding
Lithium	<u>Alloys</u> , pharmaceuticals, coolant, batteries, solders, propellants
Magnesium	<u>Alloys</u> , batteries, pyrotechnics, precision instruments, optical mirrors
Manganese	<u>Alloys</u> , purifying agent
Mercury	<u>Alloys</u> , electrical apparatus, instruments, <u>fungicides</u> , <u>bactericides</u> , mildew proofing, paper, pharmaceuticals
Molybdenum	<u>Alloys</u> , pigments, lubricant
Nickel	<u>Alloys</u> , ceramics, batteries, electroplating, catalyst
Palladium	<u>Alloys</u> , catalyst, jewelry, protective coatings, electrical equipment
Potassium	<u>Alloys</u> , catalyst
Selenium	<u>Alloys</u> , electronics, ceramics, catalyst
Silver	<u>Alloys</u> , photography, chemical manufacturing, mirrors, electronic equipment, jewelry, equipment, catalyst, pharmaceuticals
Sodium	Chemical manufacturing, catalyst, coolant, nonglare lighting for highways, laboratory reagent
Thallium	<u>Alloys</u> , <u>glass</u> , <u>pesticides</u> , photoelectric applications
Titanium	<u>Alloys</u> , structural materials, abrasives, coatings
Vanadium	<u>Alloys</u> , catalysts, target material for x-rays
Zinc	<u>Alloys</u> , electroplating, electronics, automotive parts, <u>fungicides</u> , roofing, cable wrappings, nutrition
<b>Nonmetals and anions</b>	
Ammonia	<u>Fertilizers</u> , chemical manufacturing, refrigerants, synthetic fibers, fuels, <u>dye stuffs</u>
Boron	<u>Alloys</u> , fibers and filaments, semiconductors, propellants
Chlorides	Chemical manufacturing, water purification, shrink-proofing, flame-retardants, food processing
Cyanides	Polymer production (heavy duty tires), coatings, metallurgy, <u>pesticides</u>
Fluorides	Toothpastes and other dentrifices, additive to drinking water
Nitrates	<u>Fertilizers</u> , food preservatives
Nitrites	<u>Fertilizers</u> , food preservatives

# MECANISMOS DE TRANSPORTE

- i) ADVECCION
- ii) DISPERSION
- iii) ADVEC. - DISPERS.
- iv) ADVEC. - RETARDO LINEAL (SORPSION)
- v) DISPERSION - RET. LIN.
- vi) ADVEC. - DISP. - RET. LIN.
- vii) i) → vi) - DEC. RAD.
- viii) i) → vii) - REACC. SOLUTO.

EL Retardo Lineal engloba todos los efectos de la interacción del soluto con el medio geológico.

- Absorción, reacciones químicas, reacciones biológicas

**Absorción** // Partición del soluto orgánico entre la fase sólida y líquida.

**Reac. Quím.** // Oxidación, hidrólisis, catalisis de halogenación reductiva, sustitución nucleofílica

**Reac. Biol.** // Mec. de biotransf. (metabolismo directo, cometabolismo) / 0

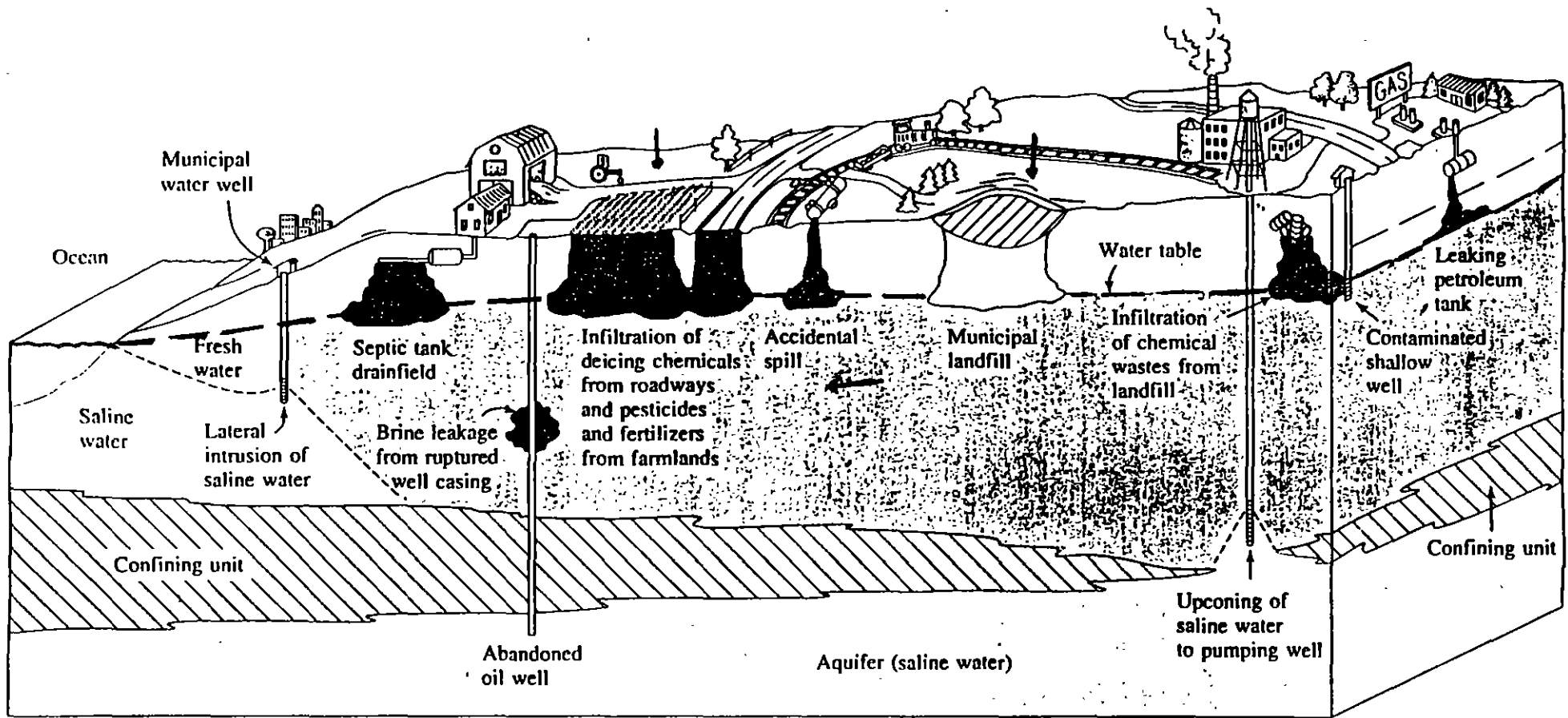


FIGURE 1.1 Mechanisms of ground-water contamination.

# TRANSPORTE DE SOLUTOS EN MEDIOS SATURADOS

## BALANCE DE MASA

$$\text{VARIACION MASA} = S_E - S_S = \Delta S$$

$$\text{SI } \Delta S = 0 \quad q = n(c\bar{v})$$

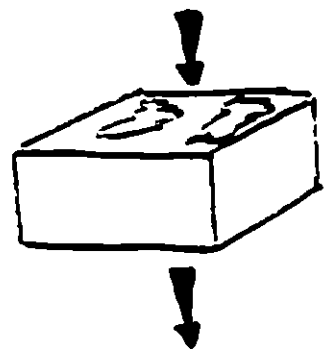
$$\text{SI } \Delta S \neq 0 \quad q = n(c\bar{v} - D\nabla c)$$

donde  $D\nabla c$  se deriva de la Primera Ley de Fick

SI  $c$  CAMBIA CON  $t$  y  $n = \text{cte}$ .

SE APLICA LA SEGUNDA LEY DE FICK  $\Rightarrow$

$$\frac{\partial(nc)}{\partial t} = \nabla q$$



FLUJO UNIDIRECCIONAL

$$q = n [c\bar{v} - D \frac{\partial c}{\partial x}]$$

$$\text{y} \quad \frac{\partial(nc)}{\partial t} = \frac{\partial q}{\partial x} \Rightarrow \text{SI } n = \text{cte}$$

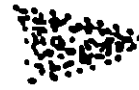
$$n \frac{\partial c}{\partial t} = n\bar{v} \frac{\partial c}{\partial x} + nc \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} - n \frac{\partial c}{\partial x} \frac{\partial D}{\partial x} - nD \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

$$\text{SI } \bar{v} \text{ y } D = \text{cte} \Rightarrow$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \bar{v} \frac{\partial c}{\partial x} - D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

ADVECCION

DISPERSION



} Dispersión Transversal

} Dispersión Longitudinal

$$D_{LON} \geq D_{TRANS}$$

$$D_L = \sigma_L^2 / 2t$$

$$D_T = \sigma_T^2 / 2t$$

$\sigma_L^2$  = extensión lateral pluma

$\sigma_T^2$  = extensión transversal de la pluma

NUMERO PECKET  $N_p$

CONTRIBUCION DE DISPERSION MECANICA Y DIFUSION

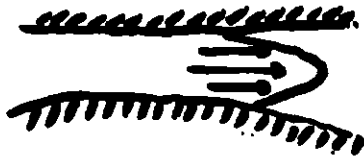
$$N_p = v \times d / D_d = v \times d / D_c$$

$d$  = diametro grano promedio

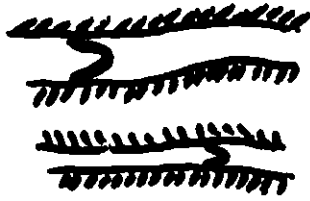
# MECANISMOS DE DISPERSION

Escaia Microscópica / Escaia Macroscópica

Difusión Molecular    Dispersion Mecánica



Perfil Velocidad



Diferentes dimens. poros



Ramificación Canales.



La dispersion mecánica puede ser representada como un proceso fickiano operando a escaia macro.

es proporcional

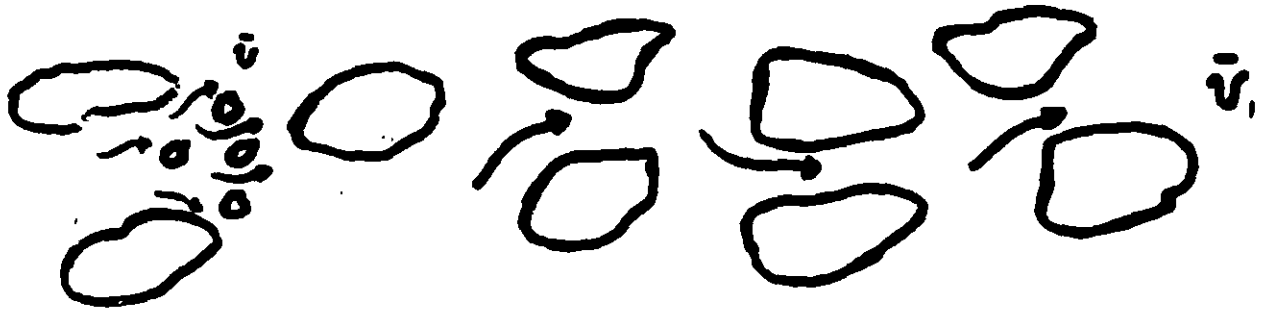
En la difusión fickiana  
la difusión del flujo de soluto  
al gradiente de la concentración

$$J_d \sim \nabla c$$

$$J_d = -D_d \frac{\partial c}{\partial x}$$



# FACTOR DE ESCALA



Dispersión a  
pequeña escala

Dispersión a  
gran escala

$$D = D_m + D_e$$

$\downarrow$   $\rightarrow$   
 Coef. Disp Mec.    Coef. Dif. Mol.

$$D_m = \alpha \bar{U}$$

$\downarrow$   
 dispersividad

$$D_e = D_0 \tau$$

$\downarrow \rightarrow$   
 Coef. Dif. libre    Relacionada  
    Tortuosidad  
    Medio Poroso

- $\alpha$      $\alpha(x)$  ?  
        $\alpha(t)$  ?  
        $\alpha(x,t)$  ?

$$\tau \sim d^* \text{ ó } (d/d^*)^2 \text{ ó } d^*/d$$

$\tau < 1$

$$D_0 = D_0^t (1 + S/n K_d)^{-1}$$

Coef. Dif. Efectivo     $\downarrow$   
    Coef. Distrib.

$$K_d = K_s / K_f$$

$\downarrow$   
 función de distribución

# ZONA NO SATURADA

## RETENCION DE HUMEDAD

### i) Adsorción

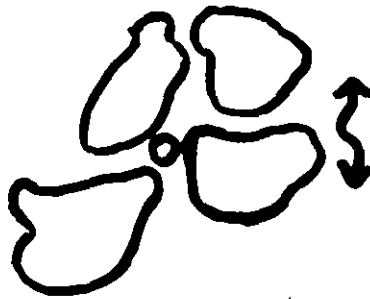
En Mat. grano fino:  
mayor densidad carga  
mayor area especf.



Molecula de Agua  
(Orientada)

Rango de interacción 100 Å

### ii) Retención Capilar



Aire a dif. presiones  
dif. efecto capilar

Contenido de agua  $\theta$  a presión  $\psi$  con  $h = \psi + z$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \psi} = M(\theta)$$

Capacidad de humedad especifica

Ecuación de flujo

$$M(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial t} = \nabla \cdot K(\theta) \nabla h$$

Ec. dif. parc. no-lin. 2º orden

$$M, K = f(\theta)$$

$$16 \quad M, K(\bar{x}, t) ?$$

# TRANSFORMACION, RETARDACION Y ATENUACION DE SOLUTOS

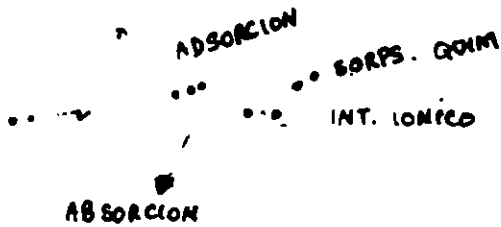
INTERACCION SOLUTO AGUA SUBTERRANEA MATRIZ PUNOS.

RETARDACION

$$\bar{v}_s < \bar{v}_a$$

ROCA - SOLUTO

ADSORCION, SORPSION QUIMICA, ABSORCION  
INTERCAMBIO IONICO



PARTICION

DISTRIB. SOLUTO % FLUJO Y ROCA

# EC. TRANSPORTE

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\bar{u}_x \frac{\partial c}{\partial x}$$

ec. dif. parcial lineal hiperv. homog.  
2 var. indep.

- ADV -

\* Medio incompresible, flujo estacionario  
no disp., no absorc., ...

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

$$c = \frac{c_0}{2} \operatorname{erfc} \left\{ \frac{x - \bar{u}t}{(4Dt)^{1/2}} \right\}$$

- DISP -

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - \bar{u}_x \frac{\partial c}{\partial x}$$

ADV - DISP

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - \bar{u}_x \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{S}{n} K_f \frac{\partial c}{\partial t}$$

ADV - DISP RET. LIN.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - \bar{u} \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{S}{n} K_d \frac{\partial c}{\partial t} - \lambda c - \frac{S}{n} K_d \lambda c$$

ADV - DISP RET. LIN. DEC. RAD. REACC.

$$R = 1 + \frac{S}{n} K_d \quad \text{Coef. de Retardación}$$

$K_d$ : Coef. Distribución

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{D}{R} \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - \frac{\bar{u}}{R} \frac{\partial c}{\partial x} - \lambda c$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - \bar{u} \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{S}{n} \frac{\partial S}{\partial t}$$

$\frac{\partial S}{\partial t}$  ~ veloc.  
absorción

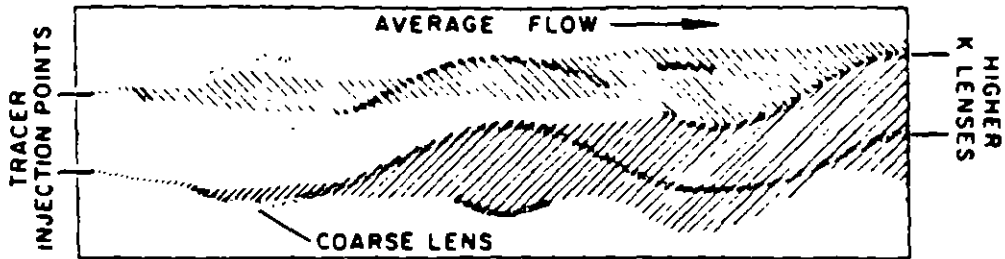


Fig. 6. Macroscopic dispersion as represented in a laboratory experiment (adapted from Skibitzkie and Robinson, 1963). "Higher K lenses" refers to lenses of high hydraulic conductivity.

## Dispersión Macroscópica

### Dispersión - difusión medio doble porosidad

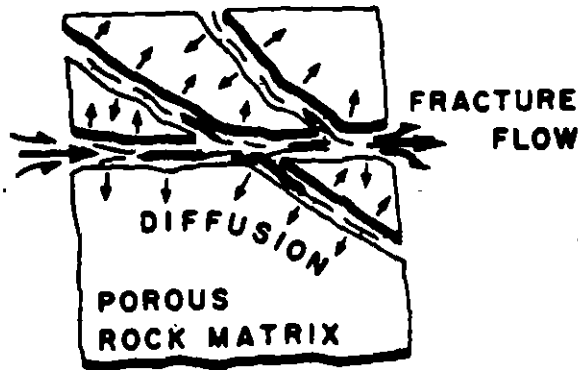
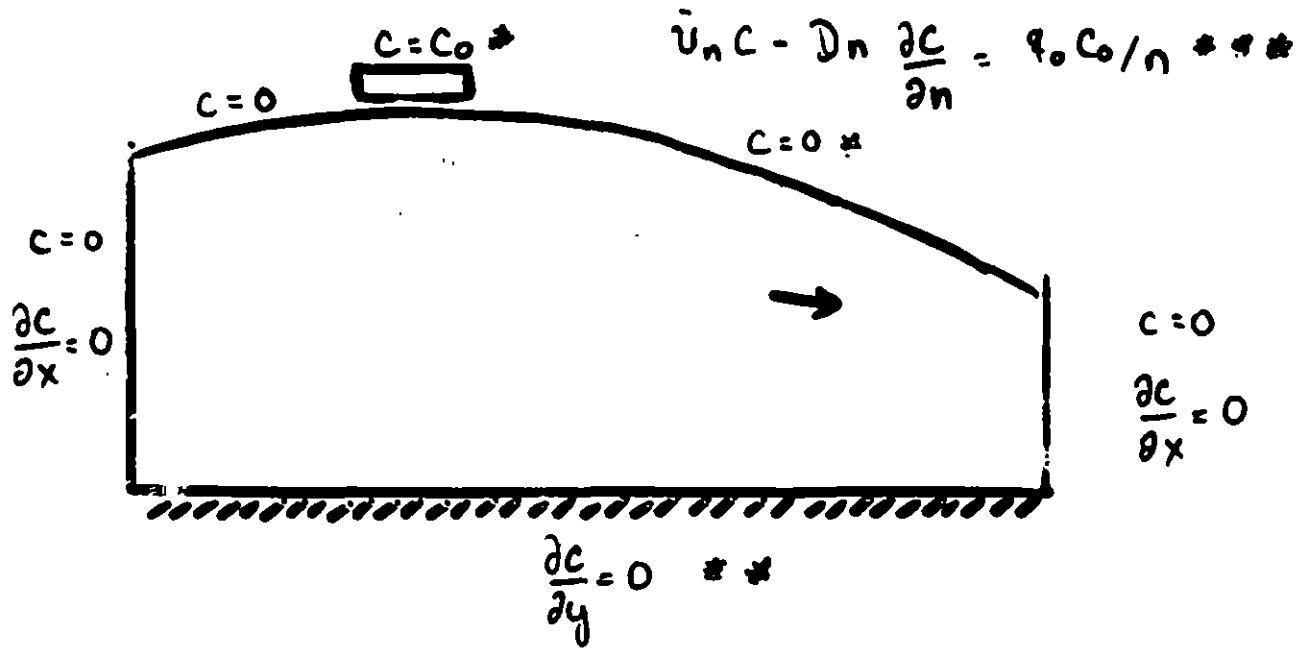
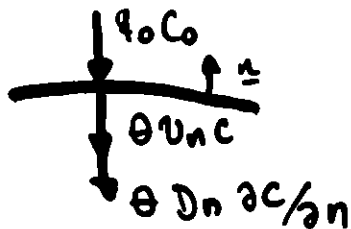


FIGURE 25 Schematic diagram representing flow through fracture and diffusion of contaminants from fractures into the rock matrix of a dual porosity medium

# Condiciones Frontera



- \* Primer tipo (concentración conocida)
- \*\* Segundo tipo ( $q_0 = v_n = 0$ ) (Gradiente conocido)
- \*\*\* tercer tipo (flujo soluto conocido)



$$c(0, t) = c_0 \quad t \geq 0$$

$$c(x, 0) = 0 \quad x \geq 0$$

$$c(\infty, t) = 0 \quad t \geq 0$$

# Soluciones

Advección - Difusión

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - \bar{v} \frac{\partial c}{\partial x} \quad (c(x=0) = c_0)$$

$$c = \frac{c_0}{2} \left[ \operatorname{erfc} \left( \frac{x - \bar{v}t}{2\sqrt{Dt}} \right) + \exp \left( \frac{\bar{v}x}{D} \right) \operatorname{erfc} \left( \frac{x + \bar{v}t}{2\sqrt{Dt}} \right) \right]$$



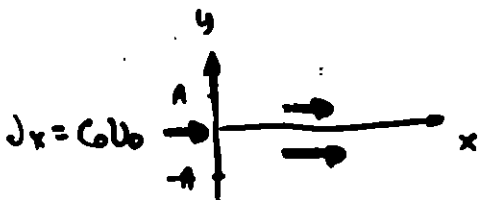
$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_L \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_e \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - \bar{v} \frac{\partial c}{\partial x}$$

Caso no-estac.

$$c(x, y, t) = c_0 \frac{\bar{v}}{\sqrt{\pi D_L}} \int_{t=0}^t \frac{1}{\sqrt{t}} \exp \left[ -\frac{(x - \bar{v}t)^2}{4D_L t} \right] \left[ \operatorname{erf} \left( \frac{A+y}{2\sqrt{D_e t}} \right) + \operatorname{erf} \left( \frac{A-y}{2\sqrt{D_e t}} \right) \right] dt$$

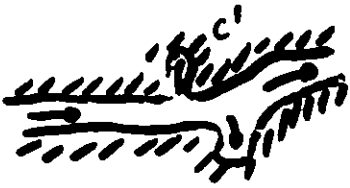
Caso estacionario

$$\bar{c}(x, y) = c_0 \frac{\bar{v}}{2u \sqrt{D_e D_L}} \exp \left( \frac{\bar{v}x}{2D_L} \right) \int_{-A}^A \kappa_0 \{w(z)\} dz$$



# ADVECCION-DISPERSION

(MEDIOS NO-HOMOGENEO, NO-ISCOT.)

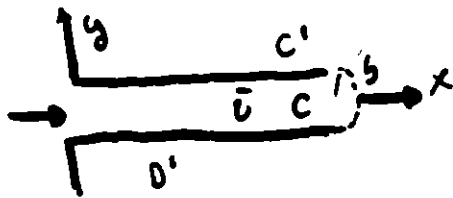


Difusión en zonas de estancamiento produce efectos de "capacitancia"

$$f \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} - (1-f) \frac{\partial C'}{\partial t}$$

con  $(1-f) \frac{\partial C'}{\partial t} = D_e (C - C')$

$C'(x, t) ?$   
 $f(C, n) ?$



Difusión en matriz porosa-fracturada

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \bar{v} \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{q}{b}$$

$D'$  dif. matriz

con  $q = -D_e \frac{\partial C'}{\partial y}$

$b$  constante ?

$C'(C) ?$

\* Dispersión longitudinal tiende a ser no-gaussiana

\* Efecto de capacitancia produce mayor dispersión longitudinal

transp. matriz

$$\frac{D'}{R'} \frac{\partial^2 C'}{\partial y^2} = \frac{\partial C'}{\partial t}$$

con  $R' = 1 + \frac{S_{km}}{n}$  Coef. Rel. matriz

$$q^* = -n D' \frac{\partial^2 C'}{\partial y^2} \Big|_{y=b}$$

flujo difusivo en la interfase

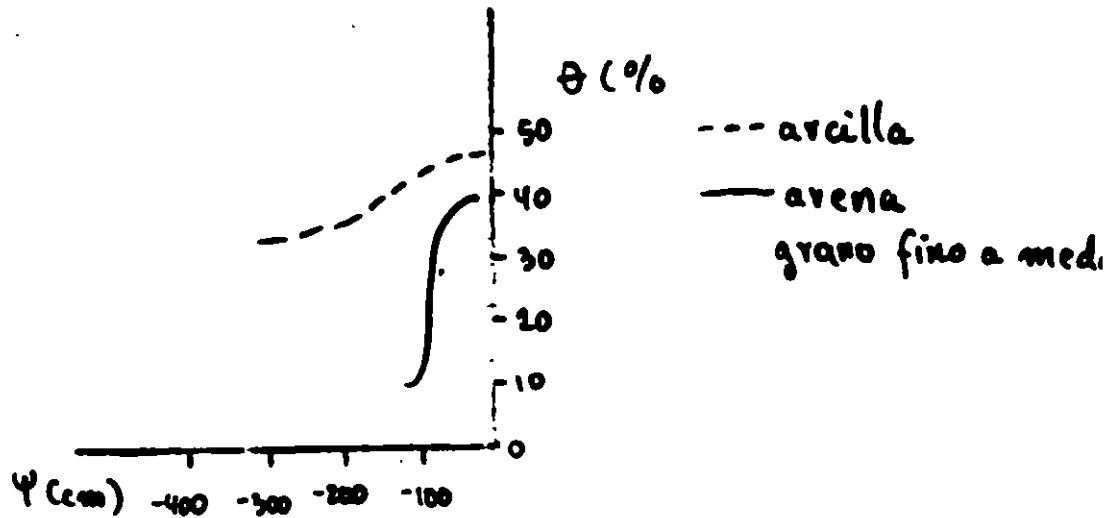


# TRANSP. ZONA NO-SATURADA.

$$\frac{\partial \theta C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \theta D \frac{\partial C}{\partial x} - \bar{v} n \frac{\partial C}{\partial x}$$

$$\theta, \bar{v} (\bar{x}, t) \quad ?$$

$$\theta (T, t) \quad ?$$



Termino advectivo puede ser eliminado  $\Rightarrow$  dispersión predominante dif. Molecular.

De puede ser 1-2 ordenes de magnitud menor que en la zona saturada

$$D_e = 1-2 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s} \quad \text{algunos iones}$$

## POSIBLES AFECTACIONES A LA SALUD POR INGESTA DE AGUA CON METALES

Al	ALUMINIO	Cambios en la absorción de fosfatos en el tracto gastrointestinal
Sb	ANTIMONIO	Incrementa colesterol, decese glucosa, mutageno (?)
As	ARSENICO	Cancer dermal, hepático, renal, discromias, queratosis, polineuritis
Be	BERILIO	Disminución peso corporal, carcinogénico
Cd	CADMIO	Disfunciones renales, enfermedad Itai-itai {osteoporosis}
Cu	COBRE	Vomito, diarrea
Cr	CROMO	Cancer estomacal, irritación tracto gastrointestinal
Fe	FIERRO	Artritis reumatoide {incrementa daños}
Mg	MAGNESIO	Somnolencia, hipotonia, disminu. presión
Hg	MERCURIO	Disturbios emocionales y sicológicos. Neuralgia, dermatofismo, fatiga
Mo	MOLIBDENO	Molibnedosis { diarrea, anorexia, disturbios neurologicos }
Ni	NIQUEL	Cambios en el peso de organos, dermatitis en manos.
Pb	PLOMO	Neuropatía periférica, encefalopatía
Se	SELENIO	Selenosis [ caída de pelo y uñas ] disfunción hepática
Tl	TALIO	Decese glucosa, afectación sistema nervioso central
V	VANADIO	Inhibe síntesis colesterol

Modificado de Merian, 1991

**POSIBLES AFECTACIONES A LA SALUD POR INGESTA DE AGUA  
CON COMPUESTOS ORGANICOS**

<b>Atrazine</b>	Incremento peso corazón e hígado
<b>Bromodichlorometano</b>	Carcinoma hepático
<b>Benceno</b>	Leucemia
<b>Cloroformo</b>	Tumores en los riñones
<b>1,1-Dicloroetano 1,1-DCA</b>	Perdida de peso corporal
<b>1,1-Dicloroetileno 1,1-DCE</b>	Degeneración hepatocelular
<b>1,2 Dicloropropano 1,2-DCP</b>	Carcinoma hepático
<b>1,4-Diclorobenceno 1,4-DCB</b>	Carcinoma hepatocelular
<b>Endrin</b>	Incremento peso del hígado
<b>Etilbenceno</b>	Incremento peso hígado riñones
<b>Heptacloro</b>	Carcinoma hepático
<b>Hexaclorobenceno</b>	Carcinoma hepático
<b>Lindano</b>	Carcinoma hepático
<b>Monoclorobenceno</b>	Nodulos neoplásticos hepáticos
<b>1,1,1-Tricloroetano -TCA</b>	Mortalidad fetal
<b>1,2,4-Triclorobenceno -TCB</b>	Incremento peso gland. suprarrenal
<b>Tetracloroetano</b>	Cambios en el cont. grasa hígado
<b>Tolueno</b>	Neurotoxicidad
<b>Triclorofluorometano</b>	Incremento de N en urea
<b>Triclorotrifluoroetano</b>	Incremento en peso hepático
<b>Cloruro de vinilo</b>	Carcinoma hepático
<b>Xileno</b>	Perdida peso corporal

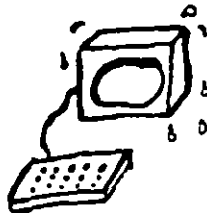
Modificado de Wang R., 1994

**Potencial de migración en el agua subterránea de contaminantes orgánicos.**

<b>Compuesto</b>	<b>Mobilidad Potencial</b>	<b>Potencial de Migración</b>
Tricloroetano	59.4	4470
Tetracloroetano	47.6	4104
Triclorometano	71.5	3208
1,4-Diclorobenceno	35.2	2659
1,3-Diclorobenceno	42.6	2571
1,2-Diclorobenceno	39.4	1875
Benceno	62.6	1046
Clorobenceno	50.7	1023
Etilbenceno	45.9	539
Trans-1,2-Dicloroetano	61.3	328
Diclorometano	78.5	78
Tetraclorometano	59.7	57

Modificado de Lesage S., 1992

OK!



MODELACION

HIPOTESIS !!??



CORRELACION  
GEOLOGICA  
HIDROGEOLOGICA

CRITERIOS !?



INTERPRETACION  
QUIMICA  
HIDROGEOLOGICA  
HIDROGEOQUIMICA

CONCENTRACIONES



RESOLUCION



ANALISIS  
INORGANICO  
BACTERIOLOGICO  
ORGANICO



ALMACENAMIENTO  
CAPAC. LAB.

REACC. QUIMICAS



MANEJO Y TRANSPORTE  
MUESTRAS.  
ENVASES VS REAC. QUIM.

REPRESENTATIVIDAD

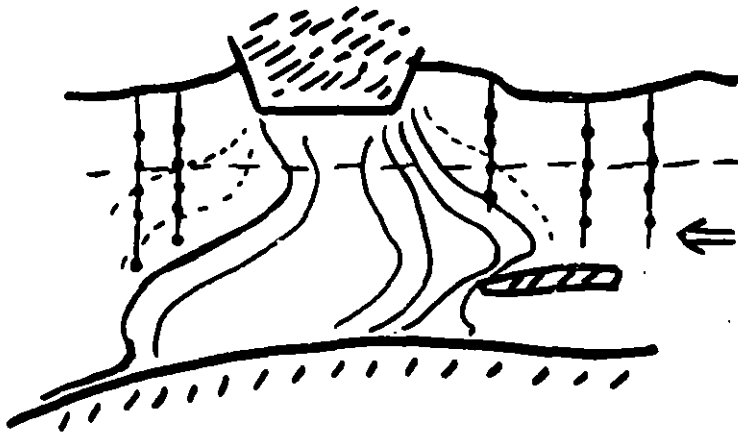


DETERM. IN SITU  
TECNICAS EXTRACCION  
PLAN. MONITOREO



SEL. PUNTOS OBSERVACION

# SISTEMAS MONITOREO



QUE DESEAMOS  
MEDIR

QUE PODEMOS  
MEDIR

## QUE MEDIMOS

INCREMENTO  
ABSORCION

### COMO MEDIMOS

- ACERO INOXID.
- PVC RIGIDO
- FIBRA VIDRIO IMPREGN CON EPOXY
- POLIVINILIDENO PF
- POLITETRAFLUOROETILENO PTFE
- POLIETILENO FLEXIBLE
- POLIVINIL PVC FLEXIBLE

CO\$TO

QUIEN PAGA ?

QUIEN EJECUTA ?

A QUIEN BENEFICIA ! ?

TIEMPO

CUANDO ?

DONDE ?

YA PARA QUE !

IMPACTO

ECOLOGICO

SOCIAL

ECONOMICO

INVESTIGACION

IMPLEMENTACION ?

O'N PAPER'S !

APOYO ECONOM. - ACABEI

# **FUENTES POTENCIALES CONTAMINACION**

**INVENTARIO**

**LOCALIZACION**

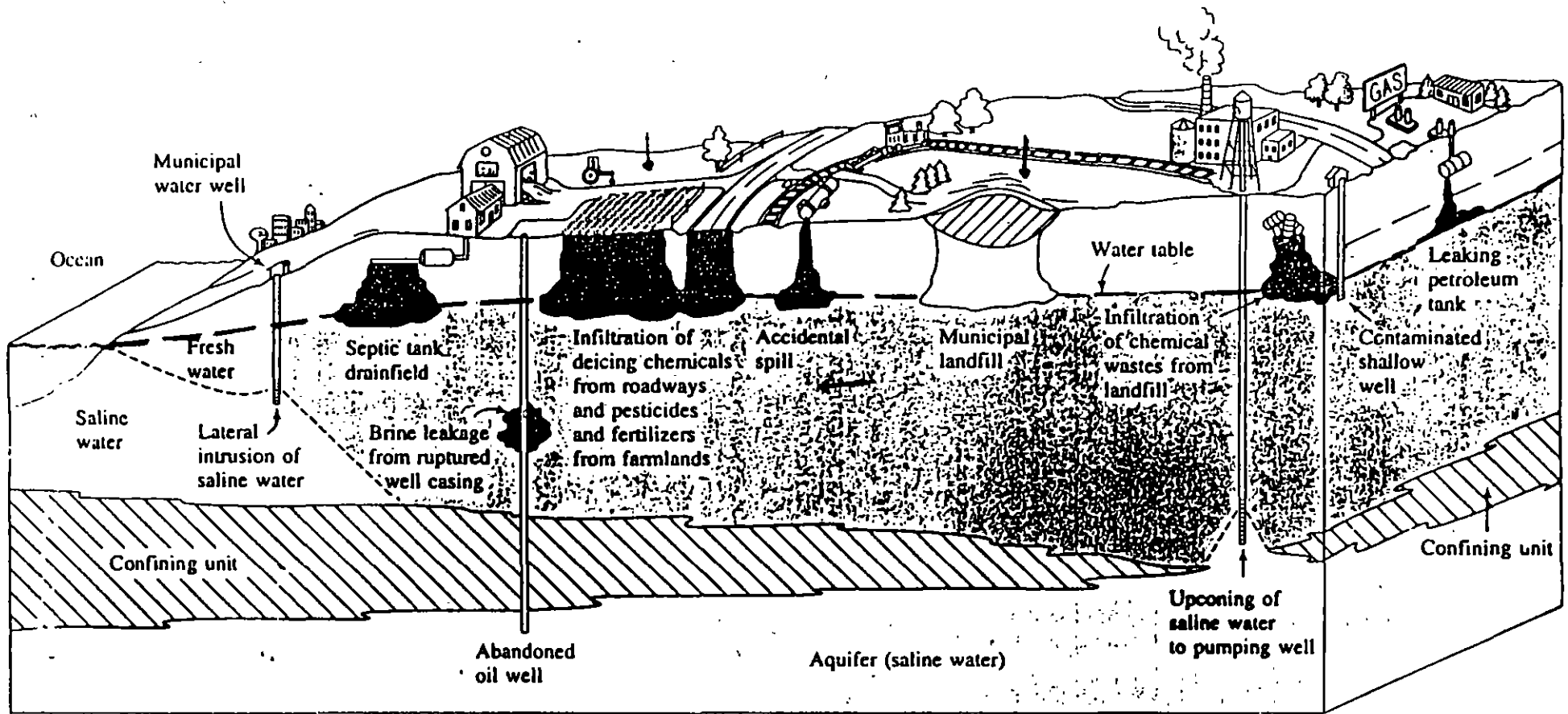
**GEOLOGIA**

**SISTEMAS ACUIFEROS**

**PARAMETRIZACION**

**ENTORNO SOCIAL**

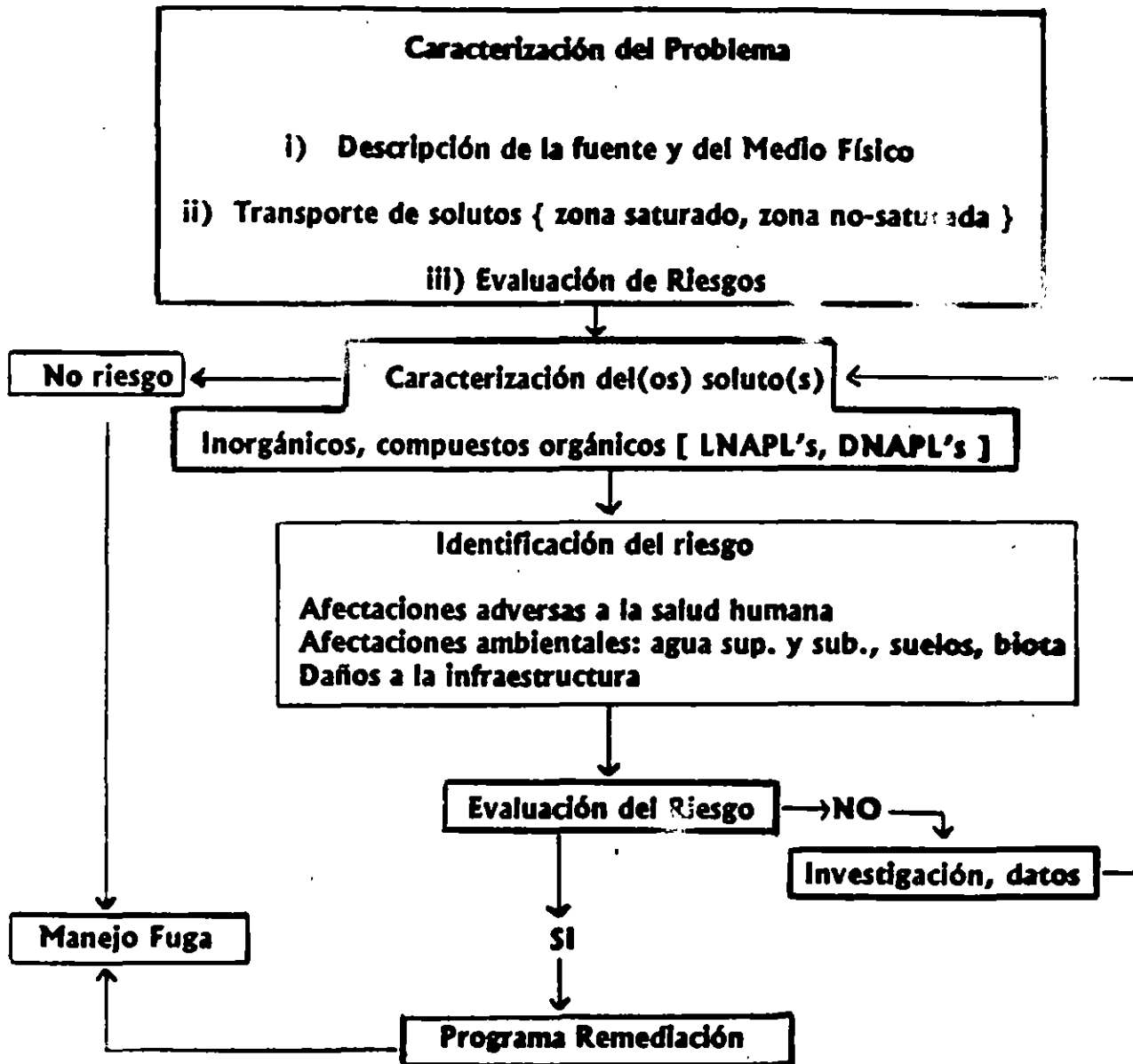
**ELEMENTOS POLVANTES**



**FIGURE 1.1** Mechanisms of ground-water contamination.



# FUGAS DE CONTENEDORES



## Contaminación de Sistemas Acuíferos.

Rodríguez-Castillo Ramiro  
Depto. de Recursos Naturales  
Instituto de Geofísica UNAM.

Los sistemas acuíferos son susceptibles de ser contaminados por fuentes poluan-  
tes localizadas en la superficie. Estas dan origen a infiltraciones que alcanzan los -  
niveles de saturación y migran a través del medio permeable dando lugar a nubes o  
plumas contaminantes. La naturaleza de los lixiviados determina su poder contami-  
nante.

El estudio de estos procesos puede hacerse desde varios enfoques académicos.  
El más común es el geohidrológico que engloba los aspectos geológicos e hidrodiná-  
micos, tanto del flujo como del soluto . La modelación matemática y computacional  
comprende tópicos relacionados con el flujo y transporte de los contaminantes, efec-  
tuando predicciones sobre su evolución espacial y temporal ante diversas alternativas.  
En la Hidrogeoquímica se analiza el comportamiento químico del soluto y su relación  
con el medio que circula. Existen métodos de prospección geofísica enfocadas al mo-  
nitoreo superficial de la extensión lateral de la pluma contaminante. La Isotopia Hi-  
drológica proporciona información sobre el origen del flujo su permanencia y circu-  
lación en el acuífero. El sector salud estudia los efectos nocivos de los poluentes ,  
su sintomatología, cuadros clínicos y las relaciones causa-efecto.

Incluso desde el punto de vista jurídico también se pueden llevar a cabo investigaciones sobre normatividad y su implementación legal.

Como puede apreciarse una investigación de este tipo es eminentemente interdisciplinaria y requiere de un colectivo científico tan amplio como los objetivos del estudio a realizarse.

## FUENTES DE CONTAMINACION

Por contaminación o polución del agua debe entenderse la alteración degradación de su estado y composición natural al incorporarse un elemento, material, sustancia, compuesto que en su conjunto se le puede dar el nombre de soluto, así como toda fuente de energía térmica, radiaciones ionizantes que degradan su calidad natural, perjudicando o alterando con ésto, de alguna manera, toda forma de vida.

El proceso de contaminación se lleva a cabo de dos maneras fundamentales:

1) Por la acción del hombre consciente o inconscientemente, debido a una mala planeación económica y técnica, a la incapacidad y falta de cooperación por parte de las autoridades, lo que se ha dado por denominar contaminación antropógena.

2) Por la acción de la naturaleza, proceso al que se ha adoptado llamar alteración natural de la calidad, más que contaminación.

Trataremos aquí los tipos de contaminación antropógena y sus aspectos más relevantes, relacionados con sus fuentes y sus componentes más importantes.

### Contaminación Urbana. -

La alteración de la calidad del agua ocasionada por la actividad urbana es debida a la mala distribución y/o evacuación de los desechos producidos por la población. Existen dos formas principales de desechos o residuos urbanos:

a) Desechos sólidos. - Son aquellos restos orgánicos e inorgánicos que se generan en casas habitación, parques, jardines, vía pública, oficinas, mercados, comercios, construcciones, establecimientos de servicios e inclusive desechos peligrosos de hospitales, clínicas, laboratorios y centros de investigación. La característica más notable de los residuos sólidos urbanos es su diversidad el cual es un problema de facetas múltiples.

Algunos ejemplos de desechos sólidos son:

- |                            |   |
|----------------------------|---|
| - algodón                  | - papel   |
| - cartón                   | - pañal desechable                              |
| - cenizas                  | - plástico de película                          |
| - cuero                    | - plástico rígido                               |
| - cartón encerado          | - poliuretano                                   |
| - fibra dura vegetal       | - poliestireno expandido                        |
| - fibras sintéticas        | - residuos de jardinería                        |
| - hueso                    | - residuos alimenticios                         |
| - hule                     | - trapos  |
| - latas                    | - vidrios                                       |
| - loza y cerámica          | - residuos voluminosos<br>autos, muebles, etc.) |
| - madera                   | - residuos de mercado                           |
| - material de construcción |   |

Es importante señalar que, cuando se depositan los desechos sólidos en un terreno sin haber sido planeado de acuerdo a las normas internacionales de sanidad, -lo que en nuestro medio es lo más común, denominándose tiraderos, basureros, depósitos a cielo abierto.- al llover la precipitación se incorpora a la basura, contribuyendo a acelerar los procesos de degradación, formando un residuo líquido con gran cantidad de sólidos en suspensión (lixiviado) el cual junto con los líquidos que se derivan de los desechos mismos, puede infiltrarse e incorporarse a un acuífero de dos maneras según el tipo de terreno: si es fisurado o con grietas el lixiviado llega rápido al agua subterránea y con todo su poder contaminante íntegro; cuando el terreno es poroso, tarda en llegar al acuífero o no llega por ser retenido y/o absorbido sufriendo parte del lixiviado modificaciones en su composición, influyendo en el acuífero en menor medida.

b) Aguas residuales.- Son aquellas producidas por labores domésticas como lavado, eliminación de excretas, pozos, fosas sépticas mal planeadas; por servicios como lavado de calles, escurrentia urbana, alcantarillado y drenajes en malas condiciones; o por comerciales e industriales (que pueden ser lo más contaminantes por su variado contenido de compuestos orgánicos sintéticos. Se incorporan en este rubro las aguas "negras" de producción urbana que incluyen a la mayoría de las aguas residuales citadas.

Otra fuente posible de contaminación urbana, sobre todo bacteriológica y viral, son los cementerios al no tenerse conocimiento del tipo de terreno así como por mala planeación, diseño y construcción de éstos.

#### Contaminación Agrícola.-

A muy largo plazo esta contaminación es importante ya que abarca grandes zonas, al introducir al terreno cantidades considerables de abonos sintéticos y pesticidas de manera repetida en varias ocasiones al año dependiendo del tipo de producción agrícola. Las fuentes principales de contaminación agrícola son:

a) Los abonos sintéticos, los cuáles son compuestos químicos con alto contenido de elementos contaminantes como son:

**Nitrógeno.**- En forma de nitratos que afectan la salud y particularmente la de los lactantes. La cantidad de nitrato en el agua que se percola hacia el acuífero depende, entre otros factores de

- necesidad real del cultivo en el cual se aplica un cierto tipo de fertilizantes, su composición química, cantidad y frecuencia de aplicación,

- la cantidad de nitrógeno que el suelo ya contiene características del terreno, así como el sistema hidrológico local.

**Fósforo.**- El cual permanece retenido en el suelo.

**Potasio.**- Cuando se trata de pequeños porcentajes no es

daño.

Existen factores importantes que influyen durante la infiltración de fertilizantes hacia las aguas subterráneas:

- cantidades excesivas de abono, que las plantas no aprovechan
- el uso de fertilizantes equivocados al tipo de planta clima;
- la precipitación e irrigación, que favorecen la infiltración y
- bajas temperaturas.

b) Los pesticidas.- Son productos tales como fungicidas, herbicidas, insecticidas, fumigantes y rodenticidas, o sea, compuestos químicos orgánicos sintéticos, altamente tóxicos y de uso común.

Los métodos de aplicación no controlados en el campo y la eliminación de envases son los factores más importantes que intervienen en la contaminación de aguas subterráneas. Estos pesticidas se aplican en forma líquida (atomizados) y sólidos (polvo o gránulos), alcanzando éstos con el agua de lluvia los niveles freáticos en terrenos permeables.

c) Contaminaciones puntuales.- Este tipo de contaminación es debida al almacenamiento de fertilizantes orgánicos naturales (estiércol) e inorgánicos, exceso de excrementos de ganado en establos y fosas sépticas.

#### Contaminación Industrial.-

Toda industria en el proceso de transformación de los recursos naturales desecha una gran variedad de sustancias químicas, orgánicas e inorgánicas en estados sólido, líquido y graseoso que forma parte de los recursos o que se incorporan en alguna parte del proceso, los cuáles actúan como contaminantes de aguas subterráneas al infiltrarse en el terreno donde éstas se depositan.

La actividad industrial origina gran diversidad de productos de desechos que si son líquidos se descargan en aguas corrientes y si son sólidos se depositan en basureros industriales, los cuáles no siempre son diseñados ni supervisados, pudiendose originar lixiviados con alto grado de toxicidad. Se sabe que algunos son dañinos para el hombre, en tanto que los efectos de otros son mínimos y/o desconocidos. Algunos desechos industriales son compuestos orgánicos que pueden ser degradados por las bacterias, pero muy lentamente, de modo que llevan olores y sabores desagradables a lo largo de las corrientes de agua y hasta distancias considerables; por ejemplo, el desagüe doméstico contiene cantidades significativas de sustancias no biodegradables de origen desconocido y que algunas de éstas reaccionan con el cloro, que se utiliza para desinfectar el agua. Estos compuestos orgánicos clorinados son de graves consecuencias ya que pueden actuar como agentes cancerígenos. Los metales se

corroen (se oxidan) en el agua, y los productos disueltos o suspendidos de la oxidación se convierten en contaminantes. El plomo es uno de los venenos industriales más importantes transportados por el agua, su fuente principal la ha constituido siempre la tubería de plomo utilizada en las redes de suministro de agua. El plomo y arsénico fluyen a través de minerales que los contienen y dan lugar a venenos acumulativos. Los compuestos de otros metales como cobre, cadmio, plata y cromo son contaminantes industriales del agua, siendo este último el mejor indicador de contaminación industrial. Debido sobre todo a la alta concentración de metales pesados, las sustancias inorgánicas pueden llegar a ser tóxicas. Las sustancias orgánicas sintéticas tienen un grado de toxicidad variable y sus constituyentes presentan por lo regular alta resistencia a la degradación (fenoles, detergentes, grasas, insecticidas, etc.). Habría que tomar en cuenta que se han clasificado más de 6,000,000 de compuestos orgánicos, 40,000 de los cuales son generados de manera constante en diversos procesos industriales. Las sustancias orgánicas naturales son tóxicas en bajo grado pero pueden ser contaminantes portadores de virus y bacterias.

Las fuentes principales de contaminación industrial son:

- a) Aguas residuales vertidas sin control ni tratamiento en cauces, en pozos de inyección, depósitos de aguas tratadas o en cualquier tipo de terreno. Por lo general su contenido es rico en grasas, aceites y otros derivados del petróleo.
- b) Aguas con tratamiento insuficiente y usadas en agricultura o incorporadas a la red hidrológica local.
- c) Residuos sólidos o líquidos que son vertidos en terrenos permeables con un poder depurador natural insuficiente (Hidrocarburos, salmuera).
- d) Almacenamiento de materias primas líquidas o sólidas.
- e) Accidentes en el transporte de sustancias contaminantes, especialmente las tóxicas.
- f) Las fugas de tanques de almacenamiento y conducciones de tubería en un período de tiempo considerable.
- g) Desperdicios mineros. -

Es una contaminación netamente mineral que se relaciona con evacuaciones de aguas de mina y con lavaderos de mineral, por lavado de escombreras por el agua de lluvia o aguas de superficie, en especial aquellas escombreras que contienen materiales oxidables, tales como sulfuros y materias carbonosas. La acumulación de los residuos mineros recibe la denominación de "hales". En el procesamiento de sales solubles como en la fabricación de la potasa, se pueden tener vertidos muy importantes de salmueras. En la minería del petróleo se obtienen cantidades considerables de aguas de salinidad elevada que son también una importantes fuente de

contaminación mineral de aguas subterráneas. Algunas veces puede existir una contaminación orgánica derivada del vertido de aceites de flotación degradados o de productos relacionados con el petróleo.

Existen métodos de explotación minera que con determinantes en los procesos de contaminación y que a continuación se citan:

i) El sistema de explotación con hundimientos controlados, pueden ocasionar la conexión de acuíferos situados al techo, o provocar accesos de aguas superficiales a través de las subsidencias, con los posibles aportes de mala calidad.

ii) La explotación a cielo abierto es un camino directo a la entrada de aguas contaminantes desde el exterior o a través de la acción antrópica desarrollada en la explotación.

iii) La explotación con relleno supone la introducción de materiales contaminantes y rocas solubles con aportes también contaminantes a las aguas, a través de la fácil comunicación que constituyen los huecos mineros.

iv) La explotación por disolución de minerales solubles en agua, tales como la sal común, potasa, bórax, fosfatos y natrón, se realiza mediante inyección de agua en el yacimiento, a través de pozos y sondeos con la posterior extracción de agua. El recorrido del agua puede alterar la calidad del acuífero, por tratarse de productos altamente contaminantes.

v) En muchos casos también hay que tener presente la utilización de los huecos formados en profundidad, para el almacenamiento de gas licuado, gas natural u otros hidrocarburos, así como los residuos radiactivos, que su vez pueden ser fuente de contaminación.

Estos procesos de explotación a menudo requieren eliminar importantes cantidades de salmueras, que hay que considerar como fuentes contaminantes de primera magnitud. Además, éstos métodos no sólo plantean el problema temporal de la contaminación, sino que dejan latente unas condiciones muy favorables para que ésta continúe.

Las sustancias contaminantes aportadas por las fuentes anteriores sufren un proceso de autodepuración cuando se infiltra por la zona no saturada y dependiendo de su espesor y del tipo de terreno será el grado de depuración.

Diversidad de desechos sólidos industriales:

- |                             |                                 |
|-----------------------------|---------------------------------|
| - Desechos de acetileno     | - Desechos de la manufactura de |
| - Desechos agrícolas        | de alimentos.                   |
| - Aluminio                  | - Residuos de productos         |
| - Antimonio                 | animales                        |
| - Ceniza, escorias y polvos | - Asfalto                       |
| de chimenea                 | - Residuos de bausita           |



- Berilio
- Latón
- Desechos de ladrillería
- Bronce
- Calcio
- Desperdicios químicos
- Carbón
- Café
- Algodón
- Desperdicios de Fluoruro
- Residuos de frutas
- Vidrio
- Yeso
- Escoria de fluoruro de hidrógeno
- Plomo
- Cal
- Magnesio
- Mica
- Melazas
- Chatarra no ferrosa
- Desechos orgánicos
- Papel
- Salmuera
- Desechos de cerámica
- Escoria y desechos de pirita
- Espumas de sal
- Productos pesqueros comestibles
- Remolacha
- Azufre
- Tetractilo de plomo
- Estaño
- Tabaco
- Uranio
- Desperdicio de hortalizas
- Lana
- Aleación de bronce
- Bismuto
- Desechos de cervecería, destilación y fermentación
- Cadmio
- Carburos
- Cromo (Cromatos)
- Cobalto
- Cobre
- Desperdicios de lechería
- Desechos de fundición
- Germanio
- Fibra de vidrio
- Cáñamo
- Residuos inorgánicos
- Hierro
- Desechos de curtido y manufactura de pieles
- Manganeso
- Lana mineral
- Molibdeno
- Nylon
- Pintura
- Residuos de Petróleo
- Plásticos
- Metales preciosos
- Refractario
- Caucho
- Arena
- Sodio
- Almidón
- Fibras de caña de azúcar
- Tantalio
- Textiles
- Titanio
- Tungsteno
- Vanadio
- Desechos de madera
- Cinc
- Etcétera.

En nuestro medio no existe el control y manejo óptimos de los desechos industriales peligrosos como son los derivados del petróleo, industria química y farmacéutica, gasera, cementera, minera y otras pequeñas como son las tintorerías, laboratorios, talleres mecánicos y de material eléctrico y electrónico. En los valles de México y Toluca la presencia de industrias ha producido la acumulación de desechos tóxicos que han ocasionado trastornos en la salud de la población, como es el caso de una planta procesadora de cromatos de sodio y potasio y sulfatos de sodio, con el consiguiente "entierro" sin mayor estudio o medidas adecuadas de depositación de éstos compuestos. Los desechos industriales peligrosos constituyen un riesgo potencial en todas las etapas de su ciclo; durante su generación, recolección y transporte, almacenamiento o en los sitios de recepción, así como durante su tratamiento y disposición final. Considerando cada una de las etapas mencionadas, debe haber un control sistemático como

parte de una política integral de los manejos adecuados de éstos desechos. Este control permitiría que desde la fuente generadora se separaran los desechos de acuerdo con sus propiedades y características. Con ello se facilitaría su reuso, en caso de ser factible, así como su tratamiento adecuado y se evitaría que se mezclaran con otras sustancias que aumentan su volumen y peligrosidad, o bien se lograría hacer más seguro su confinamiento en los sitios destinados para su disposición final. El programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) consideran prioritarios los siguientes desechos peligrosos:

- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| - Ácidos                    | - Plaguicidas, pesticidas y herbicidas                                   |
| - Bases industriales        | - Metales y sus derivados  |
| - Intermediarios químicos   | - Productos para la guerra química                                       |
| - Plastificantes compuestos | - Catalizadores y reactivos  |
| - Solventes                 | - Productos derivados del petróleo como acetonas, fenoles, ésteres, etc. |
| - Saborizantes y aromas     |  |
| - Cianuros                  |  |
| - Productos farmacéuticos   |  |

Los problemas de contaminación de aguas subterráneas por sustancias peligrosas pueden ser agrupadas en tres categorías generales:

- 1) Contaminación causada por líquidos que permiten mezclarse con otros (miscibles) y por medios porosos que ayudan a llevarse a cabo la mezcla,
- 2) contaminación causada por líquidos poco factibles a mezclarse (inmiscibles), de menor densidad que el agua tal que éstos no se mueven en y por debajo del acuífero y
- 3) contaminación por líquidos inmiscibles que son más densos que el agua y por lo tanto pueden hundirse por la zona permeable.

La primer categoría es el problema clásico de contaminación de aguas subterráneas, la segunda incluye problemas referentes a aceites y gasolinas, La tercera se refiere a un gran número de productos líquidos producidos por la industria química. Algunos hidrocarburos son menos viscosos que el agua mientras que otros son moderadamente solubles. Estas características representan una severa amenaza a la calidad del agua porque pueden moverse en la parte **baja** de la zona permeable. Los componentes contaminantes están **sujetos** a la influencia de procesos de atenuación como **dispersión**, **absorción**, **intercambio iónico** y **biodegradación**.

Lluvia ácida. - Otra fuente de contaminación es la llamada lluvia ácida y es aquella cuyo pH es menor que 5.6, o sea, es una mezcla de ácidos fuertes y débiles. El pH de la lluvia es el resultado final de las reacciones de neutralización entre ácidos y bases presentes en la misma. Los ácidos fuertes son las sustancias que influyen sobre el pH de la lluvia. Los contaminantes emitidos a la atmósfera van a ser dispersados por el viento, éstos van a ser eliminados de la atmósfera por deposición húmeda, o sea, por la lluvia, granizo o nieves. El proceso es muy complejo, ya que según

el tipo de sustancia ésta se puede eliminar en diferentes formas.

La incorporación dentro de las nubes consiste en la introducción de contaminantes durante los procesos de condensación del vapor de agua en las nubes, aquí los contaminantes forman parte de los núcleos de condensación, quedando atrapados dentro de las gotas que integran la nube. Al caer las gotas como tales, o en forma de granizo o nieve, llevan los elementos contaminantes al suelo, éstos a su vez se filtran a través del subsuelo, llegando así al acuífero y por lo tanto lo contamina. Los principales ácidos contaminantes por el fenómeno de la lluvia ácida son:



#### Intrusión marina. -

Es una fuente de contaminación debida al movimiento permanente o temporal del agua salada tierra adentro, desplazando el agua dulce. El agua captada en un acuífero se contamina (saliniza) cuando la porción activa de la captación se ve afectada por la zona de mezcla de agua dulce y agua salada o por la propia agua salada, porque la extracción ocasiona movimientos relativos de la superficie piezométrica, los cuales dan lugar a movimientos ascendentes de la interfase. Esta contaminación puede provenir de la infiltración de agua de otros acuíferos salinizados. También debe considerarse la contaminación por inundaciones de agua salada durante tormentas si el pozo está en una llanura costera de muy baja costa, o debido a la mayor penetración del agua del mar en ríos y lagunas costeras durante las mismas, o incluso por lluvias salinas originadas por fuertes tormentas litorales. Entre dos fluidos miscibles, tales como agua dulce y agua salada, no existe una interfase brusca sino que se pasa de un fluido a otro a través de una zona de mezcla. Esta zona de mezcla o de transición, refleja con intensidad variable las propiedades químicas e hidráulicas de cada uno de los líquidos originales y su anchura depende de la difusividad y dispersividad del medio y de las características del movimiento.

La zona de mezcla dentro de la cual se sitúa la interfase teórica, es una zona dinámica en la cual se mueve no sólo como consecuencia de las diferencias de densidades sino también debido a cambios de nivel piezométrico en ambos líquidos. El peso específico del agua dulce se puede tomar como  $= 1000 \text{ kg/m}^3$  con escaso error dentro del margen de temperaturas normales. El peso específico del agua marina es mayor, y puede tomarse entre 1020 y 1030  $\text{kg/m}^3$  según la salinidad y temperatura, siendo el valor más usual el de  $= 1025 \text{ kg/m}^3$  (para 1900 ppm en  $Cl^-$ ). La viscosidad del agua marina es del orden de un 30% mayor que la del agua dulce a igual temperatura.

Las relaciones entre el agua dulce y el agua salada en regiones costeras es de gran interés ya que muchos acuíferos vierten sus aguas directamente en el mar. Este flujo de agua dulce crea un

estado de equilibrio entre ambas aguas que sólo sufre modificaciones naturales a largo plazo, debidas a cambios climáticos o movimientos relativos de la tierra y el mar. La ubicación de poblaciones, en México, a lo largo de sus costas y generación de agricultura e industria, originan una importante extracción de agua subterránea y por lo tanto, una substancial modificación de las relaciones agua dulce - salada.

El análisis de esta relación es complejo por las diferencias entre los fluidos (viscosidad, densidad y temperatura). Para la mejor comprensión de esta relación se especificará la formula de Ghyben - Herzberg:

Su estudio se basa en el equilibrio estático de las columnas de agua de diferente densidad, asumiendo las siguientes hipótesis:

i) El flujo de agua dulce es perfectamente horizontal y por lo tanto el potencial es constante a lo largo de cualquier vertical.

ii) No existe flujo de agua salada.

iii) La interfase es un plano, no existiendo zona de mezcla.

Equilibrándose la presión del agua dulce y salada en un punto arbitrario, se encuentra que la interfase se sitúa a una profundidad bajo el nivel del mar igual a 40 veces la cota del agua dulce sobre el nivel medio del mar en aquel punto.

Las fuentes de contaminación de aguas subterráneas se pueden clasificar sobre una base posicional o geográfica: puntual, lineal y dispersa.

Las fuentes puntuales son tales como fosas sépticas, desperdicios municipales sólidos, desperdicios de animales, desperdicios mineros y otros sistemas relativamente pequeños de distribución de desechos en el suelo.

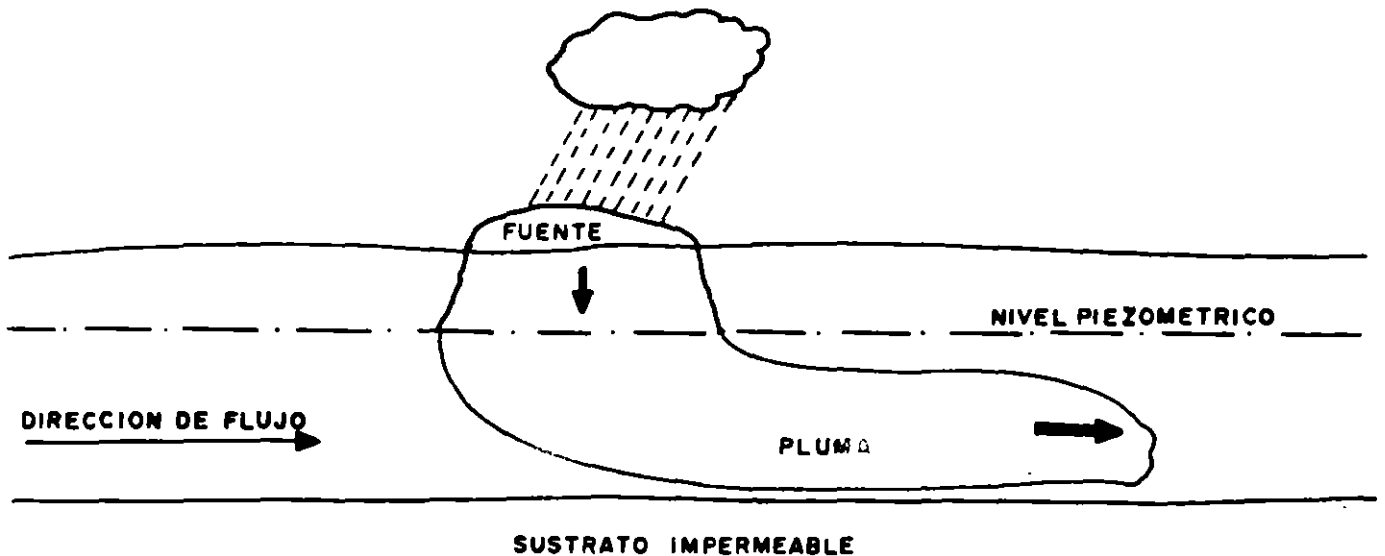
Las fuentes lineales son aquellas tales como derrames en sistemas de alcantarillado y tuberías, desperdicios mineros, salmuera, etc.

Las fuentes dispersas se extienden a través de grandes áreas, tales como la aplicación de químicos sobre el terreno para la agricultura, rellenos sanitarios, desperdicios mineros, "cementeros" clandestinos de sustancias o elementos tóxicos, intrusión de agua de mar, etc.

## Mecanismos de Contaminación:

La fenomenología que controla el desplazamiento de un poluante a través de una matriz porosa puede ser transcrita en terminos tales que permiten establecer ecuaciones que describen la migración de un soluto en el flujo subterráneo.

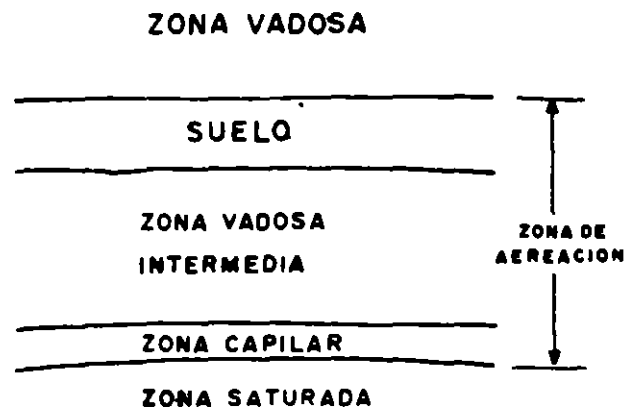
El establecimiento de un marco teórico adecuado requiere antes de la proposición de un modelo general hidrodinámico que conceptualiza el flujo de un poluante hacia un acuífero.



Un esquema **general** puede ser representado por una fuente puntual en la superficie del terreno con flujo del poluante en la zona no saturada el cual se continua en la franja capilar para llegar a la zona saturada en donde se inicia el proceso de mezcla y migración en el flujo subterráneo dando lugar a una nube o pluma contaminante.

### Transporte en la Zona No Saturada:

El flujo y transporte son mucho más complejos en la zona no saturada que en la saturada. Refiriéndose esta de manera genérica, como la parte que se encuentra arriba del nivel de saturación, aunque la presencia de la franja capilar provoque - que se busque una definición más concisa aceptándose ahora la que establece que se trata de una zona continua de fase gaseosa.



Cuando el poluante se desplaza en ella origina fuerzas interfasiales (fase líquida y gaseosa) que dan a esta zona propiedades únicas.

El contaminante migra como resultado de procesos advectivos y dispersivos en ambas fases. El flujo del soluto es controlado por la carga hidráulica  $h^*$ , misma que es originada por la presión ( $\Psi$ ) y la fuerza de gravedad ( $Z$ ).

donde  $\Psi$  se relaciona con la succión, la presión capilar y un potencial asociado a la matriz porosa. De estas componentes la succión es la presión negativa que tiende a extraer el agua de la matriz porosa. La forma en la cual el medio retiene el agua contra la presión negativa es una de las propiedades fundamentales de los medios no-saturados. Debiéndose esto por un lado a las fuerzas de absorción y por otra o las fuerzas capilares.

Las primeras resultan de la interacción de la molecula de agua, cuyo lado positivo es orientado hacia la carga negativa de las superficies minerales. Las segundas ocurren como resultado de la interfase curva entre la fase líquida y la gaseosa. La primera predomina en los medios secos o con materiales de textura fina.

Transporte en la zona saturada:

El transporte de un soluto en un medio saturado puede ser transcrito matemáticamente considerado que las reacciones entre la nube y el medio son mínimas, esto es se desprecian fenomenos de absorción, precipitación, reducción e intercambio iónico.

Si consideramos como primer y más simple, mecanismo, el transporte del soluto como producto solo de la velocidad del flujo, esto es por absorción, el desplazamiento tendra lugar a la velocidad lineal promedio del flujo, entonces la evolución -

de advección,

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \bar{v} \frac{\partial C}{\partial x}$$

donde  $\bar{v} = \bar{q} / \eta$  y  $\bar{q}$  es el flujo darciano y  $\eta$  la porosidad efectiva.

La advección es también referida por algunos autores como convección.

Este último término no es ampliamente usado por su asociación a transporte de masas como respuesta a gradientes de densidad inducida por diferencias en temperatura.

Si el soluto se desplaza en el flujo con velocidades y direcciones distintas a  $\bar{v}$  por efectos de variaciones en la permeabilidad, por el proceso de mezcla por variaciones aleatorias en la fase acuosa y por difusión molecular interviene lo que se conoce como dispersión que no es otra cosa que un mecanismo de dilución del poluante en el flujo subterráneo.

Como se menciona la dispersión es causada por efectos microscópicos y macroscópicos.

A nivel microscópico la dispersión incluye los efectos de dispersión mecánica y difusión molecular la primera debido a las variaciones de velocidad entre el centro y las paredes de un poro y a las variaciones causadas por la inhomogeneidad en la poro



sidad. La segunda es debido a que los constituyentes del poluante (especies) se mueven de altas a bajas concentraciones.

A escala macroscópica la dispersión es provocada por la presencia de heterogeneidades en la matriz porosa.

La transcripción matemática del transporte por dispersión considera la absorción y en su forma más simple unidimensional, para solutos que no interactúan con la matriz porosa, circulando en un medio saturado, homogéneo, isotrópico y con régimen de flujo estacionario, es

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \bar{v} \frac{\partial C}{\partial x}$$

en donde el parámetro nuevo es  $D$  que es el coeficiente de dispersión hidrodinámica - en la dirección del flujo.  $D$  resume los efectos macro y micro por lo que puede expresarse en ambos términos esto es (Freeze, 1979).

$$D = \alpha \bar{v} + D^*$$

con  $\alpha$ , la dispersividad dinámica que es una propiedad del medio y  $D^*$  que es coeficiente de difusión molecular.

Si la velocidad del flujo es baja, esto es  $\bar{v}$  puede ser considerada cero, la advección se elimina y el coeficiente de dispersión se reduce al de difusión, transformándose la ecuación de absorción -dispersión en una de difusión

$$\frac{\partial C}{\partial t} = d' \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

con  $d'$  el coeficiente de difusión efectiva. Cuando ocurren reacciones químicas, pueden darse cambios en la concentración del soluto. Estas reacciones químicas y bioquímicas pueden ser agrupadas en 6 categorías: reacciones de absorción-desabsorción reacciones ácidas-básicas, solución-precipitación, oxidación-reducción, complejación, formación de pares iónicos y síntesis microbioso celular. Los contaminantes radioactivos son influenciados además por el decaimiento radiactivo de sus componentes.

Así para medios saturados homogéneos e isotrópicos con flujos estacionarios, la ecuación de advección-dispersión que incluye los efectos de absorción es,

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \bar{v} \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\rho_r}{\eta} \frac{\partial S}{\partial t}$$

con  $\rho_r$  la densidad de la matriz porosa y  $S$  la masa del constituyente químico absorbido por la parte sólida de la matriz por unidad de masa de sólido, esto es  $\frac{\partial S}{\partial t}$  representa la velocidad a la que el soluto es absorbido y  $\frac{\rho_r}{\eta} \frac{\partial S}{\partial t}$  nos indica el cambio en la concentración en el fluido a causa de los fenómenos de absorción engloba las propiedades "medibles" del medio y de las reacciones químicas de inte-

res.

Los fenomenos de absorción llegan a ocurrir a velocidades mayores del flujo, S. que pudiera referirse como el grado de absorción es una función de la concentración del soluto en solución

$$\Rightarrow S = f(c)$$

$$\Rightarrow + \partial S / \partial t = \partial S / \partial c \cdot \partial c / \partial t$$

$$\Rightarrow \delta_r / \eta \cdot \partial S / \partial t = \delta_r / \eta \cdot \partial S / \partial c \cdot \partial c / \partial t$$

en la que el termino  $\partial S / \partial c$  nos indica partición del soluto entre la solución y el solido, la cual es determinada en laboratorio a temperatura constante por lo que las relaciones entre S y C son conocidas como isothermas.

Si el soluto incluye especies radioactivas a la ecuación habría que agregar un termino más que incluya el decaimiento del soluto.

$$\partial c / \partial t = D \partial^2 c / \partial x^2 - \bar{v} \partial c / \partial x + \delta_r / \eta \partial S / \partial t - \lambda C$$

$$\text{con } C = C_0 e^{-\lambda t} \quad \text{y} \quad \lambda = \ln 2 / T_{1/2} \quad \text{con}$$

$T_{1/2}$  la vida media del elemento radioactivo.

La expresión anterior describe el transporte unidimensional de un soluto en un medio homogéneo e isotrópico y considera los fenomenos más importantes que contro-

lan el desplazamiento del mismo.

El primer termino es el dispersivo el segundo es el advectiono, el tercero es el que considera la absorción y el último el que involucra el decaimiento.

## CALIDAD DEL AGUA:

La calidad es la propiedad del agua que le permite seguir siendo útil, de beber al hombre y a especies animales, sustenta toda la vida marina, sirve para irrigar la tierra, y sirve como medio de recreación.

Esta calidad se puede conocer a través del contenido de elementos y sustancias en el agua, haciendo un exámen minucioso en el cual se obtengan resultados cualitativos y cuantitativos de cada uno de ellos.

Para definir el grado de contaminación del agua se determinan los parámetros por medio de análisis físicos, químicos orgánicos e inorgánicos y bacteriológicos, incluyendo los virales.

Dependiendo de las características del agua, cada muestreo es diferente, o sea, su forma de recolección, cantidades de muestras, tipos de envases, limpieza de los mismos, etc., esto es en base al grado de contaminación del agua a tratar.

Los resultados de los análisis se comparan con las normas establecidas por el Gobierno en base a la normatividad internacional. Las pruebas de laboratorio son de gran importancia, ya que ayudan a formar una opinión de que tan adecuada resulta el agua de una fuente de abastecimiento para un uso determinado. Los principales -

criterios para evaluar el grado de contaminación del agua se basan en los siguientes

factores:

- concentración de microorganismos coliformes
- déficit de saturación de oxígeno
- demanda bioquímica de oxígeno
- concentración de sólidos en suspensión
- concentración de petróleo, fenoles, agentes tóxicos
- radiactividad

Los análisis que se hacen al agua se dividen en:

a) Físicos

- Temperatura. La variación de la temperatura puede indicar principio de contaminación. La temperatura del agua contaminada tiende a ser mayor que la natural en el mismo medio.
- Color. La **variedad** en el color da indicios de contaminación, sobre todo cuando es diferente al color natural del agua.
- Olor. En general el olor se debe a la presencia de materia orgánica en descomposición o a compuestos químicos como fenoles.
- Turbiedad. Las aguas contaminadas normalmente son turbias, porque contienen ma-

teria sólida en suspensión o volátil.

-Residuos sólidos. Se llama residuo a aquel que queda en un recipiente después de la evaporación de una muestra de agua y de su secado subsecuente a una temperatura definida.

-Conductividad eléctrica. Mide la concentración de electrolitos debido a la conductancia tan alta que tienen los iones hidrógeno u oxhidrilo. La conductividad eléctrica se relaciona con la concentración de sólidos disueltos.

-Resistividad eléctrica. Se relaciona con el grado de mineralización del agua.

-Radiactividad. La contaminación del agua se ha incrementado debido a la instalación de Plantas nucleares y el acelerado uso de radioisótopos, tanto en la industria como en la medicina. La vida media de los isótopos que constituyen los principales desperdicios radiactivos son:

	Elemento	vida media
	Bario 140	12 días
	Cesium 144	28 días
	Cesium 137	30 años
	Estroncio 89	53 días
	Estroncio 90	19.9 años
	20	

Iodo	131	8	días
Itrio	91	61	días
Niobio	95	35	días
Zirconio	95	65	días

b) Químicos.-El análisis químico proporciona datos útiles y específicos respecto al estado de descomposición de las aguas negras o corrientes contaminadas, para fines de tratamiento, evacuación y prevención.

i) Gases disueltos

- Oxígeno disuelto. Es muy importante la presencia de oxígeno disuelto en el agua, para que se lleve a cabo el proceso aeróbico de descomposición de la materia orgánica.

-Amoníaco. La presencia de amoníaco en el agua es frecuentemente interpretado como una contaminación reciente con productos nitrogenados; en aguas subterráneas -- puede provenir también de la disolución de estratos que contengan sales amoniacaes.

-Bióxido de Carbono

-Cloro

-Hidrógeno

-Sulfuro de Hidrógeno



-Nitrógeno. En los análisis de agua negras se pueden hacer cinco tipos de determinaciones de nitrógeno: amoniacal, orgánico o protéico, albuminoide, nitritos y nitratos.

Los nitratos provienen generalmente de la materia orgánica nitrogenada de origen animal. Los nitritos se relacionan con una contaminación de aguas negras o deechos industriales sujeta a oxidación.

-Oxígeno

--Bióxido de Azufre

ii) Cationes

-Aluminio

-Amonio

-Bacterias reductoras del sulfato.

-Toxicidad aguda para la vida marina.

d) Bacteriológicos.-

Las corrientes contaminadas (aguas negras o industriales) contienen microorganismos que pueden clasificarse en : algas, hongos, bacterias, protozoos y formas superiores de vida. Las bacterias tienen la particularidad de reproducirse rápidamente, algunas

pueden crecer y subdividirse en sólo 15 minutos. De acuerdo a las temperaturas óptimas para el desarrollo de las bacterias, éstas se dividen en psicrófilas cuando viven entre los 15° y 20° C; mesófilas entre 25° y 45° C termófilas entre 45° y 55° C.

Las bacterias que producen enfermedades en el hombre se denominan patógenas y en general son parásitos que viven a la temperatura del cuerpo humano. Las principales enfermedades causadas por bacterias y transmitidas por el agua son la fiebre tifoidea, la disentería, el cólera y ciertos tipos de trastornos gastrointestinales.

De acuerdo al medio de desarrollo las bacterias se dividen en:

1. Naturales del agua En general no son patógenas; son típicas las pseudomonas, la serratía flavobacterium y chorombacterium.
2. Provenientes del suelo. No son patógenas y son frecuentes los bacillus y aerobacillus.
3. De origen intestinal o de aguas negras. Pueden ser o no patógenas; entre las no patógenas se hallan la Escherichiacoli (típica del hombre), aerobacter y proteus. Entre las patógenas la salmonella y la shigella; y el bacillus clostridium que es altamente peligrosa.

Número más probable (NMP). La estimación del conjunto de bacterias del grupo - -

coliforme presentes en un determinado volúmen de agua, será el índice de la intensidad de contaminación. Para diferentes números de muestras con pruebas de fermentación, es posible hacer una estimación cuantitativa del número de bacterias coliformes presentes, con esto se puede determinar el número probable de organismos de ese grupo que haya en un determinado volúmen de agua. Esto proporciona un índice de contaminación, el cual usualmente se expresa como "número más probable" (NMP) de bacterias del grupo observado. El NMP se basa en leyes de probabilidad empleando los resultados positivos y negativos de tubos incubados y de acuerdo con la porción de muestra.

Algas.-El sabor y olor de algunas aguas puede deberse a la proliferación de vegetales acuáticos unicelulares (algas) que flotan en forma libre. Generalmente son microscópicas. Las algas secretan aceites que son descargados durante sus proceso vitales y que son liberados después de la muerte y desintegración de las células, produciendo los olores y sabores característicos en las aguas. Las algas constituyen el alimento principal de los animales acuáticos; son productoras de oxígeno en el agua y facilitan la misma cuando se tiene bastante materia orgánica en vfa de descomposición, por otro lado obstruyen las fases de potabilización del agua, principalmente la de filtrado. Por su acción fotosintética, son muy importantes en los procesos de purificación de agua

contaminadas.

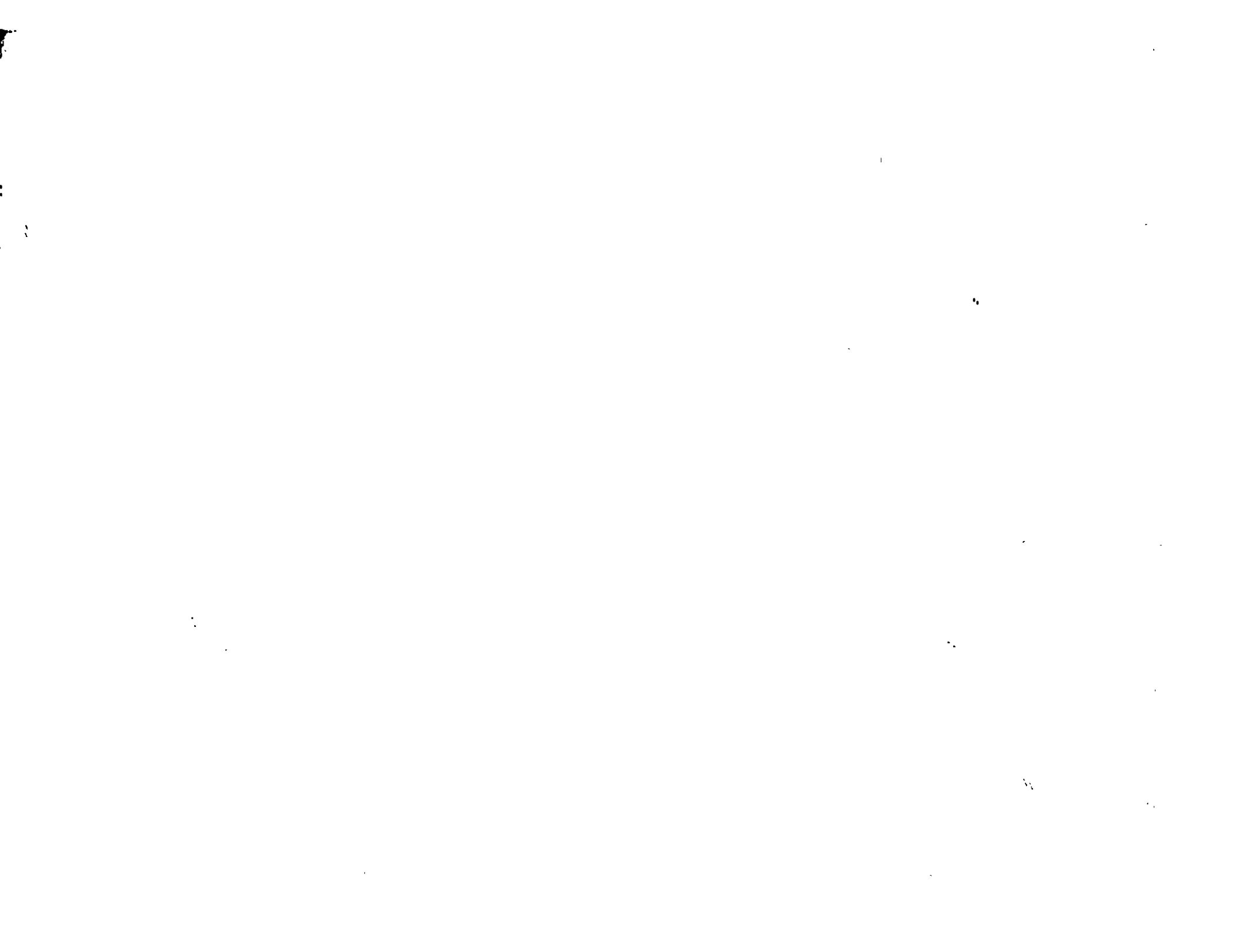


**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**C U R S O S    A B I E R T O S**  
**VII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS**  
**MODULO II: CONTAMINACION DE ACUIFEROS**

**RELLENOS SANITARIOS, IMPACTO AMBIENTAL, DISEÑO Y OPERACION**

**ING. FRANCISCO SUZAN COLOMBRES**



## **INDICE**

### **CAPITULO I**

#### **1.DEFINICION Y MARCO LEGAL**

**1.1 Definición de los Residuos Sólidos Municipales**

**1.2 Legislación**

### **CAPITULO II**

#### **1.PROBLEMÁTICA**

**1. Características Generales**

**1.1 Generación**

**1.2 Recolección y Disposición**

**1.3 Tratamiento y Reciclaje**

**1.4 Administración y Comercialización**

**1.5 Organización**

**1.6 Recursos Humanos y Participación**

#### **2.PROBLEMÁTICA**

**2.1 Indicadores y Costos del Servicio**

#### **3.VIABILIDAD DE RECUPERACION DE LOS COSTOS**

**3.1 Valor de recuperación de los subproductos**

**3.2 Requerimientos de Inversión**

**3.3 Estimación de Ingresos**

**3.4 Estimación de Egresos**

**3.5 Análisis de Resultados**

**3.6 Centros de Acopio**

#### **4.COMENTARIOS**

### **CAPITULO III**

### **3.RELLENO SANITARIO**

#### **3.1 Definición**

#### **3.2 Tipos de Terreno**

#### **3.3 Métodos de Disposición Final**

### **4.SELECCION DE TERRENOS APTOS**

#### **4.1 Geohidrología**

#### **4.2 Ciclo Hidrológico**

#### **4.3 Precipitación Pluvial**

#### **4.4 Evapotranspiración**

### **5.MECANICA DE SUELOS**

#### **5.1 Parámetros**

#### **5.2 Granulometría**

### **6.ESTUDIO TOPOGRAFICO**

### **7. VIDA UTIL**

#### **7.1 Generación de Residuos Sólidos**

### **8.DISEÑO DE CELDA DIARIA**

### **9.DISEÑO DE FRANJAS**

### **10.DISEÑO DE CAPAS**

### **11.DRENAJE DEL LIQUIDO PERCOLADO**

### **12.DRENAJE DE AGUA DE LLUVIA**

### **13.SISTEMA DE CAPTACION DE BIOGAS**



**14. OBRAS COMPLEMENTARIAS**

**15. SELECCION DE MAQUINARIA**

**15.1 Tipos de Maquinaria**

**16. COSTO DE INVERSION Y OPERACION**

**BIBLIOGRAFIA.**

# ***CAPITULO I***

## **1.- DEFINICIONES Y MARCO LEGAL**

### **1.1 Definición de Residuos Sólidos Municipales.**

Técnicamente, a los residuos sólidos municipales se les denomina residuos sólidos no peligrosos y son aquellos que provienen de las actividades desarrolladas en casa-habitación (residuos domésticos) y también los que se generan en sitios y servicios públicos y privados como son establecimientos y centros comerciales, calles, parques públicos, construcciones y demoliciones, etcétera (residuos no domésticos).

Por lo tanto, aquí no se incluyen residuos industriales y tampoco los residuos de hospitales, clínicas, sanatorios y laboratorios, los cuales deben ser sujetos a un manejo de confinamiento y/o incineración especial.

### **1.2 Legislación.**

La Constitución Política de nuestro país (Art. 115), la Constitución Política estatal y la Ley Orgánica del Municipio, establecen como facultad de los ayuntamientos, la prestación del servicio de limpia pública, su administración, la concesión parcial o total y establecimiento de cuotas y tarifas por prestación del servicio público.

Desde el punto de vista ambiental, la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente define que los criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo se aplicarán en la operación de los sistemas de limpia y de disposición final de residuos municipales en rellenos sanitarios (Arts. 134 y 135).

A esta misma Ley General (Art. 136) y la Ley Estatal de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, establecen que en el manejo y disposición de los residuos sólidos peligrosos se deba prevenir:

- A) LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO.**
- B) Las alteraciones en el proceso biológico de los suelos.**
- C) Las alteraciones en el suelo que afecten su aprovechamiento, uso o explotación.**
- D) Los riesgos de daños a la salud.**

Se señala asimismo que las facultades de manejo y disposición de residuos sólidos no peligrosos, el control de las instalaciones y la operación de los confinamientos o depósitos y la promoción del reuso o reciclaje, son de competencia municipal.

*Síntesis de las regulaciones actuales en materia ambiental.*

<b>ORDEN</b>	<b>LEYES</b>	<b>REGLAMENTOS</b>
<b>FEDERAL</b>	<p><b>.LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE</b></p> <p><b>.LEY DE AGUAS NACIONALES</b></p> <p><b>.LEY FEDERAL DE OBRA PÚBLICA</b></p>	<p><b>.EN MATERIA DE IMPACTO AMBIENTAL</b></p> <p><b>.EN MATERIA DE RESIDUOS PELIGROSOS</b></p> <p><b>.EN MATERIA DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.</b></p> <p><b>.EN MATERIA DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA</b></p> <p><b>.REGLAMENTO DE OBRA PÚBLICA.</b></p>
<b>ESTATAL</b>	<p><b>.LEYES ESTATALES DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE.</b> (Todos los Edo. excepto Campeche y Tlaxcala.)</p>	<p><b>.REGLAMENTOS EN MATERIA DE IMPACTO AMBIENTAL.</b></p> <p><b>.REGLAMENTOS EN MATERIA DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.</b></p> <p><b>.REGLAMENTOS EN MATERIA DE PREVENCIÓN Y CONTROL DEL AGUA.</b></p>
<b>MUNICIPAL</b>	<p><b>.REGULACIONES MUNICIPALES</b></p>	<p><b>.REGLAMENTOS DE POLICÍA Y BUEN GOBIERNO.</b></p> <p><b>.REGLAMENTOS MUNICIPALES DE LIMPIEZA.</b></p> <p><b>.BANDOS MUNICIPALES</b></p>

**Normas Oficiales Mexicanas con relación a Residuos Sólidos.**

<b>NUM. NORMA</b>	<b>TITULO</b>
- NOM-AA-15-85	Residuos sólidos municipales- muestreo- método de cuartos. SECOFL. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-16-84.	Residuos sólidos municipales. Determinación de humedad en desechos sólidos. SECOFL. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-18-84.	Residuos sólidos municipales. Determinación de cenizas. SECOFL. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-19-85	Residuos sólidos municipales. Peso volumétrico in situ. SECOFL. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-21-85.	Residuos sólidos municipales. Determinación de materia orgánica en desechos sólidos. SECOFL. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-22-85	Residuos sólidos municipales. Selección y cuantificación de subproductos. SECOFL.
- NOM-AA-24-84	Residuos sólidos municipales. Determinación de nitrógeno total. Cancela NOM-AA-23-75. SECOFL. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-25-84.	Residuos sólidos municipales. Determinación de pH método potenciométrico. Cancela NOM-AA-25-75. SECOFL. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-31-76.	Residuos sólidos municipales. Determinación de azufre en desechos sólidos. SECOFL. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-32-76	Residuos sólidos municipales. Determinación fósforo total en desechos sólidos. SECOFL. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-33-85.	Residuos sólidos municipales. Determinación del poder calorífico superior. SECOFL. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-52-85.	Residuos sólidos municipales. Preparación de muestras en el laboratorio para su análisis. SECOFL. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-57-85.	Residuos sólidos municipales. Determinación de la generación. SECOFL. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-57-85.	Residuos sólidos municipales. Determinación de la relación carbono-nitrógeno. SECOFL. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-58-85.	Residuos sólidos municipales. Determinación de hidrógeno partir de la materia orgánica. SECOFL. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-58-85	Residuos sólidos municipales. Determinación del porcentaje de oxígeno en materia orgánica.
- NOM-AA-57-85	Residuos sólidos municipales. Terminología de residuos sólidos. SECOFL. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-93-84.	Residuos sólidos municipales. Determinación de azufre. SECOFL. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-94-85.	Residuos sólidos municipales. Determinación del fósforo total. SECOFL. Dirección General de Normas.

## ***CAPITULO II***

## 1. CARACTERISTICAS GENERALES

Los residuos que se vierten sin control provenientes de las actividades productivas, están ocasionando el deterioro del medio ambiente contaminando el agua, aire y suelo. Aunado a las altas tasas de crecimiento demográfico y los problemas de concentración y dispersión de la población en México, ha dificultado atender en forma oportuna las demandas del servicio de aseo urbano.

Una de las principales fuentes de contaminación del suelo, así como del medio ambiente, es la provocada por la disposición no sanitaria de los residuos sólidos municipales e industriales.

### 1.1. Generación

La generación de basura domiciliaria varía de 0.3 a 0.6 kg/hab/día, correspondiendo el menor valor a zonas rurales, sin embargo, si se incluyen los residuos sólidos que se generan en mercados, comercios y servicios de una localidad la generación per cápita puede llegar hasta 1.0 kg/hab/día. (Cuadro 1)

Se estima, que los residuos sólidos municipales que generan aproximadamente 81 millones de habitantes en la República Mexicana, es del orden de 80,000 toneladas al día, de los cuales el 84% de la basura total proviene de las zonas urbanas y el 16% de zonas rurales. (Cuadro 2)

Respecto a los residuos sólidos industriales, se genera en el país más de 400 mil toneladas al día (146 millones/año) y el 4% del total son de características altamente peligrosas.

La industria petroquímica, en sus procesos de refinación y petroquímica primaria, genera anualmente a nivel nacional 1,710,442 tons., de residuos industriales, de los cuales, el 90.15% son semisólidos, 9.6% líquidos y .25% sólidos. Del total el 13% se consideran peligrosos (222,358 tons.) y el 87% no peligrosos. Actualmente, se está reciclando el 1% de los residuos siendo susceptibles de reciclar 188,149 Tons. (11%).

### 1.2 Recolección y Disposición

A nivel nacional se recolectan 72,000 Tn/día, es decir, 70% del total generado; las 18,000 toneladas restantes quedan tiradas en lotes baldíos, calles, barrancas, ríos, creando las condiciones propicias para la proliferación de la fauna nociva, quemas a cielo abierto y posibilitando la contaminación de los cuerpos de agua. (Cuadro 3 y Fig.1)

**CUADRO No. 1**

**GENERACION PER CAPITA EN ALGUNOS PAISES Y CIUDADES**

<b>PAISES</b>		<b>CIUDADES</b>	
CANADA	1,900 kg/h/d	MEXICO, D.F.	1.00 kg/h/d
E.U.A.	1,500 kg/h/d	RIO DE JANEIRO	0.90 kg/h/d
HOLANDA	1,300 kg/h/d	BUENOS AIRES	0.80 kg/h/d
SUIZA	1,200 kg/h/d	SAN JOSE	0.74 kg/h/d
JAPON	1,000 kg/h/d	SAN SALVADOR	0.68 kg/h/d
EUROPA(OTROS)	0.900 kg/h/d	TEGUCIGALPA	0.52 kg/h/d
INDIA	0.400 kg/h/d	LIMA	0.50 kg/h/d
MEXICO	0.640 kg/h/d		

ARCH.GENPERCA.WK1



**CUADRO No. 2**  
**CARACTERISTICAS GENERALES SOBRE ASEO URBANO EN**  
**MEXICO Y AMERICA LATINA**

INDICADOR	UNIDADES	MEXICO 1990	LATINOAMERICA 1990*
TOTAL POBLACION URBANA	MILLONES DE HAB. MILLONES DE HAB.	81.2 59.2	367 266
CIUDADES CON MAS DE 1,000,000 HAB.	ADIMENSIONAL	6	36
GENERACION PERCAPITA	KG/HAB/DIA	0.64	0.54
GENERACION TOTAL DE BASURA	MILES DE TONELADAS/DIA	62	198
COBERTURA DE RECOLECCION	POR CIENTO	75	82 (1)
COBERTURA DE DISPOSICION SANITARIA	POR CIENTO	40	30
TRABAJADORES FORMALES	MILES DE PERSONAS	N.D.	250
TRABAJADORES INFORMALES	MILES DE PERSONAS	N.D.	100

\* OPS/OMS

SITUACION REGIONAL DEL ASEO URBANO  
 JUNIO 1991

N.D. NO DISPONIBLE

1) PARA CIUDADES MAYORES DE UN MILLON  
 DE HABITANTES

ARCH.FSC1.WK1

CUADRO No. 3

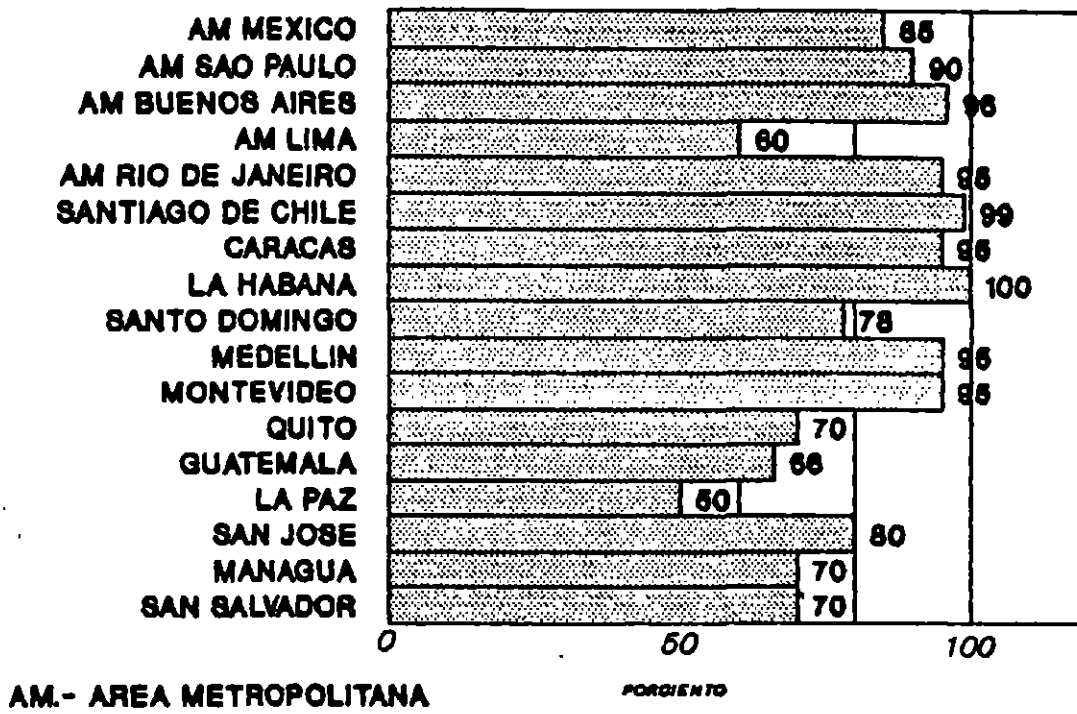
GENERACION Y RECOLECCION EN ALGUNAS LOCALIDADES

GENERACION DE BASURA		
CIUDADES	TONDA	%
AM MEXICO	11,000	20.0
AM SAO PAULO	10,000	19.0
AM BUENOS AIRES	8,000	15.0
AM LIMA	3,500	6.0
AM RIO DE JANEIRO	5,000	9.0
SANTIAGO DE CHILE	3,200	6.0
CARACAS	4,000	7.0
LA HABANA	1,400	3.0
SANTO DOMINGO	1,250	2.0
MEDELLIN	750	2.0
MONTEVIDEO	900	2.0
QUITO	900	2.0
GUATEMALA	940	2.0
LA PAZ	600	1.0
SAN JOSE	800	2.0
MANAGUA	600	1.0
SAN SALVADOR	650	1.0
<b>TOTAL :</b>	<b>53,490</b>	<b>100.0</b>

RECOLECCION DE BASURA	
CIUDADES	TONDA
AM MEXICO	9,400
AM SAO PAULO	9,000
AM BUENOS AIRES	7,680
AM LIMA	2,100
AM RIO DE JANEIRO	4,750
SANTIAGO DE CHILE	3,168
CARACAS	3,800
LA HABANA	1,400
SANTO DOMINGO	975
MEDELLIN	713
MONTEVIDEO	855
QUITO	630
GUATEMALA	620
LA PAZ	300
SAN JOSE	640
MANAGUA	420
SAN SALVADOR	455
<b>TOTAL :</b>	<b>46,906</b>

ARCH.JLG1.WK1

## FIGURA NUM. 1 COBERTURA DE RECOLECCION



De la basura recolectada, unicamente, el 45% se deposita en 24 rellenos sanitarios controlados, beneficiando a más de 20 millones de habitantes, el resto es vertida en tiraderos a cielo abierto.

La infraestructura con que se cuenta para el reciclaje, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos industriales, aún es muy reducida; se estima en un 30%, que comprende 3 confinamientos de servicios públicos; 4 particulares y 12 empresas autorizadas para reciclar residuos con un volumen de operación anual, superior a las 150,000 toneladas y un confinamiento controlado para residuos sólidos peligrosos ubicado en Mina, N.L.

### 1.3. Tratamiento y Reciclaje

La composición de los residuos refleja por un lado la capacidad del ingreso medio familiar y el consumismo existente y por otro el valor de rescate de los residuos viables de ser reciclados.

En este sentido, en los países desarrollados, el porcentaje de residuos sólidos inorgánicos es superior al 50% y en específico los porcentajes de papel y cartón son mayores al 30%. Por ejemplo en E.U.A., se tiene un 26% de orgánicos y 36% de papel y cartón, en la India son 75% y 2% respectivamente. Para México se tiene 50% de orgánicos y 20% de papel y cartón. (Cuadro No. 4 y Figura 2)

En México, de 7 plantas de tratamiento que se identificaron que en conjunto tienen una capacidad de 2,550 toneladas por día, cuatro se encuentran fuera de operación, en las restantes se hace composta y se lleva separación de subproductos, procesando 260 toneladas en total, es decir únicamente se está aprovechando el 10% de la capacidad total instalada. (Cuadro 5)

Este tipo de plantas han dejado de operar, debido a los altos costos de operación de la composta, a su escasa demanda y a su baja calidad de producción, situación que es comparable con Latinoamérica, ya que en los últimos 20 años, de 30 plantas de composta, 15 han cerrado a los pocos años por negativa de las autoridades para seguir las manejando por no ser costeables.

En los países desarrollados, el aprovechamiento de la basura son: el relleno sanitario con aprovechamiento del biogas, la incineración con aprovechamiento de la energía, la biotransformación en compost y la producción de combustible auxiliar. (Cuadro 6).

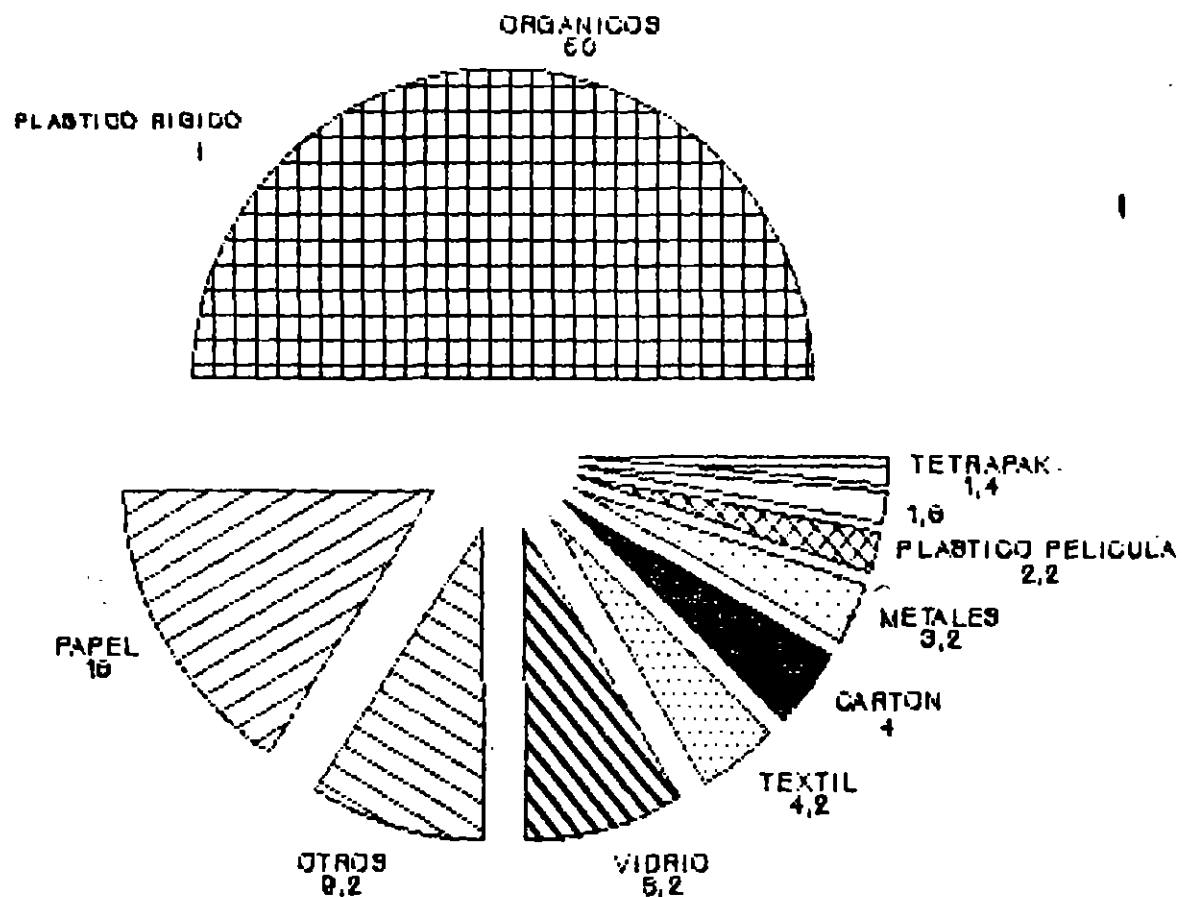
CUADRO No. 4

COMPOSICION DE LOS RESIDUOS (% EN PESO)  
EN DIVERSOS PAISES

PAISES PRODUCTOS	SUECIA	E.U.A.	JAPON	EUROPA	MEXICO	EL SALVADOR	PERU	INDIA
CARTON Y PAPEL	44.0	36.0	40.0	30.0	20.0	18.0	10.0	2.0
METALES	7.0	9.2	2.5	5.0	3.2	0.8	2.1	0.1
VIDRIO	5.0	9.8	1.0	7.0	8.2	0.8	1.3	0.2
TEXTILES	0.0	2.1	0.0	3.0	4.2	4.2	1.4	3.0
PLASTICOS	10.0	7.2	7.0	6.0	3.8	6.1	3.2	1.0
ORGANICOS	0.0	26.0	0.0	30.0	50.0	43.0	50.0	75.0
OTROS	34.0	9.7	49.5	19.0	10.6	27.1	32.9	18.7

ARCH.FSC6.WK1

# FIGURA NUM. 2 COMPOSICION DE LOS RESIDUOS GENERADOS EN MEXICO



% EN PESO

CUADRO No. 5

## DATOS SOBRE TRATAMIENTO EN ALGUNAS CIUDADES

CIUDAD	TIPO DE TRATAMIENTO	CAPACIDAD INSTALADA T/M/DIA	CAPACIDAD APROVECHADA T/M/DIA	CALIDAD COMPOST PRECIONTON	% RECIKLADO (PESQ)	FINANZAS	OBSERVACIONES
RIO	TRANSFERENCIA RECICLAJE COMPOST (PILAS)	--	280	BUENA 20,305	4 A 6%	SUBVENCIONADA	
SAO PAULO	RECICLAJE COMPOST (BIODIG)	400	200-300	BUENA 8,270	3 A 6	SUBVENCIONADA	
LA HABANA	PLANTA ALIMENTO CERDO	?	?	?	?	?	RESIDUOS PROVENIENTES DE RESTAURANTES. CAFETERIAS, ETC.
DISTRITO FEDERAL	RECICLAJE COMPOST (PILAS)	500	--	--	11%	--	FUERA DE OPERACION
GUADALAJARA	RECICLAJE COMPOST	500	--	--	--	--	FUERA DE OPERACION
MONTERREY	RECICLAJE COMPOST	750	--	--	--	--	FUERA DE OPERACION
OAXACA	RECICLAJE COMPOST	260	240	BUENA	--	SUBVENCIONADA	
MERIDA	RECICLAJE COMPOST	200	20	--	10%	SUBVENCIONADA	INICIA OPERACION 1992
VILLAHERMOSA	RECICLAJE COMPOST	200	--	?	3%	--	FUERA DE OPERACION
TOLUCA	RECICLAJE COMPOST	150	--	--	--	--	FUERA DE OPERACION

ARCHIVO: DATOS.WK1 DISCO 8FSA 1992 DISCO ROJO

CUADRO No. 6

TENDENCIAS DEL TRATAMIENTO Y LA DISPOSICION FINAL  
EN DIVERSOS PAISES Y REGIONES

PAIS O REGION	TRATAMIENTO O DISPOSICION FINAL (%)		
	RELLENO SANITARIO (C/ BASURERO)	COMBUSTION	COMPOST
ESTADOS UNIDOS	80	19	1
INGLATERRA	10	-	1
JAPON	30	70	2
ALEMANIA	70	30	3
FRANCIA	55	40	9
SUIZA	20	80	1
SUECIA	40	55	5
ESPAÑA	80	15	5
AMERICA LATINA	98	1	1
MEXICO	98		2



En México, la separación de los subproductos viables de ser reciclados, se realiza generalmente en los vehículos recolectores y en los sitios de disposición final. En la ciudad de México se estima que lo separado de la basura en camiones es del orden de 2.5% y en los sitios de disposición final alcanza un 10%.

En Japón se recicla del orden del 50% y en E.U.A., un 10% del total generado. En México, no se dispuso de información sobre el total reciclado, sin embargo, la industria del vidrio, estima que tiene una recuperación del 60% de su producción.

En general, se recomienda incentivar el reciclaje en la fuente, es decir, antes que los materiales recuperables se mezclen con otros residuos. Para establecer un programa de reciclaje, deben hacerse estudios en cada ciudad sobre la calidad, cantidad y viabilidad de comercialización, incluyendo el aprovechamiento actual y de alternativas de tratamiento, así como de disposición.

#### 1.4. Administración y Comercialización

En la mayoría de las Entidades Federativas, prevalece la administración directa municipal de los servicios de limpia, el cual se caracteriza por un desarrollo inferior a la de otros servicios municipales.

El servicio de limpia no está reglamentado, ni existe una política tarifaria que permita captar los recursos mínimos para administrar, operar y mantener los servicios de manera eficiente, y mucho menos para dar respuesta adecuada a la creciente demanda. Subsiste aún, el pago del servicio como parte del impuesto anual por el avalúo catastral.

El actual marco legal, en la medida que no clarifica la propiedad de la basura y los derechos de su posesión, uso y usufructo, dificulta modernizar los procesos de recolección, disponibilidad sanitaria y reutilización de algunos materiales. Aunado a ello, existe por lo regular, descontento del personal de limpia por las condiciones poco decorosas en que desempeñan sus labores.

#### 1.5 Organización

En los tres niveles de gobierno existe una tendencia de fortalecer este subsector, formando por una parte organismos operadores a nivel paraestatal o paramunicipal con capacidad jurídica y patrimonio propio y por otra parte otorgando el concesionamiento parcial o total de la prestación del servicio al sector privado o social.

**CUADRO No. 7**

**ORGANIZACION**

ORGANIZACION	UNIDADES	LATINOAMERICA		MEXICO
		CIUDADES GRANDES	CIUDADES PEQUEÑAS	
UNIDAD ADMINISTRATIVA MUNICIPAL	POR CIENTO	60	100	100
UNIDAD OPERADORA MUNICIPAL	POR CIENTO	40 ↑	100	100
EMPRESAS MUNICIPALES Y/O ESTATALES AUTONOMOS	POR CIENTO	40 ↑		TLAXCALA TAMAULIPAS NUEVO LEON
CONTRATISTAS PRIVADOS INDEPENDIENTES	ADIMENSIONAL	SOLO GUATEMALA		
CONTRATACION PRIVADA DEL MUNICIPIO	POR CIENTO	30 ↑	CHILE Y BRASIL	*ACAPULCO TECATE MERIDA PUEBLA

CRECIENTE: ↑

\* CONCESION PARCIAL: RECOLECCION EXCEPTO MERIDA, RECOLECCION, TRATAMIENTO E INCINERACION DE RESIDUOS SOLIDOS HOSPITALARIOS

\* PROXIMAS: CUERNAVACA, PUERTO VALLARTA, AGUASCALIENTES, CD. ACUÑA, MONTERREY, GUAYMAS, TULANCINGO, HIDALGO, SAN JUAN DEL RIO, TLALNEPANTLA, NAUCALPAN.

METROPOLIS CONURBADAS PRINCIPALMENTE EN LO REFERENTE A TRANSFERENCIA Y DISPOSICION FINAL ATIENDEN A TENER UNA SOLA AUTORIDAD.

ARCHIVO: ORGANI.WK1 DISCO FSC IV

CUADRO No. 8

CARACTERISTICAS DE LA PRESTACION DEL SERVICIO DE ASEO URBANO EN ALGUNAS CIUDADES CON MAS DE UN MILLON DE HABITANTES

CIUDAD	HABIT EN MILL.	BARRERA FONDA	COBERT. RECOLEC. %	COBERT. RELLENO (BASTARDON)			TIPO DE INSTITUC. RESPONS.	SERVICIO PROPIO O CONTRAT.	INGRESO/CU COSTO (C)	NUMERO DE EMPLE.	EMPLEADOS POR 1000 HABIT.	TON. POR EMPLEADO
				BUENO	REGULAR	MALO						
A M MEXICO	20.0	18,000	80	20	40	40	MUNICIPAL	MUNICIPAL	MALO (0%)	17,000	0.85	0.88
A M SAO PAULO	16.0	10,000	90	65	10	25	MUNICIPAL	PRIVADO	BIEN			
A M B AIRES	13.0	8,000	96	100	0	0	E.M.A.	MIXTO	BIEN			
A M LIMA	6.0	3,500	60	60	10	30	E.M.A.	MUNICIPAL	MAL (25%)			
A M RIO DE J SANTIAGO	8.0	5,000	95	0	100	0	E.M.A.	MUNICIPAL	REGULAR	12,000	2.40	0.42
CARACAS	4.3	4,000	95	0	100	0	E.M.A.	PRIVADO	MAL (15%)	7,500	1.74	0.53
LA HABANA	2.0	1,400	100	0	100	0	E.M.A.	MUNICIPAL	S/D	1,800	0.90	0.78
S. DOMINGO	2.0	1,250	78	0	0	100	MUNICIPAL	MUNICIPAL	MAL (20%)			
MEDELLIN	1.6	750	95	100	0	0	MUNICIPAL	MUNICIPAL	BIEN (100%)	750	0.47	1.00
MONTEVIDEO	1.3	900	95	0	0	100	E.M.A.	MUNICIPAL	S/D			
QUITO	1.3	900	70	0	0	100	MUNICIPAL	MUNICIPAL	MAL (13%)	750	0.58	1.20
GUATEMALA	1.3	940	66	0	0	100	MUNICIPAL	PRIV. (1)	BIEN			
LA PAZ	1.0	600	80	50	50	0	MUNICIPAL	MUNICIPAL	REGULAR	900	0.90	0.57
SAN JUAN	1.0	500	80	100	0	0	MUNICIPAL	MUNICIPAL	BIEN			
MANAGUA	1.0	500	70	0	0	100	MUNICIPAL	MUNICIPAL	S/D			
SAN SALVADOR	1.0	650	70	0	70	30	MUNICIPAL	MUNICIPAL	REG (60%)	1,100	1.10	0.57
<b>SUMA</b>	<b>82.8</b>	<b>57,490</b>								<b>41,850</b>	<b>0.49</b>	<b>0.58</b>
<b>PROM. DIRECTO</b>			<b>82</b>	<b>26</b>	<b>28</b>	<b>37</b>					<b>1.12</b>	<b>0.75</b>
<b>PROM. PESADO</b>			<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>						

(1) BUENO = RELLENO SANITARIO, REGULAR = RELLENO CONTROLADO, MALO = BABURERO A CIELO ABIERTO

(2) MALO = C/B 33%, REGULAR = C/B 66, BIEN C/B 66%

E.M.A. = EMPRESA MUNICIPAL DE ASEO

COBERTURAS.WK1 DISCO SFBA VERDE

22

Asimismo, se está impulsando la formación de empresas metropolitanas, como es el caso del Distrito Federal y los municipios conurbados del Estado de México, que en general atenderán los aspectos de transferencia y disposición sanitaria.

Algunos ejemplos donde se proporciona un servicio mixto, en el país son: Mérida, Yuc., Puebla, Pue., Tecate, B.C.Norte, Acapulco, Gro., Monterrey, N.L., Tlaxcala, Tlax., y en Centroamérica y Suramérica Cantón Central de la Ciudad de San José de Costa Rica, Santa Cruz, Bolivia y Río de Janeiro, Brasil, entre otras. (Cuadro 7)

#### 1.6 Recursos Humanos y Participación de la Sociedad

La situación actual del personal de limpia, es de descontento, ya que están clasificadas en los últimos lugares del escalafón de servicios públicos, generando una escasez de recursos humanos y el existente, está poco capacitado y las condiciones de seguridad e higiene no son favorables.

En América Latina se tiene en promedio 1 trabajador por cada mil habitantes y en el país no es mayor a 0.8 recomendándose un rango 2 a 4 trabajadores por cada 1000 habitantes. (Cuadro 8)

Por otra parte, es necesario ampliar la participación de la comunidad en la planeación y operación de las distintas etapas del servicio, coadyuvando a decidir por ejemplo, en la selección de alternativas de solución, o bien participando en las campañas de aseo, entre otras acciones, promoviendo la participación ciudadana, buscando la modificación del comportamiento de grupos o de individuos, de tal manera que coadyuve con el servicio de aseo urbano, requiriéndose la cooperación del residente en mejorar el almacenamiento de la basura interdomiciliario y en su caso, iniciar la separación en recipientes diferentes clasificándoles en residuos orgánicos e inorgánicos, requiriéndose una capacidad de respuesta del servicio y que generalmente no se tiene disponibilidad de recursos por parte del organismo operador.

**CUADRO No. 9**

**COSTOS SOBRE ASEO URBANO EN  
MEXICO Y AMERICA LATINA**

COMPONENTE	UNIDADES	MEXICO	LATINOAMERICA	EUA
PERCAPITA	\$/HABIT/AÑO	28,000 A 69,000	12,000 A 26,500	75,000 A 240,000 (1)
DEL SERVICIO	\$/TONELADAS	120,000 - 295,000	56,000 A 132,000	135,000 A 435,000
BARRIDO MANUAL	\$/KILOMETRO	6,500-19,500	1,500 - 4,500	N.D.
RECOLECCION	\$/TONELADAS	36,000-75,000	36,000 -75,000	75,000-225,000
TRANSFERENCIA	\$/TONELADAS	15,000 A 30,000	4,500- 10,500	24,000- 60,000
RELLENO SANITARIO	\$/TONELADAS	15,000 - 18,000	3,000 - 9,000	36,000-150,000
RECUPERACION DE COSTOS	POR CIENTO	N.D.	50	N.D.

\* Kilometro de calle  
(1) No Incluye Barrido

N.D. No Disponible

ARCH.FSC2.WK1

**CUADRO No. 10**

**PRODUCTO INTERNO BRUTO POR HABITANTE 1990**

<b>REGION</b>	<b>PIB \$/ABITADO</b>
CANADA-EUA	30'000,000
T & T-BARBADOS	9'000,000-10'500,000
AMERICA LATINA	750,000-10'500,000
MEXICO	8'235,222

**CUADRO No. 11**

**RECUPERACION DE COSTOS EN CIUDADES GRANDES  
DE AMERICA LATINA**

<b>INGRESO / COSTO</b>	<b>PORCENTAJE</b>
2/3 - 1/1	45
1/3 - 2/3	20
0 - 1/3	35

## 2. COSTOS DEL SERVICIO

Los costos del servicio en México varían de 120 mil a 295 mil pesos la tonelada, en los que se incluye desde barrido hasta la disposición sanitaria de la basura. (Cuadro 9)

Cubrir los costos del servicio sin la separación por comercialización de subproductos reciclables, representaría un egreso familiar mensual del orden de 9,125 a 22,432 pesos, o sea 0.67 a 1.6 días del salario mínimo diario vigente en el D.F., lo anterior, se estimó con una generación per cápita domiciliaria de 0.5 kg/hab-día y una integración familiar de 5 personas.

Sin embargo, si consideramos que del 20 al 30% de la población urbana vive en zonas marginadas, donde la capacidad de pago es mínima y los servicios públicos municipales deficientes o se carecen de ellos, significaría que debería incrementarse el rango de cuotas, desde un 25% hasta un 43%, para excluir del pago a dicha población.

Esto significa, que para la población no marginada del 80%, el rango sería de \$11,406 a \$28,040 pesos/familia/mes.

Si se considera el 70% de población el rango sería de \$13,036 a \$32,046 pesos/familia/mes.

Es obvio, que en cada localidad la cuota que puede fijarse debe ser en función del estrato social, así como de la actividad económica del usuario, mismo que impacta tanto en volumen, cantidad y calidad de los residuos sólidos generados (Cuadros 10 y 11).

### 2.1. Algunos Indicadores y Costos del Servicio

Con el fin de conocer en un grado más amplio el comportamiento del servicio en algunos lugares de América, a continuación se proporciona la siguiente información, que puede ser utilizada como referencia de indicadores de eficiencia en sus diferentes etapas.

#### Barrido Manual

Rendimiento de personal

1.0 a 2.5 km. de calle/día  
2.0 a 5.0 km. de cuneta/día

Requerimientos:

0.4 a 0.8 barrenderos 1000/hab.

**Eficacia:**

30 a 90 kg/km de cuneta barrida

**Costo:**

	\$/km. de calle	\$/Ton.
México	6,500 a 19,500	53,625 a 161,850
América Latina	1,500 a 4,500	12,375 a 37,350
Estados Unidos	Generalmente se utiliza bárrido mecánico	

**Recolección**

Densidad de la Basura kg/m<sup>3</sup>

125	a	250	(suelta)
375	a	550	(compactada en recolección)
700	a	1000	(compactada en relleno sanitario)

Tipo de vehículo Compactador de 10 a 15 m<sup>3</sup>.

Eficiencia 2 a 5 Tn/trabajador-jornada  
4 a 8 Tn/turno (dos viajes/turno)

Requerimientos 0.2 a 0.4 trabajadores/1000 hab.  
12,000 a 24,000 fam/viaje (Fam. 5 hab.)

**Costo:**

México	36,000	a	85,000	\$/ton.
América Latina	36,000	a	75,000	\$/ton.
Estados Unidos de Nort.	75,000	a	225,000	\$/ton.

**Transferencia**

En aumento el uso de las estaciones de transferencia

Unidades de 40 a 60 m<sup>3</sup>.

**Costo:**

México	15,000	a	30,000	\$/ton.
Latinoamerica	4,500	a	10,500	\$/ton.
Estados Unidos de América	24,000	a	60,000	\$/ton.

**Relleno Sanitario**

Requerimientos de espacio: 1.2 m<sup>3</sup> de operación/tn.depositada

Economía de escala para ciudades mayores a 50,000 hab.



## **BARRIDO**

<b>REQUERIMIENTO DE PERSONAL</b>	<b>0.4 A 0.8 HOMBRE/1000 HAB.</b>
<b>RENDIMIENTO DE PERSONAL</b>	<b>1.0 A 2.5 Km.CALLE/DIA</b>
<b>EFICIENCIA</b>	<b>30 A 90 Kg/KmCUNETAS</b>
<b>COSTO</b>	<b>6.50 A 19.50 N\$/KmCALLE</b>
	<b>53.62 A 161.85 N\$/TON</b>

## **RECOLECCION**

<b>REQUERIMIENTO DE PERSONAL</b>	<b>0.2 A 0.4 HOMBRE/1000 HAB.</b>
<b>RENDIMIENTO DE PERSONAL</b>	<b>2 A 5 TON/HOMBRE-JORNADA</b>
<b>EFICIENCIA</b>	<b>5.625 A 8.250 TON/VEHICULO</b>
<b>COSTO</b>	<b>36 A 85 N\$/TON</b>

## **TRANSFERENCIA**

<b>UNIDADES</b>	<b>40 A 60 M<sup>3</sup></b>
<b>COSTO</b>	<b>15 A 30 N\$/TON</b>

## **RECUPERACION DE COSTOS**

<b>COSTO DEL SERVICIO</b>	<b>120 A 295 N\$/TON</b>
<b>GENERACION PERCAPITA DOMICILIARIA</b>	<b>0.5 Kg/HAB-DIA</b>
<b>EQUIVALENTE FAMILIAS</b>	<b>2000 HAB. Ó 400</b>
<b>PRODUCCION DE BASURA</b>	<b>1000 Kg/DIA</b>
<b>SIGNIFICA FAMILIA</b>	<b>0.30 A 0.74 N\$/DIA</b>
	<b>9 A 22 N\$/MES</b>
<b>AREAS URBANAS</b>	<b>20 A 30% DE LA POBLACION VIVE EN ZONAS MARGINADAS</b>
<b>INCREMENTO COSTO POR FAMILIA</b>	<b>25 AL 43%</b>
<b>MES FAMILIA</b>	<b>11.4 A 32 N\$</b>

**\* FAMILIA DE 5 MIEMBROS**

### Costo

México	15,000	a	18,000	\$/ton.
Latinoamerica	3,000	a	9,000	\$/ton.
Estados Unidos de América	36,000	a	150,000	\$/ton.

### Plantas de Reciclaje y Compost

Mayores a 100 tn/día

Tipo: Banda móvil de recuperación  
digestión en pilas o biodigestores

Recuperación de costos: 10 al 40 por ciento

### Costos:

México	18,000	a	45,000	\$/ton.
América Latina	18,000	a	45,000	\$/ton.

### 3. VIABILIDAD DE RECUPERACION DE COSTOS POR LA - COMERCIALIZACION DE SUBPRODUCTOS

Se considera generalmente que a través de la comercialización de algunos componentes de la basura municipal, pueden ser cubiertos los costos de la prestación del servicio. Sin embargo, en la mayoría de las localidades del país, la comercialización que existe de los subproductos es llevada a cabo desde la recuperación y venta por personas independientes al servicio municipal, por lo que los ingresos de esta comercialización no se ven afectados por los costos de operación e inversión del servicio.

Lo que implica que no necesariamente dicha aseveración sea cierta y que en el mejor de los casos, la recuperación y conversión de materiales mediante plantas procesadoras, únicamente pueden cubrir sus costos de operación y de inversión.

La selección de cualquier proceso de recuperación, es una función de la economía-costos de la separación, versus valor de los productos y materiales recuperados, por lo tanto, para un decisión dada de recuperar algunos o todos los materiales presentes en la basura municipal, debe basarse en una evaluación económica y de las condiciones locales, esto último como pueden ser la disponibilidad de sitios para verter la basura, características y/o vocación del uso del suelo y programas de ahorro de energía principalmente.

CUADRO No. 12

NUMERO DE LOCALIDADES POR ENTIDADES FEDERATIVAS  
SEGUN TAMAÑO DE LA LOCALIDAD

ENTIDAD FEDERATIVA	100,000 499,999 HAB	500,000 999,999 HAB	1,000,000 Y MAS HAB	ENTIDAD FEDERATIVA	100,000 499,999 HAB	500,000 999,999 HAB	1,000,000 Y MAS HAB
ESTADOS UNIDOS MEXICANOS	77	14	7	MICHOACAN	3	1	
				MORELOS	2		
				NAYARIT	1		
AGUASCALIENTES	1	1		NUEVO LEON	4	1	1
BAJA CALIFORNIA	2	1		OAXACA	1		
BAJA CALIFORNIA SUR	1			PUEBLA	1		1
CAMPECHE	1			QUERETARO	1		
COAHUILA DE ZARAGOZA	3			QUINTANA ROO	1		
COLIMA	1			SAN LUIS POTOSI	2		
CHIAPAS	2			SINALOA	3		
CHIHUAHUA		2		SONORA	3		
DISTRITO FEDERAL	9	4	2	TABASCO	1		
DURANGO	2			TAMAULIPAS	6		
GUANAJUATO	3	1		TLAXCALA			
GUERRERO		1		VERACRUZ	8		
HIDALGO	1			YUCATAN		1	
JALISCO	2	1	1	ZACATECAS	1		
MEXICO	11	2	2				

### 3.1 Valor de recuperación de subproductos reciclables.

Se plantean dos esquemas, el primero corresponde a la elaboración de composta y recuperación de subproductos a través de la selección de los mismos en plantas de tratamiento; el segundo, corresponde únicamente a la separación y comercialización de residuos inorgánicos en centros de acopio .

Las capacidades de tratamiento y acopio analizadas fueron de 50 hasta 300 Tn/día.

Estas capacidades corresponden a beneficiar del orden de 79,000 hasta 500,000 habitantes, cuando la generación per cápita es de 0.63 kg/hab-día. Asimismo, si consideramos una cobertura de recolección del 80%, los tamaños de la localidad, serían de 100 mil a 625 mil habitantes, clasificados en el rango de centros urbanos medios, que de acuerdo a los datos del último censo de población y vivienda existen 77 localidades de 100,000 a 499,999 habitantes y 21 localidades mayores a 500,000 habitantes. (Cuadro 12)

### 3.2 Requerimientos de inversión

Las necesidades de inversión se calcularon a partir de los costos presentados en estudios de factibilidad para Tulancingo, Hgo. y Mérida, Yuc. Los principales componentes de cada planta (Fig. 3) considerados son: Bandas Transportadoras, Equipo para selección de gravedad, Equipo para selección magnética, Equipo para selección por aire, Molino triturador de alta velocidad, Molino triturador y compactador de plástico y papel, Molino triturador y compactador de vidrio, Molino triturador y compactador de cartón. Molino de composta, Cernidor grueso y fino para composta. Con base en estos estudios, se obtuvo lo siguiente:

Capacidad en ton./día	50	100	150	200	300
Inversión en millones \$	3,800	6,346	8,520	10,522	15,540

### 3.3 Estimación de ingresos

Debido a que el precio de comercialización de cada subproducto, no está regulado y presentan amplias fluctuaciones de acuerdo a la oferta y demanda imperante en cada localidad, así como a la escasa demanda de la composta, se plantearon dos alternativas. En la primera, se considera la comercialización de los subproductos incluyendo la composta y diferentes precios de venta de cinco subproductos cartón, papel, vidrio, textiles y composta, (Cuadro 13), obteniendo un valor de la basura de 126,721. y 83,877 \$/ton., procesada. En la segunda alternativa, no se

CUADRO No. 13

PRECIOS DE SUBPRODUCTOS DE LA BASURA

SUBPRODUCTO	COMPOSICION % EN PESO	PRECIO PESOS/KG.
CARTON	4	180 - ,100
PAPEL	16	300 - ,200
METALES	1.61	400
LATA	1.59	1,800
VIDRIO	8.2	1,400 - ,100
TEXTIL	4.2	800 - ,300
PLASTICO RIGIDO	1.6	800 - ,100
PLASTICO PELICULA	2.2	350 - ,100
TETRAPAK	1.4	50
ORGANICO	50	000 - 0
OTROS	9.2	500

NOTA:  
EL PRECIO DE CADA SUBPRODUCTO FUERON PROPORCIONADOS  
POR DIFERENTES ORGANISMOS MUNICIPALES RELACIONADO  
CON EL SERVICIO DE LIMPIA.

ARCHIVO: SUBPRODUC.WK1 SFSA ROJO

CUADRO No. 15

ESTIMACION DE EGRESOS  
MILES DE N\$

PERSONAL	REQUERIMIENTOS DE PERSONAL						SUELDO ANUAL				
	SUELDO	50	100	150	200	300	50	100	150	200	300
ADMINISTRADOR	8.84	1	1	1	1	1	70.08	70.08	70.08	70.08	70.08
INGENIERO	4.38	1	1	1	1	1	52.56	52.56	52.56	52.56	52.56
CONTADOR	4.38	1	1	1	1	1	52.56	52.56	52.56	52.56	52.56
MECANICO	2.482	1	1	2	2	2	29.784	29.784	59.568	59.568	59.568
ELECTRICISTA	2.482	1	1	1	1	2	29.784	29.784	29.784	29.784	59.568
OPERADOR DE TRASCAYO	2.482	1	1	1	1	1	29.784	29.784	29.784	29.784	29.784
OPERADOR DE EMBARQUES	2.482	1	1	1	1	1	29.784	29.784	29.784	29.784	29.784
SECRETARIA	1.31	1	1	1	1	1	15.72	15.72	15.72	15.72	15.72
CHOFER	1.31	1	1	1	1	1	15.72	15.72	15.72	15.72	15.72
AYUDANTE DE MECANICO	0.876	1	1	2	2	2	10.512	10.512	21.024	21.024	21.024
AYUDANTE DE ELECTRICISTA	0.876	1	1	1	1	2	10.512	10.512	10.512	10.512	21.024
OBREROS	0.876	16	20	30	36	62	168.192	210.24	315.36	378.432	651.744
OPERADOR DE BASCULA	0.73	1	1	1	1	1	8.76	8.76	8.76	8.76	8.76
VIGILANTE	0.603	2	2	2	2	2	14.472	14.472	14.472	14.472	14.472
TOTAL ANUAL DE PERSONAL		30	34	46	52	80	538	580	726	789	1102
ELECTRICIDAD ANUAL							383	470	763	933	1239
MANTENIMIENTO ANUAL							133	222	298	421	622
COMBUSTIBLES ANUAL							60	91	116	140	178
OTROS GASTOS							14	21	26	30	38
TOT. GASTO OPERACION							1098	1384	1929	2313	3179
							M/AÑO				
MATERIAL DE RECHAZO TNAÑO	6,105	12,210	18,315	24,420	36,630	104	208	311	415	623	
MATERIAL NO TRATADO TNAÑO	1,750	3,500	5,250	7,000	10,500	30	60	89	119	179	
MATERIAL A DISPOS. TNAÑO	7,855	15,710	23,565	31,420	47,130	134	267	401	534	801	
MATERIAL NO TRAT. ALT 2						160	319	479	639	958	
TOTAL DE EGRESOS ALT 1						1,232	1,651	2,329	2,847	3,980	
TOTAL DE EGRESOS ALT 2						1,258	1,704	2,408	2,951	4,137	

ARCHIVO: CUADRO 14.WK1 DISCO VERDE 1992 JUNIO

CUADRO No. 14

VALOR POTENCIAL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS

PRODUCTO	COMPOSICION EN %	CANTIDAD EN KG	APROVECHABLE EN %	CANTIDAD EN KG	RECHAZO EN KG	EFICIENCIA EN %	MATERIAL APROVECH. EN KG	PRECIO 1 \$/kg	PRECIO 2 \$/kg	VALOR 1 \$/TN	VALOR 2 \$/TN
CARTON	4	40	90	36	4	97	34.92	180.00	100.00	6,288.00	3,492.00
PAPEL	16	160	80	80	80	80	64	300.00	200.00	19,200.00	12,800.00
METALES	1.61	16.1	100	16.1	0	95	15.296	400.00	400.00	6,118.00	6,118.00
LATA	1.89	18.9	100	15.9	0	97	15.423	1,800.00	1,800.00	27,761.40	27,761.40
VIDRIO	8.2	82	90	73.8	8.2	90	66.42	140.00	100.00	9,298.80	6,642.00
TEXTIL	4.2	42	40	16.8	25.2	90	15.12	800.00	300.00	12,096.00	4,836.00
PLASTICO RIGIDO	1.6	16	90	14.4	1.6	85	12.24	800.00	100.00	9,792.00	1,224.00
PLASTICO PELICULA	2.2	22	90	19.8	2.2	70	13.86	350.00	100.00	4,851.00	1,386.00
TETRAPAK	1.4	14	90	12.6	1.4	80	10.08	50.00	50.00	504.00	504.00
ORGANICOS	50	500	80	400	100	95	380	80.00	50.00	30,400.00	19,000.00
OTROS	9.2	92	1	0.92	91.08	90	0.828	500.00	500.00	414.00	414.00
<b>SUMA</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>68.63%</b>	<b>686.33</b>	<b>313.68</b>	<b>62.81%</b>	<b>628.186</b>	<b>801,724,966</b>	<b>133,583,198</b>	<b>126,720.8</b>	<b>83877.4</b>

BASE: 1 TONELADA DE BABURA

ALTERNATIVA DE PRECIOS EN \$/TN

1	126720.8	INCLUYE VENTA DE COMPOSTA
2	83877.4	IDEM
3	96320.8	NO SE COMERCIALIZA LA COMPOSTA
4	64,877	IDEM

INGRESOS EN	MILLONES DE PESOS/AÑO				
	50	100	150	200	300
2090.8932	4181.7864	6272.6796	8363.572	12845.35	
1383.9771	2767.9542	4161.9313	5538.908	8303.862	
1589.2932	3176.5864	4767.8796	6367.172	9535.789	
1,070	2,141	3,211	4,282	6,423	

*1/2 dia*

ARCHIVO: CUADRO 14.WK1 DIBCO VERDE SFSA 1992



consideró la comercialización de la composta, manteniendo los mismos precios de venta para los otros subproductos de la alternativa I, el valor de la basura por toneladas es de N\$96,321 y 64,877. Para cada caso se estimó una eficiencia media ponderada de aprovechamiento del 69% y de recuperación del 63%. (Cuadro 14)

Con base a un consulta realizada en algunos organismos relacionados con el aseo urbano, el precio de la tonelada de basura es del orden de N\$80,000

### 3.4. Estimación de Egresos

Se consideraron dentro de este rubro sueldos y salarios del personal, los gastos por concepto de consumo eléctrico, mantenimiento, combustibles, depreciación de la infraestructura, así como los costos de traslado y disposición del material de rechazo y del material orgánico no comercializado.

Respecto a la amortización de la inversión, se consideraron plazos de 7, 10 y 15 años con una tasa de interés del 20% anual a pagos constantes.

Los costos de operación para la alternativa 1, varían de 67,507 a 36,348 N\$/ton, correspondiendo a capacidades de tratamiento de 50 a 300 tn/día, respectivamente.

Para la alternativa 2, varían de 68,932 a 37,780 N\$/ton. (Cuadro 15). La diferencia de los egresos entre las alternativas 1 y 2 se debe básicamente a los costos de traslado y disposición al relleno sanitario del material de rechazo y de la composta cuando no se comercializa esta última.

### 3.5 Análisis de Resultados

El término de inversión significa un compromiso concreto de recursos de capital para la obtención de algún beneficio a lo largo de un período de tiempo razonable.

La escasez de recursos y la existencia de oportunidad de alternativas capaces de generar los beneficios deseados con grados diferentes de eficacia, conducen a la necesidad de evaluar las opciones diferentes de inversión potencialmente disponibles, lo anterior, con la finalidad de establecer la mejor de todas ellas, en términos de retorno o recuperación de la inversión.

Toda inversión se caracteriza por generar un flujo físico de bienes o servicios consumidos y producidos, así como un flujo financiero, representativo del flujo físico de insumos y productos valuados a precios del mercado.

## VIABILIDAD DE RECUPERACION DE SUBPRODUCTOS DE LA BASURA

### REQUERIMIENTOS DE INVERSION

CAPACIDAD (TON/DIA)	50	100	150	200	300
INVERSION (MILLONES N\$)	3.8	6.34	8.52	10.52	15.5

### ESTIMACION DE INGRESOS (N\$/TON)

ALTERNATIVA 1	INGRESO N\$/ TON.	83.9	126.7
---------------	-------------------	------	-------

\*INCLUYE COMERCIALIZACION DE COMPOSTA

RESIDUOS APROVECHADOS 68%

RESIDUOS RECUPERADOS 62%

ALTERNATIVA 2	INGRESO N\$ / TON	64.8	96.3
---------------	-------------------	------	------

\*NO INCLUYE COMERCIALIZACION DE COMPOSTA

### ESTIMACION DE EGRESOS (N\$/TON)

50 TON    300 TON

ALTERNATIVA 1                    167.5            36.3

ALTERNATIVA 2    68.9            37.8

31

# **ANALISIS DE RESULTADOS**

## **INVERSION.**

**SIGNIFICA UN COMPROMISO CONCRETO DE RECURSOS DE CAPITAL PARA LA OBTENCION DE ALGUN BENEFICIO A LO LARGO DE UN PERIODO DE TIEMPO RAZONABLE.**

## **ANALISIS FINANCIERO.**

**TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)  
VALOR PRESENTE NETO (VPN)  
VALOR ANUAL EQUIVALENTE (VAE)**

## **CRITERIO TIR.**

<b>PERIODO DE VIDA UTIL</b>	<b>15 AÑOS</b>	
<b>VALOR DE RESCATE</b>		<b>0</b>
<b>TASA IMPOSITIVA AL INGRESO GRAVABLE</b>		<b>37%</b>
<b>DEPRECIACION</b>	<b>LINEAL</b>	
<b>VALOR DE LA BASURA</b>	<b>83.9 N\$/TON</b>	
<b>COMERCIALIZACION</b>	<b>100%</b>	

## **FINANCIAMIENTO.**

<b>PLAZO</b>	<b>7 A 15 AÑOS</b>	
<b>TASA DE INTERES</b>		<b>20%</b>
<b>CAPITAL FINANCIADO</b>	<b>20 AL 100% DE LA INVERSION</b>	

## **RESULTADOS.**

**200 TON/DIA O MAS CON FINANCIAMIENTO AL 80%  
TIR IGUAL AL 20.4%**

Como se mencionó la inversión producirá resultados hasta que efectivamente entre en operación y se empiecen a producir los bienes esperados. Por tal motivo, tanto los esfuerzos como los resultados previstos, es decir costos y beneficios, configuran un flujo cuya magnitud y duración o vida útil varía de un tipo de inversión a otro.

Por consiguiente es necesario establecer un procedimiento lógico para la selección de la alternativa, tanto técnica como financieramente más adecuada.

El análisis de los méritos financieros de cada propuesta puede estar basado en métodos como tasa interna de rendimiento, (TIR), valor presente neto (VPN), período de recuperación, valor anual equivalente, etc.

La selección de propuestas de inversión, debe estar basada en el beneficio financiero que se obtenga de cada propuesta, independientemente de la fuente con que se financie el proyecto.

Respecto a la fuente de financiamiento más adecuada debe ser resuelto independientemente de la utilización que se den a los fondos obtenidos, y se debe basar en los méritos de cada fuente, esto es, la fuente seleccionada debe ser aquella de menor costo y al mismo tiempo aquella que representa el menor riesgo.

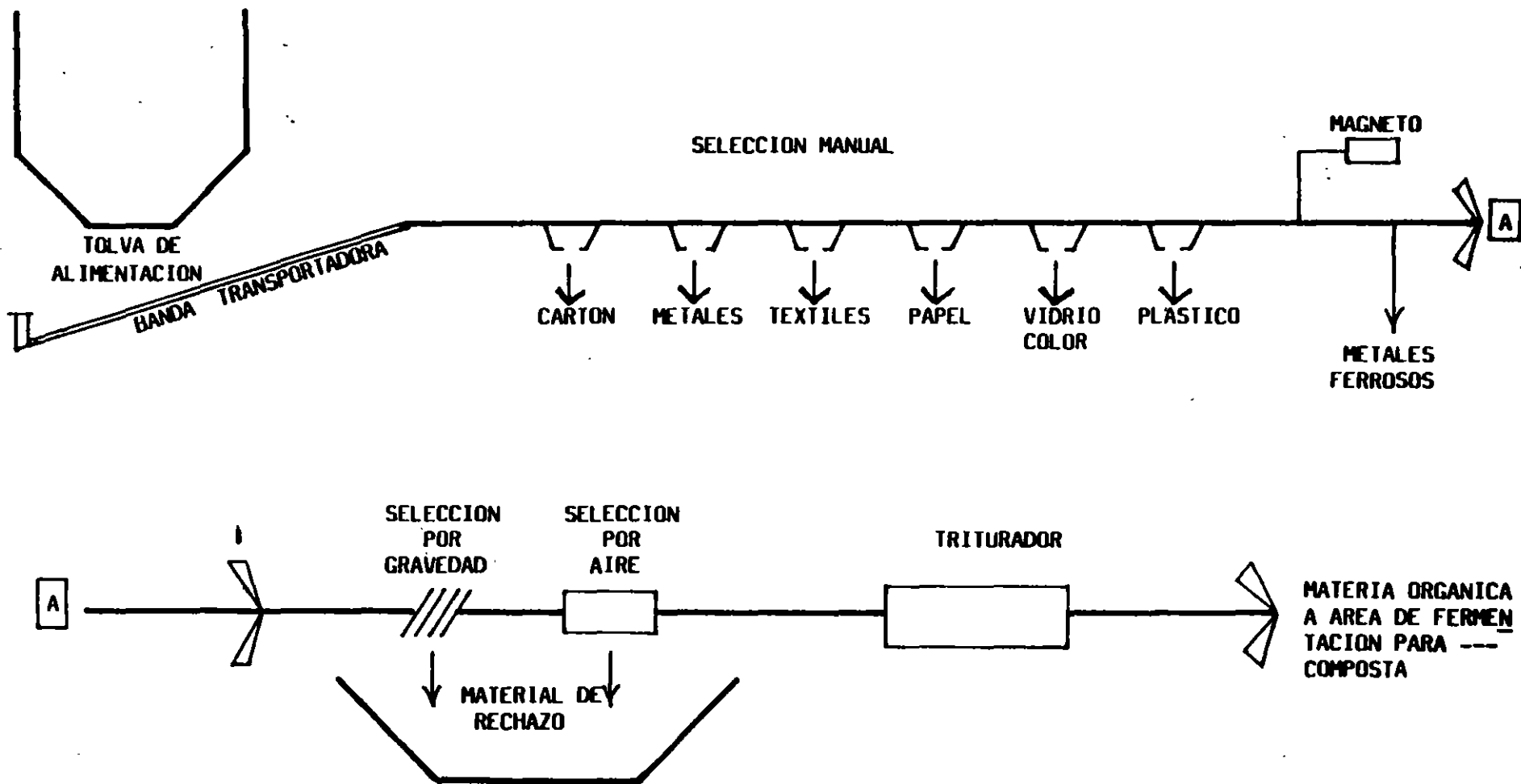
El análisis de inversión se hizo con el criterio de tasa interna de retorno en un período igual a la vida útil del proyecto a 15 años y no se consideró un valor de rescate.

Se obtuvo un flujo de efectivo después de impuestos, considerando una tasa impositiva al ingreso gravable del 37%. Asimismo, se considera situación ideal al comercializar el total de los subproductos obtenidos a partir del primer año de operación y el precio de venta fue de \$83,877 pesos por tonelada.

Respecto al financiamiento de la inversión se considerarán porcentajes de 20, 40, 80 y 100% a una tasa de interés del 20% anual y plázos de amortización de 7 hasta 15 años. (Cuadro 16)

De los resultados obtenidos, se puede decir que la planta para 50 ton/día ó menos no son financieramente rentables, dado que el margen de utilidad es 2.5 veces menor a los intereses que generaría la propia inversión a una tasa de interés del 20% anual.

FIGURA # 3 ESQUEMA DE UNA PLANTA DE COMPOSTA Y RECICLAJE



40

CUADRO 16 ESTIMACION DE LA TIR

CAPACIDAD DE LA PLANTA 200 TMDA  
 VALOR DE LA INVERSION 10,822 MILL. \$  
 CAPITAL CONTABLE 2,104 MILL. \$  
 PASIVO 8,418 MILL. \$  
 VALOR DE LA BASURA 83,877 \$/TM  
 FINANCIAMIENTO 80 %  
 OTRAS FUENTES 20 %  
 TASA DE INTERES 20 % ANUAL  
 PLAZO DE AMORTIZACION 15 AÑOS

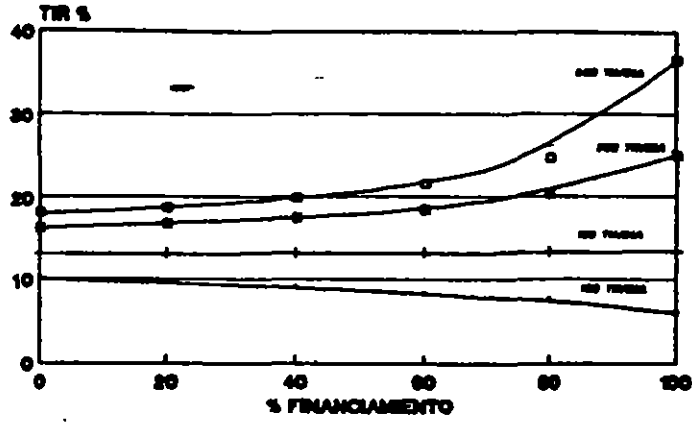
AÑOS	INTERES	PAGO AL PRINCIPAL	FEA	DEPRECIACION	INGRESO GRAVABLE	PAGO DE IMPUESTO	FED
0	0		-2104				(2,104)
1	1,684	117	2,689	589	416	164	738
2	1,660	140	2,689	589	440	163	726
3	1,609	191	2,689	589	491	182	707
4	1,576	224	2,689	589	524	194	696
5	1,536	264	2,689	589	564	209	680
6	1,489	312	2,689	589	611	226	662
7	1,431	369	2,689	589	669	247	641
8	1,362	438	2,689	589	738	273	616
9	1,280	520	2,689	589	820	303	585
10	1,181	620	2,689	589	919	340	549
11	1,062	738	2,689	589	1,038	384	505
12	919	881	2,689	589	1,181	437	462
13	748	1,052	2,689	589	1,352	500	388
14	542	1,258	2,689	589	1,558	576	312
15	296	1,504	2,689	589	1,804	668	221
16	0	0	0	0	(0)	(0)	(0)

TASA INTERNA DE RETORNO 30.9%  
 VPN 20% 646

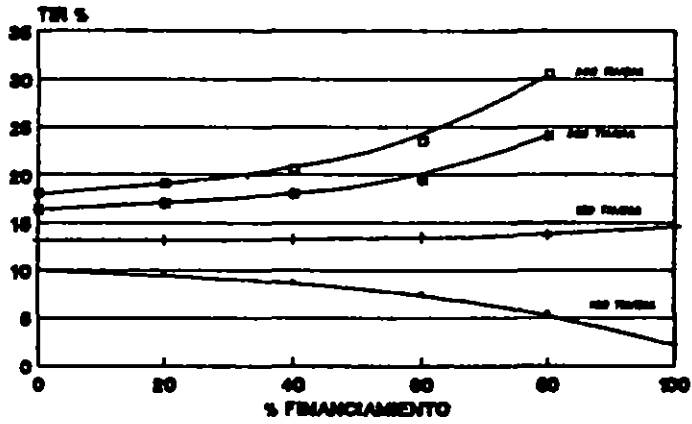
FDAI - FLUJO DE EFECTIVO ANTES DE IMPUESTO  
 FEDI - FLUJO DE EFECTIVO DESPUES DE IMPUESTO  
 ARCHIVO CUADRO14.WK1 SFBA ROJO

FIGURA NUM. 4

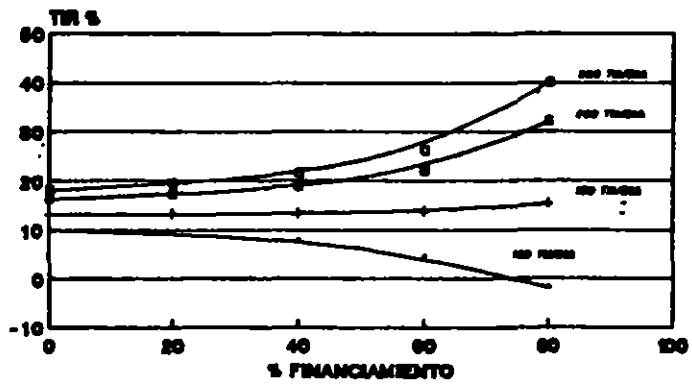
COMPORTAMIENTO DE LA TIR  
CON FINANCIAMIENTO PARCIAL  
PLAZO DE AMORTIZACION 7 AÑOS



PLAZO DE AMORTIZACION 10 AÑOS



PLAZO DE AMORTIZACION 15 AÑOS



VIDA ÚTIL DEL PROYECTO 15 AÑOS  
TASA DE INTERÉS 10 %  
VALOR DE LA BASURA \$3377 \$/TM

Para planta con capacidad de 100 Tn/día el margen de utilidad con respecto a las utilidades que podría generar las inversiones, son equivalentes y además los valores de la tasa interna de retorno son decrecientes, cuando aumentan los porcentajes de financiamiento y plazos de amortización.

Sin embargo, se puede decir que para plantas con capacidad de 200 Tn/día ó más y a partir de un plazo de amortización de 7 años y con un financiamiento parcial del 80% la tasa interna de retorno que se obtiene es de 20.4% Fig. 4

Cabe resaltar que lo anterior, es siempre y cuando los ingresos o el valor de la basura sea igual o mayor a 83,877.  $\$/\text{Ton}$ . Cabe señalar, que en este análisis no se consideraron los beneficios ambientales que pueden representar la recuperación de los subproductos como por ejemplo, la producción del aluminio requiere grandes energías para su elaboración.

### 3.6 Centros de Acopio

Para la creación de centros de acopio se considera necesario la construcción de naves equipadas para la separación de subproductos, ya sea que se realice la separación o no de la basura orgánica.

La separación de la basura en la fuente generadora permite una mayor recuperación de subproductos. Además, de poder comercializarse a un mejor precio por ser basura limpia.

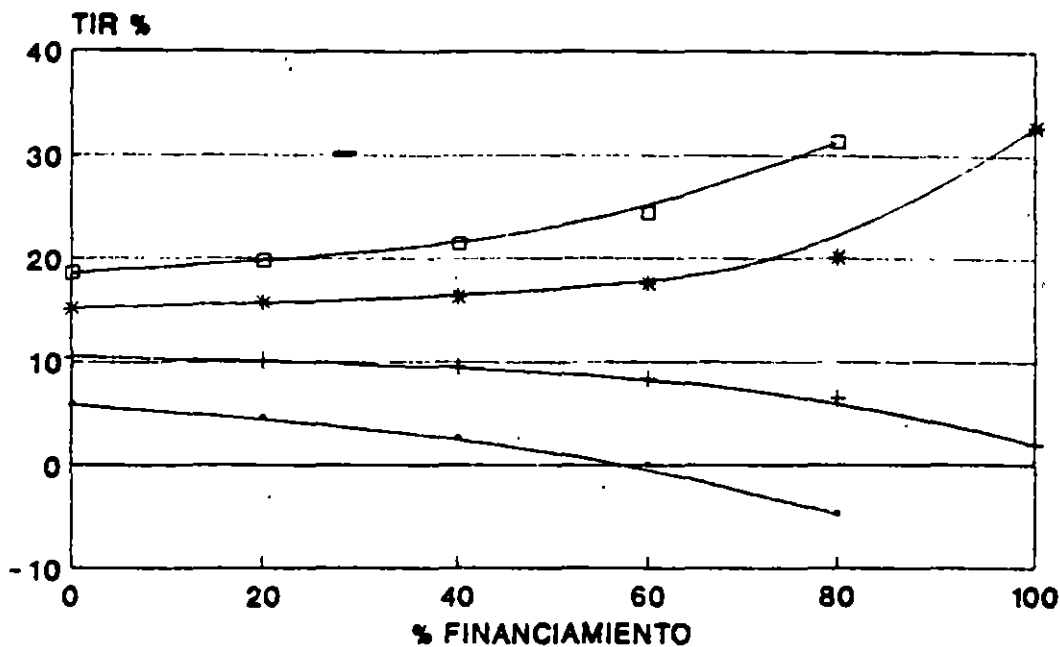
En caso de no ser separada en la fuente, las eficiencias de recuperación y separación son similares a las plantas de composteo, aunado a un valor menor de los subproductos y una mayor cantidad de materias que se tendría que disponer al relleno sanitario.

Los requerimientos de inversión consideradas para el reciclaje de la basura inorgánica representan del orden del 55% de los costos de inversión de una planta de tratamiento. Respecto a los costos de operación, únicamente se modificarían los conceptos de energía eléctrica (85%) combustibles (70%). Como no hay elaboración de composta el precio de la basura varía de 64,877 a 96,321  $\$/\text{ton}$ .

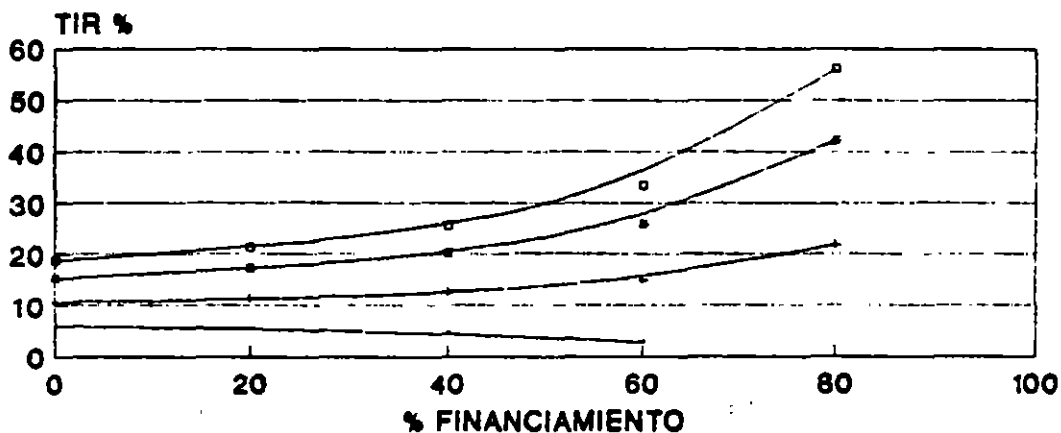
Si consideramos el precio menor, se deduce que para plantas con capacidad de 50 Tn/día, aunque la inversión disminuya en más del 55%, y los costos de operación y mantenimiento se reduzcan en 18% respecto a una planta de composteo y reciclaje, tampoco resultan rentables financieramente.



**FIGURA NUM. 5**  
**PLANTAS DE ACOPIO**  
**COMPORTAMIENTO DE LA TIR**  
**PLAZO DE AMORTIZACION 7 AÑOS**



**PLAZO DE AMORTIZACION 15 AÑOS**



**CAPACIDAD, EN TN/DIA**

— 100    — 150    — 200    — 300

**VIDA UTIL DEL PROYECTO 16 AÑOS**  
**TASA DE INTERES 20 %**  
**VALOR DE LA BASURA 84877 \$/TN**

Asimismo, de los resultados obtenidos se puede decir que para plantas de acopio con capacidad de 300 Tn/día, la rentabilidad es mayor a una similar de composteo. Para plazos de amortización igual o superior a 7 años, a cualquier porcentaje de financiamiento. Situación similar para sistemas de reciclaje de 150 Tn/día, cuando el plazo de amortización es de 15 años y porcentaje de financiamiento del 80% (Fig.5)

#### 4. COMENTARIOS

A nivel nacional se recolectan 42,000 Tn/día de residuos sólidos municipales, lo que representa una cobertura del 70% y únicamente, el 15% de lo recolectado se deposita en rellenos sanitarios controlados.

De 7 plantas de tratamiento con capacidad total de 2,550 Tn/día, únicamente se está aprovechando el 10% de su capacidad.

Los servicios de aseo urbano no han alcanzado un nivel satisfactorio por las siguientes razones:

- . Carencia de planes y programas
- . Escasez de recursos humanos calificados e insuficiente aprovechamiento
- . Legislaciones no actualizadas
- . Organismos, estructuras e instituciones no fortalecidas.
- . Aplicación de Tecnología no apropiada.
- . Recursos financieros limitados y desaprovechados .
- . Limitada orientación a la comunidad.

Cabe resaltar, que en la mayoría de las entidades federativas del país existe la administración directa municipal, sin una política tarifaria definida que garantice los recursos necesarios para administrar, operar y mantener los servicios en el nivel de eficacia suficiente para atender la demanda creciente del mismo.

Los diferentes niveles de gobierno están intensificando su participación en la solución de la problemática que presenta este subsector, llevando acciones tales como alentar la participación de los sectores privado y social, en las diferentes etapas del servicio.

Se recomienda la separación de los subproductos desde la fuente generadora y disminuir en lo posible la segregación de reciclables en las aceras, los camiones recolectores y en los sitios de disposición final.

Antes de invertir en plantas de tratamiento o de reciclaje o de cualquier tipo es necesario realizar estudios de mercado, conocer tanto la cantidad como la calidad de los residuos que se generan en la comunidad, aunado a las prácticas normales de la prepeña y pepeña, de manera tal que se conozcan las características del insumo final a tratar y la viabilidad de la comercialización de cada uno de los subproductos. Además deben de considerarse los programas sobre reducción de la generación de la basura, en caso de existir estas; como son en la industria del empaque, del embalaje, de la fabricación de desechos y de artículos de un solo uso.

En relación a la elaboración de coposta y su comercialización. Cabe señalar, que este producto es un mejorador de suelos y su venta es difícil debido principalmente a su baja calidad.

Sin embargo, en este sentido, y en caso de poder garantizar o incrementar el grado de confiabilidad en la calidad del producto, podría establecerse una comparación entre el estiércol como mejorador de suelo y la composta, ya que en estudios agropecuarios se establece que para mejorar un hectárea de terreno, se requieren 22 Tn. de estiércol y únicamente de 10 a 14 Tn de composta, el costo de ambos productos son de 29. M\$/Ton. y 65. M\$/Ton respectivamente, por lo que puede establecerse una competitividad entre ambos, lo anterior conlleva a convecer al agricultor del mayor rendimiento de la composta. Cabe señalar que las experiencias obtenidas a la fecha en la elaboración de este producto no son satisfactorias, por lo que sería conveniente que en caso de considerarse este tipo de plantas, deberá plantearse una calidad estandar y que sea reconocida por las autoridades competentes en materia de agricultura.

Si bien, en la recuperación de los materiales de la basura y la comercialización de los mismos, no necesariamente implica cubrir los costos de la prestación del servicio de aseo urbano, ya que practicamente cubre los costos de operación y de inversión y adicionalmente, en ahorro de energía, en conservación de recursos renovables y no renovables y en última instancia en un mayor aprovechamiento de la vida útil de un relleno sanitario, minimizando en éste último los problemas de contaminación.

En este sentido, la decisión de este tipo de inversión deben considerarse puntos de vista del municipio de la empresa, en caso que sea concesionada y del Banco como agente financiero.

Al primero no debería convertirse en una carga adicional a un presupuesto de egresos o bien valorando los beneficios sociales y ambientales que justifiquen la inversión y sus costos de operación, para que en caso de que exista un subsidio sea plenamente justificado.

Para los concesionarios del servicio, que además de la utilidad lícita que debe de tener toda empresa, por la prestación de sus servicios, debe considerarse que es un interés social para la comunidad. Y finalmente, como institución bancaria de fomento y desarrollo se busca que se dé una sana recuperación del financiamiento que se otorgue.

## ***CAPITULO III***

### **3. RELLENO SANITARIO**

#### **3.1 Definición.**

El relleno sanitario es el método de ingeniería recomendado para la disposición final de los residuos sólidos municipales, los cuales se depositan en el suelo, se esparcen y se compactan al menor volumen práctico posible y se cubren con una capa de tierra, al término de las operaciones del día.

La Sociedad Norteamericana de Ingenieros Civiles, ASCE, define: "Relleno Sanitario es una técnica para la disposición de la basura en el suelo sin causar perjuicios al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad pública; este método utiliza principios de ingeniería para cofinar la basura en la menor área posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable y cubriendo la basura así depositada con una capa de tierra con la frecuencia necesaria o por lo menos al fin de cada jornada".

Como obra de ingeniería, el relleno sanitario debe ser construido elaborando un proyecto para atender determinados objetivos generales y específicos. El objetivo general es la disposición final o depósito permanente de los residuos sólidos municipales en sitios y condiciones adecuadas para evitar daños a los ecosistemas. Como objetivo específico, podrá citarse la recuperación de ciertas áreas.

De la misma forma que en otras obras, el relleno sanitario debe realizarse a partir de un proyecto que cumpla con leyes, reglamentos, normas y métodos de construcción apropiados.

#### **3.2 Tipos de Terrenos.**

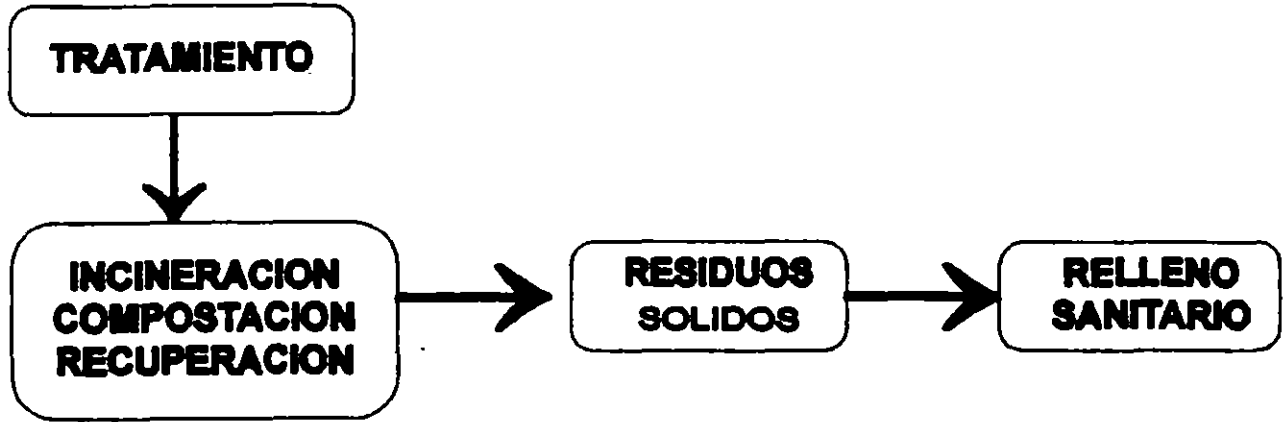
Existen a grandes rasgos cinco diferentes perfiles de terreno que por sus características se prestan para la construcción y operación del relleno sanitario y por su topografía se clasifican en :

**Plano.-** Es aquel terreno en el que se presentan pequeñas pendientes como las mesetas y llanuras ( 0 a 5% ).

**Ondulado.-** Se consideran terrenos ondulados aquellos en los que la pendiente no es continua, presentando partes planas y pendientes medias como son los valles ( 5 a 10% ).

**Escarpado.-** Presentan una pendiente muy pronunciada ( mayores del 10% ), como montañas, cerros, cañadas, etc.

## **SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL**



## ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

### INCINERACION

TEMPERATURA >850°C  
10% DE MATERIAL INERTE

### DESVENTAJAS

ELEVADO COSTO:  
• DE INVERSION  
• OPERATIVO

REQUIERE TECNICOS CALIFICADOS

OPERACION COMPLEJA

POCA FLEXIBILIDAD

REQUIERE EQUIPOS DE CONTROL DE  
CONTAMINACION ATMOSFERICA

### VENTAJAS

GENERACION DE ENERGIA CALORIFICA

RESIDUO INERTE

### COMPOSTACION

ESTABILIZACION DE LA MATERIA ORGANICA  
POR MICROORGANISMOS

### DESVENTAJAS

REQUIERE SEPARAR LOS RESIDUOS  
INORGANICOS

ELEVADO CAPITAL DE INVERSION

ELEVADO COSTO DE OPERACION

TECNICOS CALIFICADOS

POCO FLEXIBLE

### VENTAJAS

MEJORADOR DE SUELO

### RECUPERACION

REUSO Y/O RECICLAJE DE SUBPRODUCTOS

### DESVENTAJAS

ALTO COSTO DE INVERSION

POCA FLEXIBILIDAD

EXISTENCIA DE MERCADO

### VENTAJAS

AHORRO DE ENERGIA

CONSERVACION DE RECURSOS

GENERACION DE EMPLEO ORGANIZADO

INCREMENTA LA VIDA UTIL DEL RELLENO  
SANITARIO



## **RELLENO SANITARIO**

### **¿QUE ES?**

**TECNICA PARA LA DISPOSICION DE LA BASURA EN EL SUELO, SIN CAUSAR PERJUICIOS AL AMBIENTE, NI MOLESTIAS O PELIGRO PARA LA SALUD Y SEGURIDAD PUBLICA.**

**SE ESPARCEN Y COMPACTAN LOS DESECHOS SOLIDOS, EN EL MENOR VOLUMEN PRACTICO Y SE CUBREN CON UNA CAPA DE TIERRA AL DIA.**

### **VENTAJAS**

**INVERSION INICIAL MENOR A OTROS METODOS DE TRATAMIENTO  
BAJO COSTO DE OPERACION Y MANTENIMIENTO  
FLEXIBILIDAD  
RECUPERACION DE TERRENOS IMPRODUCTIVOS  
RECUPERACION DE GAS METANO**

### **DESVENTAJAS**

**ADQUISICIONES DE TERRENOS  
OPOSICION A SU CONSTRUCCION  
PROCESO DE URBANIZACION  
RIESGO DE CONVERSION A TIRADERO  
RIESGO DE CONTAMINACION POR LIXIVIADOS  
RIESGO DE EXPLOSION**

### **MATERIAL DE CUBIERTA**

**PREVIENE LA PRESENCIA Y PROLIFERACION DE MOSCAS  
IMPIDE LA ENTRADA Y PROLIFERACION DE FAUNA NOCIVA  
EVITA INCENDIOS Y PRESENCIA DE HUMO  
MINIMIZA LOS OLORES  
DISMINUYE LA ENTRADA DE AGUA PLUVIAL A LA BASURA  
ORIENTA LOS GASES HACIA LAS CHIMENEAS  
PRESENTA UNA APARIENCIA ESTETICA  
SERVE DE BASE PARA LAS VIAS DE ACCESO INTERNAS  
PERMITE EL CRECIMIENTO DE VEGETACION**

**Banco de material de préstamo.-** Es aquel terreno que se usó como banco de material y presenta grandes oquedades ú hoyancos que pueden ir desde 5 a 15 m. de profundidad.

**Combinados.-** Es aquel que presenta dos o más variantes de los terrenos arriba descritos.

El procedimiento de construcción y método de relleno sanitario se seleccionará una vez conocido el perfil del terreno disponible, que podrá ser de trinchera, área y/o la combinación de ambos.

### **3.3 METODOS DE DISPOSICION FINAL**

#### **a) Método de trinchera o zanja.**

Este método se utiliza en los lugares donde el nivel de aguas freáticas es profundo, las pendientes del sitio son suaves y las características del suelo permiten escavar con equipo normales.

En este sistema, la operación consiste en depositar los desechos en la base de un talud, donde se esparcen y compactan en capas hasta formar una celda que es cubierta con el material excavado de la trinchera. Esta operación se repite tantas veces como el nivel del terreno lo permita.

Las trincheras deben de estar alineadas perpendicularmente al viento dominante, de tal manera que reduzca la cantidad de residuos susceptibles de ser arrastrados por éste; un extremo de la trinchera debe de estar ligeramente inclinado para favorecer el drenaje de lixiviados generado.

La trinchera debe de ser tan profunda como la dureza y condiciones del terreno lo permitan; el frente del trabajo deberá ser al menos dos veces más que el ancho máximo del equipo utilizado.

El equipo mínimo necesario para la operación del relleno por trinchera depende de la magnitud de la operación y del procedimiento que se use, y éste, a su vez, de las condiciones específicas de cada sitio.

En el proceso de excavación las retroexcavadoras y las dragalíneas son ampliamente utilizadas sobre los tractores de oruga; sin embargo, cuando se trata de la operación de esparcir, compactar y cubrir, resultan excelentes los tractores adaptados para el relleno sanitario.

#### **b) Método de área.**

Este método prácticamente se puede utilizar en cualquier superficie de terreno disponible, de tal modo que se puede llevar a cabo en bancos de material o canteras abandonadas, cañadas, terrenos planos, depresiones o ciénegas. Un punto importante que no se debe olvidar en este método, es que la distancia de transporte del material de cubierta sea la adecuada para que la operación resulte económica.

El procedimiento es similar al utilizado en el método de zanja o trinchera y se recomienda iniciar la construcción de celdas en un extremo, siguiendo un plan de operación predeterminado.

De no contar con el equipo adecuado para compactar las celdas, el paso obligado de los vehículos de recolección será encima de ellas antes de depositar los desechos, esto ayudará a su consolidación.

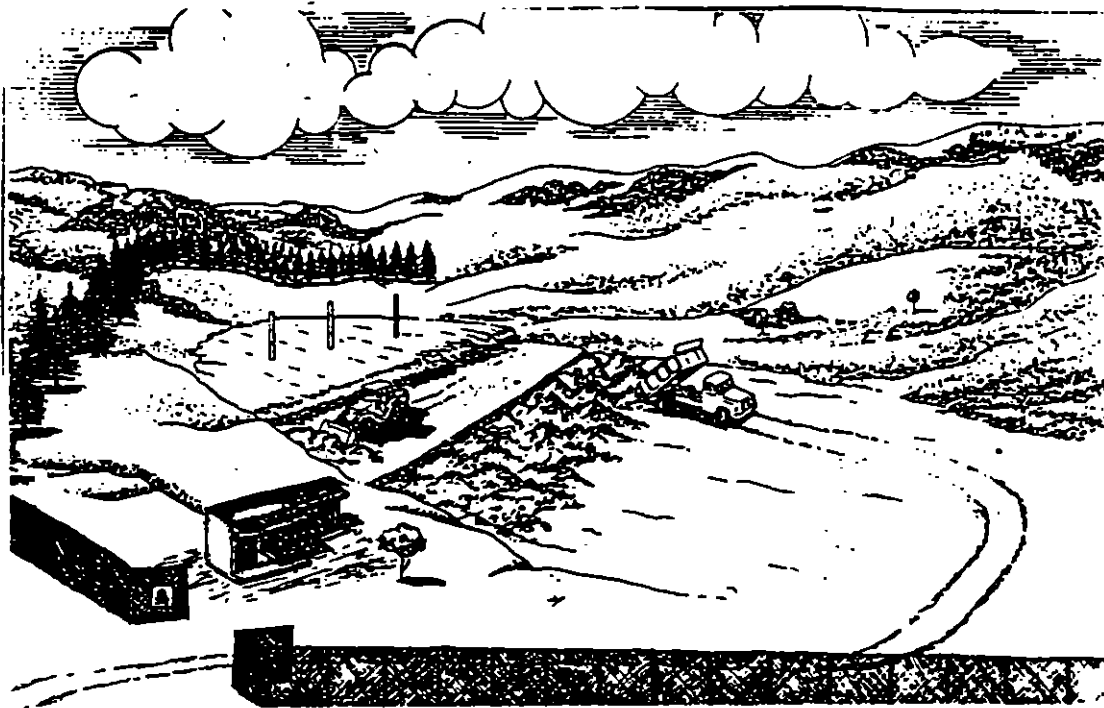
#### **c) Método combinado**

En algunos casos cuando las condiciones geohidrológicas, topográficas y físicas del sitio elegido para llevar a cabo el relleno sanitario son apropiadas, se pueden combinar los dos métodos anteriores, por ejemplo, se inicia con el método de trinchera y posteriormente se continúa con el método de área en la parte superior.

Otra variación del método combinado, consiste en iniciar con el método de área, excavando el material de cubierta de la base de la rampa, formándose una trinchera, la cual servirá también para ser rellenada.

Los métodos combinados son considerados los más eficientes ya que permiten ahorrar el transporte de material de cubierta (siempre y cuando exista éste en el sitio) y aumentan la vida útil del relleno.

Para que se cumpla la condición de ser relleno sanitario, al finalizar el trabajo diario se deben cubrir las celdas para evitar: la proliferación de fauna nociva, malos olores que invadan a todo el sector y que los residuos sean llevados por el viento fuera del relleno.



Método de trinchera operado en una trinchera natural.



Método de trinchera operado en una trinchera artificial.

Instalación y Operación de Rellenos Sanitarios  
Gov. del Estado de Veracruz (1)

#### **4. SELECCION DE TERRENOS APTOS**

##### **4.1 Geohidrología.**

El objetivo principal del estudio geohidrológico es la localización de los mantos acuíferos, así como su gasto de escurrimiento, velocidad, dirección de movimiento y los cortes estatigráficos de los suelos, de tal manera que se cuente con información acerca de la disponibilidad de tierra para cobertura y sus características geológicas, las cuales nos ayudarán a conocer el volumen disponible de material de cubierta y la línea de máxima excavación en la operación del relleno sanitario.

En algunas ocasiones las limitaciones económicas de los municipios impiden llevar a cabo un estudio geohidrológico completo realizado por especialistas.

Se recomienda realizar sondeos hasta una profundidad de 20 m. o menos si se encuentra material impermeable, o bien pozos a cielo abierto de 6 m. de profundidad o mayores.

Se deberá investigar en las cercanías, las norias o pozos profundos, o con las autoridades hidráulicas del lugar, el nivel de aguas freáticas, de tal manera que se tenga una información lo más aproximada al sitio en cuestión; pero si existe alguna duda importante, será necesario llevar a cabo un estudio geohidrológico o seleccionar otro sitio para el relleno sanitario.

##### **4.2 Ciclo Hidrológico.**

Sin duda los procesos que acompañan al ciclo hidrológico, juegan un papel muy importante en el diseño y operación de un relleno sanitario; a continuación se describen estos procesos y su influencia en el diseño y operación de un relleno sanitario.

##### **4.3 Precipitación Pluvial.**

La precipitación pluvial tiene influencia en el diseño del relleno, ya que el conocimiento de ésta, en el sitio seleccionado, será importante para el diseño de los drenajes, el cálculo de volumen de lixiviados que se generarán potencialmente, el cálculo de agua de escurrimiento superficial y finalmente ayuda al diseño de las áreas de trabajo en la operación del relleno sanitario. En lo que respecta a la operación del relleno en tiempo de lluvias, puede hacer que el material de cubierta sea más difícil de esparcir y de compactar. Otro problema, es la dificultad en un momento dado que puede ocasionar el tránsito de vehículos en los caminos de terracería dentro del sitio.

# **SELECCION DEL SITIO PARA EL RELLENO SANITARIO**

- **SUELOS IMPERMEABLES**
- **ESTATIGRAFIA**
- **GEOHIDROLOGIA**
- **PERMITA SU UTILIZACION A LARGO PLAZO DE 7 A 10 AÑOS**
- **TENENCIA DE LA TIERRA**
- **ACEPTACION DE LA POBLACION**
- **TOPOGRAFIA APROVECHABLE**
- **FACIL Y RAPIDO ACCESO (3 A 12 Km DE LA MANCHA URBANA)**
- **BANCO DE MATERIAL CERCANO**
- **DIRECCION DE VIENTOS DOMINANTES EN SENTIDO CONTRARIO A LA MANCHA URBANA**

## FACTORES DE EVALUACION PARA LA SELECCION DEL SITIO

CONCEPTOS	OPCIONES		
	EXCELENTE	BUENA	REGULAR
VIDA UTIL	> 10 AÑOS	5 A 10 AÑOS	< 5 AÑOS
TIERRA DE COBERTURA	AUTOSUFICIENTE	ACARREO CERCANO	ACARREO LEJANO
TOPOGRAFIA	MINAS A CIELO ABIERTO ABANDONADAS	COMIENZO DE CAÑADAS, MANGLARES CONTAMINADOS	OTROS
VIAS DE ACCESO	CERCANA Y PAVIMENTADAS	CERCANAS Y TRANSITABLES	LEJANAS Y TRANSITABLES
VIENTOS DOMINANTES	EN SENTIDO CONTRA- RIO DE LA MANCHA URBANA	EN AMBOS SENTIDOS DE LA MANCHA URBANA	EN SENTIDO DE LA MANCHA URBANA
UBICACION DEL SITIO	DE 3 A 12 KM DE LA MANCHA URBANA	ENTRE 1 A 3 KM DE LA MANCHA URBANA	< KM Y > 12 KM DE LA MANCHA URBANA
GEOLOGIA	IMPERMEABLE	SEMI-IMPERMEABLE	PERMEABLE
GEOHIDROLOGIA	> DE 30 M. DE PROFUNDIDAD (MANTO ACUIFERO)	ENTRE 10 Y 30 M. PROFUNDIDAD	< DE 10 M. DE PROFUNDIDAD
HIDROLOGIA SUPERFICIAL	NO HAY CORRIENTES SUPERFICIALES	LEJANO DE CORRIENTES SUPERFICIALES	CERCA DE CORRIENTES SUPERFICIALES
TENENCIA DE LA TIERRA	TERRENO PROPIO	TERRENO RENTADO A LARGO PLAZO	TERRENO RENTADO A CORTO PLAZO

S.F.D.O.E. Rollman Sanitarios

## **TABLA DE VALORES PARA LA SELECCION DE UN SITIO**

<b>CONCEPTOS</b>	<b>VALORES</b>	<b>EXCELENTE 1.000</b>	<b>BUENA 0.850</b>	<b>REGULAR 0.700</b>
<b>VIDA UTIL</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>0.850</b>	<b>0.700</b>
<b>TIERRA DE COBERTURA</b>	<b>0.700</b>	<b>0.700</b>	<b>0.595</b>	<b>0.490</b>
<b>TOPOGRAFIA</b>	<b>0.200</b>	<b>0.200</b>	<b>0.170</b>	<b>0.140</b>
<b>VIAS DE ACCESO</b>	<b>0.250</b>	<b>0.250</b>	<b>0.212</b>	<b>0.175</b>
<b>VIENTOS DOMINANTES</b>	<b>0.050</b>	<b>0.050</b>	<b>0.042</b>	<b>0.035</b>
<b>UBICACION DEL SITIO</b>	<b>0.400</b>	<b>0.400</b>	<b>0.340</b>	<b>0.280</b>
<b>GEOLOGIA</b>	<b>0.400</b>	<b>0.400</b>	<b>0.340</b>	<b>0.280</b>
<b>GEOHIDROLOGIA</b>	<b>0.400</b>	<b>0.400</b>	<b>0.340</b>	<b>0.280</b>
<b>HIDRO.SUPERFICIAL</b>	<b>0.300</b>	<b>0.300</b>	<b>0.255</b>	<b>0.210</b>
<b>TENENCIA DE LA TIERRA</b>	<b>0.700</b>	<b>0.700</b>	<b>0.595</b>	<b>0.490</b>
<b>TOTAL</b>	<b>4.400</b>	<b>4.400</b>	<b>3.739</b>	<b>3.080</b>

65



#### 4.4 Evapotranspiración.

El proceso de evapotranspiración interviene también en el cálculo de lixiviados y en los cálculos de evaporación de los mismos.

### 5. MECANICA DE SUELOS.

Los resultados de los estudios del suelo deben presentarse en un anexo repaldado, incluso, con planos donde se ubiquen los sitios de muestreo, así como las características e información general de los muestreos realizados, complementados con la simbología, claves y notas usuales para este tipo de estudios.

#### 5.1 Parámetros.

A continuación se indican algunos de los parámetros más usuales.

##### a) Porosidad.

La porosidad se expresa como:

$$\text{Porosidad} = \frac{(\text{Vol. total}) - (\text{Vol. Sólidos})}{\text{Vol. Total}} (100)$$

La porosidad en los suelos pueden variar como se indica en la siguiente tabla:

Material	Porcentaje (%)
Arenas y gravas	35 - 50
Arenas apisonadas	25 - 30
Pizarras y arcillas pizarronadas	0.5 - 8
Arcillas	44 - 47
Tierras vegetales	37 - 65

##### b) Coeficiente Permeabilidad.

Se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$K = Q / A (Dh / Dl)$$

donde:

K	Coeficiente de permeabilidad, en cm/seg
Q	Caudal o flujo, en cm <sup>3</sup> / seg
A	Area, en cm <sup>2</sup>
Dh/Dl	Pendiente hidráulica, en milésimas

El coeficiente de permeabilidad (K) para diferentes tipos de suelos, varían como se indica a continuación.

**c) Coeficiente de permeabilidad "K".**

Material	K (cm/seg)
Grava limpia.	$10^2 - 10^0$
Arenas limpias.	$10^9 - 10^{-3}$
Arenas limpias y mezclas de grava suelos impermeables modificados por los efectos de la vegetación e intemperización.	$10^{-2} - 10^{-7}$
Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla moreno glacial, depositos estratificados de arcilla, etc.	$10^{-3} - 10^{-7}$
Suelos impermeables, arcillas homo- géneas bajo la zona de intemperización.	$10^{-7} - 10^{-9}$

**d) Pruebas de Permeabilidad.**

Las pruebas de permeabilidad se clasifican de la siguiente manera:

**En el campo**

- Pozos de absorción
- Pozos de filtración
- Pozos en material homogéneo

**En el laboratorio**

- Permeámetro de carga constante
- Permeámetro de carga variable
- Permeámetro de capilaridad horizontal

## 5.2 Granulometría.

El análisis consiste en separar y clasificar por tamaños el material del suelo. A partir de la distribución de los granos es posible formarse una idea de la graduación del material; un material bien graduado (de todos tamaños) tiende a ser impermeable; una cantidad del 10% de partículas menores que pasa la malla No. 200 en arenas y gravas puede hacer que el suelo sea virtualmente impermeable.

Para la clasificación del suelo, se puede utilizar el sistema unificado.

## 6. ESTUDIO TOPOGRAFICO

Se deben dar las especificaciones técnicas generales para cualquier levantamiento topográfico; en cada caso particular y dependiendo del tipo de terreno, se determinan las variantes que puedan existir tales como:

- \*Localización
- \*Planimetría
- \*Altimetría
- \*Secciones
- \*Curvas de nivel.

## 7. VIDA ÚTIL

La vida útil del relleno sanitario, es el tiempo que se utilizará el sitio seleccionado para la desposición final de los residuos sólidos.

La vida útil depende del volumen disponible del sitio, de la cantidad de residuos a disponer, de la cantidad de material de cubierta y del método utilizado.

El volumen disponible del sitio se obtiene del estudio topográfico.

La cantidad de residuos a disponer depende de la generación de residuos sólidos de la comunidad, del índice de crecimiento tanto de la población como el de generación per cápita y de la cobertura del servicio.

$$V.U = V_s / 365 \text{ Gt}$$

Donde:

- V.u Vida útil del relleno sanitario, en años.
- V<sub>s</sub> Volumen del sitio, en m<sup>3</sup>.
- Gt Cantidad de residuos, incluyendo material de cubierta (20 al 25 %).

### 7.1 Generación de Residuos Sólidos.

Proyección de población:

$$P_e = P_o (1+r)^n$$

Donde:

$P_e$  Población al año deseado

$P_o$  Población inicial

$r$  Tasa de crecimiento

$n$  Número de años

Tasa de crecimiento: 2 %

Incremento en la generación: 1 al 3 % anual

Generación per cápita, ppc (norma NTRS-2-SEDESOL)

$$ppc = \frac{\text{Cantidad de residuos generados}}{\text{población}} \quad \frac{\text{Kg/d}}{\text{hab.}}$$

ppc 0.5 a 1.0 Kg/hab-día

Ejemplo:

Proyecto de población (geométrico)

$$P_e = P_o (1+r)^n$$

$n = 15$  años

$r = 0.02$

$P_o = 100.000$  hab.

Año		Habitantes
1		100,000
2	100,000 (1+0.02) <sup>1</sup>	102,000
3	100,000 (1+0.02) <sup>2</sup>	104,040
.		.
.		.
15	100.000 (1+0.02) <sup>14</sup>	131,948

### Generación per cápita

Generación = 68,900 Kg/día (obtenida de muestra)

$$ppc_1 = \frac{68,900 \text{ Kg/día}}{100,000 \text{ hab}} = 0.689 \text{ Kg/hab-día}$$

1	$ppc_1$	= 0.689
2	$ppc_2 = ppc_1 + 1\%$	= $0.689 * 1.01 = 0.695$
3	$ppc_3 = ppc_2 + 1\%$	= $0.695 * 1.01 = 0.703$
4	$ppc_4 = ppc_3 + 1\%$	= $0.703 * 1.01 = 0.709$
	$ppc_n = ppc_1 (1+r)^n$	
15	$ppc_{14} = ppc_1 (1+.01)^{14}$	= 0.792

### Producción Diaria, Pd

$Pd = \text{Población} * ppc * \text{cobertura del servicio}$

Si la cobertura es = 70.0

Producción anual = Pd \* 365

año	Población	ppc	Pd, Kg/día	P.a Ton/año
1	100,000	0.689	48230	17604
2	102,000	0.695	49623	18112
3	104,044	0.703	51198	18687
.				.
.				.
.				.
15	131,948	0.792	73152	26700

Es decir, al tercer año recibirá 54403 toneladas de basura.

Por lo tanto, el volumen que ocuparán los residuos en el relleno, se puede estimar a partir de la densidad de estos compactados, la cual varía de 500 a 700 Kg/m<sup>3</sup>.

Si la densidad es  $600 \text{ Kg/m}^3$  se tiene:

año	volumen $\text{m}^3/\text{día}$	volumen $\text{m}^3/\text{año}$	material de cubierta $\text{m}^3/\text{día}$	30% de vol. $\text{m}^3/\text{año}$
1	80	29200	24	8760
2	82.7	30186	24.8	90563
05.3	31145	25.6	9344	
.				.
.				.
15	122	44501	36.6	13359

Año	VOLUMEN TOTAL $\text{M}^3/\text{DÍA}$	ACUMULADO $\text{M}^3/\text{AÑO}$
1	104	37960
2	211.5	77201
3	322.4	117676
.		.
.		.
15	1946	710438

Si el volumen del sitio es de  $800,000 \text{ m}^3$ , se podrá disponer hasta en 16 años.

#### Area

Para un mismo volumen de residuos y material de cubierta, mientras más capas existan, es decir mayor profundidad, menor será en área requerida.

Para:

$h = 5\text{m}$	$h = 10\text{m}$	$h = 24\text{m}$
Area= 14.2Ha.	A= 7.1Ha.	A= 2.9Ha.

#### 8. DISEÑO DE LA CELDA DIARIA

Los elementos de la celda son:

- \* Altura
- \* Largo
- \* Ancho de frente de trabajo
- \* Pendiente de los taludes laterales
- \* Esposores de material de cubierta diario y del último nivel de las celdas.

El ancho mínimo de la celda es de 2 a 2.5 veces el largo de la cuchilla de la maquinaria y aumenta dependiendo del número de vehículos recolectores que llegan en la hora pico.

El talud recc ndado es 1: 3.

En los métodos de trinchera existe unicamente un frente de trabajo, en el de área o combinado pueden existir dos frentes de trabajo.

El espesor del material de cubierta se recomienda sea de 15 a 20 centímetros compactados de tierra entre los niveles de celda y 60 centímetros en la capa final.

Para 50 ton/día y 600 Kg/m<sup>3</sup> de compactación:

Altura de celda	2.65m
Ancho	8m.
Longitud	4.16m.
Area	33m <sup>2</sup>
Volumen de la celda /ha.	300
Volumen de Residuos Sólidos	83M <sup>3</sup> /DÍA
Volumen de Material de Cubierta	24M <sup>3</sup> /DÍA (MÉTODO DE ÁREA) 14M <sup>3</sup> /DÍA (MÉTODO TRINCHERA)

$$\text{Volumen de la zanja} \quad V_z = \frac{T \cdot \text{DSr} \cdot \text{MC}}{D}$$

Donde:

T	Vida útil de la zanja (días)
DSr	Cantidad de residuos recolectados (Kg/día)
MC	Factor de material de cubierta (20 a 25 %)
D	Densidad de los residuos en la zanja

Largo de la zanja en m:

$$l = V_z / a \cdot h$$

donde:

a	ancho en m. (3 a 8 m.)
h	Prof. en m. (2 a 3 m.)

Tiempo de maquinaria:

$$T_{exc} = V_z / R \cdot J$$

Donde:

T <sub>exc</sub>	Tiempo de maquinaria para la excavación de la zanja (días)
V <sub>z</sub>	Volumen de la zanja en m.
R	Rendimiento de excavación del equipo (m <sup>3</sup> /hr.)
J	Jornada de trabajo diario (hora/día)

### Vida útil del terreno

Número de zanjas que se pueden excavar:

$$n = A / F \cdot A_z$$

Donde:

- n Número de zanjas
- A Area del terreno (m<sup>2</sup>)
- F Factor para áreas adicionales (20 a 40 %)
- Az Area de la zanja (m<sup>2</sup>)

$$VU = t \cdot n / 365 \text{ días}$$

Donde:

t Tiempo de servicio de la zanja (día)

Ejemplo:

¿Qué volumen de zanja y sus dimensiones se requiere para 90 días de duración y qué tiempo necesita emplearse una retroexcavadora, si su rendimiento es de 14 m<sup>3</sup>/hr de corte?

Información:

100,000 habitantes

Generación de residuos sólidos per cápita de 0.639 Kg/día

Cobertura del 70%

Cantidad de residuos sólidos de 48,230 Kg/día

Solución:

- t= 90 días
- DSr= 48230 Kg/día
- MC= 1.2 (20% de material de cubierta)
- D= 600 Kg/m<sup>3</sup>

$$V_z = \frac{(90)(48230)(1.2)}{600} = 8681 \text{ m}^3$$

Lo anterior representa que para depositar la basura de un día se requiere excavar 8681 m<sup>3</sup>/90 días=96.5 m<sup>3</sup>/día

Dimensiones de la zanja

- h = 2.65m
- a = 8.0m
- V = 8681 m<sup>3</sup>
- l = 8681 / (2.65)(8.0) = 409m

Area = (409)(8) = 3272 m<sup>2</sup>  
Area total = A(1.3) factor de aumento



Area total = 4253m<sup>2</sup>

Tiempo de maquinaria

J = 8hr/día

T<sub>asc</sub> = 8681/14\*8hr=77.5días

Vida útil del terreno:

Area = 400X400m=8ha

Cada zanja ocupa 8m más 2m de separación entre ellas.

100/8Ha= 12.5= 12 zanjas/Ha= 96 zanjas

Si cada zanja tiene una vida de 90 días, las 96 zanjas tendrán una vida útil del terreno de 24 años, sin considerar los incrementos de residuos por el incremento de población y del índice de generación.

Cálculo de la celda diaria

Volumen de la celda = 96.5m<sup>3</sup>

h = 2.65m

A<sub>c</sub> = 96.5/2.65=36m<sup>2</sup>

Ancho= 8m

l=36/8= 4.6m

## 9. DISEÑO DE FRANJAS

Las franjas es el conjunto de celdas del relleno sanitario que se encuentran en una misma capa o nivel.

El sentido de construcción irá de extremo a extremo y de la parte alta a la parte más baja de la superficie del relleno.

## 10. DISEÑO DE CAPAS

Las celdas se unen unas con otras para formar las franjas y éstas a su vez, al irse juntando forman la capa.

Las capas se diseñan considerando la altura del sitio. Para evitar infiltraciones pluviales y facilitar el escurrimiento del agua de lluvia, la superficie tendrá una pendiente del 1 al 2% a partir del eje longitudinal de la capa.

El medio artificial puede utilizar materiales naturales o artificiales. El material natural está formado por arcillas compactadas en capas de 20 a 60 cm., el material artificial esta formado de hule, polietileno, pvc.

El espesor de suelo para disminuir la penetración de los contaminantes de lixiviado depende de la permeabilidad, el gasto de infiltración, velocidad de penetración del contaminante, precipitación pluvial, de la capacidad de intercambio catiónico.

Interfase para eliminación=  $300 \frac{C}{(CIC)Pv}$   
De carga catiónica

Donde :

- C Concentración catiónica de lixiviado, 440meq/l
- CIC Capacidad de intercambio catiónico del suelo, 0.1 a 6meq/100grs
- Pv Peso volumétrico del suelo, 1200 a 1800kg/m<sup>3</sup>
- i Infiltración en m/m<sup>2</sup> de relleno-año, 0.01 a 1.8

### 11. DRENAJE DEL LIQUIDO PERCOLADO

El manejo de líquido percolado es uno de los mayores problemas que se presentan en el relleno.

Disponer de canales periféricos para interceptar y desviar los escurrimientos de agua; la lluvia aumenta significativamente el volumen del lixiviado, hace necesario construir un sistema de drenaje en el terreno antes del depósito de basura. Se recomienda construir estos drenajes en todas las bases de los taludes interiores y exteriores de las terrazas o niveles que conformen el relleno.

El sistema de drenaje es una red horizontal de zanjas en piedras, interrumpiendo el flujo continuo del percolado por medio de pantallas.

Se recomienda un sistema de pozos de monitoreo para el lixiviado, cuando menos se debe contar con tres pozos para muestreo, situados, uno en la dirección del flujo de las aguas subterráneas antes de llegar al sitio del relleno sanitario; otro aguas abajo del sitio y el último en el nivel o base del relleno, se pueden construir de asbesto, cemento o plástico de un diámetro de 40 cm.

### 12. DRENAJE DE AGUA DE LLUVIA

El escurrimiento de las aguas pluviales, deberán evitarse mediante la construcción de un drenaje pluvial periférico de forma trapezoidal y dimensionamiento de acuerdo con las condiciones de precipitación local, área tributaria, características del suelo, vegetación y topografía.

El caudal aportado se puede calcular mediante el método racional:

$$Q_p = KIA/3.6 \times 10^6$$

Donde:

- Qp Caudal aportado, m<sup>3</sup>/seg.
- K Coeficiente de escurrimiento
- i Intensidad de la lluvia, para una duración igual a tc, mm/hr
- A Área de la cuenca, m<sup>2</sup>
- tc Tiempo de concentración, min.

El canal debe ser trazado por la curva de nivel máximo a que llegará el relleno y deberá obtenerse una velocidad máxima promedio de 0.5 m/seg. La sección del canal se puede calcular con la siguiente relación:

$$A = Q_p/v$$

Donde:

- A Área de la sección de la zanja.
- v Velocidad máxima promedio.

## AMBITOS ENCONTRADOS EN LIXIVIADOS PARA RESIDUOS MUNICIPALES

COMPONENTE	AMBITO(MG/L Ó PPM)
1. ALCALINIDAD TOTAL COMO CaCO <sub>3</sub>	4000 - 25540
2. ARSENICO	0.04
3. CADMIO	0 - 0.025
4. CALCIO	100 - 320
5. CIANUROS	0
6. CINC	0.25 - 3.0
7. CLORUROS	1325 - 8870
8. COBRE	0 - 0.6
9. CONDUCTANCIA ESPECIFICA	7400 - 32900 (µOHMS/CM)
10. CROMO TOTAL	0 - 8.7
11. DBO <sub>5</sub>	300 - 62000
12. DQO	1870 - 62320
13. DUREZA TOTAL	1000 - 11000
14. FLUORUROS	0.5 - 0.8
15. FOSFORO TOTAL	1 - 10
16. HIERRO TOTAL	1.7 - 1600
17. MAGNESIO	306 - 906
18. MANGANESO	0.05 - 4.0
19. MERCURIO	0 - 0.008
20. NITRATOS	0
21. NITRITOS	0.2 - 1.2
22. NITROGENO AMONACAL	15.5 - 1420
23. NITROGENO ORGANICO	46 - 1200
24. OXIGENO DISUELTO	0
25. POTENCIAL DE HIDROGENO	6.3 - 7.9
26. PLOMO	0 - 2.0
27. POTASIO	365 - 1270
28. SOLIDOS TOTALES	1700 - 16400
29. SODIO	400 - 4920
30. SULFATOS	40 - 1000
31. FENOL	0.5 - 18
32. DETERGENTES (SAAM)	0.7 - 233
33. TURBEDAD	128 - 1500 (UNT)

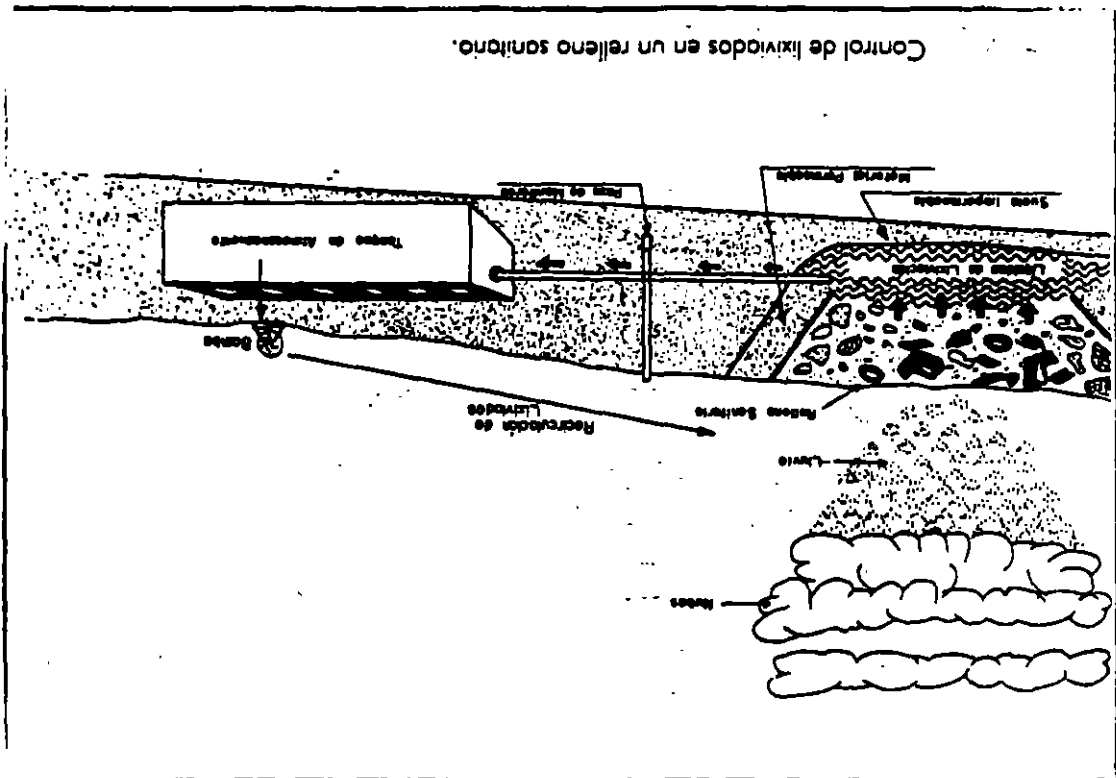
FUENTE: GONZALEZ URDELA J. LORENZO  
 MONITOREO AMBIENTAL EN RELLENAMIENTO SANITARIO  
 1ER. CONGRESO MUNDIAL DE INGENIERIA SANITARIA VOL. XXXVI  
 ENERO-MARZO, 1982

## COMPOSICION DE LOS GASES PRODUCIDOS EN UN RELLENO

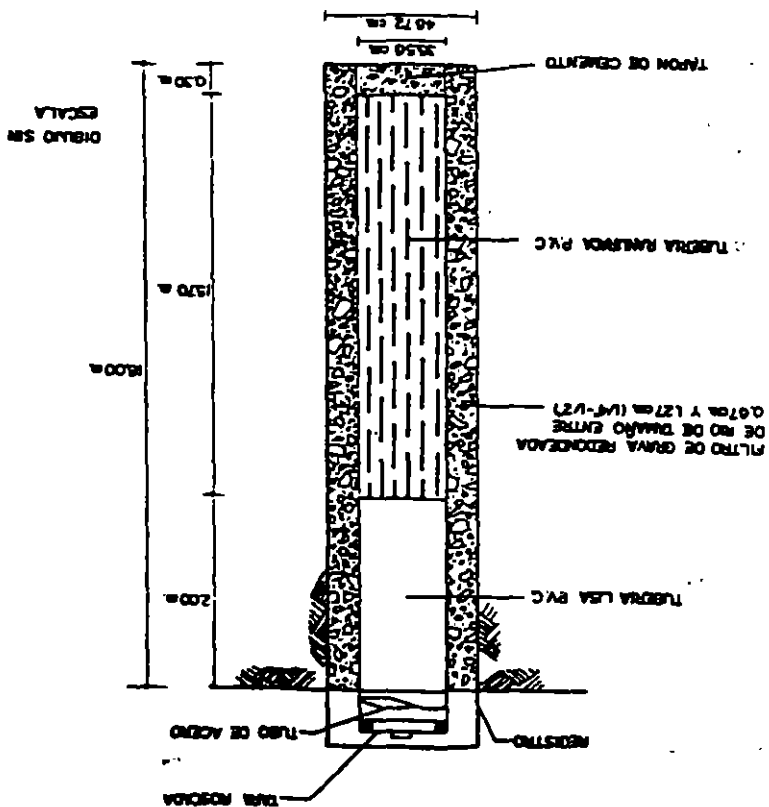
TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE QUE SE CONSTRUYO LA CELDA (MESES)	COMPOSICIÓN GASES EN %		
	N2	CO2	CH4
0 - 3	5.2	88	6
3 - 6	3.8	76	21
6 - 12	0.4	66	29
12 - 18	1.1	52	40
18 - 24	0.4	53	47
24 - 30	0.2	52	48
30 - 36	1.3	51	51
42 - 48	0.4	51	48

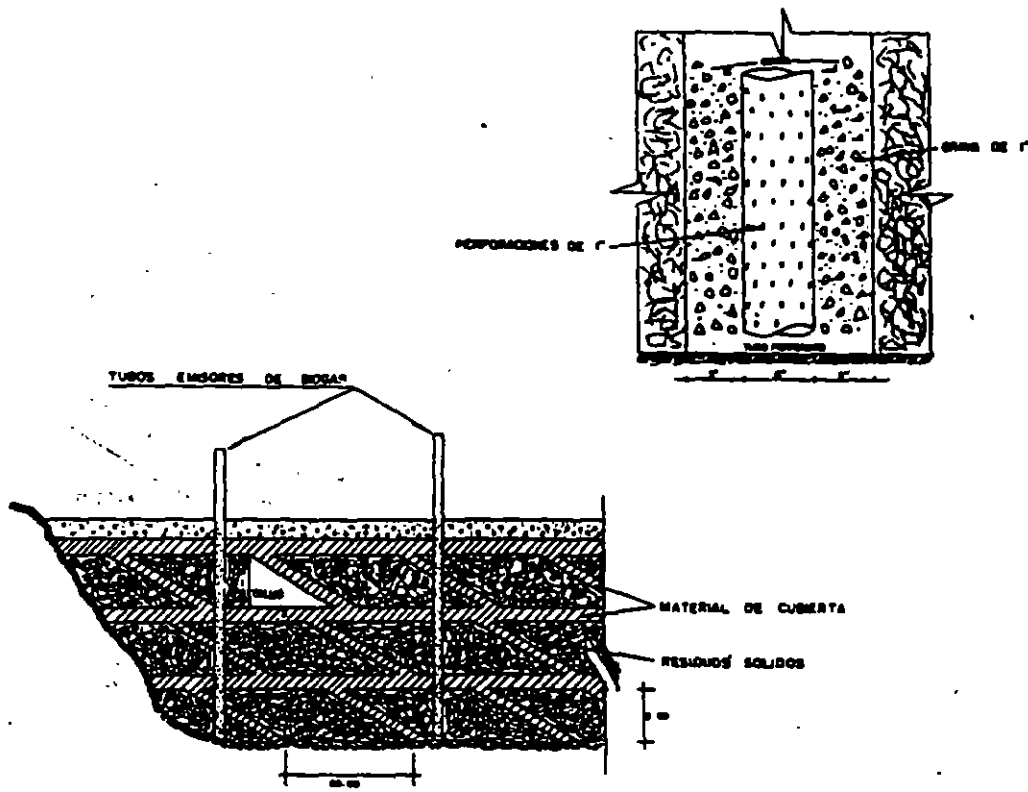
FUENTE: BRUNNER R. DIRK Y KELLER J. DANIEL  
SANITARY LANDFILL DESIGN AND OPERATION  
U.S., E.P.A., 1972

Control de lixiviados en un relleno sanitario.



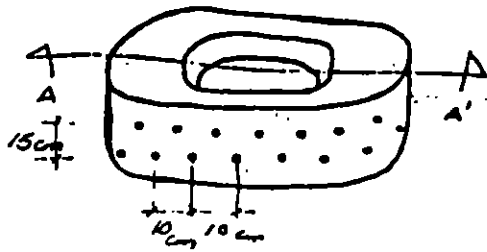
Croquis de un pozo de monitoreo y control de contaminación de agua.





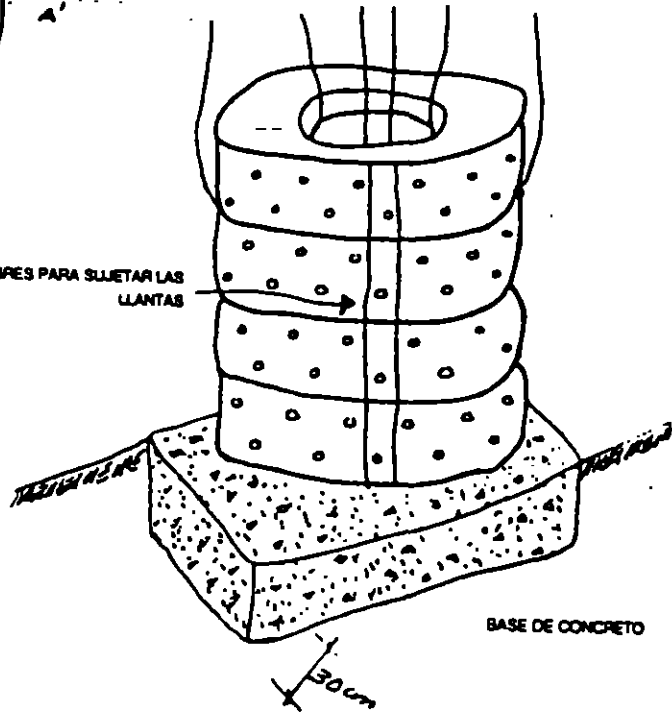
Detalle y colocación de los tubos emisores de biogas:

Idem 1

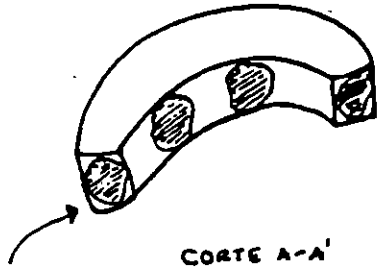


PERFORACION DE LLANTAS CON TALADRO O BERBIQUI

ALAMBRES PARA SUJETAR LAS LLANTAS



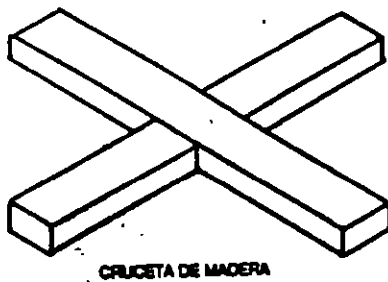
BASE DE CONCRETO



CORTE A-A'

PIEDRAS GRANDES O BOLEROS ENTRE LAS LLANTAS PARA EVITAR QUE SE APLASTEN LAS PERFORACIONES

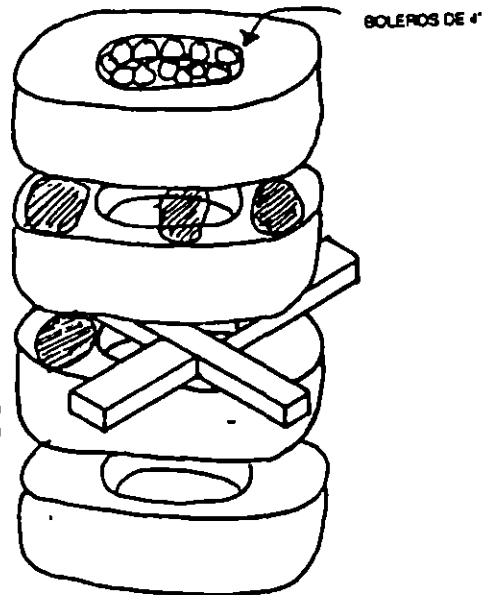
UNA VEZ ARMADAS LAS LLANTAS SE RELLENAN CON GRAVA O BOLEROS DE 4



CRUCETA DE MADERA

ENTRE LLANTAS Y LLANTAS IRAN COLOCADAS LAS CRUCETAS CON ALAMBRE

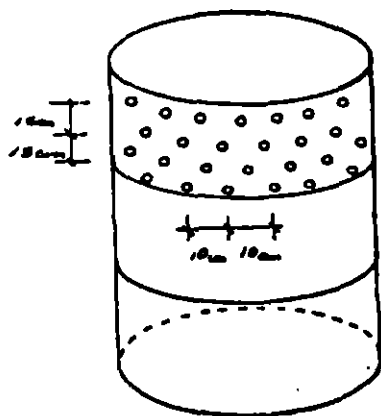
DADO EL CASO SE SUSTITUIRA LA CRUCETA POR PEDACERIA DE LADRILLOS O PIEDRAS (LO MENOS REDONDAS POSIBLES) SUJETAS POR ALAMBRES DE TAL FORMA QUE QUEDEN HUECOS ENTRE LAS LLANTAS



IGUALMENTE SE FUERA CON UNA BASE DE CONCRETO

Tubos emisores contruidos con llantas usadas.

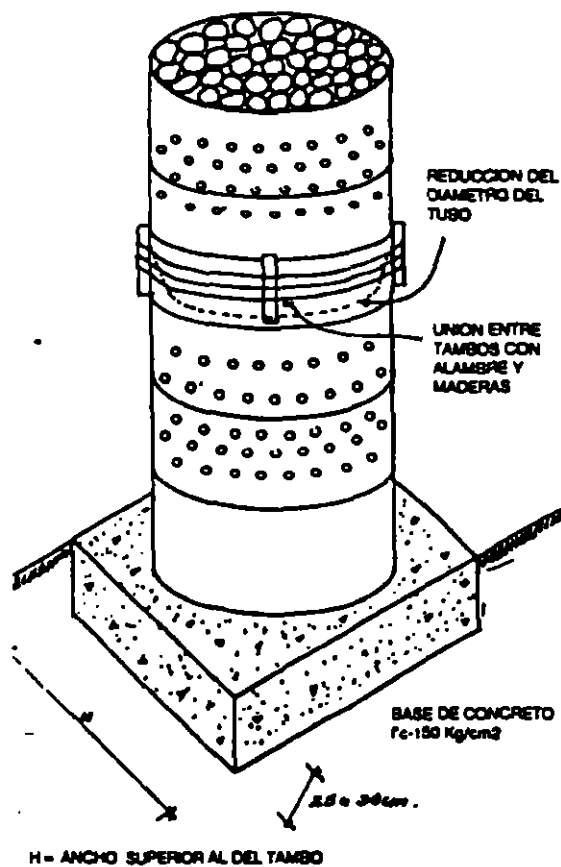
Idem I



TAMBO DE 200 LTS.  
DESFUNDADO

PERFORACIONES CON TALADRO O  
BERBEQUÍ 1/2"Ø

GRAVA O BOLEROS DE 4"  
DIAMETRO LIBRE DE ARCILLA

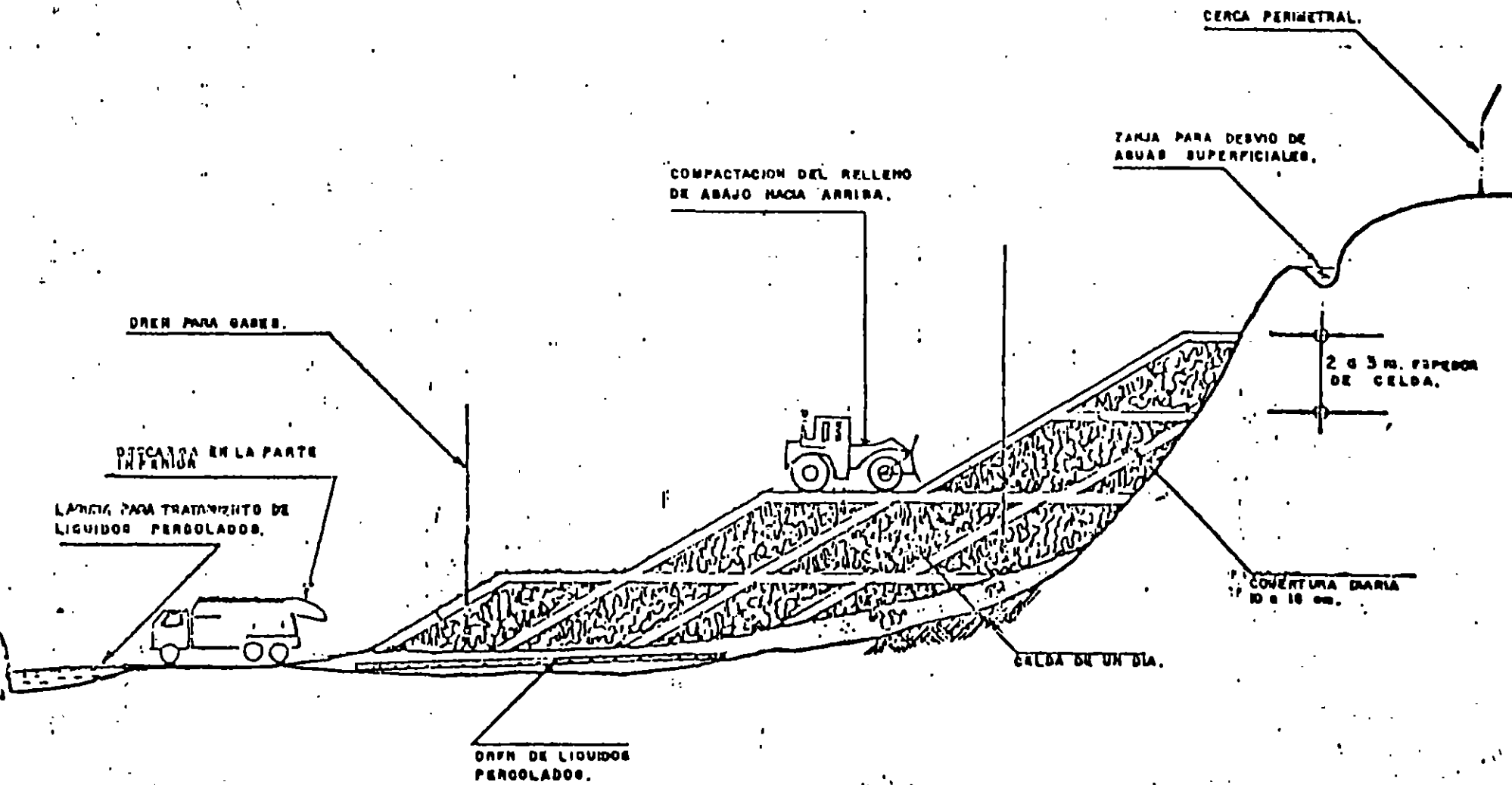


1. Tubos emisores contruidos con tambos vacíos.

Idem 1.



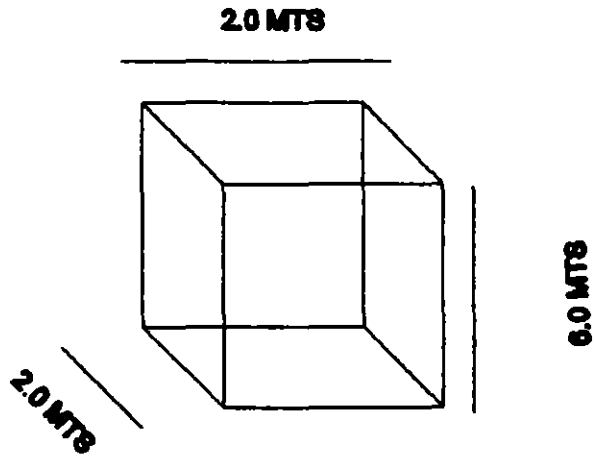
76



# RELLENO SANITARIO

SEDESOL. Rellenos Sanitarios

# SONDEO CON POZOS A CIELO ABIERTO



AREA HA	NUMERO APROXIMADO	DISTRIBUCION
HASTA 5	3	
5 - 20	5-6	
20 - 40	8 - 9	
> 40	11 - 15	

### **13. SISTEMA DE CAPTACION DE BIOGAS**

Para la captación de los gases existen dos métodos, el primero con materiales permeables y el segundo con materiales impermeables.

En el método permeable se pueden emplear zanjas de grava o ventilas llenas de grava entre las celdas por donde fluirán los gases; las zanjas deben profundizar abajo de la base del relleno, su diámetro puede ser de 30 cm., o bien, se pueden colocar tubos perforados de PVC de 8 a 10 cm de diámetro, los cuales funcionarán a manera de chimenea y se construyen verticalmente a medida que avanza el relleno; se recomienda instalarlas cada 20 o 50 metros.

Se deben interconectar los drenes a fin de lograr una mayor eficiencia en el drenaje de líquidos y gases. En la última celda se colocan tubos de concreto para facilitar su manejo.

El método impermeable consiste en que los gases son controlados en el suelo a través de materiales impermeables, pero deberá preverse una salida de los gases hacia la parte superior.

### **14. OBRAS COMPLEMENTARIAS**

Las obras complementarias pueden ser cobertizo para equipo, caseta de vigilancia y control, báscula, cercas fijas y móviles y tratamiento de lixiviados, iluminación del relleno, instalaciones sanitarias, patio de maniobras y cartel o valla publicitaria.

### **15. SELECCION DE MAQUINARIA**

Un paso importante en la construcción de un relleno sanitario es la selección de maquinaria adecuada. La selección del equipo depende de varios criterios tales como :

- \* cantidad de basura
- \* Tipo de suelo
- \* características de los materiales a remover y compactar
- \* clima
- \* topografía
- \* eficiencia del operador

El tonelaje diario es la variable principal al seleccionar la maquinaria adecuada y se debe considerar su crecimiento futuro.

Con base a estos criterios, es posible calcular una eficiencia para alcanzar la producción a bajo costo, el método más utilizado para evaluar el rendimiento del equipo es :

$$\frac{CB}{MP} \cdot EOM$$

Donde CB es el costo mínimo por basura  
MP es la máxima productividad posible por hora  
EOM es la eficiencia óptima de la maquinaria

#### **15.1 Tipo de Maquinaria.**

*Compactador de ruedas de acero*

El compactador de ruedas de acero es útil para esparcir, compactar y cubrir grandes volúmenes de desechos, además de lograr una gran densidad de compactación (de 712 a 949 Kg/m<sup>3</sup>). es rápido, ágil y agresivo aún más que un tractor de cadenas.

Se recomienda en superficies planas donde pueda aplicar el mayor peso a los desechos, inclinaciones más pronunciadas que 4:1 la eficiencia de compactación disminuye.

#### *Tractor de Cadena*

Las actividades que desarrolla este tipo de maquinaria son:

Empuje y compactación de residuos sólidos  
Conformación de piso y talud  
Cobertura

El tractor de cadena trabaja en toda clase de climas y se adaptan a rellenos sanitarios de área, rampa y de zanja. Existen en el mercado varios tipos de hojas para las orugas que se adaptan a las necesidades que se requieran; destacándose 3:

hojas "U" universal (Para largas distancias de acarreo).  
hojas "S" recta (Para distancias cortas de acarreo).  
hojas "A" angulable (Ideal para el corte inicial de caminos, zanja y empuje lateral).

#### *Cargador de Ruedas*

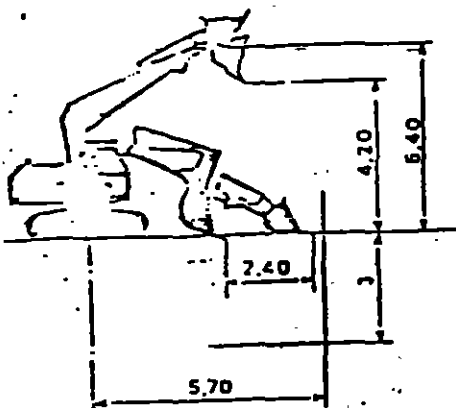
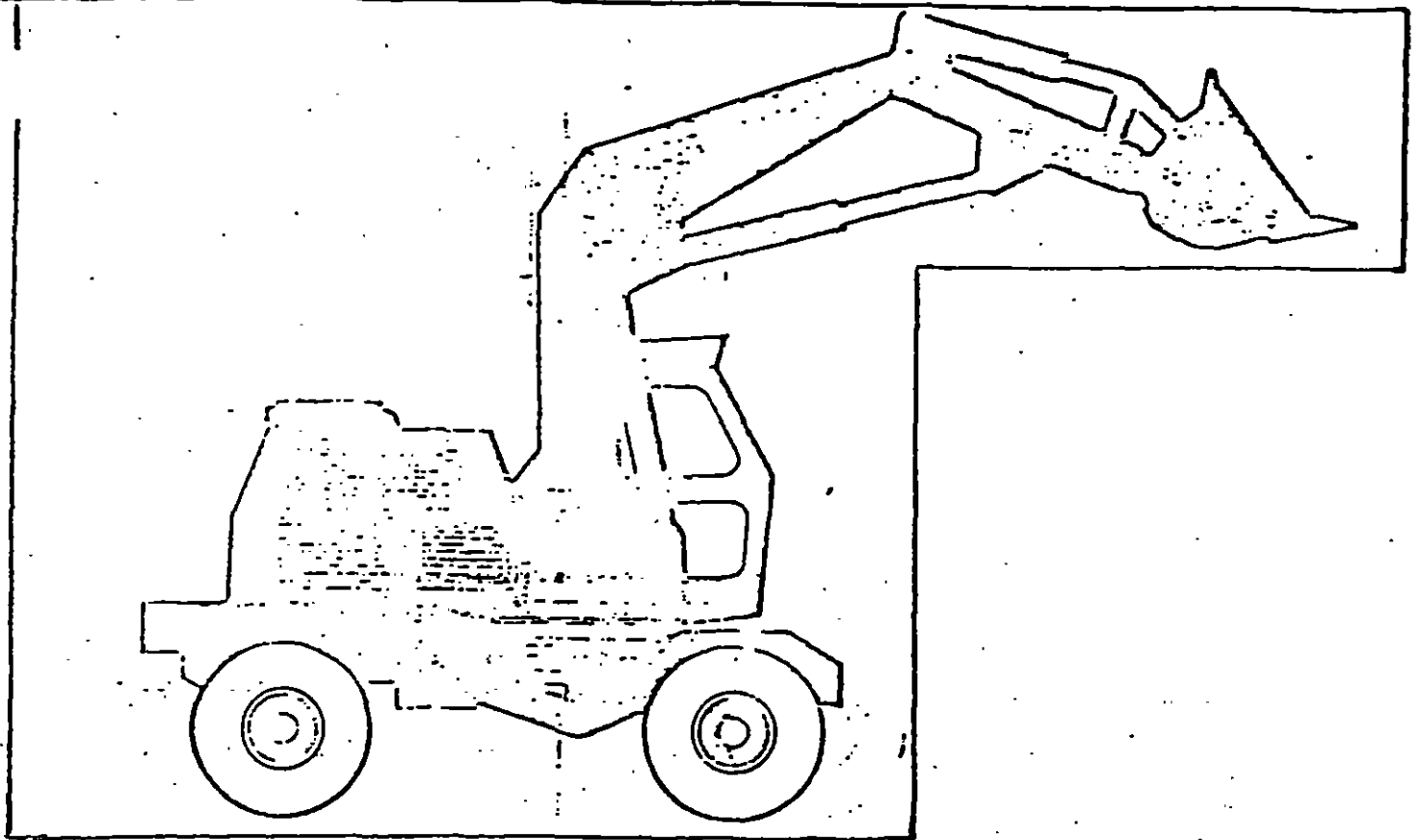
Esta maquinaria es versátil y rápida para el desmenuzamiento y reciclaje; puede cargar material de cobertura, acarrear los desechos y realizar trabajos de limpieza.

Las desventajas que presenta, es el constante pinchaduras de neumáticos, la cual es subsanada con neumáticos de espuma de goma. Estos neumáticos reducen la velocidad de la máquina y no se recomiendan para largas distancias debido a la acumulación de calor. Otra desventaja es que requiere más material de cobertura para la compactación

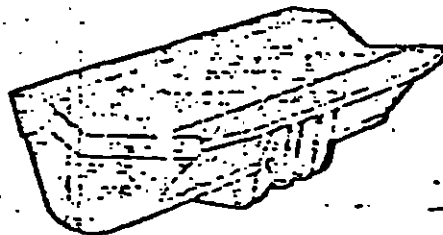
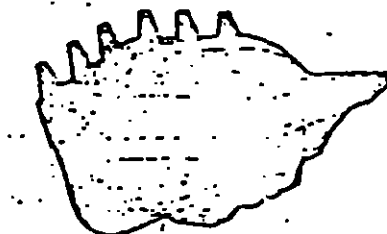
#### *Cargador de Cadenas*

Es una máquina que se ocupa de cargar material de cobertura, material utilizado en el mantenimiento de camino, para la carga de basura e incluso para la compactación. Emplea un cucharón hidráulico, el cual puede escavar y compactar.

El cargador de cadenas es ideal para rellenar zanjas. Cuando se utilizan para la compactación se obtiene una compactación igual a la de un compactador de cadenas, y puede proveer densidades mayores si se compacta con el cucharón cargado.



Recorrido al ras del suelo : 2,40 m.  
 Altura de descargue : 5,40 m.  
 Alcance desde eje giro : 5,70 m

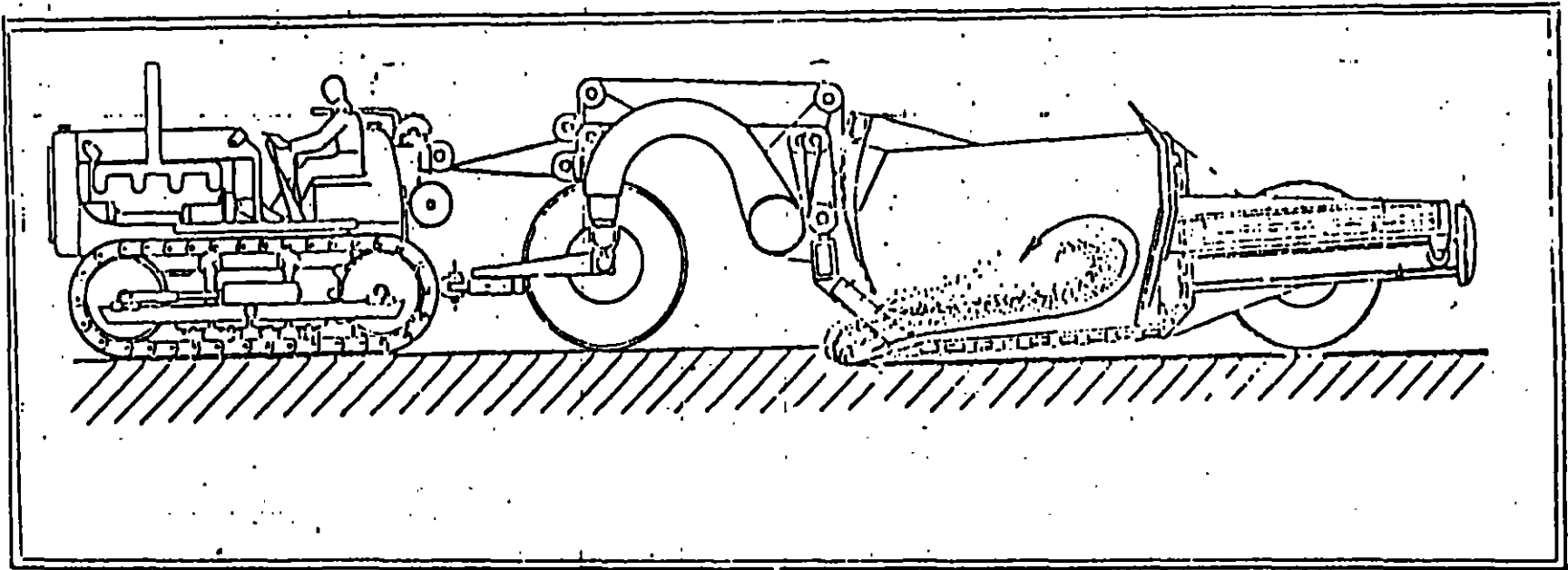


GAMA DE CUCHARAS CARGADOR

simbolo	ancho	cuchilla de la	capacidad
* 100.034	1.100	4 dientes	450 lt (5 / 16 y <sup>3</sup> )
* 100.035	1.300	6 dientes	520 lt (11 / 16 y <sup>3</sup> )
* 100.037	1.500	8 dientes	650 lt (1 1 / 8 y <sup>3</sup> )

CUCHARON CARGADOR FRONTAL

12



TRAILLAS

## SELECCION DE EQUIPO

POBLACION	TON/DIA	MAQUINARIA
0 - 20000	0 - 45	D3; 931; 938 LFC
20000 - 60000	45 - 138	D4; 943; 518LFC; 938LFC
60000 - 100000	138 - 227	D5; D6; 953 Y 518LFC
100000 - 140000	227 - 318	D6; D7; 938 Y 816
140000 - 200000	318 - 455	D8; 973 Y 816

### MOVIMIENTO DE MATERIAL

TRACTOR DE CADENAS 0 A 90 METROS

CARGADOR DE CADENAS 0 A 150 METROS

COMPACTADOR 0 A 60 METROS

TRAILLA REMOLCADA 180 A 300 METROS

MOTOTRAILLA MAYOR DE 180 METROS

Manual de Manejo de Desechos. Caterpillar.

### **Retroexcavadora**

La función principal de la retroexcavadora dentro del relleno sanitario, es relizar canales para la captación de lixiviados y drenaje del agua pluvial; en ocasiones se utilizan para la carga de material y mantenimiento de los canales de lixiviados.

### **Traillas**

Diseñadas para excavar y acarrear el material de cobertura a distancias de aproximadamente 183m. Esparce el material en capas delgadas y uniformes, sube fácilmente pendientes inclinadas y desplazarse rápidamente en caminos de superficies desiguales.

No es recomendable usar neumáticos rellenos de espuma de goma debido a que las traillas deben desplazarse a altas velocidades.

### **Camión de Volteo**

Sirve para el acarreo de tierra al frente de trabajo y como aproximador de combustible para las máquinas.

## **16. COSTO DE INVERSION Y DE OPERACION**

La inversión del relleno está dada por la suma de los costos del terreno, su preparación, construcción, maquinaria y equipo, obras de protección y costos de tratamiento. Las inversiones deberán amortizarse durante la vida útil del relleno sanitario, excepto en el caso de maquinaria y equipo, la cual deberá amortizarse en un plazo de 5 años.

El costo del terreno corresponde a la adquisición del predio.

El costo de preparación es el acondicionamiento del predio que incluye despalme, desenraice, excavaciones, movimientos de tierras y caminos de acceso.

El costo de construcción es la suma de costos de edificación de cerca perimetral y móvil, caseta de acceso, caseta administrativa y de pesaje, cobertizo y cimentación de báscula.

El costo de maquinaria y equipo es la suma de los costos de adquisición de báscula, tractores, compactadores, vehículos de acarreo de material de cubierta, herramienta, mobiliario y equipo de oficina.

El costo de obras de protección es la suma de costos para el manejo y captación de aguas pluviales, lixiviados y biogas.

Los costos de tratamiento se refieren en caso necesario de tratar los lixiviados, a la edificación, equipamiento y adquisición de terreno para la planta de tratamiento de lixiviados.

En caso de existir financiamiento para la inversión, es necesario incluir los intereses que se generen por dicho financiamiento.

Los costos de operación incluyen aquellos conceptos que dependen del funcionamiento propio del relleno, incluyendo los que generan el equipo utilizado en la extracción, acarreo y colocación del material de cubierta.



## BIBLIOGRAFIA

- . Diagnóstico Previo Administrativo, Financiero y Jurídico del Sistema de Control de Residuos Sólidos.- SEDUE. 1985
- . Primera Reunión con Presidentes Municipales sobre Desechos Sólidos y Aguas Residuales.- Presidencia de la República, Coordinación de Proyectos de Desarrollo.- 1982.
- . Desarrollo Institucional.- Guido Acurio, OPS., Colombia, Domingo Ruiz. OPS., Estados Unidos de América.
- . Planificación, Operación y Administración de Servicios de Desechos Sólidos. George A. Garland.- Oficina de Desechos Sólidos.- Agencia de Protección Ambiental.- E.U.A. (U.S.E.P.A.)
- . Estudios Demográficos y Urbanos Vol. 1 Colegio de México, 1986
- . Proyecciones de Población en México, 1980-2010. CONAPO
- . El Distrito Federal Algunos Problemas y su Planeación.- Gloria Salazar.- UNAM. 1983
- . Taller sobre Residuos Sólidos., Julio Roberto Jiménez Rubiano, OPS, CEPIS, Lerma Perce, 1982.
- . Sanitary Landfill Desing and Operation Dirk R. Brunner and Daniel J. Keller. U.S. Enviromental Protection Agency, 1972.
- . Programa de Administración de Residuos Sólidos de la EPA; Simposio sobre Ambiente, Salud y Desarrollo en las Américas OPS/DMS, Serie Técnica No. 19 pp.279- 1976.
- . XI Censo General de Población y Vivienda, 1990.
- . Programa Nacional para la Protección del Medio Ambiente 1990-1994. Diario Oficial 9 de Junio de 1990.
- . Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Diario Oficial 28 de Enero de 1988.
- . Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994. Diario Oficial 10. de Junio de 1989.
- . El Complejo Industrial de Valorización de Desechos. Gerard Renard., Ingeniero en Jefe en el Distrito de BAYONNE-ANGLET-BIARRITZ.

- . Programa de Salud Ambiental, Situación Regional del Aseo Urbano. OPS/OMS - Junio de 1991.
- . Programa de Salud Ambiental.- Guías para el Desarrollo del Sector de Aseo Urbano en Latinoamérica y el Caribe. OPS/OMS.- Enero de 1991.
- . Programa de Salud Ambiental.- Descripción de la Legislación Estadounidense Sobre Rellenos Sanitarios.- OPS/OMS. Junio de 1991.
- . Programa de Salud Ambiental.- Consideraciones Sobre el Manejo de Residuos Sólidos en Hospitales en América Latina. OPS/OMS. Junio de 1991.
- . Análisis y Evaluación de Proyectos de Inversión, Raúl Coss Bu. LIMUSA, Segunda Edición, 1987



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS  
VII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS  
MODULO II: CONTAMINACION DE ACUIFEROS**

**SELECCION DE SITIOS PARA DISPOSICION DE DESECHOS SOLIDOS**

**ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES**

# SELECCION DE SITIOS PARA DISPOSICION DE DESECHOS SOLIDOS

- DISTANCIA
- ZONAS HABITADAS, ESCUELAS
- DIRECCION DE LOS VIENTOS
- VIAS DE ACCESO
- SUBSUELO (ACUIFEROS)

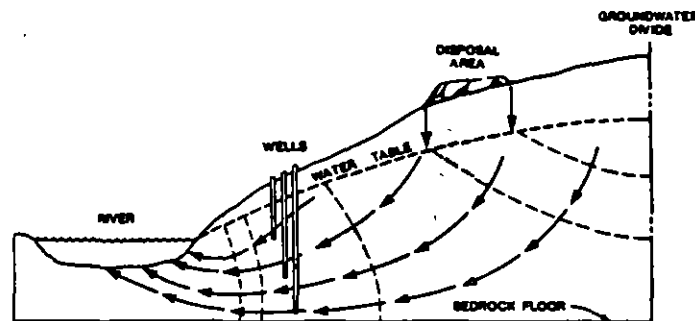


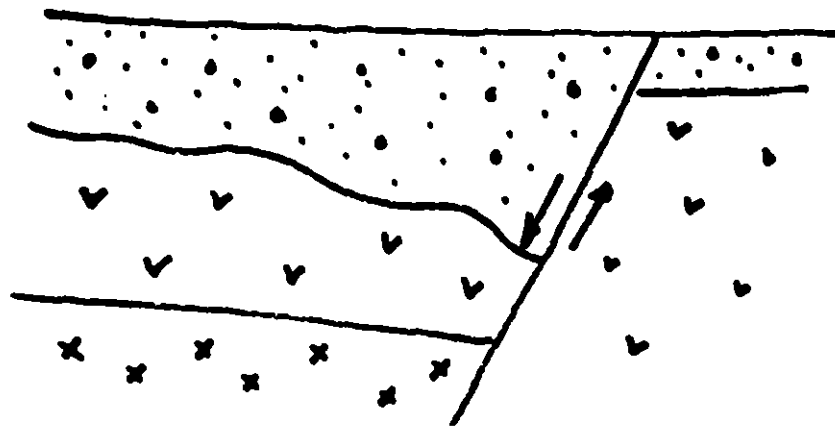
Figure 3-41. Relationship of screened zones to measuring the movement of contaminants in a regional flow system (adapted from Miller, USEPA, 1977).

## ESTUDIOS PRELIMINARES DEL SUBSUELO

- 1.- MARCO GEOLOGICO
- 2.- GEOHIDROLOGIA
- 3.- LIXIVIADOS
- 4.- MODELACION

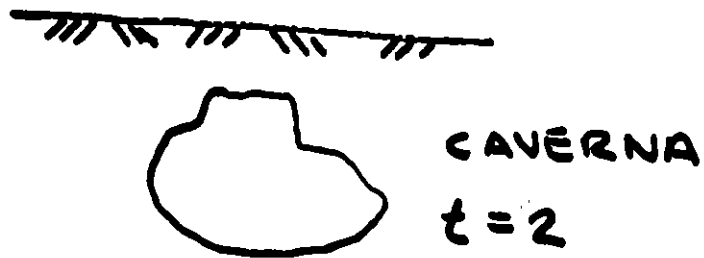
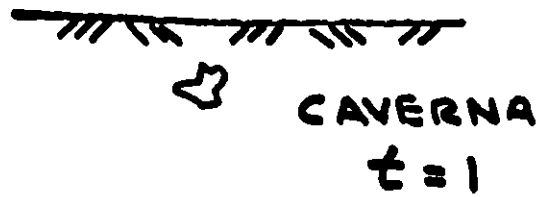
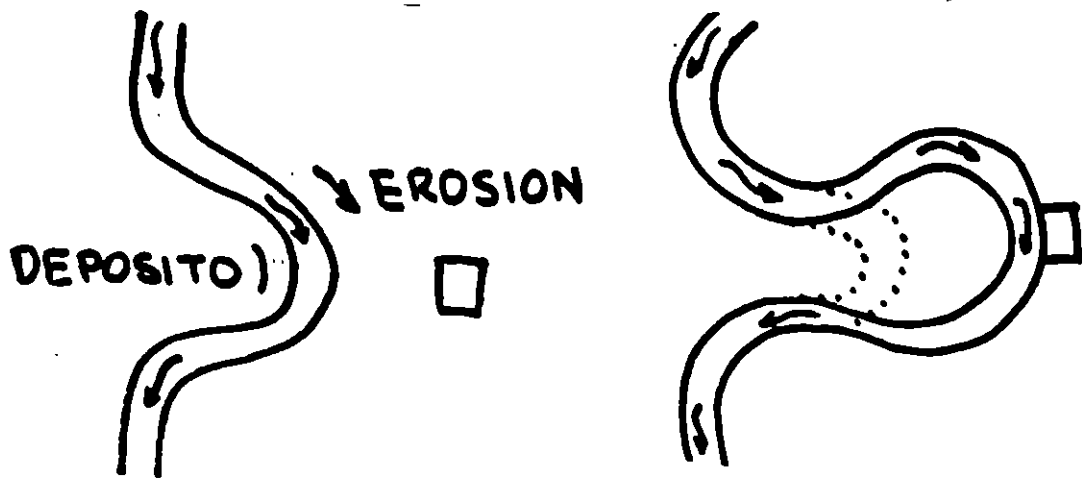
# 1.- MARCO GEOLOGICO

- GEOLOGIA DEL SUBSUELO
- SEDIMENTOLOGIA
- GEOLOGIA ESTRUCTURAL
- CORTES LITOLOGICOS
- GEOFISICA



## MOVIMIENTOS PROPIOS DE LA CORTEZA TERRESTRE

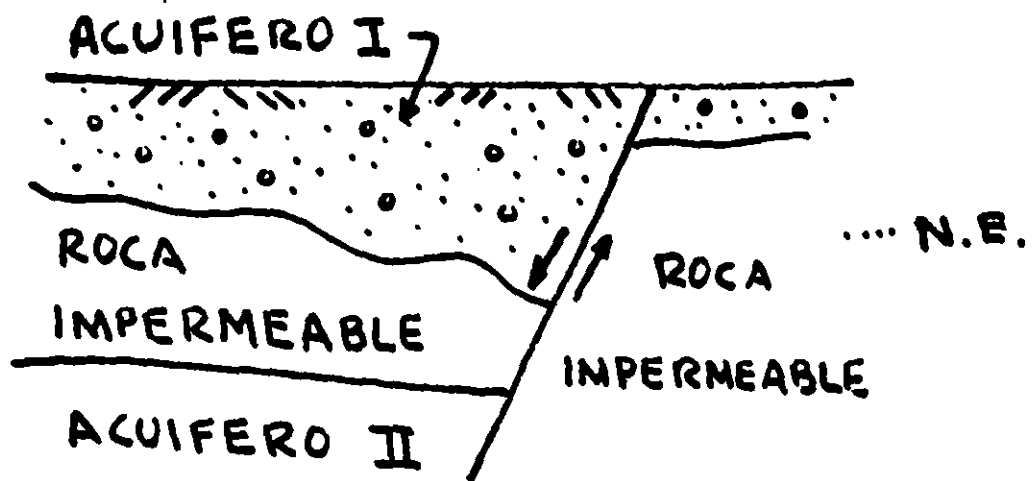
- SISMOS
- FALLAS ACTIVAS
- VULCANISMO
- EROSION
- MOVIMIENTOS DE TIERRA



TIEMPO GEOLOGICO  
 EN QUE SE PODRIAN  
 PRODUCIR CAMBIOS  
 SOBRE EL TERRENO

## 2: GEOHIDROLOGIA

### ROCAS PERMEABLES E IMPERMEABLES



### CARACTERISTICAS DE LAS ROCAS

- POROSIDAD
- PERMEABILIDAD
- FLUJO SUBTERRANEO

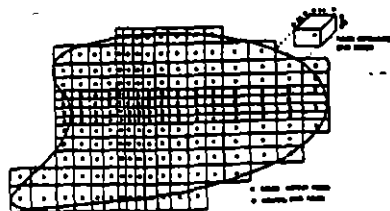
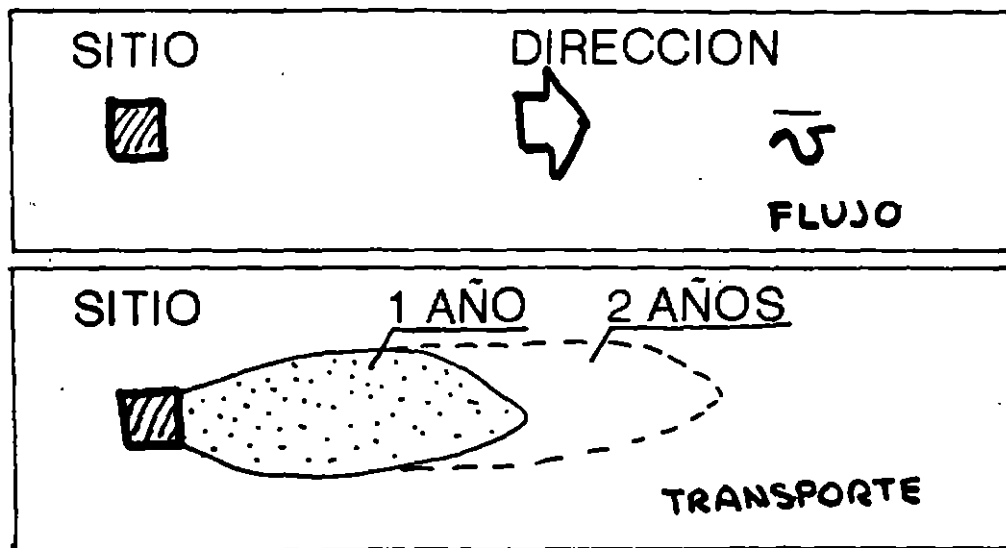
## 3: MONITOREO

- CONDICIONES ANTERIORES A LA CONSTRUCCION DEL SITIO
- IDENTIFICACION DE LIXIVIADOS
- COMPOSICION DE ROCAS Y LIXIVIADOS
- PROCESOS FQB
- RETENCION, MOVILIDAD

# DETECCION DE LA PLUMA CONTAMINANTE

- PERMEABILIDAD
- DIRECCION DEL FLUJO
- REACCIONES QUIMICAS

## 4.- MODELACION DE FLUJO Y TRANSPORTE





# OTROS ESTUDIOS

- DIRECCION DE VIENTOS
- CLIMATOLOGIA
- CORRIENTES SUPERFICIALES

PRINCIPLES OF GROUNDWATER FLOW 87

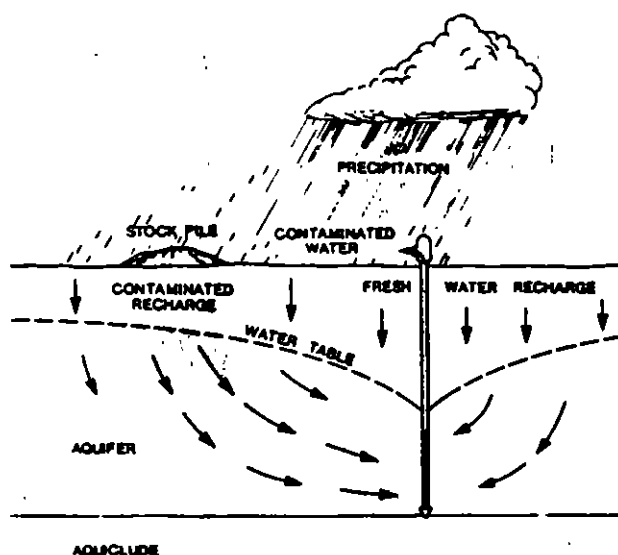


Figure 3-42. Influence of pumping on plume migration (adapted from Deutsch, U.S.G.S. 1963).

## DISEÑO

- TOPOGRAFIA DE LA BASE
- TOPOGRAFIA DE LA CUBIERTA
- DRENES EXTERIORES
- DRENES INTERIORES (LIQUIDOS Y GASES)
- ETC.

# RESUMEN

## 1.-MARCO GEOHIDROLOGICO

GEOLOGIA, ROCAS PERMEABLES E IMPERMEABLES, PERMEABILIDAD,  
FLUJO SUBTERRANEO

## 2.-IDENTIFICACION DE LIXIVIADOS Y SU COMPORTAMIENTO EN EL SUBSUELO

MONITOREO, TIPO DE LIXIVIADOS, PROCESOS FQB,  
DETECCION DE LA PLUMA, MODELACION DE FLUJO Y TRANSPORTE

**DISEÑO.- SE DEBE PARTIR DE QUE EL DISEÑO DEL  
SITIO NO PERMITIRA FUGAS DE LIXIVIADOS**

**MONITOREO.- EN CASO DE QUE EXISTIERAN LIXIVIADOS  
DEBE CONOCERCE SU COMPORTAMIENTO  
FQB Y MOVIMIENTO**

**ALTERNATIVAS DE SANEAMIENTO.-**

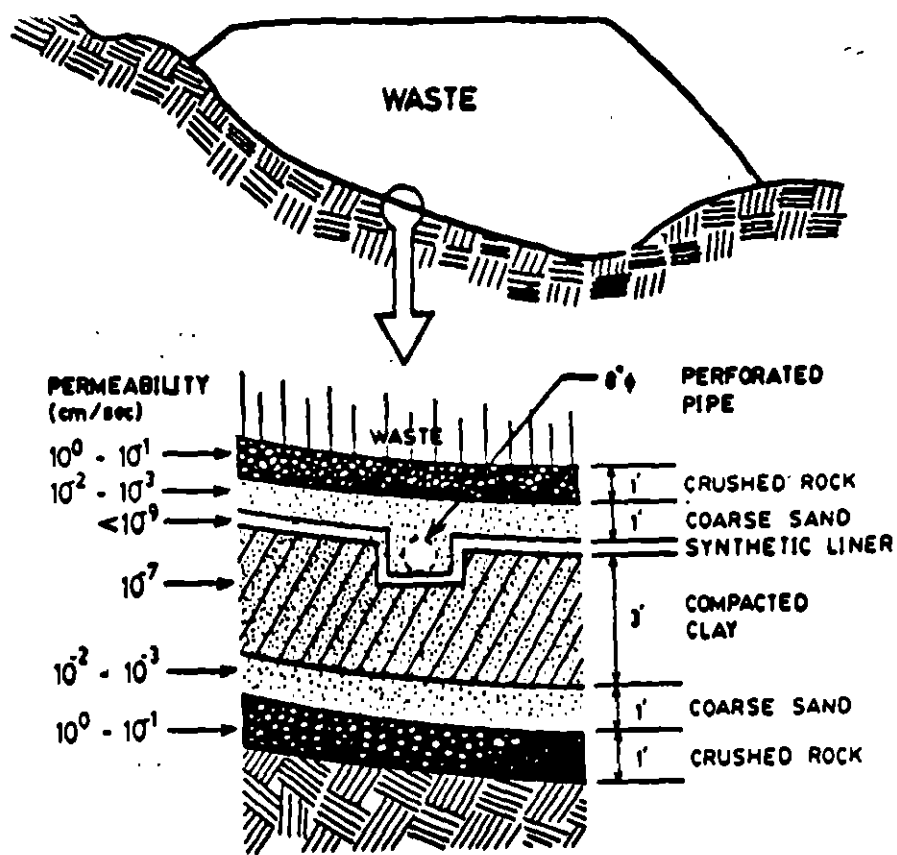


Figure 9-10. Typical landfill liner system.

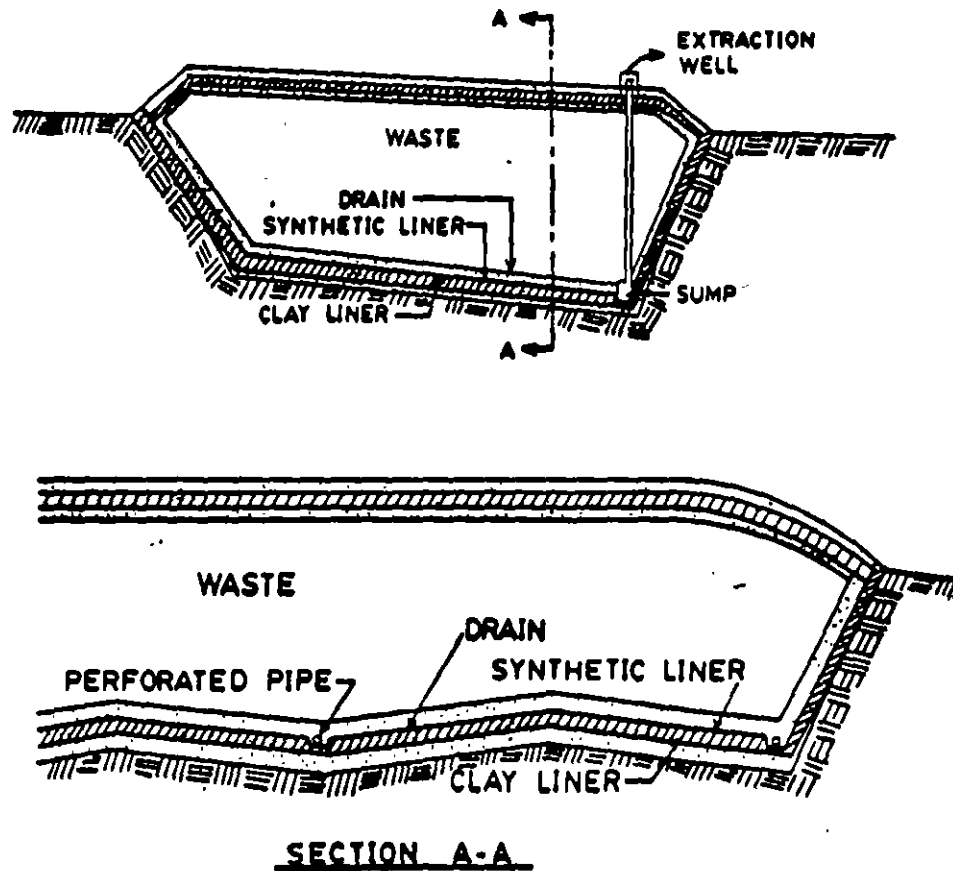


Figure 9-11. Schematic of hazardous waste landfill leachate collection system.

CONTROL OF SUBSURFACE MIGRATION

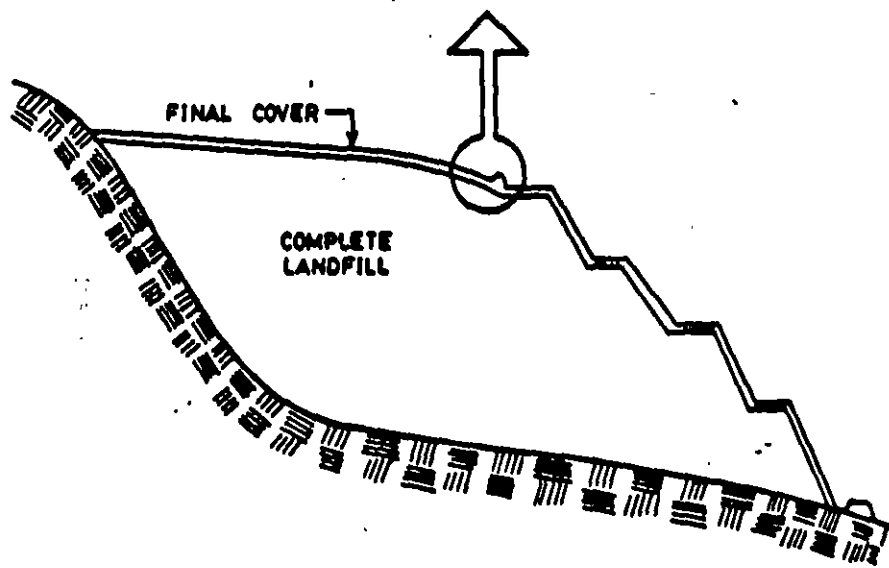
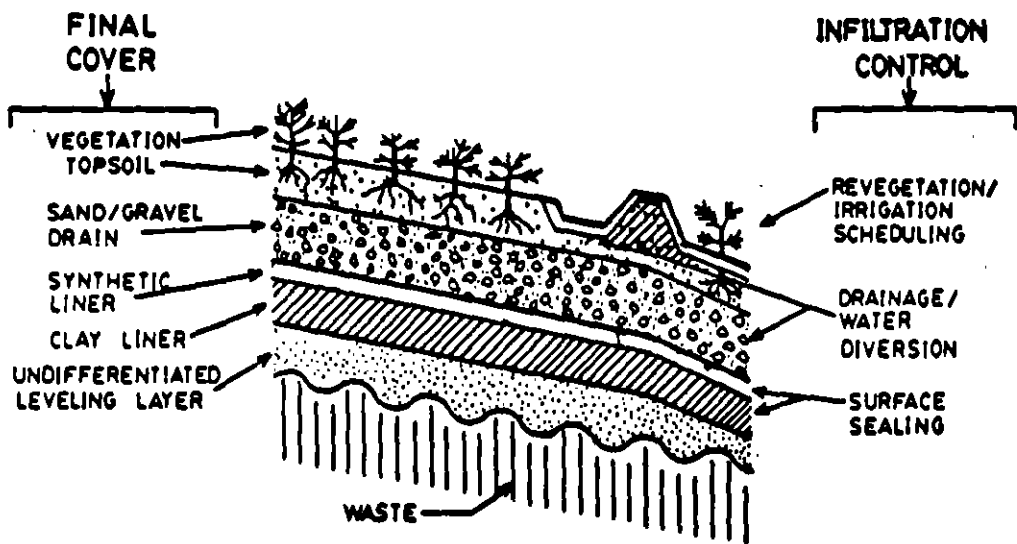
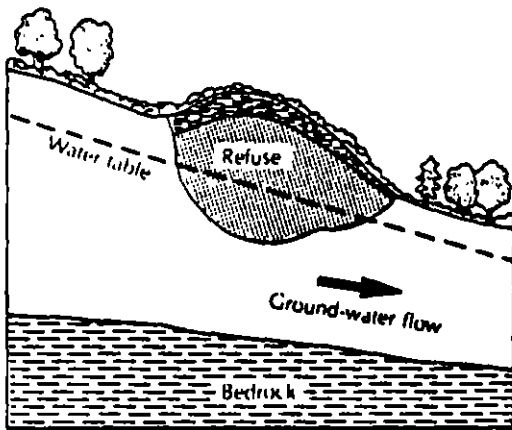
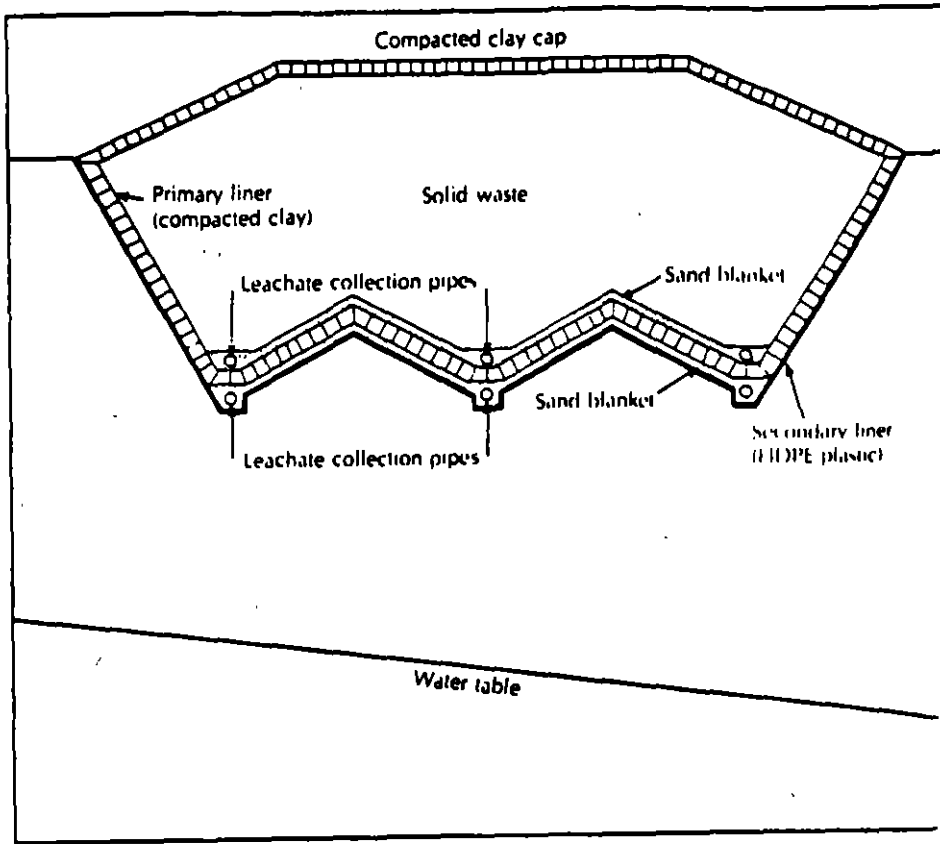
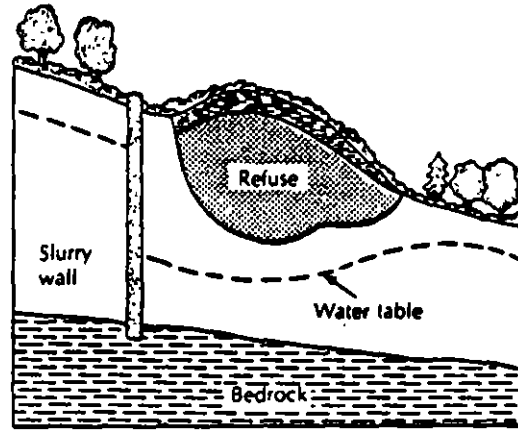


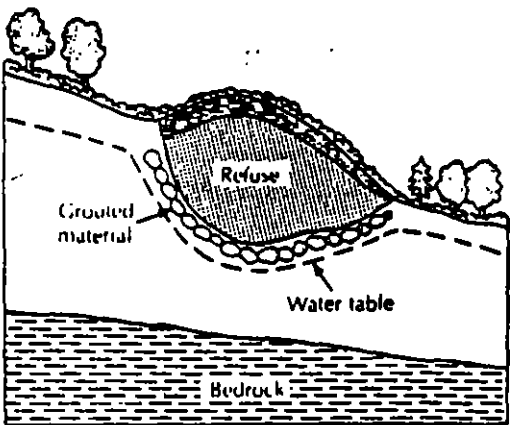
Figure 9-9. Infiltration control technologies.



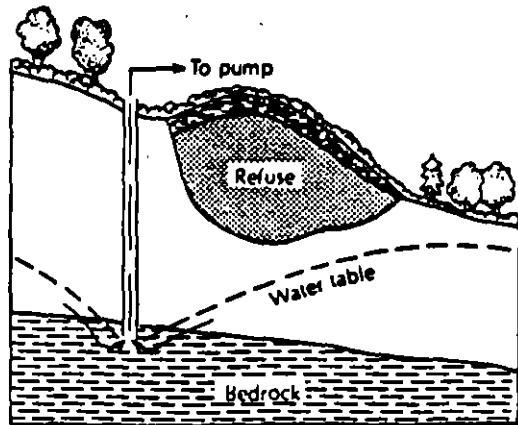
A No control measure



B Upgradient slurry wall to lower water table



C Injection of grout to form a seal on sides and bottom



D Gradient control well to lower water table



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**C U R S O S    A B I E R T O S**  
**VII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS**  
**MODULO II: CONTAMINACION DE ACUIFEROS**

**PROSPECCION DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS  
POR HIDROCARBUROS**

**ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES**

## PROSPECCION DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS POR HIDROCARBUROS

POR: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES  
LESSER Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V.  
RIO GUADALQUIVIR No. 3  
QUERETARO, QRO. 76020  
MEXICO

### RESUMEN

En nuestros días es común la presencia de hidrocarburos en el subsuelo. Las principales fuentes de contaminación son las fugas que se generan a partir de tanques de almacenamiento y de líneas de conducción, así como en el manejo y disposición inadecuados, principalmente en patios de mantenimiento de automóviles, autobuses, ferrocarriles y aeropuertos. Los tanques y conducciones llegan a ser corroídos; acomodamientos del terreno producen tensiones y dislocaciones de tuberías; roturas accidentales también son frecuentes. En terminales de diferentes medios de transporte, se manejan hidrocarburos para el lavado de motores, los que después de su utilización eran descargados al sitio más próximo. Esta práctica no se realizaba por negligencia; era el método usual. Actualmente, ante el conocimiento del problema, en algunos países se ha tomado conciencia del problema y se trabaja en la limpieza del subsuelo. El hidrocarburo ligero, como puede ser una gasolina, se infiltra al subsuelo y tiende a avanzar hasta el nivel estático, donde por presentar una menor densidad que el agua, flota sobre ella. Parte de este hidrocarburo se volatiliza ocupando espacios porosos o fracturas arriba del nivel estático. Cuando el hidrocarburo es más pesado, tiende a infiltrarse y sedimentarse hacia las partes inferiores del acuífero o permanece absorbido por retención molecular en las partículas del suelo. Una porción del hidrocarburo llega a ser diluida por el agua. La porción volátil es la que se aprovecha para su prospección, la cual se realiza a través de pozos de monitoreo someros. Práctica útil y común es la realización de análisis de cromatografía de gases, a partir de cuyos resultados se identifica el tipo de hidrocarburo y se cuantifican sus componentes. En relación a la calidad del agua contaminada por hidrocarburos, recibe especial atención el benceno, debido al bajo límite permisible para el agua potable, el cual es de 1 ppb; es cancerígeno y el 35% de este compuesto es soluble en el agua. El movimiento del hidrocarburo en el subsuelo está influenciado por el tipo y características del material a través del cual circula. En zonas cubiertas por arcillas, como es el caso de la Ciudad de México, la circulación del contaminante es restringida, en contraste, suelos de alta permeabilidad como es el caso de la Ciudad de Guadalajara, la alta permeabilidad permite la libre circulación del contaminante en el subsuelo.

## ABSTRACT

Nowadays is common to find underground hydrocarbons (HC) leakages. The main pollutant sources are: leakage from underground storage tanks and pipes, and inadequate management at the maintenance yards of cars, buses, trains and airplanes. After some time storage tanks are corroded; ground movements produce accidental ruptures and dislocations of pipes. At terminals of different kind of transports, HC are used in motors cleaning and were discharged to the closest area after being used. This was not done by negligence, it was the usual method. Nowadays several countries have realized this problem and are working at underground remediation. A light HC like gasoline, infiltrates into the ground and tends to reach the static level. Due to its lower density, gasoline floats over the water. Part of this HC is volatilized and stored at the ground porous or fractures above the static level. When the HC is heavier, it tends to infiltrate and acumulate towards the base of the aquifer, or it is absorbed by molecular retention to ground particles. The volatile portion of a HC is used for detection through shallow monitoring wells. From chromatographic analysis are determined the type of HC and amount of its components. In relation to water quality polluted by HC, benzene is special importance due to its very low permissible limit in drinking water (1 ppb). Benzene is carcinogenic and 35% of it is soluble in water.

## INTRODUCCION

Una fuerte transformación en la tecnología y en la vida del hombre, se produjo a partir del cambio de energía de vapor por hidrocarburo, a partir de los años 40s. El manejo y disposición de los hidrocarburos no contemplaba la repercusión de los efectos que causaría al infiltrarse al subsuelo. No fue sino hasta que se empezó a manifestar la contaminación de suelo y el agua, que se inició la cultura de la prevención de la contaminación y saneamiento del subsuelo y los acuíferos.

Por ello, es común encontrar zonas contaminadas por fugas de hidrocarburos. En esta década de los 90s, se inició en México la exploración y saneamiento del subsuelo por hidrocarburos, con las limitantes que la economía del país ha permitido.



## **MOVIMIENTO DEL HIDROCARBURO EN EL SUBSUELO**

El movimiento del hidrocarburo en el subsuelo está influenciado por el tipo y características del material a través del cual circula. A manera de ilustración de este punto, a continuación se mencionan las características de los subsuelos de las ciudades de México y Guadalajara, ya que, en la primera de ellas la existencia de arcillas superficiales restringen la contaminación, mientras que en la otra lado la alta permeabilidad del subsuelo permite la libre circulación del contaminante.

La mayor parte del área metropolitana de la Ciudad de México se encuentra asentada sobre sedimentos arcillosos de origen lacustre, cuyo espesor varía de 20 a más de 80 metros. Estas arcillas, presentan una permeabilidad reducida que las hace que funcionen como un acuitardo (material que permite la entrada de agua pero impide o limita su salida por retención molecular). El flujo de agua en el acuitardo de la Ciudad de México es muy reducido; tiene una permeabilidad del orden de  $10^{-7}$  a  $10^{-9}$  m/seg. La presencia de estas arcillas en el subsuelo limita el movimiento del agua y de sus contaminantes, los que circulan en forma muy lenta, retardando la contaminación. Sin embargo, el contacto de zonas impregnadas de hidrocarburos con espacios abiertos en el subsuelo, tales como el drenaje, ductos telefónicos e infraestructura subterránea en general, pueden constituir zonas a través de las cuales pueda circular libremente el hidrocarburo en el subsuelo. También la existencia de agrietamientos llega a permitir el flujo rápido de agua con hidrocarburos.

En contraste, el subsuelo de la Ciudad de Guadalajara esta constituido en sus aproximadamente 20 metros superiores, por arenas pumfticas (llamadas localmente "jales"), las cuales presentan una alta permeabilidad que permite la libre y rápida infiltración de contaminantes al subsuelo. A profundidades de entre 5 y 15 metros se encuentra el nivel freático, sobre el cual se llegan a acumular fugas de hidrocarburos líquidos. La zona no saturada, entre la superficie y el nivel freático, permite la libre circulación de volátiles, haciendo de ésta, una zona de alta vulnerabilidad.

## **CARACTERISTICAS DE LOS HIDROCARBUROS**

Con el objeto de entender el comportamiento de los hidrocarburos en el subsuelo, se presentan algunas de sus características físicas y químicas.

Las gasolinas son una compleja mezcla de hidrocarburos. Pueden ser identificados más de 150 compuestos en una gasolina típica. Estudios efectuados por Fleischer et al (1986), enfocados a los 13 compuestos más comunes de las gasolinas, los dividió en los 4 grupos siguientes: (1) Compuestos que preferentemente son absorbidos por la estructura del suelo; (2) los que se volatilizan rápidamente; (3) los que pueden causar mayor peligro; (4) los que no tienen un comportamiento de migración definido. En la tabla No. 1 se muestra la capacidad de adsorción, volatilización y solubilidad de los componente más comunes de las gasolinas.

Los hidrocarburos ligeros tienden a volatilizarse, mientras que los pesados permanecen entre las partículas del suelo. Los hidrocarburos ligeros son conocidos como LNAPL (Ligth-Nonaqueos Phase Liquids)

Las gasolinas son utilizadas como combustible para máquinas. Los principales componentes químicos incluyen las cadenas de los alcanos, los cicloalcanos y los aromáticos. La primera cadena corresponde también a parafinas. El porcentaje en volumen de las cadenas mencionadas, son de aproximadamente 51% para los alcanos, 36% para los cicloalcanos y 14% de aromáticos, En la tabla No. 2, se presentan algunos de estos compuestos en ciertas gasolinas.

El diesel es una mezcla de parafinas de cadena rota. Los diferentes tipos de hidrocarburos comerciales, entre ellos la gasolina y el diesel, corresponden a cortes de destilación. La gasolina contiene relativamente grandes concentraciones de aromáticos como benceno y tolueno. En contraste, en el diesel estos aromáticos prácticamente no se encuentra presentes.

Dentro de los productos del petróleo, los aromáticos corresponden al grupo más importante desde el punto de vista ambiental. El benceno, el tolueno y los xilenos, presenta densidades menores a uno. El benceno es el más soluble con hasta 1780 ppm a la temperatura ambiente. El tolueno tiene una solubilidad de 515 ppm a 20° C. Los componentes aromáticos BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos), se consideran los de más alta movilidad.

La identificación de los componentes de los hidrocarburos se realiza mediante un análisis de cromatografía, por medio del cual se llegan a identificar y cuantificar. En la figura 1 se muestra el cromatograma de una mezcla de hidrocarburos, así como los rangos de destilación de ciertos compuestos y en la figura 2 los cromatogramas de algunos productos.

Algunos constituyentes de los hidrocarburos puede ser cancerígenos, en especial el benceno. La norma de calidad para el benceno en agua es de 1 ppb. (parte por billón).

Los hidrocarburos se pueden encontrar en diferentes formas en el subsuelo como son: fase líquida; fase disuelta en el agua y; fase absorbida por el suelo. Estudios recientes han adoptado el BTEX como una forma de expresar a los hidrocarburos.

## **EXPLORACION Y DELIMITACION DE PLUMAS DE HIDROCARBUROS EN EL SUBSUELO**

Parte de los hidrocarburos más comunes se volatiliza, propiedad que se aprovecha para, mediante perforaciones someras, realizar mediciones de los hidrocarburos volátiles existentes y delimitar la zona afectada.

El proceso de exploración se inicia con la perforación de pozos someros, mediante los cuales se realizan mediciones insitu y se obtienen muestras de gas y líquido para análisis de cromatografía. Los resultados de las mediciones permiten delimitar la zona afectada y, cuantificar el volátil y el líquido.

### **POZOS DE MEDICION O MONITOREO**

La perforación de los pozos someros de medición, se puede realizar mediante muestreadores manuales o perforadoras sencillas. Son comunes los rotomartillos accionados por energía eléctrica. El rotomartillo "inca" barras de acero inoxidable generalmente de 3/4" de diámetro. La perforación de este tipo de pozos generalmente alcanza de 2 a 6 metros de profundidad.

Mayores profundidades requieren maquinas perforadoras especiales que incluyen tuberías para perforación y muestreo de suelo, denominadas "augers".

### **MEDICIONES INSITU**

Una vez perforados los pozos someros, se pueden realizar mediciones insitu de hidrocarburos volátiles (HCV), oxígeno, explosividad y bióxido de carbono. Un plano con la distribución de HCV puede mostrar claramente la presencia y

extensión de la zona contaminada. Los valores de explosividad, además de poder indicar la magnitud de la pluma, dan una "idea" del riesgo, aunque su medición puede estar afectada por la ausencia de oxígeno.

En todos los suelos existen bacterias, las que biodegradan a los hidrocarburos provocando: (1) ausencia de oxígeno que es consumido por la acción bacteriana y (2) abundancia de bióxido de carbono, como producto de la biodegradación. por ello, la medición y mapéo de los parámetros mencionados constituyen otras formas de delimitar las áreas impregnadas por hidrocarburos.

Cuando en las perforaciones de monitoreo se alcanza el nivel freático, se puede medir el espesor de los hidrocarburos líquidos (HCL) que se encuentran flotando sobre el nivel freático.

## **MUESTREO DE HIDROCARBUROS**

El muestreo se puede llevar a cabo sobre muestras de suelo, gas, agua y producto líquido.

### **MUESTRAS DE SUELOS**

Con el objeto de definir la litología del subsuelo y extraer muestras de suelo e hidrocarburos, se perforan pozos con obtención de núcleos de suelo inalterado, a partir de la superficie y hasta la profundidad total del pozo. Los núcleos son enviados al laboratorio para efectuarles un análisis de cromatografía. Existen varias formas de realizar el muestreo de núcleos de suelo. Generalmente para profundidades someras (1-10 m), el muestreo se realiza mediante un tubo de acero inoxidable, el cual incluye una punta cónica truncada; a través de ésta, entra el material arcilloso del suelo al tubo, al ser impulsado el muestreador hacia abajo. El tubo muestreador se encuentra revestido en su interior por un empaque de acetato, dentro del cual se aloja la muestra de material. Al sacar el tubo muestreador, se extrae el empaque de acetato y muestra de suelo, al que se le colocan tapas en las partes superior e inferior. Las tapas pueden ser de diferente color con el objeto de marcar la orientación de la muestra.

Para el muestreo a profundidades mayores de 10 metros, generalmente se utilizan máquinas perforadoras rotarias, equipadas con tuberías de perforación especiales para muestreo, denominadas "augers". En la figura 3 se muestran diferentes tipos de equipos de muestreo.

## MUESTRAS DE GAS

La obtención de muestras de gas en los pozos someros se realiza colocando un tubo plástico flexible dentro del pozo. Se extrae el gas por medio de una pequeña bomba o una hipodérmica y se almacena en bolsas especiales, fabricadas con materiales que no reaccionan con el hidrocarburo o bien en recipientes de vidrio. Las muestras obtenidas son enviadas al laboratorio para su análisis cromatográfico. Son comunes los cromatógrafos portátiles que pueden realizar el análisis en el sitio.

## MUESTRAS DE PRODUCTO LIQUIDO

Cuando la perforación alcanza el nivel freático, puede obtenerse una muestra de agua y del producto (hidrocarburo) líquido. Existen diferentes aparatos para su extracción. El producto líquido debe envasarse y sellarse en recipientes especiales.

## **ANALISIS DE LABORATORIO**

En la prospección de hidrocarburos, las muestras de gas, agua o suelo, son analizadas por el método de cromatografía de gases (GC/FID = Gas chromatography with flame ionization detection). Los resultados pueden interpretarse cualitativa y cuantitativamente. En la gráfica (cromatograma) resultante de un análisis, los picos relacionan a los diferentes compuestos presentes en la muestra. (figuras 1 y 2).

## **CONCLUSIONES**

Las fugas de hidrocarburos y su consecuente contaminación de suelos y agua subterránea, son comunes en sitios donde se manejan estos productos, principalmente gasolineras y patios de ferrocarriles, autobuses y aeropuertos. El movimiento del hidrocarburo en el subsuelo depende del tipo y características del material que constituye el medio. Los hidrocarburos comerciales corresponden a cortes de destilación, que van de ligeros y alto grado de volatilización, a pesados o densos. La exploración y delimitación de hidrocarburos en el subsuelo

se realiza mediante determinaciones de HCV, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y BTEX, entre otros, medidos en pozos someros. Generalmente se obtienen muestras de gas, líquido y/o sólido para su análisis, cualitativo y cuantitativo; la técnica usual es la cromatografía de gases.

## REFERENCIAS

- ABDUL, S.A. 1989. Limitations of Monitoring Wells for the Detection and Quantification of Petroleum Products in Soil and Aquifers In: GWMR.
- CANTER L.W AND R.C. KNOX. 1985. Ground Water Pollution Control. Lewis Publishers, Inc. 526 p.
- FETTER, C.W. 1993, Contaminant Hydrogeology. Macmillan Publishing Company. 458 p.
- KVA, ANALYTICAL SYSTEMAS. 1990. Soil Gas Equipment and Brief Field Techniques. Publisher K-V Associates, INC. 50 p.
- KERFOOT, H. B. 1988. Is Soil-Gas Analysis, an Effective Means of Tracking Contaminant Plumes in Groundwater? What are the limitations of the Technology Currently Employed, In: GWMR.
- KOSTECKI, P.T. AND E.J. CALABRESE. 1992. Contaminated Soils, Diesel Fuel Contamination. Lewis Publishers, 227 p.
- LESSER Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V. 1990. Proyecto Experimental para Detección de Fugas de Tanques Almacenadores de Gasolinas. DDF-DGCOH
- LESSER, J. M. 1991. Contaminación de Acuíferos por Fugas de Tanques Almacenadores de Gasolinas. Curso sobre Tecnología de Punta en Contaminación de Acuíferos. Intera-Lesser-CFE.
- LESSER Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V. 1992. Detección de Zonas Contaminadas por Fugas de Tanques Almacenadores de Gasolinas DDF-DGCOH.
- LESSER Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V. 1993. Evaluación de Riesgos y Diagnóstico para el Saneamiento de la Colonia Moderna Oriente de Guadalajara, Jal. CNA.
- NIELSEN, D. M. 1991. Practical Handbook of Ground-Water Monitoring. National Water Well Association. 717 p.
- OUDISK, G. AND K MUSICA. 1989. Handbook for the Identification, Location and Investigation of Pollution Sources Affecting Ground Water. NWWA. 185 p.

**TABLA 1 CAPACIDAD DE ADSORCION, VOLATILIZACION Y SOLUBILIDAD DE LOS COMPONENTES MAS COMUNES DE LAS GASOLINAS**

	CAPACIDAD DE		
	ADSORCION POR EL SUELO (%)	VOLATILIZACION (%)	SOLUBILIDAD (%)
Benceno	3	62	35
Etilbenceno	21	59	20
(n) Heptano	0.1	99.8	0.1
(n) Hexano	0.1	99.8	0.1
(n) Pentano	0.1	99.8	0.1
Benc (a)	100	0	0
Antraceno	100	0	0
Benc (a) Pireno	61	8	31
Naftaleno	88	2	10
Fenantreno	0.1	99.8	0.1
1-pentano	9	0.01	91
Fenol	3	77	20
Tolueno	15	54	31
Xileno			

De: Fleischer et al., 1986

**TABLA 2 ALGUNOS DE LOS PRINCIPALES CONSTITUYENTES DE LAS GASOLINAS (ADAPATADA POR PERRY Y MODIFICADA POR NYER 1993)**

	VOLUMEN %		
	GASOLINA 1	GASOLINA 2	GASOLINA 3
<b>ALCANOS</b>			
n-PENTANO	0.33	0.44	1.12
n-HEXANO	6.44	7.76	9.16
n-HEPTANO	8.90	5.94	8.42
2-METILPENTANO	2.88	2.68	3.47
2,3-DIMILHEXANO	0.22	1.30	2.39
<b>CICLOALCANOS</b>			
CICLOPENTANO	0.88	1.76	0.67
METILCICLOPENTANO	6.61	10.28	5.01
CICLOHEXANO	10.40	7.63	7.13
METILCICLOHEXANO	22.00	14.85	18.07
ETILCICLOPENTANO	2.03	4.38	2.34
TRIMETILCICLOPENTANO	3.64	8.12	4.18
<b>AROMATICOS</b>			
BENCENO	3.27	2.22	3.81
TOLUENO	16.19	7.94	12.02

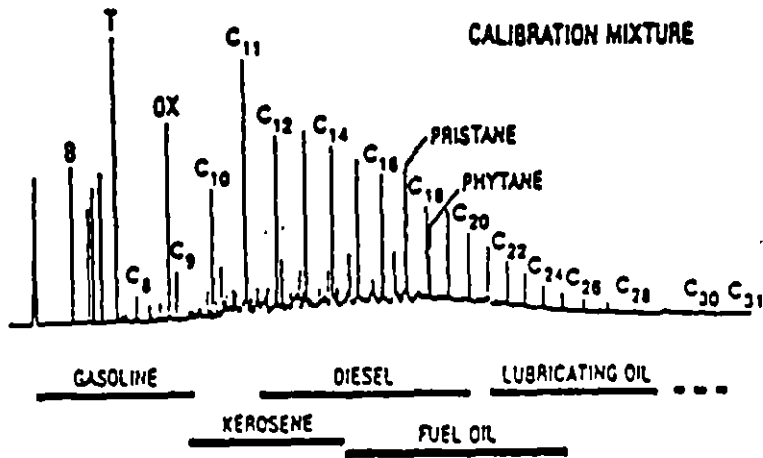


FIGURA 1. CROMATOGRAMA DE MEZCLA DE HIDROCARBUROS (MODIFICADA DE BENN AND JOHNSON, 1988)

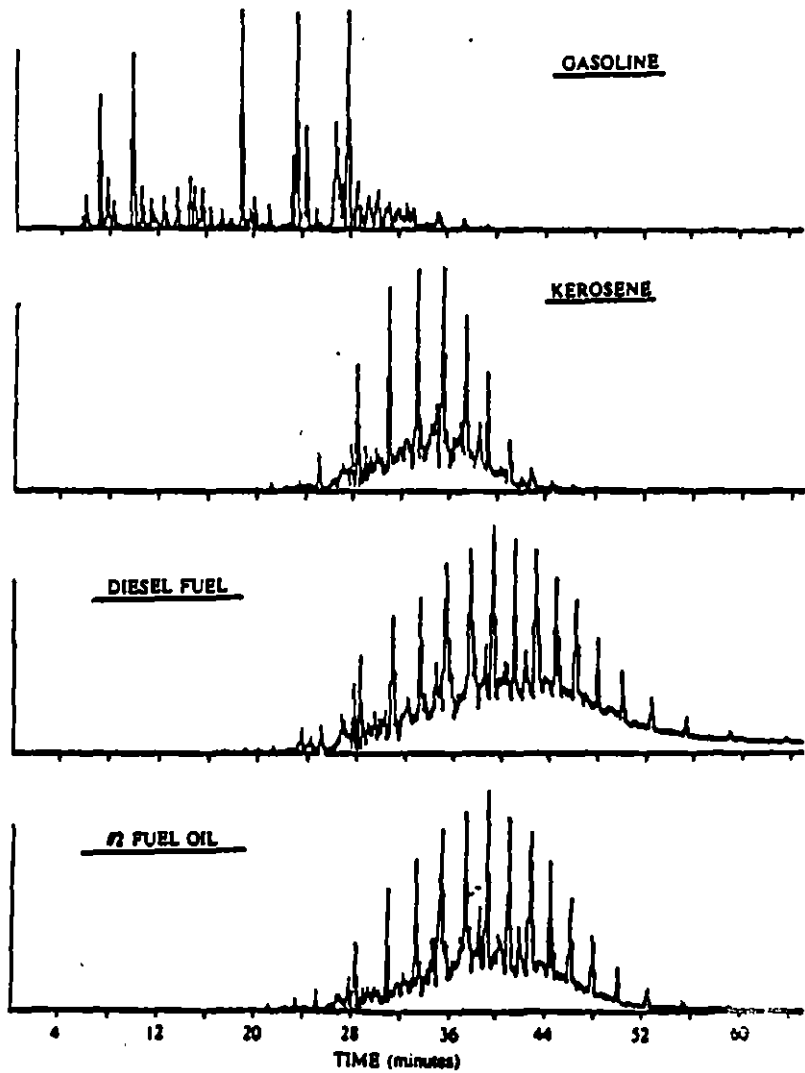
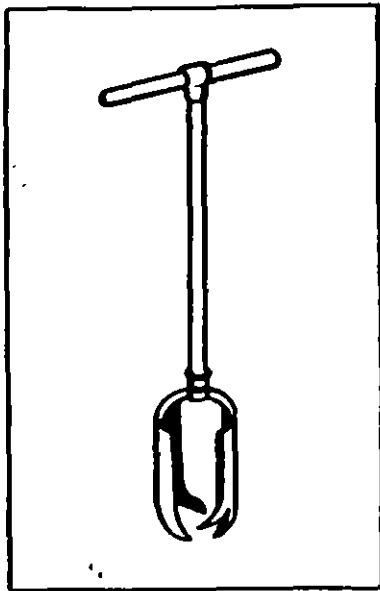
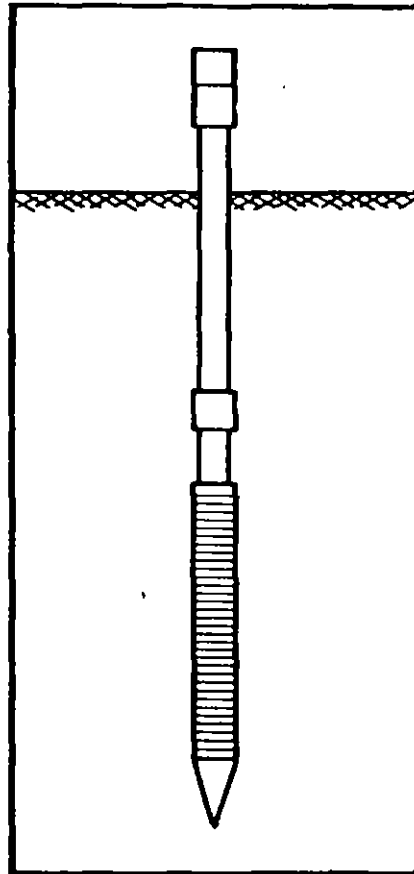


FIGURA 2. CROMATOGRAMAS DE DIFERENTES HIDROCARBUROS (DE CALABRESE Y KOSTECKI, 1989)

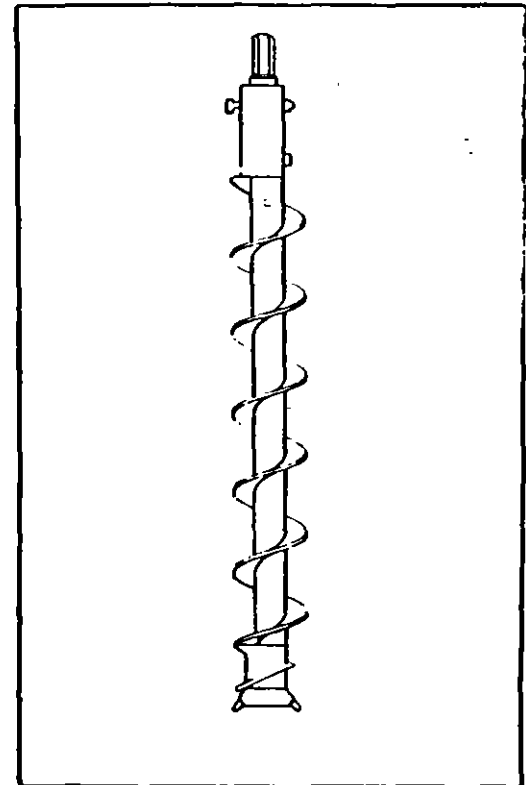




MUESTREADOR MANUAL



MUESTREADOR MEDIANTE  
INCADO DE TUBERIA



MUESTREADOR DE MAQUINA ROTARIA

# **DETERMINACION DE HIDROCARBUROS VOLATILES EN LA CONTAMINACION DEL SUBSUELO**

**POR: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES  
LESSER Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V.  
RIO GUADALQUIVIR No. 3  
QUERETARO 76020, QRO.  
MEXICO**

## **R E S U M E N**

En suelos y acuíferos contaminados por hidrocarburos (HC), algunos de sus componentes se disuelven en el agua; otros flotan sobre el nivel freático y otra parte se volatiliza. En los estudios de prospección de HC, se obtienen y analizan muestras de agua, de HC líquido, de volátiles y de suelos. El estudio de los componentes de los hidrocarburos se realiza mediante análisis de cromatográfico, por medio del cual se llegan a identificar los tipos de HC y a cuantificar sus componentes.

## **INTRODUCCION**

En la prospección y saneamiento del subsuelo y acuíferos por hidrocarburos, una herramienta útil es el análisis cromatográfico. El análisis incluye una gráfica denominada cromatograma, en la que se registra la presencia de diferentes orgánicos volátiles. Mediante este análisis es factible cuantificar los compuestos presente y clasificar el tipo de hidrocarburo.

Las gasolinas son una compleja mezcla de hidrocarburos. Pueden ser identificados más de 150 compuestos diferentes en una gasolina típica y en general, se caracteriza por que los compuestos que la constituyen son más volátiles que los que forman al diesel. En contraste, los aceites lubricantes prácticamente no contienen compuestos ligeros, lo cual es claramente identificable en los cromatogramas.

Los hidrocarburos que presentan mayor volatilidad pueden perder fácilmente los compuestos más ligeros en relación al tiempo, factor que llega a permitir la diferenciación de un hidrocarburo fresco de otro antiguo.

## **ANALISIS DE LABORATORIO**

En la prospección de hidrocarburos, las muestras de agua o suelo son analizadas en el laboratorio por el método de cromatografía de gases (GC/FID = Gas chromatography with flame ionization detection). Los resultados pueden interpretarse cualitativa y cuantitativamente. En la gráfica (cromatograma) resultante de un análisis, los picos relacionan a los diferentes compuestos presentes en la muestra.

En la figura 1 se muestra un cromatograma donde se marcan los cortes de destilación de algunos hidrocarburos como la gasolina, el diesel y el keroseno. En la figura 2 se incluyen cromatogramas típicos de una gasolina y del diesel, entre otros

## **VOLATILIZACION DE LOS HIDROCARBUROS**

Conforme un hidrocarburo se volatiliza, la cantidad de HC ligeros disminuye. En las figuras 3 a 5, se presentan los cromatogramas de gasolina nova, diesel y petróleo, tanto frescos como volatilizados, observándose que es notoria la pérdida de volátiles en los dos primeros. En el petróleo, no se aprecia un cambio significativo, debido a que este hidrocarburo está constituido por una mezcla pobre en volátiles ligeros. A partir de los resultados del análisis cromatográfico puede clasificarse el tipo de hidrocarburos y cuantificarse los diferentes compuestos que lo constituyen.

Con el objeto de conocer el comportamiento de la volatilización de los hidrocarburos a la intemperie, se obtuvieron muestras de gasolina magna, gasolina nova, diesel y petróleo. A las muestras obtenidas se les efectuó un análisis de cromatografía. Se colocaron en un espacio abierto y ventilado, y se tomaron muestras periódicas. Algunos de los cromatogramas resultantes se muestran en las figuras 3 a 5. Con los valores de compuestos volátiles obtenidos, se formó una gráfica (fig. 6) donde se observó una clara volatilización en las gasolinas. Por lo que respecta al diesel y al petróleo, la respuesta fue mínima, debido a que estos hidrocarburos son pobres en volátiles, en relación con las gasolinas.

## **CONCLUSIONES:**

La cromatografía de gases es una herramienta útil para la identificación de los hidrocarburos y para la cuantificación de sus componentes. Dentro de un cromatograma se marcan los compuestos de acuerdo a su grado de volatilización. Las gasolinas presentan compuestos más ligeros que el diesel. En contraste, los aceites

lubricantes no contienen compuestos ligeros. Con el tiempo un hidrocarburo puede volatilizarse, factor que llega a permitir diferenciar a un hidrocarburo fresco de otro antiguo.

## REFERENCIAS

CALABRESE, E.J. AND P.T. Kostecki. 1989. Petroleum Contaminated Soils. Volume 2. Remediation Techniques Environmental Fate Risk Assessment Analytical Methodologies. Lewis Publishers, Inc. 515 p.

KOSTECKI, P.T. AND E.J. CALABRESE. 1989. Petroleum Contaminated Soils. Volume 1. Lewis Publishers. 357 p.

KOSTECKI, P.T. AND E.J. CALABRESE. 1991. Hydrocarbon Contaminated Soils and Groundwater, Lewis Publishers. 354 p.

LESSER Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V. 1990. Proyecto Experimental para Detección de Fugas de Tanques Almacenadores de Gasolinas. DDF-DGCOH

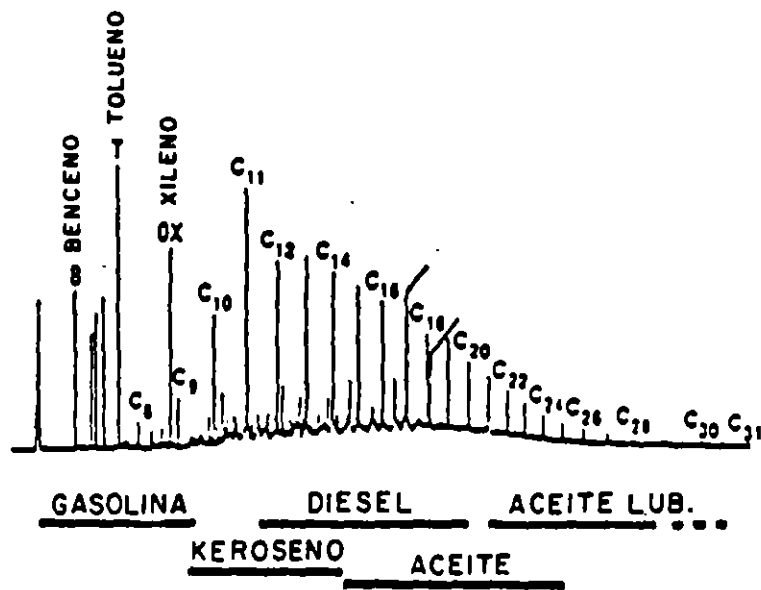
LESSER, J. M. 1991. Contaminación de Acuíferos por Fugas de Tanques Almacenadores de Gasolinas. Curso sobre Tecnología de Punta en Contaminación de Acuíferos. Intera-Lesser-CFE.

LESSER Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V. 1992. Detección de Zonas Contaminadas por Fugas de Tanques Almacenadores de Gasolinas DDF-DGCOH.

LESSER Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V. 1993. Evaluación de Riesgos y Diagnóstico para el Saneamiento de la Colonia Moderna Oriente de Guadalajara, Jal. CNA.

LYMAN, W.S., P.S. REIDY AND B. LEVY. 1992. Mobility and Degradation of Organic Contaminants in Subsurface Environments. C. K. Sholey, Inc. 395 P.

RISER-ROBERTS, E. 1992. Bioremediation of Petroleum Contaminated Sites, C. K. Smoley, Inc. 264 p.

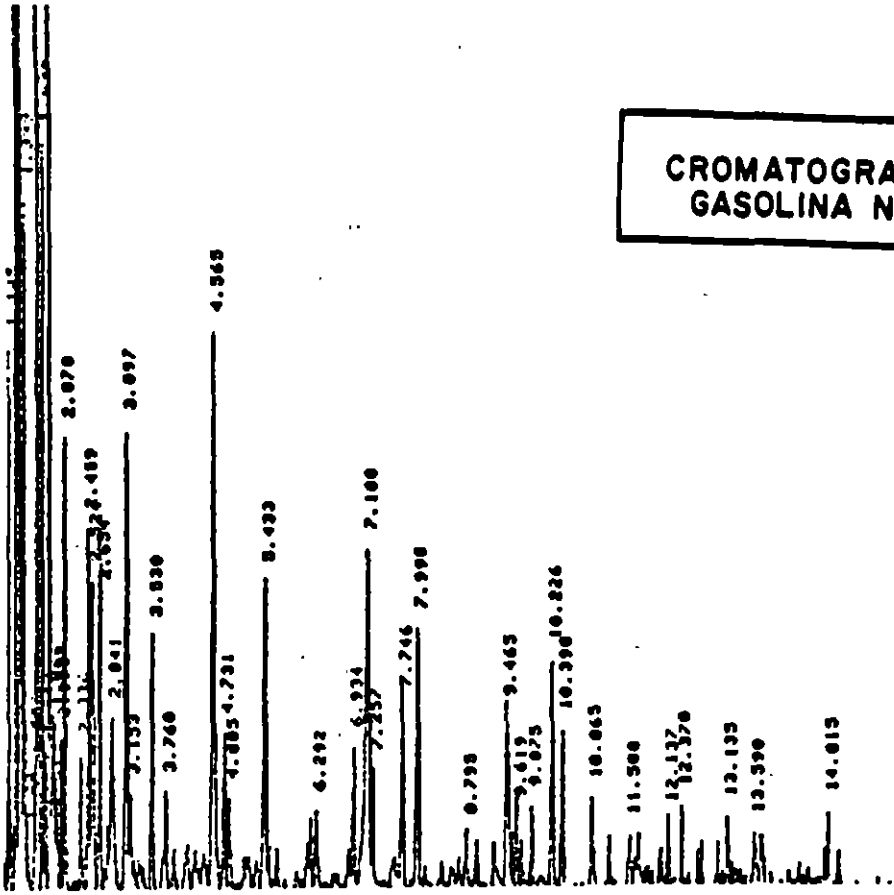


**FIGURA 1 CROMATOGRAMA DE UNA MEZCLA DE HIDROCARBUROS.**

*(MODIFICADA DE SENN AND JOHNSON 1985)*

1.427  
1.815

**CROMATOGRAMA DE  
GASOLINA NOVA**



**CROMATOGRAMA DE  
DIESEL**

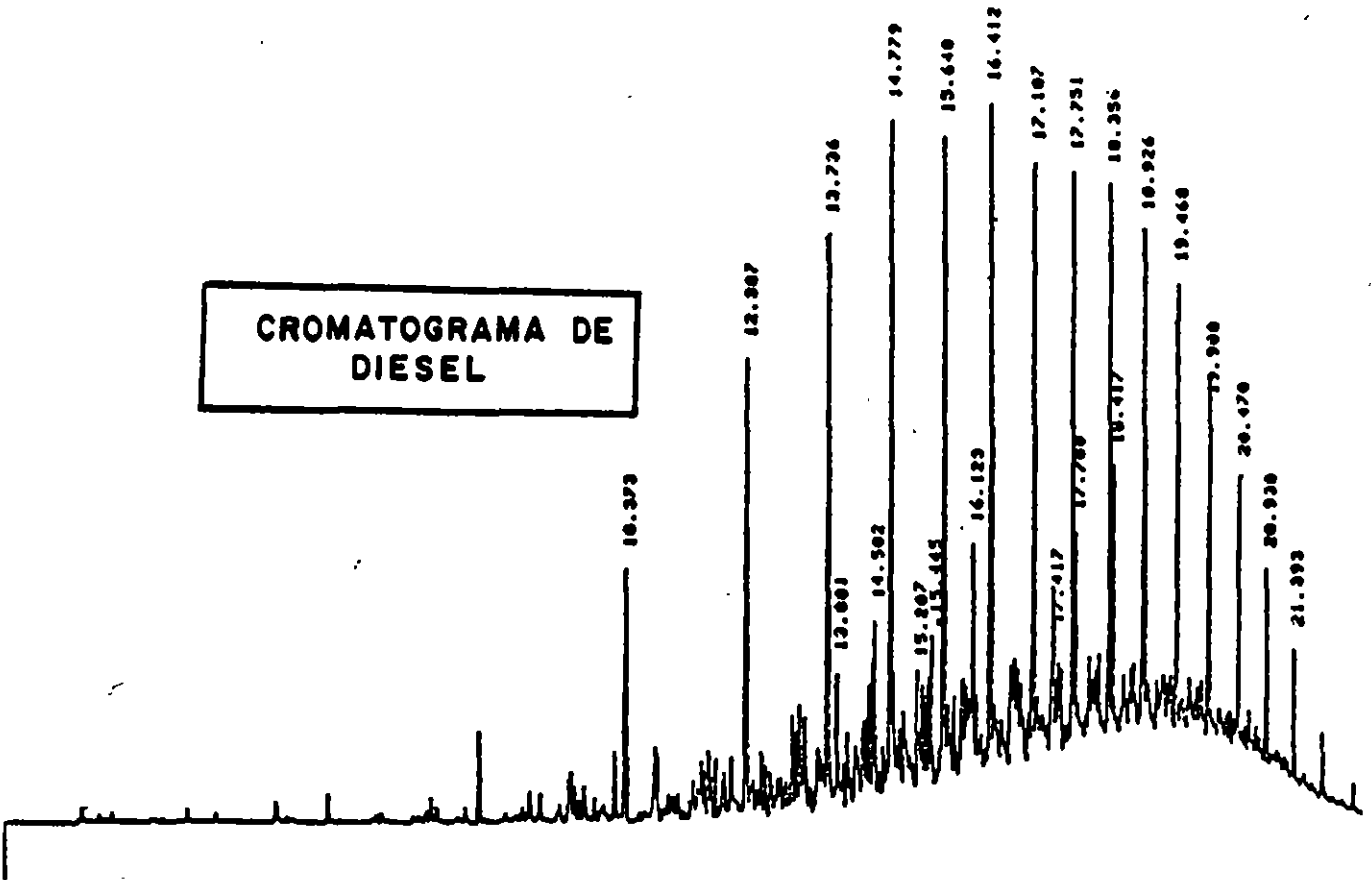
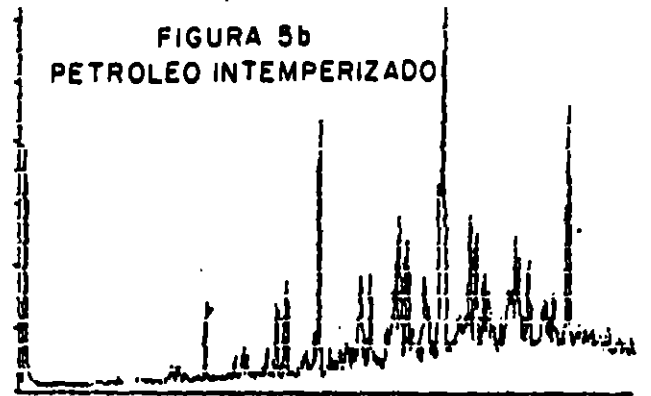
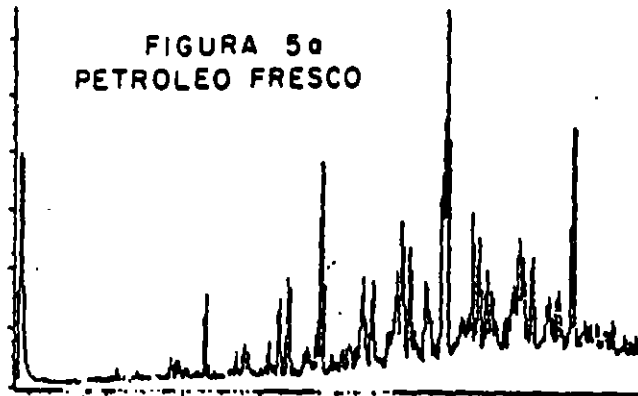
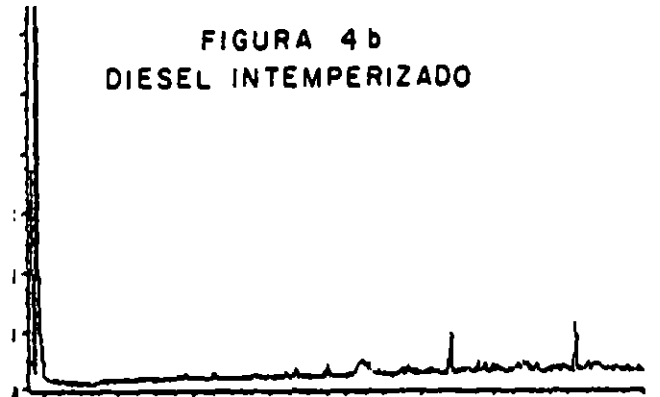
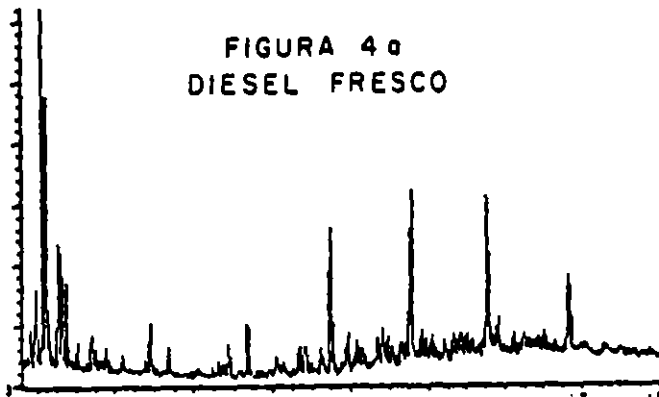
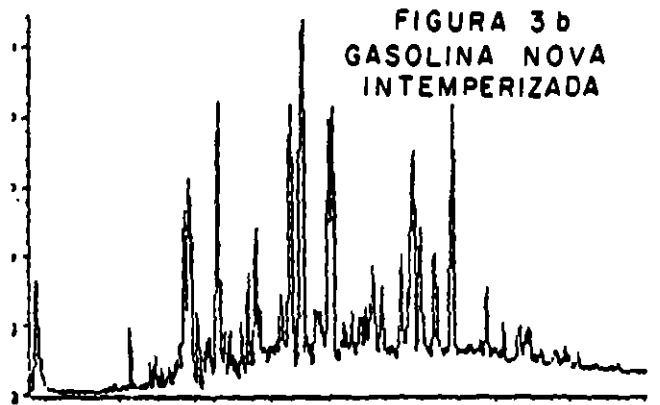
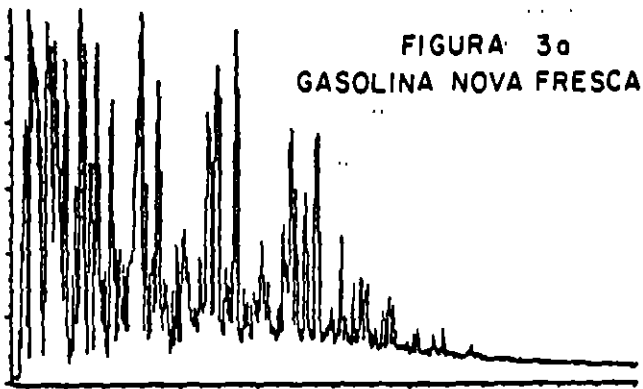


FIGURA 2.- CROMATOGRAMAS TÍPICOS DE  
GASOLINA NOVA Y DIESEL



# COMPORTAMIENTO DE HIDROCARBUROS A LA INTEMPERIE, RESPECTO AL TIEMPO

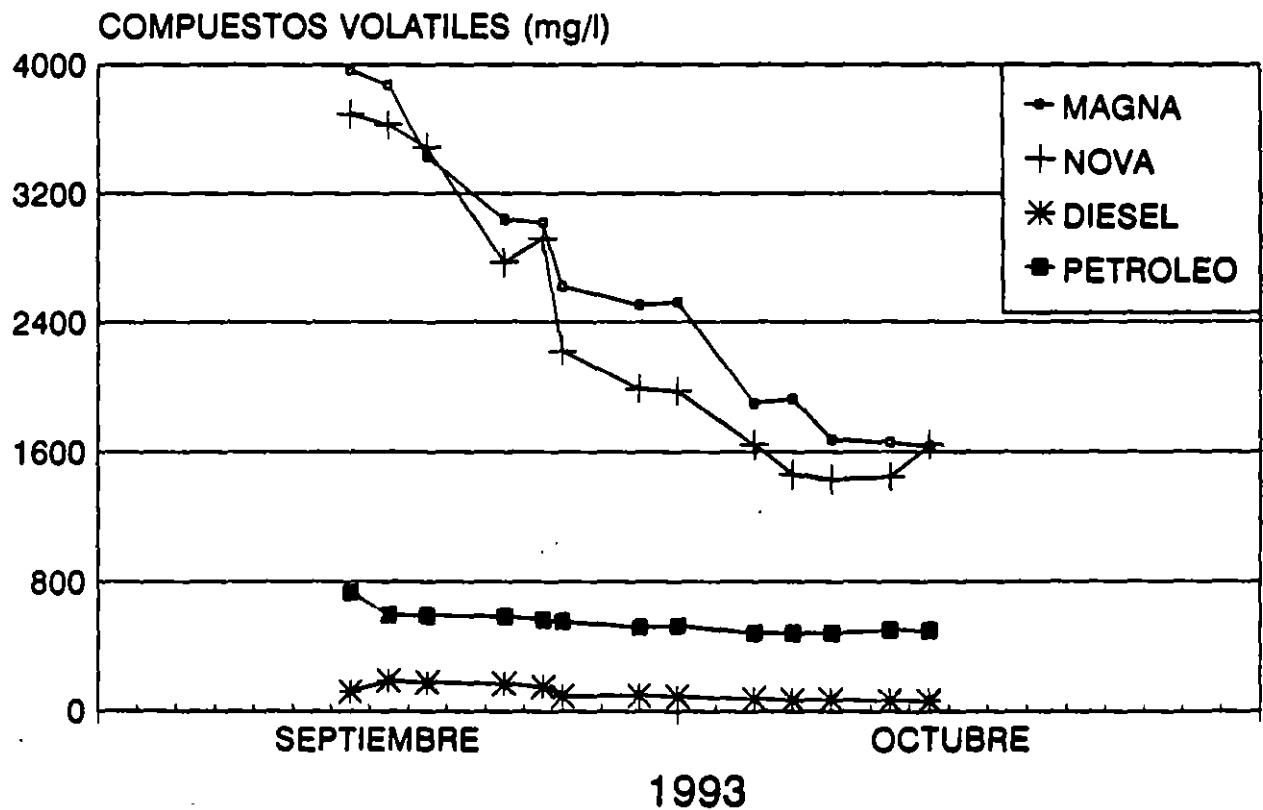


FIGURA 6



# **SANEAMIENTO DE ACUIFEROS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS**

**POR: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES  
LESSER Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V.  
RIO GUADALQUIVIR No. 3  
QUERETARO, QRO. 76020  
MEXICO**

## **R E S U M E N**

El hidrocarburo (HC) infiltrado al subsuelo puede encontrarse en 4 formas: líquido de menor densidad que el agua y flotando sobre el nivel freático ó estático; volátil en la zona no saturada; disuelto en agua y; líquido de mayor densidad que el agua, el cual puede encontrarse absorbido por el material del medio o sedimentado en la base del acuífero. Los métodos apropiados para el saneamiento del subsuelo contaminado por HC, depende de varios aspectos. Entre ellos, la fase en que el HC se encuentre, su distribución y las características del subsuelo. El saneamiento del subsuelo puede iniciarse con la extracción del HC líquido y el volátil, lo cual permite disminuir el grado de contaminación y de riesgo. Como segundo paso se puede considera la limpieza del suelo y acuífero contaminados, los cuales tienen una mayor complejidad.

Para la extracción inicial de los productos líquido y volátil, el diseño y operación es "relativamente" sencillo. La remediación o saneamiento total del suelo y acuífero incluye técnicas sofisticadas, de alto costo y largo tiempo de ejecución. Existen diversos métodos, destacando entre ellos la extracción del contaminante y la biodegradación. La extracción por bombeo del producto líquido, es común, la cual se extrae junto con agua del acuífero; una vez en la superficie el producto es almacenado en tanques y el agua extraída es tratada a fin de eliminar los volátiles que contenga. El volátil puede extraerse a través de pozos y, una vez

en la superficie, puede ser incorporado a la atmósfera, incinerado o capturado mediante filtros de carbón activado.

## **ABSTRACT**

Infiltrated hydrocarbons (HC) underground are found in 4 phases: (1) Liquid of lower density than water, floating over the water level; (2) volatile in the vadose zone; (3) dissolved in water; (4) liquid of higher density than water, found absorbed by the environment or accumulated at the base of the aquifer. The appropriate methods to clean underground polluted by HC depends of various factors. Some of them are: the phase in which the HC is found, its distribution and soil characteristics. Remediation usually begin with liquid and volatile extraction to reduce the risk. As a second step soil and aquifer cleaning is performed. To start extraction of HC, both liquid and volatile phases, is relatively simple. Total remediation of soil and aquifer includes sophisticated and expensive techniques performed for a long period of time. A common remediation method consists in extraction of liquid product and water by pumping. Once at the surface the product (liquid HC) is stored in tanks and water is treated to eliminate possible volatiles. The volatile phase can be extracted through wells. Once in surface those volatiles can be incorporated to the atmosphere, incinerated or captured by activated carbon filters.

## **INTRODUCCION**

El hidrocarburo (HC) infiltrado al subsuelo puede encontrarse en varias formas tales como: (1) líquido de menor densidad que el agua y flotando sobre el nivel freático ó estático; (2) volátil en la zona no saturada; (3) disuelto en agua y; (4) líquido de mayor densidad que el agua, el cual puede encontrarse absorbido por

las partículas del suelo o sedimentado en la base del acuífero. Una vez conocida su presencia en el subsuelo, (en extensión, concentración, tipo de hidrocarburos y fase en que se encuentra), junto con el conocimiento de la geología y geohidrología del lugar, se pueden establecer las políticas de saneamiento.

El o los métodos más apropiados para el saneamiento de un subsuelo contaminado por HC, depende de varios aspectos. Entre ellos, la fase en que el HC se encuentre, su distribución y las características del subsuelo.

En México, se puede dividir el saneamiento en 2 partes. La primera considera la extracción inicial del HC líquido y volátil, lo cual permite disminuir el grado de contaminación y de riesgo. La segunda parte se puede denominar la "limpieza total", del suelo y acuífero, la cual incluye técnicas sofisticadas de alto costo y largo tiempo de ejecución.

## **MÉTODOS DE SANEAMIENTO**

Los principales métodos para el saneamiento del subsuelo y acuífero por hidrocarburos son: (1) extracción del HC líquido y volátil; (2) biodegradación insitu.

### **EXTRACCIÓN DE HC LÍQUIDO Y VOLÁTIL**

Una vez delimitada la zona invadida por HC y cuantificada su concentración, se procede a extraerlo. El producto líquido es bombeado a través de pozos. Este, puede ser extraído junto con el agua del acuífero y una vez en la superficie, es separado. En otros casos, el HC líquido que se encuentra en una capa flotando sobre el agua, de donde puede ser extraído mediante bombas especiales. Para

acelerar la acumulación del HC en el entorno del pozo, puede bombearse agua y formarse un cono de abatimiento, cuya pendiente facilita el movimiento de la capa de HC que flota sobre el nivel estático, hacia el pozo. El HC y agua extraídos son procesados en la superficie. (Figura 1)

La extracción de volátiles se puede realizar a través de pozos ubicados en la zona vadosa, donde se colocan extractores de aire. Pueden perforarse pozos para inyección de aire, que "empujen al volátil hacia su salida. La remoción de volátiles al inicio de la extracción es alta y va disminuyendo con el tiempo.

### BIODEGRADACION INSITU

Un método para el saneamiento de zonas afectadas por hidrocarburos es la biodegradación. Consiste en utilizar las bacterias que existen en todo suelo y que se alimentan de HC y oxígeno, formando bióxido de carbono y agua. Para acelerar este proceso, se pueden añadir nutrientes que aceleren la acción bacteriana, principalmente oxígeno, el cual se inyecta como gas o mediante agua. Debido al proceso de biodegradación mencionado, una zona invadida por hidrocarburos se caracteriza también por ausencia de oxígeno y abundancia de bióxido de carbono, parámetros que pueden monitorearse durante el saneamiento para determinar el grado de limpieza alcanzado.

### **EQUIPOS USUALES PARA EL SANAMIENTO**

Con el objeto de ilustrar tanto la forma en que se encuentra el HC el subsuelo, así como las técnicas más comunes para su extracción o saneamiento, a continuación se describen varios productos comunes en el mercado.

En la figura No. 2 se muestra un equipo Westinghouse para el tratamiento de hidrocarburos y agua subterránea extraídos del subsuelo. En el se observa un tanque separador de agua-hidrocarburos, un tanque para el almacenamiento del producto recuperado, un tanque de aereación, un compresor, un soplador acoplado a una torre desgasificadora y un panel de control.

En la figura No. 3 se incluye el sistema de ORS Environmental Equipment, para la extracción y tratamiento de producto líquido y volátiles. En esta figura, se observa la presencia de un acuífero somero que es contaminado por fugas de un tanque de gasolina. El producto líquido se encuentra flotando sobre el nivel freático. También existen volátiles entre la superficie del terreno y el nivel freático. La extracción del hidrocarburo líquido se realiza mediante un sistema de bombas para la extracción, tanto del producto (HC líquido) como del agua. El producto es almacenado en un tanque y el agua es pasada por una torre desgasificadora. El gas obtenido es tratado por oxidación catalítica o incinerado. En la misma figura, se ilustra la inyección de agua y nutrientes al subsuelo, lo que provoca biodegradación, además de "empujar" al producto hacia el pozo. Cuenta también con un sistema de extracción de volátiles, los que son conducidos a la planta de tratamiento de gases.

En la figura No. 4 se muestra la perforación de pozos direccionales para el saneamiento del subsuelo bajo infraestructura como edificios y tanques de almacenamiento.

En la figura No. 5 se incluye el sistema Environmental Instruments para la extracción y tratamiento del producto líquido y del volátil. Los volátiles son extraídos a través de un pozo y pueden ser conducidos a un filtro de carbón activado o bien a un oxidador catalítico. Un sistema de inyección de aire al subsuelo separa el volátil del agua, para posteriormente ser captado por un pozo. Mediante otro pozo, se extrae agua y producto (HC) líquido. El producto es almacenado en un tanque y el agua es pasada a través de un separador de

agua/producto. Posteriormente el agua pasa a un proceso de aereación, donde el volátil es separado y conducido hacia un filtro de carbón activado o bien a un oxidador catalítico.

En la figura No. 6 se muestra un esquema del sistema SENECA para la extracción y tratamiento del producto líquido y volátil del subsuelo. En dicha figura se ilustran pozos de extracción, tanto de volátiles como de producto líquido. Por lo que respecta al producto líquido, este es extraído por un sistema múltiple de pozos y conducido a un tanque. Posteriormente pasa por un tanque de separación agua/producto. El agua obtenida es conducida a través de un desgasificador, en el que, por medio de un soplador, se produce un burbujeo que permite la separación del volátil del agua.

## **CONCLUSIONES**

El HC en el subsuelo y acuífero puede encontrarse en forma líquida, volátil o disuelta en agua. El saneamiento puede consistir en la extracción del HC (líquido o volátil), la cual puede realizarse a través de pozos. La biodegradación insitu es un método eficaz para la remoción de HC hasta niveles bajos, tanto en suelo como en el acuífero. Los principios en que se basa el saneamiento es aplicado en forma comercial por un gran número de compañías productoras de equipo.

## **REFERENCIAS**

**CALABRESE, E.J. AND P.T. KOSTECKI. 1989. Petroleum Contaminated Soils. Volume 2. Remediation Techniques Environmental Fate Risk Assessment Analytical Methodologies. Lewis Publishers, Inc. 515 p.**

**CANTER L.W AND R.C. KNOX. 1985. Ground Water Pollution Control. Lewis Publishers, Inc. 526 p.**

**HAYES, D., E. C. HERNRY AND S. M. TESTA. 1989. A Practical Approach to Shallow Petroleum Hydrocarbon Recovery.**

**KOSTECKI, P.T. AND E.J. CALABRESE. 1989. Petroleum Contaminated Soils. Volume I. Lewis Publishers. 357 p.**

**KOSTECKI, P.T. AND E.J. CALABRESE. 1991. Hydrocarbon Contaminated Soils and Groundwater, Lewis Publishers. 354 p.**

**KOSTECKI, P.T. AND E.J. CALABRESE. 1992. Contaminated Soils, Diesel Fuel Contamination. Lewis Publishers. 227 p.**

**LESSER Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V. 1990. Proyecto Experimental para Detección de Fugas de Tanques Almacenadores de Gasolinas. DDF-DGCOH**

**LESSER, J. M. 1991. Contaminación de Acuíferos por Fugas de Tanques Almacenadores de Gasolinas. Curso sobre Tecnología de Punta en Contaminación de Acuíferos. Intera-Lesser-CFE.**

**LESSER Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V. 1992. Detección de Zonas Contaminadas por Fugas de Tanques Almacenadores de Gasolinas DDF-DGCOH.**

**LESSER Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V. 1993. Evaluación de Riesgos y Diagnóstico para el Saneamiento de la Colonia Moderna Oriente de Guadalajara, Jal. CNA.**

**LYMAN, W.S., P.S. REIDY AND B. LEVY. 1992. Mobility and Degradation of Organic Contaminants in Subsurface Environments. C. K. Sholey, Inc. 395 P.**

**NYER, E. K. 1993. Practical Techniques for Groundwater and Soil Remediation. Lewis Publishers 214 p.**

**RISER-ROBERTS, E. 1992. Bioremediation of Petroleum Contaminated Sites, C. K. Smoley, Inc. 264 p.**

**NWWA. 1991. Volatile Organic Compound Cleanups: An Anthology.**

**NWWA. 1991. Ground Water and Soil Venting.**

**ROY F. WESTON, INC. 1988. Remedial Technologies for Leaking Underground Storage Tanks. Lewis Publishers. 216 p.**



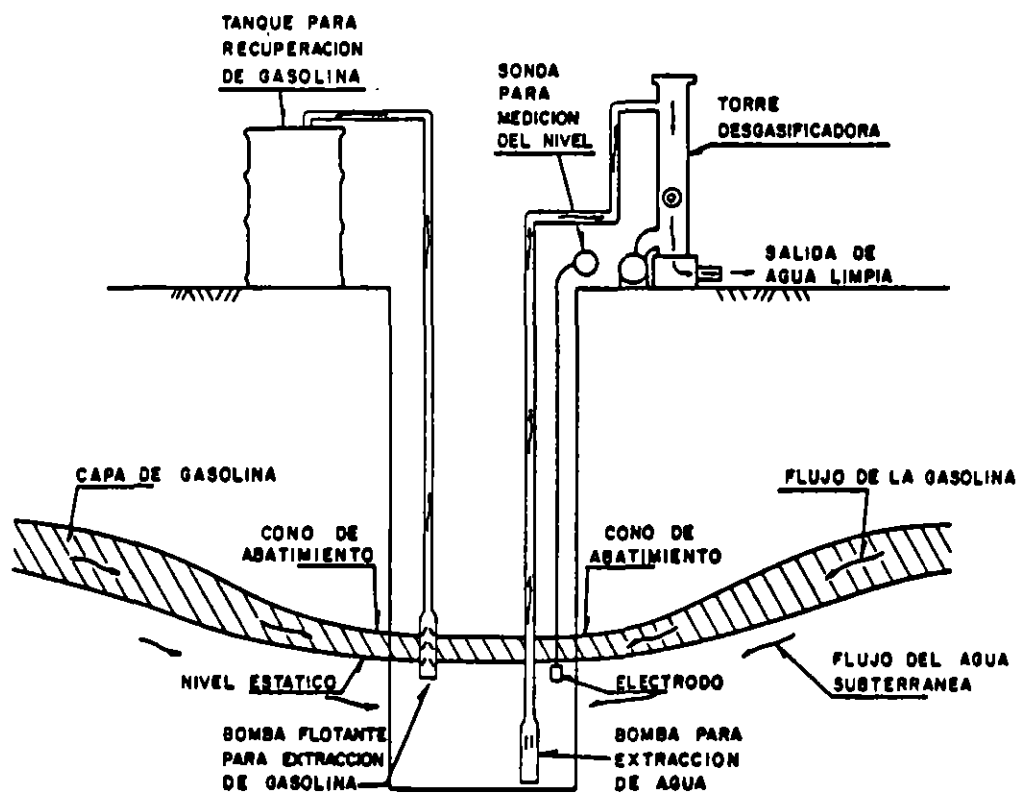


FIGURA 1.- EXTRACCION DE HIDROCARBUROS POR BOMBEO  
 Y TRATAMIENTO EN SUPERFICIE

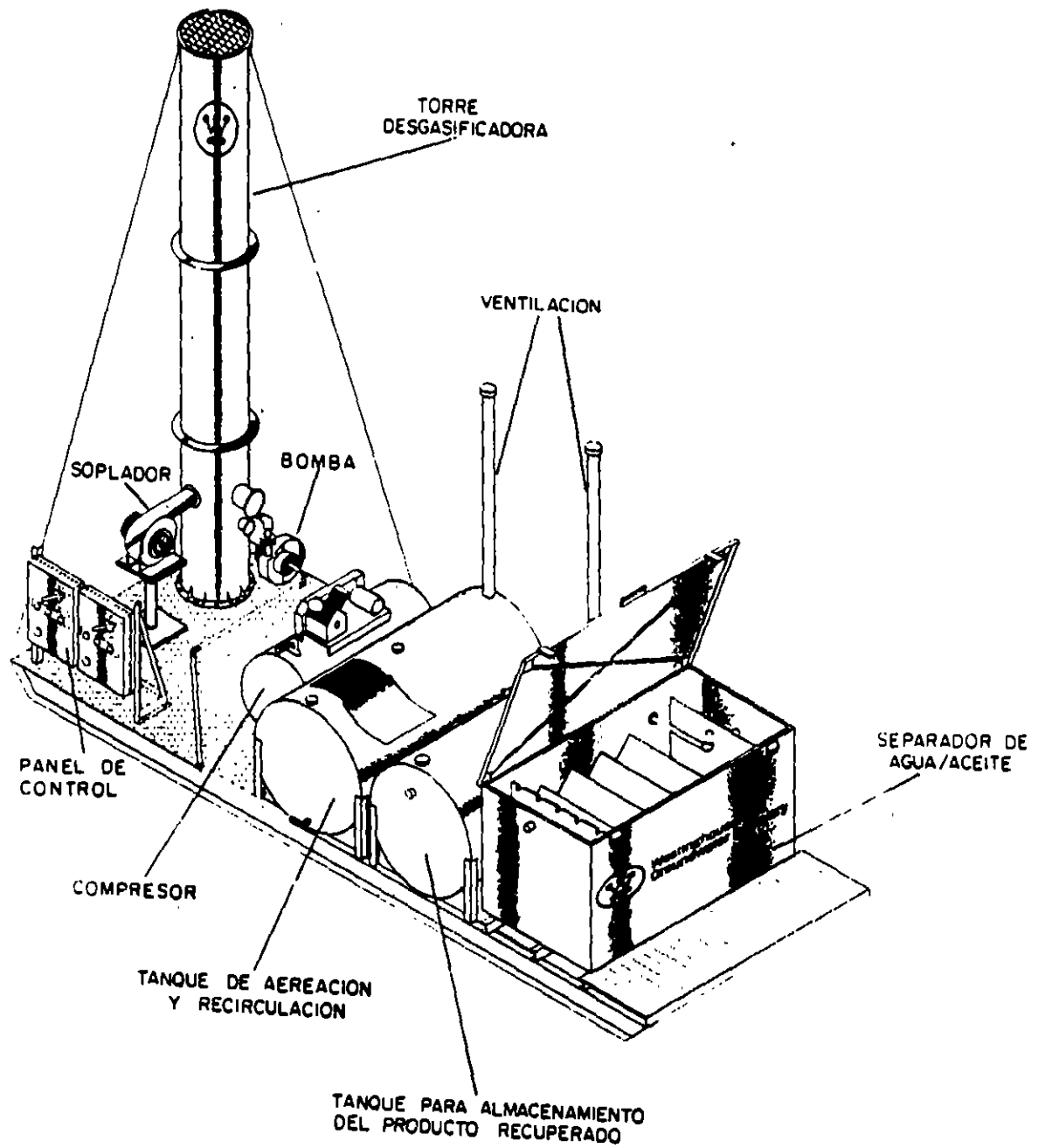
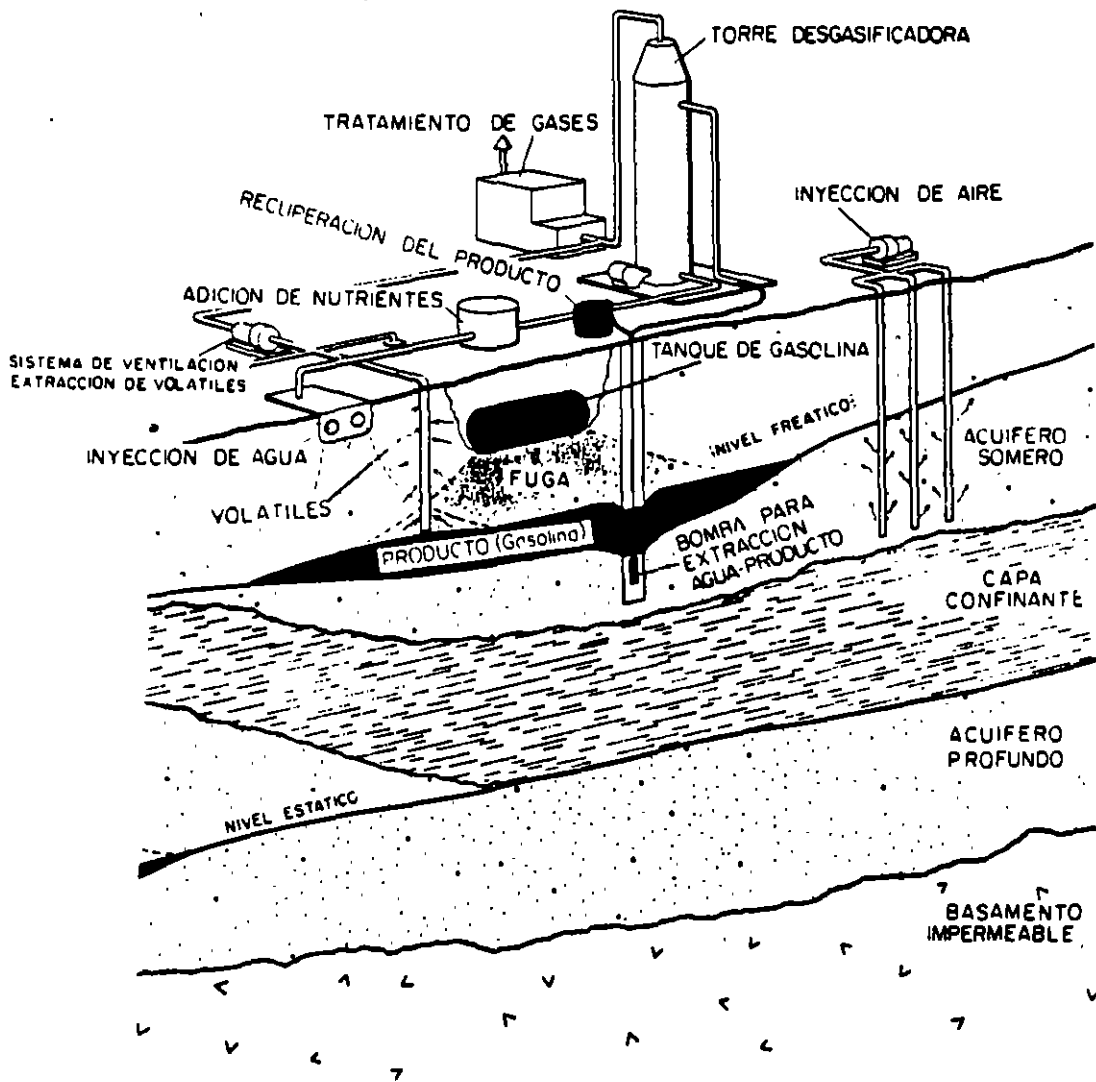


FIGURA 2.- EQUIPO WESTINGHOUSE PARA EL TRATAMIENTO DE  
HIDROCARBUROS Y AGUA



DE: ORS ENVIRONMENTAL EQUIPMENT CATALOG

**FIGURA 3.- SISTEMA ORS/ENVIRONMENTAL EQUIPMENT PARA EXTRACCION Y TRATAMIENTO DE PRODUCTO LIQUIDO Y VOLATIL**

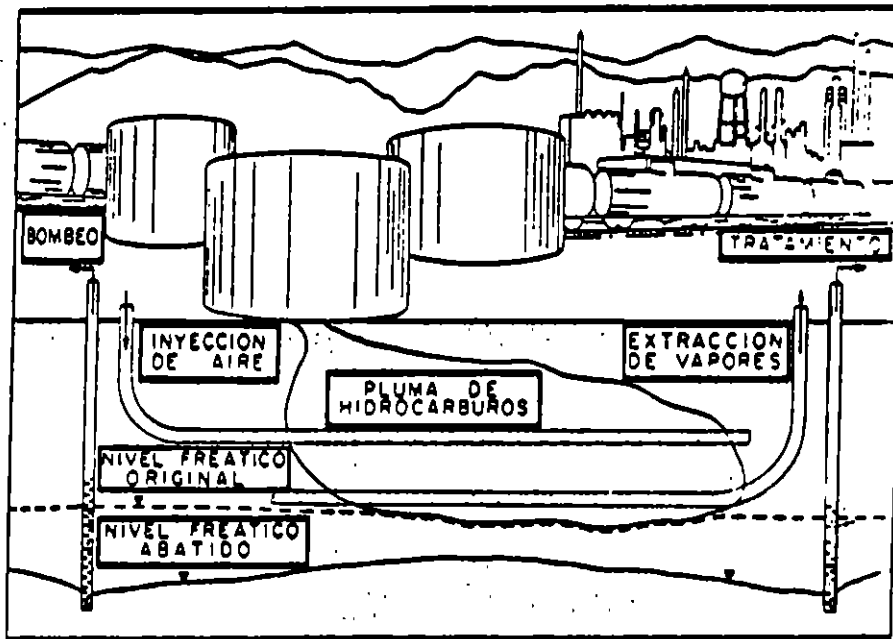


FIGURA 4 . SANEAMIENTO DE HIDROCARBUROS DEL SUBSUELO  
 MEDIANTE POZOS DIRECCIONALES (DE ENGINEERING-SCIENCE, INC.)

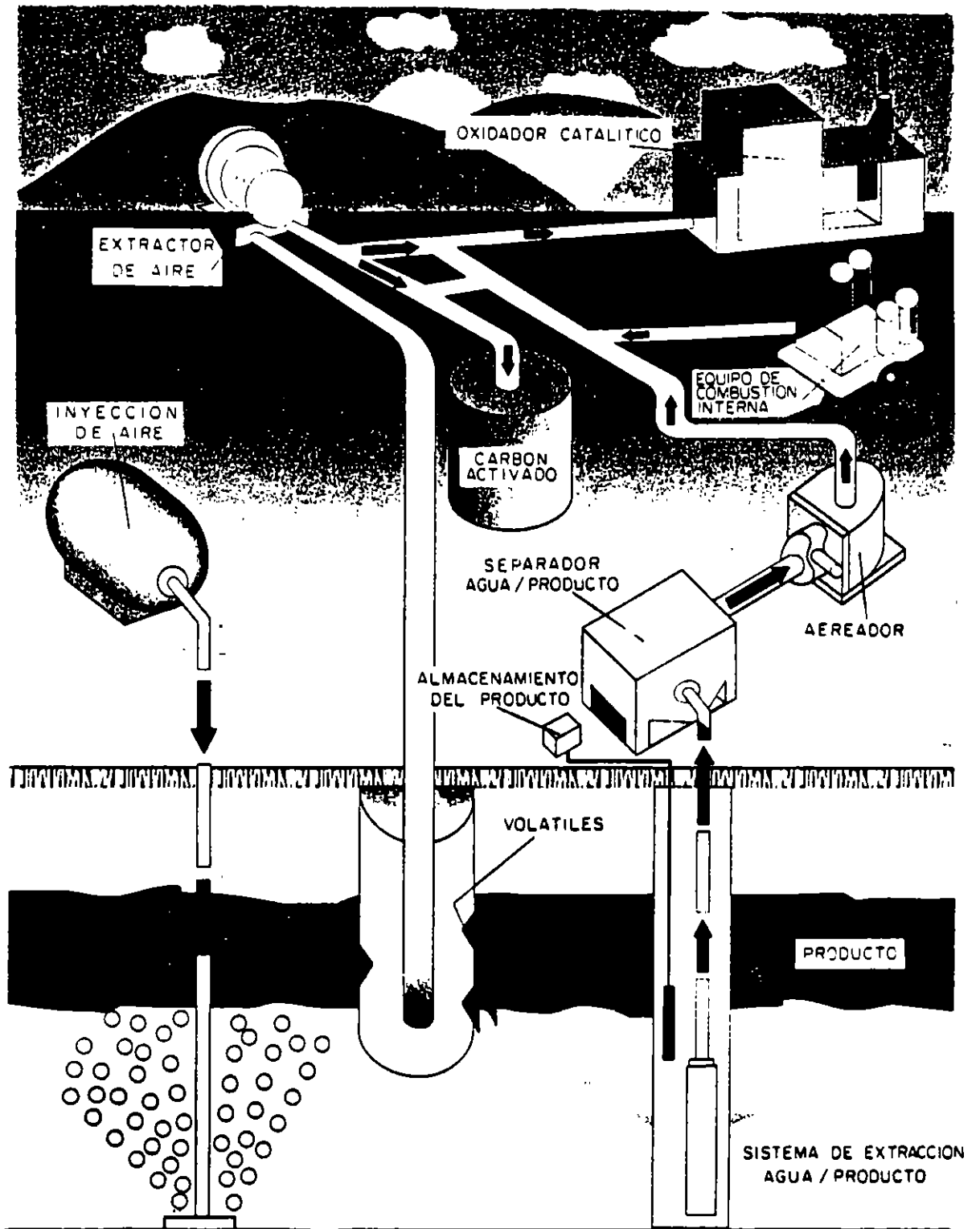
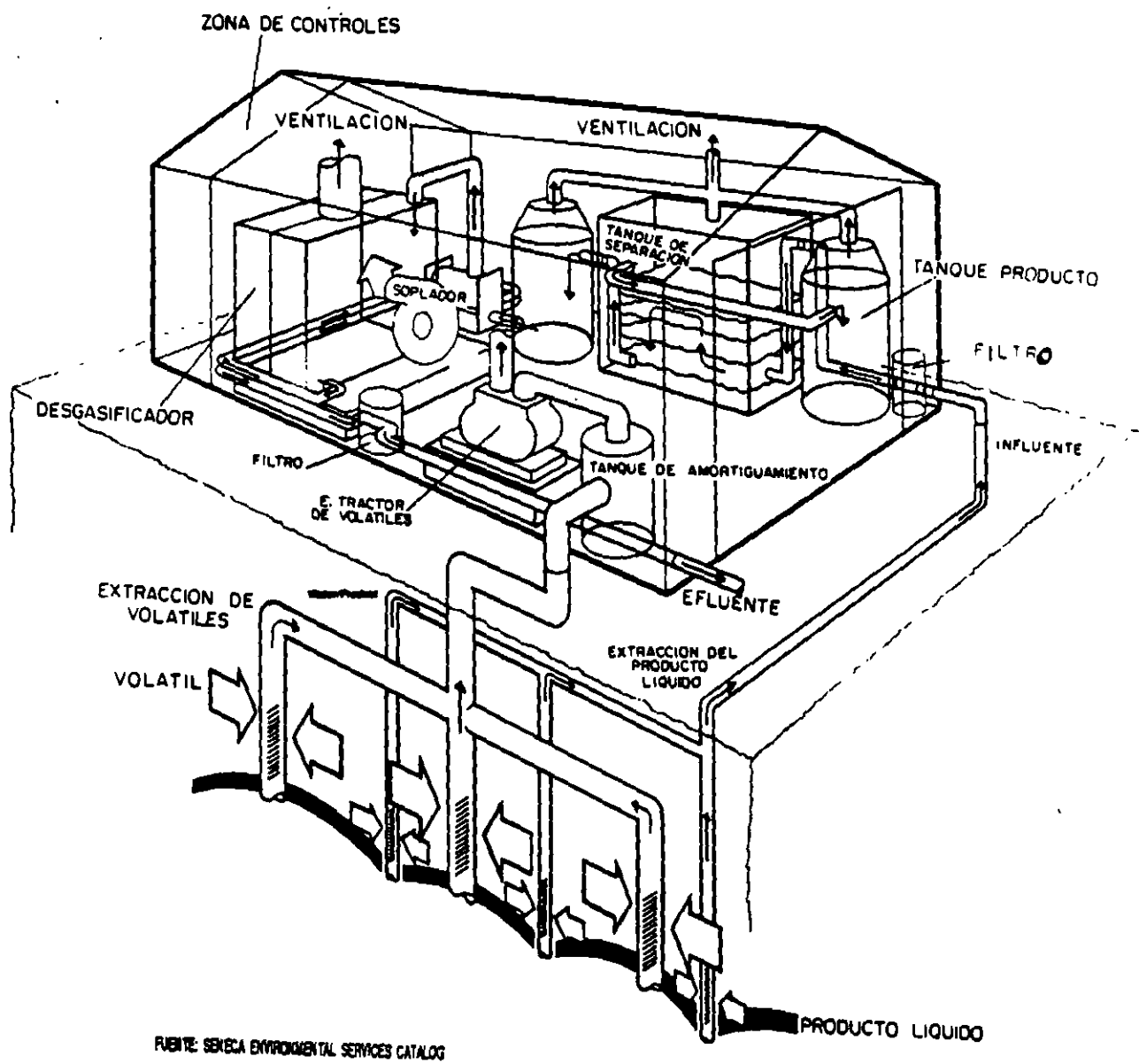


FIGURA 5.- SISTEMA ENVIRONMENTAL INSTRUMENTS PARA LA EXTRACCION Y TRATAMIENTO DE PRODUCTO LIQUIDO Y VOLATIL.



FUENTE: SENECA ENVIRONMENTAL SERVICES CATALOG

FIGURA 6.- SISTEMA SENECA PARA LA EXTRACCION Y TRATAMIENTO DE PRODUCTO LIQUIDO Y VOLATIL.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

VII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS

MOD. II CONTAMINACION DE ACUIFEROS

COMPLEMENTO

ING. JUÁN MANUEL LASSER ILLADES

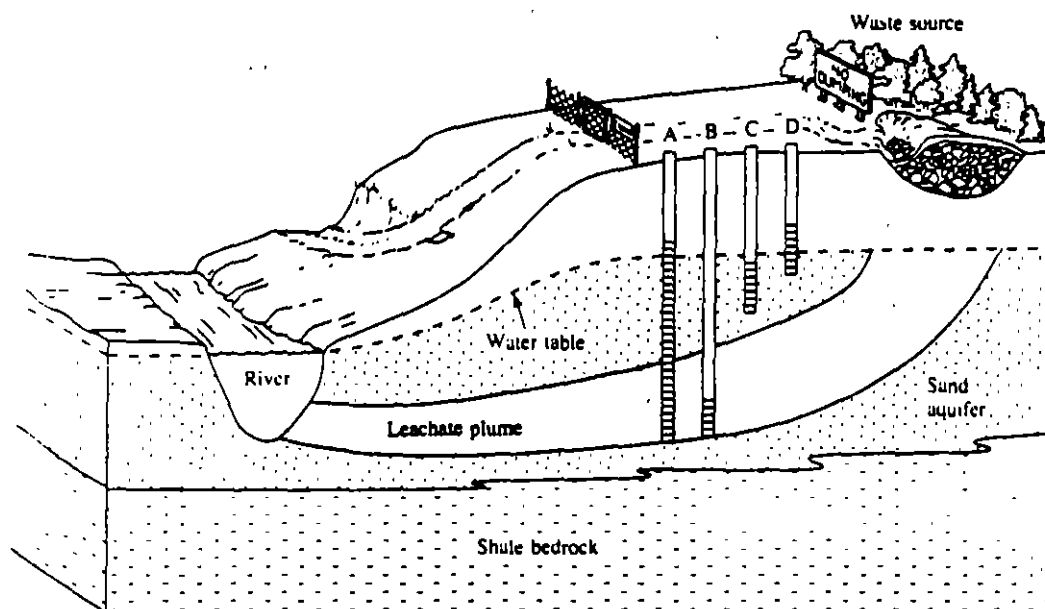


FIGURE 8.7 Effect of monitoring well-screen length on water-quality sampling. Monitoring well A is screened through the thickness of the aquifer. It intersects the plume of leachate but the reported concentration will be less than the actual concentration as water is withdrawn from both contaminated and uncontaminated parts of the aquifer. Piezometer B is also screened to intersect the plume of leachate. Reported concentration will be representative of the leachate. Piezometer C and water table monitoring D don't intersect the plume, indicating that it is deep in the aquifer.



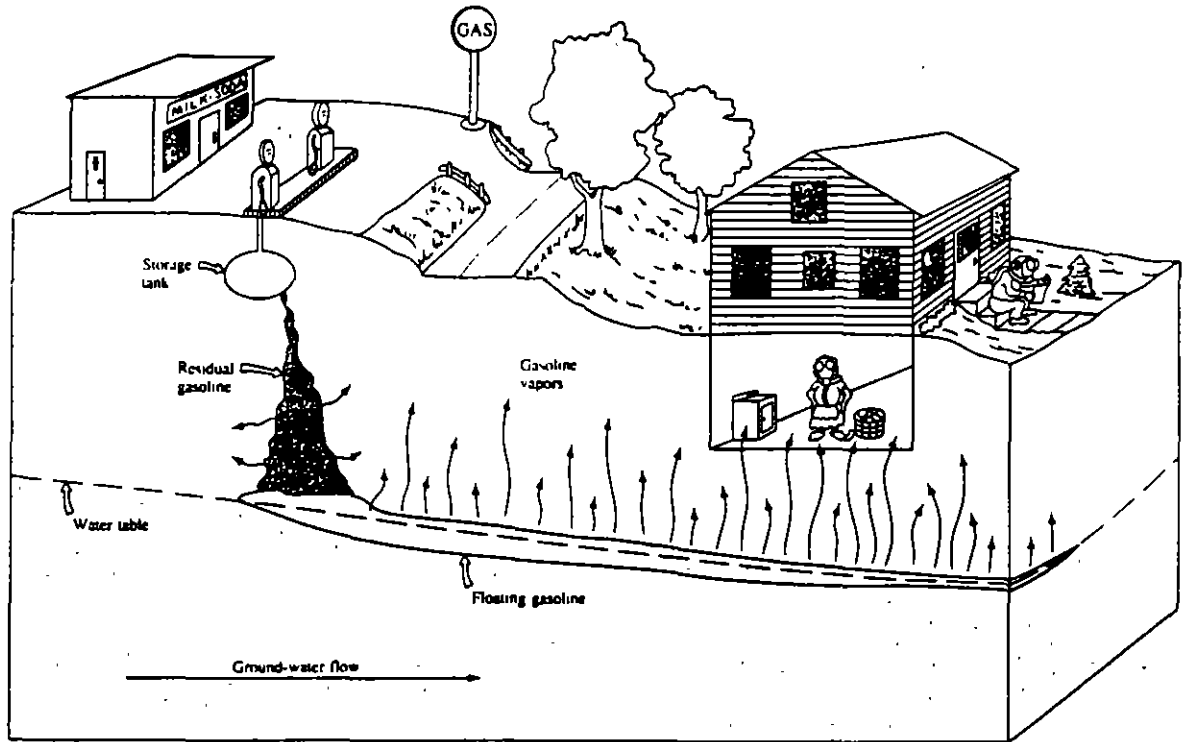


FIGURE 9.25 Release of organic vapors in vadose zone from residual saturation and floating product.

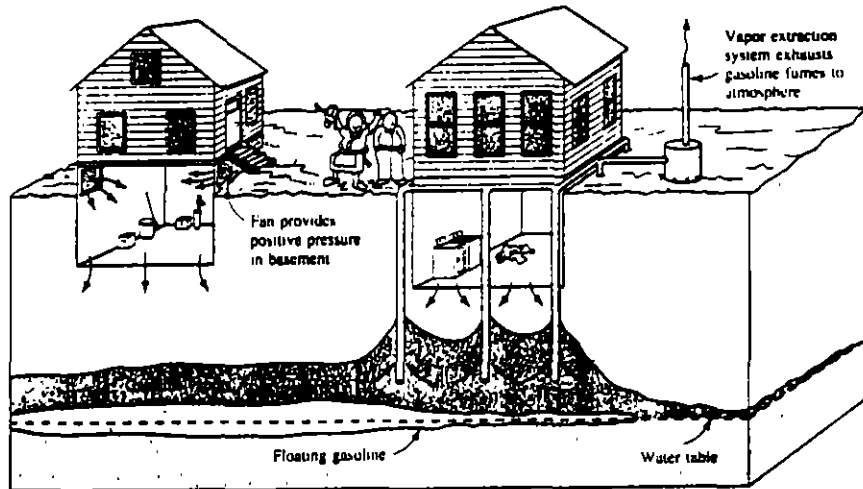


FIGURE 9.26 Control of organic vapors in the vadose zone. Source: Modified from M. J. O'Conner, J. G. Agar and R. D. King, *Proceedings of Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water: Prevention, Detection and Restoration*, 1984, pp. 519-33. National Water Well Association. Used with permission.

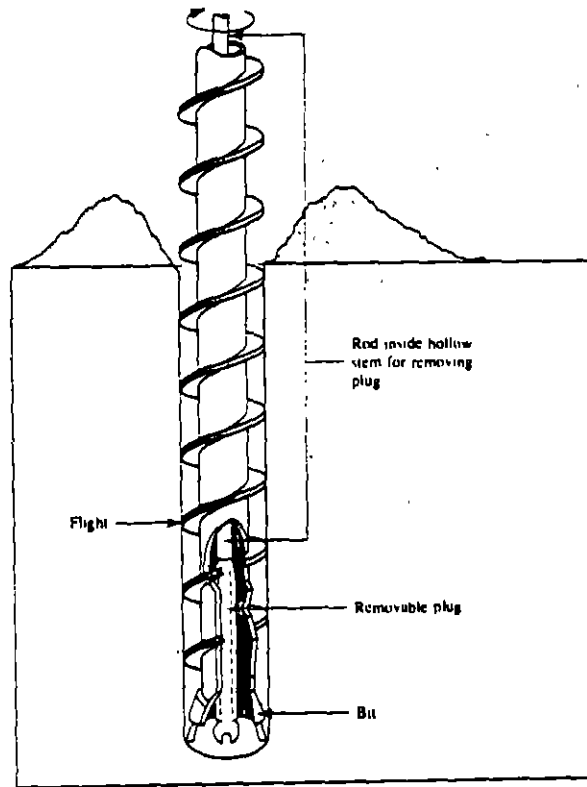


FIGURE 8.9 Hollow-stem auger drill rod and bit. Source: M. L. Scaff et al. *Manual of Ground Water Sampling Procedures*, 1981. National Water Well Association. Used with permission

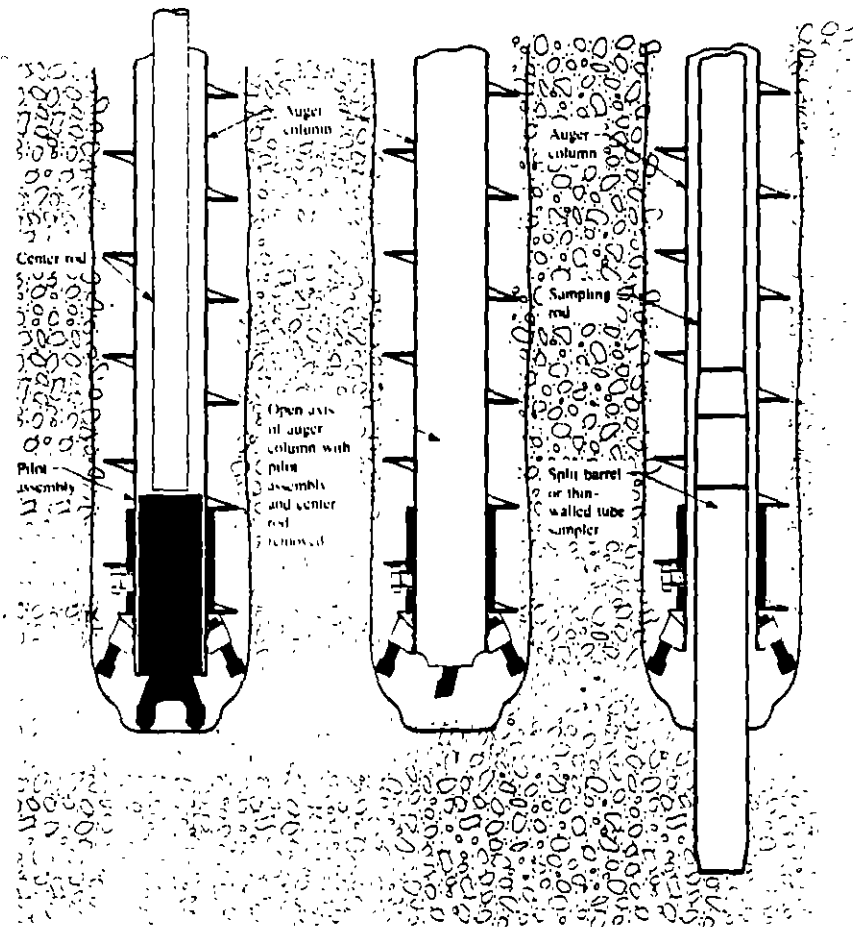


FIGURE 8.13 Sequential steps for the collection of a core sample through a hollow-stem auger. Source: Glen Hackett, *Ground Water Monitoring Review* 7, no. 4 (1987): 51-62. Used with permission. Copyright © 1987 Water Well Journal Publishing Co

VOLUMEN II NUM. 5 1995 / NS13

# CALIDAD AMBIENTAL

Elemento Esencial Para el Desarrollo Sostenible

ISSN: 1405

## Saneamiento de Acuíferos Contaminados por Hidrocarburos

La Importancia  
de los Medios Masivos  
de Comunicación  
en la Conservación

Los efectos  
de la Contaminación Ambiental  
sobre la Flora y la Fauna

Sobrepoblación  
y Medio Ambiente



ITESO



# Saneamiento de Acuíferos Contaminados por Hidrocarburos

Por Juan Manuel Lesser Illades  
Administrador  
Lesser y Asociados, S.A. de C.V.

## Resumen

El hidrocarburo (HC) infiltrado al subsuelo puede encontrarse en 4 formas: líquido de menor densidad que el agua y flotando sobre el nivel freático o estático; volátil en la zona no saturada; disuelto en agua y; líquido de mayor densidad que el agua, el cual puede encontrarse absorbido por el material del medio o sedimentado en la base del acuífero. Los métodos apropiados para el saneamiento del subsuelo contaminado por HC, dependen de varios aspectos. Entre ellos, la fase en que el HC se encuentre, su distribución y las características del subsuelo. El saneamiento del subsuelo puede iniciarse con la extracción del HC líquido y el volátil, lo cual permite disminuir el grado de contaminación y de riesgo por explosividad. Como segundo paso se puede considerar la limpieza del suelo y acuífero contaminados, los cuales tienen una mayor complejidad.

Para la extracción inicial de los productos líquido y volátil, el diseño y operación es "relativamente" sencillo. La remediación o saneamiento total del suelo y acuífero incluye técnicas complejas, de alto costo y largo tiempo de ejecución. Existen diversos métodos, destacando entre ellos la extracción del contaminante y la biodegradación. La extracción por bombeo del producto líquido es común, el cual se extrae junto con agua del acuífero; una vez en la superficie el producto es almacenado en tanques y el agua extraída es tratada a fin de eliminar los compuestos volátiles que contenga.

Los componentes volátiles pueden extraerse a través de pozos y, una vez en la superficie, pueden ser incorporados a la atmósfera, incinerados o capturados mediante filtros de carbón activado.

## Introducción

El hidrocarburo (HC) infiltrado al subsuelo puede encontrarse en varias formas tales como: (1) líquido de menor densidad que el agua y flotando sobre el nivel freático o estático; (2) volátiles en la zona no saturada; (3) disuelto en agua y; (4) líquido de mayor densidad que el agua, el cual puede encontrarse absorbido por las partículas del suelo o sedimentado en la base del acuífero. Una vez conocida su presencia en el subsuelo, (en extensión, concentración, tipo de hidrocarburos y forma en que se encuentra), junto con el conocimiento de la geología y geohidrología del lugar, se pueden establecer las políticas de saneamiento.

El o los métodos más apropiados para el saneamiento de un subsuelo contaminado por HC, depende de varios aspectos. Entre ellos, la forma en que el HC se encuentre, su distribución y las características del subsuelo.

Se puede dividir el saneamiento en 2 partes. La primera considera la extracción inicial del HC líquido y volátil, lo cual permite disminuir el grado de contaminación y de riesgo. La segunda parte se puede denominar la "limpieza total", del suelo y acuífero, la cual incluye técnicas completas de alto costo y largo tiempo de ejecución.



## Métodos de Saneamiento

Los principales métodos para el saneamiento del subsuelo y acuífero por hidrocarburos son: (1) extracción del HC líquido y volátil; (2) biodegradación in situ.

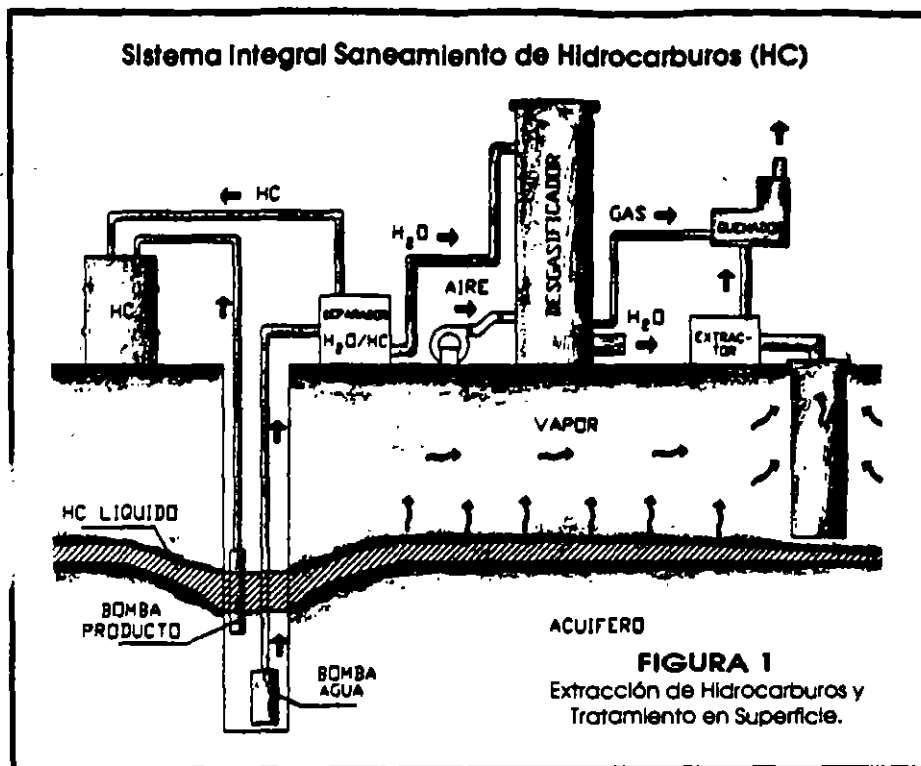
### Extracción de HC líquido y volátil

Una vez delimitada la zona invadida por HC y cuantificada su concentración, se procede a extraerlo. El producto líquido es bombeado a través de pozos. Este, puede ser extraído junto con el agua del acuífero y una vez en la superficie, es separado. En otros casos, el HC líquido que se encuentra en una capa flotando sobre el agua, de donde puede ser extraído mediante bombas especiales. Para formarse un cono de abatimiento, cuya pendiente facilita el movimiento de la capa de HC que flota sobre el nivel estático, hacia el pozo. El HC y agua extraídos son procesados en la superficie. (Figura 1)

La extracción de volátiles se puede realizar a través de pozos ubicados en la zona no saturada, donde se colocan extractores de aire. Pueden perforarse pozos para inyección de aire, que "empujan" al volátil hacia su salida. La remoción de volátiles al inicio de la extracción es alta y va disminuyendo con el tiempo.

### Biodegradación INSITU

Un método para el saneamiento de zonas afectadas por hidrocarburos es la biodegradación. Consiste en utilizar las bacterias que existen en todo suelo y que se alimentan de HC y oxígeno, formando bióxido de carbono y agua. Para acelerar este proceso, se pueden añadir nutrientes que aceleren la acción bacteriana, principalmente oxígeno, el cual se inyecta como gas mediante agua. Debido al proceso de biodegradación mencionado, una zona invadida por hidrocarburos se caracteriza también por ausencia de oxígeno y abundancia de bióxido de carbono, parámetros que pueden medirse durante el saneamiento para determinar el grado de limpieza alcanzado.



**FIGURA 1**  
Extracción de Hidrocarburos y Tratamiento en Superficie.

### Equipos usuales para el saneamiento

Con el objeto de ilustrar tanto la forma en que se encuentra el HC en el subsuelo, así como las técnicas más comunes para su extracción o saneamiento, a continuación se describen varios productos comunes en el mercado:

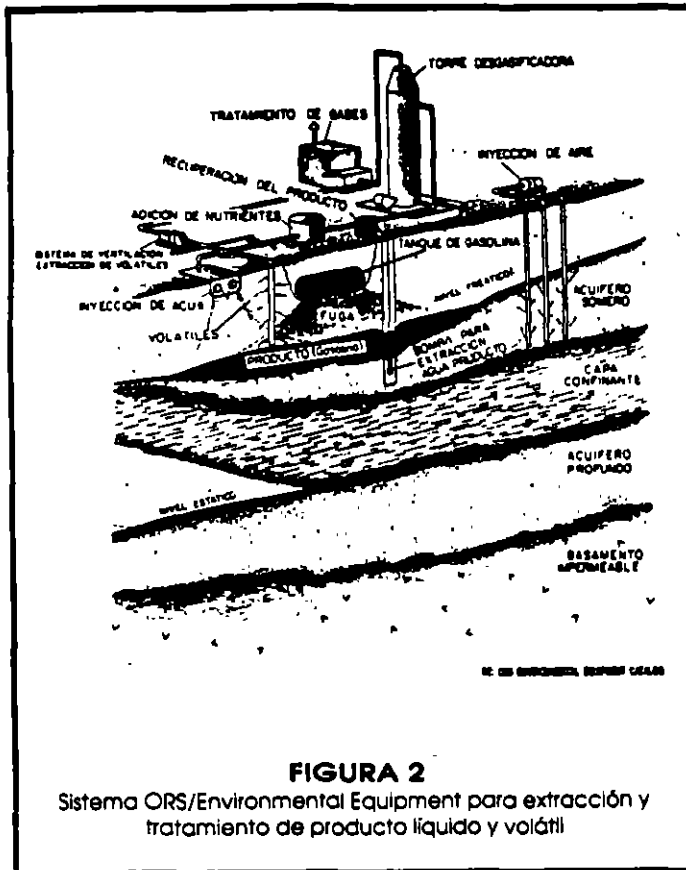
En la figura No. 2 se incluye el sistema de ORS Environmental Equipment, para la extracción y tratamiento de producto líquido y volátiles. En esta figura, se observa la presencia de un acuífero somero que es contaminado por fugas de un tanque de gasolina. El producto líquido se encuentra flotando sobre el nivel freático. También existen volátiles entre la superficie del terreno y el nivel freático. La extracción del hidrocarburo líquido se realiza mediante un sistema de bombas para la extracción, tanto del producto (HC líquido) como del agua. El producto es almacenado en un tanque y el agua es pasada por una torre desgasificadora. El gas obtenido es tratado por oxidación catalítica o incinerado. En la misma figura, se ilustra la inyección de agua y nutrientes al subsuelo, lo que provoca biodegradación, además de "empujar" al producto hacia el pozo.

Cuenta también con un sistema de extracción de volátiles, los que son conducidos a la planta de tratamiento de gases.

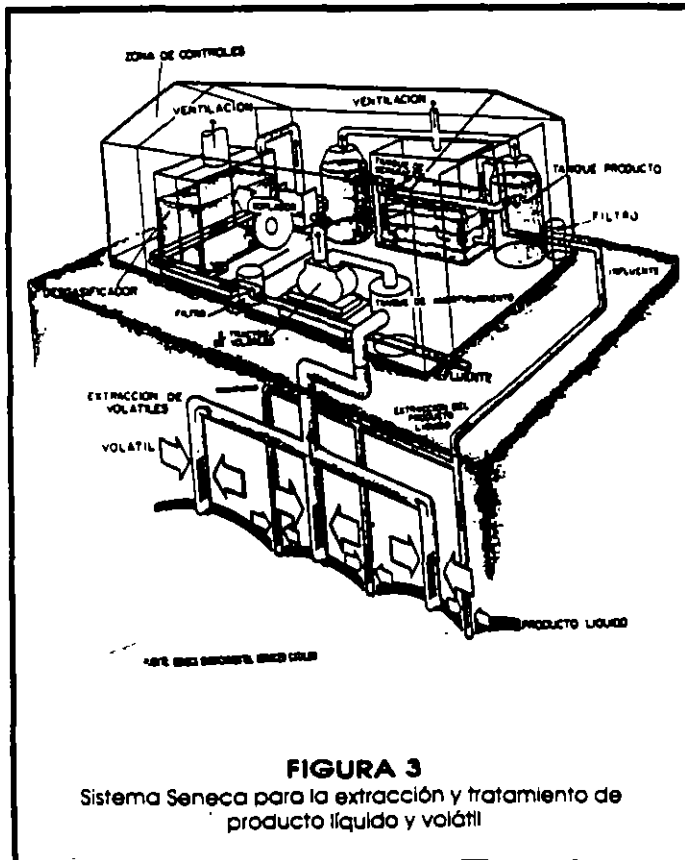
En la figura No. 3 se muestra un esquema del sistema SENECA para la extracción y tratamiento del producto líquido y volátil del subsuelo. En dicha figura se ilustran pozos de extracción, tanto de volátiles como de producto líquido. Por lo que respecta al producto líquido, este es extraído por un sistema múltiple de pozos y conducido a un tanque. Posteriormente pasa por un tanque de separación agua/producto. El agua obtenida es conducida a través de un desgasificador, en el que, por medio de un soplador, se produce un burbujeo que permite la separación del volátil del agua.

### Conclusiones

El HC en el subsuelo y acuífero puede encontrarse en forma líquida, volátil o disuelta en agua. El saneamiento puede consistir en la extracción del HC (líquido o volátil), la cual puede realizarse a través de pozos.



**FIGURA 2**  
Sistema ORS/Environmental Equipment para extracción y tratamiento de producto líquido y volátil



**FIGURA 3**  
Sistema Seneca para la extracción y tratamiento de producto líquido y volátil

La biodegradación in situ es un método eficaz para la remoción de HC hasta niveles bajos, tanto en suelo como en el acuífero. Los principios en que se basa el saneamiento es aplicado en forma comercial por un gran número de compañías productoras de equipo.

**Referencias**

CALABRESE, E.J. AND P.T. KOSTECKI. 1989. Petroleum Contaminated Soils. Volume 2 Remediation Techniques Environmental Fate Risk Assessment Analytical Methodologies. Lewis Publishers, Inc. 515 p.

CANTER L.W. AND R.C. KNOX. 1988. Ground Water Pollution Control. Lewis Publishers Inc 526

HAYES, D., E. C. HERNY AND S. M. TESTA. 1989. A Practical Approach to Shallow Petroleum Hydrocarbon Recovery.

KOSTECKI, P.T. AND E.J. CALABRESE. 1989. Petroleum Contaminated Soils. Volume 1. Lewis Publishers. 357 p.

KOSTECKI, P.T. AND E.J. CALABRESE. 1991. Hydrocarbon Contaminated Soils and Groundwater. Lewis Publishers. 354p.

KOSTECKI, P.T. AND E.J. CALABRESE. 1992. Contaminated Soils. Diesel Fuel Contamination. Lewis Publishers. 227 p.

LESSER Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V. 1990. Proyecto Experimental para Detección de Fugas de Tanques Almacenadores de Gasolinas. DDF-DGCOH

LESSER, J. M. 1991. Contaminación de Acuíferos por Fugas de Tanques Almacenadores de Gasolinas. Curso sobre Tecnología de Punta en Contaminación de Acuíferos. Inter-Lesser-CFE.

LESSER Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V. 1992. Detección de Zonas Contaminadas por Fugas de Tanques Almacenadores de Gasolinas DDF-DGCOH.

LESSER Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V. 1993. Evaluación de Riesgos y Diagnóstico para el Saneamiento de la Colonia Moderna Oriente de Guadalajara. Jal. CNA

LYMAN, W.S., P.S. REIDY AND B. LEVY. 1992. Mobility and Degradation of Organic Contaminants in Subsurface Environments. C. K. Smoley, Inc 395 p

NYER, E.K. 1993. Practical Techniques for Groundwater and Soil Remediation. Lewis Publishers 214 p

RISER-ROBERTS, E. 1992. Bioremediation of Petroleum Contaminated Sites. C. K. Smoley, Inc. 264 p.

NWWA. 1991. Volatiles Organic Compound Cleanup: An Anthology

NWWA. 1991. Ground Water and Soil Venting.

ROY F. WASTON, INC. 1988. Remedial Technologies for Leaking Underground Storage Tanks. Lewis Publishers. 216 p

actualidades ambientales

Continúa el debate de la gasolina que se quemará limpiamente

Actualidades Ambientales. Tomado de Environmental News Briefing. Fuente: Environmental News Network Inc.

Las críticas de una gasolina que se quemará más limpiamente utilizada para reducir la contaminación del aire sostuvieron una conferencia acerca de si un aditivo en la gasolina está provocando que la gente se enferme. Un toxicólogo italiano, Cesare Mattoni, discutió un estudio que utilizó ratones, y dijo que mostraba que el MTBE era un carcinógeno importante. Mattoni reconoció que los pruebas involucraron la inyección de dosis extremadamente altas durante períodos prolongados de tiempo. Robert Taraff, un consultor de ciencias de la salud para la industria de los combustibles oxigenados, dijo que el estudio no era relevante para la gente que llenaba sus tanques de gasolina donde la exposición es de 250 000 a 8 millones de veces menor que la de las pruebas con animales. La EPA emitió un comunicado diciendo que el MTBE ha sido probado ampliamente y como reduce muchos contaminantes del aire de las emisiones de los escapes que ponen en peligro la salud. Contiene beneficios ambientales considerables. Contacte a la EPA. (202) 260-4378

# ¿Adónde Irán los Residuos Industriales Peligrosos?

**E**n México, de 6.2 millones de toneladas de residuos industriales peligrosos producidos anualmente, sólo 10 por ciento es depositado en los dos únicos confinamientos autorizados a la fecha, en Mina, Nuevo León, y en Las Víboras, Sonora.

La Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (Semarnap) ha dado a conocer que en 1996 México contará con 30 confinamientos de residuos peligrosos, entre ellos uno situado en Guadalcázar, San Luis Potosí.

Este último, mejor conocido como La Pedrera, era una estación de transferencia que fue clausurada en 1991 por el manejo inadecuado de la basura tóxica. Se calcula que en el sitio abandonado hay más de 20 mil toneladas sin tratamiento.

La empresa Metalclad Corporation, con 50 años de experiencia en California, adquirió la estación y operará el confinamiento a través de sus subsidiarias Ecosistemas del Potosí y Química Omega.

Este proyecto requerirá de una inversión de 22 millones de dólares en el diseño de un confinamiento con tecnología de punta. Tal cifra incluye los costos de los estudios de impacto ambiental hechos en la zona por requerimiento legal, más

otros adicionales realizados a petición de la población aledaña y los grupos ecologistas, cuyas protestas mantienen en suspenso la construcción.

Los estudios fueron avalados por los institutos de Ingeniería y Geología de la UNAM, la Comisión Nacional del Agua (CNA), el Colegio de Ingenieros Civiles, la Secretaría de Salud (SSA) y la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas (CNSNS).

Estos dictámenes técnicos coinciden en que además de cumplir con la normatividad ambiental, el confinamiento reúne los requisitos para su construcción y garantiza que su operación no ofrezca riesgos para la salud de la población. En breve, la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa) emitirá la resolución definitiva.

De ser rechazado el proyecto, seguirá pendiente el establecimiento de un confinamiento, aseguran los voceros de las empresas involucradas, ya que la planta industrial de San Luis Potosí produce mensualmente cuatro mil toneladas de residuos peligrosos. Un porcentaje mínimo se confina y el resto permanece expuesto a cielo abierto en diversos tiraderos clandestinos, con secuelas contaminantes en el aire y los mantos acuíferos.

Guadalcázar, solicitaron que no se levante la clausura de La Pedrera ni se revoque la autorización otorgada para operar el confinamiento, y se obligue a los responsables a limpiar el lugar y trasladar los desechos abandonados a un confinamiento fuera de la región.

Exponen que el informe de auditoría ambiental está inconcluso, sus estudios son parciales y, en consecuencia, sería irresponsable dar por concluido el proceso jurídico de autorización y permitir la operación del confinamiento por 25 años.

Especialistas del lugar han atribuido nacimientos con malformaciones a la toxicidad de los residuos peligrosos depositados en La Pedrera

## Condiciones Técnicas Favorables

De acuerdo con los estudios de impacto ambiental, las características físicas del sitio son adecuadas para la realización del proyecto, por escasa precipitación y alta evapotranspiración. Los análisis anticipan que no existe acuífero local en aluvión y se comprueba porque los 12 sondeos eléctricos verticales y los cinco pozos perforados no detectaron la presencia de agua.

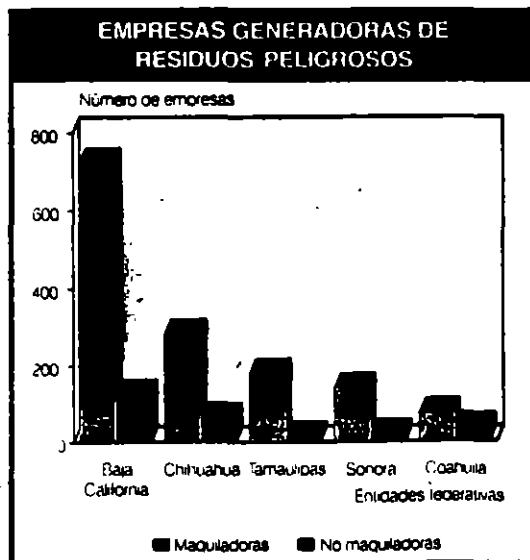
La CNSNS llevó a cabo un proceso de verificación de seis etapas para detectar los niveles de radiación existentes en la zona. El estudio mostró que las tres celdas, pozos y lixivados del lugar, están dentro del intervalo de valores de fondo radiactivo natural obtenido en los alrededores del confinamiento. Además, el nivel de radiación natural medido en varios puntos del centro de la ciudad de San Luis Potosí, resultó tres veces más alto que el registrado en las celdas de confinamiento.

Los mismos estudios exponen que el confinamiento de La Pedrera presenta un bajo riesgo de contaminación de agua aprovechable, además que la zona tiene capacidad para atenuar la contaminación por su gran espesor, reducida permeabilidad vertical y predominio de materiales arcillosos. El relleno constituye una barrera natural muy efectiva para retener materiales pesados, microorganismos y compuestos orgánicos.

## Argumentos Ecologistas

Un grupo de expertos convocados por Greenpeace analizó los resultados de la auditoría ambiental presentada y encontró múltiples violaciones a la mayoría de las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana relativa a la selección del sitio para construir un confinamiento controlado de desechos peligrosos, así como evidencias de riesgos de contaminación atmosférica, al suelo y las aguas superficiales y profundas.

En una carta entregada a la titular de la Semarnap, Julia Carabias, organizaciones ecologistas y de derechos humanos, así como representantes ejidales y comunales de



CORRESPONSAL TEOREMA

# Mueren Aves en la Presa de Silva

**P**or la contaminación del agua, unas 40 mil aves migratorias y nativas murieron entre noviembre de 1994 y enero de 1995 en la Presa de Silva, en el estado mexicano de Guanajuato.

Sin una explicación suficiente por parte del gobierno mexicano, una coalición integrada por la National Audobon Society, el Grupo de los Cien y el Centro Mexicano de Derecho Ambiental presentó a la Comisión de Cooperación Ambiental (CCA) del Tratado de Libre Comercio (TLC) la primera petición formal de un grupo ciudadano para proceder a investigar las causas del deceso.

La Presa de Silva es ocupada como fuente abastecedora de agua para tierras de riego contiguas. Algunas poblaciones aledañas extraen el líquido para uso doméstico. El agua almacenada, como su entorno natural, constituirían un punto de atracción para que miles de aves procedentes de Canadá y Estados Unidos acudieran a procrearse en determinadas temporadas.

Algunas versiones atribuyen al endosulfan, contenido en algunos pesticidas, la causa del ecocidio, debido a su aplicación común en la región, pese a las restricciones en su uso, sus características como compuesto no biodegradable y la susceptibilidad de las aves a su acción.

Otras estiman que una mezcla de agroquímicos, desechos industriales y aguas negras arrojadas durante años por fábricas situadas en el estado, pudo ser la causa. La presa se abastece de los caudales de los ríos Santiago y Turbio y forma parte de la cuenca del Lerma-Santiago, afectada por diversidad de contaminantes arrojados por empresas particulares y paraestatales.

La Comisión Nacional del Agua encontró en la presa, además de endosulfan, metales pesados como



romo y plomo, así como arsénico, materia fecal y salmonella.

Por la incoasteabilidad que ello representa, los empresarios de la ciudad de León, Guanajuato—considerada un emporio zapatero, con por lo menos 600 tenerías que a la fecha carecen de sistemas de tratamiento del agua utilizada—, no han podido trasladarse a corredores industriales con tecnologías de protección ambiental.

La presentación de la denuncia de hechos de la coalición de ambientalistas llama la atención sobre el urgente requerimiento en México de los recursos y la cooperación de las naciones suscriptoras del TLC.

"Las aves migratorias son un recurso compartido de los países de Norteamérica", estimó Kathleen Rogers, consejera de la National Audobon Society al considerar que el incidente de la presa es el tipo de casos que debe atender la Comisión de Cooperación Ambiental.

A su vez, la CCA informó el 9 de junio que revisa la solicitud enviada, aunque el director ejecutivo del secretariado de esta comisión, Víctor Lichtinger, admitió que "las aves

migratorias son una cuestión transfronteriza importante, y ciertamente está dentro de nuestro ámbito de estudio".

No obstante, aclaró que el secretariado no ha decidido aún si preparará un informe, el cual de ser elaborado sólo podrá limitarse a la causa de la muerte de aves acuáticas migratorias.

Por su parte, la secretaria de

Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Julia Carabias, aseguró el 10 de junio que el gobierno federal no rehúye su responsabilidad y distintos organismos trabajan en la detección de causas. Mientras tanto, el gobierno local, con limitados recursos, prosigue sus programas de atención al problema. **T**

CORRESPONSAL TEOREMA



**SEEDAE**

**SPEDAG, S. A. DE C.V.**

**SU EXPERTO EN  
TRANSPORTES MUNDIALES**

**SERVICIOS :**

- Aéreos / Marítimos / Terrestres
- Importaciones / Exportaciones
- Despachos Aduanales

**Con gusto le atenderemos: Llámenos**

COLIMA 114 DESP. 301 COL. ROMA C.P. 06700 MEXICO D.F.  
TELE: (5) 207 3279, 814 6097, 525 2442 FAX: 208 3259



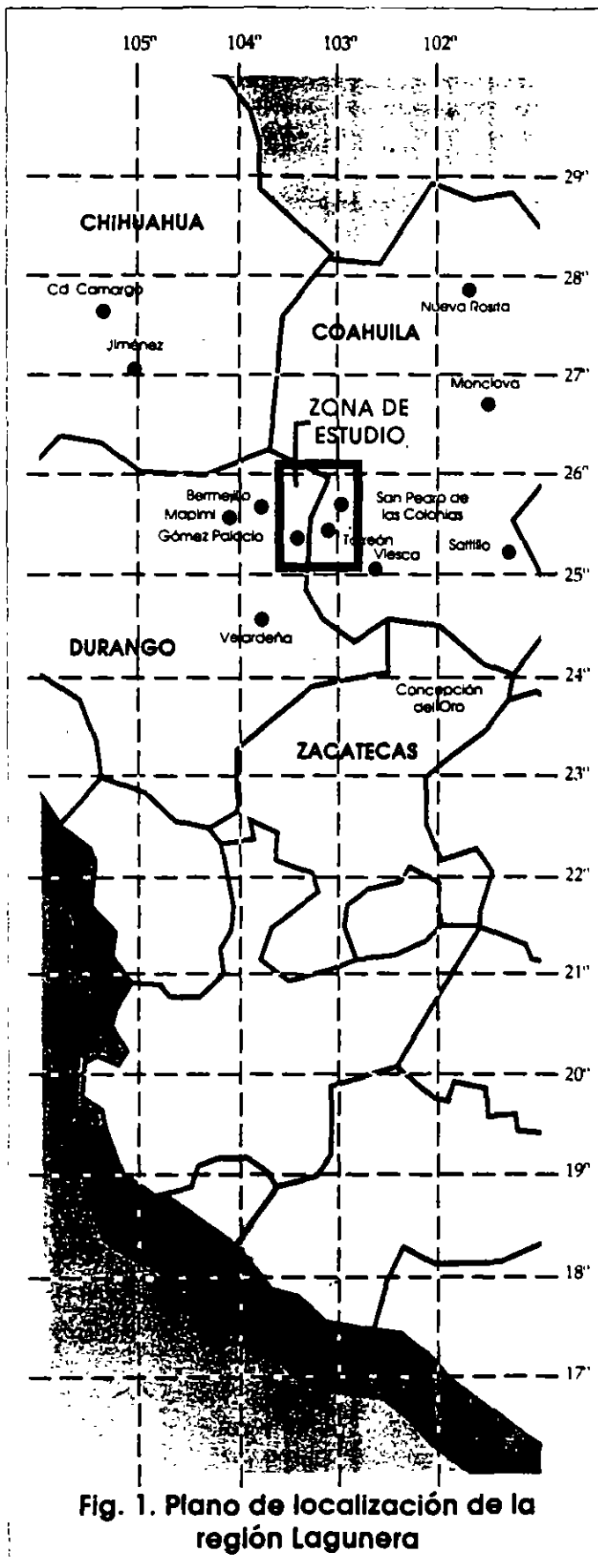


Fig. 1. Plano de localización de la región Lagunera

# El Problema de Hidroarsenicismo en la Región Lagunera

Por: Miguel Enriquez Sánchez/Guillermo García  
Investigadores del Instituto Tecnológico  
Agropecuario, Durango, Dgo.

La región Lagunera se localiza en la parte suroeste del estado de Coahuila y noreste del estado de Durango (Fig. 1). Cuenta con una extensión territorial de 54,967.5 km<sup>2</sup>, conformada por un área montañosa y una superficie plana donde se ubican los predios agrícolas y pecuarios, así como los centros de población urbana, estimándose para 1992 un total de 1'260,063 habitantes (INEGI, Censo de Población 1990).

En los últimos treinta años se ha destacado una contaminación significativa por arsénico en los acuíferos de esta región en concentraciones muy superiores a los límites establecidos para consumo humano, desconociéndose en la actualidad el origen y distribución de las fuentes de arsénico.

Estudios epidemiológicos han registrado una relación directa de la ingesta crónica del arsénico disuelto en el agua (Hidroarsenicismo) con la magnitud en el incremento de las tasas de mortalidad debidas principalmente a enfermedades cardiovasculares y cáncer, ésta última atribuible directamente al hidroarsenicismo crónico endémico que afecta aproximadamente a 300,000 habitantes de esta región (Maeda, 1992).

La importancia de este problema desde el punto de vista social, técnico y económico se deriva de la naturaleza tóxica del arsénico, particularmente por ser un elemento carcinogénico, problema que se magnifica por el creciente interés de su explotación en la industria metalúrgica y electrónica (Ramana, et al., 1988).

## Aspectos Generales del Arsénico

El arsénico (As) representa proporcionalmente el 5(10)<sup>5</sup>% de la corteza terrestre en concentraciones promedio de 5 partes por millón (ppm), es el onceavo elemento más abundante en compuestos naturales, siendo un constituyente de aproximadamente 300 minerales. Las concentraciones más elevadas de As se encuentran, por lo general, en suelos que presentan

enriquecimiento de este contaminante o en suelos tratados con arsenicales (Onishi, 1969).

Las concentraciones de As en suelos vírgenes pueden variar de 0.1 a 40 ppm y en promedio de 5 a 6 ppm (1 ppm = 1 mg/L). En los suelos sulfurosos las concentraciones de As varían de 100 a 800 ppm, pudiendo estar presente en forma inorgánica (aniónica) o en minerales sulfurosos ni intemperizados (Coulbourn y Thornton, 1975).

Por otra parte, el contenido de As en aguas naturales depende de la zona en que se encuentre. Las más altas concentraciones se han hallado en aguas subterráneas (0.08-22.0 ppb) y en aguas próximas a minas con depósitos de sulfuros polimetálicos (0.01-300 ppm) (Onishi, 1969).

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 1990), establece como nivel máximo permisible 0.05 mg/L de As como contaminante del agua potable. Normalmente los niveles de As en agua potable son muy inferiores a 0.05 mg/L, sin embargo, se han reportado casos contables de hidroarsenicismo en Alaska, Taiwán, Argentina, Chile y México.

Es importante señalar que durante las últimas dos décadas se han almacenado grandes cantidades de metales (Mercurio y Plomo) y metaloides (como el As) en los sedimentos acuáticos. Además, cuando el As soluble se libera, se adhiere y se combina en medio acuoso en forma de arsenatos de calcio, magnesio y sodio. Este último compuesto representa un peligro

potencial, pues bajo condiciones reductoras, se transforma a arsenito de sodio, el cual, es sumamente tóxico para el ser humano, ya que su dosis letal media es de 10 a 50 mg/kg.

Lo anterior da lugar a un bioaumento rápido a lo largo de la cadena alimentaria, como biotoxicidad y larga vida biológica que pueden implicar un riesgo para la salud y la estabilidad del ecosistema (D'Itri, 1992.)

### Arsénico en los Vegetales

La Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos de América (NAS, 1977) establece que las concentraciones naturales de As en el reino vegetal varían entre 0.01 y 5.0 ppm. La variación entre las distintas especies vegetales, depende de la disponibilidad del As y de las condiciones de crecimiento de las plantas, así, por ejemplo, el frijol resulta dañado con 9.0 ppm, el arroz a 7.0 ppm., la alfalfa y la cebada no muestran daños por concentraciones mayores de 6.0 ppm.

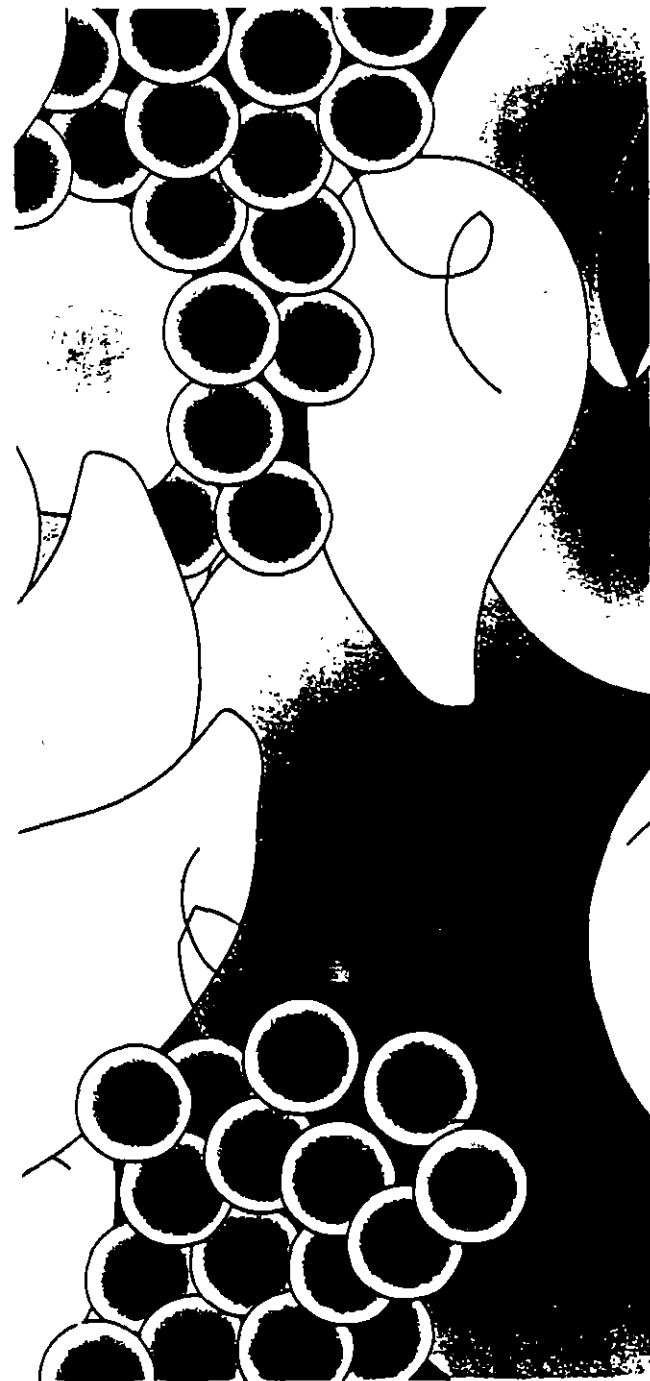
Aunque aún no se ha logrado demostrar la esencialidad del As en los vegetales, se considera que en pequeñas cantidades puede estimular el crecimiento vegetal, diversos reportes indican que una adición de 55 kg/ha. de As es benéfica para el crecimiento de chicharos, rábanos, trigo y papa. Maíz, sorgo, soya y algodón mostraron incrementos en su producción cuando se añadieron 500 ppm de As como arsenato de calcio (Gutiérrez, 1979).

El Servicio de Salud

Pública en los Estados Unidos de América establece 2.6 ppm como límite permisible de As en los vegetales comestibles.

Se estima que las partes comestibles son las que generalmente acumulan los niveles más bajos de As y que las altas concentraciones se localizan en la raíz, niveles intermedios en las estructuras reproductivas (Wagner et al., 1979).

El efecto tóxico en animales y humanos se produce cuando se aplican productos arsenicales a los cultivos y se consume directamente las partes comestibles contaminadas.



## Toxicología de los Arsenicales inorgánicos

Las formas inorgánicas arsenicales son más tóxicas que las orgánicas. Estos compuestos han mostrado efectos oncogénicos positivos, basados en suficientes evidencias humanas de carácter epidemiológico. Son mutagénicos, pueden ser potencialmente teratogénicos y fetotóxicos.

### SINTOMAS

Los síntomas posteriores a una ingestión oral continua, incluyen severos daños gastro-intestinales produciendo vómito y diarrea, así como un colapso vascular general que culmina en shock, coma y muerte. También pueden existir síntomas como calambres musculares, edemas faciales y reacciones cardiovascularvasculares.

(Sraochi, et al. 1986 y 1987).

### El Hidroarsenicismo en la región Lagunera

El problema del hidro-

arsenicismo en la región Lagunera data desde 1955, se atribuye a la pérdida del equilibrio de los mantos acuíferos a consecuencia de una grave sequía que azotó la región entre los años de 1952 a 1958 (Maeda, 1992)

En 1963 se registra el primer estudio epidemiológico que demostró el impacto sobre la salud humana debido a la ingesta crónica del arsénico disuelto en el agua en los acuíferos de la región.

Estadísticas de la SARH (1987) revelan que en cuatro pozos muestreados ubicados en los municipios de San Pedro, Fco. I. Madero y Matamoros, del estado de Coahuila y el de Tlahualilo en el estado de Durango, se detectaron concentraciones desde 0.08 hasta 0.38 ppm, las cuales, superan notablemente el nivel máximo permisible establecido por la OMS que es de 0.05 ppm.

Montemayor (1988) cita informes del sector salud en los que se atribuye que el hidroarsenicismo se presenta en forma natural en el subsuelo del antiguo vaso de la Laguna de Mayrán, la cual, abarca los municipios antes mencionados.

Los estudios de mortalidad del mismo sector para el periodo comprendido en los años de 1970-1974 registraron una mayor frecuencia por cánceres en

la mayoría de los municipios de la región Lagunera; durante 1983-1984 otro estudio reportó una tasa del 56% de arsenicismo y 19 casos de cáncer epidermoide en los municipios de la región contaminados por este elemento, comparados con aquellas localidades que no presentaron problemas significativos de contaminación arsenical.

### Teorías sobre el Origen del Arsénico en la Región Lagunera

Existen diferentes teorías para explicar el origen del arsénico en la región Lagunera.

La primera de ellas, relacionaba los altos contenidos de arsénico con el uso de plaguicidas formulados a base de arsénico, los cuales se aplicaban en las áreas de cultivos agrícolas en los años 40's.

La teoría de la explotación de minerales en la zona de Mapimí, Dgo., fue desechada en virtud de que las concentraciones son bajas y son de origen puntual.

La industria metalúrgica ubicada en Torreón Coah. procesa minerales metálicos que contienen arsénico en diferentes compuestos y cuyos desechos pudieran ser la fuente de contaminación.

Esta teoría no está comprobada ya que la posición geográfica con respecto a la zona de mayor anomalía es opuesta y una contaminación por la vía aérea no es factible.

Otra teoría es la sobreexplotación del acuífero, suponiéndose que al extraer agua de

mayor profundidad está más contaminada de As. Esta teoría no se considera como válida ya que las áreas de mayor sobreexplotación del acuífero, no son las de mayor contaminación arsenical.

Desde el punto de vista de la geología de la región, las teorías indican que el hidroarsenicismo pudo haberse originado debido a que el agua subterránea estuvo en contacto por un periodo de tiempo bastante prolongado con los diferentes tipos de roca y cuerpos volcánicos intrusivos, a partir de los cuales el agua pudo haber adquirido elementos tóxicos como As, Pb, y Zn.

El más reciente estudio es el realizado por Enríquez (1993) los objetivos fueron identificar la fuente principal de contaminación arsenical, determinar la variabilidad especial del hidroarsenicismo en la región y analizar la situación de la acumulación del contaminante en el sistema suelo-planta-producto.

Según los resultados de los análisis físico-químicos de 96 pozos profundos, se detectaron tres áreas con altas concentraciones de As (Fig. 1).

En el área de San Pedro y Fco. I. Madero, Coah., y Tlahualilo, Durango, las fuentes principales de arsénico son la composición basáltica de las rocas sedimentarias que contienen hasta 20 ppm, en forma de arsenatos, los cuales, al estar en contacto con las aguas subterráneas provocan la contaminación con As de estas aguas. Otra posible fuente de contaminación es la industria, cuya actividad principal es la producción de sal y que se encuentra en la misma dirección del flujo del agua

de recarga.

En el área de Mapimí y Bermejillo, Dgo., la sierra de Mapimí contiene minerales con arsénico en forma de arsenatos, como la mapimita, la escorodita y la conicalcita, los cuales son susceptibles de contaminar al agua subterránea. Se considera que la principal fuente de As está relacionada con la operación de las plantas extractoras de minerales y de lavado de metales, desconociéndose la cantidad y el destino de las aguas residuales de este proceso.

En el caso del área de Matamoros y Viesca, Coah., las fuentes principales de As se ubican puntualmente y son las aguas subterráneas con altas concentraciones salinas, en el acuífero de la cuenca endorreica de las ex-lagunas de Mayrán y Viesca; debidas posiblemente a las actividades de producción industrial de sal. También de ese estudio, los resultados de la acumulación de As en el suelo, en la planta y la leche, revelan que para los suelos de las tres áreas se excede significativamente el nivel máximo permisible de 0.006 mg/L (6 µg/g), lo que representa un enriquecimiento por As de los suelos del área.

La concentración de As en el cultivo se encuentra muy por debajo de los límites establecidos (0.045 mg/g), siendo el valor más alto de 0.012 mg/g, por lo que dichas cifras no representan ningún riesgo de toxicidad.

Con respecto al producto (leche), los resultados obtenidos indican concentraciones que varían de 1.6 (10)<sup>-5</sup> a 0.2(10)<sup>-5</sup> mg/g, los cuales, comparados con el nivel máximo

permisible de 4(10)<sup>-5</sup> mg/g, se considera que no existe riesgo actual para la salud humana al consumir dicho producto.

Las conclusiones del estudio indican que los factores que están influyendo directamente en la calidad del agua en la región, particularmente el aporte de As, son la geología del subsuelo como factor natural y el drenaje de minas como factor humano de carácter puntual.

La variación del hidroarsenicismo en la región Lagunera, se debe en todos los casos al movimiento del agua subterránea como respuesta inmediata a los gradientes de los niveles piezométricos, generada por las altas densidades de pozos en operación en cada una de las áreas.

La principal fuente de afección a la salud humana por contaminación arsenical en la región Lagunera es la ingesta directa y crónica del agua subterránea.

### Alternativas de Relación del Arsénico de Aguas Contaminadas

Las posibles soluciones al problema del hidroarsenicismo se complican en virtud de la gran cantidad de compuestos arsenicales (aproximadamente 300), que se pueden formar como resultado de las múltiples valencias del arsénico.

Sin embargo, Pontius (1990) presenta una relación de eficiencias de los procesos convencionales para el tratamiento del agua y señala que los procesos más efectivos para remover el arsénico

en estado de oxidación trivalentes o pentavalente, son los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como, intercambio iónico y los procesos de absorción, incluyendo también los procesos de membrana (ósmosis inversa).

### Referencias:

Colbourn, G. & I. Thornton. 1978. Arsenic and heavy metals in soils associated with regional geochemical anomalies in south-west England. *Sci. Environ.* 4:359-363

D'Am, M.F. 1992. El ciclo del mercurio y otros metales pesados en ambientes lacustres. *Ingeniería Hidráulica en México*, Vol. VII, No. 2.3 II Epoca, Mayo-Diciembre p.75-86

Enríquez, S.M. 1993. Variabilidad Espacial del Hidroarsenicismo en la Región Lagunera. *Dissertación Doctoral*. ITESM, División de Graduados e Investigación, Programa de Graduados en Agríc. Monterrey 221 p.

Gutiérrez de la Rosa, I. 1979. Comportamiento del Arsénico en Productos Agropecuarios SARH. *Representación en Región Lagunera*, Coah., Dgo. México p.11

Maeda, V.L. 1992. El hidroarsenicismo crónico regional. Un estudio descriptivo. *Consejo Cívico*, Depto. de Ecología, R. Ayra de Torreón, Coah. México p.11.

Montemayor, T.J.A. 1988. Diagnóstico del hidroarsenicismo del acuífero de la Región Lagunera. *Tesis M.C. U.A.A.A.N. Saltillo*, Coah. p.7-27-29

National Academy of Sciences (NAS). 1977. *Medical and biological effects of environmental pollutants: Arsenic*. Washington, D.C.

Onishi, P.H. 1969. *Arsenic*. Handbook of Geochemistry, Ed. By Wedepohl, K.H. Springer-Verlag, Vol. 11 (1):33.

Pontius, W.F. 1990. *Water Quality and Treatment. A Handbook of Community Water Supplies*. American Water Works Association, 4ta. edición. Ed. McGraw-Hill.

Ramona, G.R., L.H. James y B.P. Queneau. 1988. *Arsenic Metallurgy Fundamentals and Applications*. Univ. of Nevada, Reno, p. 515.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1987. *Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geográficos en la Región Lagunera de Coahuila-Durango*. Elaborado por Técnicas Modernas, S.A.

Srachi, D.Y., Shing, H.T. y J.P. McGowan. 1986. Carcinogenic potential of arsenic compounds in drinking water. *United States Environmental Protection Agency (USEPA) EPA/600/S1-86/003*, Junio 1986.

Srachi, D.Y., Shing, H.T. y J.P. McGowan. 1987. Carcinogenic effects of arsenic compounds in drinking water. *United States Environmental Protection Agency (USEPA) EPA/600/S1-87/007*, Nov 1987.

Wagner, S.L., J.S. Malner, W.E. Morton y R.S. Braman. 1979. Skin cancer and arsenical intoxication from well water. *Arch. Dermatol.* 115: 1206-1207

## ACTUALIDADES AMBIENTALES

### GREEN SEAL CERTIFICA EL ACEITE USADO

Green Seal, el grupo sin fines de lucro que establece normas para los productos seguros para el medio ambiente, agregó el "aceite para motor refinado" o reciclado a sus categorías de productos elegibles para la certificación. La primera compañía que obtuvo el Green Seal para sus productos petroleros fue la Safety-Kleen Corp., de Elgin, Ill. La compañía puede ahora adjuntar el sello a 22 de sus aceites lubricantes para motor.

Actualizaciones Ambientales. Tomado de USA TODAY Update / Fuente: USA TODAY / Green Seal National Information Network.

# Recarga artificial de agua residual tratada al acuífero del valle de México

Dirección General de Construcción y Operación  
Hidráulica-Secretaría General de Obras-DDF  
Lesser y Asociados, S. A. de C. V.

*Una de las acciones del Programa de Uso Eficiente del Agua consiste en la recarga artificial al acuífero de la ciudad de México, lo que puede ofrecer beneficios considerables. Sin embargo, existen interrogantes sobre algunos de los efectos que pueda tener dicha recarga, por lo que se determinó que era indispensable llevar a cabo estudios que ayudaran a establecer un proyecto a gran escala. Bajo esta óptica, se formularon los lineamientos para un programa general de recarga al acuífero del valle de México mediante la experimentación en varios pozos, cuyos resultados iniciales se presentan en este trabajo.*

La ciudad de México requiere de grandes volúmenes de agua, que actualmente se obtienen tanto de pozos dentro de la ciudad misma, como importando agua de cuencas externas. Los pozos que explotan agua del subsuelo, extraen en conjunto volúmenes tales que sobrepasan la recarga natural del acuífero, lo que ocasiona una explotación reflejada en el abatimiento de los niveles del agua, los cuales alcanzan valores máximos en algunos sitios del orden de 3 metros por año. Los requerimientos de agua para la ciudad han obligado a continuar esta explotación.

Los abatimientos de los niveles del acuífero provocan la compactación de las arcillas y el hundimiento del terreno, lo que a su vez origina diversos problemas, principalmente en el drenaje citadino. En la actualidad, los asentamientos del terreno tienen un valor medio de 10 cm anuales, aunque existen valores extremos de 40 centímetros.

Paradójicamente a la explotación del acuífero, el sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de México no ha operado a su máxima capacidad en virtud de que el número de usuarios de este recurso tradicionalmente no ha sido importante. El reúso es una opción para resolver la problemática del abastecimiento de agua potable y representa un paso importante en la optimización del aprovechamiento de los recursos hidráulicos. A

su vez, la recarga artificial de acuíferos con aguas renovadas representa uno de los alcances más significativos de cualquier programa de reúso, ya que su finalidad es la de preservar los recursos acuíferos.

Por lo anterior, se ha deducido que la recarga artificial del acuífero mencionado presenta grandes beneficios, ya que, por una parte, se podrían atenuar los asentamientos del terreno y con ello, proteger en forma local o regional las obras hidráulicas de la superficie, como drenajes y un gran número de cimentaciones de obras civiles. Por otro lado, sería factible controlar el flujo subterráneo y, entre otras cosas, formar barreras. A la vez, se podría utilizar el acuífero como una zona de almacenamiento de agua para su uso futuro. Sin embargo, existen interrogantes sobre algunos de los efectos que podría causar la recarga y el riesgo potencial de afectar de manera importante e irreversiblemente la calidad del agua subterránea, por lo que se consideró indispensable llevar a cabo estudios que generaran la información necesaria para instrumentar un proyecto a gran escala. Tales estudios deben contemplar todos aquellos factores determinantes en los procesos que afectan la composición físico-química y bacteriológica, tanto del agua de recarga como de la almacenada en el acuífero, a fin de contar con elementos de análisis para evaluar el

impacto que tendría un proyecto de este tipo en la disponibilidad de agua potable en un acuífero sujeto a la recarga.

### Geología

La ciudad de México se emplaza dentro de una antigua cuenca lacustre cerrada en la que actualmente el drenaje se lleva a cabo de manera artificial hacia el norte. Los materiales que constituyen el subsuelo del valle corresponden a depósitos de aluviones y sedimentos lacustres cuaternarios. Los primeros provenían de las laderas y fueron transportados hacia el centro del valle por corrientes fluviales. Por su parte, los sedimentos lacustres en general sobreyacen a los aluviones y también se interdigitan con ellos a profundidad. En los flancos del valle limitándolo, básicamente hacia el poniente, sur y oriente, se encuentran elevaciones topográficas constituidas por rocas volcánicas que en su mayor parte se comportan como permeables. En las estribaciones de la sierra de las Cruces se encuentra una serie de antiguos depósitos volcánicos y fluviales conocida como Formación Tarango, que produce las lomas del poniente y está constituida primordialmente por arenas, conglomerados, cenizas volcánicas, piroclásticos y aglomerados de mediana a baja permeabilidad. Los materiales volcánicos, en especial las lavas y piroclásticos de tipo basáltico, forman la parte sur del valle y hacia sus estribaciones se encuentran interdigitados con los materiales aluviales y lacustres.

### Geohidrología

Las rocas que constituyen el subsuelo del valle de

México pueden agruparse en tres tipos de acuerdo con sus características o capacidad para permitir la infiltración, circulación y almacenamiento del agua subterránea: arcillas lacustres, rellenos aluviales, basaltos y piroclásticos (véanse ilustraciones 1 y 2).

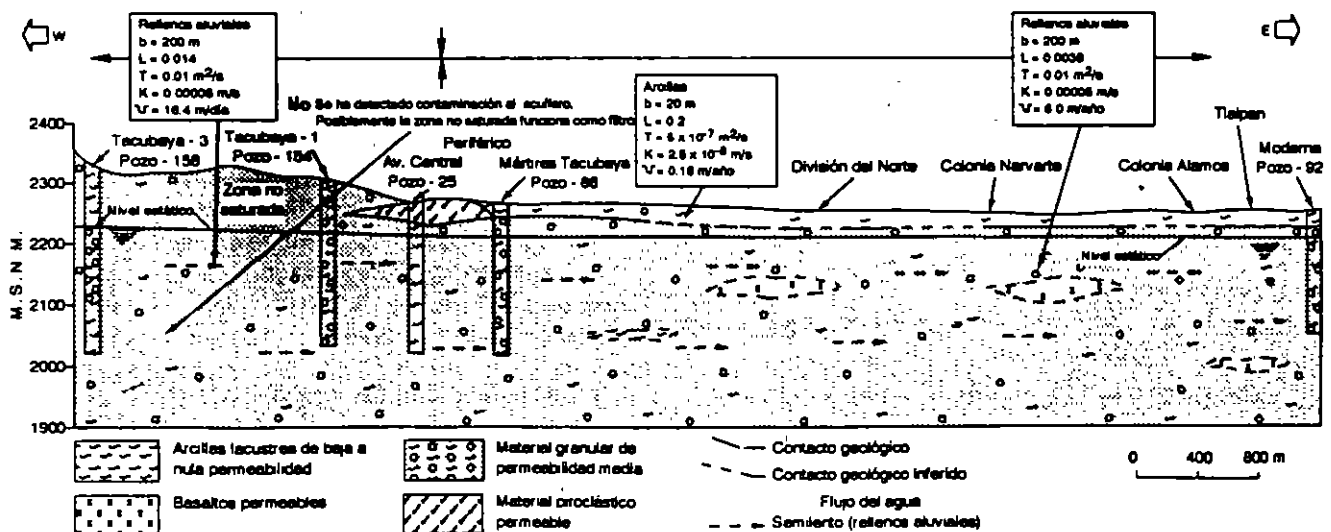
#### Arcillas lacustres

El primer grupo está formado por arcillas lacustres que cubren la mayor parte del valle. Corresponden a sedimentos finos de permeabilidad reducida, originados por los antiguos lagos del valle de México y tienen espesores que varían de 15 a 60 m. Estudios de mecánica de suelos han identificado, dentro de este grupo, a dos horizontes de arcillas denominadas Formación Arcillosa Superior y Formación Arcillosa Inferior, a las cuales las divide un horizonte arenoso denominado capa dura. Geohidrologicamente este grupo se clasifica como acuitardo. Se encuentra saturado, descansa sobre materiales granulares permeables hacia donde se drena. La pérdida de agua del acuitardo produce la compactación de las arcillas, lo cual es la causa de los hundimientos del terreno. Existen también grietas que se han formado en las arcillas, a través de las cuales se filtra agua al acuífero a partir de la superficie.

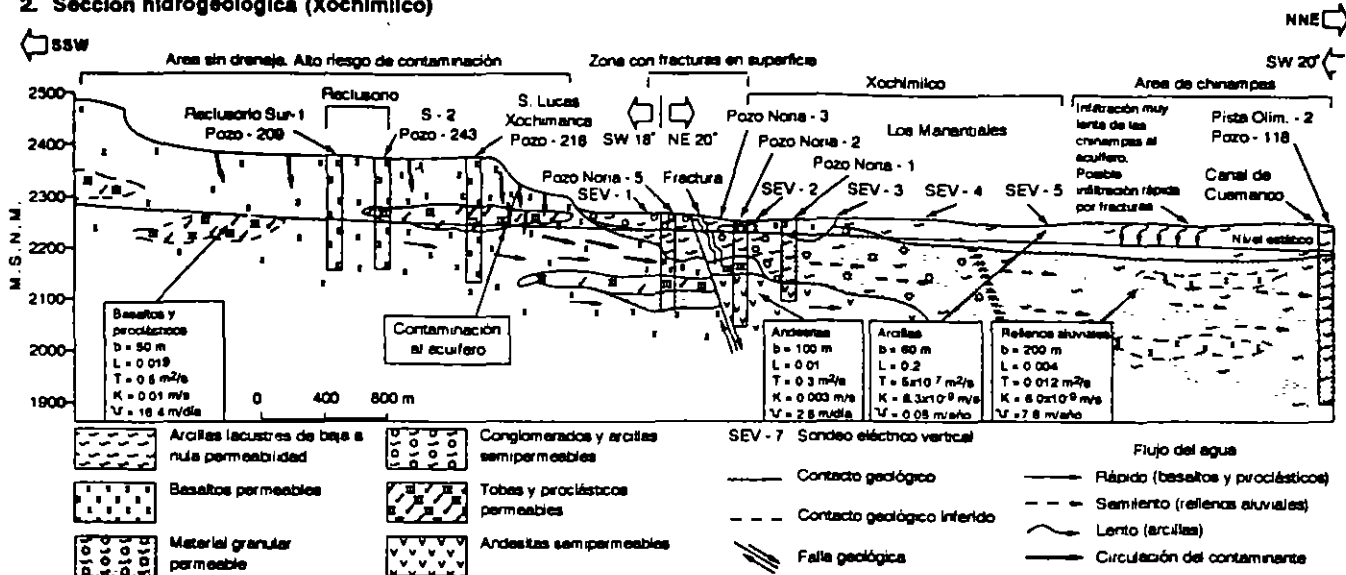
#### Rellenos aluviales

Las rocas o materiales del segundo grupo corresponden a los rellenos aluviales (gravas, arenas y arcillas). Subyacen a las arcillas lacustres y forman la mayor parte del acuífero de la ciudad; dentro de estos materiales se llegan a encontrar cuerpos tabulares de derrames lávicos de composición basáltica. Tienen

#### 1. Sección hidrogeológica (Nápoles)



2. Sección hidrogeológica (Xochimilco)



una transmisibilidad que varía de 0.001 a 0.012 m<sup>2</sup>/s; la velocidad del flujo de agua subterránea es de 2.5 a 39.4 m/año.

Basaltos y piroclásticos

El tercer grupo de materiales corresponde a basaltos y piroclásticos, los cuales tienen una alta permeabilidad y permiten el libre flujo del agua a través de ellos. Se encuentran generalmente en las elevaciones topográficas que constituyen las sierras del Chichinautzin y Santa Catarina, y en ocasiones, se prolongan en el subsuelo interdigitados con los aluviones. Su transmisibilidad es de 0.5 m<sup>2</sup>/s. La velocidad del flujo subterráneo, que varía de 2.3 a 16.4 m/día, depende de la transmisibilidad y del gradiente hidráulico (el cual en ciertos lugares es muy reducido).

Secciones

La sección de la ilustración 1 muestra la geología y geohidrología de la zona central de la ciudad de México. La mayor parte del subsuelo se encuentra constituido por materiales aluviales como arenas, arcillas y gravas, en ocasiones incluyendo tobas; en general, se considera que presentan una permeabilidad media. Llegan a incluir horizontes de materiales piroclásticos y derrames lávicos de composición tanto basáltica como andesítica.

Cubriendo a la mayor parte de la sección y con un espesor aparentemente de 20 m, se encuentra una capa de materiales arcillosos originados por el antiguo lago de México. Estas arcillas presentan de reducida a nula permeabilidad.

En la ilustración 2 se muestra la composición del sur de la ciudad de México. Corresponde a la estratificación de la sierra del Chichinautzin, la que está compuesta por basaltos y materiales piroclásticos de alta permeabilidad, en los que la infiltración es tan alta que prácticamente no existe escorrentía superficial. Los pozos perforados en este tipo de rocas han alcanzado más de 200 m de profundidad. Geológicamente se considera que el espesor de los basaltos en la sierra puede alcanzar varios cientos de metros.

En la zona del valle se encuentran materiales granulares entre los que predominan los finos hacia la superficie; éstos corresponden a arcillas lacustres producto de la sedimentación en el antiguo lago de Xochimilco. Las arcillas tienen un espesor de hasta 60 m y se encuentran cubriendo a los materiales granulares; corresponden a arenas, arcillas y gravas que presentan una permeabilidad media. A la altura del pozo Noria 5, se detectó en la superficie una fractura que podría corresponder a una falla, inferida también por la variación litológica tan notable que presentan los pozos Noria 5 y Noria 2. Estas fracturas o fallas podrían corresponder a zonas de flujo preferente de agua subterránea. En la parte central de la sección, a la altura de los pozos mencionados, se encuentran rocas andesíticas constituyendo parte del subsuelo. Estos materiales se consideran de una permeabilidad media.

Requerimientos para la recarga

La recarga artificial al acuífero de la ciudad de México puede presentar condiciones favorables para la disminución de la subsidencia del terreno; para el

control del flujo subterráneo; para un mejor manejo del acuífero y para el almacenamiento de agua para uso futuro, con lo que a largo plazo se podría reducir la importación de agua de cuencas externas. Para efectuar la recarga es necesario que se cumplan las dos condiciones siguientes:

- Existencia de sitios y zonas permeables que permitan la infiltración de agua al acuífero. Dichos puntos se pueden alcanzar por medio de pozos, estanques y galerías filtrantes, aunque estos dos últimos requieren de una gran superficie de terreno. Conviene anotar que las condiciones geológicas de la cuenca impiden la infiltración del agua a partir de la superficie prácticamente en toda la zona del antiguo lago, por lo que ésta sólo se puede realizar en los flancos de las sierras. Por su parte, los pozos sí son un medio adecuado, ya que permiten la recarga al acuífero a través de ellos y no requieren de gran extensión de terreno.
- Existencia de volúmenes de agua susceptibles de utilizarse para la recarga. Los volúmenes disponibles en la ciudad de México, corresponden a las aguas residuales renovadas provenientes de plantas de tratamiento distribuidas prácticamente en toda la ciudad, que se deben someter a un tratamiento adicional para que alcancen la calidad deseable para recarga. Otra posible fuente sería el agua de lluvia.

### Sitios seleccionados para la recarga

Se visitaron todos los pozos cancelados o fuera de operación ubicados en la ciudad de México, y se seleccionaron 82 que presentaban condiciones favorables para utilizarlos como puntos para recarga. De éstos, se eligió en primer término el pozo San Luis 15 para un programa inmediato de experimentación.

#### Pozo de recarga San Luis 15

Se seleccionó el pozo San Luis 15 para realizar la recarga experimental al acuífero, debido a las siguientes características: (1) por encontrarse cercano a la planta de tratamiento de San Luis Tlaxialtemalco; (2) porque actualmente no se utiliza para agua potable y (3) por encontrarse lejano de otros pozos de agua potable, evitando de esta manera, el riesgo de una posible contaminación directa al efectuar la recarga.

El agua seleccionada para la recarga corresponde al efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de San Luis Tlaxialtemalco, dado que ésta cuenta con tratamiento a nivel terciario.

### Características

El pozo San Luis 15 se localiza en la porción sur de la zona urbana del Distrito Federal, junto al poblado de San Gregorio Atlapulco y a 4 km al oeste de la planta de San Luis Tlaxialtemalco (véase ilustración 3). Su nivel estático se encuentra a 30.06 m de profundidad y el nivel dinámico a 30.77 m. Tiene una profundidad total de 64 m y fue perforado con una máquina de percusión a una profundidad total de 66.85 m. Está ademado con tubería ciega hasta los 18 m de profundidad en un diámetro de 18 pulgadas; el resto del pozo se encuentra libre de tubería de ademe. Este pozo fue perforado en 1958 y en el aforo efectuado en esa época se midió un nivel estático de 16.8 m, un nivel dinámico a los 17.10 m con caudal de extracción de 100 l/s y un rendimiento específico de 333 l/s por metro de abatimiento. Dicho pozo se encuentra al pie de la sierra del Chichinautzin, la cual está constituida por materiales volcánicos, basálticos, entre los que predominan los derrames lávicos asociados con piroclásticos, que varían desde cenizas hasta escorias de gran tamaño.

El corte litológico de este pozo indica que en los primeros 9 m se encontraron fragmentos de material basáltico empacados en arcilla y de los 9 a los 66.85 m, basaltos, que varían en compacidad o forma de presentación. Los materiales basálticos que constituyen esta zona tienen un gran número de fracturas que le imprimen una alta permeabilidad, lo cual es notorio al observar los rendimientos específicos de los pozos que se encuentran en esta área.

La velocidad del agua en este tipo de materiales es difícil de cuantificar. La transmisibilidad es alta

### 3. Plano de localización





y el gradiente hidráulico muy bajo. Por ello, el agua tiene facilidad para circular rápidamente, pero el bajo gradiente ocasiona que ésta se encuentre casi estática. Considerando un espesor de basaltos de 150 m, un gradiente hidráulico de 0.015, una transmisibilidad de 0.05 m<sup>2</sup>/s y una permeabilidad de 0.0033 m/s, se obtiene que la velocidad de circulación del agua subterránea es de 4.3 m/día.

#### Calidad del agua de recarga

Se programa utilizar agua tratada proveniente de la planta de San Luis Tlaxialtemalco, cuyas normas establecidas para el efluente se presentan en el cuadro 1.

#### Caudal de inyección

Debido a que el pozo San Luis 15 se encuentra atravesando materiales basálticos de alta permeabilidad, puede permitir la infiltración de un caudal alto de agua. En la primera etapa del proyecto, se inyectará un caudal de 75 l/s que corresponde al gasto de operación actual de la planta de tratamiento. En el futuro se estudiará la conveniencia de incrementar dicho caudal.

#### Adaptación del pozo de recarga

Para la recarga a través del pozo San Luis 15, se vertirá el agua por gravedad desde la superficie y se harán mediciones piezométricas, de caudal y de calidad del agua. De acuerdo con las experiencias de recarga artificial que se realizan en la planta Fred Herbey de El Paso, EUA, es conveniente disponer el agua de recarga por medio de un tubo abajo del nivel estático, para evitar la aereación que provoca taponamiento del pozo. Tomando en cuenta lo anterior y el diámetro actual del pozo, se consideró que la forma más apropiada consistía en colocar tres tuberías de inyección de 4 pulgadas de diámetro cada una (véase ilustración 4), para permitir una recarga unitaria (por cada tubo de 4 pulgadas) cercana a los 25 l/s. Además, se tiene la ventaja de que para caudales menores se utilizan sólo una o dos tuberías, según se requiera.

La adaptación realizada consistió en la colocación de una válvula de 10 pulgadas de diámetro que se conecta por medio de una brida a la conducción proveniente de la planta de San Luis Tlaxialtemalco. La válvula mencionada tiene tres salidas de 4 pulgadas que conectan con un codo de tubería de PVC de 4 pulgadas de diámetro y 32 m de longitud, colocada dentro del pozo.

### 1. Normas de calidad del efluente de la planta de tratamiento de San Luis Tlaxialtemalco

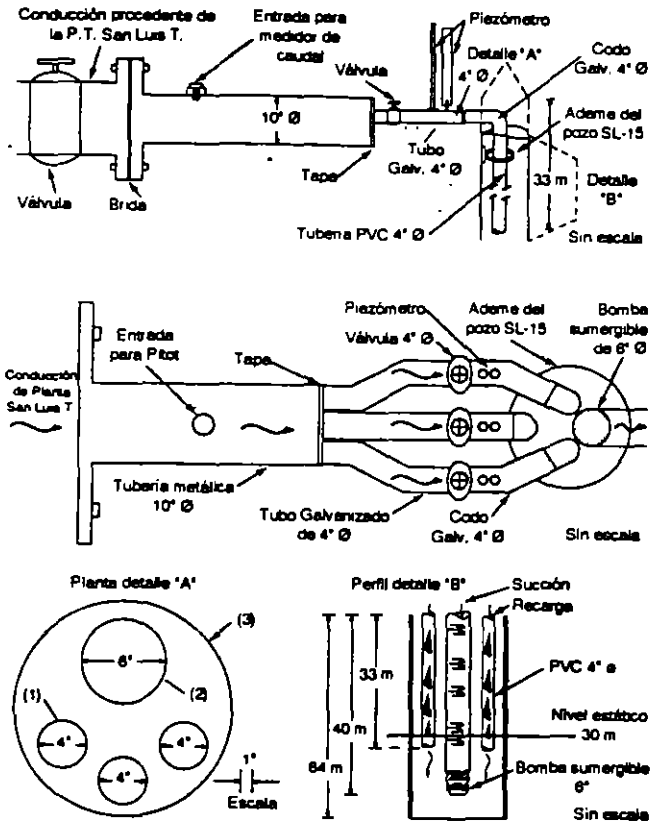
Parámetro	Norma del efluente
<b>Físicos</b>	
pH	6.5
Color	60
Conductividad (mmhos/cm)	200
Sólidos totales	3000.0
S.T.F.	1500.0
S.T.V.	1000.0
S.D.I.	500.0
S.D.F.	1000.0
S.D.V.	500.0
S.S.I.	500.0
S.S.F.	500.0
S.S.V.	15.0
Sólidos sedimentales (mV)	1.0
<b>Químicos orgánicos</b>	
Alcalinidad total	500.0
Alcalinidad a la fenolftaleína	10.0
Carbonatos	10.0
<b>Dureza total</b>	
Bicarbonatos	10.0
Cloruros	500.0
Nitrógeno amoniacal	5.0
Nitrógeno total	10.0
Fósforo total	50.0
<b>Fosfatos totales</b>	
Boro	2.0
<b>Químicos orgánicos</b>	
D.B.O. soluble	20.0
D.Q.O. soluble	40.0
Grasas y aceites	50.0
S.A.A.M.	1.0
<b>Biológicos</b>	
Coliformes totales col/100 ml	4000.0
<b>Metales</b>	
Calcio soluble	150.0
Magnesio soluble	100.0
Sodio soluble	100.0
Potasio soluble	150.0
Calcio total	150.0
Magnesio total	100.0
Sodio total	100.0
Potasio total	150.0
Hierro soluble	0.05
Manganeso soluble	0.05
Plomo soluble	0.05
Cadmio soluble	0.01
Mercurio soluble	1.5 E-4
Arsénico soluble	1.7 E-4
Cromo soluble	0.5
Hierro total	0.30
Manganeso total	0.05
Plomo total	0.05
Cadmio total	0.01
Mercurio total	1.5 E-4
Arsénico total	1.75 E-4
Cromo total	0.05

Concentraciones en mg/l, excepto cuando se indican S.A.A.M. y pH en unidades

#### Infraestructura para el monitoreo

Junto al pozo anterior, se perforaron tres pozos cuyo objetivo es contar con sitios "aguas abajo" del flujo subterráneo del pozo de recarga, a través de los cuales se puedan obtener muestras de agua.

4. Adaptación del pozo SL-15 para recarga



del acuífero, así como medir la posición y posibles fluctuaciones del nivel piezométrico al efectuar la recarga artificial.

Colmatación por la recarga

Uno de los problemas que se presenta durante la recarga artificial es la colmatación o taponamiento del pozo y de su entorno, producido por la acumulación de sólidos finos, y reacciones químicas. Para conocer el grado de colmatación en diferentes medios y bajo diferentes recargas y, determinar técnicas de limpieza y eliminación del taponamiento, paralelamente a los trabajos de recarga se construyeron módulos a escala para experimentación de la colmatación.

Conclusiones

- Las características geológicas y geohidrológicas del acuífero de la ciudad de México permiten su recarga.
- Los volúmenes susceptibles de ser utilizados para la recarga corresponden a las aguas residuales renovadas provenientes de plantas de tratamiento.
- Se visitaron todos los pozos cancelados o fuera de operación de los cuales se encontraron 82

como sitios posible de ser incorporados a un programa de recarga. De ellos, se seleccionó el pozo San Luis 15, para un programa inicial a nivel experimental.

- El pozo San Luis 15 fue seleccionado para recarga por: (1) encontrarse cercano a la planta de tratamiento de San Luis Tlaxiátemalco; (2) porque actualmente no se utiliza para agua potable y (3) por encontrarse lejano de otros pozos de agua potable.
- El agua para recarga proviene de la planta de San Luis Tlaxiátemalco, la cual se trata a nivel terciario y cumple con las normas para inyección.
- El Pozo San Luis 15 puede permitir una recarga de 75 l/s que corresponde al gasto de operación actual de la planta.
- La recarga es por gravedad y se dispone mediante tuberías abajo del nivel estático para disminuir la colmatación.
- Se encuentran tres pozos de monitoreo junto al pozo San Luis 15, los cuales se muestrean y analizan periódicamente.
- Se están realizando experimentaciones a escala para definir el grado de colmatación o taponamiento de los pozos durante la recarga, bajo diferentes gastos de inyección y en diferentes litologías.

Referencias

Aller, Linda et al. *Handbook of suggested practices for the design and installation of ground-water monitoring wells*, National Water Well Association, 398 pp., 1989.

DDF. *Proyecto de demostración de recarga de aguas residuales tratadas*, elaborado por PLANIMEX, Ingenieros Consultores, S. A. para la DGCOH, 1982.

DDF. *Construcción y operación de un módulo experimental de recarga artificial en la zona de San Luis Tlaxiátemalco*, elaborado por Lesser y Asociados, S. A. para la DGCOH, 1989.

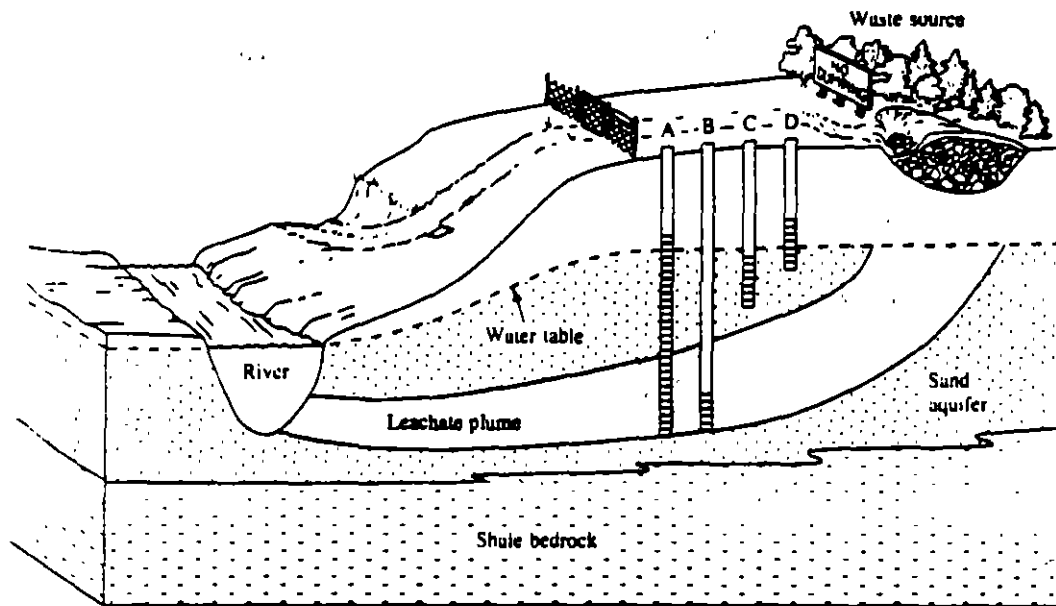
FAO. *Recarga de acuíferos. Apoyo de emergencia a la zona lacustre de Xochimilco-Tláhuac*, elaborado por el Ing. Juan Manuel Lesser, 1988.

Kerr, Robert S. *An introduction to the technology of subsurface wastewater injection*, US Environmental Protection Technology Series, 345 pp., 1981.

PettyJohn, Wayne A. *Introduction to artificial ground-water recharge*, NWWA/EPA Series. 44 pp., 1981.

Scalf, Marion R. et al. *Manual of ground-water sampling procedures*, NWWA/EPA Series. 93 pp., 1981.

United Nations. *Ground-water storage and artificial recharge*, Natural resources/Water Series No. 2, 269 pp., 1975.



**FIGURE 8.7** Effect of monitoring well—screen length on water-quality sampling. Monitoring well A is screened through the thickness of the aquifer. It intersects the plume of leachate but the reported concentration will be less than the actual concentration as water is withdrawn from both contaminated and uncontaminated parts of the aquifer. Piezometer B is also screened to intersect the plume of leachate. Reported concentration will be representative of the leachate. Piezometer C and water table monitoring D don't intersect the plume, indicating that it is deep in the aquifer.

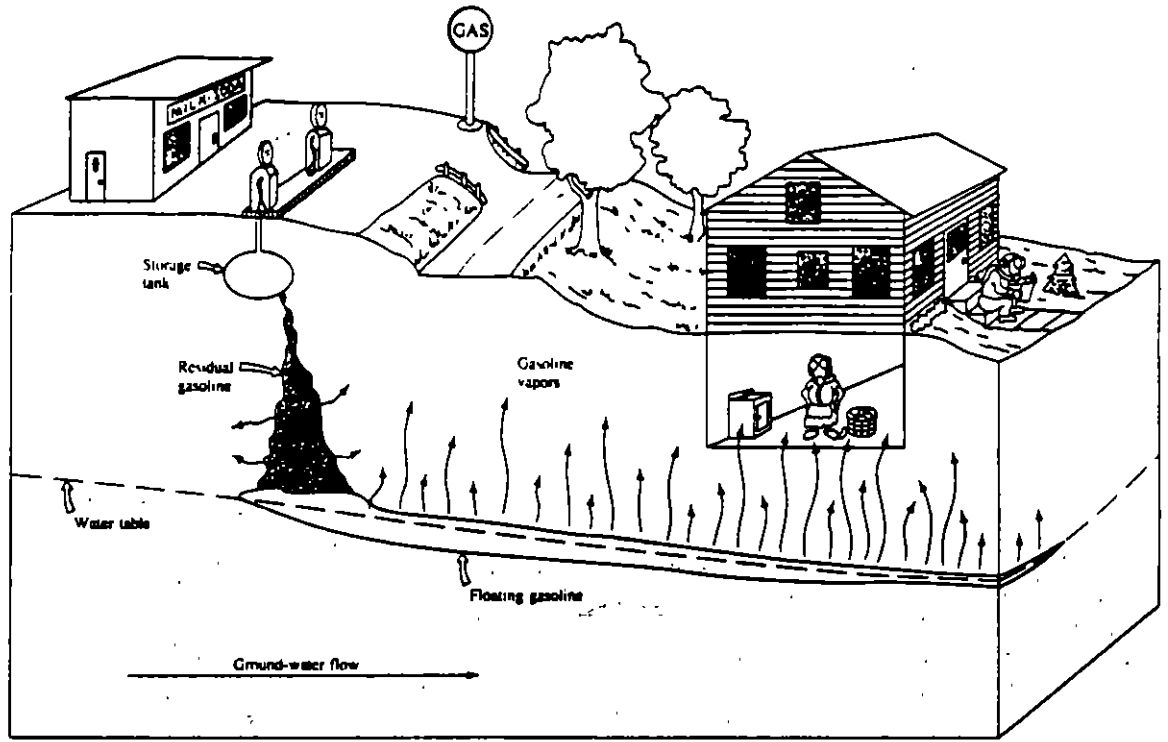


FIGURE 9.23 Release of organic vapors in vadose zone from residual saturation and floating product.

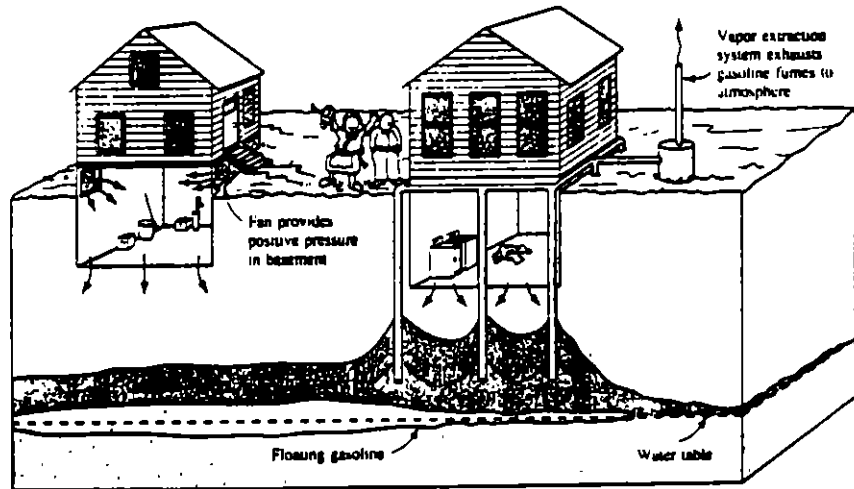


FIGURE 4.26 Control of organic vapors in the vadose zone. Source: Modified from M. J. O'Conner, J. O. Agar and R. D. King, *Proceedings of Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water: Prevention, Detection and Restoration*, 1984, pp. 319-33. National Water Well Association. Used with permission.

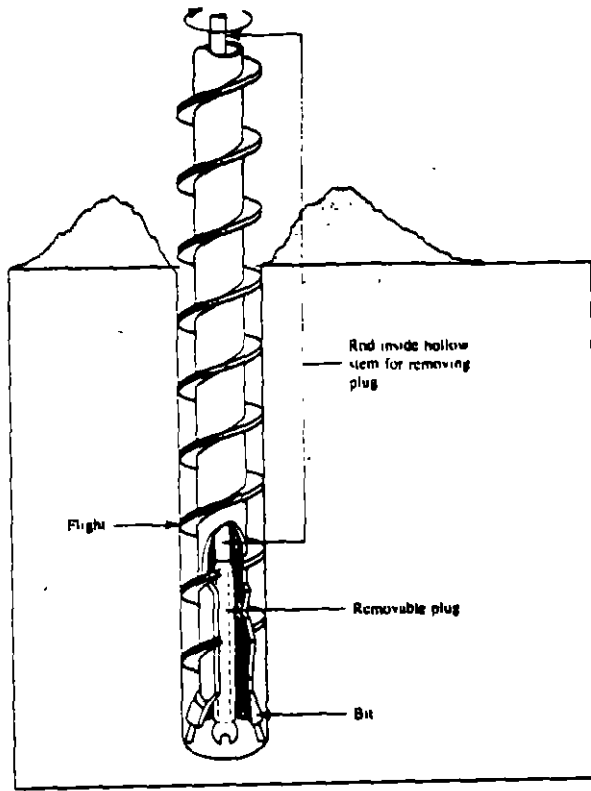


FIGURE 8.9 Hollow-stem auger drill rod and bit. Source: M. L. Scott et al. *Manual of Ground Water Sampling Procedures*, 1981. National Water Well Association. Used with permission.

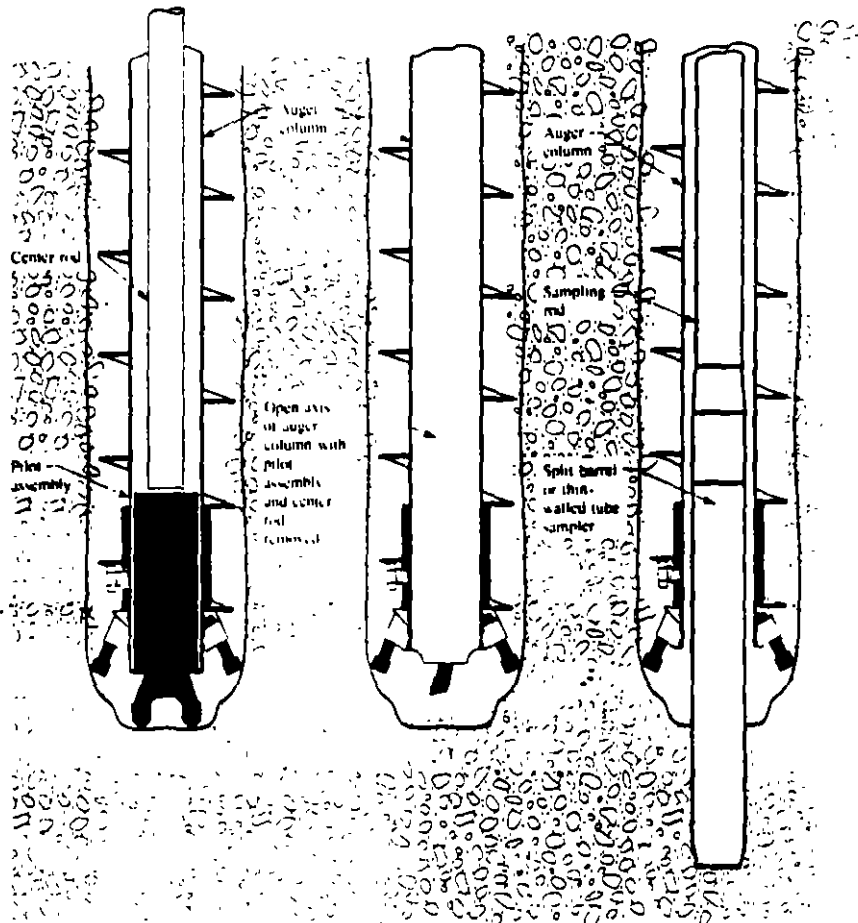


FIGURE 8.13 Sequential steps for the collection of a core sample through a hollow-stem auger. Source: Glen Hackett, *Ground Water Monitoring Review* 7, no. 4 (1987):51-62. Used with permission. Copyright © 1987 Water Well Journal Publishing Co.

# CALIDAD AMBIENTAL

Elemento Esencial Para el Desarrollo Sostenible

ISSN: 1405

## Saneamiento de Acuíferos Contaminados por Hidrocarburos

La Importancia de los Medios Masivos de Comunicación en la Conservación

Los efectos de la Contaminación Ambiental sobre la Flora y la Fauna

Sobrepoblación y Medio Ambiente



ITESN

# Saneamiento de Acuíferos Contaminados por Hidrocarburos

Por Juan Manuel Lesser Iñades  
Administrador  
Lesser y Asociados, S.A. de C.V.

## Resumen

El hidrocarburo (HC) infiltrado al subsuelo puede encontrarse en 4 formas: líquido de menor densidad que el agua y flotando sobre el nivel freático o estático; volátil en la zona no saturada; disuelto en agua y; líquido de mayor densidad que el agua, el cual puede encontrarse absorbido por el material del medio o sedimentado en la base del acuífero. Los métodos apropiados para el saneamiento del subsuelo contaminado por HC, dependen de varios aspectos. Entre ellos, la fase en que el HC se encuentre, su distribución y las características del subsuelo. El saneamiento del subsuelo puede iniciarse con la extracción del HC líquido y el volátil, lo cual permite disminuir el grado de contaminación y de riesgo por explosividad. Como segundo paso se puede considerar la limpieza del suelo y acuífero contaminados, los cuales tienen una mayor complejidad.

Para la extracción inicial de los productos líquido y volátil, el diseño y operación es "relativamente" sencillo. La remediación o saneamiento total del suelo y acuífero incluye técnicas complejas, de alto costo y largo tiempo de ejecución. Existen diversos métodos, destacando entre ellos la extracción del contaminante y la biodegradación. La extracción por bombeo del producto líquido es común, el cual se extrae junto con agua del acuífero; una vez en la superficie el producto es almacenado en tanques y el agua extraída es tratada a fin de eliminar los compuestos volátiles que contenga.

Los componentes volátiles pueden extraerse a través de pozos y, una vez en la superficie, pueden ser incorporados a la atmósfera, incinerados o capturados mediante filtros de carbón activado.

## Introducción

El hidrocarburo (HC) infiltrado al subsuelo puede encontrarse en varias formas tales como: (1) líquido de menor densidad que el agua y flotando sobre el nivel freático o estático; (2) volátiles en la zona no saturada; (3) disuelto en agua y; (4) líquido de mayor densidad que el agua, el cual puede encontrarse absorbido por las partículas del suelo o sedimentado en la base del acuífero. Una vez conocida su presencia en el subsuelo, (en extensión, concentración, tipo de hidrocarburos y forma en que se encuentra), junto con el conocimiento de la geología y geohidrología del lugar, se pueden establecer las políticas de saneamiento.

El o los métodos más apropiados para el saneamiento de un subsuelo contaminado por HC, depende de varios aspectos. Entre ellos, la forma en que el HC se encuentre, su distribución y las características del subsuelo.

Se puede dividir el saneamiento en 2 partes. La primera considera la extracción inicial del HC líquido y volátil, lo cual permite disminuir el grado de contaminación y de riesgo. La segunda parte se puede denominar la "limpieza total", del suelo y acuífero, la cual incluye técnicas completas de alto costo y largo tiempo de ejecución.

## Métodos de Saneamiento

Los principales métodos para el saneamiento del subsuelo y acuífero por hidrocarburos son: (1) extracción del HC líquido y volátil; (2) biodegradación in situ.

### Extracción de HC líquido y volátil

Una vez delimitada la zona invadida por HC y cuantificada su concentración, se procede a extraerlo. El producto líquido es bombeado a través de pozos. Este puede ser extraído junto con el agua del acuífero y una vez en la superficie, es separado. En otros casos, el HC líquido que se encuentra en una capa flotando sobre el agua, de donde puede ser extraído mediante bombas especiales. Para formarse un cono de abatimiento, cuya pendiente facilita el movimiento de la capa de HC que flota sobre el nivel estático, hacia el pozo. El HC y agua extraídos son procesados en la superficie. (Figura 1)

La extracción de volátiles se puede realizar a través de pozos ubicados en la zona no saturada, donde se colocan extractores de aire. Pueden perforarse pozos para inyección de aire, que "empujan" al volátil hacia su salida. La remoción de volátiles al inicio de la extracción es alta y va disminuyendo con el tiempo.

### Biodegradación INSITU

Un método para el saneamiento de zonas afectadas por hidrocarburos es la biodegradación. Consiste en utilizar las bacterias que existen en todo suelo y que se alimentan de HC y oxígeno, formando bióxido de carbono y agua. Para acelerar este proceso, se pueden añadir nutrientes que aceleren la acción bacteriana, principalmente oxígeno, el cual se inyecta como gas o mediante agua. Debido al proceso de biodegradación mencionado, una zona invadida por hidrocarburos se caracteriza también por ausencia de oxígeno y abundancia de bióxido de carbono, parámetros que pueden medirse durante el saneamiento para determinar el grado de limpieza alcanzado.

Sistema Integral Saneamiento de Hidrocarburos (HC)

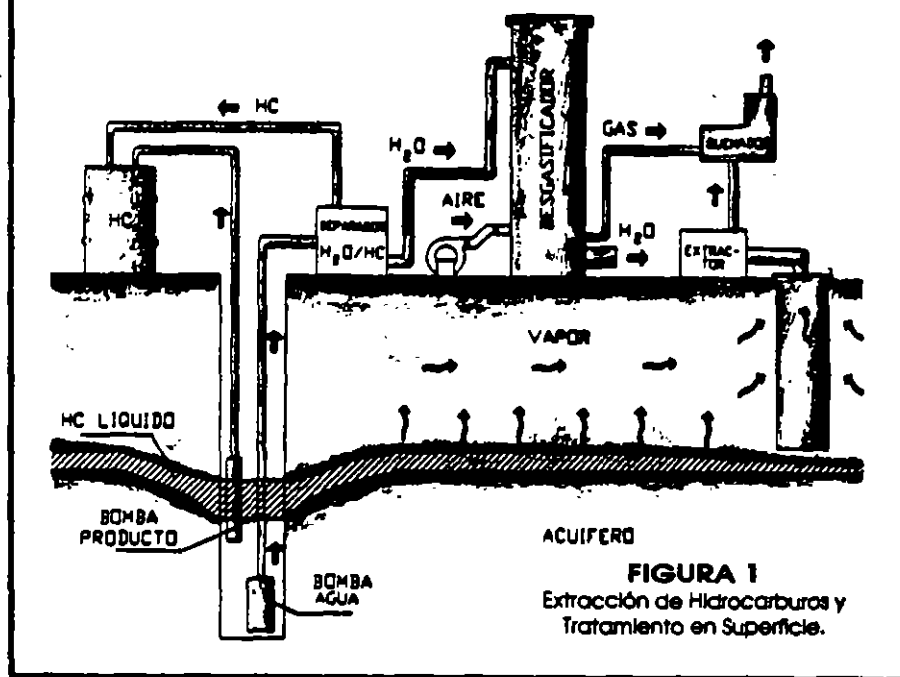


FIGURA 1  
Extracción de Hidrocarburos y Tratamiento en Superficie.

### Equipos usuales para el saneamiento

Con el objeto de ilustrar tanto la forma en que se encuentra el HC en el subsuelo, así como las técnicas más comunes para su extracción o saneamiento, a continuación se describen varios productos comunes en el mercado:

En la figura No. 2 se incluye el sistema de ORS Environmental Equipment, para la extracción y tratamiento de producto líquido y volátiles. En esta figura, se observa la presencia de un acuífero somero que es contaminado por fugas de un tanque de gasolina. El producto líquido se encuentra flotando sobre el nivel freático. También existen volátiles entre la superficie del terreno y el nivel freático. La extracción del hidrocarburo líquido se realiza mediante un sistema de bombas para la extracción, tanto del producto (HC líquido) como del agua. El producto es almacenado en un tanque y el agua es pasada por una torre desgasificadora. El gas obtenido es tratado por oxidación catalítica o incinerado. En la misma figura, se ilustra la inyección de agua y nutrientes al subsuelo, lo que provoca biodegradación, además de "empujar" al producto hacia el pozo.

Cuenta también con un sistema de extracción de volátiles, los que son conducidos a la planta de tratamiento de gases.

En la figura No. 3 se muestra un esquema del sistema SENECA para la extracción y tratamiento del producto líquido y volátil del subsuelo. En dicha figura se ilustran pozos de extracción, tanto de volátiles como de producto líquido. Por lo que respecta al producto líquido, este es extraído por un sistema múltiple de pozos y conducido a un tanque. Posteriormente pasa por un tanque de separación agua/producto. El agua obtenida es conducida a través de un desgasificador, en el que, por medio de un soplador, se produce un burbujeo que permite la separación del volátil del agua.

### Conclusiones

El HC en el subsuelo y acuífero puede encontrarse en forma líquida, volátil o disuelta en agua. El saneamiento puede consistir en la extracción del HC (líquido o volátil), la cual puede realizarse a través de pozos.



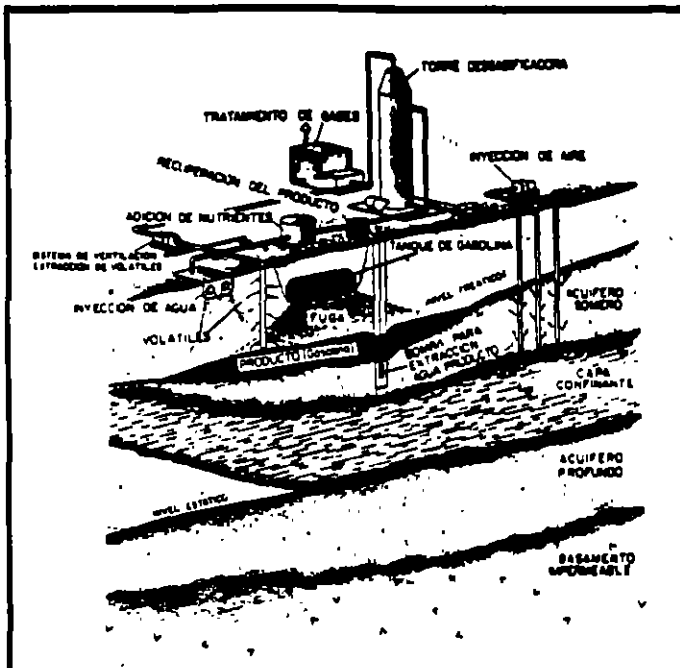


FIGURA 2

Sistema ORS/Environmental Equipment para extracción y tratamiento de producto líquido y volátil

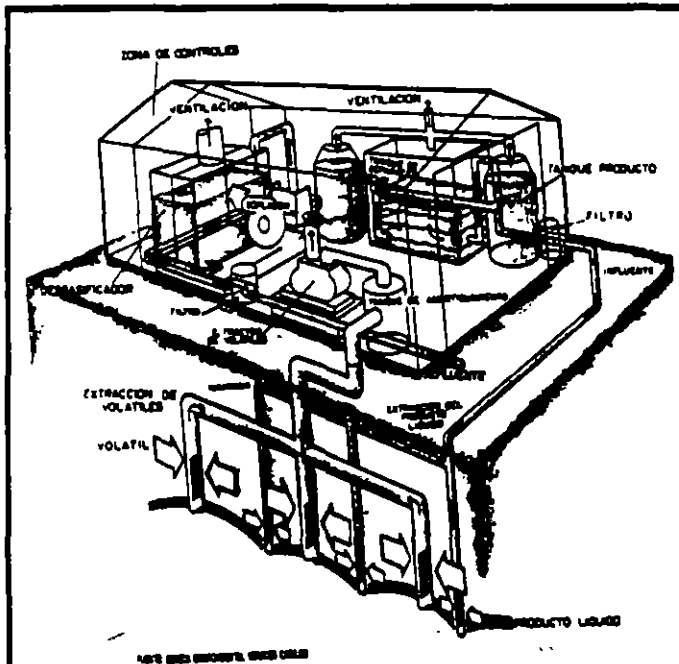


FIGURA 3

Sistema Seneca para la extracción y tratamiento de producto líquido y volátil

La biodegradación in situ es un método eficaz para la remoción de HC hasta niveles bajos, tanto en suelo como en el acuífero. Los principios en que se basa el saneamiento es aplicado en forma comercial por un gran número de compañías productoras de equipo.

Referencias

CALABRESE, E.J. AND P.T. KOSTECKI. 1989. Petroleum Contaminated Soils. Volume 2. Remediation Techniques Environmental Fate Risk Assessment Analytical Methodologies. Lewis Publishers, Inc. 515 p.

CANTER L.W. AND R.C. KNOX. 1988. Ground Water Pollution Control. Lewis Publishers Inc. 526

HAYES, D., & C. HEBNEY AND S. M. TESTA. 1989. A Practical Approach to Shallow Petroleum Hydrocarbon Recovery.

KOSTECKI, P.T. AND E.J. CALABRESE. 1989. Petroleum Contaminated Soils. Volume 1. Lewis Publishers. 357 p.

KOSTECKI, P.T. AND E.J. CALABRESE. 1991. Hydrocarbon Contaminated Soils and Groundwater. Lewis Publishers. 354p.

KOSTECKI, P.T. AND E.J. CALABRESE. 1992. Contaminated Soils. Diesel Fuel Contamination. Lewis Publishers. 227 p.

LESSER Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V. 1990. Proyecto Experimental para Detección de Fugas de Tanques Almacenadores de Gasolinas. DDF-DGCOH

LESSER, J. M. 1991. Contaminación de Acuíferos por Fugas de Tanques Almacenadores de Gasolinas. Curso sobre Tecnología de Punta en Contaminación de Acuíferos. Inter-Lesser-CFE.

LESSER Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V. 1992. Detección de Zonas Contaminadas por Fugas de Tanques Almacenadores de Gasolinas DDF-DGCOH

LESSER Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V. 1993. Evaluación de Riesgos y Diagnóstico para el Saneamiento de la Colonia Moderna Oriente de Guadalajara, Jal. CNA.

LYMAN, W.S., P.S. REDDY AND S. LEVY. 1992. Mobility and Degradation of Organic Contaminants in Subsurface Environments. C. K. Smoley, Inc. 395 p.

NYER, E.K. 1993. Practical Techniques for Groundwater and Soil Remediation. Lewis Publishers 214 p.

INSER-ROBERTS, E. 1992. Bioremediation of Petroleum Contaminated Sites. C.K. Smoley, Inc. 264 p.

NWWA. 1991. Volatiles Organic Compound Cleanups: An Anthology.

NWWA. 1991. Ground Water and Soil Venting.

ROY F. WASTON, INC. 1988. Remedial Technologies for Leaking Underground Storage Tanks. Lewis Publishers. 216 p.

# actualidades ambientales

## Continúa el debate de la gasolina que se quema limpiamente

Actualidades Ambientales. Tomado de Environmental News Briefing. Fuente: Environmental News Briefing Inc.

Los críticos de una gasolina que se quema más limpiamente utilizada para reducir la contaminación del aire sostuvieron una conferencia acerca de si un aditivo en la gasolina está provocando que la gente se enferme. Un toxicólogo italiano, Cesare Mattoni, discutió un estudio que utilizó ratones, y dijo que mostraba que el MTBE era un carcinógeno importante. Mattoni cuestionó que las pruebas involucraron la inyección de dosis extremadamente altas durante períodos prolongados de tiempo. Robert Tarant, un consumidor de ciencias de la salud para la industria de los combustibles oxigenados, dijo que el estudio no era relevante para la gente que tenía sus tanques de gasolina donde la exposición es de 250,000 a 8 millones de veces menor que la de las pruebas con animales. La EPA emitió un comunicado diciendo que el MTBE ha sido probado ampliamente y como reduce muchos contaminantes del aire de las emisiones de los escapes que ponen en peligro la salud, contiene beneficios ambientales considerables. Contacte a la EPA (202) 260-4378.

# ¿Adónde Irán los Residuos Industriales Peligrosos?

**E**n México, de 6.2 millones de toneladas de residuos industriales peligrosos producidos anualmente, sólo 10 por ciento es depositado en los dos únicos confinamientos autorizados a la fecha, en Mina, Nuevo León, y en Las Víboras, Sonora.

La Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (Semarnap) ha dado a conocer que en 1996 México contará con 30 confinamientos de residuos peligrosos, entre ellos uno situado en Guadalupe, San Luis Potosí.

Este último, mejor conocido como La Pedrera, era una estación de transferencia que fue clausurada en 1991 por el manejo inadecuado de la basura tóxica. Se calcula que en el sitio abandonado hay más de 20 mil toneladas sin tratamiento.

La empresa Metaloid Corporation, con 50 años de experiencia en California, adquirió la estación y operará el confinamiento a través de sus subsidiarias Ecosistemas del Potosí y Química Omega.

Este proyecto requerirá de una inversión de 22 millones de dólares en el diseño de un confinamiento con tecnología de punta. Tal cifra incluye los costos de los estudios de impacto ambiental hechos en la zona por requerimiento legal, más

otros adicionales realizados a petición de la población aledaña y los grupos ecologistas, cuyas protestas mantienen en suspenso la construcción.

Los estudios fueron avalados por los institutos de Ingeniería y Geología de la UNAM, la Comisión Nacional del Agua (CNA), el Colegio de Ingenieros Civiles, la Secretaría de Salud (SSA) y la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas (CNSNS).

Estos dictámenes técnicos coinciden en que además de cumplir con la normatividad ambiental, el confinamiento reúne los requisitos para su construcción y garantiza que su operación no ofrece riesgos para la salud de la población. En breve, la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa) emitirá la resolución definitiva.

De ser rechazado el proyecto, seguirá pendiente el establecimiento de un confinamiento, aseguran los voceros de las empresas involucradas, ya que la planta industrial de San Luis Potosí produce mensualmente cuatro mil toneladas de residuos peligrosos. Un porcentaje mínimo se confina y el resto permanece expuesto a cielo abierto en diversos tiraderos clandestinos, con secuelas contaminantes en el aire y los mantos acuíferos.

Guadalupe, solicitaron que no se levante la clausura de La Pedrera ni se revoque la autorización otorgada para operar el confinamiento, y se obligue a los responsables a limpiar el lugar y trasladar los desechos abandonados a un confinamiento fuera de la región.

Exponen que el informe de auditoría ambiental está inconcluso, sus estudios son parciales y, en consecuencia, sería irresponsable dar por concluido el proceso jurídico de autorización y permitir la operación del confinamiento por 25 años.

Especialistas del lugar han atribuido nacimientos con malformaciones a la toxicidad de los residuos peligrosos depositados en La Pedrera

### Condiciones Técnicas Favorables

De acuerdo con los estudios de impacto ambiental, las características físicas del sitio son adecuadas para la realización del proyecto, por escasa precipitación y alta evapotranspiración. Los análisis anticipan que no existe acuífero local en atuvión y se comprueba porque los 12 sondeos eléctricos verticales y los cinco pozos perforados no detectaron la presencia de agua.

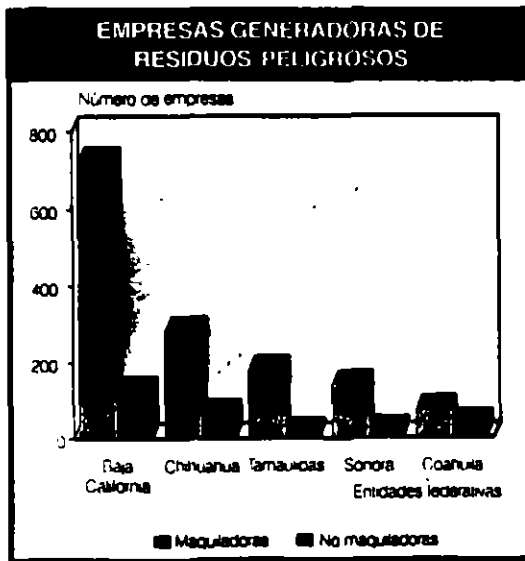
La CNSNS llevó a cabo un proceso de verificación de seis etapas para detectar los niveles de radiación existentes en la zona. El estudio mostró que las tres celdas, pozos y lixivados del lugar, están dentro del intervalo de valores de fondo radiactivo natural obtenido en los alrededores del confinamiento. Además, el nivel de radiación natural medido en varios puntos del centro de la ciudad de San Luis Potosí, resultó tres veces más alto que el registrado en las celdas de confinamiento.

Los mismos estudios exponen que el confinamiento de La Pedrera presenta un bajo riesgo de contaminación de agua aprovechable, además que la zona tiene capacidad para atenuar la contaminación por su gran espesor, reducida permeabilidad vertical y predominio de materiales arcillosos. El relleno constituye una barrera natural muy efectiva para retener materiales pesados, microorganismos y compuestos orgánicos.

### Argumentos Ecologistas

Un grupo de expertos convocados por Greenpeace analizó los resultados de la auditoría ambiental presentada y encontró múltiples violaciones a la mayoría de las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana relativa a la selección del sitio para construir un confinamiento controlado de desechos peligrosos, así como evidencias de riesgos de contaminación atmosférica, al suelo y las aguas superficiales y profundas.

En una carta entregada a la titular de la Semarnap, Juliá Carabias, organizaciones ecologistas y de derechos humanos, así como representantes ejidales y comunales de



CORRESPONSAL TEORAMA

**Investigar, Solicitud a la  
Comisión de Cooperación Ambiental**

# Mueren Aves en la Presa de Silva

**P**or la contaminación del agua, unas 40 mil aves migratorias y nativas murieron entre noviembre de 1994 y enero de 1995 en la Presa de Silva, en el estado mexicano de Guanajuato.

Sin una explicación suficiente por parte del gobierno mexicano, una coalición integrada por la National Audubon Society, el Grupo de los Cien y el Centro Mexicano de Derecho Ambiental presentó a la Comisión de Cooperación Ambiental (CCA) del Tratado de Libre Comercio (TLC) la primera petición formal de un grupo ciudadano para proceder a investigar las causas del deceso.

La Presa de Silva es ocupada como fuente abastecedora de agua para tierras de riego contiguas. Algunas poblaciones aledañas extraen el líquido para uso doméstico. El agua almacenada, como su entorno natural, constituían un punto de atracción para que miles de aves procedentes de Canadá y Estados Unidos acudieran a procrearse en determinadas temporadas.

Algunas versiones atribuyen al endosulfan, contenido en algunos pesticidas, la causa del ecocidio, debido a su aplicación común en la región, pese a las restricciones en su uso, sus características como compuesto no biodegradable y la susceptibilidad de las aves a su acción.

Otras estiman que una mezcla de agroquímicos, desechos industriales y aguas negras arrojadas durante años por fábricas situadas en el estado, pudo ser la causa. La presa se abastece de los caudales de los ríos Santiago y Turbio y forma parte de la cuenca del Lerma-Santiago, afectada por diversidad de contaminantes arrojados por empresas particulares y paraestatales.

La Comisión Nacional del Agua encontró en la presa, además de endosulfan, metales pesados como



chromo y plomo, así como arsénico, materia fecal y salmonella.

Por la incoherencia que ello representa, los empresarios de la ciudad de León, Guanajuato—considerada un emporio zapatero, con por lo menos 600 tenerías que a la fecha carecen de sistemas de tratamiento del agua utilizada—, no han podido trasladarse a corredores industriales con tecnologías de protección ambiental.

La presentación de la denuncia de hechos de la coalición de ambientalistas llama la atención sobre el urgente requerimiento en México de los recursos y la cooperación de las naciones suscriptoras del TLC.

"Las aves migratorias son un recurso compartido de los países de Norteamérica", estimó Kathleen Rogers, consejera de la National Audubon Society al considerar que el incidente de la presa es el tipo de casos que debe atender la Comisión de Cooperación Ambiental.

A su vez, la CCA informó el 9 de junio que revisa la solicitud enviada, aunque el director ejecutivo del secretariado de esta comisión, Victor Lichtinger, admitió que "las aves

migratorias son una cuestión transfronteriza importante, y ciertamente está dentro de nuestro ámbito de estudio".

No obstante, aclaró que el secretariado no ha decidido aún si preparará un informe, el cual de ser elaborado sólo podrá limitarse a la causa de la muerte de aves acuáticas migratorias.

Por su parte, la secretaria de

Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Julia Carabias, aseguró el 10 de junio que el gobierno federal no rehúye su responsabilidad y distintos organismos trabajan en la detección de causas. Mientras tanto, el gobierno local, con limitados recursos, prosigue sus programas de atención al problema. **T**

CORRESPONSAL TEOREMA

**SEEDS**

**SPEDAG, S. A. DE C.V.**

**SU EXPERTO EN  
TRANSPORTES MUNDIALES**

**SERVICIOS :**

- Aéreos / Marítimos / Terrestres
- Importaciones / Exportaciones
- Despachos Aduanales

**Con gusto le atenderemos: Llámenos**

**COLIMA 114 DESP. 301 COL. ROMA C.P. 06700 MEXICO D.F.  
TELE: (5) 207 5279, 514 6097, 825 2442 FAX: 208 3259**

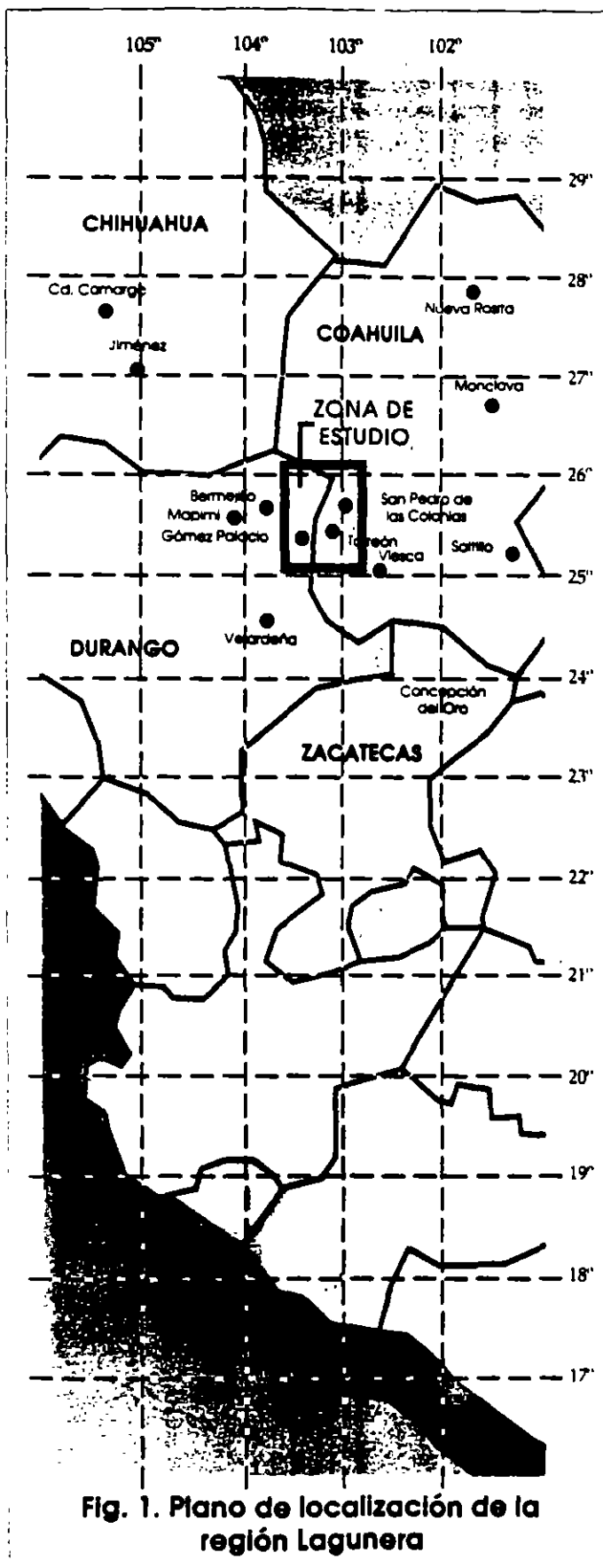


Fig. 1. Plano de localización de la región Lagunera

# El Problema de Hidroarsenicismo en la Región Lagunera

Por: Miguel Enriquez Sánchez/Guillermo García  
Investigadores del Instituto Tecnológico Agropecuario, Durango, Dgo.

La región Lagunera se localiza en la parte suroeste del estado de Coahuila y noreste del estado de Durango (Fig. 1). Cuenta con una extensión territorial de 54,967.5 km<sup>2</sup>, conformada por un área montañosa y una superficie plana donde se ubican los predios agrícolas y pecuarios, así como los centros de población urbana, estimándose para 1992 un total de 1'260,063 habitantes (INEGI, Censo, de Población 1990).

En los últimos treinta años se ha destacado una contaminación significativa por arsénico en los acuíferos de esta región en concentraciones muy superiores a los límites establecidos para consumo humano, desconociéndose en la actualidad el origen y distribución de las fuentes de arsénico.

Estudios epidemiológicos han registrado una relación directa de la ingesta crónica del arsénico disuelto en el agua (Hidroarsenicismo) con la magnitud en el incremento de las tasas de mortalidad debidas principalmente a enfermedades cardiovasculares y cáncer, ésta última atribuible directamente al hidroarsenicismo crónico endémico que afecta aproximadamente a 300,000 habitantes de esta región (Maeda, 1992).

La importancia de este problema desde el punto de vista social, técnico y económico se deriva de la naturaleza tóxica del arsénico, particularmente por ser un elemento carcinogénico, problema que se magnifica por el creciente interés de su explotación en la industria metalúrgica y electrónica (Romana, et al., 1988).

## Aspectos Generales del Arsénico

El arsénico (As) representa proporcionalmente el 5(10)% de la corteza terrestre en concentraciones promedio de 5 partes por millón (ppm), es el onceavo elemento más abundante en compuestos naturales, siendo un constituyente de aproximadamente 300 minerales. Las concentraciones más elevadas de As se encuentran, por lo general, en suelos que presentan



enriquecimiento de este contaminante o en suelos tratados con arsenicales (Onishi, 1969).

Las concentraciones de As en suelos vírgenes pueden variar de 0.1 a 40 ppm y en promedio de 5 a 6 ppm (1ppm= 1mg/L). En los suelos sulfurosos las concentraciones de As varían de 100 a 800 ppm, pudiendo estar presente en forma inorgánica (aniónica) o en minerales sulfurosos ni intemperizados (Coulbourn y Thornton, 1975).

Por otra parte, el contenido de As en aguas naturales depende de la zona en que se encuentre. Las más altas concentraciones se han hallado en aguas subterráneas (0.08-22.0 ppb) y en aguas próximas a minas con depósitos de sulfuros polimetálicos (0.01-300 ppm) (Onishi, 1969).

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 1990), establece como nivel máximo permisible 0.05 mg/L de As como contaminante del agua potable. Normalmente los niveles de As en agua potable son muy inferiores a 0.05 mg/L, sin embargo, se han reportado casos contables de hidroarsenicismo en Alaska, Taiwán, Argentina, Chile y México.

Es importante señalar que durante las últimas dos décadas se han almacenado grandes cantidades de metales (Mercurio y Plomo) y metaloides (como el As) en los sedimentos acuáticos. Además, cuando el As soluble se libera, se adhiere y se combina en medio acuoso en forma de arsenatos de calcio, magnesio y sodio. Este último compuesto representa un peligro

potencial, pues bajo condiciones reductoras, se transforma a arsenito de sodio, el cual, es sumamente tóxico para el ser humano, ya que su dosis letal media es de 10 a 50 mg/kg.

Lo anterior da lugar a un bioacumulo rápido a lo largo de la cadena alimentaria, como biotoxicidad y larga vida biológica que pueden implicar un riesgo para la salud y la estabilidad del ecosistema (D'itri, 1992.)

### Arsénico en los Vegetales

La Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos de América (NAS, 1977) establece que las concentraciones naturales de As en el reino vegetal varían entre 0.01 y 5.0 ppm. La variación entre las distintas especies vegetales, depende de la disponibilidad del As y de las condiciones de crecimiento de las plantas, así, por ejemplo, el frijol resulta dañado con 9.0 ppm, el arroz a 7.0 ppm, la alfalfa y la cebada no muestran daños por concentraciones mayores de 6.0 ppm.

Aunque aún no se ha logrado demostrar la esencialidad del As en los vegetales, se considera que en pequeñas cantidades puede estimular el crecimiento vegetal, diversos reportes indican que una adición de 55Kg/ha. de As es benéfica para el crecimiento de chicharos, rábanos, trigo y papa. Maíz, sorgo, soya y algodón mostraron incrementos en su producción cuando se añadieron 500 ppm de As como arsenato de calcio (Gutiérrez, 1979).

El Servicio de Salud

Pública en los Estados Unidos de América establece 2.6 ppm como límite permisible de As en los vegetales comestibles.

Se estima que las partes comestibles son las que generalmente acumulan los niveles más bajos de As y que las altas concentraciones se localizan en la raíz, niveles intermedios en las estructuras reproductivas (Wagner et al., 1979).

El efecto tóxico en animales y humanos se produce cuando se aplican productos arsenicales a los cultivos y se consume directamente las partes comestibles contaminadas.



## Toxicología de los Arsenicales inorgánicos

Las formas inorgánicas arsenicales son más tóxicas que las orgánicas. Estos compuestos han mostrado efectos oncogénicos positivos, basados en suficientes evidencias humanas de carácter epidemiológico. Son mutagénicos, pueden ser potencialmente teratogénicos y fetotóxicos.

### SINTOMAS

Los síntomas posteriores a una ingestión oral continua, incluyen severos daños gastro-intestinales produciendo vómito y diarrea, así como un colapso vascular general que culmina en shock, coma y muerte. También pueden existir síntomas como calambres musculares, edemas faciales y reacciones cardio-vasculares.

(Stracht, et al. 1986 y 1987).

### El Hidroarsenicismo en la región Lagunera

El problema del hidro-

arsenicismo en la región Lagunera data desde 1955. se atribuye a la pérdida del equilibrio de los mantos acuíferos a consecuencia de una grave sequía que azotó la región entre los años de 1952 a 1958 (Maeda, 1992)

En 1963 se registra el primer estudio epidemiológico que demostró el impacto sobre la salud humana debido a la ingesta crónica del arsénico disuelto en el agua en los acuíferos de la región.

Estadísticas de la SARH (1987) revelan que en cuatro pozos muestreados ubicados en los municipios de San Pedro, Fco. I. Madero y Matamoros, del estado de Coahuila y el de Tlahuallio en el estado de Durango, se detectaron concentraciones desde 0.08 hasta 0.38 ppm, las cuales, superan notablemente el nivel máximo permisible establecido por la OMS que es de 0.05 ppm.

Montemayor (1988) cita informes del sector salud en los que se atribuye que el hidroarsenicismo se presenta en forma natural en el subsuelo del antiguo vaso de la Laguna de Mayrán, la cual, abarca los municipios antes mencionados.

Los estudios de mortalidad del mismo sector para el período comprendido en los años de 1970-1974 registraron una mayor frecuencia en las defunciones por cáncer en

la mayoría de los municipios de la región Lagunera; durante 1983-1984 otro estudio reportó una tasa del 56% de arsenicismo y 19 casos de cáncer epidermoide en los municipios de la región contaminados por este elemento, comparados con aquellas localidades que no presentaron problemas significativos de contaminación arsenical.

### Teorías sobre el Origen del Arsénico en la Región Lagunera

Existen diferentes teorías para explicar el origen del arsénico en la región Lagunera.

La primera de ellas, relacionaba los altos contenidos de arsénico con el uso de plaguicidas formulados a base de arsénico, los cuales se aplicaban en las áreas de cultivos agrícolas en los años 40's.

La teoría de la explotación de minerales en la zona de Mapimí, Dgo., fue desechada en virtud de que las concentraciones son bajas y son de origen puntual.

La industria metalúrgica ubicada en Torreón Coah. procesa minerales metálicos que contienen arsénico en diferentes compuestos y cuyos desechos pudieran ser la fuente de contaminación.

Esta teoría no está comprobada ya que la posición geográfica con respecto a la zona de mayor anomalía es opuesta y una contaminación por la vía aérea no es factible.

Otra teoría es la sobreexplotación del acuífero, suponiéndose que al extraer agua de

mayor profundidad está más contaminada de As. Esta teoría no se considera como válida ya que las áreas de mayor sobreexplotación del acuífero, no son las de mayor contaminación arsenical.

Desde el punto de vista de la geología de la región, las teorías indican que el hidroarsenicismo pudo haberse originado debido a que el agua subterránea estuvo en contacto por un período de tiempo bastante prolongado con los diferentes tipos de roca y cuerpos volcánicos intrusivos, a partir de los cuales el agua pudo haber adquirido elementos tóxicos como As, Pb. y Zn.

El más reciente estudio es el realizado por Enriquez (1993) los objetivos fueron identificar la fuente principal de contaminación arsenical, determinar la variabilidad especial del hidroarsenicismo en la región y analizar la situación de la acumulación del contaminante en el sistema suelo-planta-producto.

Según los resultados de los análisis físico-químicos de 96 pozos profundos, se detectaron tres áreas con altas concentraciones de As (Fig. 1).

En el área de San Pedro y Fco. I. Madero, Coah., y Tlahuallio, Durango, las fuentes principales de arsénico son la composición basáltica de las rocas sedimentarias que contienen hasta 20 ppm. en forma de arsenatos, los cuales, al estar en contacto con las aguas subterráneas provocan la contaminación con As de estas aguas. Otra posible fuente de contaminación es la industria, cuya actividad principal es la producción de sal y que se encuentra en la misma dirección del flujo del agua

de recarga.

En el área de Mapimí y Bermejillo, Dgo., la sierra de Mapimí contiene minerales con arsénico en forma de arsenatos, como la mapimita, la escorodita y la conicalcita, los cuales son susceptibles de contaminar al agua subterránea. Se considera que la principal fuente de As está relacionada con la operación de las plantas extractoras de minerales y de lavado de metales, desconociéndose la cantidad y el destino de las aguas residuales de este proceso.

En el caso del área de Matamoros y Viesca, Coah., las fuentes principales de As se ubican puntualmente y son las aguas subterráneas con altas concentraciones salinas, en el acuífero de la cuenca endorreica de las ex-lagunas de Mayrán y Viesca; debidas posiblemente a las actividades de producción industrial de sal. También de ese estudio, los resultados de la acumulación de As en el suelo, en la planta y la leche, revelan que para los suelos de las tres áreas se excede significativamente el nivel máximo permisible de 0.006 mg/L (6ug/g), lo que representa un enriquecimiento por As de los suelos del área.

La concentración de As en el cultivo se encuentra muy por debajo de los límites establecidos (0.045 mg/g), siendo el valor más alto de 0.012 mg/g), por lo que dichas cifras no representan ningún riesgo de toxicidad.

Con respecto al producto (leche), los resultados obtenidos indican concentraciones que varían de  $1.6(10)^{-4}$  a  $0.2(10)^{-6}$  mg/g, los cuales, comparados con el nivel máximo

permisible de  $4(10)^{-5}$  mg/g, se considera que no existe riesgo actual para la salud humana al consumir dicho producto.

Las conclusiones del estudio indican que los factores que están influyendo directamente en la calidad del agua en la región, particularmente el aporte de As, son la geología del subsuelo como factor natural y el drenaje de minas como factor humano de carácter puntual.

La variación del hidroarsenicismo en la región Lagunera, se debe en todos los casos al movimiento del agua subterránea como respuesta inmediata a los gradientes de los niveles piezométricos, generada por las altas densidades de pozos en operación en cada una de las áreas.

La principal fuente de afección a la salud humana por contaminación arsenical en la región Lagunera es la ingesta directa y crónica del agua subterránea.

### Alternativas de Relación del Arsénico de Aguas Contaminadas

Las posibles soluciones al problema del hidroarsenicismo se complican en virtud de la gran cantidad de compuestos arsenicales (aproximadamente 300), que se pueden formar como resultado de las múltiples valencias del arsénico.

Sin embargo, Pontius (1990) presenta una relación de eficiencias de los procesos convencionales para el tratamiento del agua y señala que los procesos más efectivos para remover el arsénico

en estado de oxidación triviales o pentavalente, son los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como, intercambio iónico y los procesos de absorción, incluyendo también los procesos de membrana (ósmosis inversa).

### Referencias:

Colbourn, G. & I. Thomson. 1978. Arsenic and heavy metals in soils associated with regional geochemical anomalies in south-west England. *Sci. Environ.* 4:359-363.

D'Elia, M.F. 1992. El ciclo del mercurio y otros metales pesados en ambientes lacustres. *Ingeniería Hidráulica en México* Vol. VII No. 2.3. Época. Mayo-Diciembre p:75-86.

Enríquez, S.M. 1993. Variabilidad Especial del Hidroarsenicismo en la Región Lagunera. *Dissertación Doctoral*. ITESM, División de Graduados e Investigación, Programa de Graduados en Agric. Monterrey, 221 p.

Gutiérrez de la Rosa, T. 1979. Comparamiento del Arsénico en Productos Agropecuarios. SARH. Representación en Región Lagunera, Coah.- Dgo. México p:11

Maeda, V.L. 1992. El hidroarsenicismo crónico regional. Un estudio descriptivo. Consejo Civico Depto. de Ecología, R. Ayto de Torreón, Coah. México p:11

Montemayor, T.J.A. 1988. Diagnóstico del hidroarsenicismo del acuífero de la Región Lagunera. Tesis M.C. U.A.A.N. Saltillo, Coah. p:77-29

National Academy of Sciences (NAS). 1977. Medical and biological effects of environmental pollutants Arsenic. Washington, D.C.

Onishi, P.H. 1969. Arsenic. *Handbook of Geochemistry*. Ed. By Wedepohl, K.H. Springer-Verlag, Vol. 11 (1) 33.

Pontius, W.F. 1990. Water Quality and Treatment. A Handbook of Community Water Supplies. American Water Works Association. 4ta. edición, Ed. McGraw-Hill.

Ramano, G.E., L.H. James y B.P. Queneau. 1968. Arsenic Metallurgy Fundamentals and Applications. Univ. of Nevada. Reno. p 515.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1987. Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geográficos en la Región Lagunera de Coahuila-Durango. Elaborado por Técnicas Modernas, S.A.

Sratch, D.Y., Shing, H.T. y J.P. McGowan. 1968. Carcinogenic potential of arsenic compounds in drinking water. United States Environmental Protection Agency (USEPA). EPA/600/31-86/003 Junio 1968.

Sratch, D.Y., Shing, H.T. y J.P. McGowan. 1987. Carcinogenic effects of arsenic compounds in drinking water. United States Environmental Protection Agency (USEPA). EPA/600/31-87/007 Nov. 1987.

Wagner, S.L., J.S. Malner, W.E. Morton y R.S. Braman. 1979. Skin cancer and arsenical intoxication from well water. *Arch. Dermatol.* 115: 1205-1207. ●

## ACTUALIDADES AMBIENTALES

### GREEN SEAL CERTIFICA EL ACEITE USADO

Green Seal, el grupo sin fines de lucro que establece normas para los productos seguros para el medio ambiente, agregó el "aceite para motor refinado" o reciclado a sus categorías de productos elegibles para la certificación. La primera compañía que obtuvo el Green Seal para sus productos petroleros fue la Safety-Kleen Corp., de Elgin, Ill. La compañía puede ahora adjuntar el sello a 22 de sus aceites lubricantes para motor.

Actualización Ambiental / febrero de 1994 / Fuente: USA TODAY Update / Fuente: USA TODAY Green Seal National Information Network

# Recarga artificial de agua residual tratada al acuífero del valle de México

Dirección General de Construcción y Operación  
Hidráulica-Secretaría General de Obras-DDF  
Lesser y Asociados, S. A. de C. V.

*Una de las acciones del Programa de Uso Eficiente del Agua consiste en la recarga artificial al acuífero de la ciudad de México, lo que puede ofrecer beneficios considerables. Sin embargo, existen interrogantes sobre algunos de los efectos que pueda tener dicha recarga, por lo que se determinó que era indispensable llevar a cabo estudios que ayudaran a establecer un proyecto a gran escala. Bajo esta óptica, se formularon los lineamientos para un programa general de recarga al acuífero del valle de México mediante la experimentación en varios pozos, cuyos resultados iniciales se presentan en este trabajo.*

La ciudad de México requiere de grandes volúmenes de agua, que actualmente se obtienen tanto de pozos dentro de la ciudad misma, como importando agua de cuencas externas. Los pozos que explotan agua del subsuelo, extraen en conjunto volúmenes tales que sobrepasan la recarga natural del acuífero, lo que ocasiona una explotación reflejada en el abatimiento de los niveles del agua, los cuales alcanzan valores máximos en algunos sitios del orden de 3 metros por año. Los requerimientos de agua para la ciudad han obligado a continuar esta explotación.

Los abatimientos de los niveles del acuífero provocan la compactación de las arcillas y el hundimiento del terreno, lo que a su vez origina diversos problemas, principalmente en el drenaje ciudadano. En la actualidad, los asentamientos del terreno tienen un valor medio de 10 cm anuales, aunque existen valores extremos de 40 centímetros.

Paradójicamente a la explotación del acuífero, el sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de México no ha operado a su máxima capacidad en virtud de que el número de usuarios de este recurso tradicionalmente no ha sido importante. El reúso es una opción para resolver la problemática del abastecimiento de agua potable y representa un paso importante en la optimización del aprovechamiento de los recursos hidráulicos. A

su vez, la recarga artificial de acuíferos con aguas renovadas representa uno de los alcances más significativos de cualquier programa de reúso, ya que su finalidad es la de preservar los recursos acuíferos.

Por lo anterior, se ha deducido que la recarga artificial del acuífero mencionado presenta grandes beneficios, ya que, por una parte, se podrían atenuar los asentamientos del terreno y con ello, proteger en forma local o regional las obras hidráulicas de la superficie, como drenajes y un gran número de cimentaciones de obras civiles. Por otro lado, sería factible controlar el flujo subterráneo y, entre otras cosas, formar barreras. A la vez, se podría utilizar el acuífero como una zona de almacenamiento de agua para su uso futuro. Sin embargo, existen interrogantes sobre algunos de los efectos que podría causar la recarga y el riesgo potencial de afectar de manera importante e irreversiblemente la calidad del agua subterránea, por lo que se consideró indispensable llevar a cabo estudios que generaran la información necesaria para instrumentar un proyecto a gran escala. Tales estudios deben contemplar todos aquellos factores determinantes en los procesos que afectan la composición físico-química y bacteriológica, tanto del agua de recarga como de la almacenada en el acuífero, a fin de contar con elementos de análisis para evaluar el



impacto que tendría un proyecto de este tipo en la disponibilidad de agua potable en un acuífero sujeto a la recarga.

### Geología

La ciudad de México se emplaza dentro de una antigua cuenca lacustre cerrada en la que actualmente el drenaje se lleva a cabo de manera artificial hacia el norte. Los materiales que constituyen el subsuelo del valle corresponden a depósitos de aluviones y sedimentos lacustres cuaternarios. Los primeros provenían de las laderas y fueron transportados hacia el centro del valle por corrientes fluviales. Por su parte, los sedimentos lacustres en general sobreyacen a los aluviones y también se interdigitan con ellos a profundidad. En los flancos del valle limitándolo, básicamente hacia el poniente, sur y oriente, se encuentran elevaciones topográficas constituidas por rocas volcánicas que en su mayor parte se comportan como permeables. En las estribaciones de la sierra de las Cruces se encuentra una serie de antiguos depósitos volcánicos y fluviales conocida como Formación Tarango, que produce las lomas del poniente y está constituida primordialmente por arenas, conglomerados, cenizas volcánicas, piroclásticos y aglomerados de mediana a baja permeabilidad. Los materiales volcánicos, en especial las lavas y piroclásticos de tipo basáltico, forman la parte sur del valle y hacia sus estribaciones se encuentran interdigitados con los materiales aluviales y lacustres.

### Geohidrología

Las rocas que constituyen el subsuelo del valle de

México pueden agruparse en tres tipos de acuerdo con sus características o capacidad para permitir la infiltración, circulación y almacenamiento del agua subterránea: arcillas lacustres, rellenos aluviales, basaltos y piroclásticos (véanse ilustraciones 1 y 2).

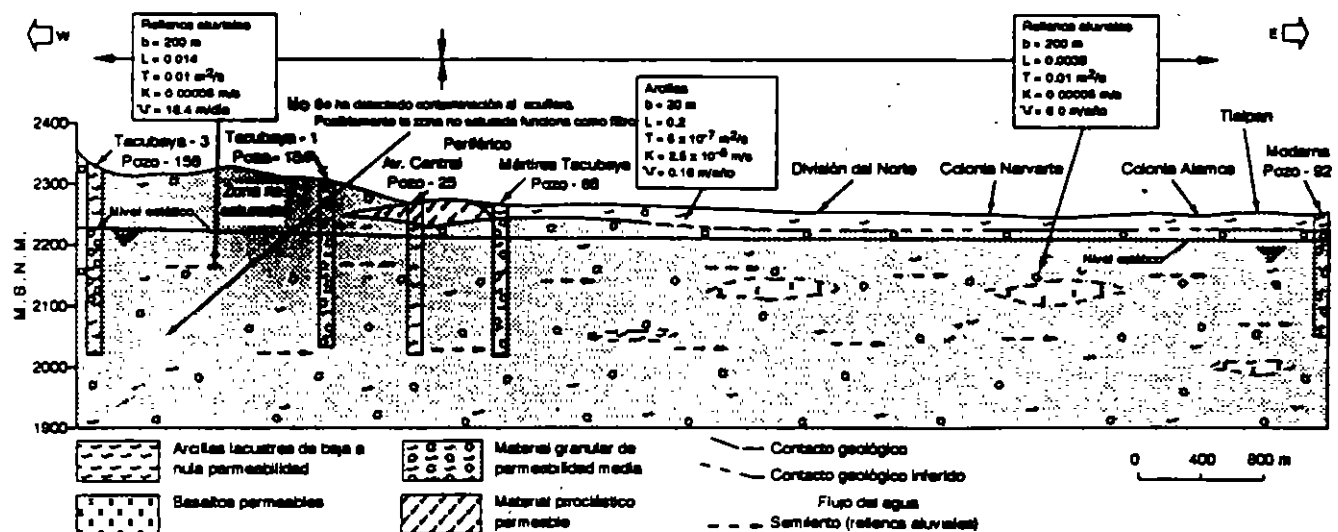
#### Arcillas lacustres

El primer grupo está formado por arcillas lacustres que cubren la mayor parte del valle. Corresponden a sedimentos finos de permeabilidad reducida, originados por los antiguos lagos del valle de México y tienen espesores que varían de 15 a 60 m. Estudios de mecánica de suelos han identificado, dentro de este grupo, a dos horizontes de arcillas denominadas Formación Arcillosa Superior y Formación Arcillosa Inferior, a las cuales las divide un horizonte arenoso denominado capa dura. Geohidrologicamente este grupo se clasifica como acuitardo. Se encuentra saturado, descansa sobre materiales granulares permeables hacia donde se drena. La pérdida de agua del acuitardo produce la compactación de las arcillas, lo cual es la causa de los hundimientos del terreno. Existen también grietas que se han formado en las arcillas, a través de las cuales se infiltra agua al acuífero a partir de la superficie.

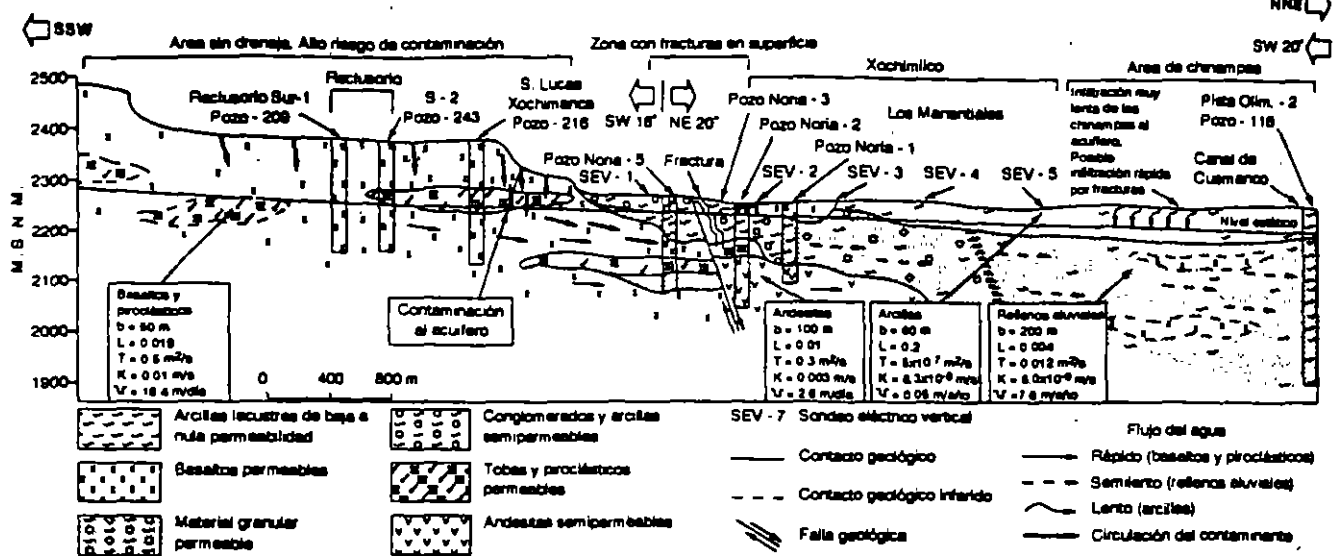
#### Rellenos aluviales

Las rocas o materiales del segundo grupo corresponden a los rellenos aluviales (gravas, arenas y arcillas). Subyacen a las arcillas lacustres y forman la mayor parte del acuífero de la ciudad; dentro de estos materiales se llegan a encontrar cuerpos tabulares de derrames lávicos de composición basáltica. Tienen

#### 1. Sección hidrogeológica (Nápoles)



2. Sección hidrogeológica (Xochimilco)



una transmisibilidad que varía de 0.001 a 0.012 m<sup>2</sup>/s; la velocidad del flujo de agua subterránea es de 2.5 a 39.4 m/año.

Basaltos y piroclásticos

El tercer grupo de materiales corresponde a basaltos y piroclásticos, los cuales tienen una alta permeabilidad y permiten el libre flujo del agua a través de ellos. Se encuentran generalmente en las elevaciones topográficas que constituyen las sierras del Chichinautzin y Santa Catarina, y en ocasiones, se prolongan en el subsuelo interdigitados con los aluviones. Su transmisibilidad es de 0.5 m<sup>2</sup>/s. La velocidad del flujo subterráneo, que varía de 2.3 a 16.4 m/día, depende de la transmisibilidad y del gradiente hidráulico (el cual en ciertos lugares es muy reducido).

Secciones

La sección de la ilustración 1 muestra la geología y geohidrología de la zona central de la ciudad de México. La mayor parte del subsuelo se encuentra constituido por materiales aluviales como arenas, arcillas y gravas, en ocasiones incluyendo tobas; en general, se considera que presentan una permeabilidad media. Llegan a incluir horizontes de materiales piroclásticos y derrames lávicos de composición tanto basáltica como andesítica.

Cubriendo a la mayor parte de la sección y con un espesor aparentemente de 20 m, se encuentra una capa de materiales arcillosos originados por el antiguo lago de México. Estas arcillas presentan de reducida a nula permeabilidad.

En la ilustración 2 se muestra la composición del sur de la ciudad de México. Corresponde a la estratificación de la sierra del Chichinautzin, la que está compuesta por basaltos y materiales piroclásticos de alta permeabilidad, en los que la infiltración es tan alta que prácticamente no existe escorrentía superficial. Los pozos perforados en este tipo de rocas han alcanzado más de 200 m de profundidad. Geológicamente se considera que el espesor de los basaltos en la sierra puede alcanzar varios cientos de metros.

En la zona del valle se encuentran materiales granulares entre los que predominan los finos hacia la superficie; éstos corresponden a arcillas lacustres producto de la sedimentación en el antiguo lago de Xochimilco. Las arcillas tienen un espesor de hasta 60 m y se encuentran cubriendo a los materiales granulares; corresponden a arenas, arcillas y gravas que presentan una permeabilidad media. A la altura del pozo Noria 5, se detectó en la superficie una fractura que podría corresponder a una falla, inferida también por la variación litológica tan notable que presentan los pozos Noria 5 y Noria 2. Estas fracturas o fallas podrían corresponder a zonas de flujo preferente de agua subterránea. En la parte central de la sección, a la altura de los pozos mencionados, se encuentran rocas andesíticas constituyendo parte del subsuelo. Estos materiales se consideran de una permeabilidad media.

Requerimientos para la recarga

La recarga artificial al acuífero de la ciudad de México puede presentar condiciones favorables para la disminución de la subsidencia del terreno; para el

control del flujo subterráneo; para un mejor manejo del acuífero y para el almacenamiento de agua para uso futuro, con lo que a largo plazo se podría reducir la importación de agua de cuencas externas. Para efectuar la recarga es necesario que se cumplan las dos condiciones siguientes:

- Existencia de sitios y zonas permeables que permitan la infiltración de agua al acuífero. Dichos puntos se pueden alcanzar por medio de pozos, estanques y galerías filtrantes, aunque estos dos últimos requieren de una gran superficie de terreno. Conviene anotar que las condiciones geológicas de la cuenca impiden la infiltración del agua a partir de la superficie prácticamente en toda la zona del antiguo lago, por lo que ésta sólo se puede realizar en los flancos de las sierras. Por su parte, los pozos sí son un medio adecuado, ya que permiten la recarga al acuífero a través de ellos y no requieren de gran extensión de terreno.
- Existencia de volúmenes de agua susceptibles de utilizarse para la recarga. Los volúmenes disponibles en la ciudad de México, corresponden a las aguas residuales renovadas provenientes de plantas de tratamiento distribuidas prácticamente en toda la ciudad, que se deben someter a un tratamiento adicional para que alcancen la calidad deseable para recarga. Otra posible fuente sería el agua de lluvia.

### Sitios seleccionados para la recarga

Se visitaron todos los pozos cancelados o fuera de operación ubicados en la ciudad de México, y se seleccionaron 82 que presentaban condiciones favorables para utilizarlos como puntos para recarga. De éstos, se eligió en primer término el pozo San Luis 15 para un programa inmediato de experimentación.

#### Pozo de recarga San Luis 15

Se seleccionó el pozo San Luis 15 para realizar la recarga experimental al acuífero, debido a las siguientes características: (1) por encontrarse cercano a la planta de tratamiento de San Luis Tlaxialtemalco; (2) porque actualmente no se utiliza para agua potable y (3) por encontrarse lejano de otros pozos de agua potable, evitando de esta manera, el riesgo de una posible contaminación directa al efectuar la recarga.

El agua seleccionada para la recarga corresponde al efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de San Luis Tlaxialtemalco, dado que ésta cuenta con tratamiento a nivel terciario.

### Características

El pozo San Luis 15 se localiza en la porción sur de la zona urbana del Distrito Federal, junto al poblado de San Gregorio Atlapulco y a 4 km al oeste de la planta de San Luis Tlaxialtemalco (véase ilustración 3). Su nivel estático se encuentra a 30.06 m de profundidad y el nivel dinámico a 30.77 m. Tiene una profundidad total de 64 m y fue perforado con una máquina de percusión a una profundidad total de 66.85 m. Está adomado con tubería ciega hasta los 18 m de profundidad en un diámetro de 18 pulgadas; el resto del pozo se encuentra libre de tubería de adome. Este pozo fue perforado en 1958 y en el aloro efectuado en esa época se midió un nivel estático de 16.8 m, un nivel dinámico a los 17.10 m con caudal de extracción de 100 l/s y un rendimiento específico de 333 l/s por metro de abatimiento. Dicho pozo se encuentra al pie de la sierra del Chichinautzin, la cual está constituida por materiales volcánicos, basálticos, entre los que predominan los derrames lávicos asociados con piroclásticos, que varían desde cenizas hasta escorias de gran tamaño.

El corte litológico de este pozo indica que en los primeros 9 m se encontraron fragmentos de material basáltico empacados en arcilla y de los 9 a los 66.85 m, basaltos, que varían en compacidad o forma de presentación. Los materiales basálticos que constituyen esta zona tienen un gran número de fracturas que le imprimen una alta permeabilidad, lo cual es notorio al observar los rendimientos específicos de los pozos que se encuentran en esta área.

La velocidad del agua en este tipo de materiales es difícil de cuantificar. La transmisibilidad es alta

### 3. Plano de localización



y el gradiente hidráulico muy bajo. Por ello, el agua tiene facilidad para circular rápidamente, pero el bajo gradiente ocasiona que ésta se encuentre casi estática. Considerando un espesor de basaltos de 150 m, un gradiente hidráulico de 0.015, una transmisibilidad de 0.05 m<sup>2</sup>/s y una permeabilidad de 0.0033 m/s, se obtiene que la velocidad de circulación del agua subterránea es de 4.3 m/día.

#### Calidad del agua de recarga

Se programa utilizar agua tratada proveniente de la planta de San Luis Tlaxiátemalco, cuyas normas establecidas para el efluente se presentan en el cuadro 1.

#### Caudal de inyección

Debido a que el pozo San Luis 15 se encuentra atravesando materiales basálticos de alta permeabilidad, puede permitir la infiltración de un caudal alto de agua. En la primera etapa del proyecto, se inyectará un caudal de 75 l/s que corresponde al gasto de operación actual de la planta de tratamiento. En el futuro se estudiará la conveniencia de incrementar dicho caudal.

#### Adaptación del pozo de recarga

Para la recarga a través del pozo San Luis 15, se vertirá el agua por gravedad desde la superficie y se harán mediciones piezométricas, de caudal y de calidad del agua. De acuerdo con las experiencias de recarga artificial que se realizan en la planta Fred Herbey de El Paso, EUA, es conveniente disponer el agua de recarga por medio de un tubo abajo del nivel estático, para evitar la aereación que provoca taponamiento del pozo. Tomando en cuenta lo anterior y el diámetro actual del pozo, se consideró que la forma más apropiada consistía en colocar tres tuberías de inyección de 4 pulgadas de diámetro cada una (véase ilustración 4), para permitir una recarga unitaria (por cada tubo de 4 pulgadas) cercana a los 25 l/s. Además, se tiene la ventaja de que para caudales menores se utilizan sólo una o dos tuberías, según se requiera.

La adaptación realizada consistió en la colocación de una válvula de 10 pulgadas de diámetro que se conecta por medio de una brida a la conducción proveniente de la planta de San Luis Tlaxiátemalco. La válvula mencionada tiene tres salidas de 4 pulgadas que conectan con un codo de tubería de PVC de 4 pulgadas de diámetro y 32 m de longitud, colocada dentro del pozo.

### 1. Normas de calidad del efluente de la planta de tratamiento de San Luis Tlaxiátemalco

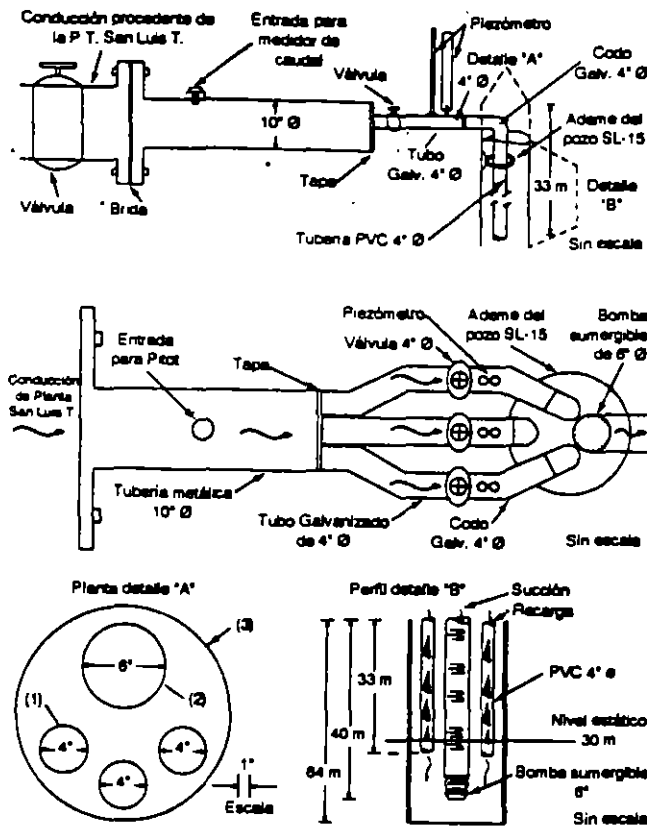
Parámetro	Norma del efluente
<b>Físicos</b>	
pH	6.5
Color	60
Conductividad (mmhos/cm)	200
Sólidos totales	3000
S.T.F.	1500
S.T.V.	1000
S.D.T.	500
S.D.F.	1000
S.D.V.	500
S.S.T.	500
S.S.F.	500
S.S.V.	150
Sólidos sedimentales (m/l)	10
<b>Químicos orgánicos</b>	
Alcalinidad total	500
Alcalinidad a la fenolftaleína	100
Carbonatos	100
<b>Dureza total</b>	
Bicarbonatos	00
Cloruros	500.0
Nitrógeno amoniacal	5.0
Nitrógeno total	10.0
Fósforo total	50.0
<b>Fosfatos totales</b>	
Boro	2.0
<b>Químicos orgánicos</b>	
D.B.D. soluble	20.0
D.Q.D. soluble	40.0
Grasas y aceites	50.0
S.A.A.M.	10
<b>Biológicos</b>	
Coliformes totales col/100 ml	4000
<b>Metales</b>	
Calcio soluble	150.0
Magnesio soluble	100.0
Sodio soluble	100.0
Potasio soluble	150.0
Calcio total	150.0
Magnesio total	100.0
Sodio total	100.0
Potasio total	150.0
Hierro soluble	0.05
Manganeso soluble	0.05
Plomo soluble	0.05
Cadmio soluble	0.01
Mercurio soluble	1.5 E-4
Arsénico soluble	1.7 E-4
Cromo soluble	0.5
Hierro total	0.30
Manganeso total	0.05
Plomo total	0.05
Cadmio total	0.01
Mercurio total	1.5 E-4
Arsénico total	1.75 E-4
Cromo total	0.05

Concentraciones en mg/l, excepto cuando se indican S.A.A.M. y pH en unidades.

#### Infraestructura para el monitoreo

Junto al pozo anterior, se perforaron tres pozos cuyo objetivo es contar con sitios "aguas abajo" del flujo subterráneo del pozo de recarga, a través de los cuales se puedan obtener muestras de agua

4. Adaptación del pozo SL-15 para recarga



del acuífero, así como medir la posición y posibles fluctuaciones del nivel piezométrico al efectuar la recarga artificial:

Colmatación por la recarga

Uno de los problemas que se presenta durante la recarga artificial es la colmatación o taponamiento del pozo y de su entorno, producido por la acumulación de sólidos finos, y reacciones químicas. Para conocer el grado de colmatación en diferentes medios y bajo diferentes recargas y, determinar técnicas de limpieza y eliminación del taponamiento, paralelamente a los trabajos de recarga se construyeron módulos a escala para experimentación de la colmatación.

Conclusiones

- Las características geológicas y geohidrológicas del acuífero de la ciudad de México permiten su recarga.
- Los volúmenes susceptibles de ser utilizados para la recarga corresponden a las aguas residuales renovadas provenientes de plantas de tratamiento.
- Se visitaron todos los pozos cancelados o fuera de operación de los cuales se encontraron 82

como sitios posible de ser incorporados a un programa de recarga. De ellos, se seleccionó el pozo San Luis 15, para un programa inicial a nivel experimental.

- El pozo San Luis 15 fue seleccionado para recarga por: (1) encontrarse cercano a la planta de tratamiento de San Luis Tlaxiátemalco; (2) porque actualmente no se utiliza para agua potable y (3) por encontrarse lejano de otros pozos de agua potable.
- El agua para recarga proviene de la planta de San Luis Tlaxiátemalco, la cual se trata a nivel terciario y cumple con las normas para inyección.
- El Pozo San Luis 15 puede permitir una recarga de 75 l/s que corresponde al gasto de operación actual de la planta.
- La recarga es por gravedad y se dispone mediante tuberías abajo del nivel estático para disminuir la colmatación.
- Se encuentran tres pozos de monitoreo junto al pozo San Luis 15, los cuales se muestrean y analizan periódicamente.
- Se están realizando experimentaciones a escala para definir el grado de colmatación o taponamiento de los pozos durante la recarga, bajo diferentes gastos de inyección y en diferentes litologías.

Referencias

Aller, Linda et al. *Handbook of suggested practices for the design and installation of ground-water monitoring wells*, National Water Well Association, 398 pp., 1989.

DDF. *Proyecto de demostración de recarga de aguas residuales tratadas*, elaborado por PLANIMEX, Ingenieros Consultores, S. A. para la DGCOH, 1982.

DDF. *Construcción y operación de un módulo experimental de recarga artificial en la zona de San Luis Tlaxiátemalco*, elaborado por Lesser y Asociados, S. A. para la DGCOH, 1989.

FAO. *Recarga de acuíferos. Apoyo de emergencia a la zona lacustre de Xochimilco-Tláhuac*, elaborado por el Ing. Juan Manuel Lesser, 1988.

Kerr, Robert S. *An introduction to the technology of subsurface wastewater injection*, US Environmental Protection Technology Series, 345 pp., 1981.

PettyJohn, Wayne A. *Introduction to artificial ground-water recharge*, NWWA/EPA Series. 44 pp., 1981.

Scalf, Marion R. et al. *Manual of ground-water sampling procedures*, NWWA/EPA Series. 93 pp., 1981.

United Nations. *Ground-water storage and artificial recharge*, Natural resources/Water Series No. 2, 269 pp., 1975.

# Hidrogeoquímica del acuífero de la ciudad de México'

Juan Manuel Lesser Illades  
Felipe Sanchez Díaz  
David Gonzalez Posadas

Lesser y Asociados

*El agua que forma el acuífero de la ciudad de México proviene fundamentalmente de la lluvia, parte de la cual se infiltra y circula a través de las rocas, con lo que disuelve las sales existentes e incrementa su contenido salino conforme avanza. La cantidad y el tipo de sales disueltas están en relación directa con el tipo y solubilidad de las rocas con las cuales tiene contacto. En el Valle de México las rocas existentes, volcánicas y sedimentarias continentales y lacustres, proporcionan las sales que se encuentran disueltas en el acuífero. Se efectuó una interpretación hidrogeoquímica de éste, analizando 240 pozos y con información de 30 años. Aunque la concentración salina del agua subterránea es en general baja, con sólidos totales disueltos entre 200 y 400 ppm existen puntos aislados con concentraciones mayores, principalmente al centro de la zona. Con el estudio se ratificaron importantes aspectos geohidrológicos, como la recarga de agua al acuífero en el centro del área metropolitana; se delimitaron zonas con agua incrustante y se analizó la variación de la calidad química del agua en relación con el tiempo.*

## **Análisis químicos**

La información procesada consistió en los análisis químicos de 240 pozos con información de 1984 y 1985, y de otros 100 con análisis anuales de 1955 a 1985, que incluyen las determinaciones de calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonatos, carbonatos, cloruros, sulfatos, conductividad eléctrica, potencial hidrógeno, sólidos totales disueltos, alcalinidad total, fierro, manganeso, cuenta estándar, nitritos, nitratos, flúor, arsénico, cadmio, zinc, cobre, cromo, mercurio, plomo y selenio.

### *Sólidos totales disueltos*

Los sólidos totales disueltos corresponden a la suma de elementos en solución que el agua ha incorporado en su trayectoria.

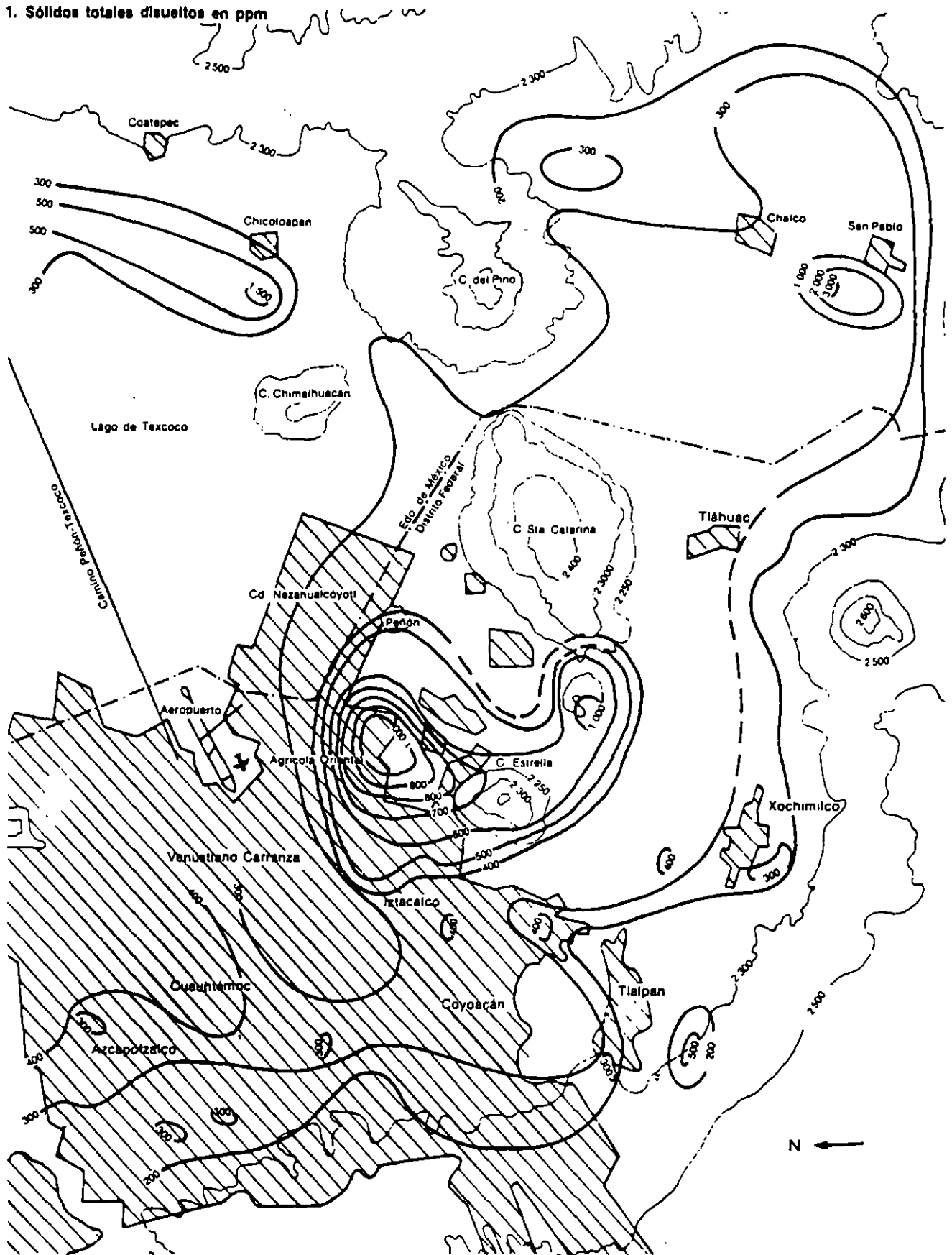
Cuando la lluvia se precipita sobre la corteza terrestre, arrastra una cierta cantidad de partículas que se encuentran suspendidas en la atmósfe-

ra, además de incorporar gases como el bióxido de carbono; por ello el agua contiene una determinada cantidad de sales disueltas, entre las que predominan el sodio y los bicarbonatos en concentraciones bajas. Al entrar en contacto con la superficie terrestre, el agua, que además posee ácido carbónico, disuelve las sales y minerales que forman las rocas, con lo que incrementa su contenido salino, el cual será mayor conforme el agua circule por el subsuelo o permanezca un mayor tiempo en contacto con las rocas; la cantidad y el tipo de elementos disueltos dependerá de la composición y solubilidad de éstas.

En la ilustración 1 se muestra la distribución de los sólidos totales disueltos en el agua subterránea de la ciudad de México, y se observa que los valores más bajos, menores de 200 ppm, se localizan al poniente, al sur y al surponiente del área, zonas que coinciden con las estribaciones de las sierras, lo que indica que estas áreas corresponden a zonas de recarga del acuífero.

El bajo contenido de sales encontrado en las

1. Sólidos totales disueltos en ppm



estribaciones serranas indica, por una parte, que el agua que recarga al acuífero corresponde a la infiltración de la lluvia, y por la otra, que no deben de existir rocas que incluyan minerales o sales de fácil disolución. Además, los materiales lávicos y piroclásticos que forman las estribaciones de las elevaciones topográficas tienen una permeabilidad alta que permite un flujo rápido, lo que impide que el agua tenga suficiente tiempo para incrementar su contenido salino; esto es especialmente visible en la Sierra del Chichinautzin.

El análisis de los datos manejados demuestra que la concentración salina tiende a incrementarse hacia la parte central del área, lo que indica un flujo de agua en la misma dirección; por ejemplo, de las Lomas de Chapultepec hacia los alrededores de Azcapotzalco, este aumento es gradual.

En esta parte central homogénea se encuentra una zona con una composición química con sólidos totales entre 300 y 400 ppm, de donde se deduce que en el subsuelo no existen sales de fácil disolución. Un aspecto importante detectado en la distribución de estos sólidos, es la disminución en la concentración salina entre las delegaciones Benito Juárez y Venustiano Carranza.

Como ya se mencionó, una de las bases de la hidrogeoquímica es que el agua incrementa su contenido salino conforme circula en el subsuelo y que no existen procesos naturales que provoquen el fenómeno inverso (salvo raras excepciones). Por lo tanto, la causa más común que origina la disminución del contenido salino es la dilución debida a una recarga o al aporte de agua con un menor contenido salino. Este efecto fue observado prácticamente en todas las distribuciones de hidrogeoquímica y ratificado por piezometría (Lesser y Sánchez, 1985).

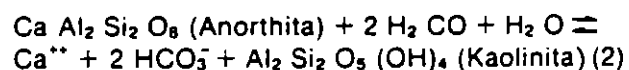
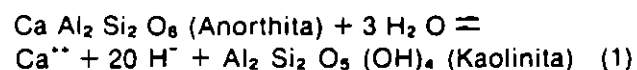
Pero, en contraste con lo anterior, el estudio demostró un incremento notable del contenido salino entre la colonia Agrícola Oriental, el Cerro de La Estrella y la Sierra de Santa Catarina; en los pozos de la colonia mencionada se detectaron hasta 1 200 ppm de sales disueltas —fueron los puntos con mayor salinidad del muestreo total y la fecha de la medición correspondió a julio de 1984. En esta zona el acuífero se localiza entre materiales granulares con algunos horizontes de basalto. Un efecto similar se presentó en la Sierra de Santa Catarina, donde se detectaron 1 400 ppm de sólidos totales disueltos en el pozo SC-12. Esta alta salinidad es ocasionada por dos factores: la influencia de zonas volcánicas, algunas posiblemente activas, que han impregnado las rocas del subsuelo con emanaciones gaseosas y

emplazamientos de sales de tipo hidrotermal y la presencia de horizontes de sedimento lacustres con materia orgánica en descomposición. En la distribución destacan claramente las áreas de la Agrícola Oriental y Santa Catarina como focos locales de contaminación salina natural.

En la porción sur del valle, área de Xochimilco-Tláhuac-Chalco, los pozos presentan un bajo contenido salino, característico de agua de lluvia de reciente infiltración, que indica que este acuífero debe recargarse sobre la sierra. Aquí, las concentraciones salinas son de 200 a 300 ppm, con excepción de los pozos al norte y oriente de San Pablo Atlazalpan, donde se registraron valores de 3 000 ppm de sólidos totales disueltos, considerándose que corresponden a puntos locales. El incremento salino que se marca en la configuración muestra una distribución general muy similar a la circulación del flujo subterráneo.

### Calcio

El calcio es un ión divalente de carga positiva que forma parte de la mayoría de las rocas que constituyen la corteza terrestre, por lo que es común encontrarlo disuelto en el agua. Dentro del área estudiada se considera que este elemento proviene de la disolución de los feldespatos cálcicos que conforman las rocas volcánicas. A continuación se mencionan las reacciones químicas características de la disolución de la anorthita.

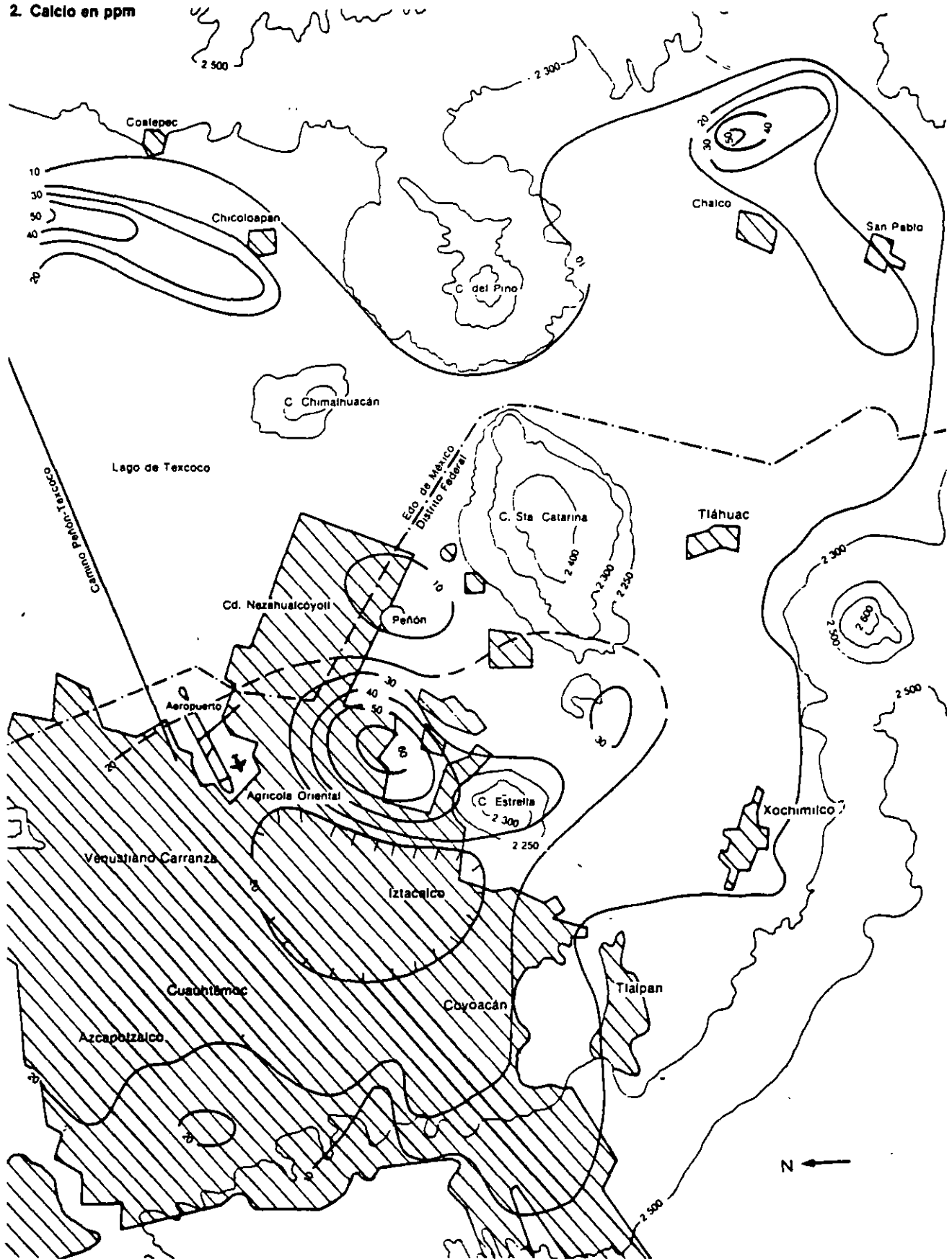


La distribución de este elemento se muestra en la ilustración 2; las concentraciones más bajas se localizan en las porciones poniente, sur y oriente de la ciudad de México, lo que ratifica la existencia de una importante zona de recarga hacia las sierras. En los pozos de la colonia Agrícola Oriental, se detectaron más de 60 ppm de este material. Al poniente de este sitio, entre las delegaciones de Iztacalco, Benito Juárez y Venustiano Carranza, se encontró una clara disminución en los valores, que corresponde al área donde se ha inferido la existencia de un aporte por infiltración vertical.

En la porción suroriental del valle de Xochimilco-Tláhuac-Chalco, la concentración de calcio en el agua es muy baja, alrededor de 15 ppm, con excepción de la parte localizada al sureste de



2. Calcio en ppm

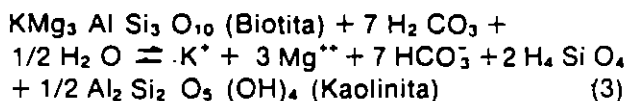


Chalco, donde existen algunos aprovechamientos que incrementan ligeramente su contenido salino a 20 ppm.

Existen tres áreas o subsistemas acuíferos en que se puede dividir a la zona estudiada: el primero corresponde a la zona metropolitana de la ciudad de México, donde las concentraciones de calcio varían de 10 ppm en las estribaciones de la sierra, hasta máximos de 60 ppm al centro, detectándose también una área de valores bajos entre las delegaciones Benito Juárez y Venustiano Carranza. El segundo abarca el vaso del Lago de Texcoco donde el agua prácticamente no tiene movimiento y la información geoquímica es reducida. El tercero engloba la zona sur de la capital y presenta una concentración salina muy baja del agua, con cerca de 15 ppm de calcio.

### Magnesio

Los basaltos están constituidos por minerales ferromagnesianos entre los que se encuentran los piroxenos y los anfíboles, los cuales son atacados por el agua originando la presencia del magnesio en solución. Este elemento también proviene de la disolución de otros minerales, como la biotita, la cual se transforma en kaolinita como se muestra en la siguiente reacción:

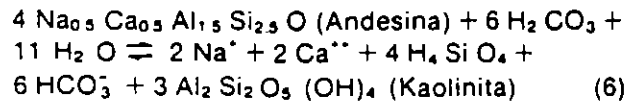
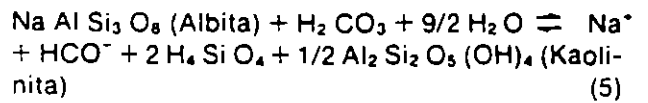
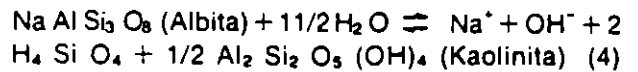


Los valores más bajos de magnesio, menores a 10 ppm, se localizan al pie de las sierras, así como en la porción nororiental del área de trabajo; esto corrobora la existencia de zonas de recarga hacia las estribaciones de las elevaciones topográficas, y se incrementan hacia la porción central, con lo que se ratifica el flujo subterráneo. Entre las delegaciones Benito Juárez, Iztacalco y Venustiano Carranza, se presenta una disminución en las concentraciones, ocasionada por un aporte vertical de agua hacia el acuífero, el cual aparentemente corresponde a la infiltración de fugas de la red de distribución de agua potable.

### Sodio

El sodio, junto con el calcio y el magnesio, corresponde a los principales cationes encontrados en la naturaleza. En el área estudiada los tres provienen de la disolución de los minerales que forman las rocas, como los feldespatos sódicos, que son un constitu-

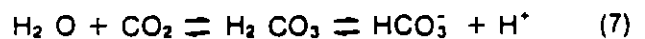
yente de las formaciones volcánicas. A continuación se muestra la reacción de la disolución de la albita y la andesina por el agua.



En la zona de trabajo las concentraciones más bajas, menores de 5 ppm, se encuentran al pie de las sierras que limitan al área en sus porciones oriental, sur y poniente, en tanto que las más altas, alrededor de 20 ppm, se localizan entre El Peñón del Marqués y el Cerro de la Estrella.

### Bicarbonatos

A diferencia de los iones analizados, que provienen principalmente de la disolución de las rocas, el bicarbonato se produce a consecuencia de reacciones químicas debidas a la interacción entre el agua, los gases y las rocas. Así, una de las fuentes más comunes de este elemento es la incorporación de bióxido de carbono en el agua, lo cual forma ácido carbónico, que a su vez se disocia en bicarbonatos e hidrógeno como se muestra en la siguiente reacción:



Otras posibilidades para su formación corresponden a la disolución de los minerales de las rocas ígneas, como se indicó en las reacciones químicas anteriores aquí mostradas.

La concentración de bicarbonatos en el agua está sujeta a los cambios de temperatura y presión, así como a procesos biológicos y a la concentración total de sales en solución. Los valores menores de 100 ppm se presentan en las estribaciones de las sierras del poniente, sur y oriente, áreas de recarga por lluvia, en tanto que conforme el agua subterránea circula hacia el centro de la ciudad se incrementa su contenido de bicarbonatos. En la colonia Agrícola Oriental y en Santa Catarina vuelven a aparecer las anomalías comentadas para los elementos tratados anteriormente.

### Cloruros

Por lo general, los cloruros se encuentran en concentraciones bajas en terrenos volcánicos, como en el subsuelo de la ciudad de México, con excepción de algunos sitios donde hay horizontes salinos depositados en antiguas cuencas lacustres. Los valores bajos al poniente, sur y oriente ratifican que dichas regiones corresponden a zonas de recarga.

### Sulfatos

Los sulfatos forman parte de diferentes minerales que constituyen las rocas ígneas, sin embargo, las concentraciones provenientes de éstas, en general son bajas; otros posibles orígenes corresponden a la descomposición de materia orgánica en los sedimentos lacustres y a la disolución de horizontes de azufre que comúnmente se encuentran asociados a centros eruptivos, que al oxidarse pasan en solución al agua, formando sulfatos.

Respecto a la presencia de sulfatos en el acuífero capitalino se puede decir lo siguiente: las concentraciones más bajas, menores de 10 ppm, se encuentran en las elevaciones de las elevaciones topográficas hacia el poniente, oriente y sur, ratificando la existencia de zonas de recarga por agua de lluvia en esos lugares; hacia el centro de la zona metropolitana existe un incremento en las concentraciones producido principalmente por el flujo de agua subterránea; en los alrededores del Cerro de La Estrella hay concentraciones salinas altas, ocasionadas por la existencia de horizontes salinos dentro de los materiales granulares que constituyen el acuífero; al oriente de Chalco se encuentra una zona con magnitudes que alcanzan hasta 100 ppm posiblemente ocasionados por la utilización de agua en riego que produce evaporación y reconcentración de sales (véase ilustración 3).

### Fierro y manganeso

El fierro es un elemento común en rocas y suelos, de donde es fácilmente disuelto o acarreado por las aguas, en especial si son ácidas. Las aguas naturales en general presentan concentraciones inferiores a 1 ppm y rara vez sobrepasan los 5 ppm, pero aquéllas con un pH bajo contienen más fierro que las alcalinas. Las concentraciones altas de este elemento se pueden deber, por otra parte, a la ausencia de oxígeno.

En el agua subterránea este material se disuelve y se convierte en bicarbonato ferroso ( $\text{HCO}_3)_2$ , estado en el que no tiene coloración alguna. Cuando el líquido se extrae de un pozo, absorbe oxígeno del aire y el bicarbonato en solución se convierte en hidróxido férrico  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  que es insoluble; en estas condiciones, parte del bióxido de carbono libre escapa y el pH se eleva. El hidróxido férrico tiene un color café rojizo y se encuentra suspendido, o bien se precipita en concentraciones bajas (0.3 ppm), reacción que se lleva a cabo con gran facilidad. Aunque esta concentración ocasiona algunos problemas en el uso y aspecto del agua no llega a ser tóxica, pero si sobrepasa los 0.5 ppm produce incrustaciones visibles en los ademes y tuberías y disminuye el rendimiento de los pozos (véase ilustración 4).

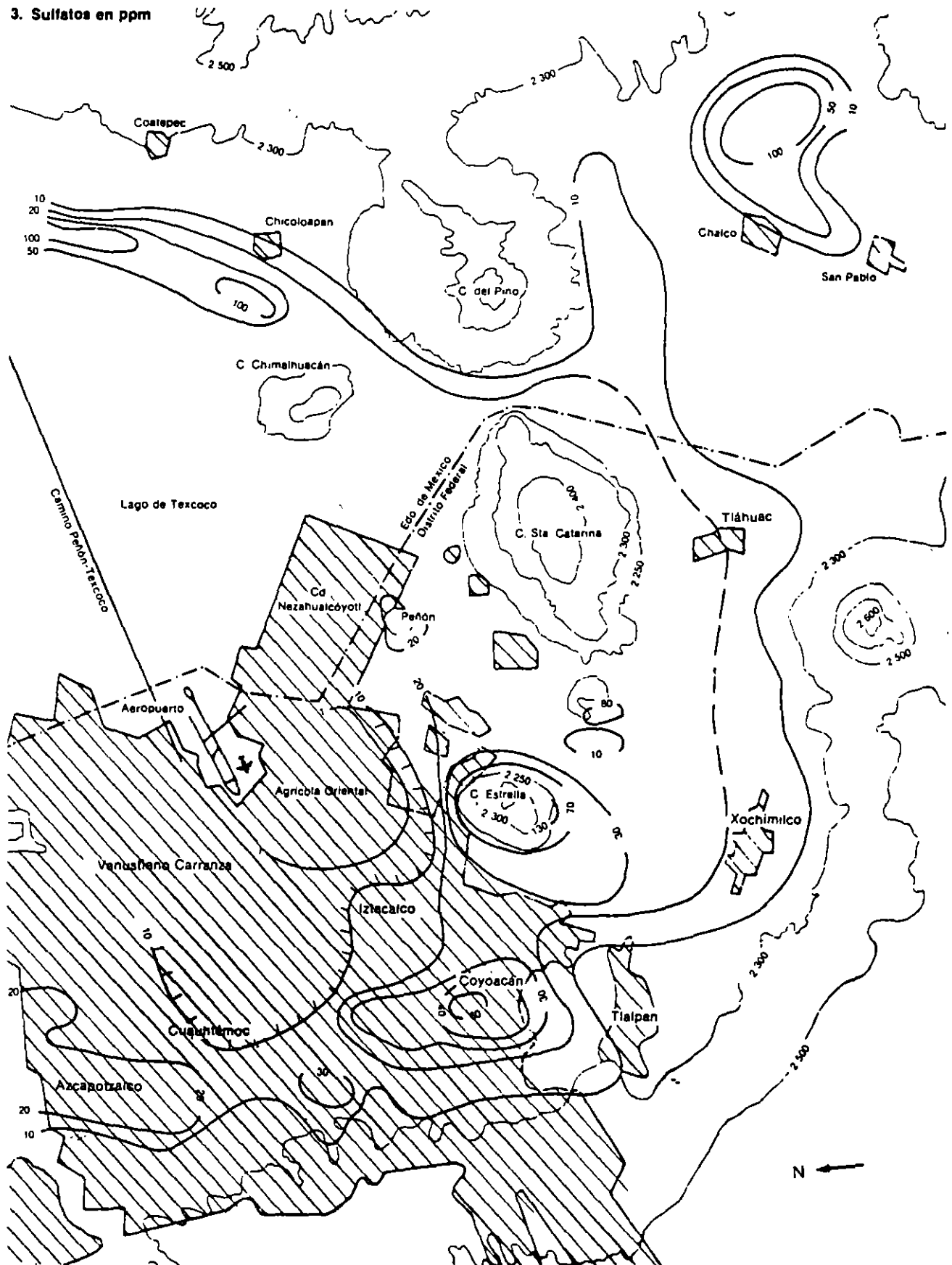
Existen otros compuestos del fierro que actúan como corrosivos incluso cuando no existe oxígeno, como en los acuíferos de cierta profundidad cuya agua ha circulado grandes distancias, como el óxido de fierro ( $\text{FeO}$ ), de color amarillo y con un pH bajo.

Por otra parte, hay bacterias como la *Crenotrix* o la *Gallionella* que utilizan a este mineral en solución como fuente de energía y dan origen a una tonalidad rojiza en el agua. Algunas colonias que crecen y se desarrollan en el interior de los pozos forman costras gelatinosas o lamosas que tapan las ranuras de los ademes y también disminuyen el rendimiento.

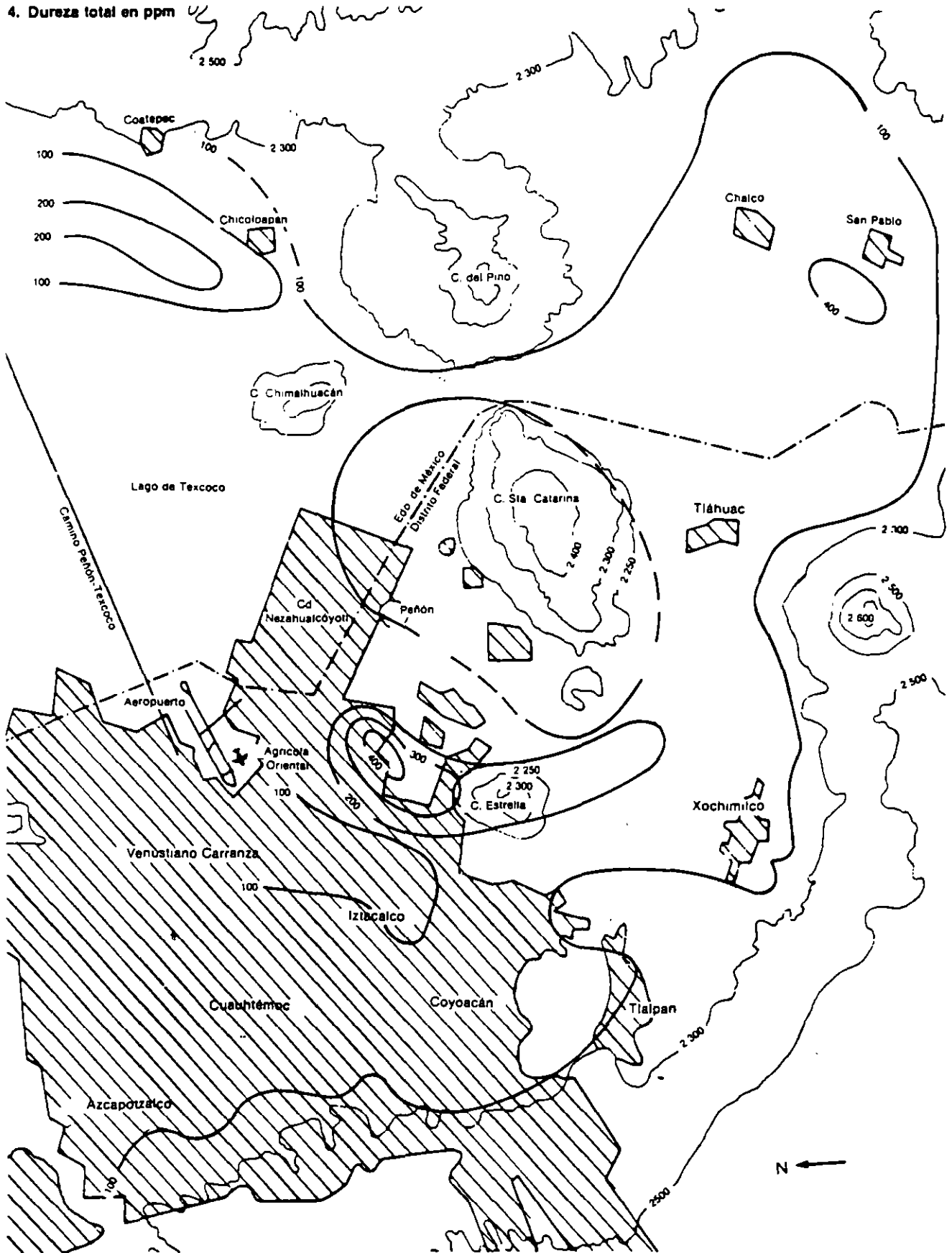
En los análisis químicos del agua se acostumbra reportar al fierro junto al manganeso por las semejanzas que hay entre ellos, pero tienen también grandes diferencias; el segundo también forma parte de rocas y suelos, pero además se encuentra en la materia orgánica ya que es uno de los nutrientes de las plantas. En las aguas naturales la concentración de manganeso es en general inferior a 0.02 ppm y puede circular grandes distancias porque no se oxida con facilidad. Está presente en las aguas que contienen fierro pero en una proporción menor.

En el área estudiada ambos elementos están prácticamente ausentes (véase la ilustración 5), aunque la proporción del fierro sobre la del manganeso es superior. Los puntos donde fueron detectados corresponden a los alrededores de la Delegación Azcapotzalco, a la parte comprendida entre la colonia Agrícola Oriental y la Sierra de Santa Catarina con una prolongación rumbo al poniente y a algunos pozos del sistema sur.

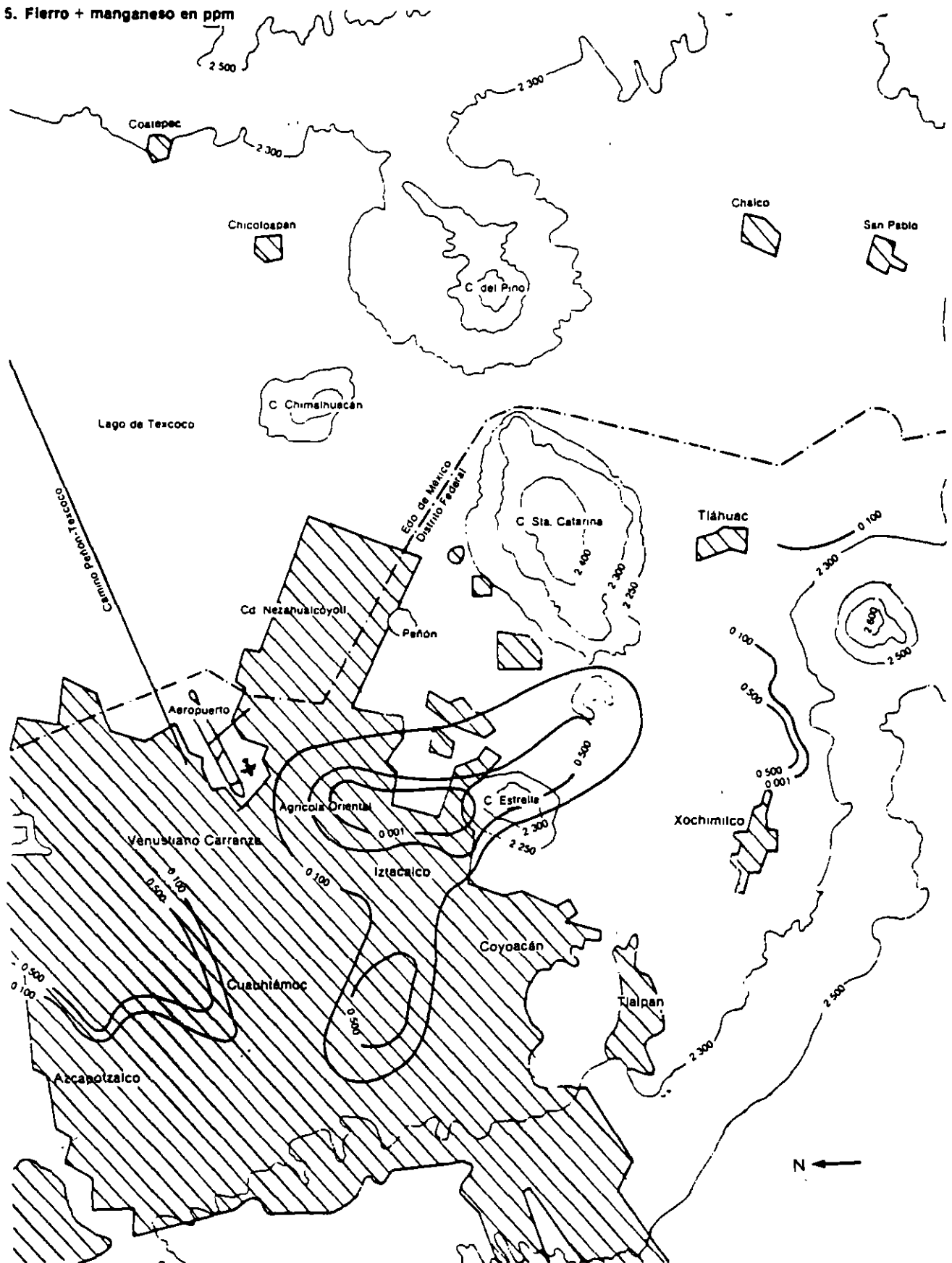
3. Sulfatos en ppm



4. Dureza total en ppm



5. Hierro + manganeso en ppm



**Principales procesos químicos en el agua subterránea**

Los iones disueltos en el agua subterránea tienen propiedades para entrar en reacción formando compuestos o disociándose; las reacciones químicas producidas se acompañan de un cambio de energía, lo cual a su vez provoca otro tipo de reacciones químicas, en una cadena muy compleja, cuyo cálculo, sin embargo, ya se ha adaptado a programas de computadora que simplifican su aplicación.

**Metodología**

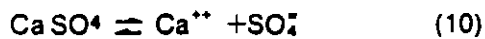
Se utilizaron aquellos recursos que sirven para evaluar las condiciones químicas del agua respecto al equilibrio químico, o sea su capacidad para precipitar o disolver una sal. El trabajo fue complejo y requirió de un largo tiempo, tanto por el índice de muestras de agua como por la cantidad de reacciones por estudiar; para realizarlo se utilizó el programa computarizado denominado WATEQ, que fue elaborado y publicado por el Departamento de Geología de los EUA (U.S. G.S.).

El equilibrio químico se basa en la ley de acción de masas, la cual indica que cuando en una reacción química los reactantes A + B son iguales a los productos C + D y la reacción es reversible, entonces la constante de actividad iónica *Kai* es igual a las actividades de los productos entre la de los reactantes:

$$\text{Ley de acción de masas: } A + B \rightleftharpoons C + D \quad (8)$$

$$Kai = \frac{[C] [D]}{[A] [B]} \quad (9)$$

Los paréntesis indican la actividad del índice que encierran. Por ejemplo, en el caso de la anhidrita, ésta se disocia de acuerdo con la siguiente reacción:



Aplicando la ley de acción de masas la constante de actividad iónica es:

$$Kai (\text{Anhidrita}) = \frac{[Ca^{++}] [SO_4^{--}]}{[CaSO_4]} \quad (11)$$

La actividad de los compuestos es igual a 1, por lo que:

$$Kai (\text{Anhidrita}) = [Ca^{++}] [SO_4^{--}] \quad (12)$$

Las actividades iónicas se obtienen multiplicando el coeficiente de actividad "γ" de cada elemento, por su concentración en moles por litro "m".

$$[Ca^{++}] = \gamma_{Ca} \cdot m_{Ca} \quad (13)$$

$$[SO_4^{--}] = \gamma_{SO_4} \cdot m_{SO_4} \quad (14)$$

El coeficiente de actividad iónica "γ" se calculó mediante la fórmula de Debye-Hückel:

$$-\log \gamma_i = \frac{Az_i^2 \sqrt{I}}{1 + Bai \sqrt{I}} \quad (15)$$

donde *Z* es la carga del ión; *A* y *B* son constantes dependientes de la temperatura (en nuestro caso a 25° C, *A* = 0.05085 y *B* = 0.3281 × 10<sup>-6</sup>); *a* es una constante relacionada con el tamaño y carga del ión, e *I* es la fuerza iónica calculada por la fórmula:

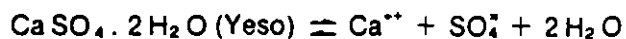
$$I = \sum \frac{m_i z_i^2}{2} \quad (16)$$

Para encontrar el grado de saturación del agua respecto al mineral estudiado se compara la constante de actividad iónica *Kai*, con la constante de equilibrio *Ke*. Para valores de *Kai* mayores que *Ke*, la muestra se encuentra sobresaturada y para valores de *Kai* menores que *Ke*, está insaturada; cuando las constantes son iguales entonces se dice que existe equilibrio químico. El hecho de que determinada agua se encuentre sobresaturada de un compuesto implica que existirá precipitación de éste y por lo tanto habrá incrustaciones en ademes y tuberías; cuando está insaturada, tiene la propiedad de disolver una mayor cantidad de sales y se comporta como corrosiva respecto a la sal o mineral estudiados.

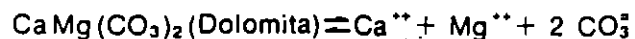
En párrafos anteriores se mostró la reacción química y la constante de actividad iónica de la anhidrita. A continuación se presentan las reacciones de disolución de la calcita, el yeso y la dolomita, por ser las que ocurren en la naturaleza con más frecuencia:



$$Kai (\text{Calcita}) = [Ca^{++}] [CO_3^{--}]$$



$$\text{Kai (Yeso)} = [\text{Ca}^{++}] [\text{SO}_4^-] \quad (18)$$



$$\text{Kai (Dolomita)} = [\text{Ca}^{++}] [\text{Mg}^{++}] [\text{CO}_3^-]_2 \quad (19)$$

Las constantes de equilibrio  $K_e$  de los minerales anteriores son las siguientes:

$$K_e \text{ (Yeso)} = 10^{-4.75} \quad (20)$$

$$K_e \text{ (Calcita)} = 10^{-8.47} \quad (21)$$

$$K_e \text{ (Dolomita)} = 10^{-17.02} \quad (22)$$

$$K_e \text{ (Anhidrita)} = 10^{-4.54} \quad (23)$$

## Resultados

El valor de la presión del bióxido de carbono ( $\text{PCO}_2$ ) en el agua que se encuentra en contacto con la atmósfera y en equilibrio es de  $0.316 \times 10^{-3}$ , pero los valores observados para el agua del acuífero de la ciudad de México fueron mayores que el punto de equilibrio, de donde se deduce la existencia de una fuente adicional de bióxido de carbono en el agua.

El grado de saturación de la anhidrita, calcita y yeso se obtuvo comparando el valor calculado para cada muestra (Kai) con la constante de equilibrio ( $K_e$ ). Para ello se dividió Kai/ $K_e$ , y si el cociente resultante es igual a la unidad, se dice que existe equilibrio químico. Si dicho cociente es menor que 1, el agua tiene capacidad para disolver una mayor cantidad de sales, se considera insaturada y se puede clasificar como agua corrosiva. Si el resultado es mayor de 1 entonces se encuentra sobresaturada, y por lo tanto, tiene la propiedad de precipitar la sal por lo que se denomina agua incrustante. Se calculó el grado de incrustación del agua respecto a la anhidrita y al yeso; los resultados indican que se está muy lejos del límite de equilibrio y por lo tanto es una agua con alta capacidad de disolución de anhidrita.

En la zona estudiada, el grado de incrustación del agua respecto a la calcita arrojó valores por arriba de 1 000 milésimas (que en algunos casos llegan incluso a las 5 000 milésimas) en las posiciones central y oriente de la ciudad, entre las delegaciones de Iztacalco e Iztapalapa, en el Cerro de La Estrella y en San Lorenzo Tezonco, por lo que dichas aguas incrustantes de calcita pueden provocar taponamientos en ademes, columnas de bombeo u otros materiales con los que

están en contacto. En el resto del área analizada los valores son menores de 1 000 milésimas, excepto en algunas puntas locales (véase ilustración 6).

## Variación de la salinidad respecto al tiempo

### Información disponible

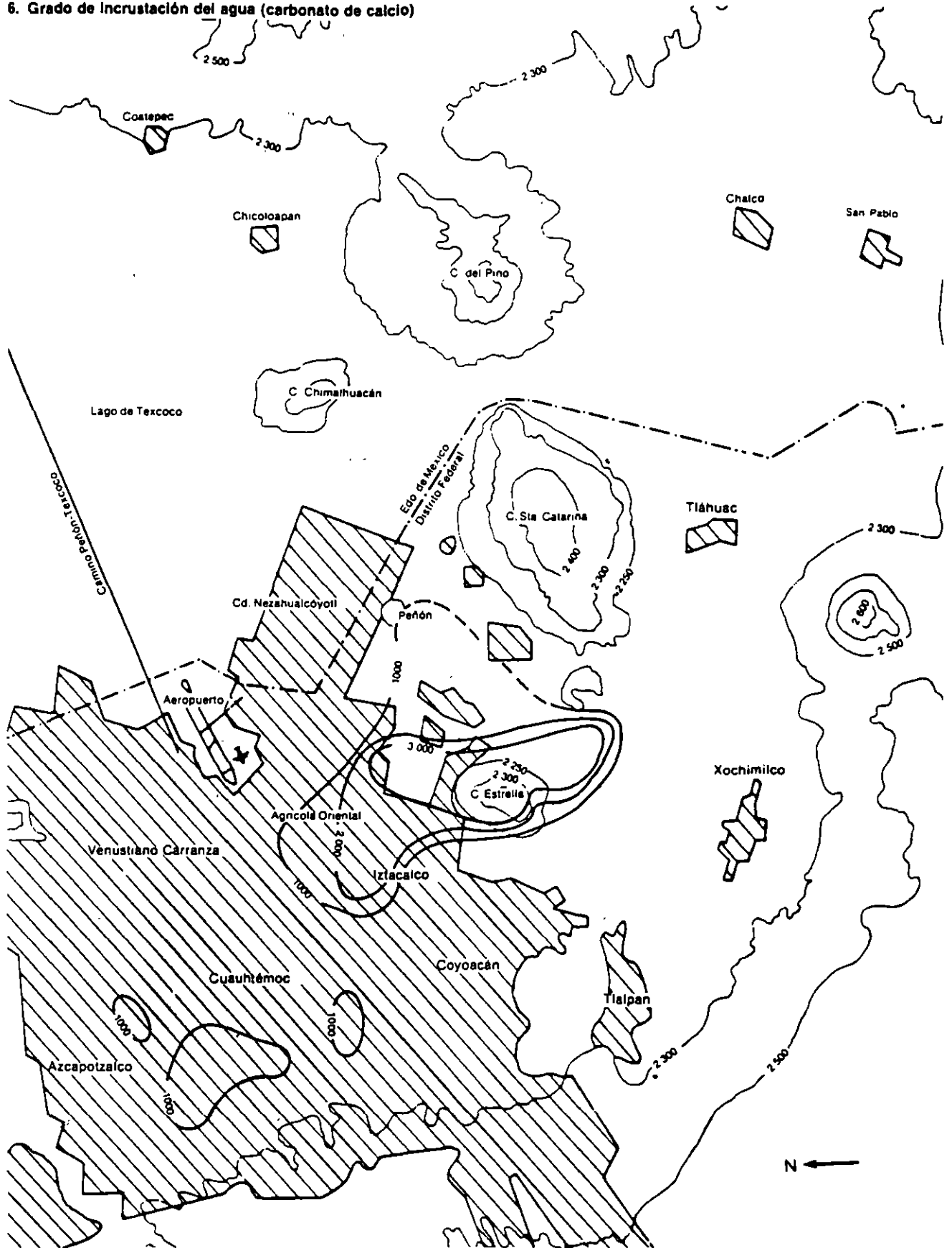
De los análisis químicos efectuados en los pozos municipales durante el periodo de 1955 a 1985 se seleccionaron los parámetros siguientes para su estudio detallado: sólidos totales disueltos, dureza total, cloruros, nitratos, fierro y manganeso. Los sólidos totales disueltos se eligieron porque indican el grado de salinidad del agua; la dureza total por ser un índice de calidad; los cloruros, debido a que se encuentran prácticamente ausentes en rocas volcánicas; los nitratos por indicar la contaminación orgánica; y el fierro y el manganeso, porque se han detectado en concentraciones nocivas en algunos puntos locales.

El estudio de la variación de la salinidad respecto al tiempo se efectuó en 100 pozos distribuidos en toda la zona metropolitana, de los cuales 30 no mostraron cambio alguno. A continuación se describen los principales efectos observados:

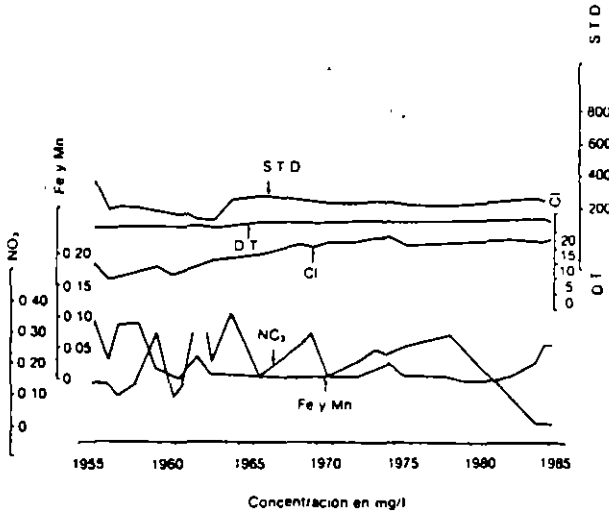
- Se notaron incrementos notables de cloruro en 17 pozos ubicados en el centro de la ciudad, y que coinciden con la zona donde se ha detectado una recarga al acuífero procedente de fugas de la red de distribución. El incremento se debe al cloro que se aplica al agua potable que se infiltra y alimenta al acuífero, como se muestra en el Pozo No. 15 (véase ilustración 7).
- En los 30 años analizados sólo se registró un aumento de fierro y manganeso en 5 pozos que corresponden a Santa Catarina y a la porción central de la zona urbana (Pozo 42, véase ilustración 8).
- El incremento de nitratos fue evidente en 29 de los 100 pozos graficados que se localizan principalmente en una franja al pie de los lomeríos del poniente de la ciudad. Se considera que ello se debe a la falta de saneamiento de los lomeríos (Pozo 26, véase ilustración 9).
- Los incrementos en casi todos los parámetros mencionados se dieron en 10 pozos; aquéllos más obvios presentan valores que varían entre 0.5 y 4.5 miligramos en el periodo de 30 años, lo que corresponde a un aumento anual entre 0.025 y 0.225 ppm (Pozo 83, véase ilustración 9).



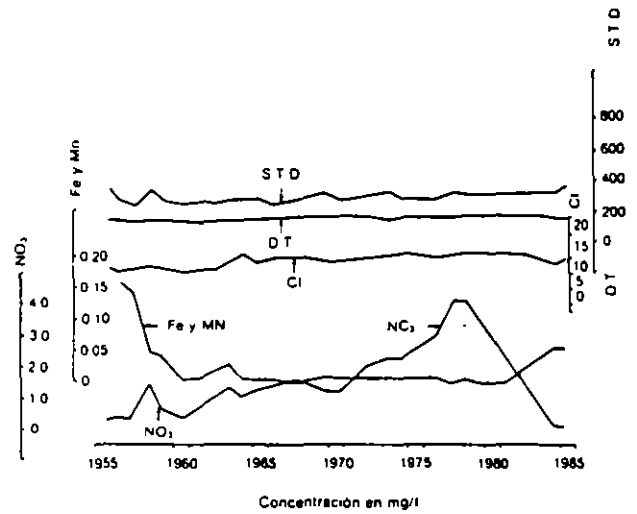
6. Grado de Incrustación del agua (carbonato de calcio)



7. Pozo 15 (Albert y Berlín)



9. Pozo 26 (Axotla)



Familias de agua

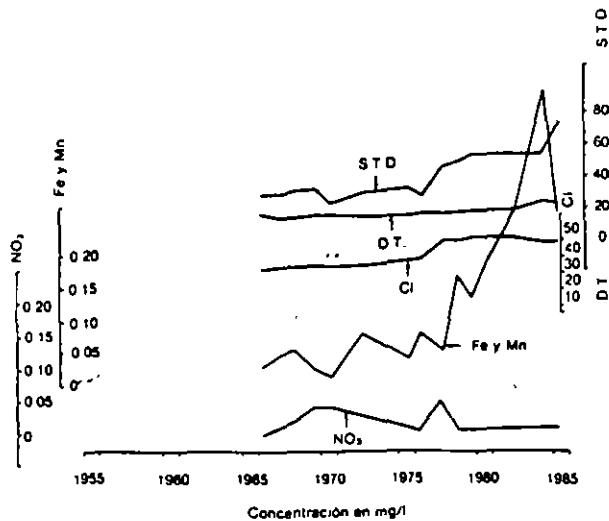
Se denomina familia de agua a la composición química representada por el principal catión y el principal anión en solución. Existen varios métodos para deducir la familia de agua a que pertenece una muestra. En este trabajo se utilizó el denominado de Piper o de Diagramas Triangulares, que consiste en graficar en dos triángulos equiláteros a los aniones y cationes principales y con cuya aplicación se obtuvieron las familias siguientes:

- Mixta sódico-bicarbonatada. Corresponde al agua de lluvia que ha disuelto poca cantidad de sales. El líquido circula a través de materiales de alta permeabilidad, como lavas y piroclásti-

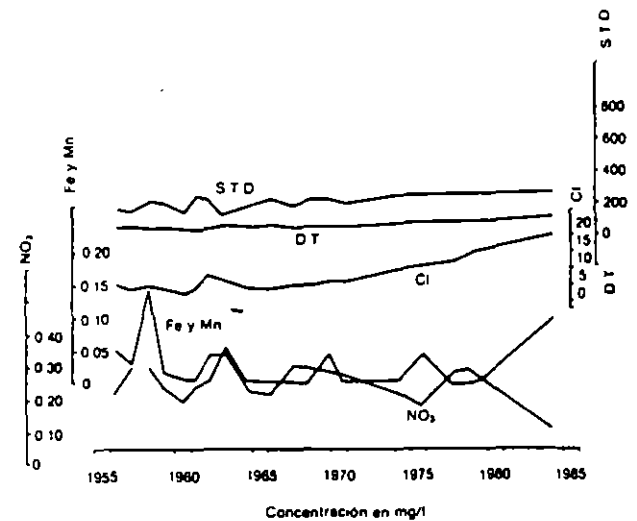
cos, que no permiten la incorporación de cantidades significativas de sales que pudieran modificar su composición química. Esta familia se encontró al poniente, tanto al pie de la Sierra de Las Cruces como en la parte baja.

- Mixta magnesiana-bicarbonatada. Se encontró en el acuífero de tipo basáltico al pie de la Sierra del Chichinautzin. El agua de lluvia, que es sódico-bicarbonatada, modifica ligeramente su composición química al disolver el calcio y el magnesio de los basaltos, para dar origen a la familia que aquí se trata. Se detectó principalmente en la zona de los pedregales, entre Contreras y Ciudad Universitaria, así como en el extremo sur del Distrito Federal entre Xochimilco y San Juan Ixtayopan.

8. Pozo 42 (Granjas Estrella)



10. Pozo 83 (Marina Nacional 1)



- Sódico-bicarbonatada. Este tipo se detectó en las porciones central y oriental de la ciudad, y se origina por dos factores: las arcillas del subsuelo producen un intercambio catiónico mediante el cual el calcio y el magnesio tienden a permanecer dentro de la estructura de la arcilla, mientras que el sodio se incorpora al agua en solución, y la presencia de horizontes de sales de bicarbonato de sodio, que son fácilmente disueltos por el agua en los pozos de la Agrícola Oriental y de Santa Catarina.

### Conclusiones

La mayor parte del agua del acuífero contiene bajas concentraciones salinas, con excepción de zonas locales donde se detectan hasta 1,200 ppm, así como en el vaso del Lago de Texcoco donde se registran más de 20 000 ppm.

La alta salinidad es ocasionada por tres factores: a) Existencia de horizontes de sedimentos evaporíticos lacustres; b) influencia de zonas volcánicas, algunas posiblemente activas, que han impregnado las rocas de subsuelo, así como emanaciones gaseosas y el emplazamiento de sales de tipo hidrotermal; c) presencia de material orgánico en descomposición entre los sedimentos lacustres.

Los puntos que destacan como focos locales de contaminación natural en el acuífero corresponden a las áreas de la colonia Agrícola Oriental y de la Sierra de Santa Catarina, así como a la parte central del Vaso de Texcoco, aunque en esta porción la información es escasa.

La salinidad del agua en los últimos 20 años ha permanecido estable con excepción de algunos pozos en ciertas zonas. Se han encontrado incre-

mentos notables de cloruros en los pozos ubicados en la parte central de la ciudad, coincidiendo con la zona en donde se ha detectado un aporte de agua al acuífero procedente de las fugas de la red de distribución. El incremento salino aparentemente es debido al cloro que se añade al agua potable que se infiltra y alimenta al acuífero.

En los pozos localizados alrededor de la Sierra de Santa Catarina y en algunos de la porción central de la zona urbana se han detectado incrementos en fierro y manganeso, efecto que podría estar relacionado con el crecimiento de bacterias que incluyen al fierro dentro de su ciclo evolutivo.

La concentración salina es baja en los alrededores del área y se incrementa hacia la parte central, en forma similar a la dirección del flujo subterráneo. Una excepción se encuentra entre las Delegaciones Benito Juárez y Venustiano Carranza, donde el agua disminuye su contenido salino por dilución con agua de fugas de la red de distribución.

Un incremento notable en nitratos ha sido detectado en pozos ubicados en una franja paralela al pie de la Sierra de Las Cruces, el cual es ocasionado por la falta de drenaje en los lomeríos de esa porción.

### Referencias

Lesser y Sánchez, *Informe sobre las actividades geohidrológicas en el Valle de México, 1985.*

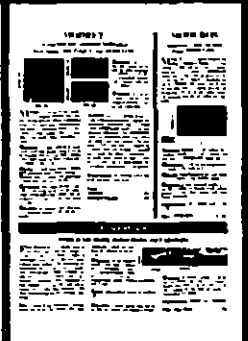
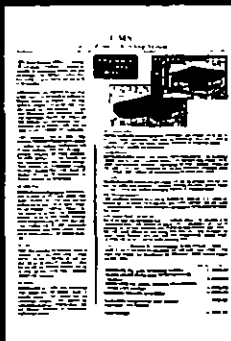
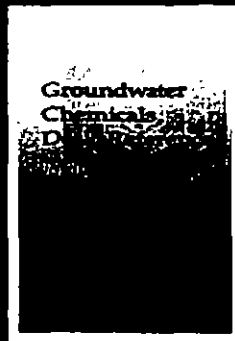
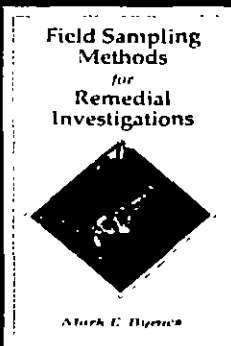
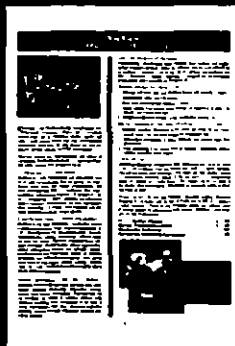
<sup>1</sup> Este artículo contiene en forma resumida los trabajos realizados en los dos últimos años por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal, al cual se agradecen las facilidades prestadas para su divulgación.

1995-1996

CATALOG



# Environmental Software & Publications



SCIENTIFIC SOFTWARE  
GROUP

# Announcing . . . Scientific Software Group's New FAX ON DEMAND SERVICE

## "Receive Additional Information on Each Product in Minutes"

Scientific Software Group's New 24-hour automated product information service allows you to receive additional product information on each product, new product information, upgrade information, and much more. To obtain further information on each product, using your FAX machine phone, dial (703) 620-6188. You will be presented with a main menu. Press 1 to receive voice information on how to use the service. Press 2 to receive any of the document/documents listed below. When prompted, enter the number of the document you want to receive and listen for further instructions.

	Page	Doc #		Page	Doc #		Page	Doc #
Instructions for Fax on Demand		1001	GWN-DTM	66	1136	Practical Handbook of Ground Water Monitoring	68	1148
Index of Products		1002	GWN-GIS	66	1139	Practical Handbook of Soil, Vadose Zone & GW Contam.	70	1165
New Products		1003	GWN-MMS	66	1138	PRINCE	53	1102
3DFEMFAT	28	1048	GWN-ROAD	66	1141	Principles of Contaminant Hydrogeology	70	1163
3DFATMIC	28	1049	GWN-STORM	66	1140	Principles of Groundwater Engineering	70	1159
ADEPT	66	1134	Handbook of Bioremediation	71	1168	PROCESSING MODFLOW (PM)/PMDIS/PMPATH	3	1010
AirCAD	46	1091	Handbook of Vadose Zone Characterization & Monitng.	68	1145	PRZM2	32	1059
AIRFLOW/SVE	43	1086	HELP Model	30	1052	QUAL2EU	34	1067
Analytical Groundwater Modeling.	71	1167	HSPF	34	1066	QUEST	44	1087
Applied Groundwater Modeling	70	1158	HSSM	35	1074	QUICKLOG/QUICKSOIL		
AQUA	18	1033	HST3D	21	1039	QUICKCROSS/FENCE, AND OTHERS	52	1101
AQUABASE	60	1122	HYDATA	54	1104	RECESS	33	1062
AQUASEA	19	1034	HYDROGEOCHEM	20	1037	Restoration of Petroleum-Contaminated Aquifers	68	1146
AQUIFEM-N	19	1035	Hydrology, An Environmental Approach	68	1144	RETC	35	1076
Aquifer Testing	71	1170	HYFAP	55	1109	RISKPRO'S AT123D	29	1054
Argus MeshMaker/PRO	14	1030	HYQUAL	55	1106	RISKPRO'S SESOIL	31	1053
ARMOS	44	1088	HYRRM	55	1108	RITZ	35	1071
ATLAS GIS for Windows	40	1173	Infinite Extent & WinPump	65	1132	Sanitary Sewers	57	1115
BALANCE	63	1129	KYSPILL	67	1143	SEEP/W	38	1111
BIOID	56	1111	Lahey Compilers	31	1055	Selected Reports	70	1111
BIOPLUME II	33	1061	Manual of Instructional Problems for MODFLOW	69	1151	SIGMA/W	38	1081
BioTRANS	46	1092	MATHCAD 5.0	66	1135	SiteGIS	56	1110
BioVENTING	47	1094	Migration Processes in the Soil & Ground-Water Zone	70	1162	SiteView	17	1032
CD ROM of Groundwater Modeling	40	1093	MINTEQA2	32	1058	SLOPE/W	37	1079
CHEMFLO	35	1072	MOC, MOCINP, MOCTIME & MOCGRAF	24	1043	SOILPROP	45	1089
Composting & Recycling Municipal Solid Waste	69	1154	MOCDENSE, MOCDTIME & MOCDFRAF	25	1044	Spase	40	1174
CTRAN/W	39	1082	MODCELL	7	1017	SpillCAD	45	1090
DATAVAL	67	1142	MODCROS	10	1025	Super Slug	65	1133
Designing Groundwater Models with Windows	69	1153	ModelExpert95	27	1046	Storm Sewers	57	1114
Electronic Logbook, The	49	1098	MODFE	5	1012	SURFER	48	1096
EndNote Plus & End Link	58	1117	MODFLOW	5	1012	SUTRA	21	1038
Environmental Chemistry	69	1157	MODFLOWP	32	1057	SWIFT/486	36	1078
FastSEEP	23	1042	MODGRAF	8	1020	SWIM	53	1103
FastTABS	9	1022	MODINP	7	1014	SWIPS	55	1107
FEMSEEP	22	1040	MODINV	11	1027	SWMM	34	1064
Field Sampling Methods for Remedial Investigations	69	1155	MODLOCAL	7	1019	SWPlan	58	1116
Filter Drain	10	1026	MODPATH	6	1013	TECGRAF	60	1123
FLONET/FLOTRANS	41	1085	MODPATH-PLOT	6	1013	TECHBASE	16	1031
FLOWPATH	42	1083	MODPUMP	8	1021	TechWords	40	1175
FLOWTHRU	36	1077	MODRET	10	1024	TECKON	62	1125
Geochemical Techniques for Identifying Sources	69	1152	MODVEL	7	1016	TECMOUND	63	1130
GeoKrig	58	1118	Monitor System, The	59	1119	TECTYPE	64	1131
GEOPACK	33	1060	MOTRANS-2D	47	1095	TECVIEW	7	1018
GFLOW	29	1050	MPATHIN	7	1015	TECWVEL & TECVECT	63	1126
GRAPHER	49	1097	MT3D	9	1023	TEDIT	60	1121
Geraghty & Miller's Groundwater Bibliography	68	1149	MT3DPLOT	35	1004	TRANSLATE	60	1120
GRITS/STAT	35	1075	MULTIMED	34	1068	TWODAN	27	1046
Groundwater Contamination	68	1147	Municipal Storm Water Management	69	1156	VAM2D	29	1051
Groundwater Chemicals Desk Reference	71	1169	Natural Groundwater Flow Modeling	70	1160	Visual MODFLOW	4	1011
Ground Water Modeling in Multilayered Aquifers	71	1171	PC-QUASAR	54	1105	Visual InterSat	26	1045
Groundwater Modeling System (GMS)	13	1029	PEST (Parameter Estimation)	12	1028	VLEACH	35	1073
Groundwater Modeling Utilities	68	1150	PESTAN	34	1069	VS2DT	33	1111
GTGS	50	1099	PHREEQE	63	1127	WASPS/DYNHYD5	34	
GT LOG	51	1100	PHRQPITZ	63	1128	Water Encyclopedia, The	70	1111
GWN-COGO	66	1137	PLOTICHEM	61	1124	Watershed Modeling System	23	1041
			Pollution Prevention Handbook	71	1172	Watershed Modeling	57	1112
						Water Surface Profiles	57	1113
						WinFLOW	20	1036

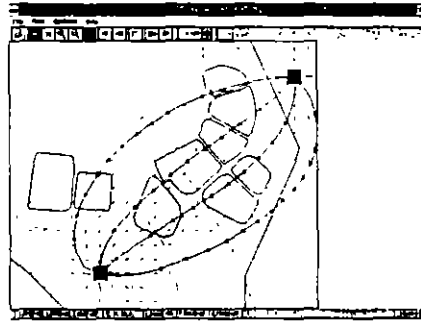
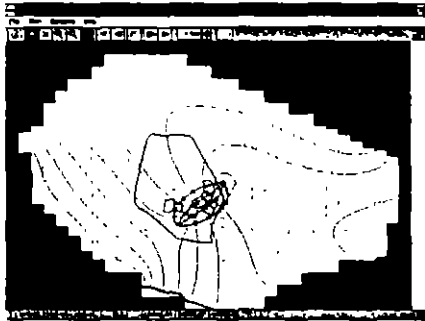
# SOFTWARE

**PRICES** - Prices include cost of First Class/Air Mail/UPS shipping and handling charges in the U.S. and Canada. See enclosed INTERNATIONAL PRICE GUIDE for all other countries.

## PROCESSING MODFLOW (PM)

Graphical Preprocessor and Postprocessor for MODFLOW, MODPATH, MODPATH-PLOT, and MT3D

*New Programs PMDIS and PMPATH for Windows Now Available*



**A**lthough numerical models are flexible and powerful, the construction of such a model is time-consuming because of the large amount of input data required. This is especially true in three dimensions. **PROCESSING MODFLOW (PM)** is a graphical preprocessor and postprocessor for modeling flow and contaminant transport in saturated ground-water systems. It supports the USGS MODFLOW and MODPATH models, MT3D, and the Windows-based particle tracking model **PMPATH** for steady-state or transient flow fields.

**PREPROCESSORS** - **PM** provides two preprocessors for specifying input data for each stress package of MODFLOW/MODPATH and MT3D. They can handle models with up to 80 layers and 1,000 stress periods. Each model layer may have up to 15,000 cells. The preprocessors have pull-down menus and a graphical model designer which consists of the following three programs. **PMCAD** allows the user to construct a general map of the model area on the screen with the help of the built-in functions. The model grid can be shifted, rotated and overlaid on up to three DXF-background maps. The **GRID EDITOR** is used for specifying the physical data of each model cell individually. Using the functions of the grid editor, model cells with different values can be shaded in colors for easy identification. The values can be increased, replaced or multiplied zone-wise by a user-specified value or factor. Model parameters can be imported layer-wise from matrices in ASCII and saved in ASCII. Data matrices may be prepared by other programs or ASCII text

editors. The **ZONES EDITOR** specifies the areally-distributed physical data in the form of zones.

**SIMULATION** - During a MODFLOW simulation, heads and drawdowns are saved as unformatted binary files. **PM** provides a conversion module **PMCNV** which converts the unformatted binary files to ASCII files. These ASCII files are used by the post-processing modules. They include the following. **PATHLINE** uses the results of MODPATH to show a 3-D view of pathlines or to draw projections of pathlines on the coordinating planes of the model domain. **ISOLINE** is designed for the graphical representation of head and drawdown contours in layers. **PMWBLN** is designed for the computation of the water balance of arbitrary subregions and the whole model domain. **PMHT** draws the temporal development curves of the piezometer heads versus time at observation cells. **PMGRAF** reduces input errors-all areally distributed input data can be displayed in the form of contours or classes for each layer.

### PMDIS - A Data Interpolation Set for PM

**PMDIS** provides a direct way for assigning cell values by using the Kriging method and methods developed by Shepard, Akima and Renka. It is designed to work with **PM 3.0x** and has a user interface. *Akima's Method* creates a triangulation of the measurement data points and performs interpolation by using a bivariate quintic polynomial of Hermite type for the interpolation within a trian-

gle. It uses several data points closest to the center of a model cell and estimates the value at this point. The *Kriging Method* assumes that the measurement data are stationary and isotropic. The program uses several data points closest to the center of a model cell and estimates the value at this point by using the Kriging method. *Shepard's Method* implements the inverse distance weighted method. *Renka's Method* creates a triangulation of the measurement data points and uses a global derivative-estimation procedure to compute estimated partial derivatives at the nodes. The program determines a piecewise cubic function  $F(x,y)$ .  $F$  has continuous first derivatives over the mesh and extends beyond the mesh boundary allowing extrapolation.

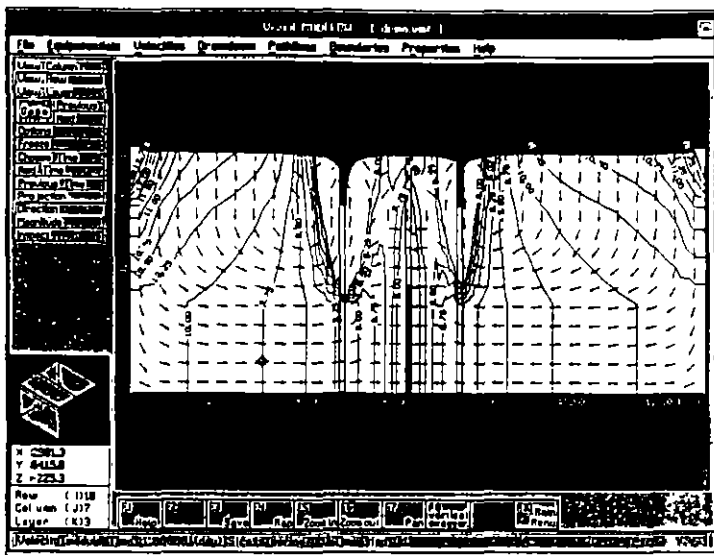
### PMPATH - Particle Tracking Model

**PMPATH** for Windows uses the semi-analytical particle tracking scheme described in the USGS MODPATH model (Pollock, 1989) to calculate the ground-water paths and travel times. **PMPATH** for Windows does forward and backward particle tracking in steady-state or transient two- or three-dimensional flow fields. For transient flow simulations, particles can be started from any time step. It works with **PM 3.0x** and provides various graphical options including head contours, drawdown contours, and velocity vectors. The Interactive modeling environment of **PMPATH** allows a user to perform particle tracking with just a few clicks of the mouse. ASCII output includes hydraulic heads distribution, velocity fields, the x,y,z coordinates and travel times of particles. Graphics output includes DXF, HPGL and Windows BMP formats.

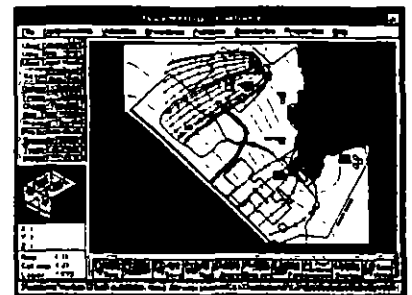
Requirements: 286 or higher PC, 1 MB RAM, 2 MB available Windows, no PMPATH math coprocessor, and Microsoft Mouse	
Prices:	
PM 3.0	\$1,450
PMDIS	\$1,380
PMPATH	\$1,300

# VISUAL MODFLOW

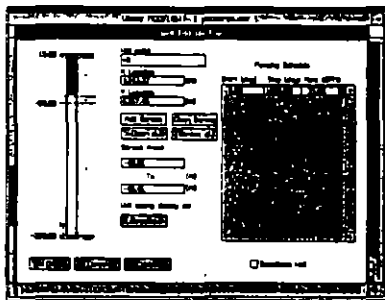
*"Integrated Modeling Environment for MODFLOW and MODPATH"*



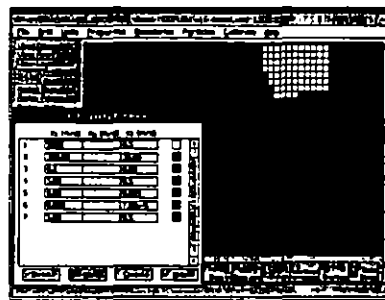
*Easily Switch Between Plan and Cross-Sectional Views*



Pathlines and time-related capture zones



Intuitive handling of wells



Aquifer parameters assigned with a click of the mouse



**V**isual MODFLOW, by Waterloo Hydrogeologic Software, allows the user to graphically input data, run MODFLOW and MODPATH, and visualize the results—all within one easy-to-use package. Both input and output can be visualized in plan or cross-sectional views. Three-dimensional ground-water flow modeling has never been so accessible. Visual MODFLOW's intuitive mouse-driven user interface has reduced the time to complete a typical simulation job from several days to a few hours.

## DATA INPUT AND OUTPUT

Visual MODFLOW is a self-contained package where all data input and output is done via an interactive graphical interface. The input structure is designed so that the user concentrates on physical locations and times rather than model grid coordinates or model time steps. For example, to define a well, the user clicks on the location of the well and immediately a schematic well log is shown. The location of the screened intervals can be then graphically defined and also

the pumping schedule is input using actual pumping rate variation times. If the grid is later refined, either in plan view or by adding new layers, all the information about the well is retained and the model transparently readjusts well locations to the new grid cells. The same is true for boundary conditions, properties, recharge rates, etc. Heterogeneities are defined by defining polygons of different properties on the screen. Multiple DXF sitemaps can also be overlaid on the screen at any point.

## VISUALIZATION

There is no need for any additional package for visualization of results due to Visual MODFLOW's high quality postprocessing capabilities. The model results can be displayed as equipotential and drawdown contours, velocity vectors, pathlines, and calibration residuals. Also one of the unique features of Visual MODFLOW is the capability of visualizing head versus time at specified points as well as time-variant observed versus calculated head plots. Any

input parameter and any result can be directed to screen, printer, or DXF files.

Visual MODFLOW can import previously created MODFLOW data files. This capability makes it compatible with virtually any of the older preprocessors for MODFLOW available on the market in case a project has to be revisited or continued using Visual MODFLOW.

## MODFLOW & MODPATH INCLUDED

Visual MODFLOW includes the complete USGS MODFLOW and MODPATH packages, both in executable and source code formats. Extremely large problems can be simulated in Visual MODFLOW (up to 200 columns X 200 rows X 60 layers), limited only by the amount of RAM available.

## DOCUMENTATION & SUPPORT

Visual MODFLOW comes with a comprehensive manual with a step-by-step tutorial and a how-to-section. Technical support is provided by fax or phone.

**Requirements:** PC 386 (with a coprocessor)/486/586 with a minimum of 8 M RAM. Most printers are supported including HP LaserJet, DeskJet, and PostScript.

**Price:** Visual MODFLOW \$ 1,495

# MODFLOW<sup>EM</sup>

## New Version Release Includes Spreadsheet Preprocessor - MFI

Compiled for 386 and 486 Computers  
Larger Grids—Almost 1 Million Cells  
3 New Packages Added

Runs in Windows

Interfaces for Lotus 123 & SURFER  
New USGS Preprocessor-MFI

**M**ODFLOW<sup>EM</sup> is the 386/486 extended memory version of the USGS MODFLOW model, "A Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model" by Michael G. McDonald and Arlen W. Harbaugh. MODFLOW is the most widely used ground-water flow model in the world. MODFLOW<sup>EM</sup> runs independently or within Microsoft Windows, freeing up your machine for other uses while MODFLOW<sup>EM</sup> carries out the numerically intensive task of model calibration.

Three new packages have been added and may be of considerable use to many hydrologists. They are:

**Transient Leakage** - This package by Leake, Leahy, and Navoy simulates leakage from thick confining units.

**SI** - This package by Leake & Prudic simulates elastic and inelastic compaction of fine-grained beds.

**CHDI** - This package by Leake & Prudic simulates time-varying specified heads.

**MFI** - The latest version of Scientific Software Group's MODFLOW<sup>EM</sup> also includes the *New USGS Preprocessor MFI*. This preprocessor assists in the development of files for use with MODFLOW and MODPATH. It works in conjunction with any Lotus-compatible spreadsheet program. A shareware copy of the spreadsheet program ALITE from Trius, Inc. of North Andover, MA, is included. (The spreadsheet is not freeware. It can be used for a 30-day trial period. A registered copy can be purchased directly from Trius, Inc. for \$20.)

### MFI Features

- On-line help is included.
- MFI interactive screens are easy to use.
- MFI's data checking and programming logic prevent many of the frequent errors that are made when preparing data files by other methods.
- MFI uses a Lotus-compatible spreadsheet for entering arrays. This allows the power of spreadsheet editing and programming functions to be used for generating model data.

- MFI makes it easy to create files for running MODPATH. Most data needed for MODPATH are directly derived from MODFLOW data.

- MFI makes it easy to specify Output Control Data.

- MFI can be used to prepare all or part of the data for a simulation. Arrays generated by other programs can be used as part of a dataset.

MODFLOW<sup>EM</sup> is able to represent flow in one, two and three dimensions in confined and unconfined aquifers under steady-state or transient conditions. Scientific Software Group has always had the most up-to-date version of MODFLOW. In addition to the above three new packages, we also include:

**Streamflow Routing Package (STR1).**

**Latest version** of the Preconditioned Conjugate Gradient Solver (PCG2).

**ZONEBUDGET** which permits the calculation of sub-regional water budgets (useful for calculating flow to well fields, entire river systems or from layer to layer).

**BCF3** provides an alternate method for calculating transmissivity between adjacent cells. It includes the rewetting capability of BCF2. The package may give more accurate results in situations where "the spatial variation of the transmissivity or hydraulic conductivity is nearly linear."

**GFDI**, documented in "A Generalized Finite-Difference Formulation for the USGS Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model," permits the user to specify interblock conductance explicitly.

**RAD-MOD** is a preprocessor to build data files needed to simulate cylindrical flow to wells with MODFLOW. It permits such simulation without coding a large rectangular array.

**Horizontal Flow Barrier Package** by Paul A. Hsieh and John R. Freckleton, USGS, simulates thin, vertical, low permeability features that impede the horizontal flow of ground water, such as a slurry wall.

Our version of MODFLOW<sup>EM</sup> uses virtual memory which permits those with small computers to use very large grids, i.e., a 386 with 2 MB of memory can simulate a system that takes 4 MB. This version of MODFLOW<sup>EM</sup> permits use of large grids to go beyond the 640K limit of DOS. The new MODFLOW<sup>EM</sup> is capable of handling up to nearly a million cells.

Interfaces to MODGRAF<sup>EM</sup>, Lotus 1-2-3, and SURFER and compatible graphics packages are included with MODFLOW<sup>EM</sup>. VIEW<sup>EM</sup> is also included at no charge with MODFLOW<sup>EM</sup>. It permits easy and rapid review of very large files produced by MODFLOW<sup>EM</sup>, MODPATH<sup>EM</sup> and other ground-water models.

### Support

Many companies currently offering ground-water modeling software do not offer adequate tech support. McDonald-Morrissey Associates is technically supporting our MODFLOW<sup>EM</sup>. Michael McDonald, co-author of MODFLOW, and Daniel Morrissey have had extensive experience in developing, teaching, and applying ground-water models. They will provide expert assistance to registered users in the application of this software to hydrologic analysis. Other companies usually restrict their support to setting up the program and computer-related problems.

MODFLOW<sup>EM</sup> includes the source code; executable version; instructions on running the program; Transient Leakage, IBS1, CHDI, SLURRY WALLS, BCF3, GFDI, Cylindrical Flow to a Well, STR1, PCG2, ZONEBUDGET, and MFI Reports/Documentations; and technical support from McDonald-Morrissey Associates. The MODFLOW Report/Doc is not included.

**Requirements:** PC 386/486 with 2 MB RAM, math coprocessor, and hard disk.

<b>Prices:</b> MODFLOW <sup>EM</sup>	\$ 300
MODFLOW Report/Doc	\$ 39
MODFLOW <sup>EM</sup> Upgrade	\$ 150

### MODFLOW<sup>EM</sup> UPGRADES

An upgrade for MODFLOW<sup>EM</sup> (previously purchased from Scientific Software Group) is \$150. If MODFLOW<sup>EM</sup> was purchased within the past 3 months, the cost of the upgrade is \$25.

MODFLOW<sup>EM</sup> (previously purchased from other sources) can also be upgraded for \$150 if accompanied by copy of proof of purchase.

*Serial Number Must Be Specified or Copy of Proof of Purchase Must Be Sent When Ordering Upgrade.*



# MODPATH<sup>EM</sup> — MODPATH-PLOT<sup>EM</sup>

*New Version Includes Transient Flow*

## MODPATH<sup>EM</sup>

**MODPATH<sup>EM</sup>** is a brand new version of the USGS particle tracking model. It now permits forward and backward tracking in transient flow fields as well as steady-state flow fields. It also permits the release of particles over a time interval.

**MODPATH<sup>EM</sup>** is the 386/486 extended memory version of MODPATH. MODPATH was developed by David Pollock of the USGS as a 3-D particle tracking program for use with MODFLOW. It operates as a postprocessor for MODFLOW using heads, cell-by-cell flow terms and porosity to move each particle through the flow field. Therefore, if a particle location is specified, MODPATH can calculate the location of the particle at any time. Thus MODPATH can be used to determine the recharge area for wells.

**MODPATH<sup>EM</sup>** runs independently or with Microsoft Windows. Interfaces to SURFER and compatible graphics packages, and AutoCAD (DXF files) and other CAD packages are included. These added utilities allow the user to perform some of the analyses available in MODPATH-PLOT<sup>EM</sup>.

**MODPATH<sup>EM</sup>** includes the source code, executable version, instructions on running the program, and technical support from McDonald-Morrissey Associates.

## MODPATH-PLOT<sup>EM</sup>

**MODPATH-PLOT<sup>EM</sup>** graphically displays the output from MODPATH. It permits display of starting points, ending points, and path lines in plan view and cross section. It uses the Graphical Kernel System (GKS) to produce graphical output on a wide range of printers and plotters. **MODPATH-PLOT<sup>EM</sup>** runs independently or with Microsoft Windows. Scientific Software Group is the only company to supply MODPATH<sup>EM</sup>'s integrated plotting program, MODPATH-PLOT<sup>EM</sup>. We continue to believe that the USGS MODPATH-PLOT Program is the best tool for viewing output from MODPATH. **MODPATH-PLOT** is more than just a display program. It provides sophisticated analysis of the MODPATH results. An important part of this analysis is the ability to rapidly create a variety of plots in order to get the best perspective of the flow system.

### Features in MODPATH-PLOT<sup>EM</sup>

- True cross sections can be displayed in addition to the original normalized cross sections. The true cross sections accurately display dipping and variable-thickness layers.
- For plan view plots, contouring of head, drawdown and gridded data (such as hydraulic conductivity) has been added.
- Model cells can be shaded, which provides another way to display spatial data.
- Plan view plots can be enhanced using a Drawing Commands File, which can specify lines, polygons, and shaded polygons to be drawn on a plot.
- In plan view plots, a mouse can be used to select points. The row and column indices for each point are displayed in addition to the X,Y coordinates. The coordinates are saved in a file so that the points can be used in a Drawing Commands File to add features to a plot.
- Interactive responses are stored in a Response File, which can be used later to reproduce a plot without repeating the interactive responses. Response Files can be edited to make minor changes to a plot without having to re-enter all the unchanged responses.
- On-line help has been added.

**MODPATH-PLOT<sup>EM</sup>** includes the source code, executable version, the GKS software (graphics), instructions on running the program, and technical support from McDonald-Morrissey Associates. Drivers for all commonly used graphics devices are also included. They are, among others, EGA and VGA monitors; HP LaserJets, PaintJets, DeskJets, Epson, and PostScript printers; and Hewlett Packard and HPGL and compatible plotters.

**Requirements:** PC 386/486 with 2 MB RAM, math coprocessor, hard disk, EGA or VGA graphics card and display, and a printer or plotter for hardcopy output.

### Prices:

#### MODPATH & MODPATH-

PLOT Report/Doc	\$ 50
MODPATH <sup>EM</sup>	\$ 300
MODPATH <sup>EM</sup> Upgrade	\$ 150

MODPATH-PLOT <sup>EM</sup>	\$ 300
MODPATH-PLOT <sup>EM</sup> Upgrade	\$ 150

#### PACKAGE PRICE:

MODPATH <sup>EM</sup> & MODPATH-PLOT <sup>EM</sup>	\$ 5
--	------

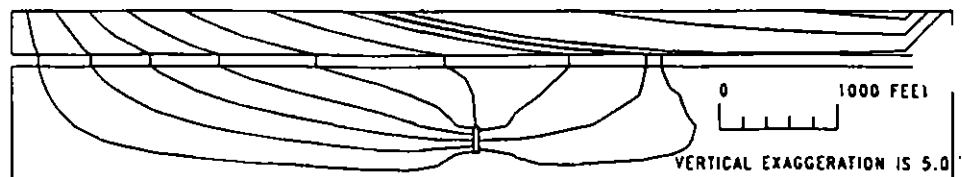
#### PACKAGE PRICE:

MODFLOW <sup>EM</sup> , MODPATH <sup>EM</sup> & MODPATH-PLOT <sup>EM</sup>	\$ 750
--	--------

## MODPATH<sup>EM</sup> & MODPATH-PLOT<sup>EM</sup> UPGRADES

Upgrades for MODPATH<sup>EM</sup> and MODPATH-PLOT<sup>EM</sup> (previously purchased from Scientific Software Group) are \$150 each. If they were purchased within the past 3 months, the cost of the upgrade is \$25 each. MODPATH<sup>EM</sup> and MODPATH-PLOT<sup>EM</sup> (previously purchased from other sources) can also be upgraded for \$150 each if accompanied by copy of proof of purchase.

*Serial Number Must be Specified or Copy of Proof of Purchase Must Be Sent When Ordering Upgrade.*



## MODINP Preprocessor for MODFLOW

**MODINP** by TECSOFT, Inc., is an input processor used to Create or Modify all Package Data Files required for MODFLOW<sup>EM</sup>. It can be used with any 386/486 extended memory version of MODFLOW<sup>EM</sup> and can also create the BCF3, STR1, GFD1, Slurry Walls, and PCG2 Package Data files. MODINP is extremely easy to use, and the Package Data Files may be created or modified very quickly. MODINP can handle the large two-dimensional grids (up to 200 X 200) encountered with MODFLOW<sup>EM</sup>. The efficient, simple method for the entry of data grids (such as boundary arrays, transmissivities, conductivities, elevations, WETDRY array, etc.) is a key feature of MODINP. The entry of data for up to 200 stress periods and 100 layers is possible. Up to 2,500 Gen-

## MODVEL

**MODVEL** is a new program which uses unformatted head files from MODFLOW<sup>EM</sup> to produce unformatted files of two-dimensional ground-water velocity vectors for each model layer. A set of ground-water velocity vectors is automatically produced for each set of data in the unformatted head file. Ground-water velocity is computed along block boundaries. X- and Y-velocity vector components are stored separately in the unformatted file. A hardcopy output file is produced. The ground-water velocity vectors may be superimposed on contour plots of head using MODGRAF. The unformatted head and velocity vector files must first be processed using MODOUT. It is included with MODGRAF. Any Lahey compiled version of MODFLOW<sup>EM</sup> may be used to produce the unformatted head file.

Price: MODVEL \$ 150

eral Head Boundaries may be entered. MODINP can also set/reset the required MODPATH<sup>EM</sup> flags (ITOP, IFACE) in the appropriate MODFLOW<sup>EM</sup> Package Files.

## MPATHIN Preprocessor for MODPATH

**MPATHIN** by TECSOFT, Inc., is an input processor used to Create or Modify the Main Data File required by MODPATH<sup>EM</sup>. It can be used with any 386/486 extended memory version of MODPATH. The MODPATH<sup>EM</sup> Main Data File consists of nine Data Groups. During creation of the Main Data File, some of the data is automatically read from existing MODFLOW<sup>EM</sup> Package Files. Data Group 5 (Grid Spacing Data—DELR, DELC arrays) and Data Group 3 (Model layer codes—LAYCON) are read from the Block Centered Flow Package File

## MODCELL

During a MODFLOW<sup>EM</sup> simulation, cell-by-cell flow terms may be saved in unformatted files when the appropriate unit numbers (IBCFCB, IRIVCB, etc.) are specified for the various packages and the Output Control Package flag ICBCFL is non-zero.

The terms which may be saved include: cell-by-cell storage terms, cell-by-cell constant head flows, and internal cell-by-cell flows.

Unfortunately, since the cell-by-cell flow terms are written to an unformatted file, they cannot be directly examined. MODCELL converts cell-by-cell flow term unformatted files to ASCII files. These files contain all terms from the unformatted files. Optionally, MODCELL creates a hardcopy output file which lists only non-zero flow terms.

Price: MODCEL \$ 125

while Data Group 8 (Boundary arrays—IBOUND) is read from the Basic Package File. NROW, NCOL, NLAY and NPER are also read from the Basic Package File. All other data is input by the user. During modification of a Main Data File, MPATHIN provides for the IBOUND array to be read either from the Basic Package File or from the Main Data File being modified. Thus, if the IBOUND array is modified for a MODFLOW<sup>EM</sup> simulation, the changes may be easily imported into the Main Data File without the need to recreate the entire file. This results in a significant time savings for problems involving larger grids.

These programs include the input processors, user's guides, and technical support.

Prices:	
MODINP	\$ 125
MPATHIN	\$ 125

## TECVIEW

**TECVIEW** is a virtual memory (page swapping) program for viewing and printing portions of very large ASCII files such as the large hardcopy output files which may be generated by any extended memory program, i.e., MODFLOW<sup>EM</sup>, MOC, MODPATH<sup>EM</sup>, MOC DENSE, etc.

Files may be selected from a Pick List. Portions of an ASCII file may be printed.

Options include:

- Scrolling (up, sideways, down)
- Paging (up, down)
- Find String; Repeat Find
- Go to Line
- Set Markers; Go to Markers
- Display Ruler; Help

Price: TECVIEW \$ 100

## MODLOCAL – Constructs Localized MODFLOW Models

**MODLOCAL** consists of three modules: MODGROW, MODSTRES, and MODSTREM. MODLOCAL is used to construct localized MODFLOW models from existing regional MODFLOW models. MODLOCAL takes, as input, a complete set of MODFLOW package files for a regional model and creates a new, complete set for a model which includes an arbitrary, user-defined localized region. MODGROW expands all IBOUND arrays including IBOUND arrays. MODSTRES modifies all stress package files. The original package files are not altered. Context-sensitive help is available. A mouse may be used. Input to MODGROW

consists of the beginning and ending row and column numbers which define the local region to be discretized and the number of rows and columns to be contained within this region. MODGROW automatically interpolates or fills all arrays in the applicable Basic, Block-Centered Flow, Recharge and Evapotranspiration Files. IBOUND arrays are also automatically modified by filling. MODSTRES is used to modify the regional MODFLOW Well, Drain, River, and General Head Boundary package files to maintain consistency with the local model. Existing row and column numbers and conductances are automatically modified if

within the local region. Records for all stress periods may be added, deleted and modified within these package files using MODSTREM. All data records within these files are sequentially displayed.

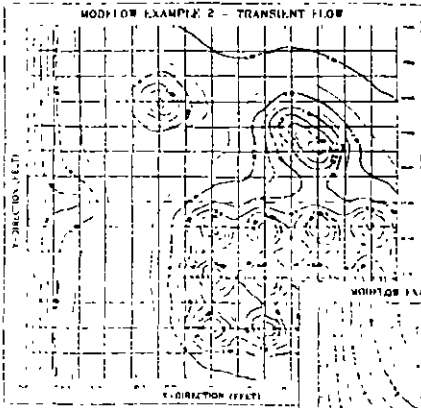
MODLOCAL and MODLOCAL+ include the executable codes, user's guides, and technical support.

Requirements: PC 386/486 with 2 MB RAM, math coprocessor, and hard disk.

Prices:	
MODLOCAL (200 X 200)	\$ 500
MODLOCAL+ (400 X 400)	\$ 600

# MODGRAF

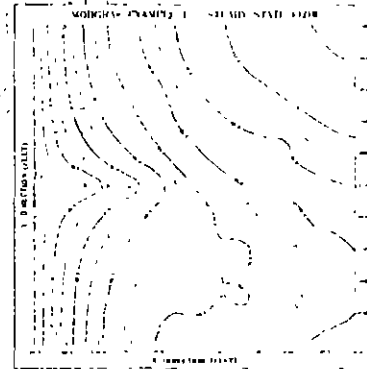
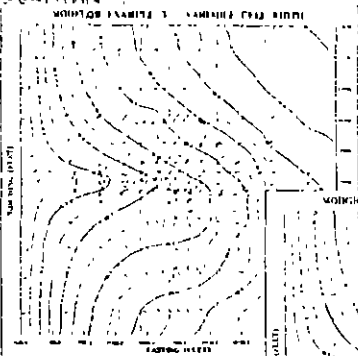
**Provides Graphics for MODFLOW & Includes Ground-Water Velocity Vector Capability**



MODGRAF automatically contours heads and drawdowns from each layer, stress period, and time step of the simulation and can generate and superimpose ground-water velocity vectors on the head contour plots.

MODGRAF can process and create contour plots for up to 100 sets of head or drawdown data in a single execution and save the results in a single file.

Several methods of contour control are available: the program automatically selects a pleasing set of contour levels, the user specifies specific contour levels, or the user specifies the minimum/maximum contour levels and increment.



*Menu-Driven  
Easy to Use  
One of a Kind  
Executes Quickly*

*Context-Sensitive Help  
Contour 100 Data Sets  
Variable or Constant Grid  
Zoom-In Feature*

A background grid representing row and column cell widths may be superimposed on the contour plots.

Colors for frames, title and axis labels, major and minor contour lines, background grids and velocity vectors may be specified.

Both variable and constant stepsize grids may be used.

MODGRAF is menu driven, runs in a batch shell and is very easy to use.

TRANSLATE (included) produces graphics on a wide variety of devices and creates HPGL files. TRANSLATE DXF is also available.

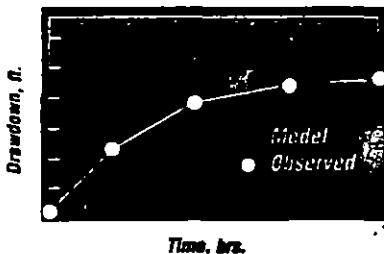
Up to 100 contour levels may be generated and upper and lower velocity vector magnitude bounds may be specified.

Zoom In to contour any portion of the grid.

Prices:	
MODGRAF (200 X 200)	\$ 35
MODGRAF (400 X 400)	\$ 400
TRANSLATE with DXF Interface	\$ 100

# MODPUMP

## MODFLOW Simulated Pumping Test Model



MODPUMP is a computer program that allows calculation of aquifer parameters for a single or multiple (up to three) layer aquifer systems, by simulating field pumping test data using the MODFLOW model. The program allows calculation of hydraulic conductivity, storage coefficient, specific yield and vertical leakage for up to three-layer aquifer systems. The aquifer parameters are calculated by trial and error, using graphical data points matching techniques, where the observed drawdown at various time periods from a field pumping

test are graphically compared to MODFLOW simulated drawdown. MODPUMP has the following capabilities:

**Interactively** input initial trial hydraulic parameters, via user-friendly environment of four windows with automatically prompted input fields.

**Specification** of constant or variable pumping rates, including interruptions of pumping during the pumping test.

**Execution** of MODFLOW model from within the program and generation of a graphic that compares the observed drawdown with the MODFLOW calculated drawdown.

**For** multiple layer aquifers, the program allows specification of the layer from which the water is withdrawn during the pumping test, and the layers of each observation point (up to four points are allowed). This option of vertical specification of pumping and ob-

servation wells allows a better definition of the hydraulic behavior of the aquifer system and a more accurate estimation of horizontal flow and vertical flow parameters.

**Setup** of MODFLOW simulated pumping test within two to three minutes and calculation of aquifer parameters that are fully compatible for inclusion into a 3-D ground-water model.

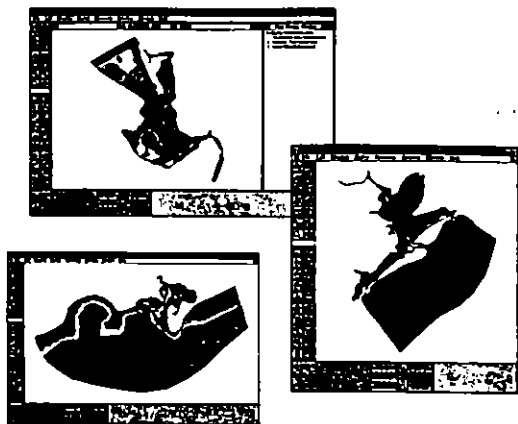
The most important aspect of this program is that it allows the user to simulate almost any field pumping test data, be it complete or partial (i.e., variable pumping rate during the test, interruptions of pumping, observation wells installed in layers other than the layer of water withdrawal, limited data points etc.).

**Requirements:** 386/486 with 4 MB RAM (8 MB preferred) and math coprocessor.

**Price: MODPUMP \$ 250**

# FastTABS

## Hydrodynamic Modeling



- **Performs** 2D flow simulation in the time required for typical 1D HEC-2 analysis.
- **Sophisticated** mesh generation and editing tools.
- **Output** graphics include vector plots, color-shaded contours, and time history plots.
- **Includes** preprocessor, postprocessor and analysis software.

FastTABS is a graphical preprocessor and post-processor for the TABS-MD (included) suite of computer programs developed by the U.S. Army Corps of Engineers for modeling shallow water flow. FastTABS is used to construct 2D finite-element meshes of rivers, bays, or wetland areas. A sophisticated set of mesh generation tools are provided in FastTABS to handle even the most difficult modeling situations. Sets of scattered data points can be triangulated. Large rectangular or triangular regions can be meshed quickly using Coons patches. Arbitrarily shaped polygonal regions can be automatically filled with elements using a variety of techniques. Existing digital elevation data can be imported and used as a background to generate elevations for meshes. A variety of interactive editing tools are provided to accurately model special features or objects in the mesh such as breakwaters, sand bars, islands, or man-made structures. All data including boundary conditions and material properties are input using interactive graphics. An interface to FESWMS-2DH is due for release in July 1995.

**Requirements:** Windows: PC 386/486/Pentium running Microsoft Windows, math coprocessor, and 4 MB RAM (8 MB recommended). Unix X-Windows: IBM RS6000, Sun SparcStation, HP 9000 Series 700/800, Silicon Graphics, and DEC Alpha.

### Prices: (Universities - 50% Discount)

Windows	
Basic (250 Elements)	\$ 575
Enhanced (750 Elements)	\$ 1,450
Professional (Unlimited)	\$ 2,400
Unix X-Windows	\$ 3,400

# MT3D

## A Modular 3-D Transport Model



**N**umerical modeling of contaminant transport, especially in three dimensions, is considerably more difficult than simulation of ground-water flow. Transport modeling not only is more vulnerable to numerical errors such as numerical dispersion and artificial oscillation, but also requires much more computer memory and execution time, making it impractical for many field applications, particularly in the micro-computer environment. There is obviously

a need for a computer model that is virtually free of numerical dispersion and oscillation, simple to use and flexible for a variety of field conditions, and also efficient with respect to computer memory and execution time so that it can be run on most personal computers - **MT3D is that model!**

MT3D is a comprehensive three-dimensional solute transport model for simulation of advection, dispersion, and chemical reactions of contaminants in ground-water systems. The model program is based on a modular structure to permit simulation of transport components independently or jointly. MT3D is capable of simulating advection, dispersion, first-order decay or production reactions, and linear and non-linear sorption. MT3D is linked to the USGS MODFLOW model and is extremely easy-to-use for anyone who has already used MODFLOW. MT3D has been extensively tested, is very accurate, and is very cost-efficient to run. MT3D is an ideal tool for practical two-dimensional or three-dimensional transport modeling.

### Key Features

- **Completely compatible** with the USGS MODFLOW model, including three-dimensional transient flow fields with the presence of wells, drains, rivers, recharge, evapotranspiration and a variety of boundary conditions.
- **Implemented** with three basic solution options: the method of characteristics (MOC), the modified method of characteristics (MMOC), and a hybrid of these two methods (HMOC). This approach combines the strength of MOC for eliminating numerical dispersion and the computational efficiency of MMOC, making MT3D uniquely suitable for a wide range of field problems. In addition, MT3D can also be used in the standard finite-difference mode.
- **Accommodates** the following spatial discretization capabilities: (1) confined, unconfined or variably confined/unconfined aquifer layers, and (2) inclined model layers and variable cell thickness within the same layer.
- **Comes with** executable programs ready to run on 80386/486-based PC's. Executable programs are based on dynamic memory allocation to use all extended memory that is available. The source code written in standard FORTRAN 77 is included for implementation on Macintoshes, workstations, or mainframes.
- **Includes** a post-processing program to assist the plotting of concentration breakthrough curves and contour maps using SURFER or other graphics packages.

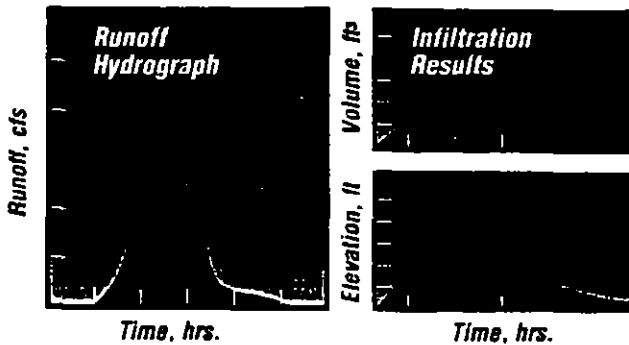
**Requirements:** PC 386/486 with 2 MB RAM, hard disk, math coprocessor, and graphics card and display.

Price: MT3D

\$ 500

# MODRET

*Unsaturated and Saturated Infiltration  
from Stormwater Ponds Using MODFLOW*



**Generation** of XYZ data files which can be used by other programs (SURFER, AutoCAD, etc.) to generate ground-water contour maps and 3-D surfaces.

**Generation** of report-quality tabular and graphical printouts of input and output data.

**MODRET** is an easy-to-use, interactive, computer program that calculates unsaturated and saturated infiltration losses from stormwater retention/detention ponds in unconfined aquifers, with a variety of utility modules that give versatility to the model. Other capabilities include:

**Generation** of single watershed stormwater runoff hydrographs, using SCS Unit Hydrograph, Rational and Santa Barbara Urban Hydrograph methods, with graphical display of the results.

**Routing** of runoff hydrographs (MODRET generated and/or others) through infiltration losses of ponds, and generation of infiltration routed hydrographs.

**Specification** of overflow devices (weirs, orifices and rating curves) for the stormwater retention/detention ponds and calculation of total volume and peak discharges.

**Generation** of ground-water elevation cross-sectional graphics with ZOOM capabilities.

**MODRET** uses a modified Green & Ampt infiltration equation to calculate the unsaturated infiltration and a modified USGS MODFLOW model to calculate saturated infiltration. The MODFLOW model was modified to allow weir, orifice and rating curve flow options. The program is fully supported by engineering technical staff and includes a detailed user's guide that allows explanations of the model menu screen prompts to assist the "first time" user in understanding the conventions and functions of each prompt.

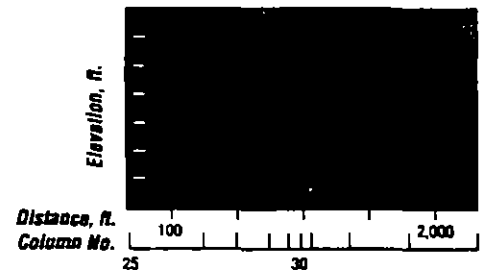
**Requirements:** PC 386/486 with 4 MB RAM and math coprocessor.

**Prices:**  
**MODRET** \$ 300  
**MODRET Upgrade** \$ 100

# MODCROS

*Generates Cross Sections  
from MODFLOW*

**MODCROS** is a computer program that allows graphical display of a cross section of heads (ground-water elevations) along any row or column of a MODFLOW model grid system. This program uses the BASIC data file, the Block Centered data file and the MODFLOW output (ASCII) data file (not BINARY) to read the grid size and dimensions and the model output results. The program provides the following capabilities:



**Graphically displays** a cross section for a specified aquifer layer, stress period, and time step of a MODFLOW output data set.

**Generation** of a cross section along any row or column of the model grid.

**Unlimited** magnification of the scale along rows or columns, using ZOOM options.

**Generation** of cross-sectional graphics, using HP LaserJets or Epson/Citizen default printers, or any other printer with Print Screen command.

**Requirements:** PC 386/486 with 4 MB RAM.

**Price:** MODCROS \$ 100

# Filter Drain

*Design of Side Drains, Bottom Drains, and Underdrains*

**Filter Drain (FD)** is a computer program that allows quick and easy design (or review of design) of a filtration and/or an underdrain system of stormwater retention/detention systems. The stormwater retention/detention system can be ponds, lakes, underground trenches, wetlands, canals, rivers, etc., from which water is discharged via perforated pipes embedded in filter material (i.e., clean fine sand, gravel, natural soil, or other filter material). The Filter Drain program has the following capabilities.

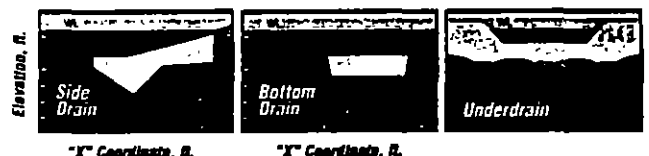
**Input** of initial design parameters, and then graphically review the default filter drain

dimensions, which are automatically selected by the program.

**Calculation** of the required length of filter drain system to recover (discharge) a specified retained/detained volume of water from the retention/detention system, within a specified period of time.

**Tabular** and graphical review of model results.

**Generation** of report-quality input and output data, in a tabular and graphical format.



**Generation** of detailed graphics with design parameters and typical construction specification (which can be edited by the user), suitable for insertion into report construction documents.

**Requirements:** 386/486 with 4 MB RAM.

**Price:** Filter Drain \$ 300

# MODINV

## MODFLOW Parameter Optimization

*Runs in Microsoft Windows*

*Includes ZONEBUDGET*

*Compatible with  
PROCESSING MODFLOW (PM)*

*Interface to SURFER*

**M**ODINV is a suite of programs which include and considerably enhance MODFLOW. Each member of the suite carries out some useful aspect of MODFLOW preprocessing or postprocessing including:

- **Grid** construction.
- **Construction** and manipulation of two-dimensional real and integer data arrays.
- **Interpolation** of MODFLOW head and drawdown arrays to bore locations.
- **Interpolation** of MODFLOW head and drawdown arrays to an arbitrary transect through the finite-difference grid.
- **Formatting** of model data (including multi-layered transects, head/drawdown vs time at selected boresites, 2-D head/drawdown arrays) for input to most popular spreadsheet, graphing and contouring software.
- **Translation** of grid parameter zonation to SURFER display format.
- **Translation** of MODFLOW output arrays to SURFER "GRID" format.
- **Parameter optimization.**

MODFLOW itself is included, so that the MODINV suite on its own is a complete ground-water modeling tool kit. The source code (in near-standard FORTRAN) as well as a set of DOS (extended memory) executables, is provided so that the suite can be compiled for use on any machine.

The MODINV suite is compatible with the MODFLOW and MODPATH Graphical Preprocessor and Postprocessor, PROCESSING MODFLOW-PM (see pg. 3).

Foremost among the MODINV suite of software is the program MODINV itself. MODINV (for MODflow INVersion) is a powerful non-linear weighted least squares MODFLOW parameter value optimizer.

When a single or multiple set of borehole water levels, MODINV is able to adjust parameter values within the active part of the MODFLOW finite-difference grid until the fit between observed and calculated bore-

hole heads is minimized in the least squares sense. "Parameter values" are the values taken by any physical property that MODFLOW can read as a two-dimensional real array within each of a number of zones of user-defined parameter constancy over the grid. Hence parameter types include transmissivity, hydraulic conductivity, storage capacity, recharge, etc. Parameter values can be mathematically transformed for greater optimization efficiency and to keep them within allowable limits. They can be grouped so that values are optimized in sets, the relative values taken by parameters of a particular type within each such set remaining constant during the optimization process. Also, one or a number of parameter values of a type being optimized can be fixed if its value is known or to enforce optimization stability.

MODINV can optimize parameter values for any model type that MODFLOW can run—single or multilayered, confined or unconfined, steady state or transient. At the end of its run, parameter values are tabulated together with the parameter value covariance matrix with its eigenvectors and eigenvalues. These provide a quantitative estimate of parameter value uncertainty levels which may then be used to estimate cali-

brated model predictive accuracy. MODINV incorporates the BCF2, STR1, and PCG2 packages as well as ZONEBUDGET. The BCF2 package permits the wetting of dry cells in MODFLOW. The PCG2 package increases the execution speed for most model types. ZONEBUDGET is a USGS program for calculating MODFLOW subregional water budgets.

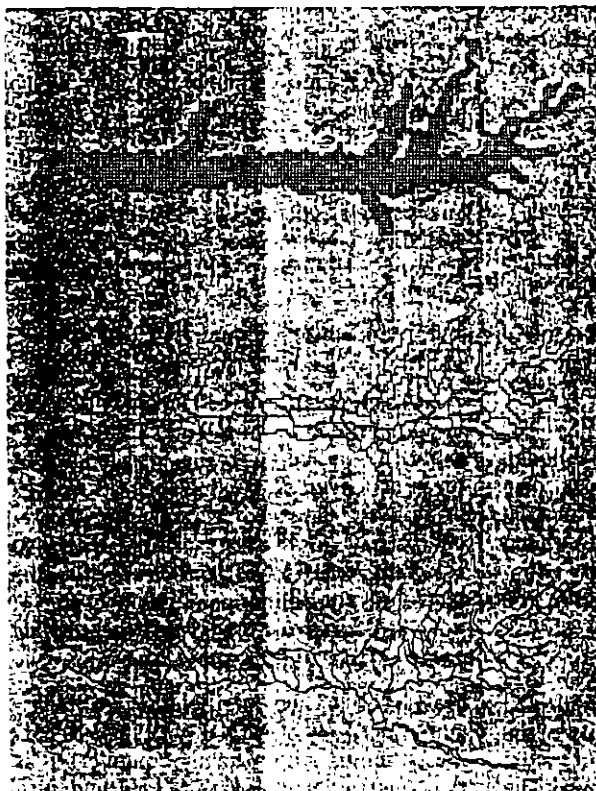
All MODINV-suite executables are capable of using as much extended memory as your machine has available, allowing their use with large models. MODINV can run within a DOS box of Microsoft Windows, freeing up your machine for other uses while MODINV carries out the numerically intensive task of model calibration.

MODINV includes the source code; executable version; BCF2, STR1, PCG2 and ZONEBUDGET manuals; comprehensive user's manual; and technical support. The MODFLOW Report/Doc is not included.

**Requirements:** PC 386/486 with 1 MB RAM, math coprocessor, and hard disk.

**Prices:**

MODINV	\$ 800
MODFLOW Report/Doc	\$ 39



*Observed and MODFLOW-generated contours over a large alluvial aquifer—the finite-difference grid and user-defined parameter zonation are also shown. Hydraulic conductivity and storage capacity within each zone were adjusted by MODINV for optimum fit between observed and model contours. The figures were produced by SURFER using files prepared by MODINV-suite software.*

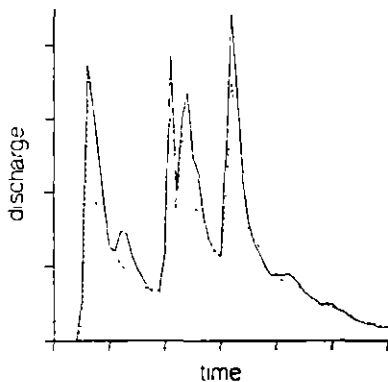
# PEST

## Parameter Estimation for Any Model

**P**EST is revolutionizing model calibration. In hydrology, engineering, geophysics, biology, economics and many other fields, PEST is changing the way people work with models. Nonlinear parameter estimation has never been this easy or this robust. For the first time, PEST places this powerful mathematical technique into the hands of all modelers thanks to two important breakthroughs.

Firstly, PEST communicates with a model through the model's own input and output files. A model does not need to be adjusted, re-cast as a subroutine or even recompiled to be used with PEST; you do not need to have the model's source code. You simply use your existing model in the way you would normally use it. PEST's only requirements of a model are that it reads its data from one or more text input files, writes its outputs to one or more text output files and can be run using a DOS command.

Secondly, PEST implements a particularly robust form of the Gauss-Marquardt-Levenberg method of parameter estimation. Its innovative optimization algorithm includes a sophisticated derivatives calculator which allows successful parameter estimation even for large numerical models, and for those "messy" models with which the environmental sciences abound.



*Rainfall-runoff model calibration using PEST.*

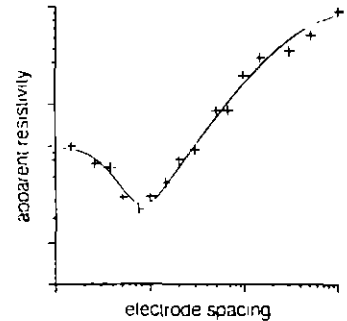
PEST works by "taking control" of a model, running it as many times as it needs to in order to find that parameter set for which the discrepancies between model-calculated numbers and their field or laboratory counterparts are as small as possible in the weighted least squares sense.

PEST's unique ability to interface with a model through the model's own input and output files adds enormous flexibility to the calibration process. Parameters and model outputs can reside on one or many files. The

"model" can, in fact, be a batch file which runs a number of "sub-models" one after the other, the inputs of one depending on the outputs of another. Or the "model" can include pre and postprocessing software which calculates important model parameter or output statistics. These statistics can then be included in the optimization process by comparing them with their field or laboratory counterparts. The possibilities for innovative, case-specific parameter estimation are limited only by a modeler's imagination.

Wrap PEST around any model to create a sophisticated nonlinear parameter estimator for that model. Through this single program you can enforce a quantum leap in the power

and versatility of all your present and future models.



*PEST can be used in geophysical data interpretation.*

## PEST UTILITIES FOR MODFLOW AND MT3D CALIBRATION

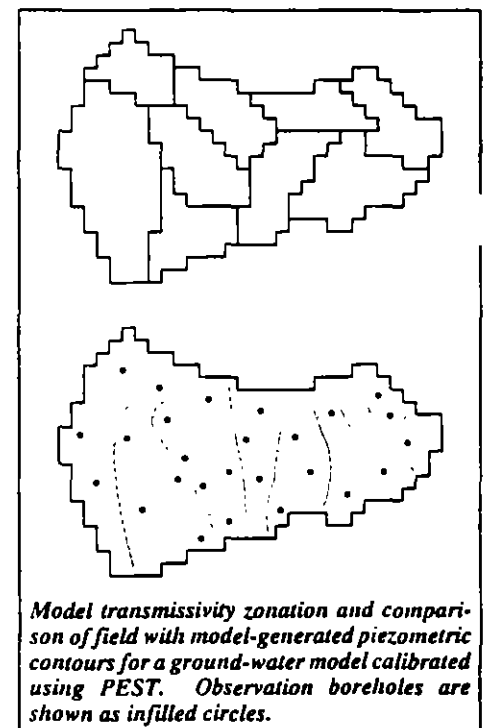
**T**he PEST MODFLOW/MT3D Utilities are a set of programs which automate construction of PEST interface files for use with MODFLOW and MT3D. Also provided are programs which interpolate MODFLOW and MT3D unformatted output files to borehole locations for direct comparison with field measurements.

The PEST MODFLOW/MT3D Utilities can be used with any version of MODFLOW or MT3D supplied by any vendor. They can never become outdated as MODFLOW and MT3D continue to be upgraded, for PEST's operation is independent of the model which it calibrates.

The Utilities are designed to facilitate calibration of MODFLOW against borehole-measured heads and/or drawdowns, and MT3D against borehole-measured concentrations. However, because of the open-ended nature of the PEST-model interface, this can be extended according to the demands of any particular modeling problem.

Adjustable parameters can include just about anything found on a MODFLOW or MT3D input file, including tabulated data such as drain and riverbed conductance, as well as array-based data such as transmissivity, recharge and dispersivity. Using PEST to calibrate MODFLOW and MT3D has the added advantage that once you own PEST, you can use it to calibrate your other models as well.

**Note:** Use of the interpolation utility assumes versions of MODFLOW and MT3D are compiled with a Lahey compiler (as is the commercial version of MT3D, and most



*Model transmissivity zonation and comparison of field with model-generated piezometric contours for a ground-water model calibrated using PEST. Observation boreholes are shown as infilled circles.*

commercially-supplied versions of MODFLOW). However, the source code of the interpolator is provided for those users who would like to recompile these programs themselves using another compiler.

**Requirements:** IBM-PC or compatible with math coprocessor. If your machine has extended memory, PEST can use extra memory to run more complex c

**Prices:** PEST \$ 500  
PEST Utilities \$ 100

# GMS

## Groundwater Modeling System

The Department of Defense GMS is a comprehensive graphical modeling environment designed for the simulation of ground-water flow and transport. The interface is written, however, so that it can be used for any type of 2D or 3D modeling.

GMS integrates and simplifies the process of ground-water flow and transport modeling by bringing together the majority of the tools needed to complete a successful study. Features include site characterization, two- and three-dimensional mesh generation, graphically-based model input for finite-element and finite-difference flow and transport codes, interpolation and geostatistics, DXF input and output, as well as complete 3D visualization.

GMS is available in both the UNIX X-Windows and Microsoft Windows environments. A common user interface, developed on both of these platforms takes full advantage of graphical interaction and editing techniques. The GMS interface is divided logically into nine well-integrated, task-oriented modules. These modules are: Triangulated Irregular Networks - Borehole Data - Solid Models - 2D Meshes - 2D Grids - 2D Interpolation - 3D Meshes - 3D Grids - 3D Interpolation.

### MODFLOW

GMS is the most advanced pre and postprocessor available for the USGS ground-water model, MODFLOW. Fast point-and-click methods can be used to assign aquifer properties and boundary conditions. Intuitive dialogs, used to set up each of the MODFLOW packages, can also be used. Model calibration can be streamlined using the GMS gages tool. Close coupling with the GMS interpolation and geostatistics tools enable seamless definition of initial conditions and material properties.

### MT3D

GMS also provides an extensive graphical interface to the contaminant transport model, MT3D. The MT3D interface has been coupled with the MODFLOW interface to allow fast and efficient transport solutions utilizing the head and flow results from a preceding MODFLOW simulation.

### FEMWATER

FEMWATER is a fully three-dimensional finite-element flow and transport model. It provides density driven, coupled flow and contaminant transport in both saturated and unsaturated conditions. GMS produces a fast and efficient integration of preprocessor, analysis and solution.

*A New Standard  
for Groundwater  
Modeling!*



### 3D Visualization.

GMS has coupled the most advanced flow and transport codes available with the state-of-the-art in scientific visualization. From simple two-dimensional contour plots of head and drawdown to fully three-dimensional, rendered iso-surfaces of contaminant plumes, it is second to none in graphics and visualization.

### Geostatistics

GMS has integrated a variety of two- and three-dimensional geostatistical and interpolation schemes within the system. A graphical interface to the standard Kriging libraries, GSLIB, enables rapid and intuitive generation of experimental and model variograms. Kriging and other methods can be used to characterize two- and three-dimensional contaminant plumes or for defining initial conditions and material properties for ground-water models.

### Animation

The only way to truly visualize transient solutions is by utilizing animation. The GMS "film loop" tool enables rapid generation of animations depicting drawdowns and head changes over time as well as two- and three-dimensional migration of contaminant plumes.

### Site Characterization

GMS provides an extensive set of tools for modeling the stratigraphy of an existing site. Borehole data in the form of ASCII input files can be used to graphically build solid models of subsurface features. Fence diagrams and cross sections can be quickly defined to illustrate these features.

### Automated Mesh Generation

One of the most time-consuming parts of a modeling project is the generation of the computational mesh. GMS automates the process with its comprehensive set of tools for generating two- and three-dimensional finite-element and finite-difference grids. Some of these tools include utilizing site maps directly from AutoCAD to define boundaries and interior features. Boreholes can be used to build three-dimensional finite elements. Graphical editing tools can also be used to modify an existing mesh.

**Requirements: Windows:** PC 386/486/Pentium running Microsoft Windows 3.1, 16 MB RAM (32 MB RAM recommended), and math coprocessor. **UNIX X-Windows:** IBM RS6000, Sun SparcStation, HP 9000 Series 700/800, Silicon Graphics, and DEC Alpha.

Prices:	Windows/X-Windows
*MODFLOW Pkg (grids, MODFLOW interface)	\$ 900/\$1,400
*MODFLOW/MT3D Pkg (grids, MODFLOW/MT3D interface)	\$1,250/\$1,900
*FEMWATER Pkg (meshes, subsurface characterization, FEMWATER interface)	\$1,850/\$2,750
Geostatistics Pkg (grids, geostatistics)	\$1,000/\$1,550
*Geostatistics Component for above packages	\$ 650/\$1,000
Universities - 50% Discount	
<b>Total Package</b>	<b>\$3,500/\$5,500</b>



# Argus Numerical Environments

## General Purpose Finite Element and Finite Difference Numerical Pre-Processors

For Windows, Unix Workstations, Macintosh and Power Macintosh

**Argus Interware, Inc.** offers numerical pre-processing tools for a wide range of engineering applications. **Argus MeshMaker** is comprised of a variety of modules including a **Finite difference grids** module, a **Triangular finite element** module and a **Quadrilateral finite element** module, all integrated within the Argus Numerical Environments.

Argus MeshMaker enables you to easily and intuitively prepare your data for any modeling package, finite element as well as finite difference based. By automatically linking the physical data you enter in GIS layers to grid blocks or mesh nodes and elements, Argus MeshMaker keeps your data reusable. **Changing your mesh or grid doesn't require you to re-enter your data.**

### MeshMaker's Workplace

In MeshMaker's workplace, different types of information are created, edited and maintained in separate CAD-like layers. The number of layers is unlimited.

### Mesh Layers

A mesh is created using automatic mesh generation tools. With interactive editing tools the mesh can be easily edited by point, click and drag techniques.

### Grid Layers

A grid is created using auto gridding tools. Rows and columns can be manually added and deleted, the grid can be resized and relocated, and blocks are automatically removed to follow the domain's outline. Block Centered and Grid Centered Grids are supported.

### Domain Outline Layers

The domain's outline is created using on-screen digitizing tools or imported DXF files. The outline specifies the domain to be discretized, and the desired mesh/grid densities. A domain outline may contain internal discontinuities, river or fault lines and point sources.

### Information (GIS) Layers

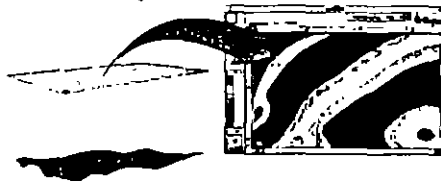
Information Layers enable you to incorporate, visualize, and edit the spatial distribution of any physical parameter such as topographical data, material properties, geographical information, initial and boundary conditions, sources and sinks, etc. The data can be automatically assigned to meshes and grids.

### Orientation Layers

Background maps can be drawn or imported into Orientation Layers to facilitate orientation within complex geographical and topological domains. Bitmap as well as vector formats are supported. Arcs, circles, lines and rectangles can be created and copied into other orientation, information and domain layers.

### Bringing in Your Data

By importing information from ASCII and DXF files, digitizing from background pictures and using point & click contouring tools you describe the spatial distribution of continuous and discrete information and store it in information (GIS) layers. In Information



layers you can store topographical data, material properties, geographical information, initial and boundary conditions, sources and sinks, etc. The information you bring into the

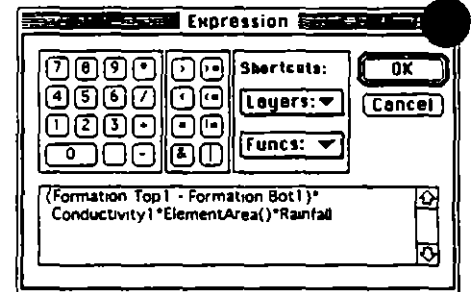
MeshMaker workplace can be used to define the domain to be meshed or grided, to affect the mesh and grid density, and it can also be automatically linked to mesh nodes and elements and to grid blocks/cells.

### Linking Your Data to Meshes & Grids

Link your information layers to Grid and Mesh objects and MeshMaker automatically assigns them their respective values in each of the information layers. When you refine your grids or meshes MeshMaker automatically reassigns them their new values.

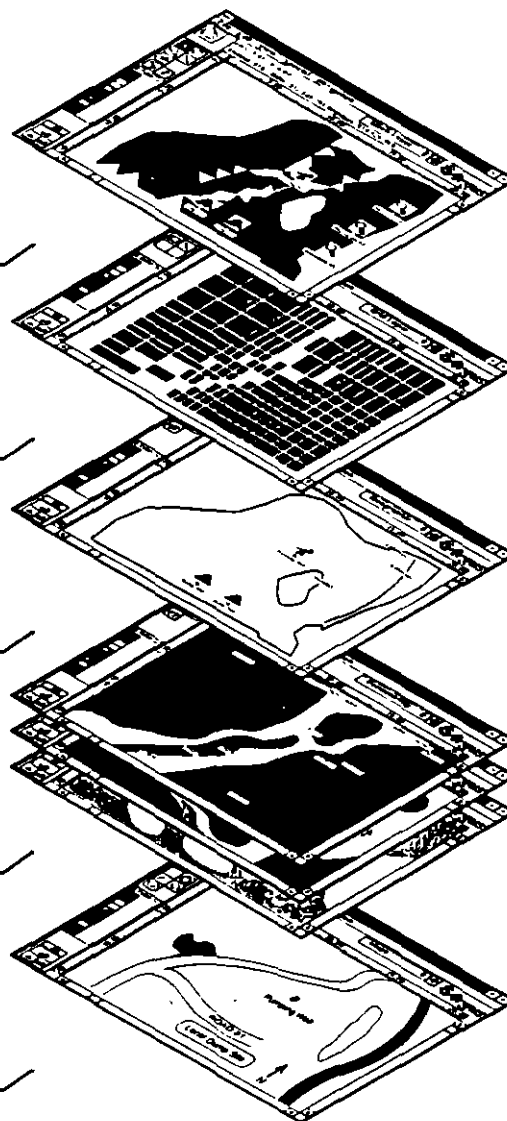
### Calculating Complex Expressions

To easily calculate complex expressions use MeshMaker's expression editor and the abundance of functions supplied. You can calculate the "Thickness" of a geological formation, the mass through an element or a block, the length of a "River" or "Fault" crossing an element or a block and the mass it contributes to them. You can also interpolate any parameter onto a grid or a mesh. Using these powerful tools will save you many programming hours.



To incorporate functions and layers names in expressions, pop-up the Funcs & Layers menus and choose the layer or function.

- **Mesh Functions:** MeshArea, NumElements, NumElemParameters, NumNodeParameters, NumNodes, NumParameters
- **Element Functions:** ElementArea, ElementNumber, ElementOnBoundary, GCenterX, GCenterY, MinAngle, NthAngle, NthNeighbourNum, NthNodeNum, NthSideCenterX, NthSideCenterY, NthSideLength
- **Node Functions:** NodeEffectiveArea, NodeNumber, NodeOnBoundary, PositionX, PositionY
- **Grid Functions:** ActiveArea, NumColumns, NumParameters, NumRows, TotalArea, NthColumnPos, NthRowPos
- **Block (Cell) Functions:** BlockArea, BlockActive, BlockOnBoundary, Column, ColumnsInBlock, NthBlockSideLength,



NumBlockParameters, Row, SumObjectsInBlock, WSumObjectsInBlock

•**Math, Trig & Hyperbolic Functions:** Abs, Div, Exp, Log, Log10, Mod, Power, Sqrt, ACos, ASin, ATan, ATan2, Cos, CosH, Sin, SinH, Tan, TanH

•**Other Functions:** X, Y, If, Index, Interpolate

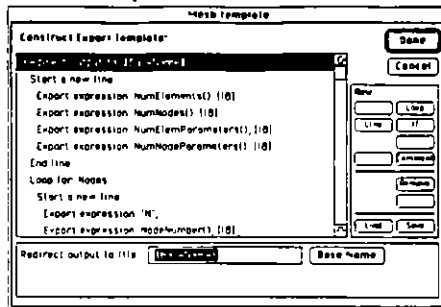
•**Algebraic & Boolean Operators:** \*, /, +, -, >, >=, <, <=, =, !=, &, |

### Export to All Your Numerical Models

Whether you develop your own numerical models, use public domain models or work with commercial models, MeshMaker enables you to do your pre-processing in one friendly environment and export the data you linked to your grid and mesh to all your models. Using the Export Template dialog you create an Export Template for each of the models you use and save it to disk. Whenever you need to export your data to a model, just load the appropriate Export Template form disk and choose the Export menu. Using export templates, Argus MeshMaker users ex-

port their data to different models such as:

- All USGS Public Domain models
- Commercial numerical models such as: COSMOS/M, MATLAB, ECLIPSE, etc.
- Self Developed models



### Orientation

Find your way in complex domains using:

- User-definable coordinates, scale & units
- Drawing and text annotation tools
- Import DXF, BMP, TIFF, GIF & Bitmap
- Zooming by percent
- "Go to" and "Find" node/element/block
- Layer Hiding - reduces information clutter
- Extensive Search and Query capabilities

### General

- Unlimited number of windows
- Unlimited number of layers
- Undo/Redo all commands
- File compatibility across all platforms
- On-screen digitizer

### Printing Your Projects

Argus MeshMaker is device independent. Projects can be printed to any output device supported by your system such as: dot matrix, laser printers, postscript printers & plotters.

### Protect Your Investment in Hardware

Regardless of the hardware you've purchased, or about to purchase, Argus products run on all your computing platforms.

- PC Windows Version - PC 486, 8 Mb RAM, hard disk, and Windows 3.1 or NT.
- UNIX Workstations Version - X Windows, call or write for other requirements.
- Macintosh Version - Any Macintosh, 8 Mb RAM and hard disk, System 6.0.4 or higher.
- Power Macintosh Version - Any Power Macintosh, 16 Mb RAM and hard disk, System - as recommended by Apple.

## Argus MeshMaker Pro - Grid & Mesh Modules

The Argus Numerical Environments are designed to support an unlimited number of different types of finite difference grids and finite element meshes. All of the available grid and mesh types are integrated within the Argus Numerical Environments using a consistent user interface. To allow you to purchase only the grid and mesh types you use, the following Argus MeshMaker topological modules can be ordered separately:

### Grids finite difference module

The finite difference grid module is the basic entry level module†.

To automatically grid even the most complex domains, define the domain and click a magic wand in it. You can easily set different block/cell sizes at different areas of the domain. All grid objects can be linked to information layers to allow you to easily export your data.

#### Grid and Grid Editing

- Fast Auto Grid Generation for both block centered and grid centered grids
- Unlimited number of blocks/cells
- Intuitive grid density (block size) setting
- Refining of a grid or parts of a grid
- Manual row and column creation
- Click to select grid, blocks, rows/columns
- Grid blocks are linked to information (GIS) layers
- Automatically and manually remove grid blocks to follow the domain's outline
- Assign graphical icons to blocks

### Triangular finite element module

The triangular finite element module is bundled with the finite difference module.

To automatically mesh even the most complex domains, define the domain and click a magic wand in it. You can easily set different element sizes at different areas of the domain. All mesh objects can be linked to information layers to allow you to easily export your data.

#### Triangular Meshing and Mesh Editing

- Fast Auto Mesh Generation, 1000 elements in under a minute on PC and Mac and under 5 seconds on UNIX workstations
- Unlimited number of nodes and elements
- Auto mesh multiple domains at once
- Refine and Smooth a mesh
- Nodes & Elements are linked to information (GIS) layers
- Renumber (band width optimization)
- Manually create, move & reshape elements
- Assign graphical icons and alpha-numeric values to nodes and elements

### Quadrilateral finite element module

The quadrilaterals finite element module is bundled with the finite difference module.

To automatically mesh even the most complex domains, define the domain and click a magic wand in it. You can easily set different element sizes at different areas of the domain. All mesh objects can be linked to information layers to allow you to easily export your data.

#### Quadrilateral Meshing and Mesh Editing

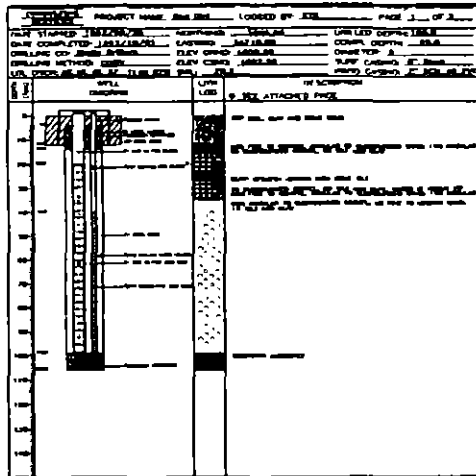
- Fast Auto Mesh Generation, 1000 elements in under 2 minutes on PC and Mac and under 10 seconds on UNIX workstations
- Unlimited number of nodes and elements
- Auto mesh multiple domains at once
- Refine and Smooth a mesh
- Nodes & Elements are linked to information (GIS) layers
- Renumber (band width optimization)
- Manually create, move & reshape elements
- Assign graphical icons and alpha-numeric values to nodes and elements

# TECHBASE

## Geologic Information System

**T**ECHBASE is a versatile three-dimensional geologic information system with over fifty special-function modules which perform database, analytical, model-

Standard or custom pattern fills for lithology and oil type, downhole histograms and line graphs for geophysical and geotechnical data and color are all supported.



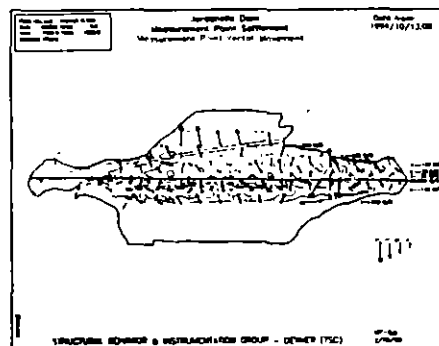
ing, and graphical tasks. Based on a core relational database, TECHBASE supports basic project needs such as data storage, QA/QC functions, algebraic calculations, and data editing, as well as tabular and graphic data reporting. Unlike conventional Geographic Information Systems (GIS), TECHBASE is fully three-dimensional, storing temporal and geocoded data such as water levels, chemical analyses, bore logs, three-dimensional polygons, modeled surfaces, and solids in a variety of linked one-, two-, two and a half-, and three-dimensional table types.

Numerical, analytical, geostatistical, graphical, and other tasks are seamlessly integrated into TECHBASE. A single project database with the appropriate TECHBASE modules installed enables the project manager, project staff, ground water, and geotechnical modelers to perform all project tasks on the same quality-assured data set without time consuming, error-prone data translation to additional programs. Data input and output are supported in ASCII, dBASE, DXF and other formats or can be hand entered. Keyboard and mouse activated pull-down menus make screen navigation and program operation straightforward. Macros, runlogs (scripts), and a user-defined shell with the ability to design custom menus for specific tasks allow various degrees of automation, QA/QC and standardization.

Customized standard graphical reports such as well construction diagrams and bore logs can be produced directly from the database via the TECHBASE scripting feature.

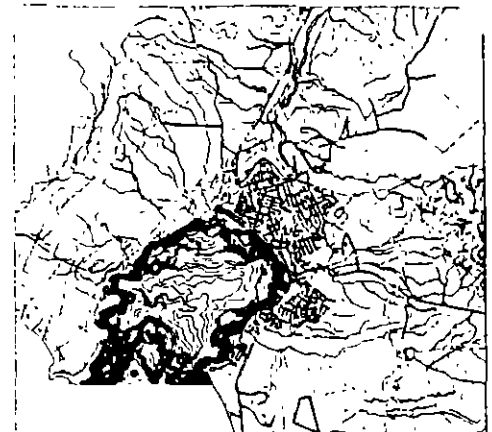
A variety of two- and three-dimensional geostatistical modules including on-screen variogram modeling, 2D and 3D kriging estimation, inverse distance estimation, trend surface analysis and others provide powerful parameter estimation tools for numerical groundwater flow modeling as well as linear, areal, volumetric and mass estimation.

TECHBASE includes a version of MODFLOW with BCF2, SIP, PCG2, RIV, WEL, GHB, DRN, EVT, RCH, and STR1. MODFLOW reads and writes directly from and to the database; thus all the advantages of a fully-integrated pre and postprocessor along with our geostatistical and graphics modules make this the most powerful implementation of MODFLOW on the market today. TECHBASE can also translate the model inputs from the database into standard MODFLOW input files for use by the stand-alone version.



### ADDITIONAL TECHBASE CAPABILITIES

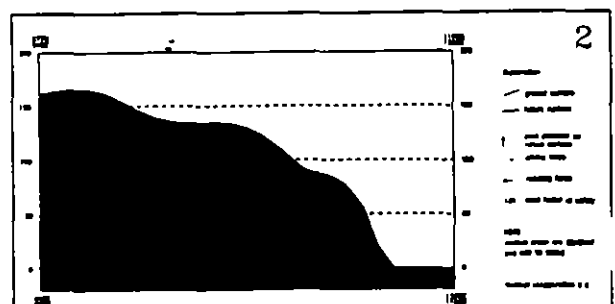
- Cross-section generation.
- Three-dimensional slope stability modeling.
- Contouring of gridded or randomly-spaced data.
- Coordinate conversion between Lat-Long, UTM, State Plane, and other coordinate systems.
- Two-way conversion between Lat-Long, UTM, State Plane, and other coordinate systems.



- Two-way conversion between TECHBASE tables and DEM files (digital elevation models), ARC INFO, dBASE, DXF, and many more.
- Summary statistics, histograms and cumulative frequency plots.
- Digitizing and on-screen polygon editing.
- Three-dimensional "cookie cutter" for labeling areas or volumes within a polygon or polygonal solids.
- Piper, Stiff, Rose and Stereo plots.
- Calculation of equal basis parameter values from samples of unequal length or time.
- Map algebra for adding, subtracting, or deriving new parameters on or between surfaces and polygonal solids.
- 16 or 32 BIT PC versions.

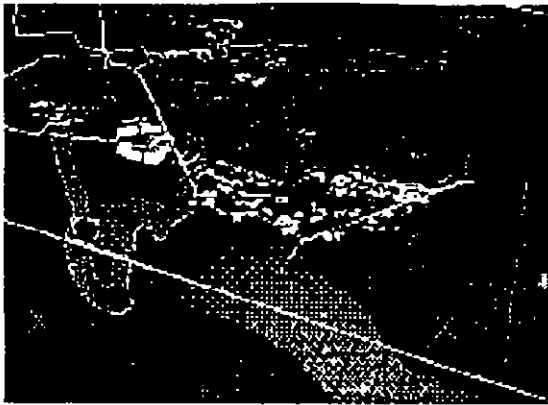
**Requirements:** TECHBASE is available for numerous hardware and software platforms including PC; Mac; UNIX Workstations for DEC, HP, IBM, Silicon Graphics and Sun; and VAX VMS.

**Prices:** TECHBASE prices are modular starting at \$2,030. Call for a quote for software to meet your specific needs.



# SiteView

## 3-D Environmental Visualization



**SiteView, 3-D Environmental Visualization for Microsoft Windows**, allows you to visualize ground-water and air dispersion plumes, marine and surface-water quality results and other environmental information. Until now, the only answer has been expensive software running on UNIX workstations.

**SiteView brings the sophistication** and power of workstation visualization to the PC... and at an affordable price. It is the only product to do so.

### 3D Visualization & Presentation

**SiteView is a 3-D visualization and presentation tool** for all your environmental data—air quality, site remediation, fresh water and marine contamination, and other environmental data. It transforms base maps, geoscience, and chemical data into 3-D pictures of your site. Communicate complex conditions and restoration plans to regulators, management, and other stakeholders using compelling 3-D images. With **SiteView**, you can create presentation quality images quickly.

### Sophisticated, Object-Oriented Visualization

**SiteView is the only affordable visualization system** to deliver sophisticated object-oriented visualization on a PC. With **SiteView** you can simultaneously visualize multiple plumes, surfaces, stratigraphy, 3-D base maps, and other site objects. **SiteView** visualizations are rendered with totally accurate hidden surface relationships, colored lighting from multiple user-definable sources, and all your data and visualization settings are linked in an intuitive way to the objects you define. Your site has many types of data objects: plumes, geology, surfaces, maps, etc. Your visualization system should be able to handle them simultaneously.

### Perfect Complement to GIS, CAD, & Models

**SiteView works easily and well** with your other applications, including geographic information systems, ground-water models, and drafting. With **SiteView** you can distribute the results of complex analyses from expensive modeling tools to engineers in the field, to clients, and to project staff. Don't tie up your expensive modeling systems and high-billing-rate modelers generating graphics.

### Low-Cost Windows PC Software

Traditionally, visualization tools required large budgets and highly-skilled computer operators. Either the software systems were difficult for an engineer or scientist to use or the cost of software and hardware was tens of thousands of dollars. **SiteView** is designed for environmental professionals and is available on Windows-PC.

### SiteView accepts the following data:

- 2-D and 3-D DXF maps and drawings from CAD and GIS systems.
- Spreadsheet tables and ASCII files.
- Data from environmental database systems.
- Model output from ground-water models, air dispersion models, risk analysis, and kriging packages.
- Sample results from borings, wells, monitoring stations, etc.

### SiteView displays the following information in 3-D images:

- Multiple, complex 3D plumes in iso-shells and solids for air, water, ground water, soil, and other natural environmental data.
- Subsurface stratigraphy in fence diagrams and ground-water flow information.
- True rendering of the interactions of multiple, intersecting plumes, surfaces, and other visual objects.

### Easily View and Print

All of these images are displayed in three dimensions and can be modified to show the conditions from any perspective (with or without lighting). You can use colors, color gradients, color bands and other display options to communicate particular aspects of the site such as a contamination plume or currents in a water body. The images can be included in documents, slide presentations, and printed to hard copy output in black and white or color.

**Requirements:** PC-486 and Pentium computers running Microsoft Windows 3.1 or higher with 16 MB of RAM and 20 MB of swap space (virtual memory). Prints to any Windows printer (recommend color PostScript printers for presentation style output). **SiteView** is also available for Sun Workstations.

Prices: <b>SiteView-Windows</b>	\$ 495
<b>SiteView-Windows-International</b>	\$ 650
<b>SiteView-Sun Workstation</b>	\$ 995
<b>SiteView-Sun Workstation-International</b>	\$ 1,250



# AQUA

## New 3D Version Released

### 2D and 3D Flow and Transport Models

**AQUA 3D** is a fully three-dimensional ground-water flow and contaminant transport model. Its structure is similar to the existing **AQUA 2D** software. It is a multi-layered model where the layers, which can have any thickness, are connected by leakage between them. The equations are solved by the finite-element method in each layer followed by the necessary number of vertical iterations to obtain the desired accuracy.

#### FEATURES

- **Menu-driven, user-friendly**, and preparation of data entry by digitizer, mouse or keyboard entry.
- **Automatic mesh generation** and mesh condensation.
- **Graphical output** of results (contours, flow arrows and time series) on screen, printer and plotter.
- **A wide variety of pointing devices** (mice, digitizers, etc.) and hardcopy devices (printers, plotters) are supported through the use of the HALO Professional Graphics Library.
- **The package can be used** without any further knowledge of input and output file formats. However, file formats are fully documented.
- **AQUA 3D solves** transient ground-water flow with inhomogeneous and anisotropic flow conditions. The model can have a larger number of pumping and injection wells and areal variation of all parameters. Time variation of pumping/injection and infiltration rate is allowed. Boundary conditions may be prescribed nodal head and prescribed flow as a function of time or head-dependent flow.
- **The program solves** the transient transport of contaminants and heat with convection, decay, adsorption and velocity dependent dispersion. Boundary conditions may be either prescribed nodal con-

centration (temperature) or prescribed dispersive mass (heat) flux.

#### EXAMPLE APPLICATIONS

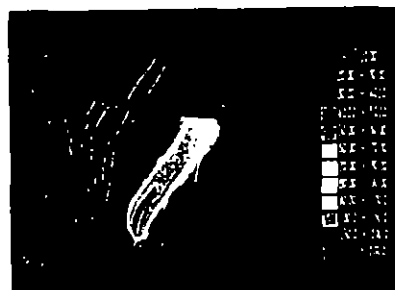
**AQUA 3D** has been developed for those situations where there are multiple interacting aquifers, each with different characteristics. One example is where water is abstracted from a leaky confined aquifer. **AQUA 3D** can now model the drawdown in the confined aquifer and calculate the reduction in water level in an upper unconfined aquifer.

Another common situation is where a sand aquifer contains thin beds of clay so that there are large differences in horizontal and vertical permeabilities. If an abstraction borehole penetrates such an aquifer and is only screened near the bottom, a 2D model may not accurately predict water levels in a nearby partially-penetrating observation borehole. **AQUA 3D** can simulate pump test results under such circumstances.

For pollution predictions, it may be unrealistic to assume that a contaminant disperses throughout the total saturated depth of an aquifer as is assumed in a 2D model. In chalk, for example, flow can be concentrated in thin beds which are much more fractured than the rest of the aquifer. Contaminants move faster in such beds and are not diluted or dispersed by the water in the less permeable thickness of aquifer. In such cases, **AQUA 3D** may predict that a potential contamination plume will move much faster than simulated by a 2D model.

**AQUA 2D** and **AQUA 3D** handle up to 10,000 nodes and 100 layers. Contact us for a version which will do more than 10,000 nodes. These programs include the executable version, full color graphics, extensive user's manual and technical support.

#### Mass transport



Contamination plume.

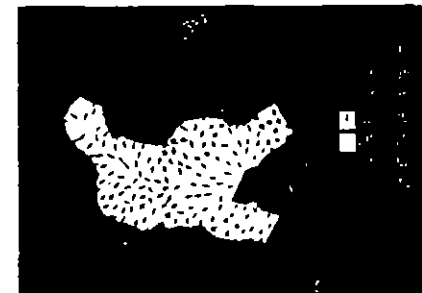
#### Groundwater flow



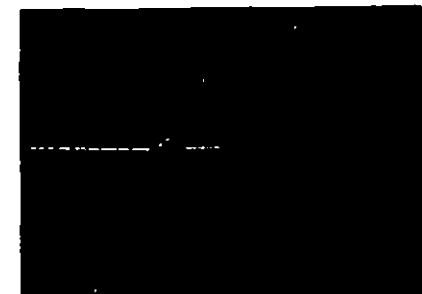
Infiltration



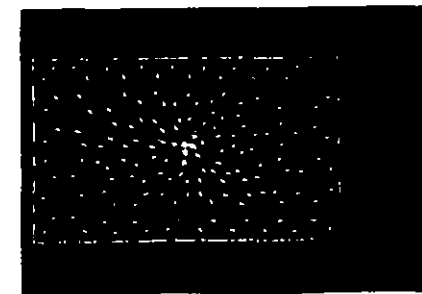
Transmissivity



Groundwater level and flow.



Seepage under a dam.



Seepage into a tunnel.

**Requirements:** PC 386/486 with 4 MB RAM, math coprocessor, hard disk, and EGA or VGA graphics card and display. Optional hardware supported includes mouse, digitizer, dot matrix and laser printers, and Hewlett Packard or compatible plotters for hardcopy output.

#### Prices:

AQUA 2D (10,000 nodes) \$ 1,850  
AQUA 3D (10,000 nodes) \$ 3,550

# AQUASEA

## Tidal Flow in Estuaries and Coastal Areas Lake Circulation – Transport Modeling

**A**QUASEA is a program to solve tidal flow problems in estuaries and coastal areas, lake circulation, and problems involving transport of mass, heat and suspended solids. The package includes various graphical preprocessors to make preparation of data as easy as possible, along with graphical postprocessors. A wide variety of pointing devices (mouse, digitizers, etc.) and hardcopy devices (printers, plotters) are supported through the use of the HALO Professional Graphics Library.

### FEATURES

- Fully menu-driven.
- Preparation of input data by digitizer, mouse or keyboard entry.
- Automatic mesh generation and mesh condensation.
- Graphical output of results (contours, flow arrows and time series) on screen, printer and plotter.
- Ability to draw landmarks along with results, create subareas, and restart calculations.
- The package can be used without any further knowledge of input and output file formats — however, file formats are fully documented.

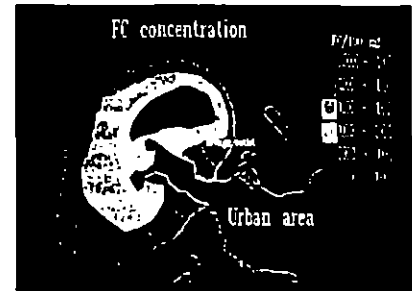
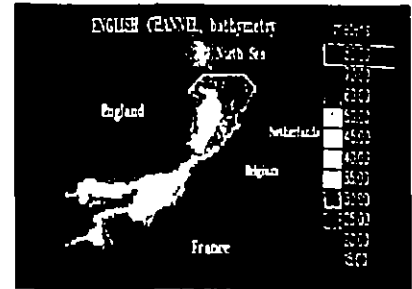
### PROBLEM TYPES

**Tidal Flow in Estuaries and Coastal Areas, Wind-Driven Circulation in Lakes and Harbor Oscillations.** The main input into this model consists of the bed bathymetry which can be digitized directly from admiralty charts. Rivers and outlets may be included as point sources. Wind stress may vary in space and time.

**Transport of Mass, Heat and Suspended Sediment.** The transported matter can be biological, radioactive, thermal, saline, or suspended sediment. Subsequent behavior might include decay of biological or radioactive matter, the cooling of the thermal flow or the settling of the suspended material.

The model is based on the solution of the two-dimensional shallow water equations including bed resistance, wind stress, Coriolis force, and nonlinear convective terms. The transport model includes sources, decay, and convective and dispersive transport.

AQUASEA includes the executable version, full color graphics, extensive user's manual, and technical support. If you need a version which will do more than 10,000 nodes, please contact us.



**Requirements:** PC 386/486 with 4 MB RAM and math coprocessor. Optional: mouse, digitizer, dot matrix, laser printers, and Hewlett Packard or compatible plotters.

**Price: (10,000 nodes) \$ 3,550**

# AQUIFEM-N

**A**QUIFEM-N is a multi-layered finite-element aquifer flow model developed by Dr. Lloyd Townley, one of the authors of AQUIFEM-1 at MIT in 1979-80. The model uses linear triangular elements and is accompanied by associated grid generation and plotting software.

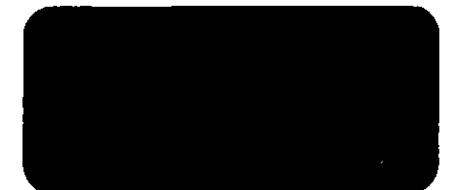
AQUIFEM-N can simulate steady and unsteady flow in single or multiple aquifers (2-D or quasi 3-D), steady flow in 2-D vertical sections, and steady and unsteady solute transport in a 2-D aquifer or vertical section. Although it can handle up to N=10 aquifers, AQUIFEM-N does not always provide enough resolution to simulate 3-D flow with sufficient accuracy.

**Model Features include:** capabilities for simulating confined and unconfined conditions; spatially varying aquifer properties and recharge; spatially and temporally varying boundary conditions (prescribed head, prescribed flux and mixed conditions, with corresponding conditions for solute trans-

port); leakage between aquifers, with simulation of layers which thin out or bifurcate; and automatic stream function calculations with steady flow in 2-D vertical sections.

**Input to AQUIFEM-N** is by ASCII files, prepared with any text editor. Preparation of data files is aided by a stand-alone grid generation package with many options for generating grids of triangular elements.

**Output from AQUIFEM-N** includes output to text files with a range of options, and output to unformatted files for rapid plotting of grids, contours, flow vectors and time series. An associated plotting package allows four modes of operation, from batch mode to fully interactive. Sequences of plots can be set up to facilitate model calibration, and many plots can be viewed at once on the same screen or hardcopy. A primitive animation capability is provided. Graphics support is provided for PC/Mac screens, PostScript laser printers, and laser printers/plotters which accept HPGL files.



AQUIFEM-N runs on PC's and Mac's, with the number of nodes limited only by the available memory. More than 2,000 nodes can be handled with 4 MB of memory. AQUIFEM-N includes executable versions of the model and associated grid generation and plotting software, a comprehensive user's manual, and technical support.

**Requirements:** PC 386/486 or Macintosh with 4 MB RAM. Please specify amount of RAM when ordering.

**Prices:**  
AQUIFEM-N<sup>PC</sup> \$ 1,000  
AQUIFEM-N<sup>Mac</sup> \$ 1,000

# WinFLOW

## Ground-Water Flow Model for Windows

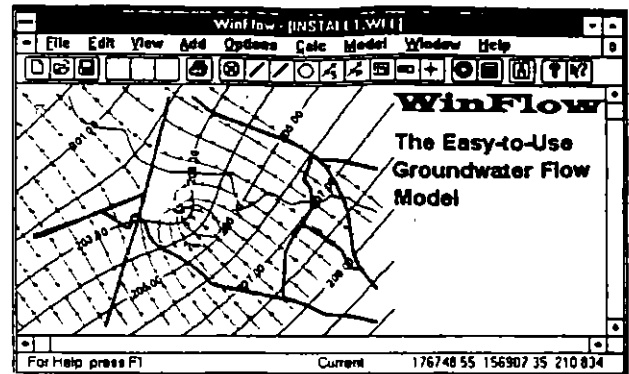
**W**inFLOW, developed by Jim Rumbaugh, the author of Geraghty & Miller's popular *QuickFlow* ground-water flow model, is a powerful yet easy-to-use ground-water flow model for Microsoft Windows. WinFLOW is a true Windows MDI program that takes advantage of the many sophisticated features users have come to expect from Windows software.

WinFLOW is an interactive, analytical model that simulates two-dimensional steady-state and transient ground-water flow (both confined and unconfined aquifers) with wells, uniform recharge, circular recharge/discharge areas, and line sources or sinks. The model depicts the flow field using streamlines, particle traces, and water-level contours. WinFLOW has the same basic capabilities as Geraghty & Miller's *QuickFlow* software, although many features are different or enhanced. Some of the key features include:

- **Simulates** both steady-state and transient flow in confined and unconfined aquifers.
- **Simulates** effects of wells, linesinks, ponds, and recharge.
- **Imports** map files in DXF format, *QuickFlow* format, or ModelCAD format.

- **Simple** data input.
- **Calibration** targets and calculation of calibration statistics.
- **Double-click** on element to edit.
- **Click and drag** to reposition elements, streamlines, or particles.
- **Multiple** models may be open at one time.
- **Cut, copy, and paste** elements to/from the clipboard.
- **Maps** may be printed using any Windows device driver.
- **Full** context-sensitive help system (the entire manual is on-line).
- **Drag** and drop input files into the WinFLOW window.

WinFLOW simulates both steady-state and transient flow. The steady-state module simulates ground-water flow in a horizontal plane using analytical functions developed by Strack (1989). The transient module uses equations developed by Theis (1935) and by Hantush and Jacob (1955) for confined and leaky aquifers, respectively.



WinFLOW is simple to use and highly interactive, allowing you to create an analytical model in minutes. The software features standard Windows pull-down menus and dialogs to facilitate the model design. WinFLOW produces report-quality graphics using any Windows device driver. Output may also be exported to a wide variety of file types including SURFER, Geosoft, Spyclass, Windows Metafiles, and AutoCAD DXF files.

**Requirements:** PC running Microsoft Windows 3.1 or higher and 2.5 MB hard disk space. A math coprocessor is recommended.

**Price:** \$ 450

# HYDROGEOCHEM

## Hydrologic Transport and Geochemical Reaction

**H**YDROGEOCHEM is a coupled model of HYDROlogic transport and GEOCHEMical reaction in saturated-unsaturated media. It is designed to simulate transient and/or steady-state transport of  $N_a$ , aqueous components and transient and/or steady-state mass balance of  $N_s$  adsorbent components and ion-exchange sites. Along the transport path, HYDROGEOCHEM computes the species distribution of  $N$  component species,  $M_x$  complexed species,  $M_y$  adsorbed species,  $M_z$  ion-exchanged species, and  $M_p$  potentially precipitated species. The physical, hydrological and chemical settings are as follows:

- **Media:** Heterogeneous and Anisotropic.
- **Flow Conditions:** Saturated-Unsaturated Flows.
- **Hydrologic Processes:** Advection, Dispersion and Diffusion.
- **Chemical Processes:** Aqueous Complexation, Adsorption/Desorption (Surface Complexation, Constant Capacitance, and Double Layer Approaches), Ion-Exchange, Precipita-

tion/Dissolution, Redox, and Acid-Base Reactions.

- **Source/Sink:** Spatially and Temporally Dependent Element and Point Sources/Sinks.
- **Initial Conditions:** Prescribed Initial Condition or the Simulated Steady-State Solution as the Initial Condition.
- **Boundary Conditions:** Prescribed Total Analytical Concentrations on Dirichlet Boundaries, Prescribed Fluxes on Flow-In Boundaries, Natural Advective Fluxes on Flow-Out Boundaries - All Boundary Values (Concentrations or Fluxes) are Spatially and Temporally Dependent.
- **Numerical Discretization:** Finite-Element Methods with Quadrilateral Elements, Triangular Elements, or the Mixtures of These Two Types.
- **Approximation Options:** Consistent Matrix or Mass Lumping, Nodal Quadrature or Gaussian Quadrature for Surface and Element Integrations.
- **Solvers:** Direct Band Matrix Solver, Basic Point Iterations, and 4 PCG Methods (polynomial PCG, Incomplete Cholesky PCG, Modified Incomplete Cholesky

PCG, and Symmetric Successive Over-Relaxation PCG).

- **Time Stepping:** Implicit Difference, Crank-Nicholson Central Difference, or Mid-Difference.
- **Solution Methods for Geochemical Reactions:** Newton-Raphson with Full Pivoting to Solve the Jacobian Matrix Equation and Constraints on Species Concentrations.

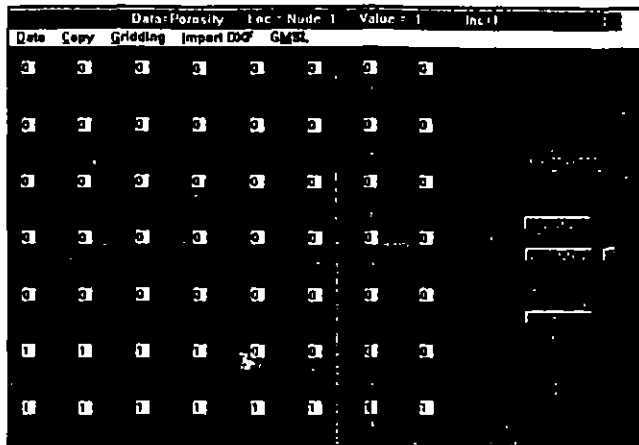
HYDROGEOCHEM is the only commercially available model for the simulation of reactive multispecies-multicomponent chemical transport through saturated-unsaturated media. It is not a path model; it is a true transport model coupled with homogeneous and heterogeneous geochemical reactions.

**Requirements:** 386/486/Pentium (Pentium recommended) with 16 MB RAM and FORTRAN Compiler, Any Workstation, e.g., IBM RS6000, DEC Alpha, Silicon Graphics, Sun SparcStation, and HP 900 Series.

**Price:** \$ 1,500

# SUTRA & SUTRA-PLOT

## 2-D Saturated-Unsaturated Transport



### Runs in Windows

**S**UTRA & SUTRA-PLOT, the USGS "A Finite-Element Simulation Model for Saturated-Unsaturated, Fluid-Density-Dependent Ground-Water Flow with Energy Transport or Chemically-Reactive Single-Species Solute Transport" is a versatile computer program by Clifford I. Voss of the USGS.

SUTRA runs independently or within Microsoft Windows, freeing up your machine for other uses while SUTRA carries out the numerically intensive task of model calibration. SUTRA has been modified to allow time-dependent sources. SUTRA is primarily intended for two-dimensional simulation of flow, and either solute or energy transport in saturated/unsaturated variable-density systems. This model can be used for areal and cross-sectional modeling of saturated flow systems, and for cross section of one-dimensional vertical modeling of unsaturated zone flow. The specific uses of this model are:

- Assessment of well performance and pumping test data.
- Density-dependent flow or constant-density flow analysis in both the saturated and unsaturated zones.
- Analyses of chemical species transport, including processes of solute sorption, production and decay.
- Prediction of hazardous waste migration from land disposal sites.
- Analysis of aquifer restoration, waste confinement, hydraulic barriers, liners and water-quality protection system.
- Analysis of aquifer, thermal regimes, subsurface heat conduction, aquifer thermal energy storage systems, geothermal

reservoirs, thermal pollution of aquifers, and natural hydrogeologic convection systems.

- Modeling of variable-density leachate movement.
- Cross-sectional modeling of saltwater intrusion in aquifers at near-well or regional scales, with either dispersed or relatively sharp transition zones between freshwater and saltwater.

A new program has been added to SUTRA, the Data Manager, a Windows-based product which includes LADE (Large Array Data Entry) and GMSL (Ground-Water Math Science Library). The graphic above depicts SUTRA data entry as implemented in the Data Manager. A PREPROCESSOR is also included to create the two input data files required by SUTRA. This greatly reduces errors in data input and simplifies the data file creation process in general.

SUTRA and SUTRA-PLOT are now packaged together. SUTRA-PLOT is a menu-driven graphics package for SUTRA. It is modeled after SUTRA PLOT which was developed by the USGS. SUTRA-PLOT also produces ASCII files that can be input to SURFER.

SUTRA & SUTRA-PLOT have been compiled using the Lahey F77L-EM/32 compiler. This allows much larger executables. SUTRA comes with three executables requiring 4, 8, and 16 MB RAM. These files allow the modeling of 1,300, 2,175, and 6,525 nodes, respectively. The SUTRA Report/Doc is not included.

**Requirements:** PC 386/486 with 4 MB RAM, math coprocessor, 2.5 MB hard disk space, EGA or VGA graphics card and display, and printer or plotter for hard-copy output.

**Prices:**  
 SUTRA Report/Doc \$ 50  
 SUTRA & SUTRA-PLOT \$ 450  
 SUTRA & SUTRA-PLOT Upgrade for SUTRA Users \$ 100

# HST3D

## 3-D Heat & Solute Transport

### Preprocessor and Postprocessor Included

**H**ST3D is the 386/486 extended memory version of "A Computer Code for Simulation of Heat and Solute Transport in Three-Dimensional Ground-Water Flow Systems," by Kenneth L. Kipp, Jr., of the USGS. HST3D is primarily intended for three-dimensional analysis of flow, heat and solute transport in the saturated zone of a ground-water system with variable or constant density and viscosity. The code can analyze: Waste injection into saline aquifers - Landfill-contaminant movement - Salt-water intrusion in coastal regions - Brine disposal - Freshwater storage in saline aquifers - Heat storage in aquifers - Liquid-phase geothermal systems - Contaminant (single species) transport in a complex aquifer system - Only ground-water flow, if desired - Only heat or solute transport coupled with ground-water flow, if desired - Effectiveness of hydraulic barriers, liners and water-quality protection system.

HST3D includes the pre and postprocessors, PREHST and HSTPOST. The preprocessor allows easy entry/editing of the complex HST3D input. PREHST only prompts the user for data based on the answers to previous questions. HSTPOST reformats output, for input into SURFER and other graphics packages. HST3D has been compiled using the Lahey F77L-EM/32 compiler. This allows much larger executables than the PC version of HST3D. Because of the 32-bit word size used, execution times are up to three times faster than code generated with other compilers. HST3D comes with three executables requiring 4, 8, and 16 MB RAM. These files allow the modeling of 2,500, 7,000, and 14,000 nodes, respectively.

HST3D includes the source code, three executables, preprocessor, postprocessor, and user's guide. The HST3D Report/Doc is not included. *Note: Advanced modeling skills are required. User must be fully versed in the generation of input and output files using a text editor.*

**Requirements:** PC 386/486 with 4 MB RAM and math coprocessor.

**Prices:**  
 HST3D Report/Doc \$ 80  
 HST3D \$ 450



# FEMSEEP

## 2-D Ground-Water Flow and Contaminant Transport

### PREPROCESSOR

Pull-down menus, dialog boxes and data forms for easy data file creation and editing.

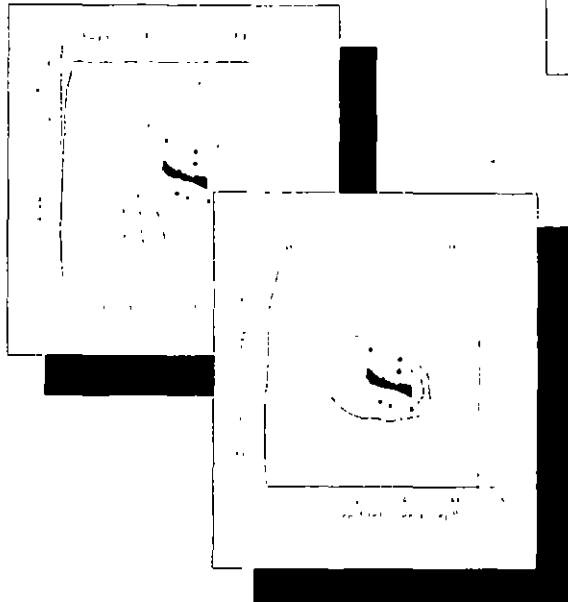
Mesh generator and mesh renumbering.



### PROCESSOR

Versatile and powerful processor includes:

- Ground-water flow.
- Advective transport.
- Advective-dispersive transport.
- Restart option with time-dependent boundary conditions.

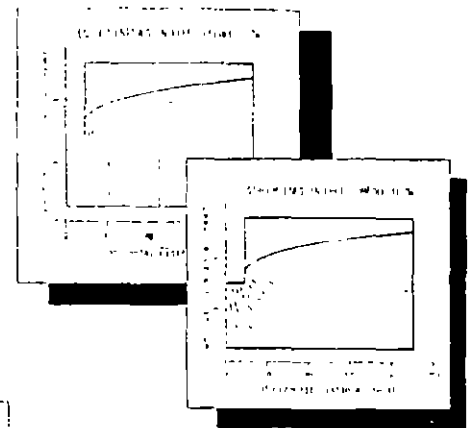


### POSTPROCESSOR

Powerful contour generator.

Graphical presentation:

- Element mesh and aquifer properties.
- Contour plots of head, drawdown, stream function, and concentration.
- Velocity vectors, flow-paths, and particle front.



**FEMSEEP** is a powerful and easy-to-use ground-water flow and contaminant transport model based on the Petrov-Galerkin finite-element method with a particle tracking algorithm. It operates directly from a menu-driven screen which allows the user to input data, run the model, and display results without exiting. It is the only software that contains in one model both confined and unconfined flow in plane and cross section as well as contaminant transport.

**FEMSEEP** is capable of solving steady and non-steady ground-water flow and solute transport in a two-dimensional horizontal plane, a vertical cross-section, or three-dimensional axisymmetric system. The flow model can be solved in terms of hydraulic head, drawdown distribution, or stream function. The transport model coupled with the flow model is capable of tracking solutes or tracer particles initially placed at known sources of different geometry (e.g., point, circle, line or rectangle) as they move due to advection. It can also calculate the changes in solute concentration caused by advection, dispersion, mixing, chemical adsorption, and first-order decay.

**FEMSEEP** is exceptionally well suited for local ground-water investigations and aquifer remediation projects. It can be used for designing extraction, injection, and recharge systems, and for predicting the performance of the system. The ability of the model to handle a fine, detailed mesh around a single or multiple well system where water level and concentration information is critical, and, at the same time, to allow a coarser mesh to be used in areas far away from the pumping wells, is an important advantage of this model.

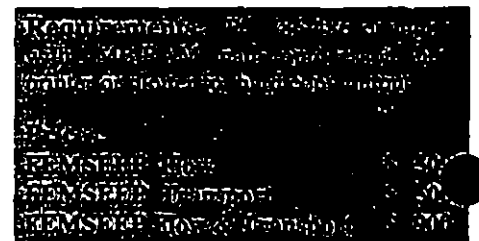
**FEMSEEP** is also ideal for subsurface construction and geotechnical problems such as excavation, mining, and seepage control. It can be used for simulating ground-water flow with free surface and seepage face through dams and embankments or into trenches, tunnels and wells. The mesh is able to expand and contract to adjust to the free surface.

**FEMSEEP** is dynamically dimensioned so the maximum size of a mesh depends on the amount of RAM. For example, a PC with

4 MB RAM can handle a mesh of up to 4,000 nodes (with a bandwidth of 50).

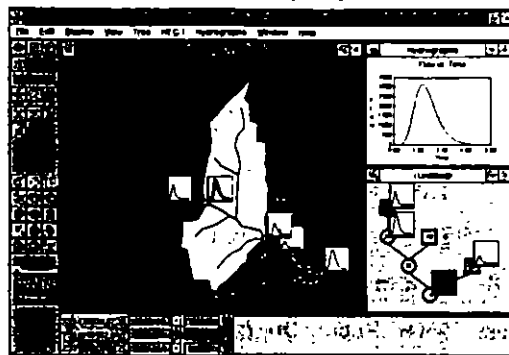
**FEMSEEP** utilizes graphics from the PLOT88 Software Library. The model output can be sent to the screen (with full color graphics support) and a vast array of printers and plotters—no other graphics package is needed. HPGL, DXF, Postscript, Encapsulated Postscript, and CGM file formats can also be produced and imported directly into word processor and graphics packages (e.g., WordPerfect, Ventura, AutoCAD).

**FEMSEEP** includes the executable version of the flow and transport programs, preprocessors, postprocessors, full color graphics, model documentation, user's manual, test problems, and technical support.



# WMS

## Watershed Modeling System with HEC-1



**W**MMS is a Windows Interface to the U.S. Army Corps of Engineers hydrologic simulation program HEC-1.

### Basic Version

The basic version of WMS can be used to define topographic representations of a watershed. From this topographic model, basins and outlets can be selected and all appropriate HEC-1 parameters assigned. Parameters are entered through a series of user-friendly dialogs using point-and-click operations. The HEC-1 program can be run within WMS and results can be viewed inside WMS.

### Professional Version

The professional version of WMS includes all of the capabilities of the Basic Version

for defining HEC-1 models. Further, it can be used to create a triangulated irregular network (TIN) model from either digital elevation models (DEMs) or scattered elevation data. Feature lines representing streams, ridges, and boundaries can be used to guide the creation of a TIN. Using feature lines insures that all important hydrologic features are represented in the TIN with triangle edges. Several sophisticated TIN editing tools have been provided to ease the removal of flat regions, inadvertent pits and other anomalies which may inhibit watershed characterization.

DEMs and TINs can be contoured using isolines or color shading. Display of triangles, contours, pits, flat triangles, stream networks, basin boundaries, etc., can all be controlled by the user to create the highest

quality images for report documents and presentations.

Basin boundaries are defined by grouping together all triangles whose flow passes through selected outlet points. Any number of outlet points can be added to a stream to create subbasins of the watershed. Areas, slopes, and runoff distances can then be computed using the TIN geometry.

As a TIN is constructed and basins delineated, WMS automatically creates a corresponding topographic model of the watershed. HEC-1 parameters can then be defined by selecting basins or outlets from either the TIN or topographic model.

WMS includes the U.S. Army Corps of Engineers HEC-1 Package.

**Requirements:** Windows: 386/486/Pentium running Microsoft Windows, math coprocessor, and 4 MB RAM. Unix X-Windows: IBM RS6000, Sun SparcStation, Silicon Graphics, DEC Alpha, and HP 9000 Series 700/800.

**Prices:**  
 Windows (Basic) \$ 210  
 Windows (Professional) \$ 1,000  
 Unix X-Windows (Professional) \$ 1,550  
 Universities - 50% Discount (except for Windows Basic)

## FastSEEP - 2D Seepage Analysis

**F**astSEEP is based on the SEEP2D program developed by the U.S. Army Corps of Engineers for finite-element modeling of two-dimensional seepage problems. The software includes a graphical preprocessor and postprocessor for SEEP2D called FastSEEP and the SEEP2D steady-state seepage analysis program.

### Mesh Generation

FastSEEP is used to construct 2D finite-element meshes of dams, levees, or other land forms where seepage occurs. A sophisticated set of automatic mesh generation and mesh editing tools are available to handle even the most-difficult modeling situations.

### Boundary Conditions

Boundary conditions, including constant head, flow, and exit face nodes are easily assigned using point and click operations. Both heterogeneous and anisotropic soil conditions can be defined.

### SEEP2D Analysis

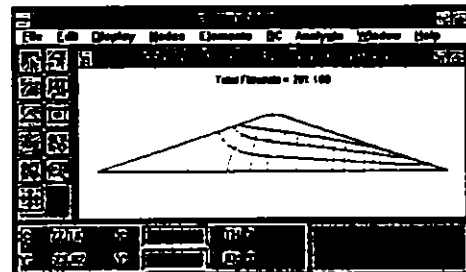
Once the mesh has been constructed, the SEEP2D program can be used to compute heads, flow velocities, flow lines, and pore pressures at each node in the mesh. For unconfined problems, the boundary of the phreatic surface is automatically computed.

### Postprocessing

After the results are computed by the SEEP2D program, the solution can be viewed graphically in FastSEEP. Numerous options are available for changing the display of the solution. Results also include a deformed mesh and original mesh boundary for unconfined problems.

### Slope Stability Interface

FastSEEP can export profile lines (material boundaries) and pore pressures formatted for the UTexas Slope Stability Program.



**Requirements:** Windows: 386/486/Pentium running Microsoft Windows, math coprocessor, and 4 MB RAM. Unix X-Windows: IBM RS6000, Sun SparcStation, HP 9000 Series 700/800, Silicon Graphics, and DEC Alpha.

**Prices:**  
 Windows \$ 800  
 UNIX X-Windows \$ 1,300  
 Universities - 50% Discount

# MOC

## Two-Dimensional Solute Transport

**M**OC is the USGS "Computer Model of Two-Dimensional Solute Transport and Dispersion in Ground Water" by L.F. Konikow and J.D. Bredehoeft.

### Features

- **Solute transport** in ground water.
- **One- or two-dimensional problems** involving steady state or transient flow.
- **Computes** changes in concentration over time caused by the processes of convective transport, hydrodynamic dispersion, and mixing from fluid sources.
- **Aquifer** may be heterogeneous and/or anisotropic.
- **Based** on a rectangular, block-centered, finite-difference grid.
- **Allows** specification of injection or withdrawal wells and of spatially varying diffuse recharge or discharge, saturated thickness, transmissivity, boundary conditions, and initial heads and concentrations.
- **Incorporates** (1) first-order irreversible rate-reaction; (2) reversible equilibrium controlled sorption with linear, Freundlich, or Langmuir isotherms; and (3) reversible equilibrium-controlled ion exchange for monovalent or divalent ions.

### Preprocessor

**MOCINP** is used to **CREATE** or **MODIFY** the Input Data File required by the MOC modules (MOCSIP and MOCADI) including the data required for decay, sorption and ion-exchange reactions.

### Dimensions

The maximum dimensions of the flow grid and the transport grid have been increased to 120 X 120. The limit on the number of particles has been increased from 3,200 to 57,600. The number of observation points which may be specified has been increased from 5 to 50. Observation point data may now be saved in a file for plotting with MOCTIME.

### Easy to Learn and Simple to Use

MOC executes in a unique batch processing shell similar to MODFLOW. Batch files containing data required for a MOC simulation are easily created or modified within MOC. Four major functions exist within the batch shell: Files, Select, Execute and Quit.

### MOC Package

The MOC package consists of the MOCSIP and MOCADI source and executable codes, an input processor, an output processor, TECVIEW,

MOCREC (removes FORTRAN carriage control characters), user's guide and technical support. The MOC reports/documentations are required but not included.

### Requirements

PC 386/486 with 2 MB RAM and math coprocessor.

### Prices

MOC Report/Doc (Original)	\$ 20
MOC Report/Doc (Modification)	\$ 20
MOC	\$ 300

## MOCGRAF Graphics for MOC

**MOCGRAF** automatically contours concentrations and heads and superimposes velocity vectors for selected pumping periods and time steps for grids of dimension to 200 X 200.

### Features

- **MOCGRAF** can process and create contour plots for up to 100 sets of concentration or head data in a single execution and saves the results in a single file.
- **Several methods** of contour control are available: the program automatically selects contour levels, the user specifies specific contour levels, or the user specifies the minimum/maximum contour levels and increment.
- **Up to 100** contour levels may be generated.
- **Colors** for frames, title and axis labels, major and minor contour lines and velocity vectors may be specified.
- **MOCGRAF** is menu driven, runs in a batch processing shell and is very easy to use. Changes may be easily made to existing batch files.
- **TRANSLATE** (included) produces graphics on a wide variety of devices and creates HPGL files. **TRANSLATE DXF** is also available.

### Requirements

PC 386/486 with 2 MB RAM and math coprocessor.

### Prices

MOCGRAF	\$ 300
MOCTIME	\$ 250
MOCGRAF & MOCTIME	\$ 450
TRANSLATE DXF	\$ 100



## MOCINP Preprocessor for MOC

**MOCINP** is used to **CREATE** or **MODIFY** the Input Data File required by the MOC modules (MOCSIP and MOCADI) including the data required for decay, sorption and ion-exchange reactions. The data files are free format. **MOCINP** is efficient, easy to use and saves valuable time when creating or modifying MOC data files with arrays of dimensions up to 120 X 120. A help facility is included. **MOCINP** is included with the MOC package. **MOCINP** includes the executable version, user's guide, and technical support.

### Requirements

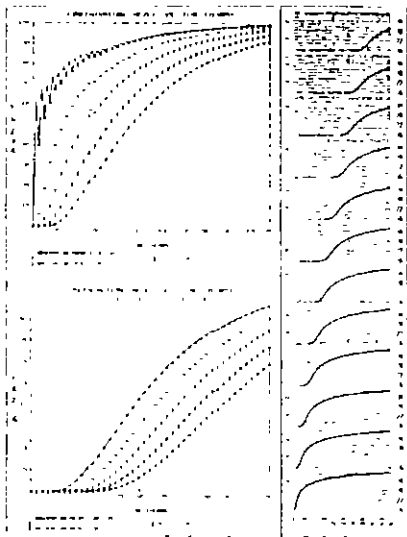
PC 386/486 with 2 MB RAM and math coprocessor.

### Price

<b>MOCINP</b>	<b>\$ 100</b>
---------------	---------------

# MOCTIME

## Generates Time Plots



### Features

- **Graphics** module specifically designed for use with MOC.
- **Generates** time history plots of concentration or head data for up to 25 observation points.
- **Linear, Semi-Log** and Vertical profile plots may be generated.
- **Colors** for borders, title and labels, background grid, curves and symbols may be selected.
- **Plots** up to 5 curves per plot and 4 plots per page for Linear and Semi-Log and up to 12 plots per group and 3 groups per page for Vertical profile.
- **Symbols** may be drawn on the curves.
- **Straight lines** or smooth curves may be drawn through the points.
- **Titles** and labels may be drawn on the plots.
- **Executes** in an easy-to-use, menu-driven batch processing shell.
- **TRANSLATE** (included) is used to produce graphics.
- **Includes** full color graphics, user's guide, and technical support.

**Requirements:** PC 386/486 with 2 MB RAM and math coprocessor.

**Prices:**  
**MOCTIME** \$ 250  
**TRANSLATE with DXF Interface** \$ 100

# MOC DENSE

## Two-Constituent Solute Transport Model

**MOC DENSE** is the USGS model "A Two-Constituent Solute Transport Model for Ground Water Having Variable Density." Features include:

**Applicable** to saltwater intrusion problems.

**Simulates** solute transport and dispersion of one or two constituents in ground water with density dependent flow.

**Solves** for fluid pressure rather than hydraulic head because of variable density.

**Flow** is in a cross-sectional plane rather than a horizontal plane.

**Handles** varying recharge, aquifer heterogeneities, variable aquifer thickness and complex boundary conditions.

**Method** of Characteristics solves transport equation; finite-difference method solves flow equation.

**Density** is considered a function of the concentration of one of the constituents.

**Grids** to 150 X 150; saves time-history data for up to 25 observation points.

**Model** results compare favorably with those of other numerical models.

**Executes** in an easy to use, menu-driven batch file system.

**Includes** source and executable codes: MOCDSIP (SIP Solver) and MOC4 (Direct Solver); Input Processor, MOCINP, Output Processor, MOCDOU, MOCREC and TECVIEW.

**Requirements:** PC 386/486 with 2 MB RAM and math coprocessor.

### Prices:

**MOC Report/Doc (Original)** \$ 20  
**MOC DENSE Report/Doc** \$ 20  
**MOC DENSE** \$ 300

# MOC DTIME

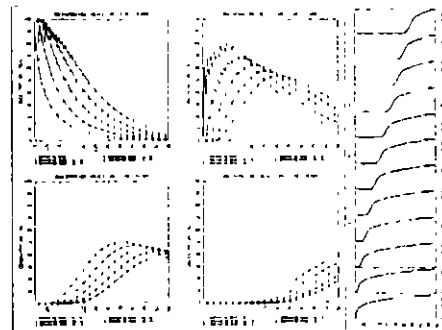
## Generates Time Plots

**MOC DTIME** generates time history plots of density controlling concentration or trace concentration data for up to 25 observation points specified in a MOC DENSE simulation.

**Menu** driven.

**Easy** to use.

**Features** similar to those of MOCTIME.



**Requirements:** PC 386/486 with 2 MB RAM and math coprocessor.

**Prices:**  
**MOC DTIME** \$ 250  
**TRANSLATE with DXF Interface** \$ 100

# MOC DGRAF

## Graphics for MOC DENSE

**MOC DGRAF** is specifically designed to provide graphics capability for MOC DENSE.

**Contour** concentrations (both trace and density controlling solutes) and superimpose velocity vectors.

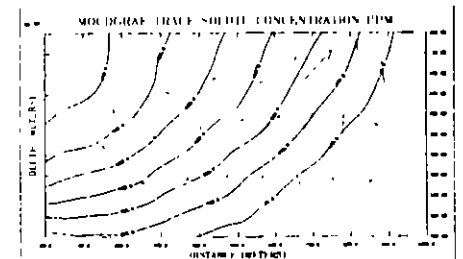
**Handles** up to 100 sets of data in a single batch run.

**Menu** driven and easy to use.

**Contouring** features similar to those of MOC DGRAF.

**Requirements:** PC 386/486 with 2 MB RAM and math coprocessor.

**Prices:**  
**MOC DGRAF** \$ 300  
**TRANSLATE with DXF Interface** \$ 100



# Visual InterSat

## An Integrated Variably-Saturated Ground-Water Modeling and Data Visualization System

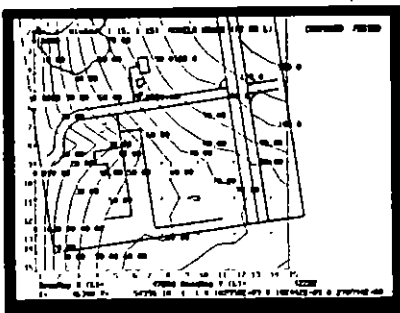
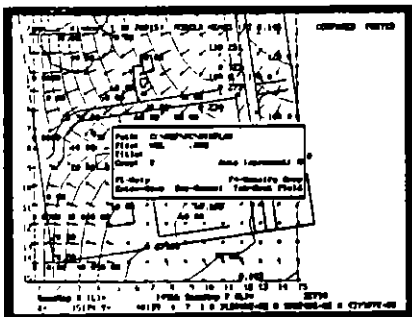
Visual InterSat 6.0 is a fully three-dimensional ground-water flow model which is capable of simulating saturated, unsaturated, and variably-saturated flow and transport. *InterSat* integrates all processing, including data visualization, into a single object-oriented code as opposed to burdening and limiting users with cumbersome pre and postprocessors. This software design philosophy enables users to maintain complete flexibility in both data input and data output before, during, and subsequent to the solution processing. *InterSat's* discretization method by the Three-Dimensional Finite-Volume method using Green's Function and the Bateman Variational Principle, represents one of the most stable and powerful known methods to solve computational fluid dynamics problems.

### SIMULATED FLOW TYPES

- Fully Three-Dimensional Flows.
- Saturated.
- Unsaturated.
- Variably Saturated.
- Compressible Flow (Vapor Extraction).
- Variable Density Effects.
- Variable Viscosity Effects.

### INTEGRATED VISUALIZATION AND GRAPHICS

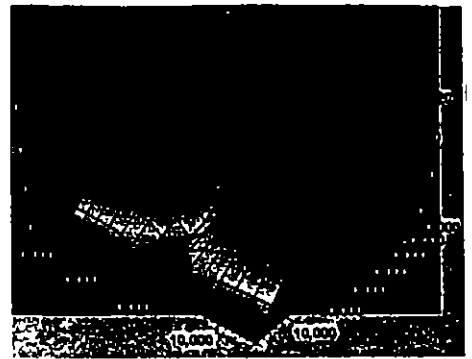
- CAD (DXF) base, geologic, terrain, hydrography, etc., map graphics overlay for interactive, point-and-click data entry, and 3-D multiple block input of all data and for interactive water budgeting.



- Color graphic depiction of saturation state (saturated, water table, unsaturated), constant head, and well locations.
- Multi-layer superimposed graphics for both 3-D graphics and 3-D interactive input and editing.
- Contour graphics for all model inputs and outputs before, during, and after solution processing.
- Data graphics and point-and-click editing before, during and after solution processing; the user can steer the solution graphically.
- Graphical data posting (monitor well data) and graphics-based calibration (using kriged contour comparison).
- Labeled velocity vector and labeled stream function graphics output are superimposed on multiple user-selectable basemaps (e.g., roads, geology, hydrography, terrain, etc.).
- Dynamic cursor posting of both model and basemap planar coordinates, model variables, interpolated model variables, and flow velocity magnitude.
- Basemap can be angularity-skewed to planar georeferencing.
- Flexible, interactive, integrated and graphical water budget including mouse-driven multiple block point-and-click which can be superimposed on site basemaps, geology maps, digital elevation maps, etc. before, during, and after solution processing. Three-dimensional irregular model domains can be defined quite easily using this facility so that ground water flows (both planar and vertical) near specific site facilities, geologies, hydrography, political, and terrain features can determine rapidly. Data entry in *InterSat* is completely integrated, throughout all processing, with *InterSat's* extensive graphics features.
- Mouse-driven graphics zoom capability.
- Printer and file outputs including HPGL.2 and PostScript printer output.
- Water budget, graphics and editing hot-keys accessible from all simulation menus prior, during, and subsequent to solution processing.
- Link to transient, reversible, particle tracking for graphic pathline generation and transport under variably saturated conditions.

### BASIC INTERSAT FEATURES

- Variable saturating using Van Genuchten Constitutive Relationships.
- Cartesian and 3-D radial coordinate systems (radial is useful for design of wells).
- Gpd-Ft or consistent units with conversion between the two.
- Dynamic, virtual memory allocation. This means NO LIMIT ON MODEL SIZE EXCEPT YOUR MACHINE'S MEMORY AND DISK STORAGE SPACE.
- Data link to comprehensive grid generation.
- Transient and steady-state solutions.
- Block facial flow budgets (e.g., flow through cross sections).



- Executable from Windows.
- Dataset georeferencing for input to any visualization software.
- Direct interface to geostatistical parameter input using Kriging for all variables (geostatistics package includes a graphical variogram analysis tool).
- Unix version under development.
- Spatially-variable anisotropy.
- Model grid node transient watch point file output.

### BOUNDARY CONDITIONS

- Transient and steady boundary conditions for all model variables; transient boundary conditions include the specification of periodic or absolute variation from file input – Constant head (Dirichlet) – Evapotranspiration – Recharge – No-flow – Pumpage file and interactive pumpage input – Head-controlled flux boundary conditions – Peaceman well node potentiometric head correction – Ground water/surface water stage-storage non-linearity imbedded in solution method which is numerically more accurate than subsystem linkage with the assumption of small simulation time steps.

### SOLUTION METHODS

- Multiple Solution algorithms that can be changed or mixed interactively before, during, and after solution processing including SIP, LSOR, ADI, Conjugate Gradient, Diagonally Preconditioned Conjugate Gradient, Incomplete Cholesky Conjugate Gradient, Direct Gaussian LU Decomposition, Incomplete Cholesky LU Fill-In Conjugate Gradient, Picard Non-linear Iteration, Generalized Minimum Residual, Non-Linear MultiGrid in Beta.
- A residual-based solution method is used by *InterSat* 6.0 instead of the "small" relative or absolute iteration changes presently used by models such as HST3D, SUTRA, MODFLOW, and SWIFT. The residual-based solution approach insures a more reliable numerical convergence criterion, as the relative change iteration norms frequently may not indicate convergence (false numerical convergence; this can be very important in non-linear problems) when convergence rates are slow.

Price: Visual InterSat

\$750

If you are having trouble determining which model to use for your project, try . . .

## Model Expert95 for Windows

**D**on't know what model is right for you? Having trouble understanding if a model deals with heterogeneous soil, if it will be rigorous enough for your requirements, what operating system it runs under? Get *Model Expert95* and filter through hundreds of models to find the right model for your site! *Model Expert95* also gives you a name to call, an address to write, and price information.

*Model Expert95 for Windows*, due for release the first of September, is a new software program which allows you to easily search through hundreds of public domain and proprietary ground-water flow, transport, and parameter estimation models for information about specific models, contact addresses and phone numbers.

*Model Expert95* allows filtering to find just the right model for you. Plug in information on your site hydrogeology such as material

properties, saturation state of the soil, aquifer type, number of fluid phases, and dimensionality of the problem, etc. Tell *Model Expert95* whether you want to model flow and/or transport and it selects the right model to use. You can then view or print out a report of models selected by the program from the parameters you specified.

*Model Expert95* is based on information from individual software developers, the U.S. Geological Survey (USGS), the U.S. Environmental Protection Agency (EPA), and others.

*Model Expert95* is a true *Windows95* application with a user-friendly menu system. It will run under *Windows 3.x* and higher.

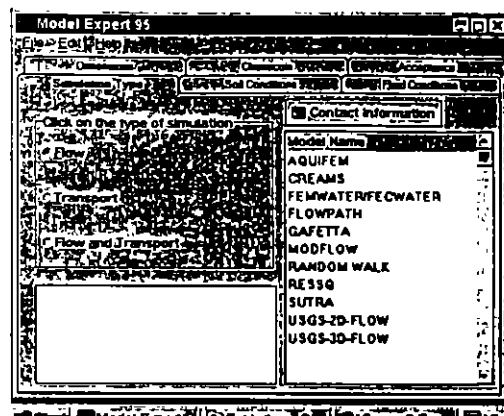
*Model Expert95* will be upgraded, and upgrades will be available for a nominal fee.

**Requirements:** 386/486/Pentium running Microsoft *Windows 3.x* and higher with 4 MB of hard disk space.

**Price:**

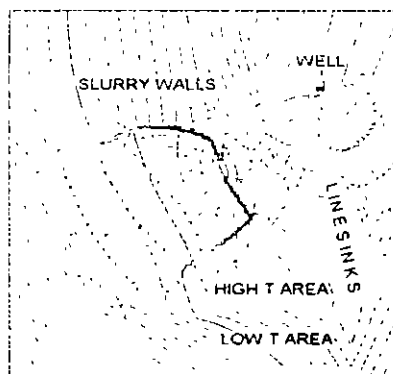
*Model Expert95*

\$ 125



## TWODAN V. 4.0 – 2-D Analytic Model

*Versatile & Popular – New Slurry Wall Elements*



**T**WODAN models two-dimensional ground-water flow in the horizontal or vertical plane. It is based on the "Analytic Element Method" described by Strack (1989). TWODAN, with hundreds of users worldwide, just got better with the addition of resistant wall (slurry wall) elements, impermeable wall elements, contour labels, text labels, and several other enhancements. The principal advantages of this method over conventional numerical methods are its lack of a fixed grid, simple input, accuracy, speed, and direct graphic output. Without a fixed grid, you can extend your analytic model any distance to incorporate regional features without sacrificing accuracy in the area of interest. Because of this flexibility, TWODAN is an efficient tool for modeling

regional flow, capture zones for wellhead protection, or remedial design alternatives. *TWODAN* has many more unique capabilities than any other flow model software in this price range.

**Capabilities include:** Aquifers with two strata – Confined and/or unconfined conditions – Heterogeneities, polygonal regions, inside of which the aquifer can have different elevations and/or hydraulic conductivities (up to 20 regions) – Global infiltration or leakage – Local infiltration or leakage areas (up to 100) – Uniform regional flow – Wells, discharge- or head-specified (up to 100) – Line-sinks, discharge- or head-specified (up to 400) – Transient Wells (up to 100) – Resistant elements for modeling thin, resistant boundaries such as slurry walls in open polylines or closed irregular polygon shapes (up to 20 multi-segment boundaries) – Impermeable elements for modeling thin, impermeable boundaries in open polylines or closed irregular polygon shapes (up to 20 multi-segment boundaries) – Pathline tracing (unlimited number, started from points, lines, and wells), and timed pathlines for timed capture zones, etc. – Calibration, compares calculated heads to observed heads – Fast, uses extended memory and 32-bit code.

**Simple Menus, Graphic Input, and Graphic Output:** Create a TWODAN model by importing a CAD DXF basemap and then graphically input/edit the model features with a mouse. Model input and output settings are edited interactively with simple data entry forms. Multiple model runs and plots can be made from within TWODAN, without resorting to an editor or other pre- or post-processing software. **Online help screens** make detailed reference material available while modeling.

TWODAN can generate the following output: A text file listing model properties – Plotted layout of model components – Plotted basemap – Plotted head contours – Plotted stream function contours – Plotted potential function contours – Plotted flow pathlines.

Plots may be viewed quickly and interactively on screen or directed to a DXF, HPGL, PostScript, PCX or ACORN DRAW file and a wide variety of common printers.

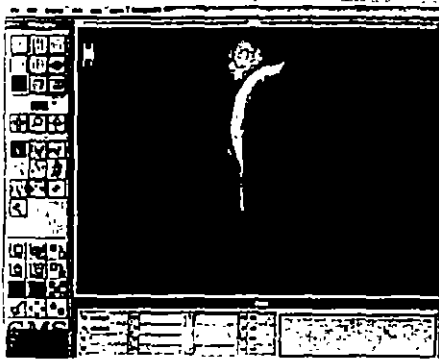
**Requirements:** PC 386/486/Pentium with 4 MB RAM, hard disk, and VGA graphics card.

**Price:** TWODAN

\$ 575

# 3DFEMFAT

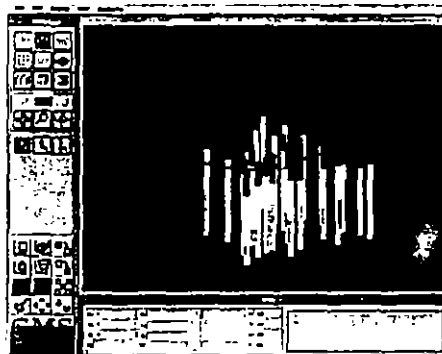
## 3-D Finite-Element Saturated-Unsaturated



**3DFEMFAT** is a **3-Dimensional Finite-Element Model of Flow And Transport** through Saturated-Unsaturated Media. A two-dimensional version, **2DFEMFAT**, is also available. **3DFEMFAT** can do simulations of flow only, transport only, combined sequential flow and transport, or coupled density dependent flow and transport. In comparison to conventional finite-element or finite-difference models, the transport module of **3DFEMFAT** offers several advantages: (1) it completely eliminates numerical oscillation due to advection terms, (2) it can be applied to mesh Peclet number ranging from 0 to infinity, (3) it can use very large time step size to greatly reduce numerical diffusion, and (4) the hybrid Lagrangian-Eulerian finite-element approach is always superior to and will never be worse than its corresponding upstream finite-element or finite-difference method. Because of these advantages, **3DFEMFAT** is ideal for application to large field problems. The special

features of **3DFEMFAT** are its flexibility and versatility in modeling a wide range of real-world problems. The model is designed to deal with:

- **Heterogeneous** and anisotropic media.
- **Spatially** and temporally dependent element and point sources/sinks.



- **Prescribed** initial condition or the simulated steady-state solution as the initial condition.
- **Five types** of boundary conditions for the flow module: (1) prescribed heads, (2) prescribed gradient fluxes, (3) prescribed total fluxes, (4) iteratively determined infiltration, seepage, and/or evaporation boundaries, and (5) river boundaries. All boundary values are allowed to vary with space and time.
- **Four types** of boundary conditions for the transport module: (1) prescribed concentrations, (2) prescribed gradient fluxes, (3) prescribed total fluxes, and (4) flow direction-dependent inflow and outflow

boundaries. All boundary values are allowed to vary with time and space.

- **Give** three options (exact, under- or over-relaxation) for estimating the nonlinear matrix.
- **Include** six options (subregion block iterations, basic point iterations, and 4 PCG methods) for solving the linearized matrix equations.
- **Provide** two options (consistent and lumping) of treating the mass matrix.
- **Give** two options (nodal quadrature and Gaussian quadrature) for surface and element integrations.
- **Provide** three adsorption models (linear isotherm and nonlinear Langmuir and Freundlich isotherms) in the transport module.
- **Employ** hexahedral elements, triangular prism, tetrahedral elements, or the mixtures of these three types of elements to facilitate the discretization of the region of interest.
- **Automatically** reset time step size when boundary conditions or sources/sinks change abruptly.
- **Check** the mass balance computation over the entire region for every time step.

**Requirements:** 386/486/Pentium (Pentium recommended) with 16 MB RAM and FORTRAN Compiler. Any Workstation, e.g., IBM RS6000, DEC Alpha, Silicon Graphics, Sun SparcStation, and HP 9000 Series.

**Price:** 3DFEMFAT \$ 1,000

# 3DFATMIC

## 3-D Subsurface Flow and Fate and Transport of Microbes & Chemicals Model

**3DFATMIC** is a **3-Dimensional Subsurface Flow and Fate and Transport of Microbes and Chemicals** model. A two-dimensional version, **2DFATMIC**, is also available. **3DFATMIC** is designed to simulate transient and/or steady state density-dependent flow field and transient and/or steady-state distribution of a substrate, a nutrient, an aerobic electron acceptor (e.g., the oxygen), an anaerobic electron acceptor (e.g., the nitrate), and three types of microbes in a 3-D domain of subsurface media. It can be used to investigate saturated-unsaturated flow alone, contaminant transport alone, combined flow and transport, or the fate and transport of microbes and chemicals in subsurface environment. For the flow module, Galerkin finite-element method is used to discretize the Richards' equation and for the transport module, the hybrid Lagrangian-Eulerian approach with an adapted zooming

and peak capturing algorithm is used to discretize the transport equation. This approach can completely eliminate spurious oscillation, numerical diffusion, and peak clipping due to advection transport. Large time-step sizes as well as large spatial-grid sizes can be used and still yield accurate simulations. The special features of **3DFATMIC** are its flexibility and versatility in modeling a wide range of real-world problems. It can simulate the fate and transport of chemicals ranging from one to seven components. **3DFATMIC** is designed for application to anisotropic and heterogeneous media and uses the same varieties of elements as in **3DFEMFAT**. It also includes the same types of sources/sinks and flexible boundary conditions and provides the same combination of numerical options as in **3DFEMFAT**. The model is designed to deal with:

- **Heterogeneous** and anisotropic media.
- **Fate** and transport of chemicals ranging from one to seven components.
- **Employ** hexahedral elements, triangular prism, tetrahedral elements, or the mixtures of these three types of elements to facilitate the discretization of the region of interest.
- **Automatically** reset time step size when boundary conditions or sources/sinks change abruptly.
- **Easy** modification of chemical and microbe kinetics.

**Requirements:** 386/486/Pentium (Pentium recommended) and FORTRAN Compiler. Any Workstation, e.g., IBM RS6000, DEC Alpha, Silicon Graphics, Sun SparcStation and HP 9000 Series.

**Price:** 3DFATMIC \$ 2,000

# GFLOW

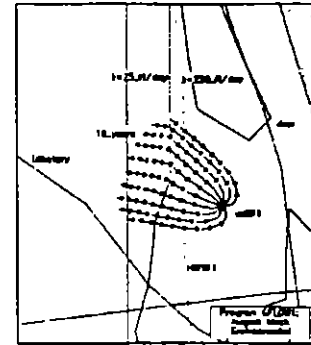
## Analytic Element Ground-Water Flow Model

**G**FLOW is a complete ground-water and surface-water modeling system including digitizer program, data preprocessor, analytic element model, and a graphics postprocessor. GFLOW was specifically designed to make the process of ground-water modeling more efficient and is well suited for remedial system design, well head protection studies, and more generic local and regional modeling investigations.

- Effortless on-screen input data preparation using digital hydrography files available from the author.
- Quickly set up a regional model in GFLOW and locally extract a MODFLOW-compatible input data file (extended version only).
- Interactive graphics user interface with extensive error checking and graphical calibration.
- Label contours and annotate and scale figures in GFLOW for report-ready (color) graphics in DXF, PostScript, and over 100 printers.

GFLOW is the ultimate consulting hydrologists package, integrating the input data, preprocessor, flow model, and report-ready graphics into one powerful system. The package contains: GFLOW1—an analytic element conjunctive surface-water and ground-water model for confined and/or unconfined conditions, TABLET—for analytic element digitizing, GAEP—an advanced preprocessor which uses a digital hydrography map for creation and modification of GFLOW1 input data files, and GPRINT—a versatile graphical postprocessor.

The most exceptional feature of GFLOW is the way it integrates surface-water and ground-water flow solutions. Unlike some ground-water flow models, GFLOW allows streams to lose water to the aquifer based on surface-water availability, avoiding the problem of over infiltrating streams which invalidate ground-water flow solutions. Other exceptional features of GFLOW include extensive on-line help, contaminant



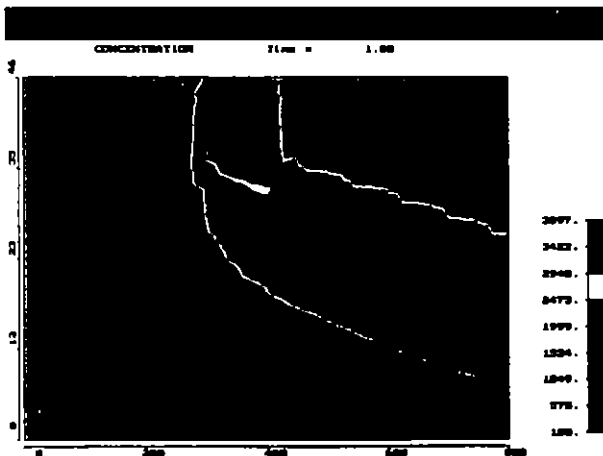
transport along streamlines, and your company name in all graphic outputs.

**Requirements:** PC 386 with 4 MB RAM (3 MB extended) and math coprocessor.

**Prices:**  
GFLOW \$ 500  
Extended Version Upgrade \$ 475

# VAM2D

## 2-D Variably Saturated Analysis Model



Cross-section of contaminant plume from waste-disposal trench.

**V**AM2D is a 2-D finite-element model that simulates water flow and contaminant transport. It analyzes unconfined flow problems using a rigorous saturated-unsaturated modeling approach using efficient numerical techniques. Accurate mass balance is maintained even when simulating highly nonlinear soil moisture relations. Time step size is all automatically adjusted depending on the degree of nonlinearity. Hysteresis effects in the water retention curve can also be simulated. A wide range of boundary conditions can be treated including seepage faces, water table conditions, recharge, infiltration, evapotranspiration, and

pumping and injection wells. The contaminant transport option can account for equilibrium sorption and first-order degradation. Transport of a single species or multiple parent-daughter components of a decay chain can be simulated.

### APPLICATIONS

VAM2D can be used to simulate ground-water flow in confined or unconfined aquifers, as well as moisture and solute movement in unsaturated zones; predict contaminant plume extent and rate of migration to aid in the design of monitoring programs and remedial schemes; simulate water flow in the unsaturated zone surrounding a repository, and perform exposure assessment for potential radionuclide migration.

### BOUNDARY CONDITIONS

**Water flow simulation inputs** – prescribed nodal values of head or prescribed integrated nodal fluid flux values. **Solute transport inputs** – prescribed nodal values of concentration or prescribed integrated nodal values of solute mass fluxes.

### SIMULATION OUTPUTS

VAM2D provides head, saturation, velocity and concentration data, plus a detailed mass-balance at user-specified time values. It incorporates a fully integrated graphical postprocessor, VMPLLOT. VMPLLOT is mouse driven and can generate contour and vector plots of all simulation results. It supports plotters and color PostScript printers.

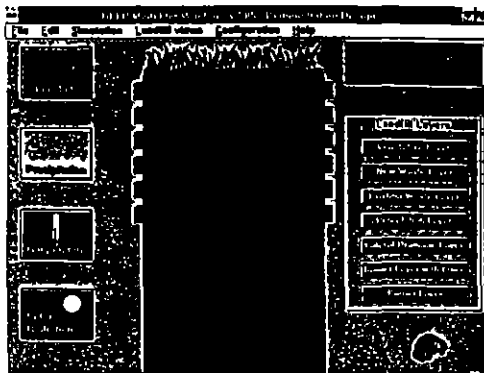
**Requirements:** 386/486 with 8 MB RAM, optional color VGA, mouse, and HP PostScript or compatible printer for VMPLLOT.

**Prices:** VAM2D \$ 1,750  
VMPLLOT Module \$ 300



# HELP Model for Windows v2.05

## Hydrological Evaluation of Landfill Performance



Create and Analyze Landfill Designs  
Quickly & Easily!

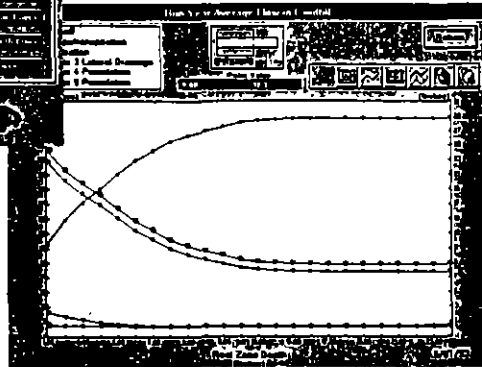
**H**ELP Model for Windows (HMFV) is a landfill design tool. Its purpose is to guide the user through the design process of an **open, partially closed or closed landfill**. After design completion, the program will conduct a **HELP Model v2.05** water-budget simulation and display the results of the simulation in graphs and tables.

A landfill is created using a top down design. Layers are added by selecting a desired layer type and clicking the "Add" button, or by double-clicking on a layer type. Layer actions such as **move, copy, and delete** can be accomplished using the "Edit" menu or clicking on the desired layer and moving it to the new location. Select a landfill site from a map or an alphabetical list of province/state and cities. Locations include 184 U.S. sites and 52 Canadian sites.

Sensitivity analysis is a significant tool in landfill design analysis. A **complete analysis** of a design can be completed in hours instead of days. The user selects **any landfill parameter** (e.g., snow depth, soil type, thickness) from any layer and varies the parameter within a minimum and maximum. **HMFV** generates the input files and conducts all of the runs for sensitivity analyses or for a single run. The program illustrates the results of individual runs with **bar graphs, complete tables of input parameters, and x-y graphs of water flows versus time**. Sensitivity analysis output also, includes **x-y graphs of flows versus the changing parameter over all runs**.

The **HELP Model for Windows** program consists of:

- **A Microsoft Windows** graphical user interface.
- **Relational database** management system for storage, retrieval and analysis of landfill designs.



- **HELP landfill design** and hydrological model computational engine (Hydrological Evaluation of Landfill Performance, Ver. 2.05, USAE Waterways Experiment Station).
- **On-line Help** system.

### User Interface

A **Microsoft Windows** graphical user interface replaces the **FORTTRAN** interface of the **HELP Model**. The original **FORTTRAN** model computational engine is used with no modifications. The user interface module consists of a main design screen, and mouse and keyboard driven worksheets. **Scrolling selection lists, pop-up windows, and bar and xy-graphs** provide the user with an intuitive environment to design a landfill and display the results of a simulation.

### Databases

The **HMFV** databases were developed in the **Dataflex** relational database management system. Numerous databases are used, but essentially, they can be divided into two types: those which **store the invariable data** and default values used by **HMFV**, and those which **store the input data and calculated results** of a model simulation. The complete climatological data contained in the **HELP Model** program has been saved in databases to reduce the hard disk requirements and speed up data access.

### Features

The **Hydrological Evaluation of Landfill Performance (HELP)** computer program is a quasi-two-dimensional hydrologic model of water movement **across, into, through, and out of** landfills. The model uses clima-

tological, soil, and design data to implement a solution technique that accounts for the effects of surface storage, runoff, infiltration, percolation, evapotranspiration, and lateral drainage.

**HELP** models combinations of vegetation, cover soils, waste cells, special drainage layers, and relatively impermeable barrier soils, as well as synthetic membrane covers and liners. The objective of the model is to provide **rapid estimation of the amounts of runoff, drainage, and leachate** that may be expected from the operation of a wide variety of landfill designs. The **HELP** model was designed specifically to evaluate hazardous wastes but will simulate most **open, partially closed and fully closed** landfill sites. Consequently, the model is a good tool for both designers and permit writers.

### Validation

The **HELP** program was developed by the U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station (**WES**) for the U.S. Environmental Protection Agency (**EPA**) Municipal Environmental Research Laboratory, in response to needs identified by the **EPA** Office of Solid Waste. The **HELP** model has been validated with full-scale data (20 full-scale sites) and is widely used.

### Local Area Network (LAN)

The **HELP Model for Windows** Local Area Network (**LAN**) program extends the stand-alone version by providing:

- **A single repository** for the program and databases.
- **Work group** editing among all users.
- **Easy** node installation.
- **Network** security.

**Requirements** - PC 386/486 running Microsoft Windows v3.1 in Enhanced mode, 17.3 MB hard disk space, math coprocessor, and VGA or Super VGA graphics display.

### Prices

Single User License	\$ 800
10-Node LAN License	\$ 7,250
Additional Nodes	\$ 225
(sold in 5 packs only)	

# RISKPRO'S SESOIL & AT123D for Windows

## Models for Long-Term Pollutant Fate and Migration

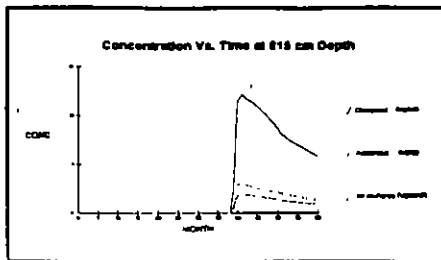
**S**ESOIL is a seasonal compartment model which simulates long-term pollutant fate and migration in the unsaturated soil zone. The model describes the following components of a user-specified soil column which extends from the ground surface to the ground-water table.

- **Hydrologic cycle** of the unsaturated soil zone.
- **Pollutant concentrations** and masses in water, soil, and air phases.
- **Pollutant migration** to ground water.
- **Pollutant volatilization** at the ground surface.
- **Pollutant transport** in washload due to surface runoff and erosion at the ground surface.

SESOIL estimates all of the above components on a monthly basis for up to 99 years of simulation time. The soil column may be composed of up to four layers, each layer having different soil properties which affect the pollutant fate. In addition, each soil layer may be subdivided into a maximum of 10 sublayers in order to provide enhanced resolution of pollutant fate and migration in the soil column. The following pollutant fate processes are accounted for in the model: *Volatilization - Adsorption - Cation exchange - Biodegradation - Hydrolysis - Complexation.*

SESOIL can be used as a screening tool in performing exposure assessments. The EPA used the model to predict the behavior of pollutants in soil compartments for analyzing the prioritizing chemical exposures.

The SESOIL model accepts time-varying pollutant loading. For example, it is able to simulate chemical releases to soil from a variety of sources such as landfill disposal, accidental leaks, agricultural applications,



leaking underground storage tanks, or deposition from the atmosphere.

### Input Data

The input data required by SESOIL consists of five types: climatic, soil, chemical, application, and washload.

Climatic data for 3,225 weather stations throughout the continental U.S. is available with SESOIL. The user may purchase the climatic data by state rather than for the whole U.S. In addition, the Soil-5 database provides the soil information required by SESOIL for over 14,000 soil series across the United States. Included with SESOIL are eight measured property files for the most commonly modeled chemicals using SESOIL: benzene, ethylbenzene, toluene, naphthalene, 1,1-trichloroethylene, trichloroethylene, tetrachloroethylene, and hexachlorobenzene.

SESOIL creates an output file which contains monthly results for hydrologic cycle components, pollutant mass distribution, and pollutant concentration distribution for each layer or sublayer. SESOIL also generates a SESOIL-AT123D link file which contains pollutant mass-to-ground water leachate quantities entering the aquifer from

the unsaturated zone. This file can be used as input to the AT123D ground-water model in RISKPRO. Within RISKPRO, line graphs of "concentration vs. time" at any specified depth within the unsaturated zone may be created from SESOIL results. "Pollutant-front-depth vs. time" may also be created.

### AT123D For Windows

The Analytical Transient, One-, Two-, and Three-Dimensional Model (AT123D) is an analytical ground-water transport model. It computes the spatial-temporal concentration distribution of wastes in the aquifer system and predicts the transient spread of a contaminant plume through a ground-water aquifer. The fate and transport processes accounted for in AT123D are advection, dispersion, adsorption, and decay.

The input data required by AT123D consists of three types: simulation parameters, source configurations, and soil and waste properties. In RISKPRO, SESOIL and AT123D are linked so that the mass loading to the ground water predicted by SESOIL is automatically transferred to AT123D through the click of a button.

**Requirements:** PC 386/486 running Microsoft Windows.

### Prices:

SESOIL for Windows	\$ 845
Soils-5 Database	\$ 395
Zip Code Database	\$ 295
Climate Database (entire U.S.)	\$ 1,995
<i>(Individual states vary from \$ 150 to \$ 450)</i>	
AT123D for Windows	\$ 395

## Lahey Compilers

### LAHEY F77L-EM/32

**Lahey F77L-EM/32 Compiler**—this fast and powerful 32-bit Fortran compiler lets users write and port programs as large as 4 GB on 386/486 and Pentium machines. It is a past winner of *PC Magazine's* "Technical Excellence Award for Compilers/Languages."

The F77L-EM/32 compiler includes Phar Lap Software's 386/DOS-Extender, the full ANSI 77 Standard, VAX and IBM VS mainframe extensions, fast compilation, 32-bit debugger, easier mainframe porting with DO WHILE & DO END DO statements, Windows and OS/2 compatibility, and video graphics. As an added feature, it now in-

cludes the same Fortran 90 features and foreign language error messages found in F77L. Users can select error messages in Dutch, English, French, German, Italian, and Spanish. Free technical support is included.

**Requirements:** 386/486/Pentium with 2 MB RAM and math coprocessor.

**Price:** Lahey F77L-EM/32 \$ 800

### LAHEY FORTRAN 90

**Lahey's 32-Bit Fortran 90 Compiler** — combines the award-winning Fortran compiler design with Intel's highly optimized code generation technology. By using the Intel code generator, Lahey delivers a prod-

uct optimized for the 386, 486, and Intel Pentium processors. Fortran 90 enables you to run all of your Fortran 77 programs and take advantage of 90 features such as: new array expressions, new Data Types, modules, more intrinsic functions, etc. The result is a language system with blazing execution speed that is a complete implementation of the Fortran 90 Standard. Lahey Fortran 90 includes the Phar Lap DOS Extender and a full suite of development tools—editor, debugger, profiler, make, and video graphics. Free technical support is included.

**Requirements:** 486/Pentium with 8 MB RAM and math coprocessor.

**Price:** Lahey FORTRAN 90 \$ 900

## MODFE

**M**ODFE is the USGS "A Modular Finite-Element Model for Areal and Axisymmetric Flow Problems" by Lynn J. Torak and Richard C. Cooley of the USGS. **MODFE** was developed to simulate steady- or unsteady-state two-dimensional or axisymmetric ground-water flow in a heterogeneous anisotropic aquifer. **Physical processes** that can be represented by the model include: (1) confined flow, unconfined flow (using the Dupuit approximation), or a combination of both; (2) leakage through either rigid or elastic confining units; (3) specified recharge or discharge at points, along lines, and over areas; (4) flow across specified-flow, specified-head, or head-dependent boundaries; (5) decrease of aquifer thickness to zero under extreme water-table decline and increase of aquifer thickness from zone as the water table rises; and (6) head-dependent fluxes from springs, drainage wells, leakage across riverbeds or confining beds combined with aquifer dewatering, and evapotranspiration.

**MODFE** includes the source code, executable version, and technical support. The **MODFE Report/Doc** is not included.

**Requirements:** PC 386/486 with 2 MB RAM and math coprocessor.

**Prices:**  
**MODFE** \$ 250  
**MODFE Report/Doc** \$ 60

## MINTEQA2

**M**INTEQA2 is a U.S. EPA geochemical equilibrium speciation model capable of computing equilibria among the dissolved, adsorbed, solid, and gas phases in an environmental setting. **MINTEQA2** includes an extensive data base of reliable thermodynamic data that is accessible to **PRODEFA2**, an interactive program designed to be executed prior to **MINTEQA2** for the purpose of creating the required **MINTEQA2** input file. **MINTEQA2** generates reports at user-selected levels of detail. Reported parameters include the concentrations of all species in the system and saturation states of all solids. **MINTEQA2** can be used to calculate  $K_d$ , the distribution coefficient between adsorbed and dissolved concentrations. This parameter is extremely useful in ground-water transport models.

**MINTEQA2/PRODEFA2** includes the source code, executable version, user's manual, and technical support. The **MINTEQA2/PRODEFA2 Report/Doc** is not included.

**Requirements:** PC 386/486 with 2 MB RAM and math coprocessor.

**Prices:**  
**MINTEQA2/PRODEFA2 Report/Doc** \$ 250  
\$ 30

## MODFLOW

### Parameter Estimation for MODFLOW

**M**ODFLOW is the USGS Computer Program for Estimating Parameters of a Transient or Steady-State, Three-Dimensional, Ground-Water Flow Model Using Nonlinear Regression.

Parameters used to calculate the following **MODFLOW** model inputs can be estimated: **Transmissivity** and storage coefficient of confined layers - **Hydraulic conductivity** and specific yield of unconfined layers - **Vertical leakance** - **Vertical anisotropy** (used to calculate vertical leakance) - **Horizontal anisotropy**; hydraulic conductance of the River, Streamflow-Routing, General-Head Boundary, and Drain Packages - **Areal recharge rates**; maximum evapotranspiration - **Pumpage rates** - **Hydraulic head at constant-head boundaries**. Any spatial variation in parameters can be defined by the user.

Data used to estimate parameters can include existing independent estimates of parameter values, observed hydraulic heads or temporal changes in hydraulic heads, and observed gains and losses along head-dependent boundaries (such

as streams). Model output includes statistics for analyzing the parameter estimates and the model. These statistics can be used to quantify the reliability of the resulting model, to suggest changes in model construction and to compare results of models constructed in different ways. Code has been added to the original program to facilitate the input of file names and the opening of appropriate files. Five new computer programs are included for testing weighted residuals and calculating linear confidence and prediction intervals on **MODFLOW** results.

**MODFLOW** includes the latest source code, executable version, user's guide, and technical support. The **MODFLOW Report/Doc** is not included.

**Requirements:** PC 386/486 with 2 MB RAM and math coprocessor.

**Prices:**  
**MODFLOW** \$ 250  
**MODFLOW Report/Doc** \$ 60

## PRZM2

### Pesticide Transport

**P**PRZM2 links two models, **PRZM** and **VADOFT** to predict pesticide transport and transformation down through the crop root, and **VADOSE** (unsaturated) zone to the water table. **PRZM2** incorporates soil temperature simulation, volatilization and vapor phase transport in soils, irrigation simulation, and microbial transformation.

**PRZM** is a one-dimensional finite-difference model which uses a method of characteristics (**MOC**) algorithm to eliminate numerical dispersion.

**VADOFT** is a one-dimensional finite-element code that solves the Richard's equation for flow in the unsaturated zone. The user may make use of constituting relationships between pressure, water content, and hydraulic conductivity to solve the flow equation.

**PRZM2** is capable of simulating multiple pesticides or parent/daughter relationships. It is also capable of estimating probabilities of concentra-

tions or fluxes in or from various media for the purpose of performing exposure assessments.

**PRZM** and **VADOFT** are linked together with the aid of a flexible execution supervisor that allows the user to build models that are tailored to site-specific situations. Monte Carlo pre- and post-processors are provided in order to perform probability-based exposure assessments.

**PRZM2** includes the source code, executable version, user's manual, and technical support. The **PRZM2 Report/Doc** is not included.

**Requirements:** PC 386/486 with 2 MB RAM and math coprocessor.

**Prices:**  
**PRZM2** \$ 250  
**PRZM2 Report/Doc** \$ 50

# GEOPACK

**GEOPACK** is a comprehensive EPA geo-statistical software system for conducting analysis of the spatial variability of one or more random functions. **GEOPACK** is menu-driven, user-friendly, and includes on-line help. Basic statistics including mean, median, variance, standard deviation, skew, kurtosis and max/min values can be determined. Includes linear and polynomial regression, Kolomogorov-Smirnov test for distribution and calculation of several percentiles of a data set. The sample semi-variogram, cross-semivariogram or semivariogram for combined random functions for a two-dimensional spatially-de-

pendent random function can be determined. Ordinary kriging and co-kriging estimators in two dimensions along with their associated estimation variance and the conditional probability that the value is greater than a specified cutoff level. Graphics capability, including linear or logarithmic line plots, contour plots and block (pixel) diagrams, is included. Device drivers for HP plotters, LaserJet and dot matrix printers are included.

**GEOPACK** includes the source, executable code, documentation, and technical support.

**Price: GEOPACK \$ 200**

# BIOPLUME II

**BIOPLUME II** is a U.S. EPA computer model of two-dimensional transport of dissolved hydrocarbons under the influence of oxygen-limited biodegradation. The model computes concentration changes due to advection, dispersion, mixing and biodegradation. The model solves the transport equation twice (for hydrocarbon and oxygen) using the method of characteristics and computes two plumes at each time step which are then combined using superposition. Four sources of oxygen are provided: through injection wells, initial dissolved oxygen in the uncontaminated aquifer, natural recharge of oxygen across the boundaries, and vertical exchange of oxygen from the unsaturated zone (reaeration). Large grids to 120 X 120 are permitted. Up to 25 observation points may be specified.

included. The **BIOPLUME II** package includes the source code, executable version, documentation, and technical support.

## BIOPLOT

**BIOPLOT** is a new graphics package which runs in the integrated **BIOPLUME II** environment. It can automatically contour up to 200 sets of concentration (hydrocarbon, oxygen) and head data and can superimpose velocity vectors on the contours. **BIOPLOT** can also generate time history plots (linear, semi-log, vertical profile) for both hydrocarbon and oxygen data for up to 25 observation points. **BIOPLOT** options include contour selection and levels, titles and labels, pen selections, curve types, number of curves, background and symbol selection.

**BIOPLOT** includes the source, executable code, documentation, and technical support.

**Prices: BIOPLUME \$ 300**  
**BIOPLOT \$ 200**

**BIOPLUME** executes in an integrated environment and includes pre- and post-processors and a View function for examining and printing portions of large output files. An optional graphics module, **BIOPLOT**, is not

# RECESS

**RECESS** is a group of six computer programs for describing the Recession of Ground-Water Discharge and for Estimating Mean Ground-Water Recharge and Discharge from Streamflow Records. The programs are used for the analysis of the daily streamflow record of a basin where one can assume that all, or nearly all, ground-water discharges to the stream except for that which is lost to riparian evapotranspiration, and where diversion of flow is negligible.

## RECESS

**RECESS** determines the master recession curve (MRC) of streamflow recession during times when all flow can be considered to be ground-water discharge and when the

profile of the ground-water head distribution is nearly stable.

## RORA

**RORA** uses the recession-curve displacement method to estimate the recharge for each peak in the streamflow record.

## PART

**PART** uses streamflow partitioning to estimate a daily record of base flow under the streamflow record.

## TRANS

**TRANS** translates data into a format that can be read by the above three programs. **TRANS** may be used to convert two- and three-card format daily mean streamflow data from a USGS data base.

# VS2DT

**VS2DT** is a USGS program for flow and solute transport in variably saturated, single-phase flow in porous media. A finite-difference approximation is used to solve the advection-dispersion equation. Simulated regions include one-dimensional columns, two-dimensional vertical cross sections, and axially symmetric, three-dimensional cylinders.

Program options include backward or centered approximations for both space and time derivatives, first-order decay, equilibrium adsorption (Freundlich or Langmuir) isotherms, and ion exchange. Nonlinear storage terms are linearized by an implicit Newton-Raphson method. Relative hydraulic conductivity is evaluated at cell boundaries using full upstream weighting, arithmetic mean or geometric mean. Saturated hydraulic conductivities are evaluated at cell boundaries using distance-weighted harmonic means.

The model has been modified to present pertinent data during execution. Five additional utility modules are included with this package. **GREEN** is the Green-Ampt analytical solution for infiltration. **PRESSID** and **CONCENID** produce one-dimensional pressure and concentration profiles, respectively. **MASSBAL** produces mass balance rate component profiles. **OBSERV** produces volumetric moisture content, saturation and concentration time history data sets at each observation point.

**VS2DT** includes the source and executable codes, the five utility modules, and technical support.

**Prices: VS2DT \$ 250**  
**VS2DT Report/Doc \$ 45**  
**TECGRAF \$ 200**

## STREAM

**STREAM** allows the user to screen the daily-values data file for periods of continuous record.

## CURV

**CURV** reads an output file from **RECESS** and then creates a simple file that can be used as input to separate graphical software from which an MRC can be drawn.

**RECESS** includes the source and executable codes, and technical support.

**Prices: RECESS \$ 300**  
**RECESS Report/Doc \$ 25**

## SWMM

**S**WMM, Storm Water Management Model, is a U.S. EPA computer model for analysis of quantity and quality problems associated with urban runoff. Both single-event and continuous simulation may be performed on catchments having storm sewers, combined sewers and natural drainage for prediction of flows, stages and pollutant concentrations anywhere in the system. All aspects of the urban hydrologic and quality cycles may be modeled including rainfall, snowmelt, surface and subsurface runoff, flow routing through the drainage network, storage and treatment. Statistical analyses may be performed on long-term precipitation data and on output from continuous simulation. SWMM includes the source code, executable version, user's guide, and technical support. The SWMM Report/Doc is not included.

**Requirements:** IBM-PC or compatible with 640K RAM, math coprocessor, and hard disk.

**Prices:**  
SWMM \$ 250  
SWMM Report/Doc \$ 90

## WASP5/DYNHYD5

**W**ASP5, Water Quality Analysis Simulation Program, is a U.S. EPA generalized modeling framework that simulates contaminant fate in surface waters. Based on the flexible compartment modeling approach, WASP5 can be applied in one, two, or three dimensions. WASP5 is designed to permit easy substitution of user-written routines into the program structure. Problems that have been studied include biochemical oxygen demand, dissolved oxygen dynamics, nutrients, bacterial contamination and toxic chemical movement. The DYNHYD5 model is a simple hydrodynamic model that simulates variable tidal cycles, wind, and unsteady inflows. It produces an output file that can be linked with WASP5 to supply the flows and volumes to the water quality model. WASP5 includes the source code, executable version, user's guide, and technical support. The WASP5/DYNHYD5 Report/Doc is not included.

**Requirements:** IBM-PC or compatible with 640K RAM, math coprocessor, and hard disk.

**Prices:**  
WASP5/DYNHYD5 \$ 300  
Report/Doc \$ 60

## HSPF

**H**SPF, Hydrologic Simulation Program Fortran, is a U.S. EPA program simulation of watershed hydrology and water quality for both conventional and toxic organic pollutants. The model uses information such as the time history of rainfall, temperature and solar radiation; land surface characteristics such as land use patterns; and land management practices to simulate the processes that occur in a watershed. The result of this simulation is a time history of the quantity and quality of runoff from an urban or agricultural watershed. Flow rate, sediment load, and nutrient and pesticide concentrations are predicted. HSPF includes an internal data-base management system to process the large amounts of simulation input and output. HSPF includes the source code, executable version, user's guide, and technical support. The HSPF Report/Doc is not included.

**Requirements:** IBM-PC or compatible with 640K RAM, math coprocessor, and hard disk.

**Prices:**  
HSPF \$ 300  
HSPF Report/Doc \$ 100

## QUAL2EU

**Q**UAL2EU, Enhanced Stream Water Quality Model with Uncertainty Analysis, is a U.S. EPA steady-state model for conventional pollutants in branching streams and well mixed lakes. The model can be operated as either a steady-state or dynamic model. It is intended for use as a water quality planning tool. The model can be used to study the impact of waste loads on instream water quality. It also can be used to identify the magnitude and quality characteristics of non-point waste loads as part of a field sampling program. QUAL2EU includes the source code, executable version, user's manual, and technical support. The QUAL2EU Report/Doc is not included.

**Requirements:** IBM-PC or compatible with 640K RAM, math coprocessor, and hard disk.

**Prices:**  
QUAL2EU \$ 300  
QUAL2EU Report/Doc \$ 30

## MULTIMED

**M**ULTIMED, Multimedia Exposure Assessment Model, is a U.S. EPA program which simulates the transport and transformation of contaminants released from a waste disposal facility into the multimedia environment. Release to either air or soil, including the unsaturated and saturated zones, and possible interception of the subsurface contaminant plume by a surface plume are included in the model. The model can be used as a technical and quantitative management tool to address the problem of the land disposal of chemicals in the multimedia environment. MULTIMED includes the source code, executable version, user's manual, and technical support. The MULTIMED Report/Doc is not included.

**Requirements:** IBM-PC or compatible with 640K RAM, math coprocessor, and hard disk.

**Prices:**  
MULTIMED \$ 300  
MULTIMED Report/Doc \$ 30

## PESTAN

**P**ESTAN, Pesticide Transport, is a U.S. EPA program for evaluating the transport of organic solutes through the vadose zone to ground water.

PESTAN uses an analytical solution to calculate organic movement based on a linear isotherm, first-order degradation and hydrodynamic dispersion. Input data includes water solubility, infiltration rate, bulk density, sorption constant, degradation rates, saturated water content, characteristic curve coefficient, saturated hydraulic conductivity and dispersion coefficient. PESTAN includes the source code, executable version, user's manual, and technical support. The PESTAN Report/Doc is not included.

**Requirements:** IBM-PC or compatible with 640K RAM, math coprocessor, and hard disk.

**Prices:**  
PESTAN \$ 10  
PESTAN Report/Doc \$ 20

## RITZ

**RITZ** (Regulatory and Investigative Treatment Zone Model) is a menu-driven EPA model which permits decision makers to **simulate the movement and fate of hazardous chemicals** during land treatment of oily wastes.

The model incorporates the influence of oil in sludge, water movement, volatilization, and degradation upon the transport and fate of a hazardous chemical. Soil water content is re-

## CHEMFLO

**CHEMFLO** is an EPA program for **simulating water and chemical movement** in unsaturated soils. Water movement is modeled using Richards Equation. Chemical transport is modeled using the advection-dispersion equation and incorporates first-order decay in the liquid and solid phase, zero-order production or decay, and linear equilibrium adsorption. These equations are solved for one-dimensional flow and transport using finite differences. Extensive graphics capability include graphs of water content, matrix potential, driving force, con-

## VLEACH

**VLEACH**, a One-Dimensional Finite-difference Vadose Zone Leaching Model, is an EPA program which **describes the movement of an organic contaminant** within and between three phases: (1) as a solute dissolved in water, (2) as a gas in the vapor phase, and (3) as an adsorbed compound in the solid phase. The leaching is simulated in a number of distinct, user-defined polygons vertically divided into a series of user-

## HSSM

**HSSM** (Hydrocarbon Spill Screening Model) is an EPA model which **simulates subsurface releases of light nonaqueous phase liquids** (LNAPLs). The model includes separate modules for LNAPL flow through the vadose zone, spreading in the capillary fringe, and transport of chemical constituents of the LNAPL in a water table aquifer. These modules are based on simplified conceptualizations of the flow and transport phenomena which were used so

## MT3DPLOT

**MT3DPLOT** is a comprehensive, integrated, easy-to-use, **menu-driven graphics package** for use with **MT3D**. It reads the **MT3D** input (BTN) and automatically determines which data has been created. Horizontal (layer) or cross section (along a row or column) contour maps may be produced for each specific transport step, time step or stress period. Plots of concentration versus time for all selected nodes

lated to hydraulic conductivity by the Clapp and Hornberger function.

Features include interactive data entry and both graphical and tabular output. **RITZ** includes the executable and source codes and technical support.

Prices: **RITZ** \$ 150  
**RITZ Report/Doc** \$ 30

ductivity and flux density of water vs. distance and time and graphs of concentration and flux density of chemical as functions of time. Tabular outputs are available. A menu-driven pre-processor is included for data file creation/modification. **CHEMFLO** includes the executable and source codes and technical support.

Prices: **CHEMFLO** \$ 150  
**CHEMFLO Report/Doc** \$ 35

defined cells. At the end of the simulation, the results from each polygon are used to determine an area-weighted ground-water impact for the modeled area. **VLEACH** includes the executable and source codes and technical support.

Prices: **VLEACH** \$ 100  
**VLEACH Report/Doc** \$ 30

that the resulting model would be a practical, though approximate tool. Both DOS and Windows interfaces are provided to create input data sets, run the model, and graph the results. **HSSM** includes the executable and source codes and technical support.

Prices: **HSSM** \$ 150  
**HSSM Report/Doc** \$ 40

may be generated. Mass balance plots (In, Out, Net, Discrepancy) may be produced. **MT3DPLOT** runs in a batch environment and processes all data from an **MT3D** simulation at one time and minimizes the number of files. Graphics sent to the screen, printer or plotter.

Price: **MT3DPLOT** \$ 400

## GRITS/STAT

**GRITS/STAT** (Ground water Information Tracking System with Statistical Analysis Capability) is a comprehensive, easy to use, EPA menu-driven **ground-water database system** designed to store, analyze, and report data generated during ground-water monitoring programs at RCRA, CERCLA and other regulated facilities and sites. Features include: (1) ability to tailor **GRITS/STAT** to individual needs, (2) easy entry of facility and ground-water data, (3) generation of numerous standardized reports containing the data, (4) export data to other software applications, and (5) extensive statistical analysis capability including ANOVA Methods (Parametric and Nonparametric). Data may be entered directly or from a spreadsheet program. The program includes the database, example database information and technical support.

Prices:  
**GRITS/STAT** \$ 250  
**GRITS/STAT Report/Doc** \$ 40

## RETC

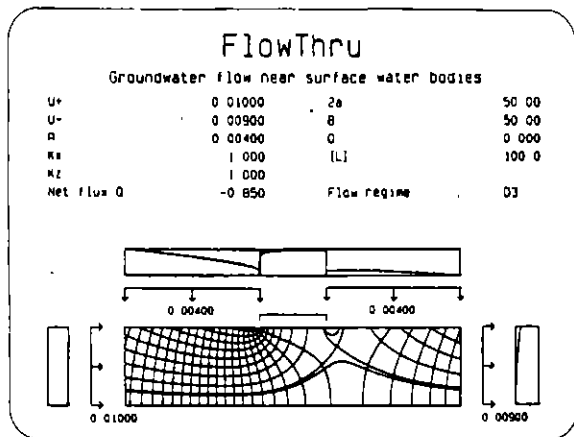
**RETC** (RETention Curve) is an EPA program for **analyzing the soil water retention and hydraulic conductivity functions** of unsaturated soils. Several analytical models are used to estimate water retention, unsaturated hydraulic conductivity, or soil water diffusivity for a soil. **RETC** uses the parametric models of Brooks-Corey and Genuchten to represent the soil water retention curve and the theoretical pore-size distribution models of Mualem and Burdine to predict the unsaturated hydraulic conductivity function from observed soil water retention data. A non-linear least-squares parameter optimization method is used to estimate the unknown coefficients in the hydraulic models. The model incorporates menu-driven data entry. **RETC** includes the executable and source codes and technical support.

Prices:  
**RETC** \$ 150  
**RETC Report/Doc** \$ 35

# FLOWTHRU

*Calculates Ground-Water Flow Regimes Near Shallow Surface-Water Bodies*

**F**LOWTHRU for DOS and Mac is a totally new concept in ground-water modeling software. Rather than being a modeling package where users set up and run a numerical simulation model, **FLOWTHRU** superimposes precomputed solutions and then displays model results.



**FLOWTHRU** is the result of five years of research. Although developed with shallow lakes in mind, the program can also be applied to wetlands, rivers, streams, canals, channels and drains. The main uses of the program are (1) for determining the depths of ground-water capture zones near shallow-water bodies (analogous to the problem of

wellhead protection), and (2) as an educational tool, to allow users to visualize flow patterns near surface-water bodies.

**FLOWTHRU** is based on a two-dimensional anisotropic vertical section through water bodies which are long in the direction perpendicular to the direction of regional ground-water flow. Depending on directions of flow at lateral boundaries, **FLOWTHRU** can be applied to flow-through lakes (which receive water from the aquifer on one side and discharge water to the aquifer on the other), to rivers or channels receiving water from both sides, and to canals or recharge basins which provide recharge to a regional aquifer. Recent research has confirmed that the results also apply reasonably well on the center line of large circular lakes.

**FLOWTHRU** combines and displays a set of precomputed solutions obtained using the linear triangular finite-element model, **AQUIFEM-N**. Steady-state solutions are provided as a set of unformatted files for six water-body geometries and eleven values of bottom resistance. Additional solutions are available on request. **FLOWTHRU** is

menu-driven, and no pre or postprocess are required. Data requirements include lengths to characterize the geometry of a cross section, bulk hydraulic conductivities, and estimates of water-table slopes and average recharge or evapotranspiration.

All graphical output can be saved as files suitable for PostScript laser printers and for laser printers and plotters which accept Hewlett Packard Graphics Language (HPGL) files. ASCII output files contain detailed descriptions of the results.

**FLOWTHRU** provides a general framework for classifying ground-water flow patterns near elongated surface-water bodies. The program recognizes a large number of distinct flow regimes (17 flow-through, 11 discharge, and 11 recharge flow regimes) which can occur under different regional flow and recharge conditions.

## Requirements:

**FLOWTHRU<sup>PC</sup>** - PC 386/486 with 2 MB RAM, math coprocessor, and hard disk.

**FLOWTHRU<sup>Mac</sup>** - Macintosh with 2 MB RAM and hard disk.

## Prices:

**FLOWTHRU<sup>PC</sup>** \$ 300  
**FLOWTHRU<sup>Mac</sup>** \$ 300

# SWIFT/486

**S**WIFT/486 is a three-dimensional model to simulate ground-water flow, heat (energy), brine and radionuclide transport in porous and fractured geologic media. The primary equations for fluid (flow), heat and brine are coupled by fluid density, viscosity and porosity. In addition to transient analysis, **SWIFT/486** offers a steady-state option for coupled flow and brine. The equations are solved using central or backward spatial and time weighting approximations by the finite-difference method. In addition to Cartesian, cylindrical grids may be used. Contaminant transport includes advection, dispersion, sorption and decay, including chains of constituents. Both dual-porosity and discrete-fracture representations along with rock matrix interactions may be simulated. The non-linearities resulting from water table and variable density are solved iteratively.

## FEATURES

- **A run-time monitor** displays the simulations progress, convergence, mass balance, and dialog.
- **Versatile interface** to **SURFER** for contouring pressure, temperature and concentration.
- **Extensive error checking.**
- **Auxiliary files** for variable structure grid, restart, mapping, mass balance, well summary and concentration discharge.
- **STLINE code** for particle tracking.
- **Easy installation**, 70 verification QA/QC data sets.

## BOUNDARY CONDITIONS

- **Prescribed value** or flux for pressure heat, brine and nuclide concentration.
- **Variable constraint well** (injection/production).

- **Aquifer influence functions** (Carter-Tracy).
- **Freewater surface and recharge.**

## TYPICAL APPLICATIONS

**Deep well injection of hazardous waste — Hazardous waste site characterization and remediation (RI/FS) — Pump-and-treat, hydraulic containment and other waste remediation — Salt-water intrusion, upconing — Aquifer thermal energy storage — High-level radioactive waste performance assessment — Fractured media, dual porosity.**

**Requirements:** PC 486 with 4 to 32 MB RAM and Lahey F77L-EM/32 compiler.

## Prices:

**SWIFT/486 (Supported)** \$ 1,200  
**SWIFT/486 (Not Supported)** \$ 800

# GEO-SLOPE PROGRAMS

**G**EO-SLOPE Programs, **SLOPE/W**—Slope Stability Analysis Software, **SEEP/W**—Finite-Element Seepage Analysis, **SIGMA/W**—Finite-Element Stress & Deformation Analysis, and **CTRAN/W**—Finite-Element Contaminant Transport Analysis, are an integrated set of programs. These programs implement CAD-like functionality using Microsoft Windows 3.x. They have the common look and feel of all Windows applications, making them easy to learn and use.

**Requirements:** PC 286/386/486 with 1 MB RAM (4 MB recommended), math coprocessor, hard disk, mouse compatible with Microsoft Windows, math coprocessor, and EGA or VGA or higher graphics card and display. **GEO-SLOPE** Programs include the executables, comprehensive user's guide, and technical support.

## SLOPE/W

### Slope Stability Analysis Software for Windows

**S**LOPE/W uses the limit equilibrium theory to compute the factor of safety of earth and rock slopes for a variety of methods. The comprehensive formulation of **SLOPE/W** makes it possible to analyze both simple and complex geometric, stratigraphic, and external loading conditions.

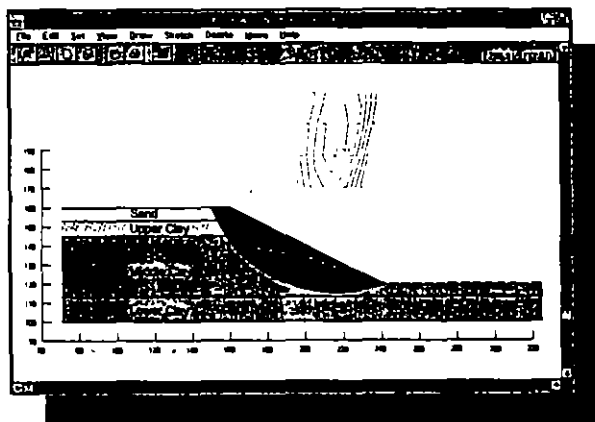
The CAD-like features of **SLOPE/W** let you draw the problem on the screen with a mouse. Items that can be drawn include stratigraphic and geometry lines, piezometric lines, pore-water pressure contour lines, slip surface rotation centers and radius lines, and external line loads. Soil layers can be shaded different colors for easy identification. Drawings can be labeled with text and enhanced with lines, circles, arcs, and scaled axes. To interpret the results, you can view each potential slip surface and the associated factor of safety, and you can also plot conditions along the critical slip surface.

#### FEATURES AND CAPABILITIES

**SLOPE/W** can use any of the following methods to calculate the factor of safety:

- Ordinary or Fellenius
- Bishop's Simplified
- Janbu's Simplified
- Spencer
- Morgenstern-Price
- Corps of Engineers
- Lowe-Karafiath
- GLE (General Limit Equilibrium)

The user can select a variety of interslice side force functions for the Morgenstern-Price and GLE methods including sine, clipped sine, trapezoidal, and finite-element based functions.



#### Geometry & Stratigraphy

- Multiple soil (material) types
- Partial submergence
- Variable thickness and discontinuous soil strata
- Impenetrable soil layers
- Dry and water-filled tension cracks
- Definition by rotation center and radius or by data points
- Circular shape
- Composite shape (part circular and part linear)
- Fully specified by a series of straight line segments

#### Pore-Water Conditions

- An  $r_u$  coefficient for each soil type
- A piezometric line for each soil type
- Contours of pore-water pressure
- Head, pressure, or  $r_u$  coefficients specified at discrete points
- Finite-element computed pore-water pressures

#### Soil Properties

- Total and/or effective strength parameters,  $c$  and  $\phi$

- Bilinear strength envelopes
- Unsaturated soil strength

#### Applied Loads

- Surcharge fills
- Surcharge concentrated loads
- Toe berms
- Anchor loads
- Geo-fabric reinforcement
- Seismic and earthquake loads

#### VIEWING AND PLOTTING

The user can view each potential slip surface and its associated factor of safety with the **CONTOUR** function. The **GRAPH** function allows the user to plot conditions along the slip surface including:

- Weight per unit slice width
- Pore-water pressure
- Shear resistance
- Interslice force function
- $m_\alpha$  values
- Base normal and shear forces

#### PRODUCT INTEGRATION

**SLOPE/W** is integrated with **GEO-SLOPE**'s other products. For example, **SLOPE/W** can use the pore-water pressure distribution established by either a **SEEP/W** finite-element seepage analysis or a **SIGMA/W** finite-element stress/deformation analysis. This feature is particularly powerful for transient flow processes. Knowing the pore-water pressure as a function of time makes it possible to calculate the change in stability with time.

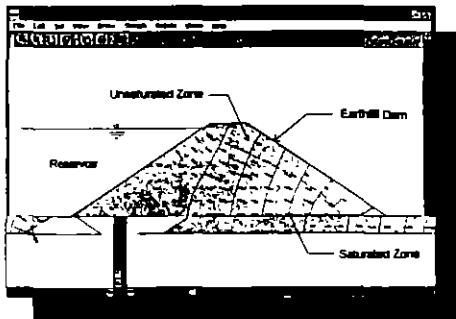
Price: **SLOPE/W**

\$ 3,495



# SEEP/W

## Finite-Element Seepage Analysis



**S**EEP/W analyzes geotechnical engineering seepage and pore-water pressure dissipation problems. The comprehensive formulation of SEEP/W makes it possible to consider analyses ranging from simple saturated steady-state problems to sophisticated saturated/unsaturated time-dependent problems. The CAD-like features of SEEP/W let you draw the problem on the screen with a mouse. Items that can be drawn include the finite-element mesh and boundary conditions. Material types are shaded with different colors, and boundary conditions are identified with graphic symbols. Drawings can be labeled with text and enhanced with lines, circles, arcs, and a scaled axis. The results can be displayed as head contours, pressure contours, transient water table positions, and velocity vectors.

### FEATURES AND CAPABILITIES

SEEP/W can model both saturated and unsaturated flow, a feature that greatly broadens the range of problems that can be analyzed. In addition to traditional steady-state saturated flow analysis, the saturated/unsaturated formulation of SEEP/W makes it possible to analyze seepage as a function of time and to consider such processes as the infiltration of precipitation. The transient feature allows you to analyze such problems as the migration of a wetting front and the dissipation of excess pore-water pressure.

#### Analysis Types

- Steady-State confined and unconfined flow
- Transient flow conditions
- Two-dimensional flow in a vertical plane
- Three-dimensional axisymmetric flow
- Two-dimensional flow in plan view

#### Boundary Conditions

- Fixed hydraulic head or flux conditions
- Transient head or flux as a function of time
- Flux as a function of computed head

- Review and adjustment of seepage face conditions

#### Soil Properties

The hydraulic conductivity of the soil is a function of the negative pore-water pressure in unsaturated regions. Also, the rate of change in water content is dependent on the water pressure during transient processes. This data is defined at discrete points that SEEP/W uses to create spline-interpolated smooth functions. In addition, the hydraulic conductivity can be defined as anisotropic in two orthogonal directions.

#### Flux Quantities

SEEP/W computes the total flux across user-defined lines drawn through all or part of the mesh. Single or multiple flux sections can be defined for the same problem.

#### Stop-Restart Solving

The main processing function can be halted at any time and then later restarted. This provides for feasibility in modifying boundary conditions and soil properties at intermediate stages during transient analyses.

#### Finite-Element Mesh

- Mesh generation
- Four- to eight-noded quadrilateral elements
- Three- to six-noded triangular elements
- Selectable Gaussian integration order
- Color shading of elements according to material type
- Boundary conditions displayed as graphic symbols
- Automatic numbering of nodes and elements
- Sorting, verification, and optimization of mesh numbering scheme
- No restriction on the number of nodes and elements nor on the nodal number difference (bandwidth) in an element

#### VIEWING AND PLOTTING

The results can be graphically displayed as total head (equipotential) contours, pore pressure contours, and velocity vectors. Transient conditions can be displayed by plotting the changing position of the water table as a function of time.

Price: SEEP/W

\$ 3,495

# SIGMA/W

## Finite-Element Stress & Deformation Analysis

**S**IGMA/W analyzes geotechnical stress and deformation problems. The comprehensive formulation of SIGMA/W makes it possible to consider analyses ranging from simple linear-elastic deformation problems to sophisticated effective-stress nonlinear problems with staged applied loadings. The CAD-like features let you draw the problem on the screen with a mouse. Elements can be drawn individually or generated over a region, and boundary conditions can be drawn by clicking on nodes. For easy identification, you can shade soil layers different colors and display graphic symbols for boundary conditions. Drawings can be labeled with text and enhanced with lines, circles, arcs, and a scaled axis. You can halt the calculations at any time to make modifications and then restart the analysis. Also, the computed stresses and deformations can be graphically displayed.

### FEATURES AND CAPABILITIES

#### Constitutive Models

SIGMA/W is formulated for the following elastic and elastic-plastic constitutive soil models:

- Linear-Elastic
- Anisotropic Linear-Elastic
- Non-linear-Elastic
- Elastic-Plastic (Tresca & Mohr-Coulomb Failure Criterion)
- Strain-Softening (Von Mises Failure Criterion)
- Cam-Clay (Critical State)
- Modified Cam-Clay (Critical State)

#### Analysis Types

- Drained total and effective stress
- Undrained total stress
- Undrained effective stress
- Two-dimensional plane strain
- Three-dimensional axisymmetric
- Fill placement
- Excavations
- Braced excavations
- Consolidation and swelling (deformation due to changes in pore-water pressure)
- Self-weight gravity loading

#### Boundary Conditions

- X and Y displacements
- X and Y forces
- X and Y pressures
- X and Y spring constants

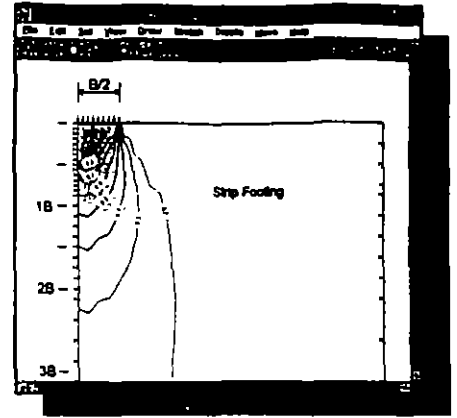
### Finite-Element Mesh

- Mesh generation
- Four- to eight-noded quadrilateral elements
- Three- to six-noded triangular elements
- Selectable Gaussian integration order
- Color shading of elements according to material type
- Boundary conditions displayed as graphic symbols
- Automatic numbering of nodes and elements
- Sorting verification, and optimization of mesh numbering scheme
- No restrictions on the number of nodes and elements and on the nodal number difference (bandwidth) in an element

### VIEWING AND PLOTTING

The results can be graphically displayed as a deformed mesh, displacement vectors, strain contours, stress contours, pore-pressure contours, and shading of yield zones. Also, the stress state at any node can be displayed as a Mohr Circle with the associated space-force diagrams by simply clicking on the node. Deformations can be displayed at any specified magnification. Contour regions can be shaded to reflect varying intensities of stress, strain, or pore pressure.

Price: SIGMA/W \$ 3,495



## CTRAN/W

### Finite-Element Contaminant Transport Analysis

**C**TRAN/W models contaminant transport through soil and rock. The comprehensive formulation of CTRAN/W makes it possible to analyze a wide range of problems. Problems may be as simple as tracking particles in response to the movement of water or as complex as analyzing processes involving diffusion, dispersion, adsorption, and radioactive decay.

CTRAN/W is integrated with SEEP/W and has the same Microsoft Windows CAD-like graphical user interface as SEEP/W. The two software products **must be used together** to analyze contaminant transport. SEEP/W computes the water flow velocity, water content, and water flux. CTRAN/W uses these parameters to compute the contaminant migration.

### TRANSPORT PROCESSES

When a contaminant enters the ground, the dissolved constituents will migrate due to the movement of the water. This process is called advection. In addition, the contaminant disperses due to hydrodynamic mixing and molecular diffusion. In the absence of

dispersion, the dissolved mass would migrate as a "plug" at full concentration. The migration also may be retarded due to adsorption and radioactive decay.

CTRAN/W has a finite-element SOLVE function to analyze advection-dispersion processes with optional mass losses due to adsorption and decay, as well as a TRACK function to model only advection.

### ADVECTION-DISPERSION

The integration with SEEP/W makes it possible to model contaminant transport for:

- Simultaneous saturated and unsaturated flow
- Steady-state and transient water flow conditions
- Transient hydraulic boundary conditions
- Anisotropic and heterogeneous ground conditions

The CTRAN/W features specific to mass transport analysis include:

- Transient concentration and mass flux boundary conditions
- Molecular diffusion coefficient as a function of volumetric water content
- Independent coefficients of dispersivity in two orthogonal directions
- Adsorption as a function of concentration
- Mass loss due to radioactive decay
- Total, advective, and dispersive mass flux across user-specified sections
- Simulation of transport through fractured rock
- A time-step sequence independent of the corresponding SEEP/W analysis

### PARTICLE TRACKING

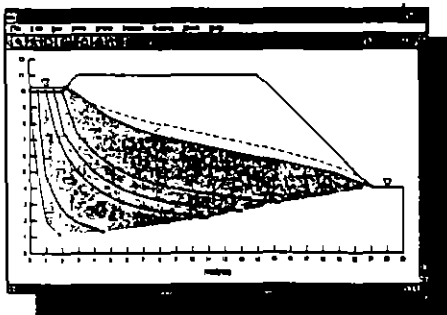
CTRAN/W can model contaminant movement by tracking data points (particles) from user-defined locations. Concentration is defined as particles per unit area. After each time step, CTRAN/W computes an average particle concentration at each node. The nodal concentrations are used for contouring and shading the particle distribution.

When the contaminant source is designated as continuous, particles are added to the starting elements at the beginning of each time step in order to maintain a constant number of particles in these elements. CTRAN/W adds new particles at random locations within each of the starting elements. When the contaminant source is designated as initial, the total number of particles remains constant for all times steps.

Particles that migrate outside the mesh are removed, making it possible to simulate the time required for complete disappearance of an initial amount of mass. In a particle tracking analysis, you can:

- Select elements with starting particle conditions by clicking on each element or by selecting the element number from a list.
- Define the starting conditions by specifying the total number of particles in an element or by specifying the concentration of particles in an element.
- Designate the starting conditions as either a continuous mass injection or a one-time fixed mass injection.

Price: CTRAN/W \$ 1,995



# CD-ROM of Groundwater Modeling

**CD-ROM of Groundwater Modeling**, by Environmental Simulations, Inc., contains over 500 megabytes of public domain groundwater modeling, geochemical, graphical, and related software. The CD-ROM also includes a software package called CDVIEW to help users explore the contents of the CD-ROM and install selected files on their computer's hard disk. CDVIEW is a DOS program that will also run under Windows and includes on-line context-sensitive help.

The *CD-ROM of Groundwater Modeling* includes publicly available software and data obtained from the USGS, U.S. EPA, and Internet anonymous ftp (file transfer protocol) sites. The following is a summary of the contents of the CD-ROM.

- Most of the software distributed by the USGS NWIS, including source code for many USGS models.
- All of the software distributed by the U.S. EPA's Center for Subsurface Modeling Support (CSMos) including BIOPLUME II, MOFAT, etc.
- Software from numerous Internet ftp sites including several USGS computers including the Geological Information Visualization (GIV) software, the U.S. EPA's Center for Exposure Assessment Modeling (CEAM) including the FEM-WATER code, and geostatistical and geochemical software for Windows from the University of Lausanne in Switzerland.
- Demonstration versions of selected commercial software including Geraghty & Miller's ModelCad and AQTESOLV software, PEST, GTGS, SiteView, and AQUASEA, among others.

The *CD-ROM of Groundwater Modeling* is a convenient way to evaluate hundreds of software packages related to groundwater modeling and geochemistry. If you are groundwater modeler, you cannot afford to be without this valuable reference!

**Requirements:** IBM-PC or compatible computer, MS-DOS Version 3.0 or higher, and a CD-ROM reader. A mouse is recommended. Note that some software contained on the CD-ROM may have additional requirements. An 80386, 80486, or Pentium computer running MS-DOS 5.0 or higher and Windows V3.1 or higher with 4 MB RAM should be able to run any software on the CD-ROM.

**Price:** CD-ROM of Groundwater Modeling \$ 250

## Spase

### New Module - EnviroSpase

**Spase** is a database management system which uses the relational data model. It is intended for scientific and engineering applications where some element of spatial (map-based) data is involved.

*EnviroSpase* is a module of *Spase* which analyzes environmental data for site monitoring and remediation. *EnviroSpase* helps the engineer, geologist, hydrologist, or manager separate the small subset of the total data set which is significant for understanding the natural configuration, contaminant distribution and physical processes at the site. This is done by combining a powerful, full-featured relational database manager with a map display system. The result is an easy-to-use, menu-driven program which is preconfigured to handle the usual data associated with site remediation projects, but which can be easily adapted or

extended to handle other kinds of data when necessary. The primary data types managed by *EnviroSpase* include base maps, data locations, samples, and Non-Aqueous Phase Liquids (NAPL's). You can import data, make corrections and changes, and display the data on maps and lists, or output it to other programs. *EnviroSpase* also lets you create extensions to the system with its straightforward, yet powerful script language. **Requires Spase to run.**

Other modules available include *PetroSpase* which provides data structures and queries for storing oil and gas data in *Spase*, and *ImageSpase* which provides the capability of adding bit-mapped images to *Spase* databases.

**Prices:** Spase \$ 2,000  
EnviroSpase \$ 1,000

## TechWords for DOS & Mac

**TechWords for DOS and Mac** makes spell checking the most complex technical documents easier and more reliable than ever. It contains over 40,000 technical words missing from popular word processing spell checkers. Select only the appropriate categories of terms you want to merge into your current spell checker to avoid cluttering your disk.

The terms in *TechWords* can be merged into the dictionary of most word processing software packages such as WordPerfect, Microsoft Word, Word for Windows, DisplayWrite, Manuscript, and XyWrite, to name a few. *TechWords* includes such disciplines as CHEMISTRY, COMPUTER SCIENCE & ELECTRONICS, EARTH & PLANETARY SCIENCES, ENGINEERING, LIFE SCIENCES, and PHYSICS & MATHEMATICS, among others. Scientific Units and Abbreviations are also included. **Please specify DOS or Mac when ordering.**

**Price:** TechWords \$ 125

## ATLAS GIS for Windows

**ATLAS GIS for Windows** strikes the perfect balance between powerful geographic analysis and ease-of-use by combining the functionality of a complete Geographic Information System with the simplicity of an all-new Microsoft Windows interface.

**Features include:** Support for up to 250 map layers - **Built-in database manager** links up to 250 tables to any geography - **Imports data** from any dBASE-compatible database or spreadsheet - **Query support** from either the data table or the map - **Sophisticated spatial analysis** including area-weighted data aggregation-multiple buffer creation-combine features and associated data - **Map Presentation Tools** including bivariate, shaded area, proportional fill or symbol and dot density theme types - **32 Data Ranges** and eight ranging methods - **Edit Titles, Legends, Scale Bars** and more on-screen - **Custom Scripting Tool** using Visual Basic language (optional) - **Extensive color palette** and support for all Windows print drivers - **Friendly Windows Interface** with Button Bar, Toolbox and Status Bar. *ATLAS GIS* comes bundled with a large library of base maps, data and page layout templates such as Counties of the World, Capitals of the World, U.S. States, U.S. Counties, U.S. Interstate Highways, Canadian Provinces, and 3-Digit Zip Codes, among many others.

**Prices:**  
ATLAS GIS \$ 500  
ATLAS GIS (International Price) \$ 800

# FLONET/FLOTRANS

## 2-D Cross-Sectional Steady-State Ground-Water Flow and Transport

**Computes Potentials,  
Streamlines, and  
Contaminant  
Concentrations!**

**FLONET**, by Waterloo Hydrogeologic Software, is the most widely-used two-dimensional cross-sectional steady-state ground-water flow model. It computes potentials, streamlines, and ground-water velocities in a vertical section through a confined or unconfined aquifer.

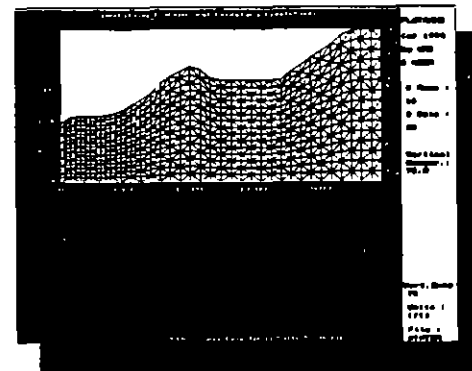
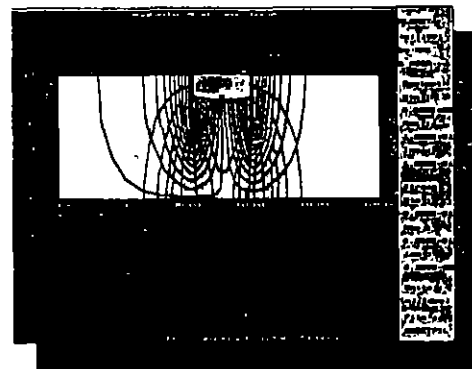
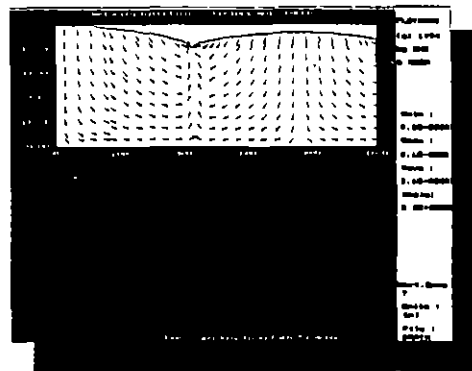
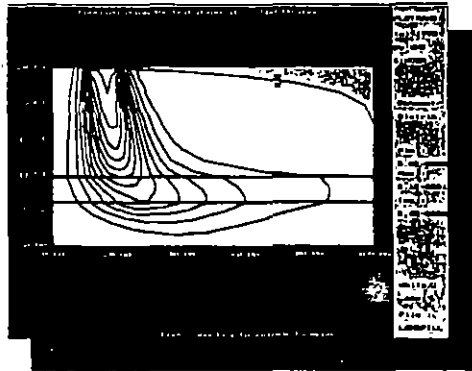
**FLONET** is based on the dual formulation of potentials and stream functions developed by Dr. E. O. Frind of the University of Waterloo. Heterogeneous and anisotropic porous media under complex boundary conditions can be simulated. Spatially variable recharge rates can be taken into account. For unconfined aquifers, the model seeks the water-table surface iteratively. The grid nodes are relocated automatically to conform with the final position of the water table.

**FLOTRANS** is an extension of **FLONET**, with the addition of transient contaminant transport calculations. Biodegradation and chemical transformation processes can be represented by a first-order decay function. Different decay rates can be applied to the source and to the contaminant within the aquifer. Adsorption can also be represented through linear retardation. Spatially variable initial concentrations and internal contaminant sources can be considered.

### DATA INPUT AND OUTPUT

**FLONET** and **FLOTRANS** are self-contained packages where all data input and output is done through an interactive graphical user interface. This user-friendly interface makes the design and modification of highly complex models extremely easy.

Data entry via keyboarding is avoided wherever possible and is replaced by an integrated interactive environment. For example, the finite-element grid is designed graphically on the screen by moving the grid lines to their desired positions with a



mouse or the arrow keys, and subsequently allows refinement of the model domain wherever desired. Heterogeneities are defined by reassigning the properties of blocks of cells on the screen. Contaminant sources and boundary conditions are also placed graphically on the screen.

There is no need for additional packages for visualization of results due to **FLONET/FLOTRANS'** high quality postprocessing capabilities. The model results can be displayed as equipotential contours, velocity vectors, and streamlines. **FLOTRANS** can also display concentration contours or breakthrough curves at monitoring wells. Any input parameter distribution and any result can be directed to screen, printer, plotter and graphics files (DXF, PCX, EPS, TIFF, etc.).

### DOCUMENTATION AND SUPPORT

**FLONET** includes a comprehensive 80-page manual, and **FLOTRANS**, a 120-page manual, both with step-by-step tutorials, descriptions of sample applications, and the underlying theory.

The code has been verified through comparisons with a number of analytical solutions and other published numerical models. The verification runs are documented in the user's manual. Technical support is provided by phone or fax.

**Requirements:** PC-386/486 with a minimum of 4 MB RAM, EGA or VGA display, and a math coprocessor. A mouse is also recommended. Most printers are supported as well as HP plotters and compatibles.

### Prices:

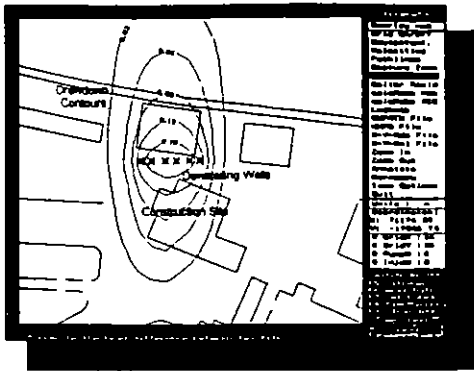
<b>FLONET</b>	\$ 695
<b>FLOTRANS</b>	\$ 895

**Upgrade  
From FLONET  
to FLOTRANS**

\$ 200

# FLOWPATH - Version 5.0

"The Only Complete 2-D Ground-Water Flow, Remediation, and Wellhead Protection Model"

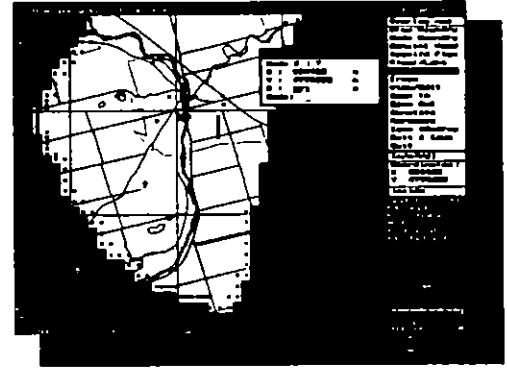
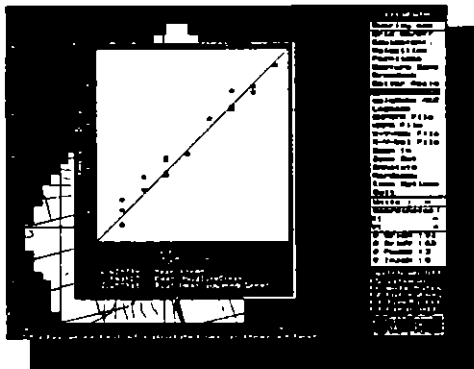
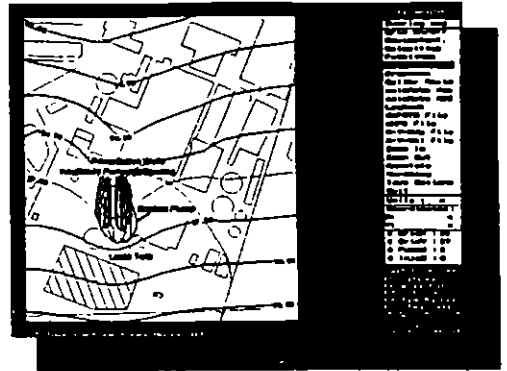


of confined, leaky, or unconfined flow in heterogeneous and anisotropic porous media. It can account for pumping and injection wells, spatially variable ground-water recharge and evapotranspiration, variable leakage characteristics of under and overlying aquitards, and interaction between ground-water and surface-water bodies. The model also calculates a water balance.

Ground-water pathlines, travel times, and velocities are calculated using the particle tracking method. The pathlines can be used either to delineate capture zones, injection zones, and wellhead protection areas, or to simulate convection-driven transport of adsorbed solutes.

## DATA INPUT AND OUTPUT

FLOWPATH is a self-contained package where all data input and output is done via an interactive graphical user interface. This user-friendly interface makes the design and modification of highly complex models extremely easy.



**FLOWPATH**, by Waterloo Hydrogeologic Software, is the most popular ground-water simulation package used in the industry today. With over 3,500 copies sold worldwide, the model has found widespread acceptance by the ground-water industry, regulators, and educational institutions.

**FLOWPATH** is the model of choice for applications such as design of pump-and-treat remediation systems, evaluation of containment schemes, delineation of wellhead protection areas, etc. We think this model is a "must" for the practicing hydrogeologist and geotechnical engineer.

**FLOWPATH** is a powerful two-dimensional steady-state ground-water flow and pathlines model for the calculation of hydraulic heads, ground-water velocities, time-related pathlines, capture zones, water balances, and steady-state drawdown distributions. The model's efficient memory management and state-of-the-art numerical implementation allows the analysis of very large grids to run on a microcomputer. The model features extensive graphics and printing capabilities, a menu-driven user interface, and many interfaces with other models and graphics packages including AutoCAD.

**FLOWPATH** is based on the finite-difference formulation allowing for the simulation

Data entry via keyboarding is avoided wherever possible and is replaced by an integrated interactive environment. For example, the finite-difference grid is designed graphically on the screen by moving the grid cells to their desired positions with a mouse or the arrow keys, and subsequent allows refinement of the model domain wherever desired. Heterogeneities are defined by reassigning the properties of blocks of cells on the screen. The time to complete a typical simulation job has been cut from several days to a few hours.

There is no need for additional packages for visualization of results due to **FLOWPATH's** high quality postprocessing capabilities. The model results can be displayed as equipotential and drawdown contours, velocity vectors, pathlines and calibration residuals. Any input parameter distribution and any results can be directed to screen, printer, plotter or graphics files (DXF, PCX, EPS, TIFF, etc.).

**FLOWPATH's** worldwide distribution demonstrates the level of user acceptance and confidence in the model.

## DOCUMENTATION AND SUPPORT

**FLOWPATH** includes a comprehensive 300-page manual with a step-by-step tutorial, description of sample applications, the underlying theory, and verification problems. Technical support is provided by phone or fax.

**Requirements:** PC 386/486 with a minimum of 4 MB RAM, EGA or VGA display, and a math coprocessor. A mouse is also recommended. Most printers are supported as well as HP plotters and compatibles.

**This program is a "Must" for the practicing hydrogeologist and geotechnical engineer.**

Prices:  
**FLOWPATH** \$ 895

Upgrades  
From Version 3 to 5 \$ 25  
From Version 4 to 5 \$ 190

# AIRFLOW/SVE

## Multicomponent Soil-Vapor Extraction

**Most Complete  
Package for SVE Analysis!**

**AIRFLOW/SVE**, by Waterloo Hydrogeologic Software, is a three-phase multicomponent numerical model for simulation of soil vapor extraction systems in areas contaminated by non-aqueous phase liquids (NAPL).

**AIRFLOW/SVE** takes into account a radial-symmetric steady-state gas flow towards an extraction well and transient vapor transport of multiple species in heterogeneous unsaturated media. It is the model of choice for applications such as design of vacuum extraction systems for remediation of contaminated soils, and evaluation of effectiveness of such method at different field situations.

**AIRFLOW/SVE** overcomes major limitations of other commercial vacuum extraction packages: volumetric gas flow rates are calculated directly by the model and vary spatially; the NAPL can be present in the form of residual, lenses or pools and be spatially distributed; mass transfer between NAPL, water and gas can be represented as kinetically-controlled as well as equilibrium processes. Various types of sorption isotherms can be considered. Differential NAPL depletion is simulated, with the more volatile compounds being depleted first leaving behind the less volatile species.

The implementation of efficient algorithms and robust numerical methods ensure conservation of mass and that large simulations, with several chemical components, can be done in a timely fashion in personal computers.

### DATA INPUT AND OUTPUT

**AIRFLOW/SVE** is a self-contained package where all data input and output is done through an interactive graphical user interface. This user-friendly interface makes the design and modification of highly complex models extremely easy.

Data entry via keyboarding is avoided whenever possible and is replaced by an integrated interactive environment. For example, the grid is designed graphically on the screen by moving the grid lines to their desired posi-

tions with a mouse or the arrow keys, and subsequently allows refinement of the model domain wherever desired. The location and composition of pools or residual zones, as well as heterogeneities are defined by reassigning the properties of blocks of cells on the screen. The time to complete a typical simulation job has been cut from several days to a few hours.

There is no need for additional packages for visualization of results due to **AIRFLOW/SVE**'s high quality postprocessing capabilities. The model results can be displayed as isobar contours, velocity vectors, pathlines, concentration contours for each component, and mass remaining contours. Several types of xy-plots can also be produced, such as total mass removed in the well versus time, breakthrough curves for each component, etc.

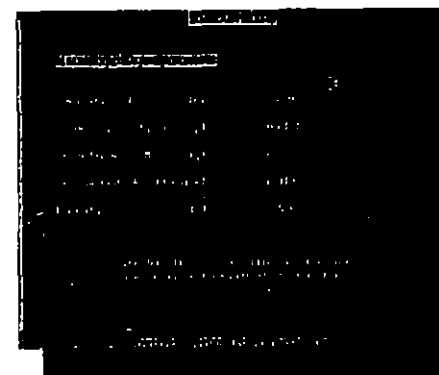
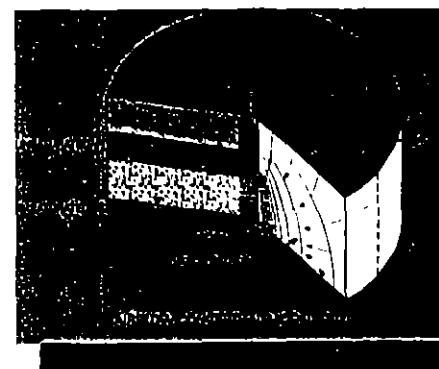
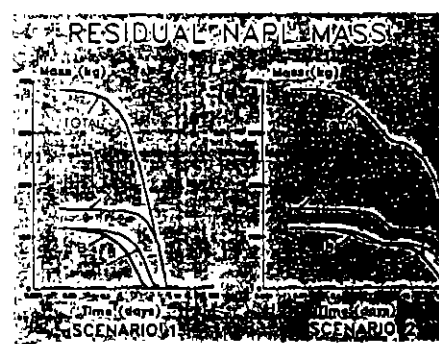
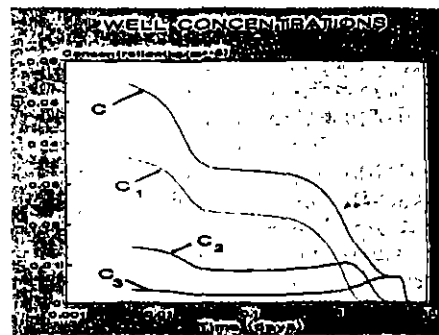
Any input parameter distribution and any result can be directed to screen, printer, plotter or graphics files (DXF, PCX, EPS, TIFF, etc.).

### DOCUMENTATION AND SUPPORT

**AIRFLOW/AIRFLOW/SVE** includes a comprehensive manual with a step-by-step tutorial, description of sample applications, the underlying theory, and verification problems. Technical support is provided by phone or fax.

**Requirements:** PC 386/486 with a minimum of 4 MB RAM, EGA or VGA display, and a math coprocessor. A mouse is also recommended. Most printers are supported as well as HP plotters and compatibles.

<b>Prices:</b>	
<b>AIRFLOW/SVE</b>	\$ 1,195
<b>Upgrade AIRFLOW/SVE From AIRFLOW</b>	\$ 350



# QUEST

## A Powerful Graphical Database for Integrated Data Analysis and Modeling

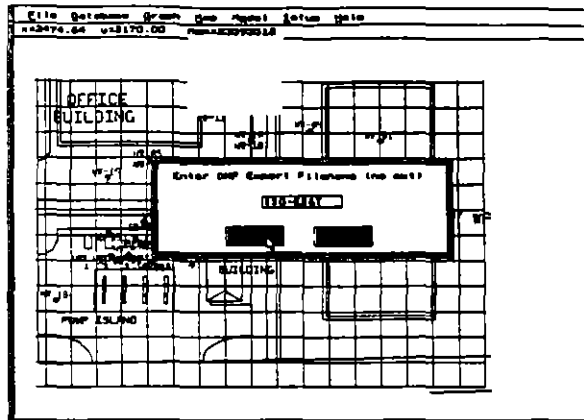
- A Tool for Busy Professionals
- Intuitive Graphical User Interface

QUEST is a powerful, time-saving tool for busy professionals which is an integral part of ES&T's modeling software. It allows users to share a common site database, CAD base map, and model generated overlays in ARMOS, AirCAD, BioTRANS and SpillCAD. By integrating database and graphics with state-of-the-art models, problems are solved faster and with greater insight than with any other software package.

### GRAPHICAL DATABASE FEATURES

- Use DXF-format CAD base maps to locate important site features.
- Store and retrieve fluid level, dissolved concentration, and soil boring data.

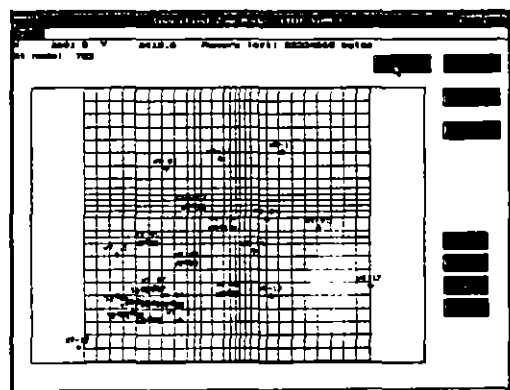
- User-definable data fields to customize to site.
- Perform relational database queries for user-defined search criteria.
- Create map overlays with sample locations and posted values meeting search criteria.
- Overlay sample locations, data values, contours and gradient plots on map.
- Time series plots of well hydrographs, dissolved concentrations, etc.
- Generate X-Y graphs of any data pairs from database.
- Multiple printer selections and option to export DXF-format graphics output.
- Produce contour plots of query results on map with an accurate kriging algorithm.



- Zoom and pan features allow easy map viewing at any scale.

# ARMOS

## Areal Migration of Free-Phase Light Hydrocarbon & Recovery System Design



viscosity and surface tension), and soil capillary pressure parameters may be input directly using various model options built in the program.

### BASIC FEATURES

- Considers spatially-variable anisotropic soil properties.

- Predicts hydrocarbon and water recovery rates for pumping wells.
- Estimates initial and boundary conditions and free oil volume from monitoring well data.
- Options to model water flow only, oil flow only or coupled oil-water flow.
- Interactive grid generator for rectangular meshes.
- Option to import quadrilateral and triangular mesh data.
- Automatic mesh refinement for creating finer meshes near wells.
- Includes the QUEST data management system.

ARMOS is a numerical model developed by ES&T to simulate areal flow of water and/or separate phase light hydrocarbon in unconfined aquifers. Widely used within the industry, the model considers nonuniform vertical hydrocarbon distributions governed by soil capillary characteristics and fluid table elevations as well as residual hydrocarbon in the unsaturated and saturated zones associated with changing water and oil levels. ARMOS is designed to estimate immiscible plume movement and to optimize free product recovery systems. In addition to usual data needed for saturated flow models, data requirements include initial water and oil levels in monitoring wells. Basic physical properties of the hydrocarbon (density,

- Handles multiple recovery wells with water and/or hydrocarbon pumping.
- Models pumping or injection wells with specified fluid levels and rates.
- Areal distributed ground-water recharge and/or hydrocarbon leakage.
- Predicts hydrocarbon thickness in soil or observation wells at arbitrary locations.

ARMOS includes the executable version, a comprehensive user's manual, and technical support. Call or write for upgrade prices.

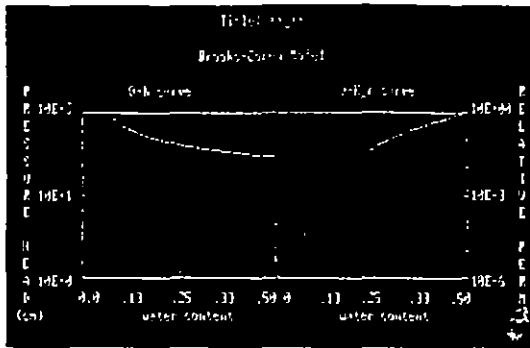
Requirements: 486/586 with 8 MB RAM and math coprocessor. May not be compatible with AST computers.

Price:  
**ARMOS**  
 Standard-750 nodes \$ 950

(Call for information on Professional and Large Site Versions.)

# SOILPROP

## Estimation of Unsaturated Soil Hydraulic Properties



**S**OILPROP by ES&T is an interactive program to estimate soil hydraulic properties and their uncertainty from particle size distribution data. Properties estimated by the program are the saturated hydraulic conductivity and parameters in the van Genuchten (VG) and Brooks-Corey (BC) models, which describe the relationship between soil-water content, capillary pressure and relative permeability. SOILPROP is based on the premise that the soil-water retention function reflects a pore-size

distribution which can, in turn, be inferred from the grain size distribution. Uncertainty in saturated hydraulic conductivity and VG and BC model parameters is determined by SOILPROP using first-order error analysis methods based on results of calibration studies.

**Requirements:** IBM-PC or compatible with 640K RAM, math coprocessor and EGA or VGA graphics card and display.

**Price:** SOILPROP

\$ 195

# SpillCAD

## A Screening Model for Hydrocarbon Spill Assessment & Remedial Design

**S**pillCAD by ES&T is a practical, easy-to-use program for hydrocarbon spill site assessment and remedial design evaluation. Widely used within the industry, the program includes a suite of analytical models for estimating free, recoverable and residual spill volume and contaminated soil volume, and for evaluating free product and dissolved plume migration and effects of pumping on plume control and recovery. SpillCAD includes *QUEST*, a graphical database that integrates data management and graphical analysis with state-of-the-art modeling tools. SpillCAD includes the following modules.

### WELLVOL - Free Product Volume Estimation from Monitoring Well Data

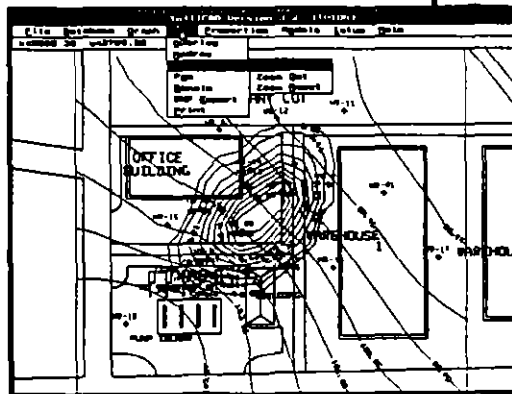
- Estimates free product volume from monitoring well fluid level data.
- Based on accurate model for capillary pressure relations to compute "true product thickness."
- Practical methods for estimating soil and fluid properties built into program.

### SOILVOL - Soil and Contaminant Volume from Soil Boring Data

- Estimates volume of soil with concentration (TPH, BTEX, etc.) above a threshold.
- Estimates residual hydrocarbon volume from soil TPH data.

### QFREE - Ground-Water Flow and Free Product Recovery

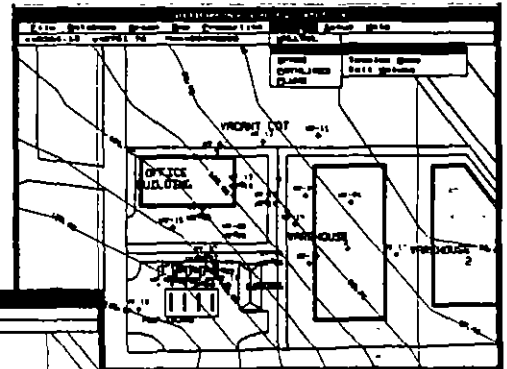
- Computes ground-water flow for steady-state water pumping and/or recharge.
- Determines well placement and operations to control free product or dissolved plumes.



- Estimates recoverable and residual product for different recovery systems.

### PATHLINE - Water and Oil Particle Tracking

- Computes streamlines for water or oil.
- Forward or backward particle tracking.
- Estimates time to complete free product recovery.



### PLUME - Dissolved Transport Model

- Models 3-D dissolved plume migration in a regional ground-water flow field.
- User-defined spatially-distributed mass loading.
- Considers convection, dispersion, adsorption and decay.

**Requirements:** PC 486 DX with 8 MB RAM, math coprocessor, hard disk, Microsoft or compatible mouse, and VGA graphics card and display. SpillCAD may not be compatible with AST computers.

**Price:**

SPILLCAD

Standard -750 nodes

\$ 595

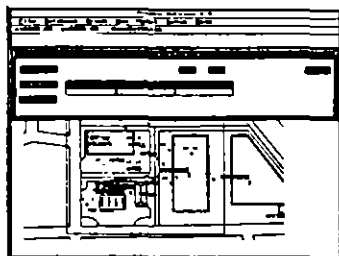
(Call for information on Professional and Large Site Versions.)



# AirCAD (Due for Release Soon)

## Simulates Air Flow and/or Ground-Water Flow for Pumping & Injection Wells

**A**irCAD (due for release soon) is a numerical model by ES&T to simulate air flow and/or ground-water flow for a system of pumping and injection wells. Options are available to model air flow only, water flow only, or coupled air and water flow. The program models areal air flow with multiple vacuum extraction, passive injection and/or air injection (sparging) wells defined by specified flow rates or air pressures. Vertical air leakage from the ground surface is modeled and water upwelling due to vacuum wells is taken into account. AirCAD mod-



els areal ground-water flow with spatially and time-varying recharge. Water pumping and injection wells may be modeled by specifying the flow rate or water level. With the coupled flow option, users can model simultaneous vacuum extraction and dewatering. Transient or steady-state problems can be solved.

### FEATURES

- **Models areal air** and ground-water flow in heterogeneous, anisotropic aquifers.
- **Options for air flow only**, water flow only or coupled air and water flow.
- **Predicts air and water** velocities, flow rates and ground-water heads.
- **Assesses the area** of influence of vacuum extraction well or series of wells.
- **Considers vertical** air leakage from the ground surface for uncovered areas.
- **Models spatially** and time-varying ground-water recharge.

- **Options for transient** or steady-state flow.
- **Models pumping** and recharge wells with specified heads or flow rates for water and/or air.

### USER INTERFACE

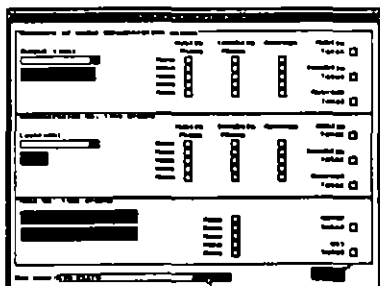
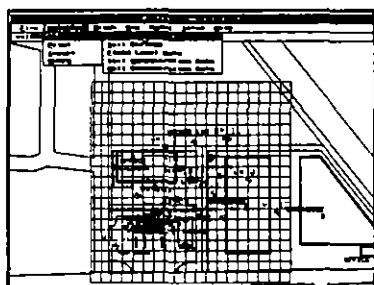
- **Includes QUEST**, a graphical database for integrated data management and graphical analysis.
- **Mesh editor** enables delineation of spatial data on site map.
- **Includes soil** and fluid property databases and estimators.

**Requirements:** IBM-PC or compatible with 640K RAM, math coprocessor, and EGA or VGA graphics card and display. May not be compatible with AST computers.

P. AirCAD	
Standard	\$ 495
Professional	\$ 995

# BioTRANS

## Multispecies Dissolved Transport with Oxygen-Limited Decay in Fractured or Porous Aquifers



**B**ioTRANS by ES&T is a vertically-averaged model for dissolved transport of up to five species in fractured or porous aquifers. Oxygen transport and multi-species oxygen-limited decay can be modeled. Nutrient or other limitations to biodecay are considered by specifying a maximum total decay rate. BioTRANS overcomes serious limitations of BIOPLUME, which assumes all oxygen is consumed by a single species

and does not consider nutrient limitations. In addition to a conventional source rate defined by the user, BioTRANS can simulate dissolution from residual or free NAPL. The program considers convective-dispersive transport, adsorption, volatilization and first-order or oxygen-limited decay. Ground-water velocities and NAPL distribution may be specified directly or imported from ARMOS, SpillCAD, or MODFLOW.

### FEATURES

- **Models up to five** soluble organic species.
- **Option for fractured** media with matrix-fracture diffusion.
- **Models oxygen transport** and oxygen-limited multispecies biodecay.
- **Allows simulation** of nutrient or limited decay.
- **User-defined** contaminant source rate for "known" mass loading.
- **Option to compute** source rate due to leaching from separate phase organic liquid.
- **Source depletion** due to leaching, mass transfer to ground water and volatilization.
- **Considers convection**, dispersion, adsorption and decay in ground water.

- **Restart option** enables time-dependent velocity field specification.

### USER INTERFACE

- **Includes QUEST**, a graphical database for integrated data management and graphical analysis.
- **Import ground-water** velocity distribution from ARMOS, SpillCAD, or MODFLOW.
- **Import separate phase** organic liquid distribution from ARMOS or SpillCAD.
- **Supports rectangular**, quadrilateral, and triangular meshes.

BioTRANS includes the executable version, a comprehensive user's manual, and technical support.

**Requirements:** 486/586 with 8 MB RAM, math coprocessor. Microsoft or compatible mouse, and VGA graphics card and display. BioTRANS may not be compatible with AST computers.

<b>Prices: BioTRANS</b>	
Standard-750 nodes	\$ 595
MODFLOW/BioTRANS Filter	\$ 00

(Call for information on Professional and Large Site Versions.)

# BioVENTING

## Soil Vacuum Extraction/Bioventing & Bioslurping

**B**ioVENTING by ES&T is an interactive program to estimate hydrocarbon recovery from the unsaturated zone by vacuum extraction. The model predicts recovery of residual hydrocarbon during steady gas flow at a specified isothermal temperature. Partitioning from the residual organic liquid, which may consist of up to 200 components, to the gas phase is computed from equilibrium thermodynamic relations and a venting efficiency factor that accounts for deviations from equilibrium. Required composition files may be edited from a library file containing compounds commonly found in petroleum fuels. Composition files for typical fresh and weathered gasoline and jet fuel are supplied. The program enables evaluation of effects of spill composition, temperature, and gas pumping rate on hydrocarbon recovery. BioVENTING predicts biodecay based on the total decay rate measured in an in-situ respiration test, with individual spe-

cies decay rates determined from model-calculated dissolved phase concentrations.

### USER INTERFACE

- **Menu-driven** with full screen editing capabilities and pop-up help screens.
- **Input** total gas flow rate for single of multi-well systems.
- **Calculate** single well flow rate from gas permeability and well vacuum.
- **Gas permeability** can be calculated from in situ gas pump test data.
- **User-expandable library** with properties of more than 50 common hydrocarbons.
- **On-screen** and hardcopy graphs of total soil hydrocarbon and component mass versus time.

### FEATURES

- **Models SVE, Bioventing** and Bioslurping systems.

- **Considers nonequilibrium** gas-liquid partitioning using a venting efficiency factor.
- **Handles hydrocarbon** mixtures with up to 200 components.
- **Quickly evaluates** effects of composition, temperature, and gas flow rate on recovery.
- **Provides guidelines** for design of in-situ vacuum recovery systems.

BioVENTING includes the executable version, a comprehensive user's manual, and technical support.

**Requirements:** PC 486/586 with 8 MB RAM, math coprocessor, and EGA or VGA graphics card and display. May not be compatible with AST computers.

**Price:** BioVENTING \$ 495

## MOTRANS-2D

### Multiphase Flow and Transport of Multicomponent Organic Liquids

**M**OTRANS-2D is a finite-element model developed by ES&T to simulate the flow of water, dense or light nonaqueous phase liquid (NAPL) and air, and transport of up to five partitionable species in two-dimensional vertical sections through saturated and unsaturated zones in Cartesian or radial coordinates. Gas phase flow may be considered explicitly or assumed to be at constant pressure. The code achieves a high degree of computational efficiency by solving flow equations at each node only for phases that are undergoing changes in pressures and saturations above specified tolerances using a new "adaptive solution domain" (ASD) method. NAPL flow equations are thus locally eliminated if NAPL is absent or exists at a residual saturation. Convective-dispersive transport in water, NAPL, and gas phases is analyzed assuming local equilibrium or non-equilibrium partitioning among the fluid phases and with the solid phase. Interphase mass transfer and compositional dependence of phase densities are considered. A concise but accurate description of soil capillary pressure relations is used which assures natural continuity between single-phase, two-phase, and three-phase conditions. Soil properties can also be estimated using SOILPROP.

### USER INTERFACE

- **Simplified generation** of data files for MOTRANS-2D.
- **Graphical input** of spatially variable properties and time-dependent boundary conditions.
- **User-transparent interface** to SURFER/GRAPHER for graphic output.
- **Plots of cumulative** mass in system versus time.
- **Contour plots** of phase saturations and species concentrations.

### FEATURES

- **Handles flow** of light or dense organic liquids in three fluid phase systems.
- **Simulates multiphase** transport of up to five noninert chemical species.
- **Solves flow equations** for phases exhibiting transient behavior using ASD method.
- **Option to simulate** dynamic gas as full three-phase flow problem.
- **Handles flux-type** or specified head or concentration boundary conditions.
- **Three-phase van Genuchten** model for saturation-pressure-permeability relations.

- **Consideration of hysteresis** in oil permeability due to fluid entrapment.
- **Options for water flow** only, oil flow with steady-state water or coupled oil-water flow.

MOTRANS-2D includes the executable version, a comprehensive user's manual, and technical support.

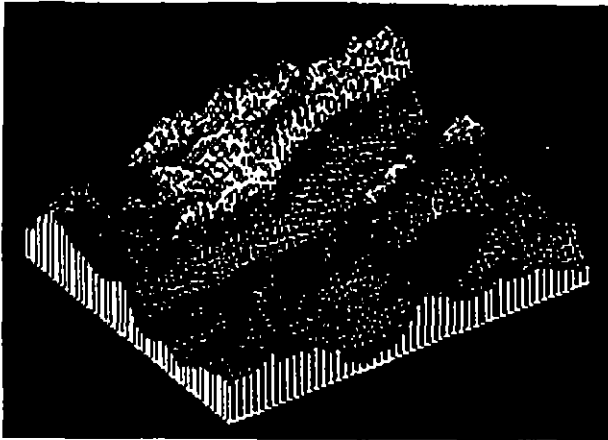
**Requirements:** PC 486/586 with 8 MB RAM (32 MB RAM for Large Site Version), math coprocessor, and EGA or VGA graphics card and display. SURFER/GRAPHER is required to view or print graphic output. May not be compatible with AST computers.

**Price:** MOTRANS Standard - 600 nodes \$ 950

(Call for information on Professional and Large Site Versions.)

# SURFER and GRAPHER

## Contouring & Graphics – Now for Windows



**SURFER** and **GRAPHER** have well-organized and easy-to-read menus. Each of the menu items displays an explanation line. The help key gives the user a screen of explanations and examples for the selected option. The extensive users' manuals have numerous examples and include short tutorials with demonstration software.

**Requirements:** DOS: PC with 320K RAM. Windows:

PC running Microsoft Windows. These programs take advantage of extra RAM. Output to hundreds of different printers or plotters. Free tech support is provided. **Specify serial number when ordering upgrade.**

### Prices:

<b>SURFER (DOS)</b>	<b>\$ 475</b>
<b>SURFER (Windows)</b>	<b>\$ 475</b>
<b>GRAPHER (DOS)</b>	<b>\$ 175</b>
<b>GRAPHER (Windows)</b>	<b>\$ 175</b>
<b>SURFER (Update Windows)</b>	<b>\$ 135</b>
<b>GRAPHER (Update Windows)</b>	<b>\$ 95</b>
<b>SURFER &amp; GRAPHER PACKAGE PRICE</b>	<b>\$ 575</b>

### Windows Enhancements to SURFER

- **Input** data file size limited only by memory (DOS version is limited to 14,300 points).
- **Grid** file size of over one million gnd nodes (DOS version limited to 40,000 nodes).
- **Advanced** gridding algorithms include Triangulation, Kriging, Radial Basis, Minimum Curvature, Polynomial Regression, Shepard's Method and Inverse Distance.
- **Import** base maps in DXF, BNA, GSB, WMF, TIF, BMP, PCX, TGA, GIS, LGO, and many more formats.
- **Supports** Golden Software, Adobe Type Manager and True Type fonts.
- **Set** preferences for default coordinates, rulers, grids, line styles, symbols, fills and menu options.
- **Powerful** OLE-2.0 based macro language for automating repetitive tasks.

### Windows Enhancements to GRAPHER

- **Improved** worksheet with unlimited input data file size (uses all available memory).
- **User-defined** line styles with custom dash/dot lengths, width and color.
- **Worksheet** computes advanced mathematical functions.
- **Graph** functions by entering an equation.
- **Unlimited** number of curves on a plot.
- **Now supports** graphs with probability axes.
- **Built-in** drawing tools for annotating graphs.
- **Scale, move** and delete objects with the mouse.
- **Plot** multiple graphs automatically.
- **Supports** Golden Software, Adobe Type Manager and TrueType fonts.

**SURFER** contour maps can be created with: **In-line** contour labels with user-specified color, font, size, format, and precision \* **Bold**, dashed, or normal contour lines with optional hachures \* **Constant** contour line color or color zones \* **Smoothed** or unsmoothed contour lines \* **Irregular** contour intervals \* **Independent** scaling for the X and Y dimensions \* **Posting** from multiple files of proportional or fixed symbols with numeric or text labels—rotate symbols individually \* **Borders** with optional tics at user-specified spacing—include tic labels and border titles \* **Multiple** text blocks at any angle, color, font, and size—mix fonts and colors, superscripts and subscripts \* **On-screen** contour editing, text movement, scaling and rotation \* **Multiple-shaped** boundaries \* **Cross sections** and volumetrics \* **Creates** powerful 3-D surfaces.

**Surface plots** can be created with: **Stacked** contours or fish-net surfaces in any

color \* **Perspective** or orthographic projections \* **Optional** hidden line removal, rotated and tilted to any angle—view the top of the surface, the bottom of the surface, or both \* **Irregular** stacked contour intervals \* **Constant** line color or color zones \* **Post** locations from multiple files with numeric or text labels \* **3-D** axes with optional tics at user-specified spacing—include tic labels and axis titles \* **Independent** scaling for the X, Y, and Z dimensions \* **Multiple** text blocks at any angle, color, font, and size—mix fonts and colors, superscripts and subscripts \* **On-screen** text movement, scaling, and rotation \* **Multiple-shaped** boundaries \* **Smoothed** or unsmoothed lines \* **Cross sections** and volumetrics.

**SURFER** is fast—it takes just seconds to view the data, make changes, and then view it again. Map and surface characteristics such as axis types, line types, character sets, gridding algorithms, colors, and text can be stored on disk so that they may be automat-

ically used each time **SURFER** is entered. **All of SURFER's** features such as configuring, printer, plotter, and screen installation, format and data file selection, data modification and viewing may be executed from within **SURFER**—no other programs are needed. Any number of maps or surfaces can be generated, all with different data and formats, from batch while the user's attention is turned to other matters.

**SURFER** imports data in many formats. Data can be quickly loaded into **SURFER's** spreadsheet from either a Lotus or ASCII data file, or from the keyboard. If the data is not regularly spaced, the user can select Inverse Distance, Kriging, or Minimum Curvature interpolation.

**SURFER** generates contour maps and surface plots of any size and scale. It will also produce hardcopy to a printer or plotter panel sections that may be attached to each other to form a plot of any size.

**GRAPHER** was developed to provide a powerful and easy-to-use graphics package for scientists. **GRAPHER** has the flexibility to represent large volumes of complex data on graphs. A spreadsheet and menu system allow for creation of graphs quickly and easily.

**Create graphs with: Multiple data sets**—use up to 10 sets per graph, with up to 32,000 X,Y pairs per set \* **Multiple axes**—linear-linear, log-linear, linear-log, and log-log combinations are allowed with up to 10 axes per graph \* **Specific scaling**—complete control over axis scaling, tic frequency, and labeling \* **Curve fitting**—choose from six types including linear, log, power, exponential, cubic spline, and polynomial \* **Error bars**—options are average value, standard

error of the mean, +/- error value, population or sample standard deviation \* **Annotation**—place up to 100 lines of text anywhere on the graph with a choice of angle, color, font, and size, with superscripts, subscripts, and Greek letters \* **Legends**—create explanations for graphs easily with automatic legend features \* **Grids**—add grid lines to the graphs to make them easier to use.

**Data can be entered into GRAPHER's** spreadsheet from the keyboard or from any free-format ASCII data file. A single keystroke allows the user to view the results. All **GRAPHER's** display options are easily selected. Annotation can be added to the graph at any position and angle and in any font or color. Enter text into **GRAPHER's** menu, then position and scale it on the screen. An

entire graph can be formatted in seconds. **GRAPHER** can generate graphs of any size and any scale on any supported output device. Its handy paneling feature allows large graphs to be produced in sections. The size of the monitor window can also be specified so the entire graph may be viewed before printing.

All operations (input, set up and output) are performed from within **GRAPHER** quickly and easily by selecting menu options. No other programs are needed. The user may save unlimited graph formats on disk for quick recall and re-use. **GRAPHER** may also be executed from a batch file. Any number of graphs, all with different formats, may be generated in batch mode.

## The Electronic LogBook

The **Electronic LogBook (ELB)** allows you to computerize field findings directly at the time of collection. This data is then available for use by many other systems including Geologic Graphics Systems, Geographic Information Systems (GIS), mathematical models, databases, spreadsheets, and others. The **Electronic LogBook** is based upon the field procedures and methods of major engineering companies and agencies. Its object-oriented screens are extremely easy to operate allowing a wide range of users to achieve excellent results. The **Electronic LogBook** contains the four following modules.

### Ground-Water Monitoring Module

**ELB GROUND WATER** collects and manages data collected during two types of ground-water investigations.

- **Ground-Water Monitoring Projects.** Ground-water monitoring programs are in-depth investigations of aquifer pumping or bailing, a variety of instrument readings and observations are taken and then samples are drawn for analysis by analytic labs.
- **Water Elevation Studies.** During these projects, wells are opened and measurements taken as to the depth of ground water and the amount of nonaqueous materials in the well. Additional measurements and observations are also taken.

### Geologic Boring, Field Activity & Construction Log Module

**ELB GEOLOGIC** collects and manages these three types of field data.

**Well Drilling and Boring.** This software is used to collect information as drilling

rigs or soil boring rigs drill into the ground. At each depth detailed information describing the soil geology is collected as well as soil sampling containers filled for laboratory analysis and instrument readings taken.

- **Well Construction.** After well drilling is completed, construction materials are added to the well to make it permanent. A variety of measurements and observations are taken at this time.
- **Field Activity.** A record of all activities undertaken at the well site is recorded for review and analysis. Both text and sketches are stored by the **ELB Geologic** module.

### Sampling/Field Measurements Module

**ELB SAMPLING ASSISTANT** is a user-definable system that allows any type of field sampling or field measurement activities to be conducted at a sampling location. Projects this system is suitable for include soil sampling, surface water, air monitoring, gas studies, and radiologic studies.

### Inspections & Auditing Module

**ELB INSPECTIONS & AUDITING** consists of two systems.

- **Loc-Inspect.** This is a user-definable location based inspection system. It is appropriate for use during operational inspections, maintenance inspections and compliance inspections.
- **Audit Assistant.** This is a user-definable checklist system. It is appropriate for use during environmental audits, compliance audits, health and safety inspections and other similar projects.



### Interfacing Electronic LogBook Software to Other Data Systems

**ELB** is designed to collect and manage field data for transfer into other data systems for reporting, analysis and review. To accomplish this, all **Electronic LogBook** modules use standard personal computer data structures, ASCII and XBASE \*.DBF, which are quite portable and easy to move between systems. Specialized data structures and downloads not found in **ELB** are available for a nominal fee.

The **Electronic LogBook** is designed for use on portable MS-DOS pen-based computers. Presently, there are over twenty pen computer brands in the marketplace that **ELB** will operate effectively on ranging from inexpensive Personal Data Assistants (PDA's) devices to powerful ruggedized 486-based pen computers. **ELB** also operates effectively on laptop computers with a mouse or other pointing device.

### Prices:

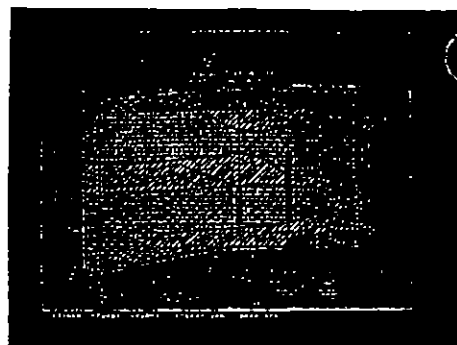
<b>ELB GROUND WATER</b>	\$ 695
<b>ELB GEOLOGIC</b>	\$ 995
<b>ELB SAMPLING ASSISTANT</b>	\$ 695
<b>ELB INSPECTIONS</b>	\$ 695

# GTGS: Geotechnical Graphics System

**G**TGS is an integrated data base and presentation graphics report writing system for the geotechnical industry. It provides a complete environment for producing publishable quality reports. You can create boring logs, cross sections, charts, graphs, e-logs, base maps, and other complex drawings from a single data set.

ware for producing logs and other graphic reports:

- On-screen preview of all graphics.
- On-screen interactive cross section interpretations.
- An object-oriented report design environment. Design your graphic report formats with a mouse.
- A powerful drawing module that lets you create base maps, logos, and more.
- Pull-down menu-driven interface.
- A complete, full-featured programming development system that integrates data base and graphics operations. Supports branching, user-defined variables and arrays, loops, block if/then/else structures, subroutines, and more.



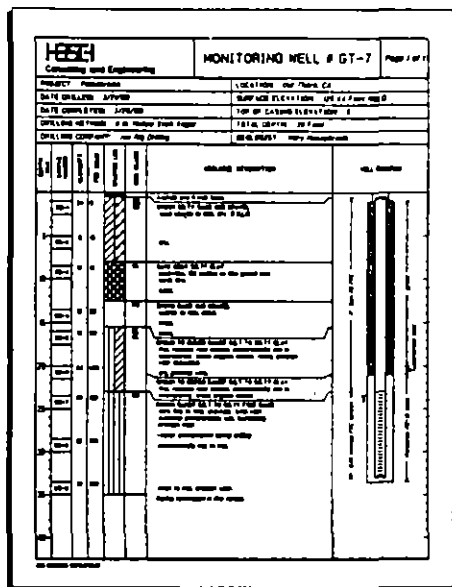
- AutoCAD-compatible DXF and HPGL file export capability.
- Direct support for HP laser printers.
- Design your own custom fill patterns and symbols.
- EGA/VGA color used throughout.

### Requirements:

IBM XT/AT or compatible; 640KB of base memory (approx. 512K of free memory is necessary); Microsoft-compatible mouse; 3.5MB of hard disk space; DOS version 3.1 or higher; Parallel printer port; EGA, VGA, or Super VGA graphics adaptor.

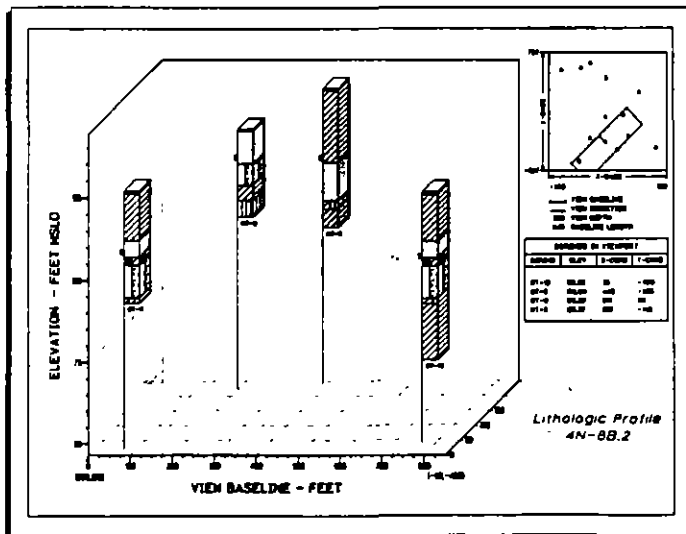
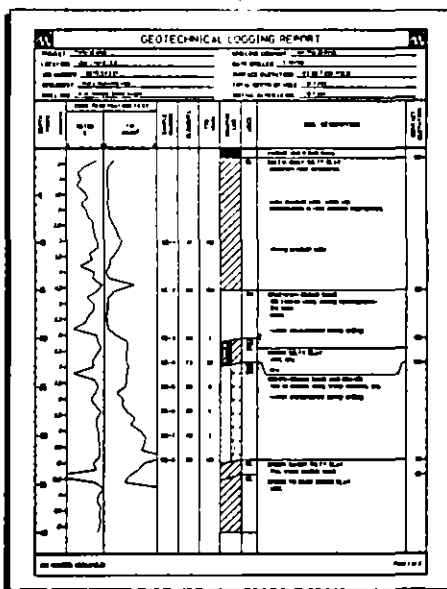
### Recommended:

386+ CPU and/or Math co-processor.

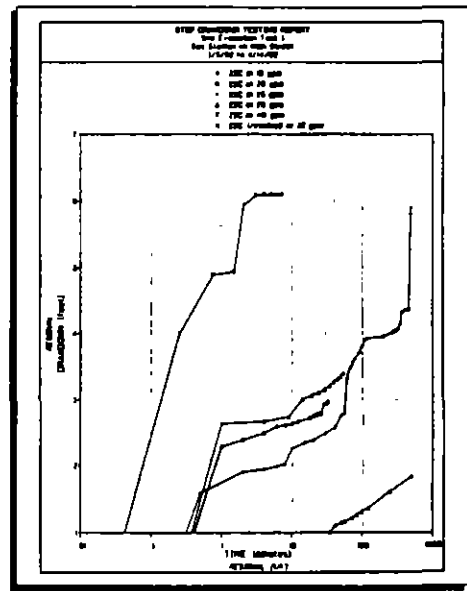


Data stays intact regardless of how many times you use it. This means that not only can an unlimited number of *different* reports be created from the very *same* data, but that changing *one* data value will change it in *all* of the reports.

The following features make it the choice for the working professional who needs powerful, fast, and easy-to-use soft-



- Comprehensive customizable on-line help system.
- Easy word processor-style data entry.
- Easily import & export ASCII data.



Price:

GTGS

\$ 2,150

# GTLog: A "downsized" version of GTGS

**G**eoTechnical Graphics is proud to announce GTLog, the newest addition to our line of powerful but easy to use software systems for the geotechnical industry. This package answers our clients' requests for a scaled-down but powerful system that will handle the major portion of work done by small to medium-size firms. While retaining many of GTGS' best features, such as on-screen preview and fast data entry, GTLog is less than half the price of GTGS.

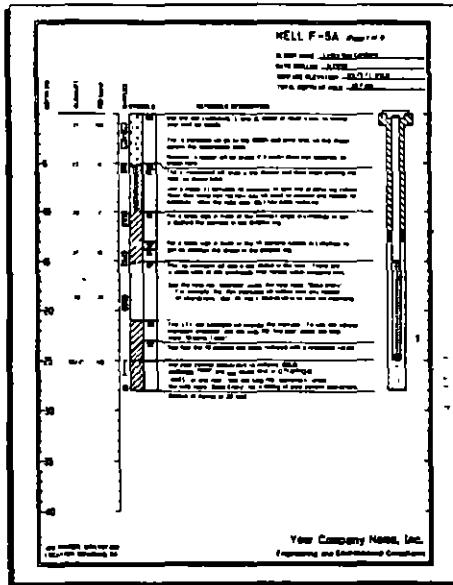
change a column from showing "Blows/Foot" to showing "PID" values. Some of the formats also contain graphs for showing chemical or moisture content. If you have a special need that's not provided for in our standard formats, our staff can create a custom format especially for your company, complete with your company's logo.

The following features show why many firms are choosing GTLog as their boring log software of choice:

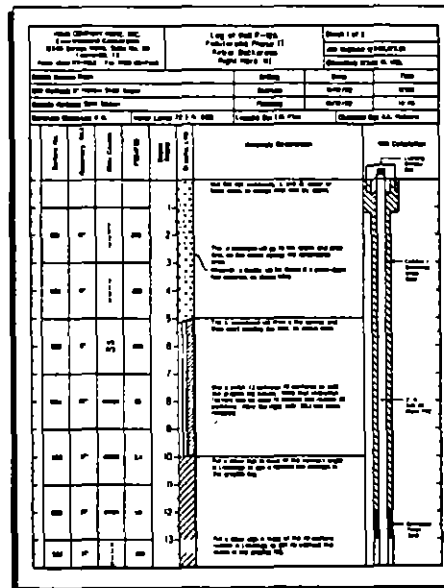
GTLog can run any script-generated application designed with GTGS. This makes GTLog an ideal option for smaller offices of companies that already have GTGS. No "conversions" are required; GTGS and GTLog files are 100% compatible.

## Requirements & Recommendations:

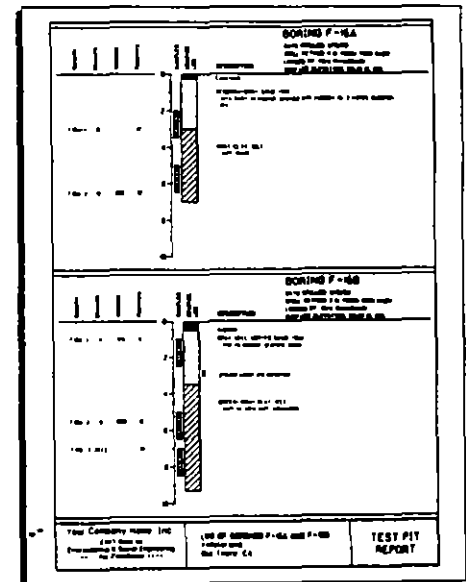
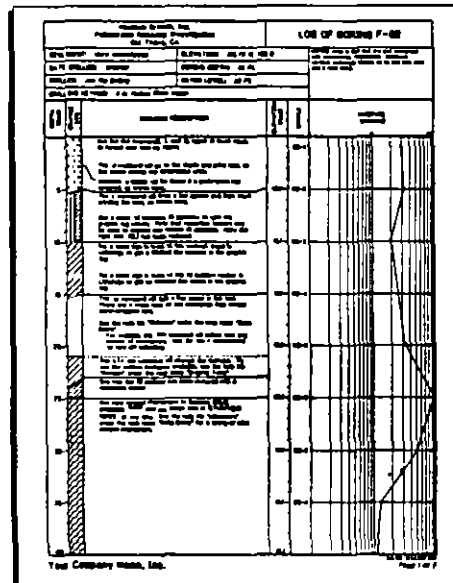
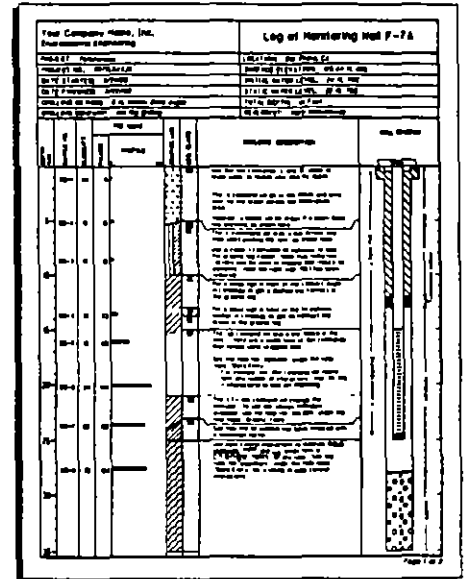
See those for GTGS. GTLog's are identical, except that it requires only 2.5MB of hard disk space.



- On-screen preview of all graphics.
- Pull-down menu-driven interface.
- Comprehensive on-line help system.
- Easy, word processor-style data entry.
- Easily import & export ASCII data.



- AutoCAD-compatible DXF and HPGL file export capability.
- Direct support for HP laser printers.
- EGA/VGA color used throughout.
- Comprehensive selection of 15 different log, well diagram, and graph formats. Each format has enough built-in flexibility to satisfy most customers' needs.
- Design your own custom fill patterns and symbols.



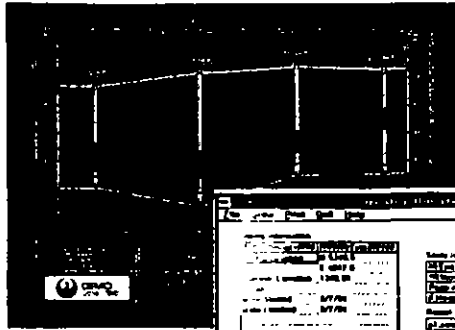
GTLog comes standard with 15 different log and well diagram formats that offer varying degrees of flexibility depending on the user's needs. For example, you can easily

**Price:**  
GTLog \$ 895

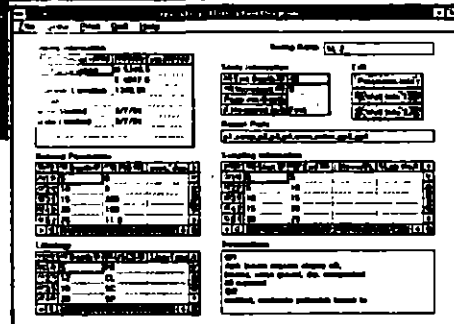
# Geotechnical Groundwater Graphics 3.0 for Windows

## Geotechnical Programs

QuickLog	\$ 950
QuickCross/Fence	\$ 750
QuickSoil	\$ 500

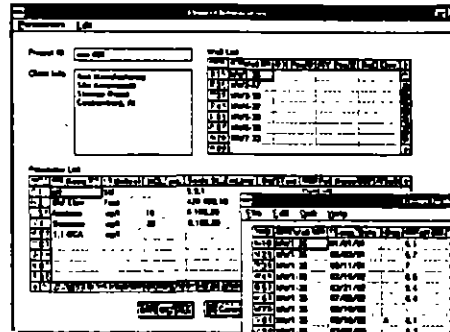
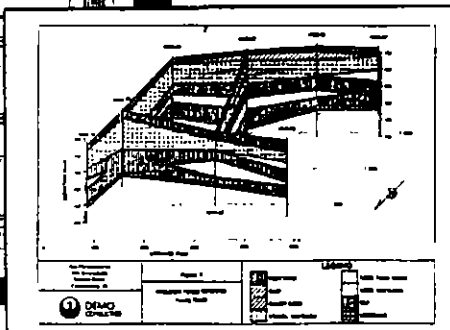
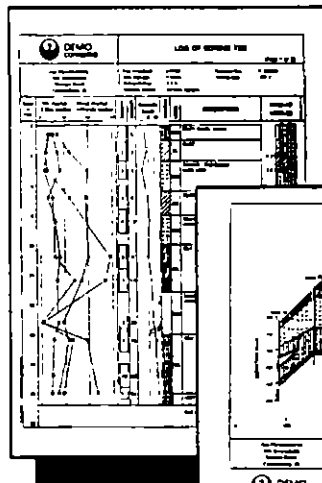


On-Screen Preview

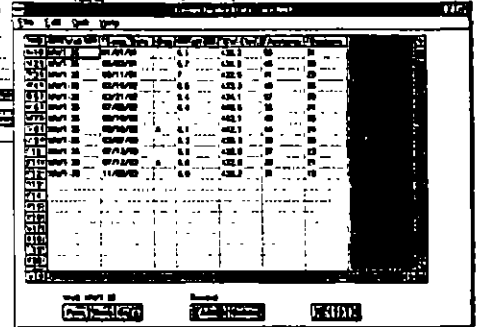


Enter All Data in One Place

QuickLog enables you to produce boring log diagrams in minutes via simple data entry. The format and elements of the diagram are user-definable. QuickCross/Fence lets you create cross section and fence diagrams using data already entered with QuickLog. The diagrams can be printed directly or imported into CAD for further manipulation. QuickSoil plots soil sample test results next to the boring graphic log. It makes it easy to see the levels of contamination throughout the different layers of soil.



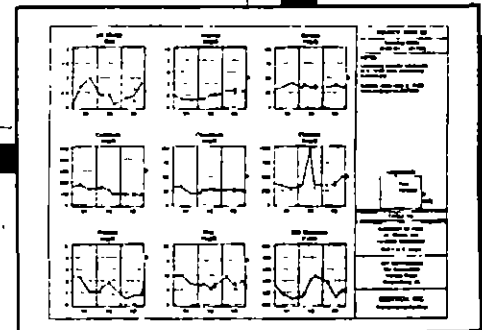
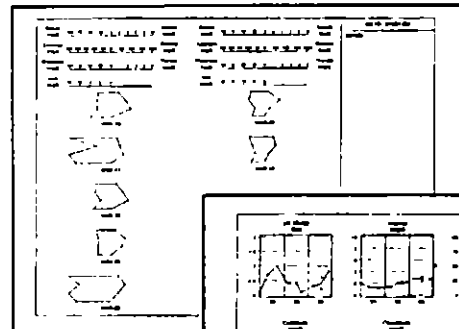
Project Set-up



EXCEL-like Data Editor

## Groundwater Programs

Groundwater Database System	\$ 1,500
Date Summary Report	\$ 500
Stiff Diagram Report	\$ 500
Groundwater Elevation Report	\$ 500



The Groundwater Database System combines a very user-friendly database with a powerful report writer. Enter your data using an EXCEL-like spreadsheet editor and then sit back as it generates well and parameter summary reports. You may also purchase the additional report programs, "Date Summary," "Stiff Diagram," and "GW Elevation" so that those types of reports can be generated as well. All of the reports will help you see trends, spot anomalies, and impress your clients!

# PRINCETON ANALYTICAL MODELS

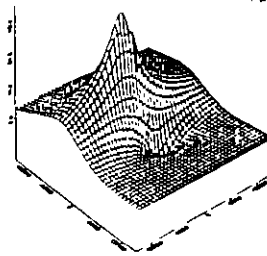
## 7 Mass Transport and 3 Flow Models

**PRINCE** is a well-known software package of 10 analytical models originally developed by Bob Cleary and Mike Unga as part of an EPA 208 study. There are 7 one-, two- and three-dimensional mass transport models and 3 two-dimensional flow models.

These models have been rewritten from the original mainframe FORTRAN codes in graphics-rich and PC-friendly C. Two popular analytical models have been added to the original collection and the ability to import digitized or AutoCAD-produced DXF site map files has been added. The result is a widely acclaimed, user-friendly, menu-driven package with built-in high resolution graphics for X-Y, 2-D contour and 3-D surface plots.

### APPLICATIONS

- Superfund cost apportionment for multiple PRP's.
- Long-term health-based risk assessment for downgradient receptors.
- Pump and treat remediation design.

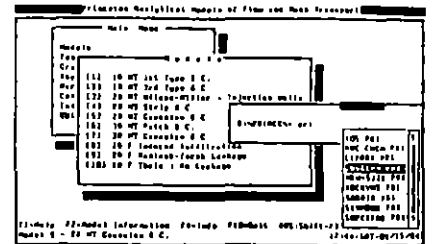


- Contaminant plume advancement, biological decay and ultimate attenuation.
- Evaluation tools for natural bio-remediation compliance programs.
- Verification of 2-D and 3-D numerical flow and mass transport models.

### SELECTED FEATURES

- One-, two- and three-dimensional advective-dispersive mass transport with first order decay and linear retardation.
- Two-dimensional strip and Gaussian source mass transport with advection, dispersion first order decay and linear retardation.

- Wilson-Miller solution for injection of mass in multiple injection wells.
- Two-dimensional Anisotropic-Theis solution for multiple injection-extraction wells.
- Two-dimensional Hantush-Jacob solution for a leaky, anisotropic confined aquifer with cross-derivative terms.



**Requirements:** PC with 640K RAM, math coprocessor, EGA or VGA graphics card and display, and dot matrix or Hewlett-Packard laser printer.

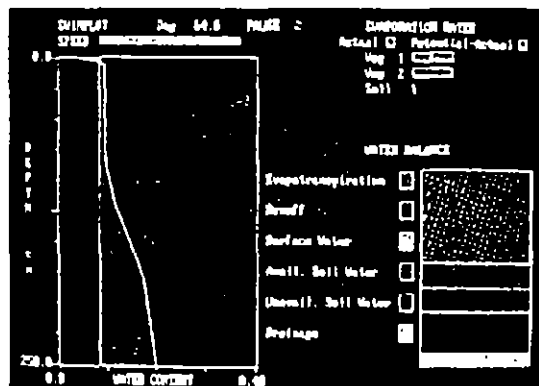
**Price: PRINCE \$ 495**

# SWIM – Soil-Water Infiltration & Movement

**SWIM** consists of a menu-driven set of programs that allows the user to simulate soil-water balances using numerical solutions of the basic soil-water flow equations. The simulation package consists of the three following programs.

**SWIMFILE** is a data preparation program which allows the interactive editing of an input file. Both the values and units of parameters can be altered, with error flagging occurring for incorrect editing. Parameters that can be altered include those describing simulation times, vegetation characteristics, soil surface conductance, surface storage, runoff, soil hydraulic properties, precipitation and potential evapotranspiration. An ASCII data file is created which is then used as an input file to the simulation program.

**FEATURES:** Numerical solution of Richards' equation – Fast & accurate – Conservation of mass, even in fast, approximate solutions – Handles nonuniform and layered soils – Handles unsaturated, saturated, and ponded conditions – Caters for transient soil surface conductance and storage – Calculates runoff and drainage – Allows simultaneous transpiration by several vegetation types – Extensive menus and help screens –



Accepts data in your preferred units – Color graphical output.

**SWIMEV** is the simulation program. It employs recently developed numerical techniques for solving the soil-water flow equation. Within the limitations of Richards' equation, a user can simulate infiltration, redistribution, deep drainage, simultaneous evapotranspiration by up to four types of vegetation, transient surface-water storage and runoff. Soils may be vertically inhomogeneous but must be horizontally uniform. Macro-porosity can be included if water in the pores can move quickly to other pores. Required data input includes start time, fin-

ish time, print interval, water increment, soil depths (and associated soil parameters), and conductance and runoff parameters. Optional input data includes initial surface-water depth, vegetation parameters, and precipitation and evaporation data. Output from the simulator is to the screen, an ASCII file, and to a binary file which is used by the data presentation program.

**SWIMPLOT** pictorially displays the data from SWIMEV for each time step. The display includes a plot of volumetric water content with depth for available and unavailable water, evaporation rates and water balance relative to the overall water budget. The user can interactively restart the display at any screen number, alter increments between screens, pause the screen and print an individual screen.

**SWIM** includes the executable version, extensive user's manual, and technical support.

**Requirements:** PC with 640K RAM, EGA or VGA graphics card and display, and dot matrix or LaserJet printer.

**Price: SWIM \$ 550**



# Hydrology Programs

## HYDATA Hydrological Database and Analysis System

**HYDATA** is a hydrological data processing and analysis system used in more than 20 countries. **HYDATA** has been designed for ease of use with no requirement for users to understand the structure of data files, the computer operating system or the running of individual programs. The software is menu-driven and users are aided by information and error messages.

### DATA TYPES

**HYDATA** has been designed to handle the types of data most often encountered in hydrological studies. Both daily and monthly data can be stored.

- **Station Location.** Latitude/Easting – Longitude/Northing – Altitude
- **Station Details.** Name and number – River basin area and number

- **Event Data.** River level – Rainfall – Lockage – Lake/reservoir level – Up to 100 readings per day
- **River Gauging Data.** Date – Stage – Velocity – Area – Discharge
- **Rating Equations.** Stage/discharge or level/storage – 3 parameter logarithmic – Up to 3 parts, 20 ratings/station – Up to 6 parts, 11 ratings/station
- **Discharge.**
- **Rainfall.**
- **Lake or Reservoir Storage.**
- **General Time Series Data.** Any user-defined daily data or monthly data (e.g., evaporation, temperature, electrical conductivity)

### DATABASE OPERATIONS

Data may be entered and edited from the keyboard using **HYDATA**'s screen editing facilities, read directly from computer data files, or transferred from external sources such as loggers, digitizers, and mainframes.

### GRAPHICS

Graphs can be viewed on the screen or on paper, and can be customized for inclusion in reports. Data can also be output directly to computer files for use with other software

packages such as spreadsheets, word processors or a user's own programs.

### RATING EQUATIONS

**HYDATA** allows rating equations to be derived quickly and accurately from measured data. Rating equations can be entered directly, if available, or can be derived using the interactive graphics facility provided.

### ANALYSIS PROGRAMS

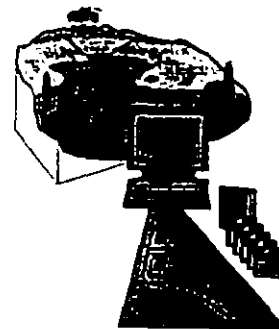
Included with **HYDATA** are: Comparison Plots, Flow Duration Curves, Low Flow Analysis, and **FORTAN** Subroutines Library.

A version of **HYDATA** is now available to **Universities** which includes a full set of teaching materials (software, manual, transparencies, lecture notes, etc.). See university price.

**Requirements:** IBM-PC or compatible with 640K RAM, and 10 MB hard disk. Most printers and HP 7475A plotter are supported.

### Prices:

<b>HYDATA</b>	\$ 7,500
<b>Universities</b>	\$ 1,000



## PC-QUASAR

### Quality Simulation Along Rivers

**PC-QUASAR** is a river network water quality and flow model. The program has been designed to be easy to use with no requirement to understand the computer operating system or the structure of data files. Output is in the form of color graphics on the screen or plotter, and in tabular form on printers. Parameters modeled are flow, nitrate, dissolved oxygen, ammonia, temperature, E. Coli, pH, Biochemical Oxygen Demand and a conservative pollutant or tracer.

The **QUASAR** model is composed of a set of equations describing the changes in water quality and flow over time. In its dynamic mode, time series data are input to the model and flow and quality estimates are generated at each reach boundary over a period of time. Travel times are incorporated so that pollution pulses can be tracked downstream. In the planning mode, a Monte Carlo simulation approach is used to provide distributions of flow and quality at key sites of interest. Effluent consent levels can be designed to meet River Quality Objectives.

### KEY FEATURES

- Entirely menu driven.
- Data input from text (ASCII) files.
- Interactive data preparation and editing using menus and forms.
- Color graphics.
- Parameter sets hold descriptions of model runs.
- Planning and dynamic (prediction) modes.
- Runs in multi-user environment.
- Easily adapted to other river systems.
- Eight quality parameters and flow modeled.

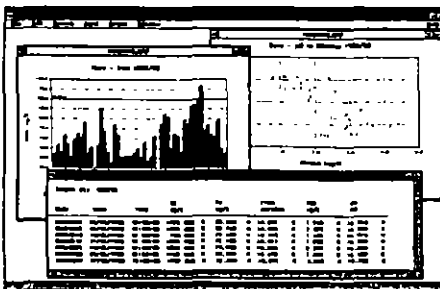
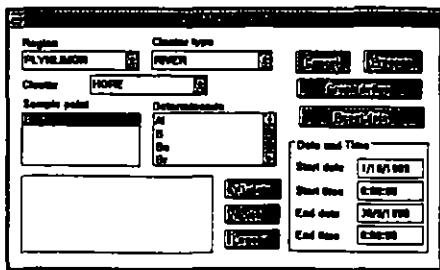
**QUASAR** models a river as a series of reaches usually defined by the locations of tributary confluences, weirs, public water supply intakes or effluent discharges. Each reach is subdivided into a number of subreaches, each modeled as a stirred tank reactor. At the input to a reach, a mass balance is performed on all the inputs or abstractions and the resulting river quality is routed down the reach. During their passage

through the reach, the concentrations of the water quality parameters are modified according to instream physical and chemical processes.

**GRAPHICS** – In dynamic mode, the simulated water quality and flow can be viewed either as a profile along the river system or against time at any reach of interest (e.g., river abstraction site). In the planning mode, cumulative frequency and distribution curves are generated at any point.

**Requirements:** PC 386/486 with 4 MB RAM (8 MB recommended), math coprocessor, 10 MB hard disk space, Microsoft Windows 3.1, and VGA or better graphics. Supports all Windows printers. Call for DEC information.

<b>Prices: PC QUASAR</b>	\$ 7,500
<b>Universities</b>	\$ 1,000



# HYQUAL

## Water Quality Database

**HYQUAL** is a Windows application designed as a water quality database. It facilitates the storage water quality information gathered from samples, and subsequent analysis of the data with the help of tabular and graphic reports. **HYQUAL** can be set up to provide standard determinand dictionaries for chemistry, biology, microbiology, hydrology, sewage disposal and water supply. Custom determinand dictionaries can be added by the user. Flow data may be stored as instantaneous values and as mean daily flow. **HYQUAL** uses a hierarchical structure to store information. Predefined sets of determinands can be assigned to sample types. Samples are linked to sample points that can be grouped into convenient

"clusters" based on particular geographical features, such as a reservoir or sewage works. These clusters are then grouped into regions. The Windows environment provides ease of data entry, flexible information selection and retrieval, and support for a wide range of graphical output. Other features include access passwords for different levels of user, on-line help and a full tutorial.

**Requirements:** PC's running Microsoft Windows 3.x. Most printers and plotters supported.

**Prices:** **HYQUAL** \$ 1,500  
Universities \$ 300

## SWIPS

### Soil Water Information Processing System

**SWIPS** is a database and analysis package for storing soil moisture data from a variety of instruments. These include neutron probes and tensiometers.

**SWIPS** has been designed by hydrologists with emphasis on the ease of use and quality control of the input data.

The package runs on IBM-compatible personal computers under the Microsoft-Windows 3.1 operating system.

Data may be input manually or imported from file. Careful consideration has been paid to ensuring that the package encourages accurate and efficient input of data.

Processed data can be displayed in a variety of tabular and graphical formats. Several graphs and tables can be displayed simultaneously enabling comparison.

Quality control consists of a combination of automatic checks on input data and visual feedback whereby the user is presented with data in graphical format and can easily access the corresponding raw data. Changes to the raw data are logged.

Rainfall data can be imported into the package and displayed on graphs for comparison. Data can be exported to spreadsheet programs as comma-separated values with or without formatting information.

**Requirements:** IBM-PC or compatible running Microsoft Windows 3.x. Most printers and plotters are supported.

**Prices:** **SWIPS** \$ 1,500  
Universities \$ 300

## HYRROM

### Hydrological Rainfall Runoff Model

**HYRROM** is an easy-to-use conceptual rainfall runoff model, with no requirement to understand the computer operating system or the structure of data files. In **HYRROM**, flows are predicted using a simple, but realistic, representation of the physical processes which govern water flow in a catchment. The model incorporates interception, soil, ground-water and runoff stores, and includes some representation of the losses due to evapotranspiration. It can be calibrated manually or automatically using the built-in Rosenbrock optimization routine. Compatible with **HYDATA**.

#### APPLICATIONS

- Infilling missing flow data.
- Quality control of data.
- Extending historical flow records generating synthetic flow sequences.
- Water resources assessment.

#### KEY FEATURES

- Entirely menu driven.
- Data input from text (ASCII) files. Interactive data preparation program provided.
- Screen displays and graphs can be customized by the user.
- Graphs designed for A4 or A3 paper.
- Statistical summary written to disk after every analysis.
- Results output to text (ASCII) files for easy transfer to other programs.
- Error and information messages provided at all stages in the analysis.

**Requirements:** IBM-PC or compatible with 640K RAM. Most printers and HP 7475A plotter are supported.

**Prices:** **HYRROM** \$ 1,250  
Universities \$ 350

## HYFAP

### Hydrological Frequency Analysis Package

**HYFAP** uses stored information about annual maximum event data (e.g., annual maximum rainfall or river flow) to estimate the probable frequency of a particular annual maximum event recurring within a specified period.

**HYFAP** can perform a frequency analysis with standardized data. It can also apply dimensionless regional frequency curves from external sources.

#### DATA TYPES

Annual Maximum events only.

#### DISTRIBUTIONS AND FITTING METHODS

EVI (Moments) – EVI (Maximum Likelihood Method) – EVI (Probability Weighted Moments) – GEV (Maximum Likelihood Method) – GEV (Probability Weighted Moments) – 2 Parameter Lognormal (Moments) – 2 Parameter Lognormal (MLE) – 3 Parameter Lognormal (Moments) – 3 Parameter (MLE) – 3 Parameter (PWM) – Pearson Type 3 (Moments) – Log Pearson Type 3 (Moments).

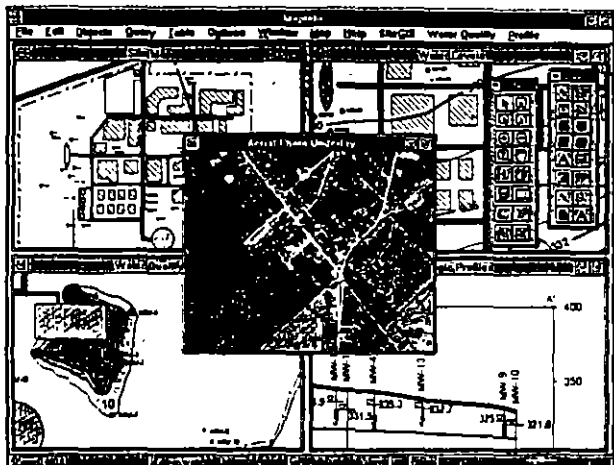
**HYFAP** is menu-driven for ease of use. Output may be displayed on the screen or sent to a range of hardcopy devices in tabular or graphic form. Data may be imported from **HYDATA**.

**Requirements:** IBM-PC or compatible with 640K RAM. Most printers and plotters are supported.

**Prices:** **HYFAP** \$ 750  
Universities \$ 350

# SiteGIS

## Analysis & Presentation of Environmental Data



**S**iteGIS is a Windows-based software package to analyze and present environmental data used in subsurface remedial investigations.

**SiteGIS Design** – In developing SiteGIS, the following essential factors for its users were considered.

- **Preserve your current investment:** To minimize the cost in upgrading your current database technology to SiteGIS.

The underlying database structure of SiteGIS is flexible enough to let you adopt your current database *as-is* for the most part.

- **Short learning curve:** To minimize the cost of training users, Microsoft Windows environment was chosen for SiteGIS. If you have used any Windows software before, you will find SiteGIS easy to use.

**MapInfo Application** – SiteGIS is an application of MapInfo for Windows, a leading desktop mapping software from MapInfo Corp. This means that you have access to digital maps from MapInfo and third-party data sources. Import/export options from Arc/Info and AutoCAD are also available.

**Contours** – SiteGIS gives you access to SURFER, the most popular commercial contour software on PC's today. SiteGIS provides easy-to-use interfaces to both GRID and TOPO modules of SURFER. And it

overlays SURFER contours directly on its map window.

**Microsoft Excel Interface** – Time-series and other line graphs are plotted directly using Microsoft Excel software. SiteGIS takes care of running Excel, transferring data and preparing the chart window.

**Printing** – You can use MapInfo Layout option to set up maps of sizes A through E, and even 35-mm slides. All Windows printers are supported.

**Photographs** – You can scan aerial photographs on today's scanners (e.g., HP ScanJet) and import them easily into MapInfo. TIFF, JPG, GIF, SPOT, PCX and many other formats are supported. Field photos (35-mm) may also be instantly accessed in SiteGIS.

**Requirements** – PC 386/486 with 8 MB RAM, 5 MB hard disk space, DOS 5.0, Windows 3.1, MapInfo 2.1 or 3.0, SURFER for DOS 4.15, and Microsoft Excel 4.0 or 5.0.

### Prices

SiteGIS & MapInfo	\$ 2,500
SiteGIS	\$ 1,500
MapInfo	\$ 1,200

# BIO1D

## Biodegradation and Sorption in Contaminant Transport

**B**IO1D is a one-dimensional modeling code which simulates biodegradation and sorption in contaminant transport. The objective was to provide an interactive, user-friendly microcomputer software package to serve as an education tool for understanding the relative importance of various physico-chemical and biochemical processes. The code is especially useful for analyzing laboratory data from column experiments.

BIO1D includes a preprocessor which enables the user to prepare input data interactively. The preparation includes features such as inputting new data and storing them in a disk file, or reading data from a disk file and editing them. The preprocessor has built-in error recovery procedures to forgive most input errors made by a user during interaction.

A run-time monitor is displayed and updated constantly as the simulation progresses. The user may run the simulation for a certain time period, monitoring its behavior, and then

choose a different set of run-time options for the rest of the simulation. The options include printing concentrations, cumulative mass balance information, and selecting plotting intervals. Advanced debugging options such as iteration information, nodal mass balance tables, displacement matrices, and matrix solver monitors are also available at run time.

### Features

- **Advective** and dispersive transport of a hydrocarbon and an electron acceptor (e.g., oxygen).
- **Aerobic** biodegradation using modified Monod function.
- **Anaerobic** biodegradation for both substances.
- **Linear**, Freundlich, and Langmuir adsorption isotherms for both substances.
- **Dirichlet**, Neumann, and Cauchy boundary conditions modified to include first-order degradation.
- **Cumulative** mass balance report.

- **Output** is in format required by SURFER and other graphics packages.

### Limitations

- **Transport** is one-dimensional.
- **Flow field** is uniform (constant velocity).
- **Material** properties of both substances are uniform throughout the medium.
- **Only one** reactive substrate is considered per simulation.
- **Microbial** density is assumed constant.

**Requirements** – IBM-PC or compatible with 640K RAM, math coprocessor. Optional hardware includes HP LaserJet, Epson, IBM, Okidata, Centronics and compatible printers, and Houston Instruments and Hewlett Packard or compatible plotters for hardcopy output.

### Price

BIO1D	\$ 2.
-------	-------

# HYDROLOGY SYSTEM



## Watershed Modeling

Designed for hydrologic analysis of both simple and complex drainage basins, use as a tool for determining runoff from various historical and synthetic storms and in modeling flood control measures such as detention basins with various outlet structures.

- Unit hydrographs—SCS triangular, SCS curvilinear, Snyder, and Rational methods; define storms with actual hydrographs or synthetic distributions.
- Run-off hydrographs—compute hydrographs from unit hydrographs, Rational method, Santa Barbara Urban hydrograph, manual hydrographs, ability to import hydrographs, combine hydrographs at any point, up to 100 hydrographs of any type.
- Interdependent hydrologic operations—view the entire watershed computational sequence, upstream data edits automatically affect downstream results allowing easy sensitivity analysis.
- Design storms—SCS 24-hour distributions (Types I, IA, II, IIA, and III), synthetic storms of any duration and return period, ability to input precipitation hyetographs, IDF curves input by user or generated by using FWHA HEC #12 methodology.
- Channel and reservoir routing—Muskingum, Modified Att-Kin, and Convex channel routing methods; Storage Indication and Modified Puls reservoir routing methods; multiple storm routing through a reservoir with one pass.
- Detention ponds—stage-storage curves defined with equation or user-input data; approximate storage volume computations with linear, SCS TR55, and modified Rational methods.
- Outlet structures/rating curves—stage-discharge rating curves developed for multiple or individual outlet structures; many types of hydraulic devices defined, maximum of 100 structures per data file.
- Output graphics/reports—multiple hydrographs of any type, stage-storage, stage discharge rating curves, and sche-

matic of watershed computational operations; port capability to DXF files.

## Water Surface Profiles

Designed to compute water surface profiles through channels, culverts, and bridges, produces a comprehensive and effective hydraulic analysis of the effects of planned land development. Performs English or metric calculations.

- Standard methodology—HEC-2, Bernoulli energy equation, diverging/converging (eddy) losses, backwater curves.
- Analyzes flow in open channels—any shape and size, individual  $n$ -values and reach lengths for left and right overbank.
- Analyzes flow through bridges—modified standard step, computes pressure and/or weir flow based upon pier and abutment locations.
- Analyzes flow through culverts—multiple barrel circular and/or box culverts; entrance losses, weir and orifice coefficients; evaluates inlet and outlet control; computes pressure and/or weir flow.
- Analyzes critical and super critical flow regimes—determine critical depth, initial and final depths through hydraulic jumps, modeling at varying flow rates.
- Output graphics/reports—cross sections, profiles, and plan view.

## Storm Sewers

### Now Inside AutoCAD 12

Designed to compute the hydraulic grade line and to design and analyze any new or existing storm sewer system. Make adjustments to new designs or modify existing collection networks, immediately receive a complete system analysis. Performs English or metric calculations.

- Computes hydraulic grade line—Bernoulli energy equation; standard step method; Manning's equation for friction losses; up to 500 lines per project under partial, full or surcharged flow conditions; junction losses at manholes, inlets, and J-boxes using several methods.
- Model existing and/or design new systems—easily add pipes to existing systems; insert new and/or remove old lines; user-defined design constraints include pipe size, minimum velocity, minimum depth of cover, maximum/minimum slopes, and/or invert elevations; circular and/or box sections.
- FWHA HEC #12 capabilities for inlets—design new and/or analyze existing curb, grate, slotted, or combination inlets; choose uniform or composite cross sections; user-defined coefficients, percent

capture, spread, and clogging fractions; by-passed flow is shunted to next inlet.

- Design flows—Rational method and/or user input, IDF curves input by user or generated using FWHA HEC #12 methodology.
- Output graphics/reports—IDF curves, sewer line profiles including HGL, network plan views; export capability to DXF files.

## Sanitary Sewers

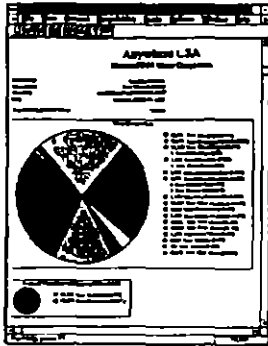
### Now Inside AutoCAD 12

Designed to model complex networks in full and/or partial flow, full design capabilities, size pipes and set invert elevations, and hydraulically model lift stations with multiple pumps. Performs English or metric calculations.

- Computes hydraulic grade line—Bernoulli energy equation; standard step method; Manning's equation for friction losses; up to 500 lines per project under partial, full or surcharged flow conditions; junction losses at manholes, inlets and J-boxes.
- Models existing and/or design new systems—easily add pipes to existing systems; insert new and/or remove old lines; user-defined design constraints include pipe size, minimum velocity, minimum depth of cover, maximum/minimum slopes, and/or invert elevations; circular and/or box sections.
- Pump stations—user-defined multiple pump performance curves, up to 3 pumps per force main, pump on/off elevations, discharge piping losses, system operating points computed as required.
- Design flows—land use analysis or user-defined flows including infiltration rates and peak flow factors.
- Output graphics/reports—pump and system curves, sewer line profiles including HGL, network plan views; export capability to DXF files.

# SWPlan

## Solid Waste Management Planning Software



**D**esign an integrated solid waste management system, evaluate an existing system, prepare or compare vendor proposals, determine where waste should be best allocated and where business opportunities are, or simulate a variety of management scenarios. Only your imagination will limit your ability to manipulate the capabilities of

what is considered the *easiest and most useful* Solid Waste Management Tool available.

*SWPlan* handles the *entire solid waste flow* from generator to final disposition in an intuitive format which can address all of the management approaches: Waste Reduction, Recycling (19 commodities), Yard Waste Composting, Waste-to-Energy (WTE) Incineration, Refuse-Derived-Fuel (RDF), MSW Composting, Ash Disposal and Landfills with/without Transfer Stations. *SWPlan* calculates how much and what type of garbage you have. It will determine capital and operating costs, debit service, and transportation costs, and consider revenues from RDF, recyclables, electric, and steam sales.

*Comprehensive Help* is only a mouse click away. In Help, you have the entire User's Documentation, a comprehensive glossary

and more. *Reports can be generated in just a few minutes.* Detailed descriptions of dialog boxes and example data will guide you from initial input to finished reports.

Designed by Solid Waste Management and software development professionals, this *100% Compatible Windows Software Program*, written in C++, is simple to install, uses a mouse and/or keyboard control, and has pull-down menus and interactive dialog boxes. Toolbar buttons launch calculator, create new/open/save files, print, print preview, and context Help. Status bar gives menu description. Multiple Report Screens and Data Files can be open at the same time.

The *SWPlan* reports generate 18 Tables, 5 Subreports, 8 Pie Charts and 50 Bar Charts.

**Price: SWPlan** \$ 350

## EndNote Plus & End Link

### Reference Database & Bibliography Maker

#### EndNote Plus

##### Features

- Stores up to 32,000 references.
- Creates bibliographies in user's word processor.
- Supports searching by keywords.
- Quick-Find feature for extra fast searching.
- Finds duplicate records.

**E**ndNote Plus allows writers of academic papers to store bibliographic information and create reference lists automatically. The user can paste or type citations from their databases into their word

processor document. *EndNote Plus* then scans the finished paper for in-text citations and reformats it according to the desired journal style, adding a reference list at the end. *EndNote Plus* can build bibliographies in documents created in WordPerfect, Microsoft Word, Mac Write and WriteNow. The program also works with any ASCII file. For direct access while you write, the program is available on the Mac as both a desk accessory or as a stand-alone application. *EndNote Plus* supports all the major bibliographic styles including MLA, APA, and Science. It also allows the user to define their own styles through a simple user interface.

#### End Link

**E**nd Link allows researchers to import bibliographic references downloaded from on-line services or CD-ROMs directly into an *EndNote* library, eliminating the need for retyping. Users can choose one of many filters that ship with EndLink, such as GEOREF, or simply create their own. *End Link* imports key words and abstracts too.

**Requirements:** PC: 640K RAM, Mac: 750K of free RAM, System 6.0.2 or later.

**Prices: EndNote Plus (PC)** \$ 245  
**EndNote Plus (Mac)** \$ 295  
**End Link** \$ 95

## GeoKrig

**K**riging is a statistical technique that provides a best linear unbiased estimate of the spatial distribution of a parameter. Kriging has a variety of applications: mapping of formation structure characteristics such as thickness or tops; estimation of aquifer parameters (transmissivity, etc.); and mapping and identification of contamination plumes and sources. *GeoKrig* is an interactive menu-driven application.

*GeoKrig* allows user specification of a regular grid domain or a single-user specified point using either pointwise or block kriging with quadrature up to order 20. Block kriging is especially useful for estimating model parameters for InterSat, InterTrans, MODFLOW, MOC, SUTRA, and other models. Block kriging can also be used, for

example, to estimate the amount of contaminant mass in a plume and to provide values subject to smaller estimation variance as a result of integration. The kriging methodology reduces the computation time required to perform a kriging analysis and allows approximation of drift (non-stationary processes) by kriging in user-given neighborhoods. Up to 1,200 points may be entered or read from a file. Data can be log-transformed for analysis.

*GeoKrig* allows interactive graphical determination of the geostatistical parameters for six types of variograms and combinations of variograms - Gaussian, spherical, exponential, cubic, pure nugget, and power (which includes the linear type as a subset). *GeoKrig* also incorporates a powerful non-linear

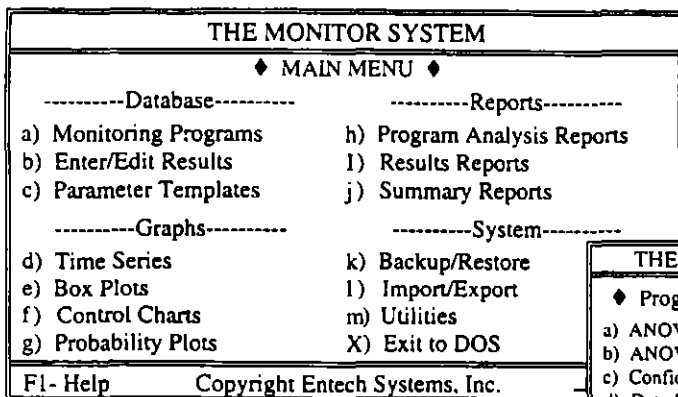
optimized least-squares fitting feature with a user-specified weighting factor to aid in the selection of the "best" variogram parameters. Variograms can be conditioned with domain constraints, censored (detection limit) data and anisotropy. A jack-knifing option allows verification of the optimized variogram fit and provides bias and estimation variance statistics. An interactive contour graphics routine is included for viewing kriged estimates and estimation error. File output is in a format compatible with popular contouring packages.

**Requirements:** IBM-PC or compatible with 640K RAM and math coprocessor.

**Price: GeoKrig** \$ 500

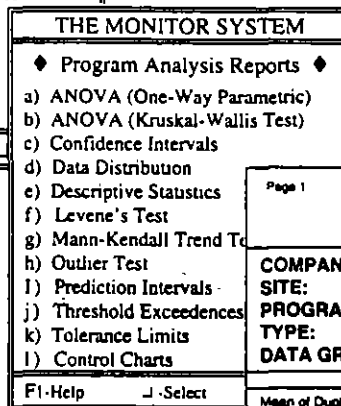
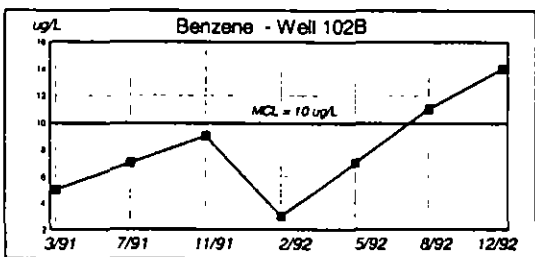
# The Monitor System™

Environmental Data Management, Assessment and Reporting Software



Groundwater database, RCRA Subtitle D stats, control charts, time-series plots and over 40 built-in reports and graphs in a single east-to-use and highly productive application.

- Groundwater
- Surface Water
- Leachate
- Discharge



Page 1		DEP ANNUAL REPORT		TREND TEST		12/23/94	
01/01/89 TO 12/30/94							
COMPANY:		Town of Winterport					
SITE:		Winterport Municipal Landfill					
PROGRAM:		Environmental Monitoring Program					
TYPE:		Ground Water					
DATA GROUP:		Downgradient Wells					
Mean of Duplicates Used				Non-Detects = 1/2 Detection Limit			
Specified Significance Level = 95%							
LOCATION	SAMPLE SIZE	%ND	S VALUE	TEST STATISTIC	TABLE VALUE	SIGNIFICANT TREND?	
PARAMETER: Benzene UNIT: ug/L							
Well 102	11	12	28	alpha = 05	0.0391	No	
Well 103	13	78	18	alpha = 05	0.0258	Yes (upward)	
Well 104	12	44	-11	alpha = 05	0.8930	No	
Well 105	12	48	37	alpha = 05	0.1902	No	
Well 107	13	10	-9	alpha = 05	0.0302	Yes (downward)	
Well 108	12	90	16	alpha = 05	0.0791	No	
Well 109	11	36	22	alpha = 05	0.0933	No	
PARAMETER: Chloride UNIT: mg/L							
Well 102	11	0	34	alpha = 05	0.0097	Yes (upward)	
Well 103	14	0	21	alpha = 05	0.2871	No	
Well 104	12	0	13	alpha = 05	0.6208	No	
Well 105	12	0	6	alpha = 05	0.4427	No	
Well 107	13	0	17	alpha = 05	0.3819	No	
Well 108	14	0	36	alpha = 05	0.0094	Yes (upward)	
Well 109	12	0	29	alpha = 05	0.0763	No	
(Continued)							

## Built-in Relational Database

The Monitor System's built-in relational database offers unlimited desk-top storage and precise access to all of your site data, regardless of how many monitoring and testing programs you currently manage.

## Automated EPA Procedures

The Monitor System comes with every major statistical and graphical data assessment procedure recommended by the EPA for RCRA Subtitle D facilities. Everything is fully automated and each procedure creates its own report.

## Significant User Base

The Monitor System is now used by more than 20 State regulatory agencies and some of the largest firms in the industry including ABB, International Paper, CDM, Groundwater Technology, EMCON, RUST & WMX Technologies.

## Highly Portable

The Monitor System requires less than 3 MB of disk space and a built-in backup and restore utility automatically compresses and transfers your data to any destination, in a matter of seconds.

## Accepts any Type of Data

The Monitor System can import & export:

- dBASE files™
- ASCII files
- Microsoft Excel spreadsheets™
- Lotus 1-2-3 spreadsheets™
- Quattro Pro spreadsheets™

## Ready to Use Reports & Graphs

You'll have a seamless link between all your sampling results and over 40 ready-to-use reports and graphs designed to present the results, identify trends, locate regulatory violations, find outliers, detect changes and compare multiple locations.

## Simple to Learn & Easy to Use

If you're looking for a way to manage and evaluate data quickly and easily, consider The Monitor System. Just choose the sampling results you want, select the appropriate report or graph and let The Monitor System do the rest.

## Low Hardware Demands

The Monitor System is a DOS based application that can operate on any 386 (or higher) personal computer or laptop with 5MB of disk space, 2MB of RAM and a laser or dot matrix printer.

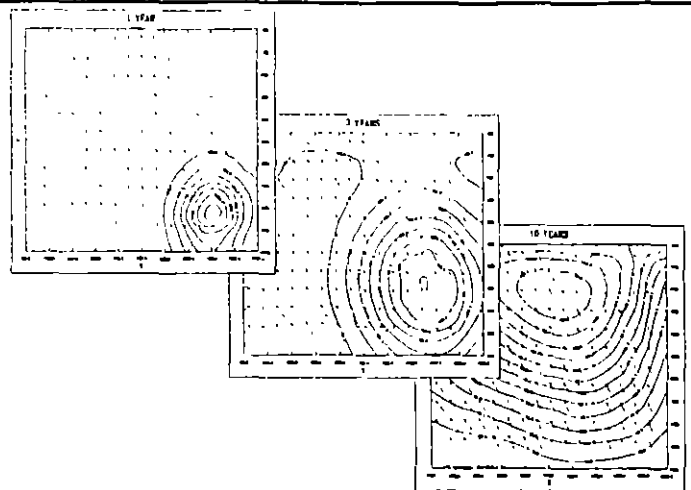
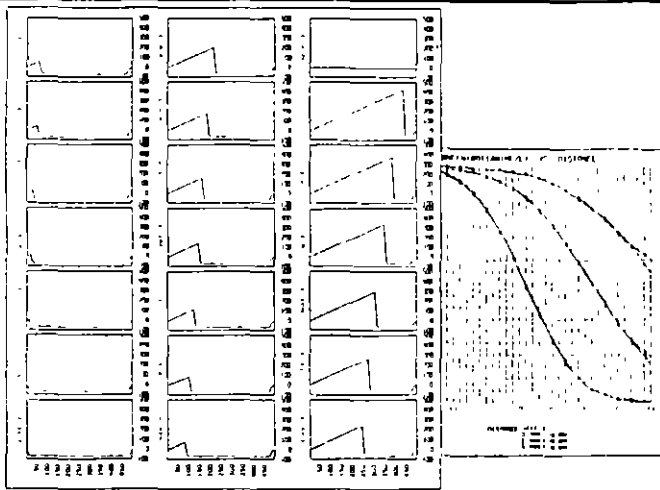
**"By October 1995, most solid waste facilities will have to comply with the RCRA Subtitle D reporting requirements. The Monitor System is the perfect solution."**

Price includes one year of unlimited technical support and a 60 day money back guarantee.

**The Monitor System™ \$695**

# TECSOFT Programs

TECSOFT offers an extensive variety of software for the ground-water professional, found on the following pages. Requirements are a PC 386/486 computer with 2 MB RAM, and a math coprocessor. The programs are menu driven and easy to use. Compilers are not required. The entire TECSOFT Package, consisting of TRANSLATE (DXF), TEDIT, AQUABASE, TECGRAF, PLOT-CHEM, TECTYPE, TECKON, TECMOUND, TECWVEL, and TECVECT is available for \$ 2,500.



## TRANSLATE

**TRANSLATE** is a graphics translator for use with all **TECSOFT** programs which produce graphics. Input to **TRANSLATE** is a graphics file containing metacode instructions. Metacode graphics files may contain a large number of graphics frames (pictures). Metacode is a device independent graphics instruction code which may be easily translated to codes required by specific graphics devices. The Translation process is fast and transparent to the user. **TRANSLATE** supports a large number of graphics devices including EGA, VGA, Hercules graphics, HP LaserJet, HP DeskJet and EPSON printers, and HP, Houston Instruments and Calcomp plotters. Each frame of the metacode graphics file may be converted to HPGL format and imported into other software. A version of **TRANSLATE** is available which converts metacode graphics files to DXF files for import to CAD systems for modification or scaling.

Price: **TRANSLATE**  
With DXF interface \$ 100

## TEDIT

**TEDIT** is a spreadsheet editor which produces ASCII files containing multiple sets of data. This program is primarily intended for use with **TKON2I**, **TECGRAF**, **TECWVEL**, **TECDRAW** and **TECAUTO**.

Up to 100 columns of data may be entered. This multi-column feature is especially useful when using **TKON2I** to contour multiple water quality parameters for the same set of sampling points. The file created using **TEDIT** contains a column of X-Coordinates, a column of Y-Coordinates, and up to 98 columns of Z-values. When using **TECGRAF**, **TECDRAW** or **TECAUTO**, the file contains a column of independent variables and up to 99 columns of Z-values. When a file is saved, the data is checked for duplicate points. A transfer utility is provided for importing data. A mouse may be used. Row and column labels may be entered.

**TEDIT** is included with the **TECKON**, **TECTYPE**, **TECGRAF** and **TECWVEL** packages.

## AQUABASE

**AQUABASE** is a user-friendly 3-D water-quality database which interfaces with other **TECSOFT** modules: **TKON2I** and **TKON3D** for contouring, **TECGRAF** for time-history plots, **PLOT-CHEM** for geochemistry diagram generation and mixing analysis, and **TECWVEL** and **TECVECT** for ground-water velocity computation and display, respectively. **AQUABASE** may be used to enter and track data from multiple projects. Data for each project is stored in a separate file. Data for each date or sampling period is entered through a worksheet. Each file contains multiple worksheets which are tagged and stored by date. Worksheets may be printed directly or saved in a print file. Well and parameter labels may be entered. Data may be edited in a worksheet. Detection limits may be used. Student-T statistics may be performed. ASCII data may be easily imported, worksheets may be deleted, and worksheet dates modified using several included utilities.

Price: **AQUABASE** \$ 450

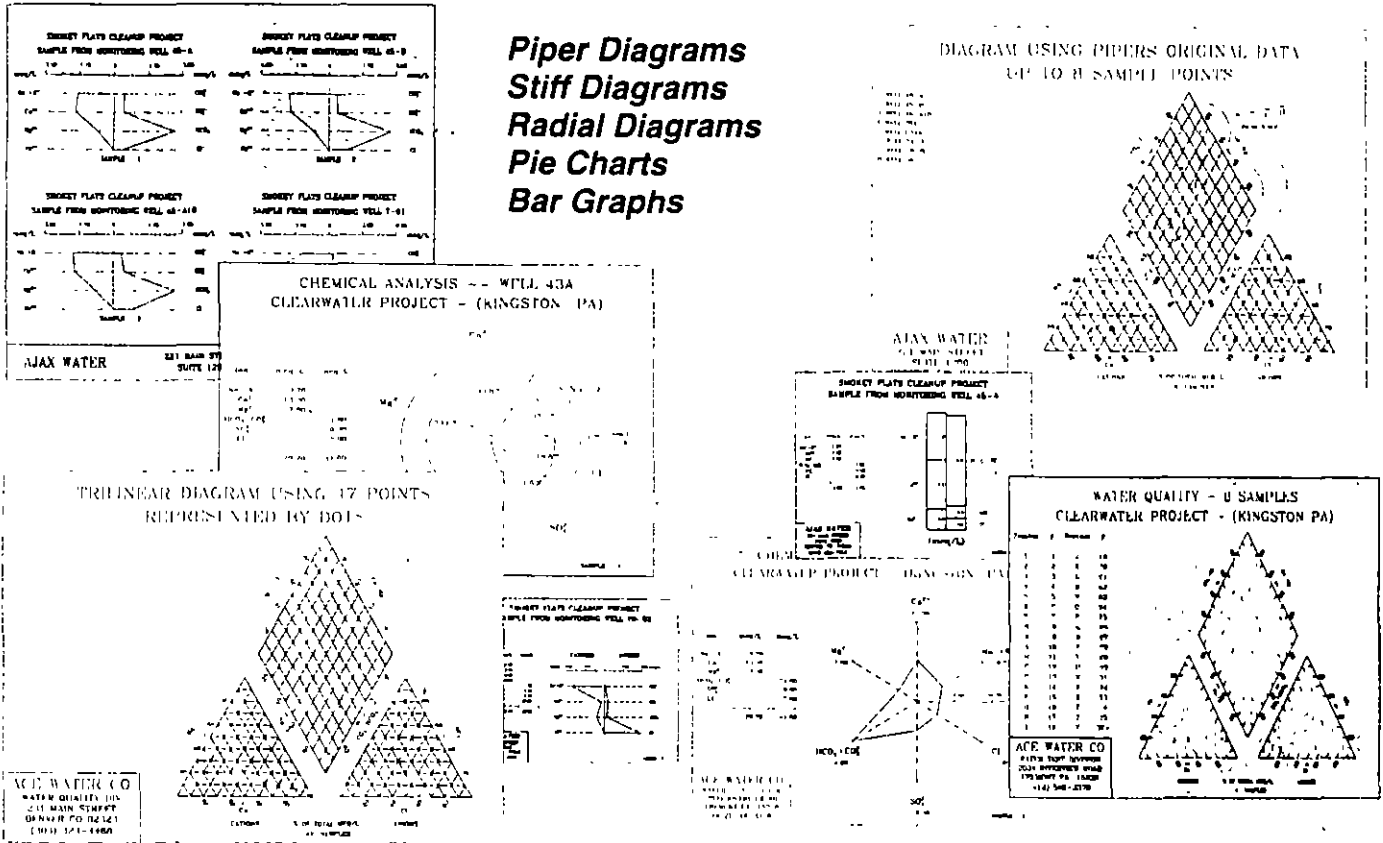
## TECGRAF

**TECGRAF** is a general XY plotting program which generates linear, semi-log, log-log, and vertical profile plots. Vertical profile plots are especially useful for displaying and comparing water-quality trends, since many water-quality parameters may be displayed simultaneously for easy comparison. For semi-log plots, either axis may be selected as the log axis. **TECGRAF** plots up to 100 data sets per run with up to 2,500 points per data set. Options for linear, semi-log or log-log plots include: background grids, one to four plots per page, up to six curves per plot, smoothing or straight lines and pen (color) and symbol selection. Vertical profile plots may have up to three groups of plots per page with six to twelve plots per group; thus a single page may contain up to 36 vertical profile plots. **TECGRAF** can process XY data files generated with **AQUABASE**, **TEDIT** or other ASCII editor. **TRANSLATE** and **TEDIT** are included.

Price: **TECGRAF** \$ 350

# PLOTCHER

## Water-Quality Data Plotting Program



### Features

- Incorporates complete two- and three-way mixing using all possible sample permutations and presents mixing probabilities in tabular form.
- Up to four diagrams (Stiff, Radial, Pie, Bar) may be plotted per page with the scales and constituent assignment on the diagrams determined by the user.
- Input data units include epm, ppm, mg/l, and meq/l. Concentrations are displayed in all units along with anion/cation summaries and constituent percentages.
- Colors for borders, labels, diagrams, concentration circles, sample points and other items may be selected from a 16-color palette.
- Three options for Piper (Trilinear) Diagrams: separate symbols, multiple sample symbol representation, and points represented by dots.
- Up to 1,000 samples may be processed in a single run.

- Concentration circles (arithmetic or logarithmic) on trilinear diagrams.
- Cross hatch omitted from trilinear diagrams for ease of viewing.
- Sodium adsorption Ratio (SAR) is computed.
- Anion/Cation balances are presented in tabular form in all units.

### Simple to Learn & Easy to Use

PLOTCHER is completely menu driven, executes in a batch environment and is very easy to use. Sample data may be easily added, deleted or modified.

### Input Data

Data may either be entered manually, imported from AQUABASE or imported via a comma delimited ASCII file. Project specific information, Well ID's, Dates and other data may be entered.

**Graphical Presentation of Water-Quality Data & Mixing Analysis in One Easy-to-Use Software!**

### Graphical Output

Hundreds of diagrams may be generated in a single run. TRANSLATE (included) produces the graphics on a wide range of devices and also creates HPGL files. Conversion to DXF format is possible with the TRANSLATE DXF option.

### Prices:

<b>PLOTCHER</b> (Up to 100 samples)	<b>\$ 500</b>
<b>PLOTCHER</b> (Up to 1,000 samples)	<b>\$ 600</b>
<b>TRANSLATE with DXF Interface</b>	<b>\$ 100</b>



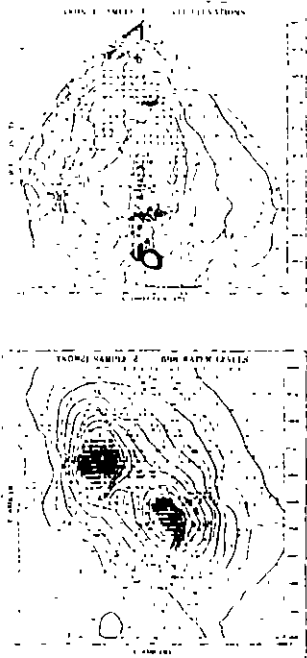
# TECKON

## Fully Integrated Contouring Package

### TECKON

**TECKON** is a modular contouring and analysis package consisting of five easy-to-use interacting modules: TKON2I, TKON2R, TKON3D, TKONC and TKONV. Each module can run independently of the others. The **TECKON** programs require **TRANSLATE** (included) to produce graphics. **TRANSLATE** with DXF Interface is available.

**Prices:**  
**TECKON PACKAGE** \$ 800  
**TRANSLATE with DXF** \$ 100



### TKON2I

**Performs** two-dimensional contouring of up to 10,000 irregular (scattered) data points. The file containing the data points may be produced using **AQUABASE**, **TEDIT** or any ASCII text editor. A utility, **T2IDAT** is included for editing CSV ASCII data. The data is triangulated and a high order bivariate interpolation algorithm is used to generate a grid of interpolated values. The number of grid points is specified by the user and the data grid may be saved for subsequent use by other **TECKON** modules. Smooth contour (labeled or unlabeled) lines are then produced from the data grid using splines. Features include: The use of up to 16 colors;

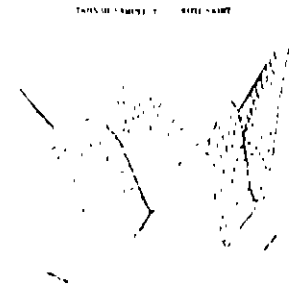
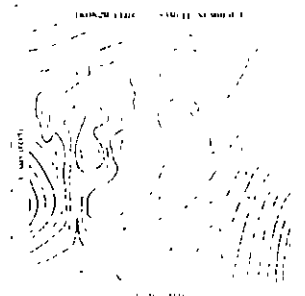
zooming (up or down) using all available data points; major (labeled)/minor line selection; extensive line pattern selection and control; three sizes for line labels, symbols and data values; three methods for contour level selection; contouring within the data polygon or extrapolation; aspect ratio control; plotting of data values and/or symbols (10 choices); use of ghost points (points used to contour but which are not plotted); multiple Z-value file usage; hardcopy summary; plotting of data polygon and background grid; perimeter plotting with or without axis labels; tick marks; title; and X,Y labels. The same data grid may be recontoured (without re-triangulating) creating variations of the contour plots (different line patterns, contour levels, etc.) very quickly. Multiple plots may be stacked in a single graphics file.

**Price:**  
**TKON2I (10,000 points)** \$ 300

### TKON2R

**Performs** two-dimensional contouring of regular (gridded) data. This module accepts grid data from **TKON2I** or another source. **TKON2R** can handle a maximum grid size of 500 X 500. Smooth contour (labeled or unlabeled) lines are produced using splines. Features include: the selection of up to 16 colors; major (labeled)/minor line selection; extensive line pattern selection and control; three sizes for line labels, symbols and data values; three methods for contour level selection; aspect ratio control; plotting of data values and/or symbols (10 choices); hardcopy summary; plotting of background grid; perimeter plotting with or without axis labels; tick marks; title; and X,Y labels. The program can recontour the same grid data and stack up multiple plots in a graphics file. Isopach maps using difference grids generated by **TKONV** may be produced.

**Price:**  
**TKON2R (grids to 500 X 500)** \$ 250



### TKON3D

**Performs** three-dimensional contouring of regular data. This module accepts grid data files from **TKON2I** or another source. Features include: labels; viewing from any direction; drawing a skirt around the figure; drawing lines of constant X, Y, Z; viewing entire figure or upper or lower side only; and three methods to select contour levels.

**Price:**  
**TKON3D (grids to 500 X 500)** \$ 250

### TKONC

**Produces** cross-sectional views of 1(2) contoured surface(s) using grid data files from **TKON2I** or another source. One or two grids (same size) may be input per run. An arbitrary XY cut through the grid may be chosen. It generates the view of the cut (if desired) and a cross-sectional view of the surface(s).

**Price:**  
**TKONC (grids to 500 X 500)** \$ 250

### TKONV

**Performs** an accurate estimation of the volume contained between two contoured surfaces. The grid data files may be generated using **TKON2I** or another source. The estimate may be made within the data polygon or over the entire grid. Positive, negative and total volumes are reported. The grid representing the difference between the two surfaces may be saved and an isopach map may be generated from the data grid using **TKON2R**. Positive contour lines may be represented by one line pattern and negative lines by another.

**Price:**  
**TKONV (grids to 500 X 500)** \$ 250

## TECWVEL

THE average ground-water velocity (magnitude and direction) or a velocity vector flow field may be produced. The average velocity is computed using up to 1,000 heads. The ASCII file containing heads may be created using TKON2I. The velocity vector flow field is computed using a grid (up to 200 X 200) of interpolated heads. This grid may be produced using TKON2I. The velocity vector flow field is stored in two files: one contains the X-components and the other, the Y-components. English or metric units may be used. The aquifer may be anisotropic. TECVECT may be used to plot the velocity vector flow field.

Price: TECWVEL \$ 200

## TECVECT

TECVECT generates a plot of a vector flow field. The length of each vector is proportional to the flow velocity at that point. The vector flow field may be produced using TECWVEL. If the flow field was generated using TKON2I (to produce the grid of interpolated heads) and TECWVEL, the vector plot may be superimposed to scale (vector plotter) on the two-dimensional contour plot from TKON2I. TRANSLATE is required to produce graphics.

Price: TECVECT \$ 150

## PHREEQE

PHREEQE is a USGS computer program designed to model geochemical reactions. Based on an ion pairing aqueous model, PHREEQE can calculate pH, redox potential, and mass transfer as a function of reaction process. The composition of solutions in equilibrium with multiple phases can be calculated. The aqueous model including elements, aqueous species, and mineral phases, is exterior to the computer code and is completely user definable. PHREEQE can simulate several types of reactions including: (1) addition of reactants to a solution, (2) mixing of two waters, and (3) titrating one solution with another. In each of these cases, PHREEQE can simultaneously maintain the reacting solution at equilibrium with multiple phase boundaries. PHREEQE calculates the following quantities during the reaction simulation: (1) the pH, (2) the pe, (3) the total concentration of elements, (4) the amounts of minerals trans-

ferred into or out of the aqueous phase, (5) the distribution of aqueous species, and (6) the saturation state of the aqueous phase with respect to specified mineral phases. PHREEQE solves a set of non-linear equations using a combination of two techniques: (1) a continued fraction approach for mass balance equations, and (2) a modified Newton-Raphson technique for all other equations. PHREEQE includes PHRQINPT, a preprocessor for creating/modifying input data files. PHREEQE accesses an external thermodynamic database which has been extensively updated. Both source and executable codes are included with the package.

Prices: PHREEQE \$ 350  
PHREEQE Report/Doc \$ 30

## PHRQPITZ

PHRQPITZ is a USGS computer program designed to make geochemical calculations in brines and other electrolyte solutions to high concentrations using the Pitzer virial coefficient approach for activity coefficient corrections. Reaction modeling capabilities include calculation of (1) aqueous speciation and mineral saturation index, (2) mineral solubility, (3) mixing and titration of aqueous solutions, (4) irreversible reactions and mineral-water mass transfer, and (5) reaction path. PHRQPITZ includes an external interactive program, PITZINPT, which is used to create/modify input data files. Help is available and the program checks for errors. PHRQINPT reads an external Minerals Thermodynamic data base and assesses an extensive external Thermodynamic data base file (included). Both source and executable codes are included.

Price: PHRQPITZ \$ 300

## BALANCE

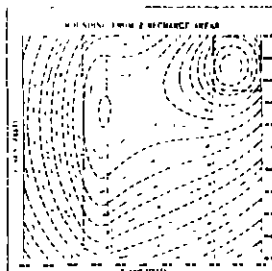
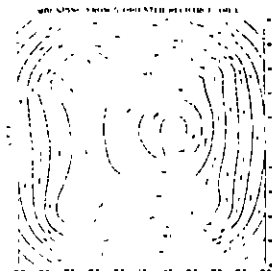
BALANCE is a USGS computer program for calculating mass transfer for geochemical reactions in ground water. BALANCE is designed to define and quantify chemical reactions between ground water and minerals. Using (1) the chemical compositions of water samples from two points along a flow path and (2) a set of mineral phases hypothesized to be the reactive constituents in the system, the program calculates the mass transfer (amounts of the phases entering or leaving the aqueous phase) necessary to account for the observed changes in composition between the two water samples. Additional constraints can be included in the

problem formulation to account for mixing of two end-member waters, redox reactions, and, in a simplified form, isotopic composition. Both source and executable codes are included with the package. BALANCE includes an external database file containing default data and an internal editor for creating/modifying input data files.

Prices: BALANCE \$ 250  
BALANCE Report/Doc \$ 20

## TECMOUND

TECMOUND is a menu-driven program which uses analytical solutions (Glover or



Hantush) to model the growth (and decline) of a mound on a user-specified grid from up to 100 rectangular recharge basins at arbitrary positions, sizes and orientations using superposition. For a single recharge basin, the recharge rate may be computed given the mound height at a specified point. The grid of mound heights may be saved for contouring with TKON2R (included). Either English or Metric units may be used. A hardcopy file may be saved for later printing. Different start and stop recharge times may be specified for each basin. Discharge for each basin begins when recharge for that basin stops. The maximum mound height and mound heights for up to 25 specified observation points are reported. A linear stream or boundary at arbitrary orientation may be included. The maximum mound heights is computes and mound heights reported for up to 25 specified observation points.

Prices:  
TECMOUND \$ 450  
TRANSLATE with CAD (DXF Interface) \$ 100

# TECTYPE

## Pump-Test Analysis

- Modular
- Easy To Use
- Menu Driven
- Manual or Automatic

*Generates infinite number of type curves for confined, leaky, and unconfined aquifer conditions.*

**T**ECTYPE is a Type Curve Generation and Analysis Package consisting of TECTYPC, TECTYPL, TECTYPU, TECDRAW and TECAUTO. All modules are menu driven and extremely easy to use. TECTYPC, TECTYPL and TECTYPU produce type curves scaled to those of TECDRAW for powerful Match Point Analysis. In essence, an infinite number of type curves for all penetration conditions may be generated. Select the exact type curves for your analysis without guessing. TECAUTO performs automatic type curve matching using optimized least squares. TRANSLATE and TEDIT are included with the package.

Price: TECTYPE PACKAGE \$ 750  
TRANSLATE-DXF \$ 100

### TECDRAW

TECDRAW produces log-log and semi-log plots of drawdown, recovery and slug test data from well tests. The Bouwer-Rice straight-line method may be used to analyze unconfined slug test data. Up to 3,000 points may be entered per well. TEDIT may be used to create the data file. Input data may be entered in Feet, Meters or PSI. Times may be entered in Minutes or Days. Time Ratios for recovery data may be entered or computed by the program. Either total or computed drawdowns may be entered. Sixteen colors are available. A 40-character

title may be entered. The number of log cycles and minimum values are determined by the program but may be overridden by the user. Plots are scaled to those of the above TECTYPE modules for quick and accurate match point analysis.

Price: TECDRAW \$ 250

### TECTYPL

TECTYPL produces type curves for confined, leaky aquifer conditions. Type curves may be generated for fully (Hantush-Jacob) and partially-penetrated wells and for piezometers. TECTYPL features are similar to those of TECTYPC.

Price: TECTYPL \$ 250

### TECAUTO

TECAUTO is a Pump Test Analysis module for the accurate determination of aquifer characteristics by automatic type curve matching. Time-drawdown data is analyzed by fitting the data to the appropriate type curve using optimized least squares. Aquifer parameters are automatically obtained. Parameters for controlling the estimation, such as convergence tolerance, may be entered. Up to 10 wells may be analyzed in a single run. They may be analyzed by fitting each to the appropriate type curve individu-

ally or by fitting all together in an overall least squares sense. Directional transmissivity may be computed.

Price: TECAUTO \$ 350

### TECTYPC

TECTYPC produces type curves for confined, non-leaky aquifer conditions. Type curves may be generated for fully-penetrated (Theis) and partially-penetrated wells, piezometer, and slug tests. For partial penetration, inputs include aquifer thickness, permeability ratio, distance from pump well to observation well or piezometer, depths from top of aquifer to top and bottom of observation well screens and piezometer depth from top of aquifer. The number of log cycles and minimum plotted values may be selected.

Price: TECTYPC \$ 250

### TECTYPU

TECTYPU produces type curves for unconfined aquifer conditions with delayed yield from storage using the Boulton solution for full penetration and the Neuman solution for full or partial penetration. The number of log cycles and minimum plotted values may be selected.

Price: TECTYPU \$ 250

# Infinite Extent

## Pump Test Analysis Software for Microsoft Windows

**Theis (Slope - Matching Method and On-Screen Type Curve)**

**Walton Leaky Aquifer (On-Screen Type Curve Matching)**

**Thiem Confined Aquifer, Steady State**

**Hantush Inflection Point, Leaky Aquifer, Steady-State, (Slope Matching Method)**

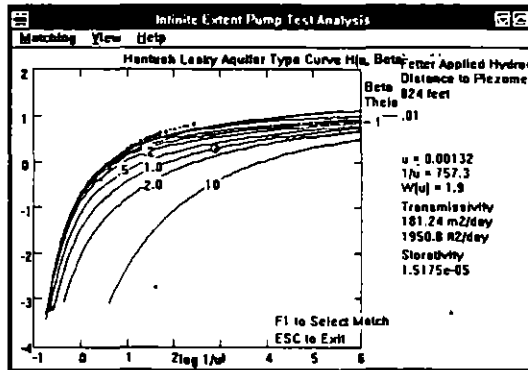
**Hantush Curve Matching, Leaky Aquifer (On-Screen Type Curve Matching)**

**Huisman Partial Penetration Correction I and II**

**Specific Capacity (No Type Curve Matching)**

**Neuman Unconfined Aquifer (On-Screen Type Curve Matching)**

**Hantush's Modification of the Theis method for partial penetration (On-Screen Type Curve Matching)**



### Additional Features

After transmissivity is determined, Infinite Extent can help you find well yield, radius of influence, or steady state drawdown at other pumping rates. On-line context-sensitive Help is available at all times.

### Graph your data with a full selection of fonts:

Arithmetic Time vs. Arithmetic Drawdown - Log of Time vs. Arithmetic Drawdown - Log of Time vs. Log of Drawdown - For multiple well tests, all wells are graphed simultaneously for easy comparison - Print Type Curve Graph and Matched Data.

### WinPump

WinPump is a smaller and simpler version of Infinite Extent. Test methods include Theis Confined Aquifer Type Curve, Walton Leaky Aquifer Type Curve, Neuman Unconfined Aquifer Type Curve, Thiem Confined Aquifer, and an automated specific capacity analysis. Data is entered for a single well. Up to 80 time and drawdown data pairs can be entered from the keyboard. A variety of common units are available for input and output. Output files can be column formatted or tab delimited for import to a spreadsheet program. Arithmetic, semi-logarithmic, and double logarithmic graphs are available with a choice of fonts. Calculations can be viewed during the type curve matching process. Graphs or type curves with matched data can be printed. On-line, context-sensitive Help is available at all times.

**Requirements:** PC 386/486 with 4 MB RAM, 1.4 MB hard disk space, and Microsoft Windows 3.1 or higher.

#### Prices:

**Infinite Extent** \$ 350  
**WinPump** \$ 195

## Super Slug

### Slug Test Analysis Software for Windows

Super Slug is an easy-to-use, menu-driven software package for solving injection or withdrawal slug tests.

#### Input

Enter up to 400 time and head data pairs from electronic data pairs from electronic data logger ASCII text file - Input time in seconds, minutes or days - Input aquifer parameters and head values in metric or English units - Analyze injection or withdrawal slug test data with equal ease - Automatically adjust logger files to run in tests, filters out bad data.

#### Operation

Easy-to-use Windows style menus and dialog boxes - Fast, easy handling of input and output files - Super fast analysis - On-Screen matching of Cooper Bredehoeft, Papadopulos type curves, shows how hydraulic conductivity changes as you match the data - Complete Microsoft Windows-style Context Sensitive On-Line Help System - Excellent for field operation on a notebook computer - Ferris and Knowles method and Hvorslev method solve slug tests in seconds - Both Hvorslev method and Bouwer and Rice method accept partial penetration data.

#### Data Display

Three types of graphs on screen or printer, with choice of fonts—Arithmetic Time vs. Arithmetic Head - Log of Time vs. Arithmetic Head - Arithmetic Time vs. Log of Head Ratio. Graph in English or Metric units with plain axes or showing scales.

#### Output

Output to a DOS text file, or tab delimited file for import to spreadsheet - Detailed final reports in English or Metric units - Hydraulic conductivity reported in numerous unit combinations - Print Type Curve Graph and Matched Data.

**Requirements:** PC 386/486 with 4 MB RAM, and Microsoft Windows 3.1 or higher.

#### Price:

**Super Slug** \$ 195

# ADEPT -- A Program for Aquifer Data Evaluation

**A**DEPT contains over 40 solutions for the analysis of pumping test and slug test data. This Microsoft Windows application written in the Mathcad 5.0 operating environment:

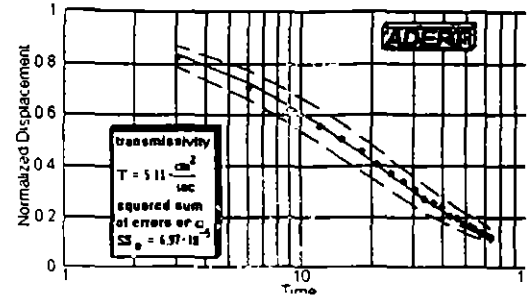
- Organizes the analytical techniques in a logical and efficient manner.
- Is an "Electronic Handbook" with hyper-text links allowing the user to search for the desired technique by keyword, reference, index, or table of contents.
- Offers on-line help and allows easy peer-review to check for errors.
- Generates report-ready text output and technically-accurate graphics.
- Automatically interconverts any units supplied by user from English to SI and back. Input and output can be in mixed units.
- Uses linked-object embedding between Mathcad and other Windows applications, such as Wordperfect and Lotus 1-2-3.

ADEPT includes solutions for: unconfined, confined, artesian and leaky aquifers with partial penetration corrections -- distance and time-drawdown analyses -- five slug test techniques -- safe yield, well efficiency, capture zone, and recharge basin analyses -- drawdown analyses at constant-head

boundaries -- flowing well functions and fractured aquifer analysis.

ADEPT is an "Electronic Handbook" and operates within the Mathcad environment. The wide variety of analytical solutions in ADEPT takes full advantage of the linked-object embedding programming and on-line, hyper-text help features of Mathcad and Windows. All you have to do is point and click with the mouse cursor! Easily-interpreted, on-screen icons guide you through the analysis of your data by offering pop-up menus at every step. At the top of most spreadsheets, a schematic of the relevant aquifer and test geometry appears. Just double-click on the schematic to see the references and the assumptions inherent in the technique.

ADEPT keeps track of all units internally! You can specify whatever units for input and output variables that you desire. Any analysis you perform is displayed right on the screen; the hydraulic estimate appears next to the graph in any set of units that you choose. As an example of an ADEPT analysis, consider the analysis of slug test data from Cooper et al. (1967) using their solution. You will see the type-curve change on the graph as the normalized time and storage

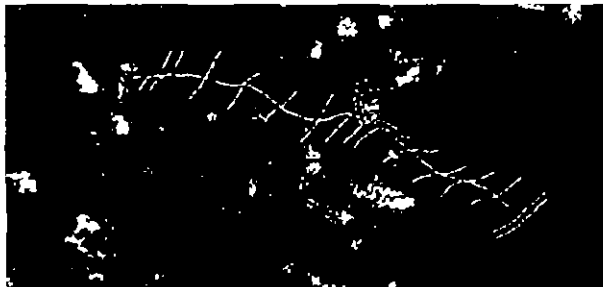


parameters are changed. Increasing the range multiplier brackets your data with type curves above and below the fitted curve. On the side, see the resultant transmissivity estimate in any units you choose with the goodness-of-fit statistics next to it. **Overseas Mathcad sales are through local distributors only. Distributor list available.**

**Requirements:** PC 386/486 with 4 MB RAM, 4 MB hard disk space, Microsoft Windows 3.1, Mathcad 5.0, and VGA graphics card and display.

**Prices:**  
**ADEPT** \$ 350  
**MATHCAD 5.0** \$ 150  
**ADEPT & MATHCAD 5.0** \$ 475

# GWN -- Design, Mapping, & Municipal Applications



**GWN-DTM, GWN-COGO, GWN-MMS, GWN-GIS, GWN-STORM, and GWN-ROAD** are an integrated set of programs which provide powerful mapping, design, municipal applications, spatially-related planing functions, storm sewer design, and highway design to demanding users of engineering, scientific, survey and mapping disciplines. These programs run on PC or compatible 386/486 machines, the IP32C/IACT32C Intergraph Workstation, and SUN and APOLLO Workstations. They are interactive within AutoCAD and MicroStation. Free slide shows are available.

**GWN-DTM** -- In addition to the BASE Module's functionality of data manipulation, terrain model generation and contour-

ing, additional modules provide automated design features including profiling, X-sectioning, structural and surface volumetrics, 3-D display, template design, horizontal and vertical curve design, isopach and slope analysis generation, among others.

**GWN-COGO** -- Allows the user to enter, edit and adjust survey data according to standard geometric routines. Supported functions include automatic plotting with annotation, curve and spiral design, area calculations, alignments, audit trail generation, reporting and batch processing, among others.

**GWN-MMS** -- A geographic information system designed for beginning users with municipal applications. GWN-MMS allows the user to enter, edit, maintain and analyze graphic and non-graphic data in a completely graphical interactive and user-friendly mode. Tutorials, specialized menus and data management make the system easy to learn and use. Non-graphic data is man-

aged in dBASE format. Default templates are supplied and may be customized by the user.

**GWN-GIS** -- Allows the creation of new coverages based on spatial and/or attribute selection criteria. It interfaces directly with a data-base product (either a 4GL relational data base such as INFORMIX or dBASE III Plus).

**GWN-STORM** -- Manhole, pipe and drainage area data are stored as dBASE III files and are linked to graphic elements. Elements can be placed in plan view in 2D or 3D. It will automatically size and place pipes in a network system. **GWN-STORM** will support Rational Design flows, base-flow and manual input of flows.

**GWN-ROAD** -- An interactive highway design package based on the AASHTO standards. Design features include: multiple design profiles, multiple surface support, interactive traverse layout, interactive design profile, definition of backslopes by cut-fill depth ranges, interactive template design full enter/exit, and many others.

*Call or write for current prices.*



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

VII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS

MOD. II CONTAMINACION DE ACUIFEROS

TEMA: CALIDAD DEL AGUA EN MEXICO

DRA. BLANCA E. JIMENEZ CISNEROS

# **CALIDAD DEL AGUA EN MEXICO**

---

**DRA. BLANCA E. JIMÉNEZ CISNEROS**

## 1. INTRODUCCION

Existen aproximadamente 1'458,000,000 km<sup>3</sup> de agua en la Tierra de los cuales el 93% es salada, el 2% se encuentra congelada en los polos y sólo una pequeña parte está disponible a nuestras necesidades.

La renovación natural del recurso agua se realiza a través del ciclo hidrológico, en el cual del 100% de la precipitación, 28% cae en la tierra y 72% en el mar.

- Del 28 % que cae:

- \* 7% se percola a los acuíferos
- \* 8% va al mar por escurrimientos y el
- \* 13% restante, regresa a la atmósfera por evaporación (de los cuerpos de agua superficiales) y evapotranspiración (de la cubierta vegetal).

Aparte de las condiciones climáticas, la distribución y abundancia del recurso en el Mundo depende de la geología, orografía, tipo de suelo y cubierta vegetal. El resultado es que la distribución mundial del agua útil es muy desigual. Por si fuese poco, la carencia de infraestructura adecuada para el aprovechamiento del agua acrecenta las diferencias. En efecto, mientras 3 400 millones de personas cuentan con una dotación de apenas 50 L/d (se considera que el requerimiento para las necesidades básicas oscila entre 20 y 50 L) en países desarrollados el consumo puede fácilmente sobrepasar los 400 L/hab.d

## 2. DISPONIBILIDAD

La disponibilidad del agua tiene que ver no sólo con la cantidad, también es criterio que la calidad sea acorde con el uso que se persigue. En la antigüedad, la calidad del agua se calificaba sólo por su aspecto, sabor y olor. Actualmente los avances científico-técnicos han repercutido en técnicas analíticas y procesos capaces de identificar y de remover una amplia lista de contaminantes, a grado tal, que es posible lograr la calidad "potable" con la depuración de aguas residuales. Sin embargo, tales conocimientos aún no se plasman en una aplicación generalizada de instalaciones industriales o municipales suficientes y eficientes ni tampoco en políticas integrales que busquen:

- La conservación del recurso (agua superficial y subterránea),
- La preservación de su calidad,
- Su uso eficiente (Reuso, ahorro y recirculación del agua).



queda aún mucho por lograr en términos de la calidad tanto en el Tercer Mundo como en los países desarrollados, sin duda, con matices diferentes. En el sentido más amplio, los retos para el próximo siglo abarcan desde el suministro de agua microbiológicamente aceptable hasta el desarrollo de sofisticadas técnicas de control para contaminantes complejos y de daño a largo plazo.

## 2.1 Cantidad y calidad del agua en México

México cuenta 5,125 m<sup>3</sup> de agua renovable/hab.año, cifra que no da mucha información. En cambio, el índice de escasez que considera la disponibilidad en términos de sus usos sitúa al país en un nivel de **disponibilidad comprometida por su distribución temporal y espacial así como por problemas de contaminación**. Este índice refleja sin duda la situación que vivimos. El MAPA 1 muestra la disponibilidad del agua superficial como lo calcula la CNA para las regiones hidrológicas en que se divide al país.

La FIG 1 muestra como se explota el agua subterránea y la superficial para los diversos fines. El empleo de acuíferos representa el 27 % de la extracción total y es muy notorio que el sector que más la emplea es el riego (76 % del total). Normalmente, este tipo de agua es considerado de muy alta calidad y se prefiere preservar para el consumo humano. Sobre todo, cabría cuestionarse que use tanta agua de buena calidad para riego con eficiencias muy bajas (del orden del 50 %).

Las aguas superficiales son por lo general menos duras, tienen mayor concentración de oxígeno (que ayuda a la eliminación de Fe y Mn) y no contienen ácido sulfhídrico. En contrapartida, son fácilmente contaminables, tienen alta actividad biológica, color y turbiedad, sólidos en suspensión y flotantes. Su calidad varía en épocas de avenidas y tienen mayor probabilidad de contener materia orgánica que favorecerá la formación de organoclorados durante la desinfección con cloro.

El agua subterránea, por encontrarse protegida, es de calidad más uniforme, el contenido de color y compuestos orgánicos es bajo y no es corrosiva. Sus desventajas principales son su accesibilidad, el contenido de H<sub>2</sub>S y que generalmente es dura aunque poco corrosiva. En ocasiones puede además contener por disolución del medio en el que está contenida, metales pesados.

Las aguas subterráneas, comparadas con las aguas superficiales contienen sólidos disueltos, cloruros, alcalinidad, dureza y nitratos. Sin embargo, se caracterizan por tener concentraciones menores de color, turbiedad, nitrógeno amoniacal, DBO, coliformes, sólidos coloidales y sólidos suspendidos.

### **3. CONTAMINACION DEL AGUA**

#### **3.1 Conceptos generales**

El agua tiene una composición precisa ( $H_2O$ ), y por lo tanto es fácil identificar los compuestos ajenos a ella. Sin embargo, la definición de sus contaminantes se dificulta. Es un hecho que el agua rara vez se encuentra en forma pura. En general, se considera como contaminante al exceso de materia o energía (calor) que provoque daño a los humanos, animales, plantas y bienes, o bien, que perturbe negativamente las actividades que normalmente se desarrollan cerca o dentro del agua. De esta forma, la definición de contaminación del agua queda íntimamente ligada al uso al cual se le destina.

A pesar de la dificultad en la definición, es claro que el exceso de contaminación en un cuerpo de agua provoca el abatimiento de oxígeno, la muerte y descomposición de la flora y fauna, impide su uso en industrias o ciudades y deteriora el paisaje. El origen de la contaminación son los desechos urbanos e industriales, los drenados de la agricultura y de minas, la erosión, los derrames de sustancias tóxicas, los efluentes de plantas depuradoras, los lodos de potabilizadoras, la ruptura de drenajes, el lavado de la atmósfera, etc.

Como se puede observar, el problema del agua es complejo: para poder hacer uso de ella se requiere exista tanto en la calidad adecuada como en la cantidad suficiente durante un período determinado y en una época del año definida.

Los usos que se pueden dar al agua son muchos y se clasifican en:

- 1) Consumo humano (bebida, cocina y procesamiento de alimentos)
- 2) Limpieza personal
- 3) Cultivo de peces, mariscos o cualquier otro tipo de vida acuática
- 4) Agricultura
- 5) Industria
- 6) Usos municipales (riego de jardines, lavado de coches, fuentes de ornato, lavado de calles e instalaciones públicas)
- 7) Usos recreativos (natación, veleo, etc.)
- 8) Transporte de desechos

### 3.2 Clasificación de las descargas de contaminantes

Existen tres tipos de descargas de agua de desecho: las puntuales, las dispersas y las accidentales. Las primeras corresponden a las redes de drenaje y es posible localizarlas geográficamente y cuantificarlas y caracterizarlas. Las descargas puntuales se pueden controlar fácilmente ya que es posible conducir las a una planta de tratamiento o zona de reuso.

Las descargas dispersas provienen de diversos puntos y es muy difícil evaluarlas en cuanto a volumen y calidad. Las últimas, las accidentales, son prácticamente imposibles de cuantificar pues como su nombre lo indica ocurren en forma espontánea. Estas contaminan los cuerpos de agua a través de interacciones complejas entre las sustancias aplicadas o depositadas sobre el suelo y el ciclo hidrológico. Son de origen: urbano, agrícola y atmosférico.

Las de origen urbano son generadas por extensas áreas impermeables o semi-impermeables, como calles, coberturas de edificios, estacionamientos y otras, sobre las cuales se depositan residuos contaminantes generados en las ciudades. La principal descarga dispersa de origen urbano es la lluvia.

Las descargas dispersas de origen agrícola llevan implícitos procesos que ocurren entre las sustancias químicas del agua de riego y el suelo como el consumo de sustancias por organismos presentes en el terreno y liberación de metabolitos por parte de estos.

El control es muy difícil y está asociado con políticas adecuadas de cultivo y de dotación de infraestructura a los asentamientos humanos. Es decir, al desarrollo de políticas acordes de uso del agua y del suelo.

Por último, las descargas accidentales, como los derrames de PEMEX, son de control muy difícil, su estudio y estrategias para enfrentarlo deben ser determinadas a partir de estudios de simulación.

### 3.3 Principales contaminantes

Los componentes o impurezas que caracterizan la calidad del agua, pueden estar presentes en alguna de las siguientes tres formas:

Materia suspendida.- corresponde a moléculas suspendidas de diámetro equivalente a 1 - 100 microm

Materia disuelta.- corresponde a moléculas o iones disueltos de diámetro equivalente a  $10^{-5}$  -  $10^{-3}$   $\mu$

Materia coloidal.- corresponde a materia suspendida con características, en algunos casos, similares a la materia disuelta, con diámetro equivalente a  $10^{-3}$  -  $1 \mu$

La TABLA 1 muestra datos típicos de los constituyentes encontrados en el agua residual doméstica; dependiendo de las concentraciones constituyentes, el agua residual se clasifica como de concentración alta, media o baja.

TABLA 1 COMPOSICION TIPICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN DOMESTICO

COMPUESTO	CONCENTRACION		
	MINIMA	PROMEDIO	MAXIMO
Sólidos totales, mg/L	350	720	1200
Sólidos disueltos	250	500	850
Fijos	145	300	525
Volátiles	105	200	325
Suspendidos totales	100	220	350
Fijos	20	55	75
Volátiles	80	165	275
Sólidos sedimentables, ml/L	5	10	20
DBO5, mgO <sub>2</sub> /L	110	220	400
DQO, mgO <sub>2</sub> /L	250	500	1000
COT, mgC/L	80	160	290
Nitrógeno total, mgN/L	20	40	85
Orgánico	8	15	35
Amoniacal	12	25	50
Fósforo total	4	8	15
Alcalinidad mgCaCO <sub>3</sub> /L	510	100	200
Grasas, mg/L	20	100	150

Adaptado de Metcalf & Eddy, Inc. 1979.

### 3.4 Características físicas

Entre las propiedades físicas se encuentra el color, olor, sabor, temperatura, turbiedad, contenido de sólidos y conductividad.

- **Color.** El color verdadero se define como el color producido por sustancias disueltas y se aplica para agua potable. El color aparente está dado por los sólidos en suspensión. El método que se utiliza con mayor frecuencia es el de la escala Pt-Co (platino-cobalto).

La coagulación seguida por sedimentación es el método más apropiado para la remoción del color. La dosificación del coagulante depende de la concentración inicial del color y del pH óptimo (generalmente ácido).

- **Conductividad.** La conductividad representa la capacidad de una solución para transmitir una corriente eléctrica. Su valor depende del tipo de iones involucrados, sus concentraciones, el estado de oxidación de los mismos, el porcentaje de cada uno y de la temperatura. En general, las soluciones de ácidos, bases y sales son buenos conductores pero, las de compuestos orgánicos lo son escasa o nulamente. La conductividad de electrólitos (no la metálica) es muy dependiente de la temperatura, aproximadamente  $1.9\%/^{\circ}\text{C}$ .

- **Olor.** Es un parámetro que proporciona información sobre el estado del agua y puede provocar rechazo por el consumidor.

- **Sabor.** El sabor al igual que el olor, tiene su origen por la presencia de minerales (metales y sales del suelo) o por productos finales de las reacciones biológicas. Los compuestos inorgánicos producen sabor pero no olor, en cambio, los orgánicos producen ambos, (Ejemplo: el petróleo y los sulfuros producto de la descomposición biológica). El sabor es un parámetro de agua potable medido por catadores.

- **Sólidos.** Se entiende por sólido todo residuo que queda después de la evaporación a  $103^{\circ}\text{C}$ . Los procesos tradicionales de eliminación de sólidos suspendidos son la desarenación, sedimentación y filtración. Para el caso especial de los sólidos suspendidos orgánicos se emplean procesos secundarios (floculación-coagulación y sistemas biológicos), los que teóricamente eliminan entre el 90 y 95% de los mismos. Los sólidos suspendidos interfieren con la desinfección del efluente, protegiendo en ellos a los organismos patógenos por lo que su correcto control implica un tratamiento terciario (coagulación-floculación después de un biológico o filtración terciaria).

Los sólidos disueltos totales (SDT) en el agua comprenden sustancias inorgánicas (calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica. Los SDT en el agua potable proceden de fuentes naturales, aguas residuales, escorrentías urbanas y desechos industriales. Las concentraciones de los SDT en el agua varían considerablemente en diferentes regiones geológicas, debido a la distinta solubilidad de los minerales.

No se dispone de datos confiables sobre los posibles efectos en la salud de la ingestión de SDT en el agua para consumo humano y no se propone un valor guía basado en criterios sanitarios. Sin embargo, la presencia de altas concentraciones de los SDT puede causar quejas en los consumidores.

- **Temperatura.** Influye sobre las tasas de crecimiento biológico, las reacciones químicas, la solubilidad de los contaminantes o compuestos requeridos (sólidos, líquidos o gases, principalmente  $\text{O}_2$ ) y en el desarrollo de la vida. Es importante recordar que en un líquido a mayor temperatura mayor solubilidad de un sólido pero menor la de un gas y esto es el motivo

por el cual la contaminación térmica acaba con la vida aerobia de un cuerpo de agua, al eliminar el oxígeno disuelto del agua. La temperatura del agua residual es generalmente más alta que en la del agua potable, debido a la adición de agua caliente procedente de casas y actividades industriales.

- **Turbiedad.** La turbiedad es el parámetro que mide qué tanto la luz es absorbida o dispersada por la materia suspendida (sedimentable y coloidal) del agua. La turbiedad no es un análisis cuantitativo de los sólidos suspendidos. En las aguas superficiales se debe en gran parte a la presencia de arcilla y otros minerales. El intervalo en tamaños de la mayor parte de estas partículas es del orden de 0.2 a 5  $\mu$ , es decir, que corresponden a una escala superior a la de los verdaderos coloides. La coagulación de estas suspensiones se realiza con relativa facilidad, una vez que se ha determinado el pH adecuado.

### 3.5 Características químicas

- **Acido sulfhídrico (sulfuro de hidrógeno).** El ácido sulfhídrico es un gas de olor desagradable, a huevos podridos, que se percibe incluso con concentraciones muy bajas, inferiores a 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el aire. Se forma por hidrólisis de sulfuros en el agua. Sin embargo, la concentración del ácido sulfhídrico en el agua para consumo humano se reduce debido a que los sulfuros se oxidan fácilmente en el agua aireada.

La toxicidad aguda del ácido sulfhídrico es considerable para los seres humanos cuando estos lo absorben por inhalación; hay irritación ocular con concentraciones de 15 a 30  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Aunque no se dispone de datos sobre la toxicidad por vía oral, es poco probable que pueda consumirse una dosis perjudicial de ácido sulfhídrico en el agua para consumo humano. Por consiguiente, no se propone un valor guía basado en criterios sanitarios. No obstante, en el agua potable no deben ser detectables el sabor ni el olor de este compuesto.

- **Alcalinidad.** La alcalinidad expresa la capacidad que tiene un agua para mantener su pH a pesar de recibir una solución ácida o alcalina. Corresponde principalmente a los hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de los iones  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{NH}_4^+$ , siendo los más comunes los de calcio y magnesio. Cuando el agua contiene boratos, fosfatos o silicatos también son medidas por este método, de ahí que la prueba sea considerada como global. La alcalinidad se determina mediante la titulación con un ácido ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 0.02N) y el resultado se expresa como  $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ .

- **Carbono orgánico total.** El carbono presente en la materia orgánica se encuentra en varios estados de oxidación que reaccionan de manera diferente a la prueba de DBO o de DQO. En efecto, la DQO y DBO dependen del estado de oxidación de la materia orgánica en cambio el COT evalúa el contenido total de C. La medición se hace por liberación del carbono orgánico y su transformación en  $\text{CO}_2$ . El  $\text{CO}_2$  formado es detectado por infrarrojo. Se puede medir el carbono total (TC) si se incluye el contenido original de  $\text{CO}_2$  en la muestra y sobre la fracción de COT se puede diferenciar la soluble de la no disuelta.

- **Cloro residual.** La cloración del agua de abastecimiento o de agua tratada tiene por objeto destruir o desactivar microorganismos patógenos. Un segundo efecto, importante sobretodo en agua de abastecimiento, es mejorar la calidad global por la reacción del cloro con el nitrógeno amoniacal, fierro, manganeso, sulfuros y algunos compuestos orgánicos. El cloro libre (principalmente HOCl y OCl<sup>-</sup>) así como el combinado (cloraminas) se determina por la formación de un compuesto amarillo con ortotoluidina, el cual se mide a 435 o 490 nm en un espectrofotómetro. Para medir cloro residual en forma aproximada existen dispositivos muy sencillos como los empleados en albercas.

- **Cloruro.** El cloruro presente en el agua para consumo humano procede de fuentes naturales, de las aguas residuales y de los efluentes industriales, de la escorrentía urbana que contiene sales utilizadas para deshelar y de intrusiones salinas. La principal fuente de exposición humana a este compuesto es la sal agregada a las comidas, cuya ingesta es por lo general mucho mayor que la procedente del agua potable.

La excesiva concentración de cloruro eleva la tasa de corrosión de los metales del sistema de distribución, en función de la alcalinidad del agua y puede hacer que aumenten las concentraciones de metales en ésta.

No se propone un valor guía basado en sistemas sanitarios para el cloruro presente en agua potable. No obstante, en concentraciones superiores a 250 mg/L pueden alterar el sabor del agua.

- **Demanda biológica de oxígeno (DBO).** La demanda biológica de oxígeno es una medida de la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar la materia orgánica en el agua a 20°C y en 5 días. Sólo evalúa la demanda ejercida por la fracción carbonada, la de los sulfuros y del ión ferroso y excluye la fracción nitrogenada. La DBO no mide un compuesto en especial sino todos los biodegradables por vía aerobia y se expresa en mgO<sub>2</sub>/L. Un agua de calidad potable tiene una DBO promedio mensual del orden de 0.75 a 1.5 mgO<sub>2</sub>/L, el agua residual doméstica oscila entre 200 a 300 mgO<sub>2</sub>/L y algunos efluentes industriales de 1 a 2 g/L (rastros, ingenios, etc.).

El parámetro de la DBO es importante para el tratamiento de agua residual, los resultados DBO se utilizan para determinar:

- 1) la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente,
- 2) el tamaño de las instalaciones de tratamiento de agua residual y,
- 3) medir la eficiencia de algunos procesos de tratamiento.

- **Demanda química de oxígeno (DQO).** Es una medida de la concentración de sustancias que en un agua pueden ser atacadas por un oxidante fuerte ( $K_2Cr_2O_4$ ) a altas temperaturas ( $\approx 700^\circ C$ ). La DQO no siempre guarda una relación con la DBO, aunque en general es mayor.

- **Dureza.** La dureza del agua es causada por calcio y magnesio disueltos en ella. Generalmente, se expresa por la cantidad equivalente de carbonato cálcico.

La dureza es función del pH y la alcalinidad. Una dureza superior a 200 mg/L puede dar lugar a incrustaciones, en particular en sistemas de calefacción. Las aguas blandas con una dureza inferior a unos 100 mg/L, tienen una baja capacidad de amortiguación y pueden resultar más corrosivas para las tuberías.

No se propone para la dureza un valor guía basado en criterios sanitarios. No obstante, el grado de dureza del agua puede influir en la aceptación de ésta por el consumidor, debido a sus efectos sobre el sabor y la aparición de incrustaciones.

- **Fenoles.** Los fenoles causan problemas de sabor en el agua, especialmente cuando ésta es clorada. Se producen principalmente por operaciones industriales y aparecen en el agua residual proveniente de ellas. En consecuencia, la prueba de fenoles se emplea para definir si un efluente tiene vertidos industriales. Los fenoles pueden ser biológicamente oxidados en concentraciones del orden de 500 mg/L.

- **Fluoruro.** El flúor representa aproximadamente 0.3 g/kg de la corteza terrestre. Sus compuestos inorgánicos se utilizan en la reducción de aluminio y la fabricación y utilización de fertilizantes fosfatados, que contienen hasta un 4% de flúor.

La exposición al fluoruro presente en el agua para consumo humano depende considerablemente de circunstancias naturales. En el agua no tratada, las concentraciones son, por lo común, inferiores a 1.5 mg/L, pero en las zonas ricas en minerales que contienen flúor, las aguas subterráneas pueden contener unos 10 mg/L. Este compuesto se agrega también en ocasiones al agua potable para prevenir la caries dental.

Tras su ingestión en el agua, los fluoruros solubles se absorben fácilmente a través del tracto intestinal. En 1987, el Centro de Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) clasificó los fluoruros inorgánicos en el grupo 3. En 1984 se indicó como valor guía 1.5 mg/L. Las concentraciones superiores a ese valor llevan consigo un riesgo creciente de fluorosis dental y concentraciones muchos mayores provocan fluorosis esquelética. El valor es superior al recomendado para fluoración artificial del abastecimiento de agua.

- **Grasas y aceites.** La grasa animal y los aceites son compuestos (ésteres) de alcohol o glicerol (glicerina) y ácidos grasos.

Son químicamente muy semejantes ya que se componen de carbono, hidrógeno y oxígeno, en diversas proporciones. Las grasas son uno de los compuestos orgánicos más estables y no se descomponen fácilmente por la acción de las bacterias. Sin embargo, los ácidos minerales y el



hidróxido de sodio las atacan, dando como resultado la formación de glicerina y ácido graso o sus sales alcalinas.

- **Nitrato y nitrito.** Los nitratos y nitritos son iones presentes en la naturaleza que forman parte del ciclo del nitrógeno. En las aguas superficiales y subterráneas, las concentraciones de nitratos naturales ascienden generalmente a unos pocos miligramos por litro. En muchas aguas subterráneas, se ha observado en numerosas ocasiones, debido a la intensificación de las prácticas agrícolas, un aumento de las concentraciones de nitratos, que pueden llegar a varios centenares de miligramos por litro. En algunos países hasta el 10% de la población puede estar expuesto a concentraciones de nitratos superiores a 50 mg/L en el agua para consumo humano.

Por lo común, cuando las concentraciones en el agua potable son inferiores a 10 mg/L, la principal fuente de la ingesta total de nitratos serán las verduras. Cuando las concentraciones son superiores a 50 mg/L, el agua será la fuente principal.

El valor guía de nitrógeno como nitrato es de 10 mg/L. No obstante, el valor no debe expresarse sobre esta base sino sobre la del propio nitrato, que es la entidad química que puede perjudicar la salud, por lo que se establece un valor guía para el nitrato de 50 mg/L.

Dado que recientemente se han obtenido datos que indican la presencia de nitritos en algunos sistemas de abastecimiento de agua, se llegó a la conclusión de que debía proponerse un valor guía para el nitrito.

- **Oxígeno disuelto.** La concentración de oxígeno disuelto (OD) es un parámetro importante para evaluar la calidad del agua. Sirve como indicador del efecto producido por los contaminantes oxidables, de la capacidad para mantener vivos peces u otros organismos aerobios y de la capacidad autodepuradora de un cuerpo receptor.

- **pH.** No se propone un valor guía basado en sistemas sanitarios para éste parámetro, aunque valores superiores a 11 tienen relación con la irritación ocular y agravación de trastornos cutáneos. Aunque el pH no tiene, por lo común efectos directos en los consumidores, es uno de los parámetros operacionales más importantes de la calidad del agua.

- **Sulfato.** Los sulfatos están presentes en forma natural en diversos minerales y se utilizan comercialmente sobre todo en la industria química. Se descarga en el agua a través de los desechos industriales y de los depósitos atmosféricos; sin embargo, es común concentraciones mayores en las aguas subterráneas.

El sulfato es uno de los aniones menos tóxicos; sin embargo, en grandes concentraciones, se ha observado catarsis, deshidratación e irritación gastrointestinal. No se propone un valor guía basado en criterios sanitarios para el sulfato.

La presencia de sulfato en el agua potable puede causar también un sabor perceptible y contribuir a la corrosión de los sistemas de distribución.

- **Sustancias activas al azul de metileno (SAAM).** Las sales alcalinas de las grasas son conocidas como jabones y, como en el caso de las grasas, son estables. Los jabones comunes se hacen por saponificación de grasas con hidróxido sódico. Son solubles en agua, pero en presencia de los constituyentes de la dureza, las sales sódicas se transforman en sales cálcicas y magnésicas de ácidos grasos, también conocidas como jabones minerales, que son insolubles y precipitan.

Los principales problemas que provocan estos compuestos son la producción de espuma y la impartición de sabor a concentraciones muy bajas. Por ello, el estándar de 0.5 mg/L representa un factor de seguridad de 15,000 veces en relación con su toxicidad.

- **Sustancias extractables con cloroformo.** Los compuestos extractables con cloroformo corresponden al contenido de materia orgánica en el agua. Esta prueba se emplea como un primer cribado para separar insecticidas clorados, nitrobenzenos y éteres aromáticos. Cuando se tienen concentraciones superiores a 0.2 mg/L, el olor y el sabor del agua son de mala calidad. Es una prueba poco usada que ha sido sobrepasada por métodos más modernos y precisos.

### 3.6 Metales

Son un grupo de elementos situados en los grupos I, II III y parte del IV de la Tabla periódica. En la determinación de metales es frecuente emplear el término disueltos, cuando el análisis se efectúa sobre el filtrado a  $0.45 \mu$  y sin acidificar, en caso contrario se habla de metales suspendidos. Por metales totales se entiende la detección en una muestra no filtrada y sujeta a una digestión fuerte. Por último, los metales extractables en ácidos se refiere a la determinación efectuada en una muestra no filtrada y tratada con un ácido mineral caliente. Los metales principales son los siguientes:

- **Aluminio.** El aluminio es un elemento abundante y difundido, que representa alrededor del 8% de la corteza terrestre. En el tratamiento del agua utilizada para el abastecimiento público se usan ampliamente compuestos de aluminio, y la presencia de éste en el agua para consumo humano se debe con frecuencia a deficiencias del control y el funcionamiento del proceso. La exposición de los seres humanos puede producirse por diversas vías, y probablemente corresponde al agua potable menos del 5% de la ingesta total.

El metabolismo del aluminio en los seres humanos no es bien conocido pero, al parecer, el aluminio inorgánico se absorbe mal y la mayor parte del absorbido se, excreta rápidamente en la orina.

En algunos estudios, se ha observado una relación entre la presencia de aluminio en el agua para consumo humano y la aparición de lesiones cerebrales características de la enfermedad de Alzheimer. No se recomienda un valor guía basado en los efectos sanitarios. No obstante, una concentración de aluminio de 0.2 mg/L permite llegar a una solución de transacción entre la necesidad práctica de utilizar sales de aluminio para el tratamiento del agua y la conveniencia de evitar la coloración del agua distribuida.

- **Arsénico.** El arsénico está ampliamente distribuido por toda la corteza terrestre y se utiliza comercialmente, sobre todo en agentes aleadores. El presente en el agua procede de la disolución de minerales y minas, de efluentes industriales y de la atmósfera; en algunas zonas, las concentraciones que existen en las aguas subterráneas son elevadas, resultado de la erosión. Se estima que la ingesta diaria media de arsénico inorgánico en el agua es similar a la procedente de los alimentos.

Está demostrado que el arsénico inorgánico es carcinógeno para los seres humanos, y el CIIC lo ha clasificado en el grupo 1. En poblaciones que consumen agua con altas concentraciones de arsénico, se ha observado una incidencia relativamente elevada de cáncer de la piel y posiblemente de otros tipos, que aumenta con la dosis y la edad.

A fin de reducir la concentración de este contaminante carcinógeno, se ha establecido un valor guía provisional para el arsénico en el agua potable de 0.01  $\mu\text{g/L}$ .

- **Bario.** El bario está presente en varios compuestos que forman parte de la corteza terrestre y se utiliza en aplicaciones industriales muy diversas; el que se encuentra en el agua procede principalmente de fuentes naturales. En general, la principal fuente de exposición al bario son los alimentos; no obstante, en las zonas donde el agua contiene concentraciones elevadas de este elemento, una parte importante de la ingesta total puede proceder del agua para consumo humano.

El valor guía para el bario en agua potable es de 0.7 mg/L.

- **Boro.** El boro se utiliza principalmente en materiales estructurales. Los compuestos de boro se usan en algunos detergentes y procesos industriales y llegan al agua en los efluentes industriales y domésticos. Las concentraciones de boro que suelen hallarse en el agua para consumo humano son inferiores a 1 mg/L, pero se han observado niveles superiores, debido a la presencia de boro natural. Se estima que la ingesta diaria total se sitúa entre 1 y 5 mg/L. Cuando se administra en forma de borato o ácido bórico, el boro se absorbe rápida y casi completamente a través del tracto gastrointestinal.

Si se asigna el 10% de la Ingesta Diaria Total (IDT) al agua potable, se obtiene un valor guía de 0.3 mg/L. No obstante, debe señalarse que la ingesta de boro procedente de los alimentos no es bien conocida y que al parecer, el tratamiento del agua para consumo humano no elimina adecuadamente este elemento.

- **Hierro.** El hierro es uno de los metales más abundantes de la corteza terrestre. Se encuentra en las corrientes naturales, en concentraciones que varían de 0.5 a 50 mg/L. También puede estar presente en el agua para consumo humano debido a la utilización de coagulantes de hierro o a la corrosión de las tuberías de acero y hierro fundido durante el proceso de distribución.

El hierro es un elemento indispensable de la nutrición humana. Sin embargo, la posible acumulación de un volumen excesivo de hierro en el organismo, marca una ingesta diaria

tolerable máxima provisional (IDTMP) de 0.8 mg/kg de peso corporal, que se aplica al hierro de todas las fuentes con excepción de los óxidos de hierro utilizados como colorantes y los suplementos de hierro administrados durante el embarazo y la lactancia o por razones clínicas concretas. La asignación del 10% de esta IDTMP al agua potable proporciona un valor de unos 2 mg/L, que no representa un riesgo para la salud. Por lo general concentraciones inferiores afectan ya al sabor y la apariencia del agua.

No se propone un valor guía basado en criterios sanitarios para el hierro presentes en el agua potable.

- **Manganeso.** El manganeso es uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre y, por lo general, se presenta junto con el hierro. Las concentraciones de manganeso disuelto en las aguas subterráneas y superficiales pobres en oxígeno pueden alcanzar varios miligramos por litro. En presencia de oxígeno, el manganeso forma óxidos insolubles que pueden provocar la aparición de depósitos no deseables y causar problemas de color en los sistemas de distribución. La ingesta diaria de manganeso procedente de los alimentos es de 2 a 9 mg para los adultos.

El manganeso es un oligo elemento indispensable, requiriéndose diariamente de 30 a 50  $\mu\text{g}$ /kg de peso corporal. Su tasa de absorción puede variar considerablemente según la ingesta efectiva, la forma química y la presencia de otros metales, como el hierro y el cobre, en el régimen de alimentación. En los lactantes y los animales jóvenes se han detectado tasa de absorción muy altas.

No hay datos convincentes que indiquen la aparición de efectos tóxicos en los seres humanos debido al consumo de manganeso en el agua para consumo humano, pero sólo se dispone de estudios limitados.

La ingesta del manganeso puede llegar a 20 mg diarios sin efectos perjudiciales aparentes. Con una ingesta de 12 mg diarios, un adulto que pese 60 kg recibirá 0.2 mg diarios /kg de peso corporal. Si se asigna el 20% de la ingesta al agua potable y se aplica un factor de incertidumbre de 3 para tener en cuenta el posible aumento de biodisponibilidad del manganeso procedente del agua, se obtiene un valor de 0.4 mg/L.

- **Molibdeno.** La concentración de molibdeno en el agua para consumo humano es generalmente inferior a 0.01mg/L. No obstante en las zonas próximas a minas, se ha notificado la presencia de concentraciones de hasta 200  $\mu\text{g}$ /L. La ingesta alimentaria de esta sustancia es aproximadamente de 0.1 mg diarios por persona. Se considera que el molibdeno es un elemento indispensable, del que los adultos necesitan, según las estimaciones, de 0.1 a 0.3 mg diarios.

No se dispone de datos sobre la carcinogenicidad del molibdeno por vía oral. Como el molibdeno es un elemento indispensable, se considera un factor de 3 lo que proporciona un valor guía de 0.07 mg/L.

- **Níquel.** La concentración de este metal en el agua para consumo humano es generalmente inferior a 0.02 mg/L. La contribución del níquel liberado por grifos y accesorios puede ser hasta de 1 mg/L. En casos especiales de liberación de depósitos naturales o industriales del suelo, la concentración en el agua para consumo humano puede ser incluso mayor. La ingesta alimentaria diaria media es normalmente de 0.1 a 0.3 mg de níquel, pero puede alcanzar 0.9 mg si se consumen determinados artículos alimenticios.

Si se asigna al agua potable el 10% de la IDT, se obtiene un valor guía basado en criterios sanitarios de 0.02 mg/L que debe proporcionar protección suficiente para las personas sensibles al níquel.

- **Sodio.** Prácticamente todos los alimentos (que son la principal fuente de exposición cotidiana) y el agua para consumo humano contienen sales de sodio (por ejemplo, cloruro sódico). Aunque las concentraciones típicas de sodio en el agua consumida son inferiores a 20 mg/L, en algunos países pueden ser mucho mayores. Las concentraciones de sales de sodio en el aire, son por lo común, bajas en comparación con las que se encuentran en los alimentos o en el agua. Debe señalarse que algunos ablandadores del agua pueden aumentar apreciablemente el contenido de sodio en ésta.

No se ha podido llegar a una conclusión firme sobre la posible relación entre el contenido de sodio en el agua potable y la hipertensión. Por lo tanto, no se propone un valor guía basado en criterios sanitarios. Sin embargo, las concentraciones superiores a 200 mg/L pueden dar lugar a un sabor inaceptable.

### 3.7 Componentes orgánicos

#### 3.7.1 Alcanos clorados

- **Tetracloruro de carbono.** El tetracloruro de carbono se utiliza principalmente para producir refrigerantes de clorofluorocarbono y se libera en el aire y el agua durante la fabricación y el uso de éstos. Aunque los datos de que se dispone sobre su concentración en alimentos son limitados, se prevé que la ingesta de tetracloruro de carbono procedente del aire resultará mucho mayor que la absorbida con los alimentos o el agua para consumo humano. Las concentraciones de esta última son generalmente inferiores a 5 µg/L.

El tetracloruro de carbono ha sido clasificado por el CIIC en el grupo 2B. Puede metabolizarse en sistemas microsómicos, produciendo un radical triclorometilo que se une a macromoléculas, iniciando la peroxidación de los lípidos y destruyendo las membranas celulares. Se ha demostrado que causa tumores hepáticos y de otro tipo en ratas, ratones y hamsters tras la exposición por vía oral o subcutánea o por inhalación.

- **Diclorometano.** El diclorometano o cloruro de metileno se utiliza ampliamente como disolvente para muchos propósitos, en partículas para descafeinar el café y para decapar la pintura. La exposición resultante de su presencia en el agua para consumo humano es insignificante comparada con la de otras fuentes.

La toxicidad aguda del diclorometano es reducida. En un estudio de absorción por inhalación de los ratones se demostró en forma concluyente la carcinogenicidad, mientras que otro realizado con el agua sólo proporcionó elementos de juicio favorables a la existencia de ésta. El CIIC ha clasificado el diclorometano en el grupo 2B; no obstante, el conjunto de los datos parece indicar que este compuesto no es un carcinógeno genotóxico y que no se forman *in vivo* metabolitos genotóxicos en cantidades relevantes.

- **1,1-Dicloroetano.** El 1,1-dicloroetano se utiliza como intermediario químico y disolvente. Se dispone de datos limitados que indican que puede estar presente en el agua para consumo humano en concentraciones de hasta 10 µg/L. No obstante, dada la generalización del uso de este compuesto y su consiguiente aparición en los desechos, su presencia en las aguas subterráneas puede aumentar.

Los mamíferos metabolizan rápidamente el 1,1-dicloroetano, produciendo ácido acético y diversos compuestos clorados. La toxicidad aguda es relativamente reducida y sólo se dispone de datos sobre la toxicidad en estudios a corto y a largo plazo.

Dada la limitación de los datos existentes sobre toxicidad y carcinogenicidad, se llegó a la conclusión de que no se debía proponer un valor guía.

- **1,2-Dicloroetano.** El 1,2-dicloroetano se utiliza principalmente como intermediario en la producción de cloruro de vinilo y otros productos químicos y en menor medida, como disolvente. Se han hallado en el agua para consumo humano en concentraciones de hasta unos pocos microgramos por litro. Está también presente en el aire de las zonas urbanas.

El CIIC ha clasificado el 1,2-dicloroetano en el grupo 2B. Se ha demostrado que esta sustancia provoca en animales de laboratorio varios tipos de tumores, en particular del hemangiosarcoma, que suele ser relativamente raro; los datos disponibles en su conjunto indican una posible genotoxicidad. No existen estudios adecuados a largo plazo que puedan servir de base a una IDT.

- **1,1,1-Tricloroetano.** El 1,1,1-tricloroetano solo se ha descubierto en una porción reducida de las aguas superficiales y subterráneas, por lo general en concentraciones inferiores a 20 µg/L. En unos pocos casos, se han observado concentraciones mucho mayores. La exposición a este compuesto parece ir en aumento.

El 1,1,1-tricloroetano se absorbe con rapidez a través de los pulmones y el tracto gastrointestinal, pero solo se metaboliza en pequeñas cantidades -aproximadamente el 6% en los seres humanos y el 3% en los animales de experimentación. La exposición a altas

concentraciones puede producir esteatosis hepática (hígado graso) tanto en seres humanos como en animales de laboratorio.

Se recomienda realizar estudios adecuados sobre la toxicidad por vía oral, a fin de obtener datos aceptables para la determinación de un valor guía.

### 3.7.2 Plaguicidas

Se reconoce que los productos de la degradación de plaguicidas pueden representar un problema en el agua para consumo humano. No se tienen guías de toxicidad de esos productos, ya que los datos disponibles sobre su identidad, su presencia y su actividad biológica son insuficientes.

- **Alacloro.** El alacloro es un hierbicida que se utiliza para controlar las hierbas anuales y numerosas malezas de hoja ancha en los cultivos de maíz y en varios otros, antes y después de su aparición. Desaparece del suelo principalmente por volatilización, fotodegradación y biodegradación y en muchos de los productos se han identificado en el suelo. Se ha detectado la presencia de este compuesto en aguas subterráneas y superficiales. Se ha detectado también en el agua para consumo humano, concentraciones inferiores a 2 µg/L.

Los datos experimentales disponibles no permiten llegar a una conclusión sobre la genotoxicidad del alacloro, aunque se ha demostrado que unos de sus metabolitos es mutagénico.

El valor guía para el agua potable correspondiente a un riesgo adicional de cáncer durante toda la vida de  $10^{-5}$  es de 20 µg/L.

- **Clordano.** El clordano es un insecticida de amplio espectro que se utiliza desde 1947. En los últimos tiempos su uso está limitado cada vez más en muchos países, y ahora se emplea sobre todo para destruir termitas mediante inyección superficial en el suelo.

El clordano es una mezcla de estereoisómeros, con predominio de las formas *cis* y *trans*. Es muy resistente a la degradación, muy inmóvil en el suelo y pasa muy fácilmente a las aguas subterráneas, donde sólo se ha encontrado en raras ocasiones. Desaparece fácilmente por liberación en la atmósfera.

El CIIC reevaluó el clordano en 1991, llegando a la conclusión de que su carcinogenicidad no está suficientemente demostrada en el caso de los seres humanos pero sí en los animales, por lo que lo clasificó en el grupo 2B.

Aunque las concentraciones de clordano en los alimentos han ido disminuyendo, la sustancia es muy persistente y muestra gran potencial de bioacumulación.

- **DDT**. La estructura del DDT permite varias formas isoméricas distintas, y los productos comerciales están constituidos principalmente por *p,p'*-DDT. En algunos países, se ha restringido e incluso prohibido la utilización de este compuesto, pero en otros es utilizado tanto en la agricultura como en la lucha antivectorial. El DDT es un insecticida persistente, estable en la mayor parte de las condiciones ambientales; la sustancia y algunos de sus metabolitos son resistentes a la descomposición completa por los microorganismos presentes en el suelo.

En pequeñas dosis, el DDT y sus metabolitos son absorbidos casi por entero por los seres humanos, tras su ingestión o inhalación, y se acumulan en los tejidos adiposos y la leche.

El CIIC ha llegado a la conclusión de que la carcinogenicidad del DDT no está suficientemente demostrada en el caso de los seres humanos pero sí en los animales de experimentación (grupo 2B), ya que se ha observado la aparición de tumores hepáticos en ratas y ratones expuestos a él.

Como los lactantes y los niños pueden verse expuestos en cantidades de sustancias químicas mayores en relación con su peso corporal y dada la inquietud ante la bioacumulación del DDT, el valor guía se calculó a partir de la hipótesis de que un niño de 10 kg bebe un litro de agua diario. Además como la exposición al DDT por vías distintas al agua es considerable, se asignó al agua potable un valor guía de 2  $\mu\text{g/L}$  para el DDT y sus metabolitos presentes en el agua para consumo humano.

Este valor guía sobrepasa la solubilidad del DDT en el agua, que es de 1  $\mu\text{g/L}$ . No obstante, las pequeñas cantidades de partículas que contiene el agua pueden absorber una cierta cantidad de este producto, por lo que el valor guía de 0.02  $\mu\text{g/L}$  podría alcanzarse en determinadas circunstancias.

Conviene mencionar que, como en el caso de todos los plaguicidas, el valor guía recomendado para el DDT presente en el agua potable se ha establecido para la proteger la salud de los seres humanos y puede no ser suficiente para la protección del medio ambiente, la fauna y la flora acuáticas.

- **Acido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D)**. El 2,4-D es un herbicida clorfenóxido utilizado para el control de las malezas de hoja ancha. Su vida media antes de la biodegradación varía de unos días a 6 semanas en el suelo, mientras que en agua, oscila entre una y varias semanas. Datos limitados obtenidos durante actividades de vigilancia indican que las concentraciones en el agua para consumo humano no sobrepasan, por lo general, unos pocos microgramos por litro. El 2,4-D rara vez se encuentra en los alimentos.

El CIIC ha clasificado los hierbidas clorfenóxidos en el grupo 2B. Aunque en uno de los estudios realizados con seres humanos se observó una tendencia marginalmente significativa al aumento del riesgo adicional de linfomas distintos del de Hodgkin con la mayor duración a la exposición a hierbidas clorfenóxidos, no es posible evaluar el potencial carcinógeno del 2,4-D *per se* sobre la base de los datos epidemiológicos disponibles.



- **Lindano.** El lindano ( $\gamma$ -hexaclorociclohexano,  $\gamma$ -HCH) es un insecticida utilizado desde hace mucho tiempo. Aparte de sus usos agrícolas en plantas y animales, se emplea también en salud pública y como preservante de la madera.

El lindano es un compuesto persistente con una afinidad por el agua relativamente baja y una reducida movilidad en el suelo; se volatiliza lentamente en la atmósfera. Es un contaminante ambiental ubicuo, que se ha detectado también en el agua. La exposición de los seres humanos, que tiene lugar a través de los alimentos, está disminuyendo. El valor guía es, pues, de 2  $\mu\text{g/L}$ .

### **3.8 Determinación de organismos patógenos**

El análisis de organismos patógenos en el agua se realiza de dos formas: utilizando un organismo indicador, o bien, detectando algún micorganismo específico. El primer caso es el más común como parámetro de control. Un indicador debe estar presente cuando estén presentes patógenos y ausente siempre que estén ausentes los patógenos. El indicador tradicional son las bacterias coliformes y en particular las fecales. Hay bacterias coliformes de origen fecal (humano) y las no fecales (tierra), sólo las fecales son indicadores para agua residual, y todas las bacterias coliformes para agua potable (incluye fecales).

Los coliformes fecales son un componente normal de la flora y fauna del intestino humano, donde se encuentran en grandes cantidades, ya que no son patógenos. Son microorganismos indicadores porque su presencia revela la contaminación del agua con heces fecales y la posible existencia de patógenos. Se escogieron debido a que los patógenos son menos abundantes en el agua residual, no siempre encuentran en el agua su habitat ideal y, su manipulación es menos peligrosa para el analista. Así, su presencia sugiere la existencia de otras bacterias, virus o protozoarios perniciosos para el ser humano.

## **4. NORMATIVIDAD RELATIVA A LA CALIDAD DEL AGUA**

El término calidad del agua es un concepto abstracto que sólo adquiere sentido cuando se listan parámetros y se les asocia un valor para definirla. La amplia combinación de compuestos y valores que se pueden considerar hace que en la práctica se formen conjuntos en función del uso (Criterios Ecológicos y Norma de agua potable), origen (NOM de descargas) o destino (CPDs).

En México, la normatividad que se relaciona con la calidad del agua se muestra en la TABLA 2 a la cual se deben añadir los tratados y convenciones internacionales que básicamente se limitan a la contaminación de mar con hidrocarburos y los acuerdos derivados del Tratado de Libre Comercio que, en pocas palabras, se resumen que cada país debe cumplir con su propia normatividad. Lo anterior, para México, tiene implicaciones muy serias.

**TABLA 2 NORMATIVIDAD MEXICANA PARA LA PREVENCION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AGUA**

DEPENDENCIA ENCARGADA DE LA PUBLICACION	INSTRUMENTO REGULATORIO	FECHA DE EXPEDICION
SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS	LEY DE CONTRIBUCION DE MEJORAS POR OBRAS PUBLICAS FEDERALES DE INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA	ENERO DE 1991
	LEY DE AGUAS NACIONALES	DICIEMBRE DE 1992
	LEY FEDERAL DE DERECHOS EN MATERIA DE AGUA	FEBRERO DE 1993
SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL	LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE	ENERO DE 1988
	NORMAS OFICIALES MEXICANAS REFERENTES A LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES	DICIEMBRE 13 DE 1993 ENERO 11 DE 1995
SECRETARIA DE SALUD	LEY FEDERAL DE PROTECCION AL AMBIENTE	ENERO DE 1982
	REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DE SALUD EN MATERIA DE CONTROL SANITARIO DE ACTIVIDADES, ESTABLECIMIENTOS, PRODUCTOS Y SERVICIOS	ENERO DE 1988

La definición de las propiedades que debe tener un agua para reconocerle una cierta calidad y por tanto destinarla a un uso se establece en:

*a) Para suministro*

- Los Criterios Ecológicos de Uso del Agua, y
- El Reglamento de la Ley General de salud en Materia de Control sanitario en su título tercero relativo a agua de consumo humano

*b) Para fines de saneamiento*

- Las Normas oficiales Mexicanas referentes a las descargas, y
- Las Condiciones particulares de descarga (CPDs)

Para mejorar la calidad del agua, estos cuatro instrumentos deben estar relacionados (Los parámetros medidos con mayor frecuencia en la Red Nacional de Monitoreo), sin embargo, la falta de visión en forma integral de la normatividad mexicana hace que -a pesar de que el agua sea una sola- es prácticamente imposible asegurar que se mejore la calidad para los usos por

medio del control de la calidad en las descargas. En efecto, es el doble empleo que damos a los cuerpos de agua como fuente de abastecimiento y transporte de contaminantes que hace que sea útil emplear parámetros comunes en la regulación de los usos y las descargas para poder ligar la evolución de la calidad.

Los instrumentos de la FIG 2 son los medios con los que cuenta México para evaluar y medir la calidad del agua así como para establecer de qué manera inciden las políticas de saneamiento en su mejora. Los parámetros establecidos son tales (o deberían ser tales) que si se cumpliesen no habría problemas de contaminación.

#### **4.1 Normatividad según el empleo**

##### *4.1.1 Calidad del agua en función de sus usos*

El listado que define la calidad del agua en función de sus usos está dado por los Criterios Ecológicos de Uso del Agua de 1989 que han servido como guía para el establecimiento de normas y políticas. Cabe mencionar que los criterios de Calidad del agua son similares a los que la EPA establece como metas a largo plazo (*goal*) y que se basan en conocimientos CIENTIFICOS y no tecnológicos por lo que en Estados Unidos no tienen aplicación directa. Se observa cuales son los usos que se reconocen:

1. Fuente Abastecimiento de Agua Potable.
2. Recreativo con Contacto Primario.
3. Riego Agrícola.
4. Pecuario.
5. Protección de la Vida Acuática:
  - 5.1 Agua Dulce.
  - 5.2 Agua Marina (Areas Costeras).

Una primera observación revela que: los Criterios no son norma, es decir, no son obligatorios y no tienen efecto alguno sobre otras leyes y además, no son congruentes con los diversos usos que define la Ley (TABLA 3). De hecho, no hay correspondencia en ella misma. Situación que se agrava al incluir el análisis de la normatividad regional (Ej., En el D.F. se establece un uso "hospitalario", para el cual no se tiene definida calidad alguna).

**TABLA 3 USOS DEL AGUA EN LOS DIFERENTES INSTRUMENTOS REGULATORIOS**

Usos del agua reconocidos en la literatura	Ley Federal de Aguas (11 de enero de 1972)	Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (13 de diciembre de 1989)	Ley de Aguas Nacionales (1 de diciembre de 1992)
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Consumo humano</li> <li>2. Agricultura</li> <li>3. Municipal (riego de áreas verdes, lavado de calles, fuentes de ornamento, lavado de maquinaria de servicio, etc.)</li> <li>4. Industria</li> <li>5. Recreación               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Con contacto primario</li> <li>- Con contacto secundario</li> </ul> </li> <li>6. Acuicultura</li> <li>7. Protección ecológica</li> <li>8. Abastecimiento pecuario</li> <li>9. Transporte de desechos</li> <li>10. Navegación</li> <li>11. Generación de energía eléctrica</li> <li>12. Control de avenidas</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Usos Domésticos</li> <li>2. Servicios Públicos Urbanos</li> <li>3. Abrevaderos de Ganado</li> <li>4. Riego de Terrenos: Ejidales y Comunales y de Propiedad Privada</li> <li>5. Industrias:               <ul style="list-style-type: none"> <li>5.1 Generación de Energía Eléctrica para Servicio Público</li> <li>5.2 Otras Industrias</li> </ul> </li> <li>6. Acuicultura</li> <li>7. Generación de Energía Eléctrica para Servicio Privado</li> <li>8. Lavado y Entarquinamiento de Terrenos</li> <li>9. Otros</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fuente Abastecimiento de Agua Potable</li> <li>2. Recreativo con Contacto Primario</li> <li>3. Riego Agrícola</li> <li>4. Pecuario</li> <li>5. Protección de la Vida Acuática:               <ul style="list-style-type: none"> <li>5.1 Agua Dulce</li> <li>5.2 Agua Marina (Áreas Costeras)</li> </ul> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Público Urbano</li> <li>2. Agrícola</li> <li>3. Generación de Energía Eléctrica</li> <li>4. Otras Actividades Productivas</li> </ol>

Por otra parte, en cuanto al agua dan el mismo peso e importancia a parámetros realmente limitativos del uso como a los recomendables. Por ejemplo, la turbiedad y el mercurio. Además, el valor numérico de varios de los parámetros no considera la posibilidad de aplicar alguna tecnología para remediarlo. Por ejemplo, no es necesario limitar la concentración de Fe a 0.3 mg/L en agua para preparar agua potable cuando existen sistemas de potabilización que remueven concentraciones mayores a un costo accesible.

La congruencia con los parámetros y valores estipulados en la norma de agua potable no fue reusada. Por ejemplo, los criterios ecológicos para suministro de agua potable limitan el contenido de cianuro a 0.02 y la norma de agua potable a 0.05, lo que hace suponer que alguna de los dos tiene un defecto.

Además, no consideran las condiciones propias del país. En cuerpos de agua limpios de países de climas fríos el contenido de N y de P es bajo. En cambio, en México, existen cuerpos de agua no contaminados y con condiciones ecológicas sanas que tienen concentraciones mayores que las establecidas en los criterios. Algo similar ocurre con el boro.

#### 4.1.2 Calidad del agua potable

Técnicamente, la definición de la "potabilidad de un agua" es un aspecto complicado y se refiere a CERTIFICAR la ausencia del riesgo de enfermedad a largo o corto plazo en el ser humano. La OMS señala que existen más de 70,000 compuestos sintéticos, por los que es imposible y probablemente innecesario regularlos todos. La mayor parte de las legislaciones en

el Mundo consideran entre 70 y 120 compuestos. La selección de ellos se basa, en los países con capacidad económica, en la frecuencia y concentración de los contaminantes en sus cuerpos de agua. En otros países, como es el caso de México, la selección se efectúa mediante revisiones bibliográficas. Actualmente, la norma de agua potable en México esta siendo revisada. La TABLA 4 muestra la comparación de los criterios para Estados Unidos, Canadá, la Organización Mundial de la Salud, la Comunidad Económica Europea, Rusia y con la norma mexicana actualmente vigente así como la propuesta de modificación. Se observa que, si no se toma en cuenta los tóxicos sintéticos, la nuestra es la más completa y estricta. Cabría preguntarse si no es este un esfuerzo de sobrelegislación dado que en la práctica muchos de estos parámetros ni siquiera se miden para certificar la potabilidad de un agua.

**TABLA 4 RESUMEN COMPARATIVO DE LOS ESTANDARES SECUNDARIOS DE  
EUA, CANADA, CEE y la OMS.**

PARAMETRO REGULADO	MEXICO	ESTADOS UNIDOS	CANADA	O.M.S.	Comunidad Económica Europea	Rusia
Alcalinidad Total < como CaCO <sub>3</sub> >	400.0	-	-	-		
Aluminio	0.2	-	-	-	0.2	--
Arsénico	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	-
Bario	1.0	1.0	1.0	-	0.1 <sup>(1)</sup>	-
Cadmio	0.005	0.01	0.005	0.005	0.005	0.001
Cianuro < como CN- >	0.05	-	-	0.05	--	0.1
Cloro Libre en Agua Clorada	0.2	-	-	-		
Cloro Libre en Agua Sobre Clorada	1.0	-	-	-		
Cromo Hexavalente	0.05	0.05	0.05	0.05	0.005	0.1/0.5 <sup>(6)</sup>
Demanda Biológica de oxígeno	-	--	--	-	--	3.0
Dureza de Calcio < como CaCO <sub>3</sub> >	300.0	-	-	-	--	--
Fenoles o Compuestos Fenólicos	0.001	-	-	0.002	0.5	1.0
Hierro	0.3	0.3	-	1.0	0.3	0.5
Fluoruros < como F >	1.5	4.0	1.5	1.5	1.5-0.7 <sup>(2)</sup>	1.5
Magnesio	125.0	-	-	150.0		
Manganeso	0.15	0.05	-	0.5	0.5	--
Mercurio	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.0005
Nitratos < como N >	5.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Nitritos < como N >	0.05	-	-	-	0.1	1.0
Nitrógeno Protéico	0.1	-	-	-		
Oxígeno Consumido en Medio Acido	3.0	-	-	-		

PARAMETRO REGULADO	MEXICO	ESTADOS UNIDOS	CANADA	O.M.S.	Comunidad Económica Europea	Rusia
Sulfatos < como SO <sub>4</sub> -2 >	250.0	250.0	-	400.0	25 <sup>(1)</sup>	500
Subst. Activas al Azul de Metileno	0.5	-	-	1.0	0.5	0.5
Carbón Extractable en Cloroformo	0.3	-	-	0.5		
Carbón Extractable en Alcohol	1.5	-	-	-		
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	2.0	< 1.0	10.0	0.0	0.0	--
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	0.0	-	0.0	0.0	0.0	
pH (unidades características)	6.9-8.5	6.5-8.5	-	6.5-9.2	6.5-8.5	--
Plata	-	0.05	0.05	-		
2,4 D	-	0.1	0.1	0.001		
Endrín	-	0.0002	0.0002	-		
Lindano	-	0.0004	0.004	0.0003		
Metoxicloro	-	0.1	0.1	0.003		
Pesticidas totales	-	-	0.1	-	0.5	--
Toxafeno	-	0.005	0.005	-		
2,4,5 TP silvex	-	0.01	0.01	-		
Trihalometanos	-	0.1	0.35	0.03(a)		
Partículas β y act. fotónica (mrem)	-	4.0	-	1.0(b)		
Partículas alfa (pCi/l)	-	15.0	-	0.1(b)		
Radio 226-228 (pCi/l)	-	5.0	1.0(b)	-		
Benceno	-	0.005	-	0.01		
Tetracloruro de carbono	-	0.005	-	0.003		
1,1 Dicloroetileno	-	0.007	-	0.003		
1,2 Dicloroetano	-	0.005	-	0.01		
p-Diclorobenceno	-	0.075	-	-		
1,1,1 Tricloroetano	-	0.2	-	-		
Tricloroetileno	-	0.005	-	0.03		
Cloruro de vinilo	-	0.002	-	-		

(a): Sólo cloroformo

(b): Bq/l

NOTA: Las unidades de los parámetros están en mg/l, a menos que se especifique alguna otra.

(1) Valor guía

(5) en función de la temperatura

(8) Como Cr (III) y Cr (IV)



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS  
VII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS  
MODULO II: CONTAMINACION DE ACUIFEROS**

**QUIMICA ORGANICA**

**ING. ALFONSO AQUINO**





## PRINCIPIOS DE QUIMICA ORGANICA

DESDE EL PUNTO DE VISTA HISTORICO " QUIMICA ORGANICA" SE APLICO AL ESTUDIO DE COMPUESTOS, TALES COMO EL ALCOHOL, AZUCAR Y UREA, QUE SE OBTENIAN A PARTIR DE ORGANISMOS VIVOS Y NO SE ENCONTRABAN EN EL REINO ANIMAL

DEFINICION MODERNA DE QUIMICA ORGANICA ES LA QUIMICA DE LOS COMPUESTOS DEL CARBONO.

EL ESTUDIO DE LA QUIMICA DE LOS COMPUESTOS DEL CARBONO ES SUNAMENTE AMPLIO. POR LO TANTO ES NECESARIO MINIMIZAR LA CANTIDAD DE DATOS EXPERIMENTALES Y MATERIAL TEORICO PARA FACILITAR EL ESTUDIO DE ESTE TEMA.

CON ESTE FIN LOS QUIMICOS ORGANICOS HAN DIVIDIDO EN DIFERENTES CLASES LOS COMPUESTOS ORGANICOS.

CADA UNA DE ESTAS CLASES SE CARACTERIZA POR LA PRESENCIA DE UN GRUPO FUNCIONAL EN PARTICULAR.

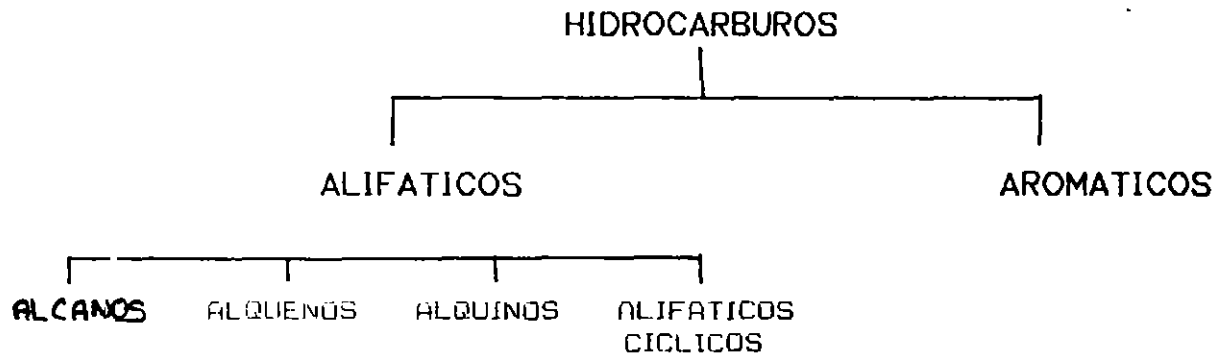
UN GRUPO FUNCIONAL ES UN CONJUNTO DE ATOMOS UNIDOS EN UNA FORMA DETERMINADA Y CON PROPIEDADES CARACTERISTICAS.

Algunas clases de compuestos orgánicos

ESTRUCTURA DE LA CLASE	NOMBRE DE LA CLASE	EJEMPLO	NOMBRE COMÚN DEL EJEMPLO
RH	Alcano	CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	Etano
RCH=CHR	Alqueno	CH <sub>2</sub> =CH <sub>2</sub>	Etileno
RC≡CR	Alquino	HC≡CH	Acetileno
RX	Halogenuro de Alquilo	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> Cl	Cloruro de Etilo
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{RCOH} \\ \text{o} \text{ RCOOH} \end{array}$	Acido Carboxílico	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3\text{COH} \\ \text{o} \text{ CH}_3\text{COOH} \end{array}$	Acido Acético
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{RCH} \\ \text{o} \text{ RCHO} \end{array}$	Aldehído	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3\text{CH} \\ \text{o} \text{ CH}_3\text{CHO} \end{array}$	Acetaldehído
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{RCR} \\ \text{o} \text{ RCOR} \end{array}$	Cetona	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3\text{CCH}_3 \\ \text{o} \text{ CH}_3\text{COCH}_3 \end{array}$	Acetona
ROH	Alcohol	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	Alcohol Etilico
ROR	Éter	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	Éter Etilico
RNH <sub>2</sub>	Amina	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> NH <sub>2</sub>	Etilamina
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{RCOR}' \\ \text{o} \text{ RCOOR}' \end{array}$	Éster	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}_3 \\ \text{o} \text{ CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3 \end{array}$	Acetato de Etilo
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{RCNH}_2 \\ \text{o} \text{ RCONH}_2 \end{array}$	Amida	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3\text{CNH}_2 \\ \text{o} \text{ CH}_3\text{CONH}_2 \end{array}$	Acetamida
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{RCX} \\ \text{o} \text{ RCOX} \end{array}$	Halogenuro de Ácido	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3\text{CCl} \\ \text{o} \text{ CH}_3\text{COCl} \end{array}$	Cloruro de Acetilo

# HIDROCARBUROS

CIERTOS COMPUESTOS ORGANICOS SOLO CONTIENEN DOS ELEMENTOS: HIDROGENO Y CARBONO POR LO QUE SE CONOCEN COMO HIDROCARBUROS. CON BASE EN SU ESTRUCTURA, SE DIVIDEN EN DOS CLASES PRINCIPALES: ALIFATICOS Y AROMATICOS.

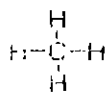


LOS COMPUESTOS ALIFATICOS SON SUBSTANCIAS DE CADENA ABIERTA Y CICLICAS.

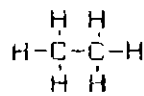
## ALCANOS

LA BASE DE LA QUIMICA ORGANICA ES LA TEORIA ESTRUCTURAL.

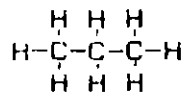
### - ESTRUCTURA Y NOMENCLATURA



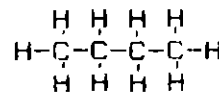
$\text{CH}_4$   
METANO



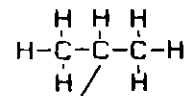
$\text{C}_2\text{H}_6$   
ETANO



$\text{C}_3\text{H}_8$   
PROPANO



$\text{C}_4\text{H}_{10}$   
BUTANO

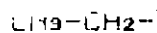
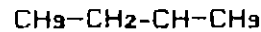


$\text{C}_4\text{H}_{10}$   
ISOBUTANO

### GRUPOS ALQUIL

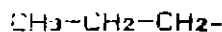


METILO



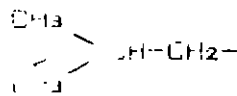
ETILO

1

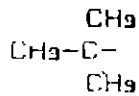


PROPILO

sec-BUTILO



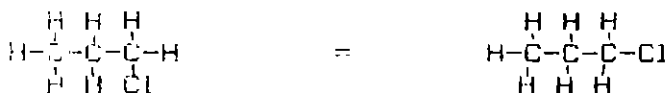
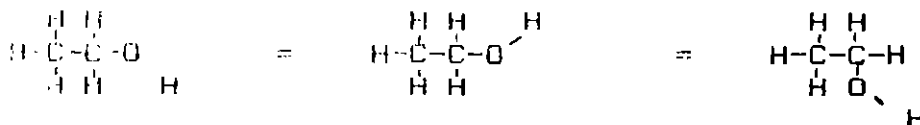
t-BUTILO



t-BUTILO

**ISOMERIA.** - LOS COMPUESTOS QUE TIENEN LA MISMA FORMULA MOLECULAR PERO DIFERENTE ESTRUCTURA SE LLAMAN ISOMEROS. COMO LOS ISOMEROS SON COMPUESTOS DIFERENTES, TIENEN PROPIEDADES FISICAS Y/O QUIMICAS DIFERENTES.

**ESTRUCTURAS EQUIVALENTES**



**NOMENCLATURA**

**A. SISTEMA COMUN.**

**B. SISTEMA DE LA UIOPA (UNION INTERNACIONAL DE QUIMICA PURA Y APLICADA)**

**REGLAS:**

1. ESCOJASE LA CADENA CON EL MAYOR NUMERO DE ATOMOS DE CARBONO, ESLABONADOS EN FORMA CONTINUA.
2. NUMERENSE LOS ATOMOS DE CARBONO DE ESTA CADENA CONTINUA.
3. CADA SUBSTITUYENTE SE NOMBRA INDICANDO SU POSICION MEDIANTE UN NUMERO QUE CORRESPONDE AL ATOMO DE CARBONO AL CUAL SE ENCUENTRA UNIDA.
4. EL NOMBRE DEL COMPUESTO SE ESCRIBE EN UNA SOLA PALABRA.

**C. GRUPO ALQUILO.** ES CONVENIENTE PODER REFERIRSE A UN GRUPO FORMADO POR LA ELIMINACION DE UN ATOMO DE HIDROGENO DE UN HIDROCARBURO. TAL GRUPO SE CONOCE COMO GRUPO ALQUILO (DE ALCANO Y LA TERMINACION (lo.)

EN LA NOMENCLATURA DE LOS GRUPOS ALQUILO **sec-** ES LA ABREVIATURA PARA SECUNDARIO Y **ter-** ES PARA TERCIARIO.

**SERIES HOMOLOGAS.** UNA SERIE DE COMPUESTOS EN LA CUAL LOS DIFERENTES MIEMBROS TIENEN CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES SIMILARES PERO DIFIEREN ENTRE SI POR UN CIERTO NUMERO DE GRUPOS **-CH<sub>2</sub>-** (GRUPO METILENO) SE LLAMA SERIE HOMOLOGA. -

**-PROPIEDADES FISICAS**

\* NO POLARES

\* PUNTOS DE EBULLICION Y PUNTOS DE FUSION

Nombre	Fórmula	P.f., °C	P.e., °C	Densidad (a 20°)
Metano	CH <sub>4</sub>	-183	-162	
Etano	CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	-172	-88,5	
Propano	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	-187	-42	
n-Butano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	-138	0	
n-Pentano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	-130	36	0,626
n-Hexano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH <sub>3</sub>	-95	69	0,659
n-Heptano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	-90,5	98	0,684
n-Octano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> CH <sub>3</sub>	-57	126	0,703
n-Nonano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CH <sub>3</sub>	-54	151	0,718
n-Decano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> CH <sub>3</sub>	-30	174	0,730
n-Undecano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>9</sub> CH <sub>3</sub>	-26	196	0,740
n-Dodecano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>10</sub> CH <sub>3</sub>	-10	216	0,749
n-Tridecano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>11</sub> CH <sub>3</sub>	-6	234	0,757
n-Tetradecano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>12</sub> CH <sub>3</sub>	5,5	252	0,764
n-Pentadecano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>13</sub> CH <sub>3</sub>	10	266	0,769
n-Hexadecano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>14</sub> CH <sub>3</sub>	18	280	0,775
n-Heptadecano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>15</sub> CH <sub>3</sub>	22	292	
n-Octadecano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> CH <sub>3</sub>	28	308	
n-Nonadecano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>17</sub> CH <sub>3</sub>	32	320	
n-Eicosano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>18</sub> CH <sub>3</sub>	36		
Isobutano	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH <sub>3</sub>	-159	-12	
Isopentano	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	-160	28	0,620
Neopentano	(CH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> C	-17	9,5	
Isohexano	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	-154	60	0,654
3-Metilpentano	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH(CH <sub>3</sub> )CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	-118	63	0,676
2,2-Dimetilbutano	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> CCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	-98	50	0,649
2,3-Dimetilbutano	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	-129	58	0,668

**-FUENTE INDUSTRIAL**

\*LA FUENTE PRINCIPAL DE ALCANOS ES EL PETROLEO, EN CONJUNTO CON EL GAS NATURAL QUE LO ACOMPAÑA

\*LA PUTREFACCION Y LAS TENSIONES GEOLOGICAS HAN TRANSFORMADO, EN EL TRANSCURSO DEL TIEMPO, COMPUESTOS ORGANICOS COMPLEJOS, QUE ALGUNA VEZ CONSTITUYERON PLANTAS O ANIMALES VIVOS EN UNA MEZCLA DE ALCANOS DE UNO HASTA 30 O 40 CARBONOS

**CONSTITUYENTES DEL PETRÓLEO**

Fracción	Temperatura de destilación, °C	Número de carbonos
Gas	Bajo 20°	C <sub>1</sub> -C <sub>4</sub>
Eter de petróleo	20-60°	C <sub>5</sub> -C <sub>6</sub>
Ligroina (nafta ligera)	60-100°	C <sub>6</sub> -C <sub>7</sub>
Gasolina natural	40-205°	C <sub>5</sub> -C <sub>10</sub> , y cicloalcanos
Kerosén	175-325°	C <sub>12</sub> -C <sub>18</sub> , y aromáticos
Gasóleo	Sobre 275°	C <sub>12</sub> y superiores
Aceite lubricante	Liquidos no volátiles	Probablemente cadenas largas unidas a estructuras ciclicas
Asfalto o coque de petróleo	Sólidos no volátiles	Estructuras policiclicas

## PROPIEDADES QUIMICAS.

GENERALES. A TEMPERATURA AMBIENTE, LOS ALCANOS SON INERTES A LA MAYORIA DE LOS REACTIVOS COMUNES. ESTA DOXA REACTIVIDAD DIO ORIGEN AL NOMBRE DE HIDROCARBUROS PARAFINICOS.

LOS ALCANOS SON SATURADOS YA QUE TIENEN EN SU MOLECULA SOLO ENLACES SENCILLOS ENTRE DOS ATOMOS.

-OXIDACION- LOS ALCANOS ARDEN CON DESPRENDIMIENTO DE GRANDES CANTIDADES DE CALOR.

EL GAS NATURAL, LA GASOLINA Y EL DIESEL SE EMPLEAN COMO COMBUSTIBLES, TANTO POR ESTA PROPIEDAD DESPRENDEN UNA GRAN CANTIDAD DE CALOR EN LA COMBUSTION.

-HALOGENACION.- EN PRESENCIA DE LUZ, DE PEROXIDOS ORGANICOS O CALENTADOS A TEMPERATURA DE 300 C O MAS, LOS ALCANOS REACCIONAN CON CLORO O BROMO DANDO ORIGEN ALCANOS HALOGENADOS Y DESPRENDIENDO HALOGENUROS DE HIDROGENO.

## CICLOALCANOS.

LOS CICLOALCANOS SON COMPUESTOS CON CARBONO E HIDROGENO EN LOS CUALES LOS ATOMOS DE CARBONO FORMAN UN ANILLO.

LOS CICLOALCANOS TAMBIEN SE CONOCEN COMO COMPUESTOS ALICICLICOS, YA QUE SUS PROPIEDADES SON MUY SIMILARES A LAS DESCRITAS PARA LOS HIDROCARBUROS ALIFATICOS LOS ALCANOS.

\* NOMENCLATURA.

= IUPAC ES MUY SIMILAR A LA NOMENCLATURA DE LOS ALCANOS.

EL NOMBRE DE UN CICLOALCANO SIN SUBSTITUYENTE SE FORMA COMBINANDO EL PREFIJO CICLO CON EL NOMBRE DEL ALCANO NORMAL CON EL MISMO NUMERO DE ATOMOS DE CARBONO QUE HAY EN EL ANILLO DEL CICLOALCANO.

## PROPIEDADES FISICAS DE LOS CICLOALCANOS

COMPUESTO	ESTRUCTURA	P. E.	P. F.	DENSIDAD (g/ml a 20°)
Ciclopropano	$\overline{\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2}$	-32.8	-127.4	
Ciclobutano	$\overline{\text{CH}_2(\text{CH}_2)_2\text{CH}_2}$	12.5	-90.7	0.694
Ciclopentano	$\overline{\text{CH}_2(\text{CH}_2)_3\text{CH}_2}$	49.3	-93.9	0.745
Ciclohexano	$\overline{\text{CH}_2(\text{CH}_2)_4\text{CH}_2}$	80.7	6.6	0.779
Cicloheptano	$\overline{\text{CH}_2(\text{CH}_2)_5\text{CH}_2}$	118.8	-8.0	0.811
Ciclooctano	$\overline{\text{CH}_2(\text{CH}_2)_6\text{CH}_2}$	151.1	14.8	0.836
Ciclononano	$\overline{\text{CH}_2(\text{CH}_2)_7\text{CH}_2}$	178.4	11	0.850
Ciclododecano	$\overline{\text{CH}_2(\text{CH}_2)_8\text{CH}_2}$	202	10	0.858
Cicloudodecano	$\overline{\text{CH}_2(\text{CH}_2)_9\text{CH}_2}$	221	-7	0.862
Ciclododecano	$\overline{\text{CH}_2(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_2}$	239	61	0.863
Ciclopentadecano	$\overline{\text{CH}_2(\text{CH}_2)_{13}\text{CH}_2}$	286	62	0.859
Ciclohexadecano	$\overline{\text{CH}_2(\text{CH}_2)_{14}\text{CH}_2}$	300	61	0.857

### PROPIEDADES QUIMICAS.

LAS REACCIONES DE LOS CICLOALCANOS SON MUY SIMILARES A LAS REACCIONES DE LOS ALCANOS. LOS CICLOALCANOS SON INERTES A LAS SOLUCIONES ALCALINAS Y A LOS AGENTES OXIDANTES, COMO LOS ALCANOS.

# ALQUENOS

## INTRODUCCION.

EXISTEN VARIAS SERIES HOMOLOGAS DE HIDROCARBUROS EN LAS CUALES LOS MIEMBROS TIENEN MENOS ATOMOS DE HIDROGENO QUE EN LOS ALCANOS CON EL MISMO NUMERO DE ATOMOS DE CARBONO. A DIFERENCIA DE LOS ALCANOS QUE SON POCO REACTIVOS, LOS ALQUENOS SON SUMAMENTE REACTIVOS QUIMICAMENTE.

## \* NOMENCLATURA.

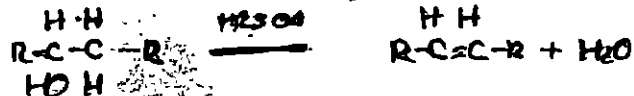
### A. SISTEMA DE LA UIQPA.

- 1.- PARA EL NOMBRE BASE SE ESCOGE LA CADENA CONTINUA DE ATOMOS DE CARBONO MAS LARGA QUE CONTIENGA LOS DOBLES ENLACES.
- 2.- LA CADENA SE NUMERA DE TAL MANERA QUE LOS ATOMOS DE CARBONO DEL DOBLE ENLACE TENGAN LOS NUMEROS MAS BAJOS POSIBLES. LA NUMERACION DEBE INCLUIR AMBOS ATOMOS DEL DOBLE ENLACE.
- 3.- PARA INDICAR LA PRESENCIA DE UN DOBLE ENLACE, SE CAMBIA LA TERMINACION ANO DE LOS ALCANOS CON EL MISMO NUMERO DE ATOMOS DE CARBONO DE LA CADENA MAS LARGA QUE CONTIENGA EL DOBLE ENLACE, POR LA TERMINACION ENO.
- 4.- LA POSICION DEL DOBLE ENLACE SE INDICA MEDIANTE EL NUMERO MENOR QUE LE CORRESPONDA A UNO DE LOS ATOMOS DE CARBONO DEL DOBLE ENLACE. ESTE NUMERO SE COLOCA ANTES DEL NOMBRE BASE.
- 5.- SI LA MOLECULA CONTIENE MAS DE UN DOBLE ENLACE, EL NUMERO DE ESTOS SE INDICA SUSTITUYENDO LA TERMINACION ANO DEL NOMBRE POR LAS TERMINACIONES ADIENO, TRIENO, ETC., SEGUN SEAN DOS O TRES O MAS DOBLES ENLACES.
- 6.- LOS SUSTITUYENTES, TALES COMO HALOGENOS O GRUPOS ALQUILO SE INDICAN MEDIANTE SU NOMBRE Y UN NUMERO, EN LA MISMA FORMA QUE EN EL CASO DE LOS ALCANOS.
- 7.- LOS CICLOALCANOS (CICLOLEFINAS) SE NOMBRAN SUSTITUYENDO LA TERMINACION ANO DEL CICLOALCANO CORRESPONDIENTE, POR ENO, ADIENO ETC.

## \* ISOMERIA EN LOS ALQUENOS.

### \* PREPARACION:

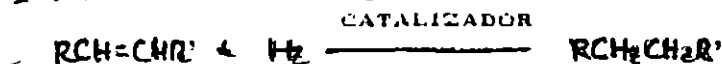
#### A) DESHIDRATACION DE ALCOHOLES



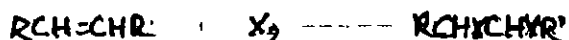
### \* REACCIONES DE LOS ALQUENOS.

#### A) REACCIONES DE ADICION

##### 1. ADICION DE HIDROGENO

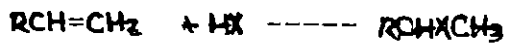


##### 2. ADICION DE HALOGENOS.

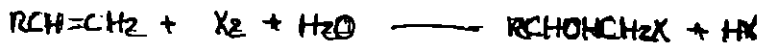




### 3. ADICION DE HALOGENUROS DE HIDROGENO.



### 4. PREPARACION DE MALONDRINAS.



### PROPIEDADES FISICAS DE LOS ALQUENOS.

Nombre	Fórmula	P. f., °C	P. e., °C	Densidad (a 20 °C)
Etileno	$CH_2=CH_2$	-169	-102	
Propileno	$CH_2=CHCH_3$	-185	-48	
1-Buteno	$CH_2=CHCH_2CH_3$		-6,5	
1-Penteno	$CH_2=CH(CH_2)_2CH_3$		30	0,643
1-Hexeno	$CH_2=CH(CH_2)_3CH_3$	-138	63,5	0,675
1-Hepteno	$CH_2=CH(CH_2)_4CH_3$	-119	93	0,698
1-Octeno	$CH_2=CH(CH_2)_5CH_3$	-104	122,5	0,716
1-Noneno	$CH_2=CH(CH_2)_6CH_3$		146	0,731
1-Deceno	$CH_2=CH(CH_2)_7CH_3$	-87	171	0,743
<i>cis</i> -2-Buteno	<i>cis</i> - $CH_3CH=CHCH_3$	-139	4	
<i>trans</i> -2-Buteno	<i>trans</i> - $CH_3CH=CHCH_3$	-106	1	
Isobutileno	$CH_2=C(CH_3)_2$	-141	-7	
<i>cis</i> -2-Penteno	<i>cis</i> - $CH_3CH=CHCH_2CH_3$	-151	37	0,655
<i>trans</i> -2-Penteno	<i>trans</i> - $CH_3CH=CHCH_2CH_3$		36	0,647
3-Metil-1-buteno	$CH_2=CHCH(CH_3)_2$	-135	25	0,648
2-Metil-2-buteno	$CH_3CH=C(CH_3)_2$	-123	39	0,660
2,3-Dimetil-2-buteno	$(CH_3)_2C=C(CH_3)_2$	-74	73	0,705

## ALQUINOS

**INTRODUCCION.** LOS ALQUINOS CONSTITUYEN OTRA SERIE HOMOLOGA DE HIDROCARBUROS QUE SE CARACTERIZA POR TENER UN TRIPLE ENLACE CARBONO-CARBONO.

**\* NOMENCLATURA.** EN EL SISTEMA DE LA UICPA LOS ALQUINOS SE NOMBRAN SIGUIENDO LAS MISMAS REGLAS USADAS PARA EL CASO DE LOS ALQUENOS. EL TRIPLE ENLACE SE INDICA USANDO LA TERMINACION INO EN SUBSTITUCION DE LA TERMINACION ANO DEL HIDROCARBURO BASE.

**\* PROPIEDADES FISICAS.**

Nombre	Fórmula	P.f., °C	P.e., °C	Densidad <sup>1</sup> (a 20°)
Acetileno	$\text{HC}\equiv\text{CH}$	- 82	- 75	
Propino	$\text{HC}\equiv\text{CCH}_3$	- 101,5	- 23	
1-Butino	$\text{HC}\equiv\text{CCH}_2\text{CH}_3$	- 122	9	
1-Pentino	$\text{HC}\equiv\text{C}(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$	- 98	40	0,695
1-Hexino	$\text{HC}\equiv\text{C}(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$	- 124	72	0,719
1-Heptino	$\text{HC}\equiv\text{C}(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$	- 80	100	0,733
1-Octino	$\text{HC}\equiv\text{C}(\text{CH}_2)_5\text{CH}_3$	- 70	126	0,747
1-Nonino	$\text{HC}\equiv\text{C}(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3$	- 65	151	0,763
1-Decino	$\text{HC}\equiv\text{C}(\text{CH}_2)_7\text{CH}_3$	- 36	182	0,770
2-Butino	$\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CCH}_3$	- 24	27	0,694
2-Pentino	$\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CCH}_2\text{CH}_3$	- 101	55	0,714
3-Metil-1-butino	$\text{HC}\equiv\text{CCH}(\text{CH}_3)_2$		29	0,665
2-Hexino	$\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{C}(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$	- 92	84	0,730
3-Hexino	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}\equiv\text{CCH}_2\text{CH}_3$	- 51	81	0,725
3,3-Dimetil-1-butino	$\text{HC}\equiv\text{CC}(\text{CH}_3)_3$	- 81	38	0,669
4-Octino	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{C}\equiv\text{C}(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$		131	0,748
5-Decino	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{C}\equiv\text{C}(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$		175	0,769

## HIDROCARBUROS AROMATICOS

### \*INTRODUCCION.

LOS COMPUESTOS AROMATICOS SON EL BENCENO Y AQUELLAS SUBSTANCIAS QUE SON SEMEJANTES AL BENCENO EN SU COMPORTAMIENTO QUIMICO. LAS PROPIEDADES AROMATICAS SON LAS QUE DISTINGUEN AL BENCENO DE LOS HIDROCARBUROS ALIFATICOS.

BENCENO. EL MAS CONOCIDO Y MEJOR ESTUDIADO DE LOS HIDROCARBUROS AROMATICOS ES EL BENCENO. EL BENCENO SE CONSIDERA EL HIDROCARBURO BASE DE LOS MIEMBROS DE LA FAMILIA DE COMPUESTOS AROMATICOS.

### \*ESTRUCTURA DEL BENCENO

- a) EL BENCENO TIENE LA FORMULA MOLECULAR  $C_6H_6$ .
- b) EL BENCENO SOLO DA UN PRODUCTO DE MONOSUBSTITUCION,  $C_6H_5Y$ .
- c) EL BENCENO DA TRES PRODUCTOS DISUBSTITUIDOS ISOMEROS.  
 $C_6H_4YZ$  o  $C_6H_4YZ$

\*NOMENCLATURA. MUCHOS DE LOS HIDROCARBUROS AROMATICOS TIENEN NOMBRE COMUNES. ESTOS NOMBRES COMUNES SE EMPLEAN TAMBIEN EN LA NOMENCLATURA DE LA UICPA. COMO BASE PARA EL SISTEMA ANULAR.

### \*PROPIEDADES FISICAS DE HIDROCARBUROS AROMATICOS.

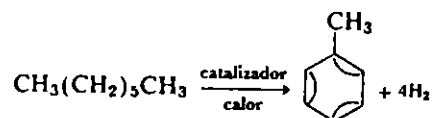
Propiedades Fisicas de Hidrocarburos Aromáticos

COMPUESTO	FÓRMULA	P.F.	P.E.	DENSIDAD (g/ml a 20°)
Benceno	$C_6H_6$	5.5	80	0.874
Tolueno	$C_6H_5CH_3$	-95	111	0.862
Etilbenceno	$C_6H_4CH_2CH_3$	-95	136	0.863
Propilbenceno	$C_6H_4CH_2CH_2CH_3$	-100	159	0.858
Isopropilbenceno	$(CH_3)_2CHC_6H_5$	-96	152	0.858
o-Xileno	$o-(CH_3)_2C_6H_4$	-25	144	0.876
m-Xileno	$m-(CH_3)_2C_6H_4$	-48	139	0.860
p-Xileno	$p-(CH_3)_2C_6H_4$	13	138	0.857
1,2,3-Trimetilbenceno	$1,2,3-(CH_3)_3C_6H_3$	-25	176	0.890
1,2,4-Trimetilbenceno	$1,2,4-(CH_3)_3C_6H_3$	-44	169	0.872
1,3,5-Trimetilbenceno	$1,3,5-(CH_3)_3C_6H_3$	-45	165	0.861
Estireno	$C_6H_5CH=CH_2$	-31	145	0.901
Bifenilo	$C_6H_5-C_6H_5$	69	255	
Naftaleno	$C_{10}H_8$	80	218	0.975

# REACCIONES DE AROMATICOS

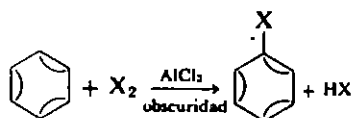
## Preparación.

Ciclización y deshidrogenación de alcanos.

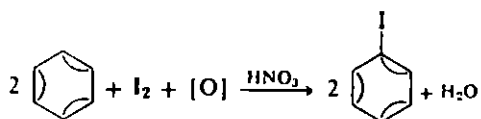


## Propiedades químicas.

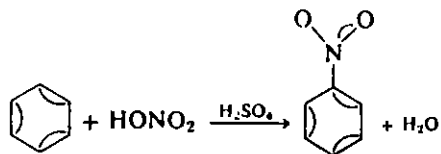
A. Cloración y bromación.



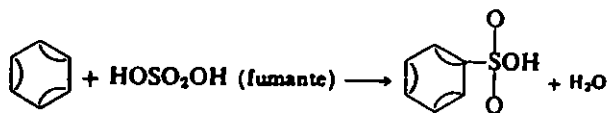
B. Yodación.



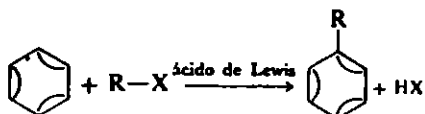
C. Nitración.



D. Sulfonación



E. Reacción de alquilación de Friedel-Crafts.



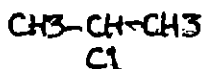
Constantes físicas de algunos fenoles

COMPUESTO	FÓRMULA	P. F.	P. E.	$K_a$
Fenol	$C_6H_5OH$	41	182	$1.1 \times 10^{-10}$
<i>o</i> -cresol	$o-CH_3C_6H_4OH$	31	191	$6.3 \times 10^{-11}$
<i>m</i> -cresol	$m-CH_3C_6H_4OH$	12	202	$9.8 \times 10^{-11}$
<i>p</i> -cresol	$p-CH_3C_6H_4OH$	35	202	$6.7 \times 10^{-11}$
<i>o</i> -clorofenol	$o-ClC_6H_4OH$	9	173	$3.3 \times 10^{-9}$
<i>m</i> -clorofenol	$m-ClC_6H_4OH$	33	214	$9.5 \times 10^{-10}$
<i>p</i> -clorofenol	$p-ClC_6H_4OH$	43	219	$4.2 \times 10^{-10}$
<i>o</i> -aminofenol	$o-H_2NC_6H_4OH$	173	subl.	$3.6 \times 10^{-10}$
<i>m</i> -aminofenol	$m-H_2NC_6H_4OH$	123		$1.0 \times 10^{-10}$
<i>p</i> -aminofenol	$p-H_2NC_6H_4OH$	184 desc.	subl.	$3.5 \times 10^{-9}$
<i>o</i> -nitrofenol	$o-O_2NC_6H_4OH$	45	214	$5.8 \times 10^{-8}$
<i>m</i> -nitrofenol	$m-O_2NC_6H_4OH$	96	194/70 mm.	$4.5 \times 10^{-8}$
<i>p</i> -nitrofenol	$p-O_2NC_6H_4OH$	114	279 desc.	$7.2 \times 10^{-8}$
2,4-dinitrofenol	$2,4-(O_2N)_2C_6H_3OH$	113		$9.5 \times 10^{-6}$
ácido pícrico	$2,4,6-(O_2N)_3C_6H_2OH$	122		$5.1 \times 10^{-1}$
catecol	$o-C_6H_4(OH)_2$	104	245	$1.4 \times 10^{-10}$
resorcinol	$m-C_6H_4(OH)_2$	110	281	$1.6 \times 10^{-10}$
hidroquinona	$p-C_6H_4(OH)_2$	172	286	$4.5 \times 10^{-11}$

## HALOGENUROS DE ALQUILLO Y ARILO

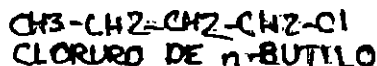
LOS HALOGENUROS DE ARILO INCLUYEN SOLO AQUELLOS COMPUESTOS QUE TIENEN EL HALOGENO DIRECTAMENTE UNIDO AL ANILLO AROMATICO. TODOS LOS OTROS HIDROCARBUROS HALOGENADOS, INCLUYEN COMPUESTOS TALES COMO EL CLORURO DE BENCILO, SE CONSIDERAN HALOGENUROS DE ALQUILLO.

NOMENCLATURA. EN EL SISTEMA DE LA UOPIA SE EMPLEAN LOS PREFIJOS FLUOR, CLORO, BROMO O YODO, UNIDOS AL NOMBRE BASICO DEL HIDROCARBURO, INDICANDO LA POSICION MEDIANTE UN NUMERO QUE SE ANTEPONE AL NOMBRE.



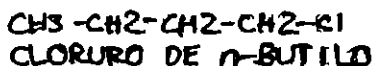
2-CLOROPROPANO

LOS HALOGENUROS DE ALQUILLO SIMPLES SE NOMBRAN GENERALMENTE DE ACUERDO AL SISTEMA COMUN:



2-CLOROPROPANO

LOS HALOGENUROS DE ALQUILLO SIMPLES SE NOMBRAN GENERALMENTE DE ACUERDO AL SISTEMA COMUN:



### PREPARACION DE HALOGENUROS DE ALQUILLO

LOS HALOGENUROS ORGANICOS NO SE ENCUENTRAN COMUNMENTE EN LA NATURALEZA, Y POR CONSIGUIENTE, SE DEBEN PREPARAR SINTETICAMENTE CUANDO SE LES NECESITA.

### REACTIVIDAD RELATIVA DE LOS HALOGENOS

YODUROS BROMUROS CLORUROS FLUORUROS  
MAYOR VELOCIDAD DE REACCION

## PROPIEDADES FISICAS

LOS HALOGENUROS DE ARILO SON INSOLUBLES EN AGUA PERO SE DISUELVEN EN LA MAYORIA DE LOS DISOLVENTES ORGANICOS.

## ACIDOS CARBOXILICOS

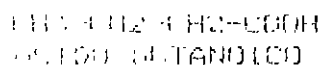
COMPUESTOS QUE CONTIENEN CARBONO, HIDROGENO Y OXIGENO. EL PRIMER GRUPO DE ESTE TIPO DE COMPUESTOS ES EL DE LOS ACIDOS CARBOXILICOS, QUE SE CARACTERIZAN POR LA PRESENCIA DEL GRUPO CARBOXILO.



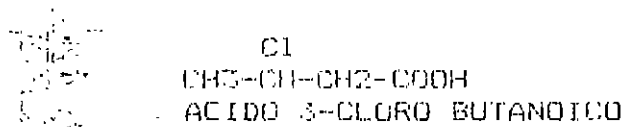
EL GRUPO CARBOXILO PUEDE ENCONTRARSE UNIDO A UN ATOMO DE CARBONO ALIFATICO (ALIFATICO O CICLOALIFATICO), A UN ATOMO DE CARBONO NO ALIFATICO O UN ANILLO AROMATICO Y EN UNA MOLECULA PUEDE HABER MAS DE UN GRUPO CARBOXILICO.

DESIGNACION. HAY TRES METODOS GENERALES PARA NOMBRAR A LOS ACIDOS CARBOXILICOS.

1. POR EL NOMBRE DE LA CADENA. LOS ACIDOS CARBOXILICOS SE NOMBRAN TOMANDO COMO BASE EL NOMBRE DEL ALCANO CON EL MISMO NUMERO DE ATOMOS DE CARBONO DE LA CADENA CONTINUA MAS LARGA QUE CONTENGA EL GRUPO CARBOXILO, APLICANDO LA TERMINACION ICO Y ANTEPONIENDO LA PALABRA ACIDO.



2. PARA INDICAR LA POSICION DE LOS SUBSTITUYENTES O DE OTROS GRUPOS FUNCIONALES SE EMPLEAN NUMEROS ARABICOS. EL ATOMO DE CARBONO DEL GRUPO CARBOXILO LLEVA EL NUMERO 1.



3. SISTEMA DE LOS ACIDOS CARBOXILICOS. EL SISTEMA DE LOS ACIDOS CARBOXILICOS SE EMPLEA PARA ACIDOS CICLOALIFATICOS, PARA ACIDOS ALIFATICOS QUE CONTENGAN TRES O MAS GRUPOS CARBOXILO Y PARA ACIDOS AROMATICOS QUE CONTENGAN MAS DE UN GRUPO CARBOXILO.

Propiedades físicas de algunos ácidos carboxílicos

NOMBRE	FÓRMULA	P.F.	P.E.	SOLUBILIDAD (g/100 g H <sub>2</sub> O a 20°)
<i>Ácidos Monocarboxílicos</i>				
ácido Fórmico	HCOOH	8	100	∞
ácido Acético	CH <sub>3</sub> COOH	16	118	∞
ácido Propiónico	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> COOH	-22	141	∞
ácido Butírico	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> COOH	-8	164	∞
ácido Isobutírico	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCOOH	-47	154	20
ácido Valérico	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> COOH	-34	187	3.7
ácido Isovalérico	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH <sub>2</sub> COOH	-38	176	4.2
ácido Caproico	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> COOH	-3	205	1
ácido Caprílico	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> COOH	16	239	0.07
ácido Cáprico	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> COOH	31	270	0.02
ácido Láurico	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>10</sub> COOH	44	299	0.0055
ácido Mirístico	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>12</sub> COOH	54	326	0.002
ácido Palmítico	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>14</sub> COOH	63	352	0.0007
ácido Estearico	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> COOH	70	376	0.0003
<i>Ácidos Dicarboxílicos</i>				
ácido Oxálico	HOCCOOH	189	150 subl.	10
ácido Malónico	HOOCCH <sub>2</sub> COOH	136	dec.	74
ácido Succínico	HOOC(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> COOH	185	235 dec.	7
ácido Glutárico	HOOC(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> COOH	98	304 dec.	64
ácido Adípico	HOOC(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> COOH	153	265/100 mm.	2
ácido Pimélico	HOOC(CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> COOH	106	272/100 mm.	2.5
ácido Subérico	HOOC(CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> COOH	144	279/100 mm.	0.2
ácido Aceláico	HOOC(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH	106	360 dec.	0.2
ácido Sebáico	HOOC(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> COOH	134	295/100 mm.	0.1
<i>Ácidos Aromáticos</i>				
ácido Benzoico	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COOH	122	249	0.2
ácido Ftálico	<i>o</i> -C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (COOH) <sub>2</sub>	230 dec.		0.6
ácido Isoftálico	<i>m</i> -C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (COOH) <sub>2</sub>	348		0.01
ácido Tereftálico	<i>p</i> -C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (COOH) <sub>2</sub>	300 subl.		0.001
<i>Ácidos Insaturados</i>				
ácido Maleico	<i>cis</i> -HOOCCH=CHCOOH	130	160	79
ácido Fumárico	<i>trans</i> -HOOCCH=CHCOOH	287	290	0.7
ácido <i>cis</i> -Crotónico	<i>cis</i> -CH <sub>3</sub> CH=CHCOOH	15	171	40
ácido <i>trans</i> -Crotónico	<i>trans</i> -CH <sub>3</sub> CH=CHCOOH	72	189	8.3
ácido Oleico	<i>cis</i> -CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH	16	223/10 mm.	insol.
ácido Linoléico	<i>cis,cis</i> -CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH	-5	230/16 mm.	insol.
ácido Linolénico	<i>cis,cis,cis</i> -CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH	-11	232/17 mm.	insol.



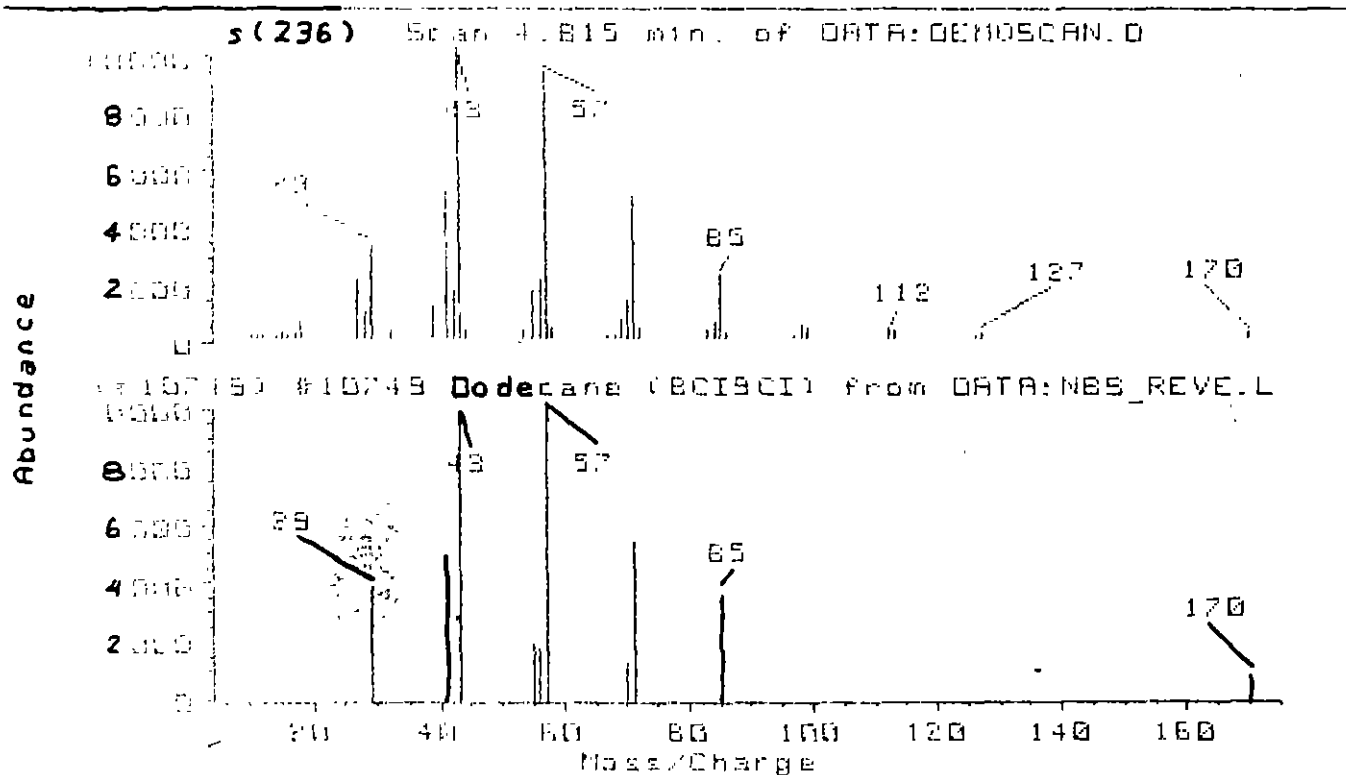
correlation search of Library files: DATA:NBS\_REVE.L

Scan 4.815 min. of DATA:DEMOSCAN.D  
SC/MS Performance Evaluation Sample

	CAS #	Library	Match
1: Dodecane (8C19CI)	000112-40-3	10749	9884
2: Tridecane (8C19CI)	000629-50-5	12993	9858
3: Decane (8C19CI)	000124-18-5	5784	9855
4: Tridecane, 4,8-dimethyl- (9CI)	055030-62-1	17276	9766
5: Undecane, 2-methyl- (8C19CI)	007045-71-8	10757	9763
6: Pentadecane (8C19CI)	000629-62-9	17270	9756
7: Octadecane (8C19CI)	000593-45-3	22458	9747
8: Nonane, 2-methyl- (8C19CI)	000871-83-0	5785	9735
9: Undecane (8C19CI)	001120-21-4	8232	9709
0: Undecane, 3,7-dimethyl- (8CI)	017301-29-0	13004	9703

DORETR  
high match (1 to 10):

T: -----  
Z: TIC of DATA:DEMOSCAN.D  
Y: Scan 6.065 min. of DATA:DE  
X: Scan 4.815 min. of DATA:DE



C) SISTEMA COMUN. MUCHOS DE LOS ACIDOS CARBOXILICOS YA ERAN CONOCIDOS ANTES DE QUE SE USARAN LOS SISTEMAS DE NOMENCLATURA GENERAL, POR CONSIGUIENTE MUCHOS DE ELLOS CONSERVAN EL NOMBRE COMUN QUE RECIBIERON HACE MUCHO TIEMPO. EN SISTEMA COMUN SE EMPLEAN LETRAS GRIEGAS PARA INDICAR LA POSICION DE LOS SUSTITUYENTES O DE OTROS GRUPOS FUNCIONALES, EN LA MOLECULA DEL ACIDO. LA PRIMERA LETRA ALFA SE APLICA AL ATOMO DE CARBONO QUE LLEVA EL GRUPO FUNCIONAL.

D) SALES. LAS SALES DE LOS ACIDOS CARBOXILICOS SE NOMBRAN MENCIONANDO PRIMERO EL NOMBRE DEL ANION CARBOXILATO, SEGUIDO DE LA PALABRA DE Y DEL NOMBRE DEL CATION. EL NOMBRE DEL ANION CARBOXILATO SE OBTIENE SUSTITUYENDO LA TERMINACION ICO DEL ACIDO POR ATO.

#### PREPARACION.

\* OXIDACION. LOS ACIDOS CARBOXILICOS SE PUEDEN OBTENER POR OXIDACION DE LOS ALQUENOS, ALQUINOS, ALFINOS, ALCOHOLES PRIMARIOS Y ALDEHIDOS.

\* HIDROLISIS DE ESTERES.

#### PROPIEDADES QUIMICAS

-FORMACION DE SALES.

### ALDEHIDOS Y CETONAS

INTRODUCCION. TANTO LOS ALDEHIDOS COMO LAS CETONAS, TIENEN COMO GRUPO FUNCIONAL EL GRUPO CARBONILO  $C=O$ . EN UN ALDEHIDO EL GRUPO CARBONILO SE ENCUENTRA UNIDO A UN ATOMO DE HIDROGENO Y A UN CARBONO, EN TANTO QUE EN UNA CETONA EL GRUPO CARBONILO SE ENCUENTRA UNIDO A DOS ATOMOS DE CARBONO.

#### NOMENCLATURA.

A) ALDEHIDOS. SISTEMA UIQPA. CUANDO LOS ALDEHIDOS SE NOMBRAN POR ESTE SISTEM SE ESCOGE COMO NOMBRE BASE EL NOMBRE DEL HIDROCARBURO DE LA CADENA DE ATOMOS MAS LARGA QUE CONTIENGA EL GRUPO ALDEHIDO Y LA TERMINACION DEL HIDROCARBURO O SE SUSTITUYE POR AL.

B) SISTEMA COMUN. EL NOMBRE COMUN DE LOS ALDEHIDOS SE DERIVA DE LOS ACIDOS QUE ESTOS PRODUCEN POR OXIDACION.

C) CETONAS SISTEMA DE UIQPA. - EL NOMBRE CON ESTE SISTEMA PARA UNA CETONA SE TIENE COMBINANDO LA TERMINACION ANO DEL HIDROCARBURO DE UNA CADENA (CON EL MISMO NUMERO ATOMOS DE CARBONO EN POSICION LINEAL, POR LA TERMINACION ONA. (O DIONA PARA DICEIONA).

D) SISTEMA COMUN. EL SISTEMA COMUN DE NOMENCLATURA PARA LAS CETONAS CONSISTE EN NOMBRAR LOS RADICALES UNIDOS AL GRUPO CARBONILO COMO PALABRAS SEPARADAS, SEGUIDAS DE LA PALABRA CETONA.

#### PREPARACION DE ALDEHIDOS Y CETONAS.

\* OXIDACION DE ALCOHOLES PRIMARIOS. ALDEHIDOS.

\* OXIDACION DE ALCOHOLES SECUNDARIOS. CETONAS.

Propiedades físicas de algunos aldehídos y cetonas

COMPUESTO	FÓRMULA	P. F.	P. E.
<i>Aldehídos</i>			
Formaldehído	HCHO	-92	-21
Acetaldehído	CH <sub>3</sub> CHO	-123	21
Propionaldehído	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CHO	-81	49
Butiraldehído	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CHO	-97	75
Isobutiraldehído	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCHO	-66	64
Valeraldehído	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CHO	-92	103
Isovaleraldehído	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH <sub>2</sub> CHO	-51	92
Caproaldehído	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CHO		131
Benzaldehído	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CHO	-26	179
Acroleína	CH <sub>2</sub> =CHCHO	-88	53
Crotonaldehído	CH <sub>3</sub> CH=CHCHO	-69	102
<i>Cetonas</i>			
Acetona	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>	-95	56
Etil metil cetona	CH <sub>3</sub> COCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	-86	80
2-Pentanona	CH <sub>3</sub> COCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	-78	102
3-Pentanona	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> COCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	-42	102
Acetofenona	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COCH <sub>3</sub>	20	202
Benzofenona	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COC <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	48	306
Ciclopentanona	$  \begin{array}{c}  \text{H}_2\text{C} - \text{CH}_2 \\    \quad \quad   \\  \text{C} = \text{O} \\    \quad \quad   \\  \text{H}_2\text{C} - \text{CH}_2  \end{array}  $		130
Ciclohexanona	$  \begin{array}{c}  \text{CH}_2\text{CH}_2 \\  / \quad \quad \backslash \\  \text{H}_2\text{C} \quad \quad \text{C} = \text{O} \\  \backslash \quad \quad / \\  \text{CH}_2\text{CH}_2  \end{array}  $	-16	155
Alcohol diacetona	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> COHCH <sub>2</sub> COCH <sub>3</sub>		169
Oxido de mesitilo	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> C=CHCOCH <sub>3</sub>	-59	131

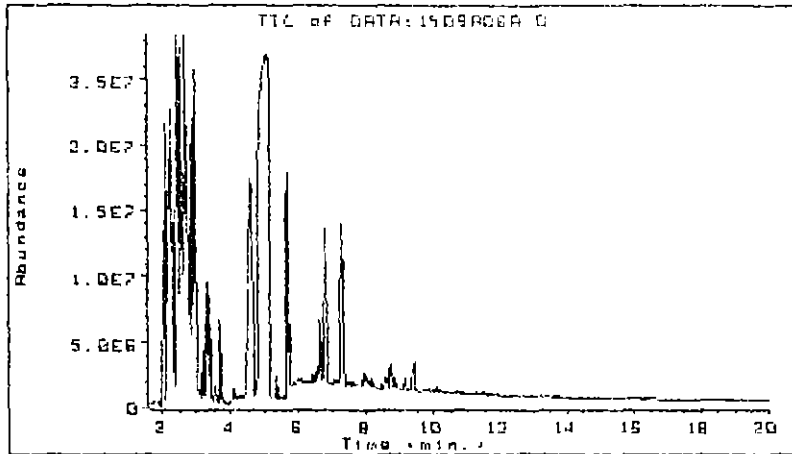
Acenaftileno  
 Acenafteno  
 Antraceno  
 Aldr /n  
 Benzo(a)antraceno  
 Benzo(k)fluoranteno  
 Benzo(a)pireno  
 Benzo(ghi)pirileno  
 Bencilbutilftalato  
 Beta - BHC  
 Gama - BHC  
 Bis(2-cloroetil)eter  
 Bis(2-cloroetoxi)metano  
 Bis(2-etilhexil)ftalato  
 Bis(2-cloroisopropil)eter  
 4-Bromofenilfenileter  
 Clordano  
 2-Cloronaftaleno  
 4-Clorofenilfenileter  
 Criseno  
 4,4 DDD  
 4,4 DDE  
 4,4 DDT  
 Dibenzo(a,h)antraceno  
 Dieldr /n  
 Sulfato de endosulfan  
 Endr /n aldeh /do  
 Fluoranteno  
 Fluoreno  
 Heptacloro  
 Epoxido de heptacloro  
 Hexaclorobenceno  
 Hexaclorobutadieno  
 Hecloroetano  
 Isoforona  
 Naftaleno  
 Nitrobenceno  
 Fenantreno  
 Pireno  
 Toxafeno

Data file: DATA:1509A06A.  
 File type: GC / MS DATA FILE

Name Info: M-006 THINNER STANDARD  
 Misc Info:  
 Operator : CROMATOGRAFIA

Date : 15 Sep 93 12:07 pm  
 Instrument: MS\_5970  
 Inlet : GC

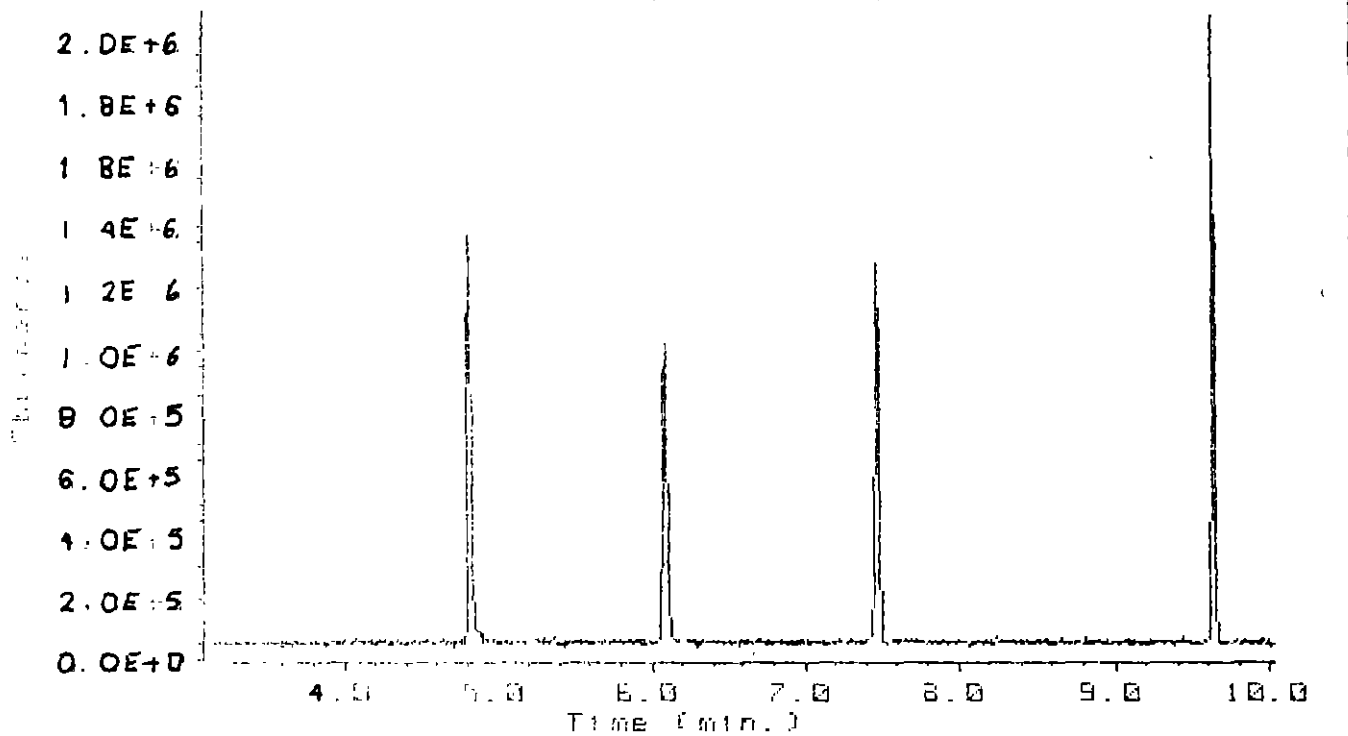
Sequence index : 1  
 Als bottle num : 6  
 Replicate num : 1



TIC of DATA:1509A06A.D  
 M-006 THINNER STANDARD

Peak#	Ret Time	Type	Width	Area	Start Time	End Time
1	2.011	BV	0.046	347993733	1.949	2.055
2	2.093	VV	0.032	390171621	2.055	2.117
3	2.147	VV	0.074	752658195	2.118	2.202
4	2.238	VV	0.071	1014753957	2.202	2.347
5	2.436	VV	0.080	1368209803	2.347	2.490
6	2.542	VV	0.073	1226536058	2.490	2.600
7	2.672	VV	0.108	2074153497	2.600	2.819
8	2.865	VV	0.050	499680631	2.819	2.991
9	2.939	VV	0.075	1075414430	2.891	3.116
10	3.166	VV	0.054	141843288	3.116	3.234
11	3.292	VV	0.055	306162172	3.234	3.350
12	3.391	VV	0.041	193380078	3.350	3.480
13	3.518	VV	0.050	35800260	3.480	3.551
14	3.686	PV	0.053	153382583	3.632	3.839
15	4.083	PV	0.081	53221928	3.891	4.195
16	4.554	VV	0.141	1596710755	4.360	4.689
17	5.030	VV	0.190	3911241882	4.689	5.054
18	5.081	VV	0.068	1069129223	5.054	5.203
19	5.652	PV	0.061	665067772	5.567	5.777
20	5.841	VV	0.079	19503075	5.777	5.900
21	5.976	VV	0.035	5936566	5.900	6.008
22	6.539	VV	0.044	27818700	6.481	6.566
23	6.616	VV	0.042	116774041	6.566	6.669
24	6.789	VB	0.056	403887295	6.715	6.912
25	7.247	BV	0.083	595230910	7.164	7.377
26	7.926	VV	0.107	71828835	7.861	8.109
27	8.722	PV	0.076	77250345	8.651	8.889

TIC of DATA: DEMOSCAN.D



IC of DATA: DEMOSCAN.D 4 integration peaks found.

Peak#	Ret Time	Type	Width	Area	Start Time	End Time
1	4.817	PV	0.022	19735497	4.779	4.869
2	6.091	PV	0.032	18802804	6.012	6.173
3	7.479	VV	0.023	18512141	7.418	7.538
4	9.633	BV	0.019	24873776	9.590	9.674



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

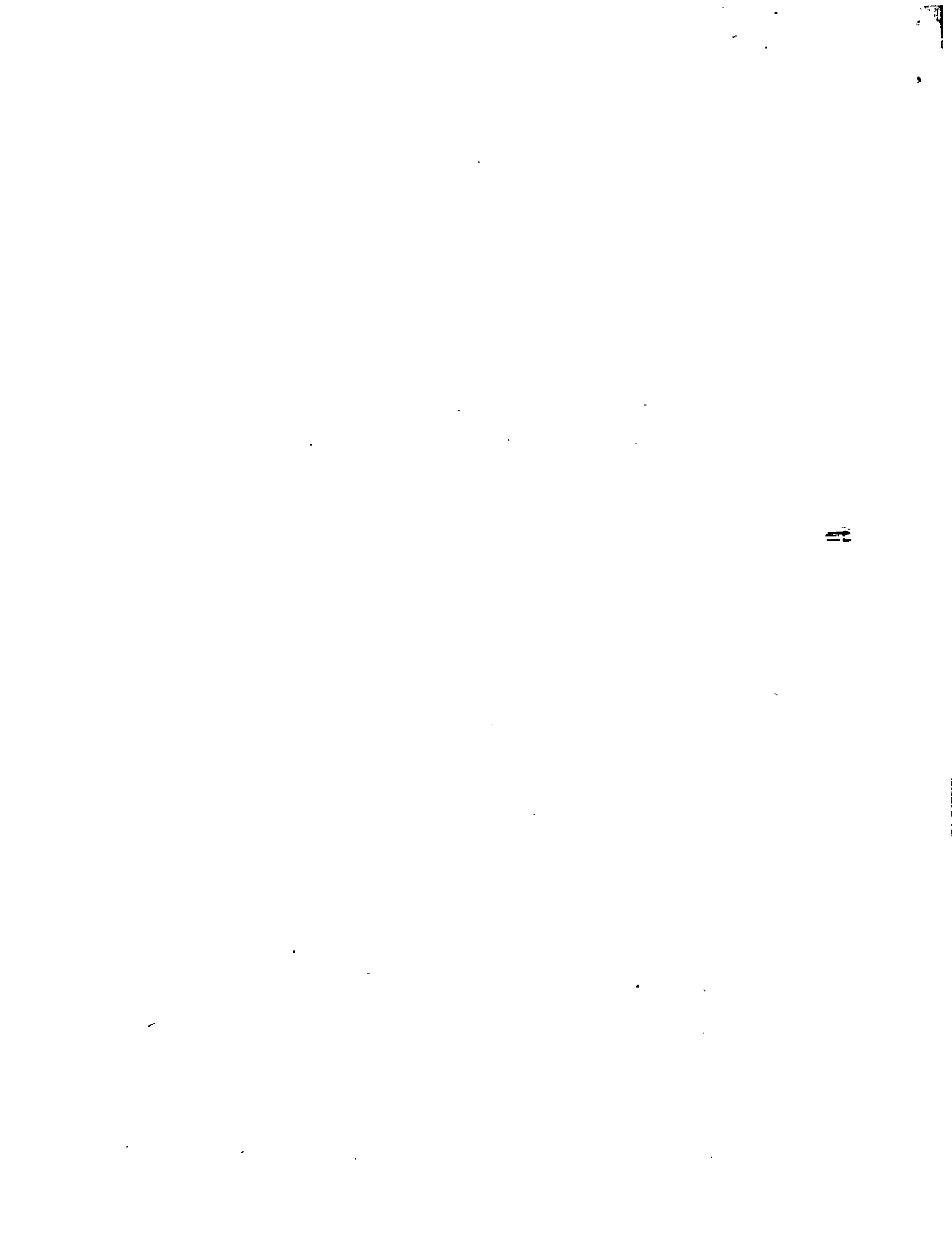
**CURSOS ABIERTOS**

**VII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION  
DE ACUIFEROS.**

**MODULO II: CONTAMINACION DE ACUIFEROS**

**APUNTES SOBRE REHABILITACION  
DE POZOS**

**ING. JUAN MANUEL LESSER I.**





## C O N T E N I D O

1. INTRODUCCION
  2. DIAGNOSTICO MEDIANTE VIDEOGRABACION DE POZOS
    - 2.1. EQUIPO UTILIZADO
    - 2.2. UTILIDAD DE LA VIDEOGRABACION
    - 2.3. CUANDO REALIZAR VIDEOGRABACIONES
    - 2.4. EJEMPLOS DE VIDEOGRABACIONES
  3. REGISTROS DE VERTICALIDAD
    - 3.1. EL PROBLEMA
    - 3.2. EQUIPO Y METODO DE TRABAJO
    - 3.3. TOLERANCIAS Y EJEMPLOS
  4. LIMPIEZA DE ADEMES
    - 4.1. INCRUSTACION QUIMICA
    - 4.2. INCRUSTACION BACTERIANA
  5. SEPARADORES DE ARENA
  6. REPARACION DE ADEMES Y ENCAMISADO
  7. DESAZOLVES Y ELIMINACION DE OBSTRUCCIONES
- REFERENCIAS

# REHABILITACION DE POZOS

POR: ING. JUAN MANUEL LESSER I.

## 1. INTRODUCCION

El aumento de la población y su consecuente demanda de agua ha ocasionado un incremento en la explotación de los mantos acuíferos. Actualmente existen varias decenas de miles de pozos que, en la mayoría de los casos, sobreexplotan a los acuíferos.

El alto costo constructivo de pozos nuevos, así como la sobreexplotación, hacen necesario el realizar actividades a fin de hacer más eficiente el uso del agua y de la infraestructura existente para su extracción y utilización.

Hasta hace pocos años, los pozos, después de su construcción, se operaban continuamente y por largo tiempo, hasta que sufrían algún desperfecto. Actualmente, son comunes los programas de rehabilitación que incluyen el mantenimiento periódico de las bombas, sin embargo, el pozo en pocas ocasiones recibe atención. Parte de esta atención, mantenimiento o rehabilitación, es lo que a continuación se trata.

El pozo tiene una vida útil la cual puede ser alargada llevando a cabo tareas de mantenimiento como son desazolve, limpieza y reparaciones de ademes, encamisado, instalación de

separadores de arenas etc., lo cual se puede programar en base a un diagnóstico del estado en que se encuentra el pozo. El diagnóstico, se realiza analizando los datos constructivos y de operación del pozo, como son niveles de agua, caudales, diámetros y longitudes de pozo, ademe y equipo de bombeo, problemas existentes y en general el historial del aprovechamiento. Los datos obtenidos se complementan con la observación de su interior mediante una cámara de televisión.

## 2. DIAGNOSTICO MEDIANTE VIDEOGRABACION DE POZOS

### 2.1. EQUIPO UTILIZADO

Consiste en una cámara de televisión adaptada dentro de un cilindro de acero inoxidable de tal manera que puede ser introducida en el pozo y operada bajo el agua.

La cámara consta de una fuente de luz proporcionada por un foco de halógeno de 100 Watts, colocado dentro de una bombilla que contiene aceite; el aceite previene el sobrecalentamiento. La fuente de luz se coloca aproximadamente 60 centímetros abajo de la cámara y se conecta a ésta por medio de dos barras metálicas que sirven para sujetarlo, y para pasar la corriente eléctrica que requiere el foco.

La Figura 1 muestra el exterior del cilindro que contiene a la cámara de televisión, así como la fuente de luz. En la Figura No. 2 se presenta la forma como se adapta la fuente de luz al cilindro que contiene la cámara.

La cámara de televisión se introduce al pozo por medio de un cable de acero, el que en su interior incluye un cable

coaxial a través del cual se transmiten las señales y la energía eléctrica. El cable de acero es controlado por medio de un malacate eléctrico que se encuentra instalado dentro de un vehículo (Figura 3).

La cámara tiene adaptado un sistema electrónico que permite decodificar la señal observada por la cámara y transmitirla a la superficie.

Dentro del vehículo que se estaciona junto al pozo, se encuentra la unidad de control que consiste en un sistema electrónico mediante el cual se codifica la señal enviada por la cámara, para ser observada en un monitor y grabada por medio de una videocasetera.

En las Figuras 4 y 5 se muestran croquis de la unidad de control y de la distribución de los aparatos que constituyen el equipo dentro de la unidad móvil.

## 2.2. UTILIDAD DE LA VIDEOGRABACION

La videograbación de un pozo se realiza mediante una cámara especial de televisión. A partir de ella se determina el estado en que se encuentra, el tipo y profundidad de tubos de ademe, la posición del nivel del agua y la profundidad total o de azolvamiento del pozo. Se detectan también los tramos de tubería de ademe donde las ranuras se encuentran obstruidas por costras de precipitados químicos; se identifican defectos o fallas en la construcción del pozo, en especial en el colocado y terminación de la tubería de ademe, así como colápsos o deformaciones. Se obtiene una idea sobre la verticalidad, se marcan los sitios donde existen reducciones

en diámetro del ademe, así como la presencia de objetos extraños. La videograbación es también de gran utilidad para conocer la posición de herramientas de perforación atoradas, a fin de improvisar los utensilios y métodos de pesca.

Conociendo el interior del pozo y tomando en cuenta sus datos constructivos y de operación, se puede diagnosticar sobre las medidas más convenientes de realizarse para que el pozo trabaje eficientemente y con un consumo adecuado de energía.

### 2.3. CUANDO REALIZAR VIDEOGRABACIONES

Es recomendable realizar la videograbación de un pozo desde el momento mismo en que termina su construcción, con el objeto de conocer la calidad constructiva y terminado del interior del pozo. En varios organismos oficiales, se ha impuesto como requisito a la entrega del pozo, la revisión de éste mediante una videograbación.

Desafortunadamente, en la práctica se solicita la videograbación de pozos cuando se presentan problemas y en muchas ocasiones después de haber realizado actividades innecesarias tratando de solucionar un problema desconocido.

Es recomendable, realizar una videograbación del estado en que se encuentra el pozo, cada 5 años, y aprovechar la extracción del equipo de bombeo para mantenimiento.

## 2.4. EJEMPLOS DE VIDEOGRABACIONES

A continuación se muestran, a manera de ejemplo, los resultados obtenidos mediante las videograbaciones del interior de algunos pozos. El primer caso correspondiente al Pozo No. 14, en el cual se detectaron ligeras desviaciones en la verticalidad; zonas de incrustación que son la causa de la disminución del gasto de extracción y del abatimiento excesivo del nivel de bombeo, así como la profundidad al azolve a 250 metros, en un pozo de 630 metros de profundidad total. En relación al Pozo Garambullos, <sup>FIG. 5.1</sup> este es un ejemplo típico ~~de~~ pozo colapsado en la unión de tuberías, estando el tubo inferior fuera de la vertical, lo cual llega a impedir el paso de la columna de bombeo.

### 2.4.1. VIDEOGRABACION DEL POZO 14 BATERIA 12

#### a. DATOS GENERALES

FECHA DE TOMA	:	11 Marzo 1987
COORDENADAS	:	X 298,457.65
		Y 2'417,723.53
		Z 1843.75
NIVEL ESTATICO ORIGINAL	:	66.79 metros
NIVEL ESTATICO ACTUAL:		77 metros
NIVEL DINAMICO	:	140.8 metros
PROFUNDIDAD ORIGINAL	:	630 metros


DIAMETRO SUPERFICIAL  
DEL ADEME : 16"

DIAMETRO Y LONGITUD  
DE ADEME (DATOS CONS-  
TRUCTIVOS : De 0 a 108 metros liso de -  
16".  
De 108 a 250 metros ranura-  
do en 16".  
De 250 a 630 metros ranura-  
do en 10".

FECHA DE CONSTRUCCION: Octubre de 1981 a noviembre  
de 1982.

EQUIPO : Bomba de turbina con 150 me-  
tros de profundidad.

ACUIFERO IMPORTANTE : A partir de los 215 metros.

b. DESCRIPCION POR INTERVALOS DE PROFUNDIDAD 

De 0 a 77 metros

Tubería de ademe lisa de 16" de diámetro. A los 60 y 70 metros ligeras desviaciones en la verticalidad del pozo.

77 metros

Nivel estático.

De 77 a 111 metros

Tubería de ademe lisa de 16" de diámetro.

De 111 a 250 metros

Tubería de ademe de 16" de diámetro con ranura de canastilla vertical. Se presentan desviaciones leves en la verticalidad a los 129, 151, 170 y 232. La tubería se encuentra limpia de 111 a 140 metros; poco incrustada de 140 a 158 y severamente incrustada de 158 a 250 metros.

A los 149 y 153 metros una parte del ademe que abarca 7 ranuras presenta una rotura horizontal; en total se encuentran 3 roturas; esta porción de tubería aparentemente se encuentra deformada.

De 190 a 250 metros se presentan abundantes grumos - suspendidos que disminuyen la visibilidad. Estos co--

responden a crecimientos de materia orgánica.

250 metros

Nivel de azolvamiento. Se hace notar que a esta profundidad se reduce el diámetro del ademe, por lo que se debe considerar la posibilidad de que la campana reductora corresponda a una zona de debilidad que haya fallado y a través de ella se haya azolvado el pozo.

c. **CONCLUSIONES**

- Pozo azolvado de los 250 a los 630 metros de profundidad.
- Presenta desviaciones leves en su verticalidad. Apparentemente sin llegar a ser nocivas.
- El ademe se encuentra severamente incrustado, lo cual fue una de las causas de la disminución del gasto de extracción y del abatimiento excesivo del nivel de bombeo.

d. **RECOMENDACIONES**

- Desincrustar el tramo entre los 158 y 250 metros, para destapar las ranuras del ademe.
- Inyectar hipoclorito de sodio, 20 litros por cada 10 metros, de 190 a 250 metros de profundidad, para eliminar el crecimiento de bacterias que obturan el ademe.
- Vigilar periódicamente el tramo entre 149 y 153 metros de profundidad, que podría presentar deformaciones y colapsos futuros.
- Colocar la columna de bombeo arriba de la posible zona de colapso.

NOTA: El desazolve del pozo y reparación de la campana reductora se consideran operaciones costosas y complejas.



2.5.2

VIDEOGRABACION DEL INTERIOR DEL POZO  
GARAMBULLOS.

a. DATOS GENERALES

LOCALIZACION : Dolores Hidalgo, Gto.  
FECHA DE LA TOMA : 21 Junio 1987  
DIAMETRO SUPERFI-  
CIAL DEL ADEME : 10"  
NIVEL ESTATICO ORIGINAL: 39 metros (1970)  
NIVEL ESTATICO ACTUAL: 57 metros (1987)  
NIVEL DINAMICO ACTUAL: Aproximadamente 62 metros  
GASTO ACTUAL : 36 lps  
PROFUNDIDAD ORIGINAL : 150 metros  
PROFUNDIDAD ACTUAL : 136 metros  
EQUIPO DE BOMBEO : Turbina vertical de 6" de -  
diámetro y 62.5 m de longi-  
tud.

b. DESCRIPCION POR INTERVALOS DE PROFUNDIDAD

De 0 a 40 metros

Tubería de ademe lisa de 10" de diámetro. A los 6 me-  
tros, dos tubos de ademe se encuentran desprendidos.

De 40 a 57 metros

Tubería de ademe de 10" de diámetro con ranuras verti-  
cales aparentemente hechas con soplete; cortas y sepa-  
radas. Las paredes del ademe se encuentran cubiertas-  
por una capa de material incrustante que impide la -  
observación clara de las ranuras. A los 42, 48 y 54 m  
se presentan desviaciones ligeras fuera de la verti-  
cal.

57 metros

Nivel estático.

De 57 a 65 metros

Tubería de ademe de 10" de diámetro con ranuras verticales cortas y escasas, cubiertas por una capa de material incrustante.

65 metros

Colapso. Dos tubos de ademe se encuentran separados - dejando un tramo libre de aproximadamente 30 centímetros. El tubo inferior se encuentra ligeramente fuera de la vertical. El centro de la cámara, al pasar por el colapso, pega en la pared del pozo, donde podrían existir atorones al introducir el equipo de bombeo.

De 65 a 83 metros

Tubería de ademe de 10" de diámetro con ranuras verticales. Las paredes del ademe se encuentran severamente incrustadas, llegando a impedir la observación de las ranuras.

83 metros

Colapso. Dos tubos del ademe se encuentran desprendidos y separados aproximadamente 20 centímetros.

De 83 a 136 metros

Tubería de ademe de 10" de diámetro con ranuras verticales poco visibles; se encuentran severamente incrustadas excepto en el intervalo entre 98 y 128 metros, donde están un poco más limpias. A partir de los 85 metros, se presentan desviaciones constantes en la verticalidad.

136 metros

Nivel de azolvamiento.

#### c. CONCLUSIONES

- Pozo severamente incrustado, aunque esta incrustación no afecta la productividad actual.
- Presenta constantes desviaciones fuera de la vertical

- Colapsos a los 65 y 83 metros de profundidad.
- A los 65 metros la tubería se encuentra despegada y el tubo inferior fuera de la vertical, lo cual impidió el paso de una bomba de 6" de diámetro.
- El nivel de bombeo con la bomba de 6" se encontraba cerca de los tazones, o sea alrededor de 58 metros, lo que ocasionaba que el pozo "boqueara".
- El nivel estático tiene un abatimiento regional de aproximadamente 1 metro por año.
- La vida útil del pozo bombeando arriba del colapso (65 metros) es muy corta, por lo que será necesario equipar a mayor profundidad, lo que implica reducir el diámetro de la bomba y por lo tanto el caudal de extracción.

d. **RECOMENDACIONES**

- Equipar con bomba sumergible de 4" de diámetro.
- Hacer del conocimiento del instalador de bombas el problema existente a los 65 metros, para que si es necesario, diseñe alguna "guía" que permita el paso de la bomba a profundidad.
- Introducir un tubo de 12 metros de longitud y 4" de diámetro a fin de determinar hasta que profundidad puede introducirse y a partir de ello determinar la longitud de la columna de la bomba.

### 3. REGISTROS DE VERTICALIDAD

#### 3.1. EL PROBLEMA

La mayor parte de los pozos no presentan una vertical perfecta. Durante su construcción, las barrenas de perforación se llegan a salir de la vertical, ocasionando desviaciones que pueden variar desde unos cuantos centímetros hasta varios metros.

La falta de verticalidad de un pozo es un problema que ~~se~~ se refleja al equiparlo y operarlo. Las tradicionales bombas de flecha consisten en una columna metálica rígida que por lo general tiene longitudes de entre 50 y 180 metros; lleva en su interior una flecha que gira a un determinado número de revoluciones por minuto. Esta larga flecha está diseñada para trabajar bajo una vertical perfecta y a falta de ello existirán desgastes prematuros y en ocasiones su rotura.

Las bombas sumergibles presentan cierta flexibilidad ya que no utilizan flecha, lo cual permite cierta tolerancia a las desviaciones fuera de la vertical.

El primer problema de la falta de verticalidad de un pozo, se presenta en el momento de su construcción, ya que si su desviación es notable puede impedir su ademado.

Es conveniente conocer la verticalidad del pozo para hacer las recomendaciones sobre su equipamiento.

### 3.2.

### EQUIPO Y METODO DE TRABAJO

Para determinar cuantitativamente las desviaciones fuera de la vertical de un pozo, se utiliza un equipo que consta de: tripie, malacate, retícula y calibradores o (canastillas de diferentes diámetros). (Figura 6.)

El método de trabajo consiste en introducir una canastilla de 2" de diámetro menor que el ademe, la cual se baja como plomada en el pozo. Se coloca una retícula de medición sobre el brocal del pozo y se miden los desplazamientos del cable que sujeta la canastilla. Por trigonometría se deduce la desviación del pozo a partir de la altura del tripie, la profundidad a la canastilla y el desplazamiento en la retícula.

En la Figura 6 se ilustra la posición del equipo al iniciar el registro, se mide  $h$ , que es la altura de la polea del tripie a la retícula; se centra el calibrador con el ademe de tal forma que las coordenadas "x", "y" sean igual a cero y orientadas "y" al norte y "x" al este; se inicia el descenso del calibrador; se seleccionan las profundidades a tomar medición, cada 1, 2 ó 3 metros, según la precisión requerida.

Al existir desviaciones en el ademe, entre el cable del malacate y la vertical se forma un ángulo ABC, que es semejante al triángulo ADE. (Figura 7). Cada triángulo tiene una resultante ( $r$ ) cuyas componentes "x" y "y" son proporcionales, de tal forma que si medimos dichas componentes a la altura de la retícula, podemos deducir las componentes a cualquier profundidad a que se encuentre el calibrador. Los componentes de éste, serán el desplazamiento real; "y"

corresponde a la dirección norte-sur y "x" a la dirección este-oeste.

Las fórmulas para obtener los desplazamientos en x' y y' son los siguientes:

$$\frac{(P + h) x}{h} = x' \quad (\text{Desviación E-W})$$

$$\frac{(P + h) y}{h} = y' \quad (\text{Desviación N-S})$$

$$\sqrt{(x')^2 + (y')^2} = r \quad (\text{Resultante})$$

La orientación de la resultante, está dada por el arc. tan  $\frac{y}{x}$ , y los signos de las componentes x, y.

### 3.3. TOLERANCIAS Y EJEMPLOS

Para la aceptación de un pozo, algunos organismos permiten una desviación máxima de un diámetro por cada 100 metros de longitud.

Otro criterio utilizado consiste en que la verticalidad de un pozo es aceptada, si permite la introducción y operación correcta del equipo de bombeo.

Conociendo la verticalidad del pozo, se puede recomendar sobre el equipo más conveniente a instalar, incluyendo profundidades y diámetros. Posiblemente en ciertos casos de

pozos desviados, sea conveniente o necesario introducir bombas de reducido diámetro. En otros casos, se podrá recomendar la instalación de bombas sumergibles, las cuales tienen tolerancia a desviaciones.

En la Figura 8 se muestra un ejemplo sobre registro de verticalidad.

En el primero de ellos correspondiente al Pozo Peñón 2, se introdujo inicialmente una canastilla de 10" de diámetro, la cual se atoró a los 223 metros de profundidad, razón por la que se cambió por otra de 8" que también se atoró y posteriormente por una de 6". La razón por la que se atoraron las canastillas fue que existe una reducción en el diámetro del ademe a dicha profundidad, lo cual fue corroborado por medio de una videograbación. En la gráfica de la hoja 3 de dicho registro, se muestra la desviación del pozo en la dirección este-oeste; en cambio, en la dirección norte-sur, prácticamente no existe desviación. En la última hoja de gráficas se representa, en planta, la posición del ademe a diferentes profundidades; en este caso se seleccionaron a 0, 63, 123 y 183 metros de profundidad.

En el segundo ejemplo, correspondiente al Pozo Xotepingo 5-B, se muestra el cálculo para obtener la resultante, así como diferentes puntos en los que se cambió de diámetro la canastilla o calibrador; posteriormente con una videograbación, se observó que a la profundidad de 46 metros, el primer atorón y cambio de canastilla se debió a la existencia de un colapso de la tubería de ademe.

#### 4. LIMPIEZA DE ADEMES

Las tuberías de ademe de los pozos pueden llegar a ser cubiertas por algún precipitado químico o por el desarrollo de colonias bacterianas, ocasionando la obturación o taponamiento de la tubería, lo cual produce una disminución del caudal de extracción.

##### 4.1. INCRUSTACION QUIMICA

Una de las causas más comunes del taponamiento es la precipitación de compuestos químicos que forman una costra de incrustación sobre la pared del ademe, disminuyendo el espacio libre de las ranuras llegando, en ocasiones, a cubrir por completo. Este efecto es más común en terrenos calcáreos, aunque también se detecta en terrenos constituidos por otros tipos de material.

Cuando a partir de una videograbación del interior del pozo se detectan tramos obstruidos, se puede efectuar una desincrustación mediante cepillado mecánico, que puede complementarse con la adición de productos químicos y agitación del pozo con pistoneo o aire.

##### 4.2. INCRUSTACION BACTERIANA

En muchos pozos se ha observado la presencia de desarrollos orgánicos de la bacteria del fierro, (bacterias Crenotrix y



Gallionella) que utilizan al hierro en solución como una fuente de energía. Crecen y se desarrollan en el interior de los pozos formando costras gelatinosas o lamosas que taponan las ranuras de los ademes y disminuyen el rendimiento del pozo. En estos casos, la aplicación del hipoclorito de sodio es una de las medidas más recomendables y eficaces, aunque debido al rápido crecimiento de las colonias bacterianas, generalmente los problemas se vuelvan a presentar poco tiempo después.

## 5. SEPARADORES DE ARENA

La extracción de arenas es un problema frecuente en la operación de los pozos de agua. La arena, debido a que en su mayoría está constituida por cuarzo, actúa como un abrasivo que desgasta las partes metálicas de la bomba. De acuerdo a la cantidad de arena extraída y a la velocidad de circulación, el desgaste en los tazones y otros implementos de la bomba, puede llegar a inutilizar el equipo rápidamente, en unos cuantos días para casos extremos. Son comunes los pozos arenosos que requieren reparación del equipo entre cada 3 y 6 meses.

La extracción de arenas es un problema de diseño constructivo, ya que al seleccionar las aberturas en las ranuras del ademe y el filtro de grava, se debe prevenir el paso de éstas hacia el interior del pozo.

En pozos que no se encuentran bien diseñados o bien áreas donde el problema de arenas es tan fuerte, que puede persistir a pesar de un buen diseño constructivo, es recomendable instalar en la parte inferior de la columna de

bombeo un desarenador. Consiste en un cilindro alargado que tiene una longitud generalmente de 6 a 12 metros; en la parte superior presenta unas ranuras a través de las cuales entra el agua; bajo ellas, se encuentra propiamente el separador, donde se realiza la separación de líquidos y sólidos; en la parte inferior, se encuentra un tubo de aproximadamente 1" de diámetro que funciona como descarga de arena.

El desarenador o separador de arena, está diseñado con el propósito específico de separar los sólidos en el líquido antes de la succión de la bomba. Los sólidos y líquidos son succionados a través de las ranuras de entrada del separador, formando una turbulencia circular que, por fuerza centrífuga, impulsa los sólidos hacia la pared del separador, donde al perder velocidad se decantan en el fondo hacia la salida de purga. La baja presión causada por la acción centrífuga, impulsa al líquido ya libre de sólidos hacia la salida del separador y a la succión de la bomba.

Los separadores descargan la arena hacia el fondo del pozo y, para evitar que las partículas desalojadas vuelvan a entrar al separador, se instala un tubo en la descarga.

El separador se coloca abajo de los tazonos o bien abajo de las bombas sumergibles.

En la Figura 9, se presentan tanto las características de funcionamiento como instalación de los separadores de arena, además de un croquis de las partes que lo constituyen y una tabla con especificaciones de diferentes tipos de separadores, de acuerdo al diámetro mínimo del ademe en que se desea instalar y al gasto de operación de la bomba.

6.

## REPARACION DE ADEMES Y ENCAMISADO

En los últimos años y principalmente debido a la innovación de la cámara de televisión para pozos, se ha conocido que es frecuente llegar a encontrar colapsos en los ademes, o sea zonas donde la tubería se encuentra rota, con salientes hacia el centro del pozo, que impiden el libre paso de un equipo de bombeo; se encuentran también "panzas" dentro del ademe que deforman y disminuyen el diámetro interior; tuberías de ademe desunidas y separadas longitudes considerables, a través de las cuales se introducen gravas y materiales de la formación hacia el pozo.

Para estos casos, suele ser recomendable la reparación del ademe o bien el encamisado del mismo.

Existen prensas hidráulicas que son introducidas al pozo y colocadas en el sitio donde existe la desviación o colapso. La prensa hidráulica rectifica el diámetro del pozo y, si es necesario, se introduce una camisa de refuerzo la cual es "planchada" contra las paredes del pozo, utilizando para ello a la prensa hidráulica. (Figuras 10)

En otras ocasiones, tramos de pozo pueden ser encamisados introduciendo un ademe de menor diámetro y colocando un filtro de grava en el espacio anular entre las dos tuberías. El inconveniente de esta operación, es la disminución en el diámetro final disponible para la introducción del equipo de bombeo.

7.

## DESAZOLVES Y ELIMINACION DE OBSTRUCCION

Otros problemas que frecuentemente llegan a presentar los pozos son el azolve y la presencia de materiales diversos obstruyendo el pozo.

Cuando un pozo tiene un cierto tiempo de estar trabajando, es común que se llegue a presentar azolve en el fondo. La cantidad de azolve depende del tipo de terreno en que se encuentre, así como al diseño constructivo del pozo. En terrenos con materiales sueltos donde el ademe presenta ranuras de gran abertura, el pozo será más susceptible a la acumulación de azolves. En algunos casos, roturas en el ademe pueden ocasionar la introducción de grava del filtro y material de la formación hacia el interior del pozo, llegando a azolvarlo en gran parte

Un problema que se afronta actualmente en casi todo el país, es la sobreexplotación de acuíferos y su consecuente abatimiento de los niveles piezométricos, lo cual origina que constantemente se requiera alargar las columnas de bombeo. En muchos casos, el azolve de los pozos impide la colocación de longitudes mayores de la columna de bombeo. Este, es el momento en que la mayor parte de los usuarios observan la presencia de azolve y realizan tareas para eliminarlo.

El desazolve se efectúa generalmente con máquinas perforadoras de percusión, pequeñas, cuya movilidad permite su funcionamiento a bajo costo. El desazolve se realiza removiendo el fondo con una barrera pequeña y extrayéndolo con una herramienta denominada cuchara.

El desazolve puede realizarse también con el método neumático, consistente en producir un sifón mediante la inyección de aire (con un compresor) a través de una tubería, que tiende a salir por una segunda tubería. En el punto de retorno se produce una succión que arrastra el azolve del pozo hacia la superficie.

Otro problema que suele existir en los pozos, es la existencia de materiales que obstruyen el paso del equipo de bombeo.

Cuando se desconoce el tipo de obstrucción, es conveniente conocer ésta en base a una videograbación, a partir de la cual se programa la acción conveniente a realizar para su eliminación. Las obstrucciones más comunes son la presencia de fragmentos de madera o metal que son arrojados deliberada o accidentalmente dentro del pozo, así como partes de columnas de equipos de bombeo.

Los fragmentos de madera o metálicos pueden ser extraídos o empujados hacia el fondo del pozo. Los fragmentos o partes de equipos de bombeo llegan a ser extraídos por medio de máquinas perforadoras utilizando aditamentos especiales.

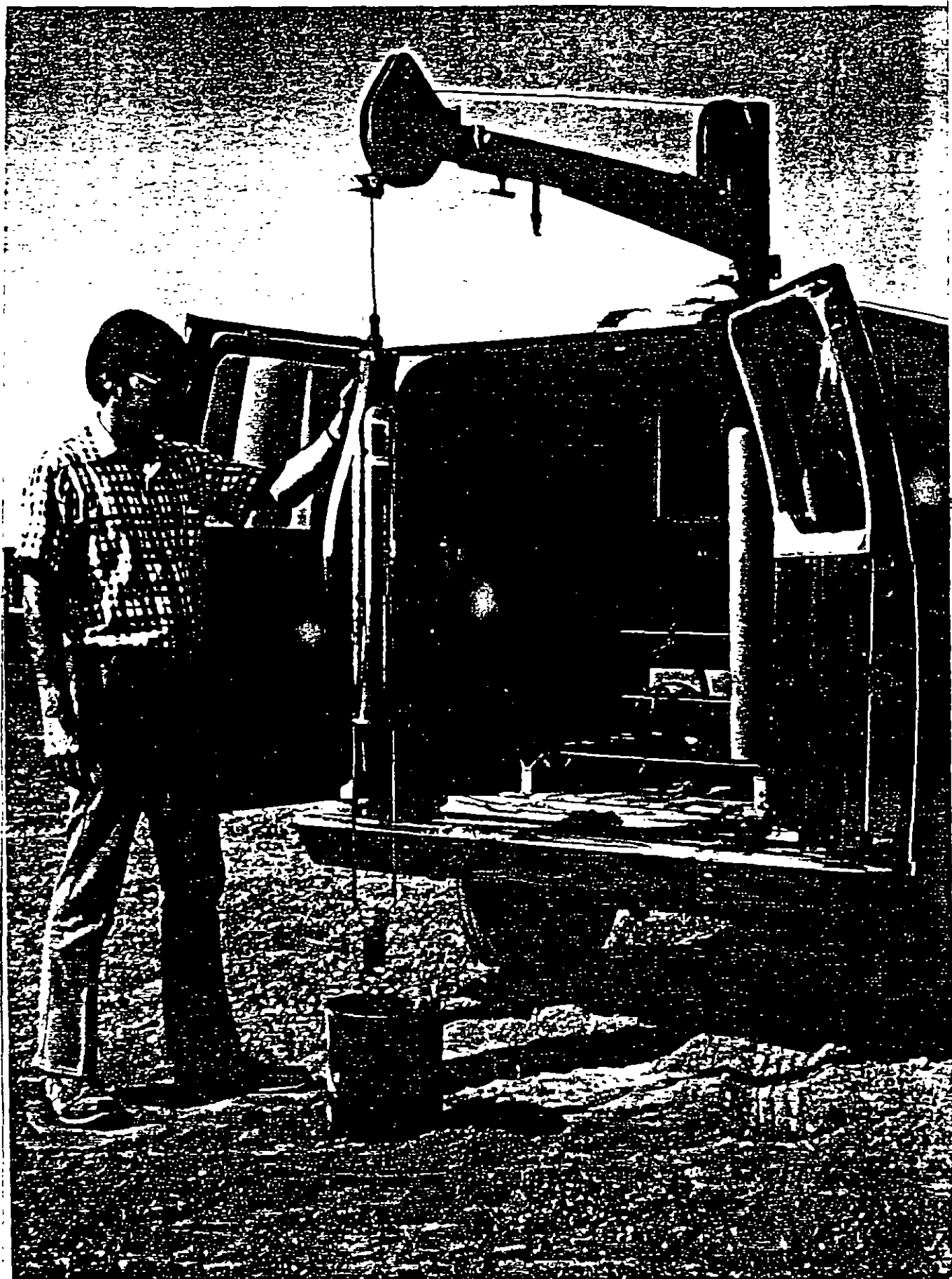
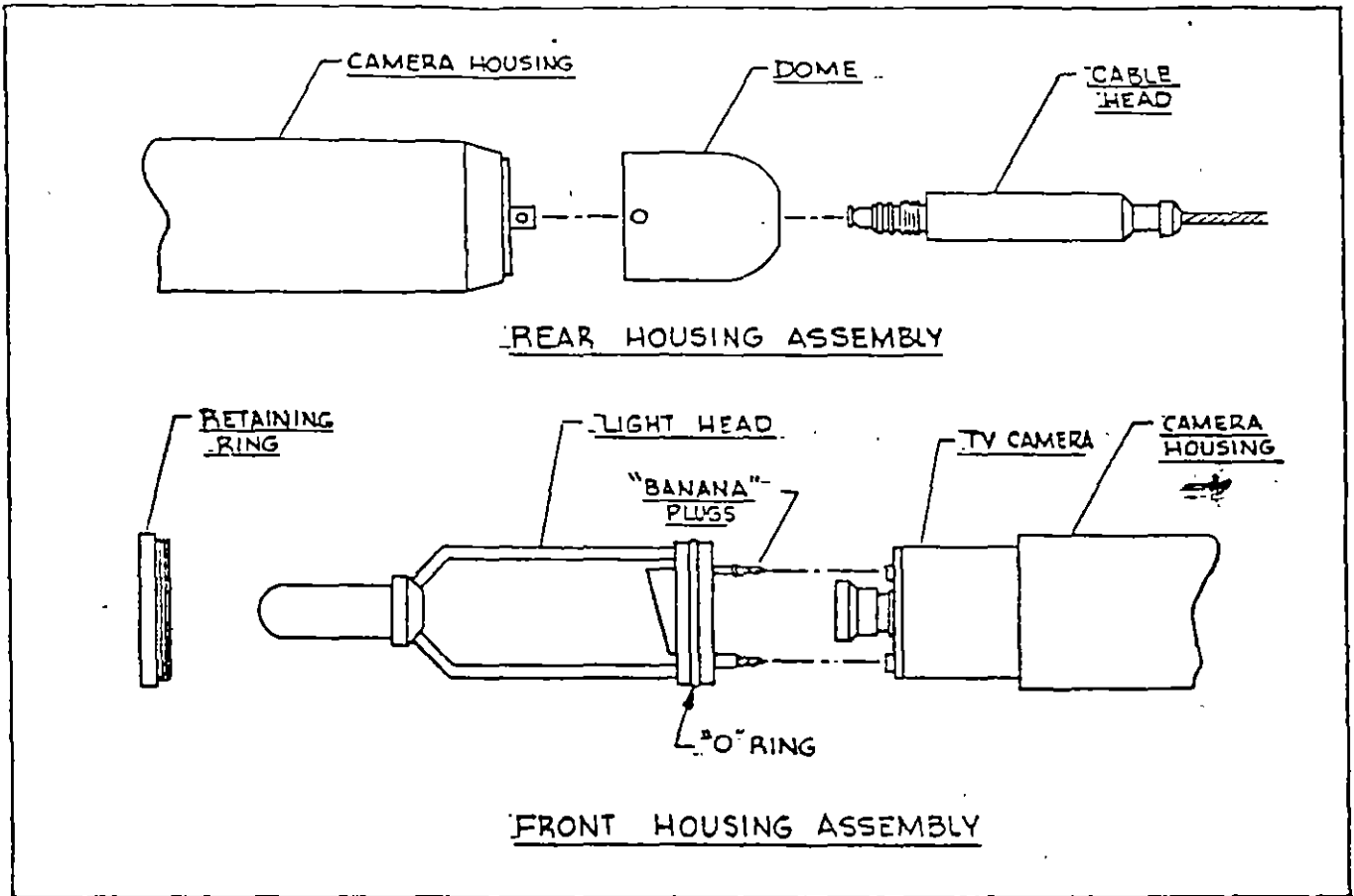


FIG  
1

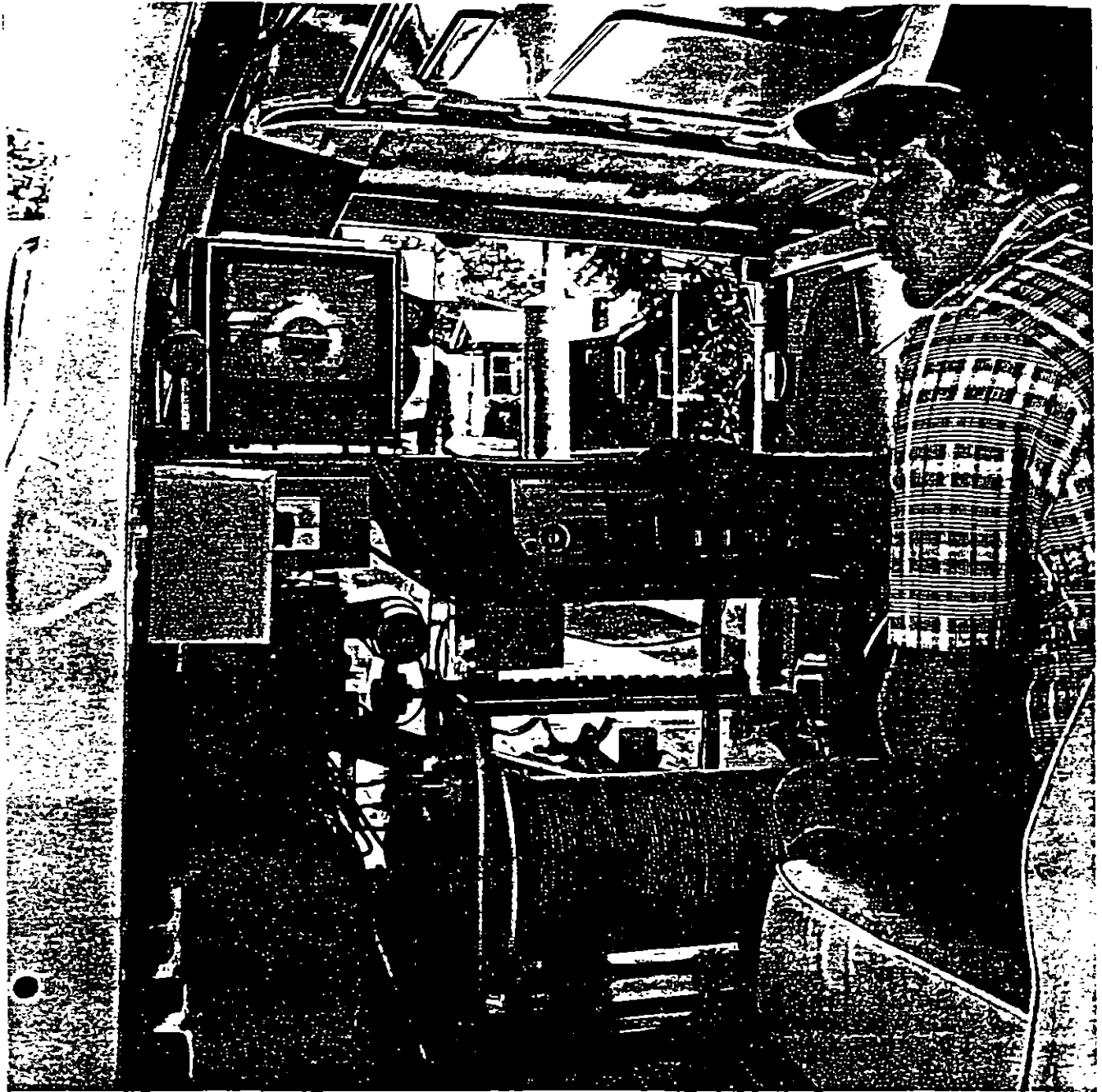


CAMERA HOUSING ASSEMBLY

ASSEMBLING CAMERA AND LIGHTHEAD TO OUTER HOUSING

FIGURE 2

# Down-Hole Television



## LOG-MASTER MODEL 306-TV

Portable Down-Hole Television Unit, Including:

Model LMH-20-POE Hoist  
1500' of Coaxial Cable  
Model LM-1750 Generator  
Down-Hole Camera Housing  
Television Camera  
Model LMTV Power Supply Panel  
Television Monitor  
Video Tape Recorder and Player  
Microphone and Speaker  
Tool Kit  
Spare Parts and Supply Kit  
Operators Manual

### OPTIONS

1. Model 346A-TV

Model 306-TV plus LMR-D Recorder, Panel, and Down-Hole Tool to run Spontaneous Potential and Single Point Resistance Surveys.

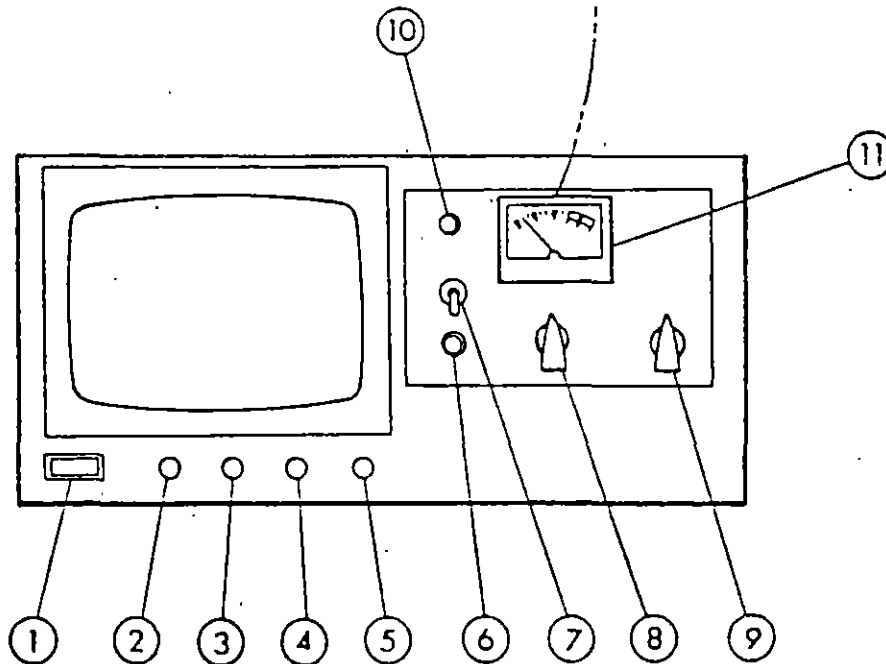
2. Model 346B-TV

Model 346A-TV plus LMG-15-3 Gamma Ray Tool.

FIGURA 3



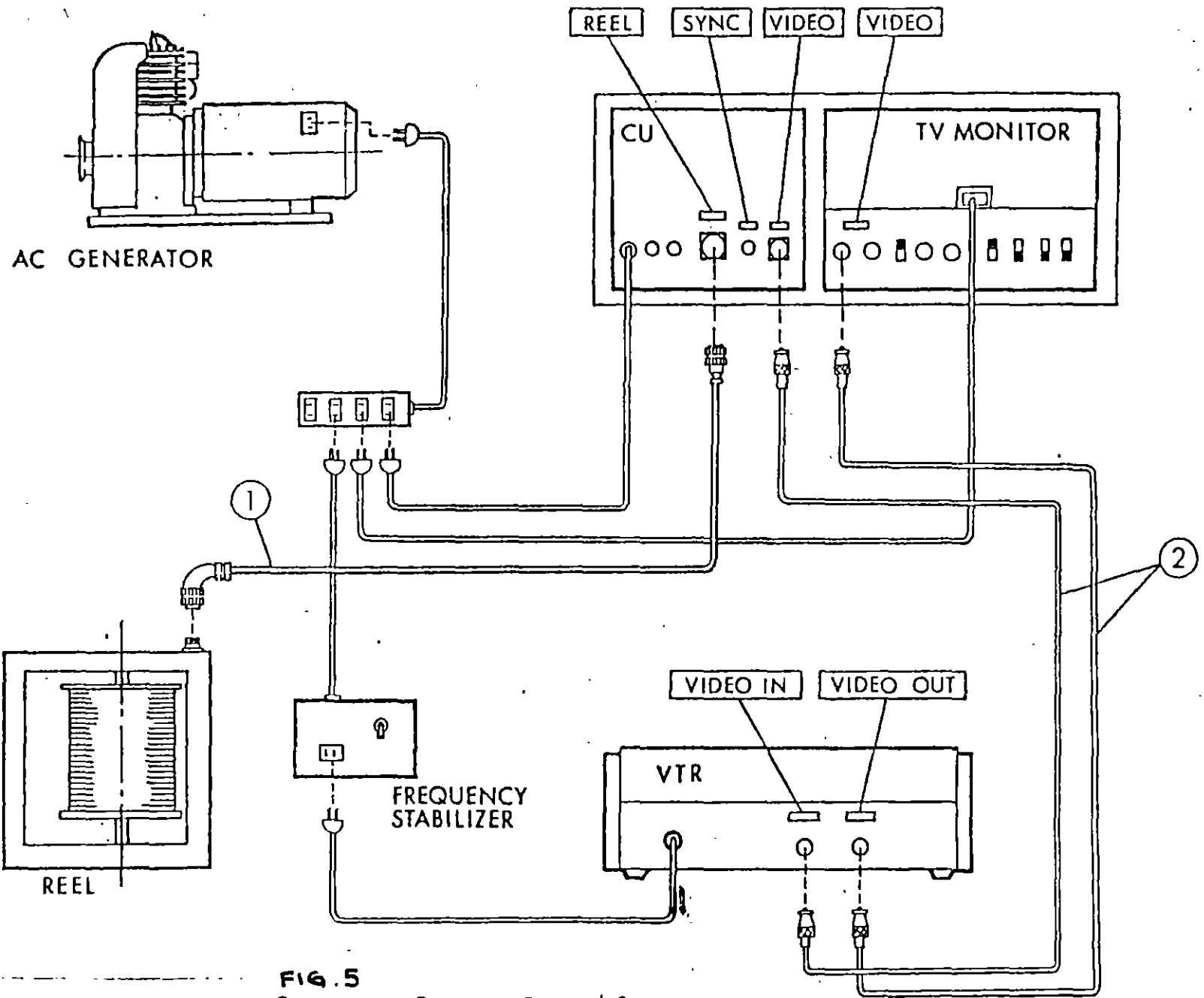
SWITCH AT:	METER WILL INDICATE :
1	Camera Video Output Level
2	Voltage at Lights
3	Amps Drawn by Lights & Camera
4	AC Input Voltage Level
5	12V Power Supply Output



#### CONTROLS:

- ① Pilot Light-TV Monitor Power
- ② Horizontal Hold
- ③ Vertical Hold
- ④ Brightness (Monitor Picture)
- ⑤ Contrast/ON-OFF (Pull knob to turn Monitor ON)
- ⑥ Footage Reset (Press to zero out number display)
- ⑦ ON-OFF Switch (Power to camera and lights)
- ⑧ Lamp Brightness Control
- ⑨ Test Meter Selector Switch
- ⑩ Pilot Light-Control Unit Power
- ⑪ Test Meter

FIG 4

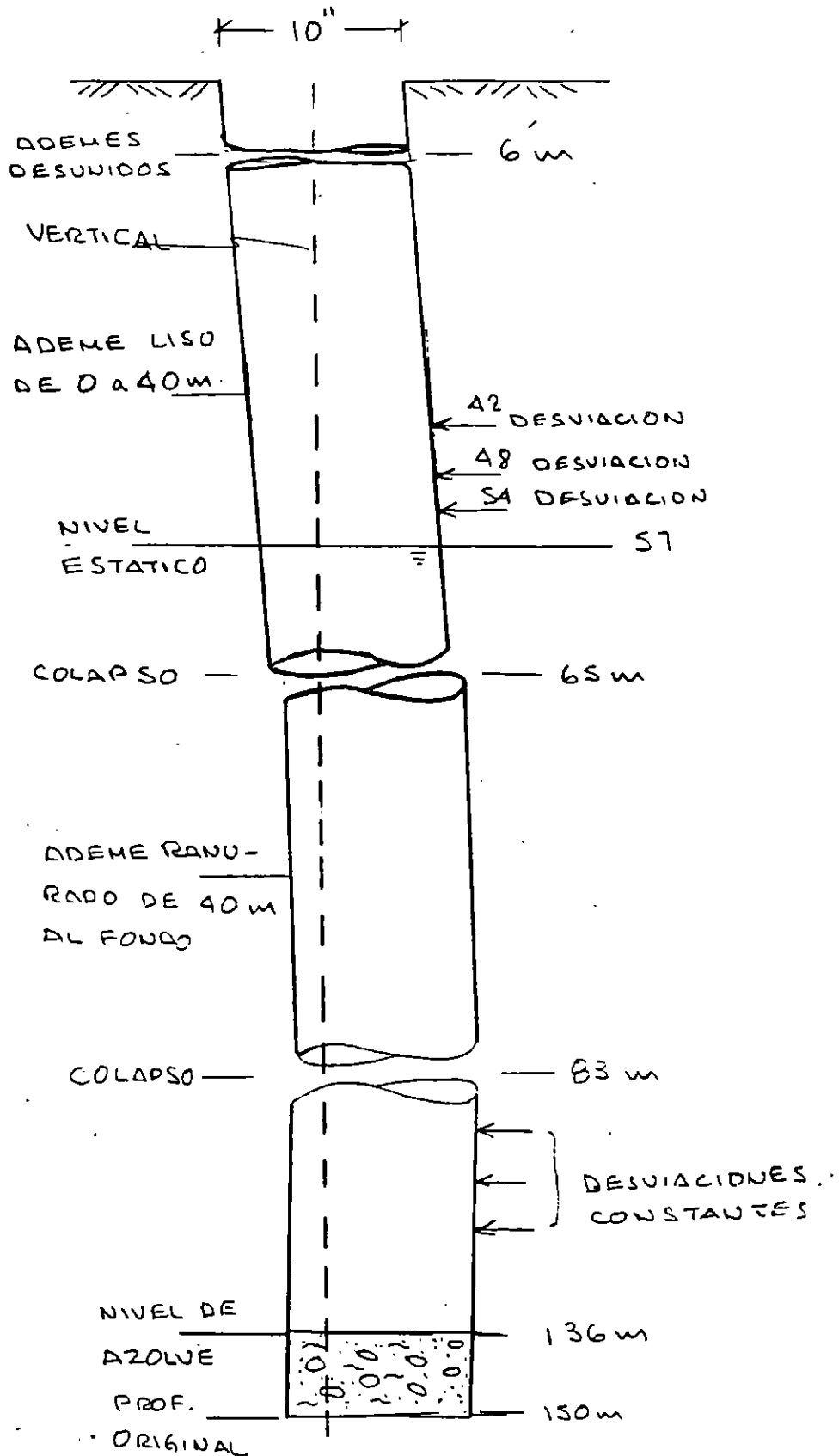


**FIG. 5**  
Connections - Generator Powered System

POZO RANCHO EL GARAMBULLO

DOLORES HIDALGO, GTO.

FIG 5.1



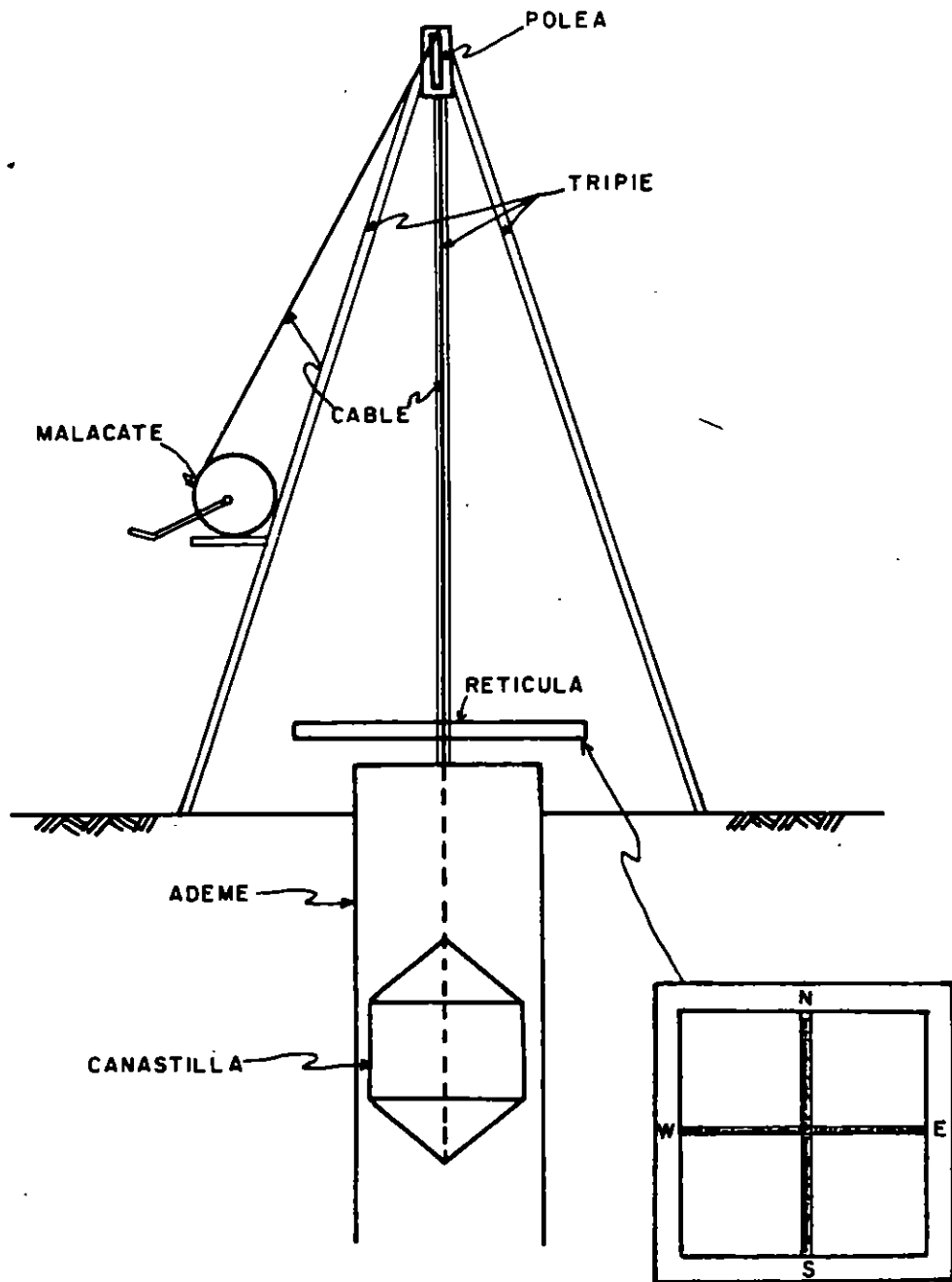


FIGURA 6 REGISTRO DE VERTICALIDAD

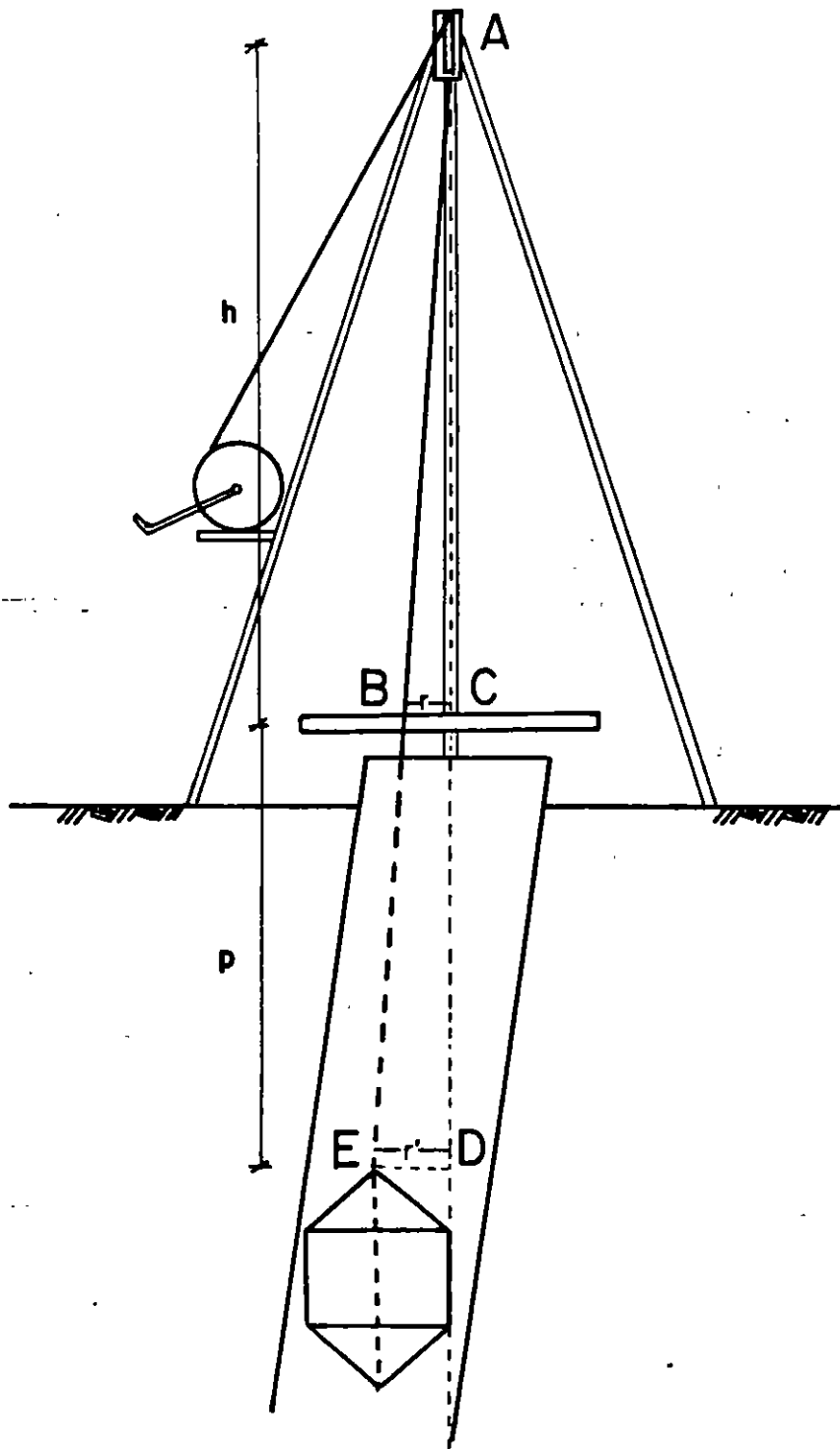


FIGURA 7 REGISTRO DE VERTICALIDAD

# REGISTRO DE VERIFICACION

POZO N° \_\_\_\_\_ NOMBRE PEÑON 2 (ESCUELA)

ALTURA DE LA POLEA A LA RETICULA 2.25 m.

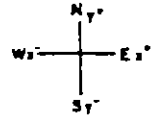
DIAMETRO ADEME 12" DIAMETRO CANASTILLA 10" 6"

PROFUNDIDAD \_\_\_\_\_ FECHA 27 de Julio 1987

FIG. 8

**ANEXO III**

HOJA 1 DE 10



PROFUNDIDAD EN m.	LECT. X E W m.	LECT. Y N S m.	DESVIACION arc tan $\frac{Y}{X}$	DESPLAZAMIENTO m.		DESPLAZAMIENTO m.		RESULTANTE m.
				E (+)	W (-)	N (+)	S (-)	
3	0.000	0.000						
6	+ 0.008	0.000	0	0.022		0		0.022
9	+ 0.010	+ 0.001	5.7	0.050		0.005		0.050
12	+ 0.012	0.000	0	0.071		0		0.071
15	+ 0.012	- 0.001	4.8	0.092			0.008	0.092
18	+ 0.012	- 0.003	14.0	0.108			0.027	0.111
21	+ 0.011	- 0.004	20.0	0.114			0.041	0.121
24	+ 0.011	- 0.004	20.0	0.128			0.047	0.136
27	+ 0.010	- 0.003	16.7	0.130			0.039	0.136
30	+ 0.008	- 0.003	20.5	0.115			0.043	0.123
33	+ 0.007	- 0.003	23.2	0.110			0.047	0.120
36	+ 0.007	- 0.003	23.2	0.119			0.051	0.129
39	+ 0.006	- 0.003	26.6	0.110			0.055	0.123
42	+ 0.007	- 0.003	23.2	0.138			0.059	0.150
45	+ 0.007	- 0.002	15.9	0.147			0.042	0.153
48	+ 0.007	- 0.002	15.9	0.156			0.045	0.162
51	+ 0.007	- 0.002	15.9	0.166			0.047	0.172
54	+ 0.007	0.000	0	0.175			0	0.175
57	+ 0.008	0.000	0	0.184			0	0.184
60	+ 0.008	+ 0.001	7.1	0.221		0.028		0.223
63	+ 0.010	+ 0.001	5.7	0.290		0.029		0.291
66	+ 0.008	+ 0.001	7.1	0.243		0.030		0.245
69	+ 0.008	+ 0.001	7.1	0.253		0.032		0.255
72	+ 0.007	0.000	0	0.231		0		0.231
75	+ 0.008	+ 0.001	7.1	0.275		0.034		0.277
78	+ 0.008	0.000	0	0.285		0		0.285
81	+ 0.008	0.000	0	0.296		0		0.296
84	+ 0.006	- 0.001	9.5	0.230			0.038	0.233
87	+ 0.006	- 0.002	18.4	0.238			0.079	0.251
90	+ 0.008	- 0.001	7.1	0.328			0.041	0.330
93	+ 0.007	- 0.001	8.1	0.296			0.042	0.299
96	+ 0.007	- 0.001	8.1	0.306			0.044	0.309
99	+ 0.005	- 0.002	21.6	0.225			0.090	0.242
102	+ 0.007	- 0.001	8.1	0.324			0.046	0.327
105	+ 0.007	- 0.002	15.9	0.334			0.095	0.347
108	+ 0.008	- 0.001	8.1	0.343			0.049	0.346
111	+ 0.007	- 0.001	8.1	0.352			0.050	0.355
114	+ 0.007	- 0.002	15.9	0.362			0.103	0.376
117	+ 0.007	- 0.002	15.9	0.371			0.106	0.386

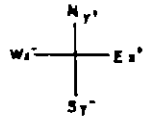
# REGISTRO DE VERTICALIDAD

POZO N° 164 NOMBRE PEÑON 2 (ESCUELA)

ALTURA DE LA POLEA A LA RETICULA 2.25 m.

DIAMETRO ADEME 12" DIAMETRO CANASTILLA 10", 6"

PROFUNDIDAD \_\_\_\_\_ FECHA 27 de Julio 1987



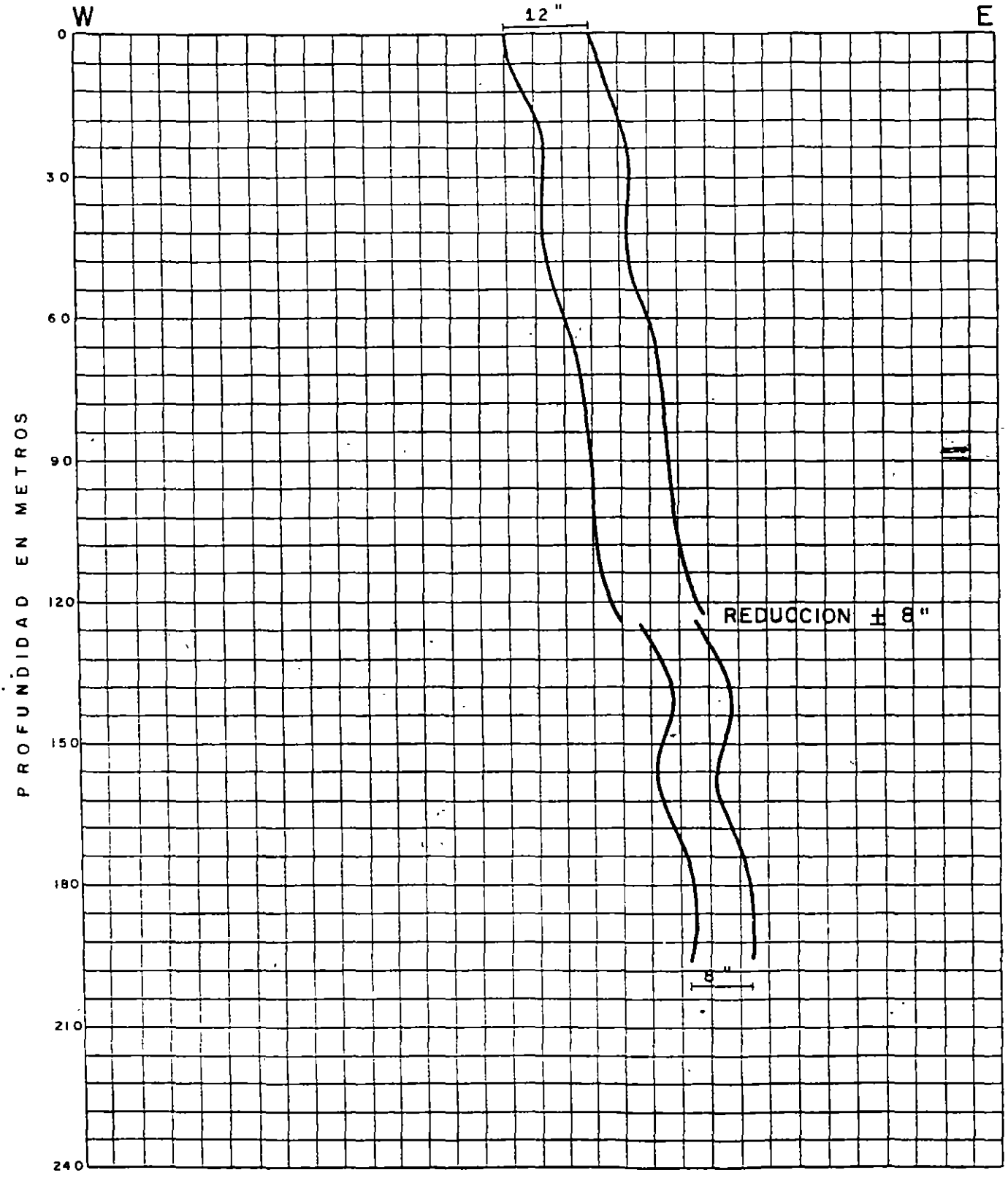
PROFUNDIDAD EN m.	LECT. X		LECT. Y		DESVIACION $\angle$ arc. tan $\frac{y}{x}$	DESPLAZAMIENTO m.		DESPLAZAMIENTO m.		RESULTANTE m.
	E	W	N	S		E (+)	W (-)	N (+)	S (-)	
120	+ 0.006		- 0.002		15.9	0.371			0.106	0.386
123	+ 0.008		- 0.001		7.1	0.445			0.056	0.448
1	SE ATORA CANASTILLA DE 10" Y 8". SE BAJO UNA DE 6"									
126	+ 0.001		0.000		0	0.057			0	0.057
129	0.000		0.000		0	0			0	0
132	+ 0.001		- 0.001		45.0	0.060			0.060	0.085
135	+ 0.002		0.000		0	0.122			0	0.122
138	+ 0.003		+ 0.001		18.4	0.187		0.062		0.197
141	+ 0.002		0.000		0	0.127		0		0.127
144	+ 0.002		- 0.002		45.0	0.130			0.130	0.184
147	+ 0.002		+ 0.001		26.6	0.133		0.066		0.148
150	+ 0.003		+ 0.002		33.7	0.203		0.135		0.244
153	0.000		+ 0.001		90.0	0		0.069		0.069
156	+ 0.001		+ 0.001		45.0	0.070		0.070		0.099
159	+ 0.001		+ 0.001		45.0	0.072		0.072		0.102
162	+ 0.003		+ 0.001		18.4	0.219		0.073		0.231
165	+ 0.002		- 0.001		26.6	0.149			0.074	0.166
168	+ 0.002		- 0.001		26.6	0.151			0.076	0.169
171	+ 0.002		+ 0.001		26.6	0.154		0.077		0.172
174	+ 0.003		- 0.001		18.4	0.235			0.078	0.247
177	+ 0.001		- 0.001		45.0	0.080			0.080	0.113
180	+ 0.002		- 0.001		26.6	0.162			0.081	0.181
183	+ 0.004		0.000		0	0.329			0	0.329
186	+ 0.001		0.000		0	0.084			0	0.084
189	+ 0.002		0.000		0	0.170			0	0.170
192	+ 0.002		0.000		0	0.173			0	0.173
195	+ 0.002		0.000		0	0.175			0	0.175
*	A 123 m SE CENTRO LA CANASTILLA DE 6"									

# REGISTRO DE VERTICALIDAD

POZO N° 108 NOMBRE PEÑON 2 (ESCUELA)  
ALTURA DE LA POLEA A LA RETICULA 2.25 m.  
DIAMETRO ADEME 12" DIAMETRO CANASTILLA 10", 6"  
PROFUNDIDAD \_\_\_\_\_ m. . FECHA 27 de Julio 1987

ESCALA HORIZONTAL — 1:20

ESCALA VERTICAL — 1:1200



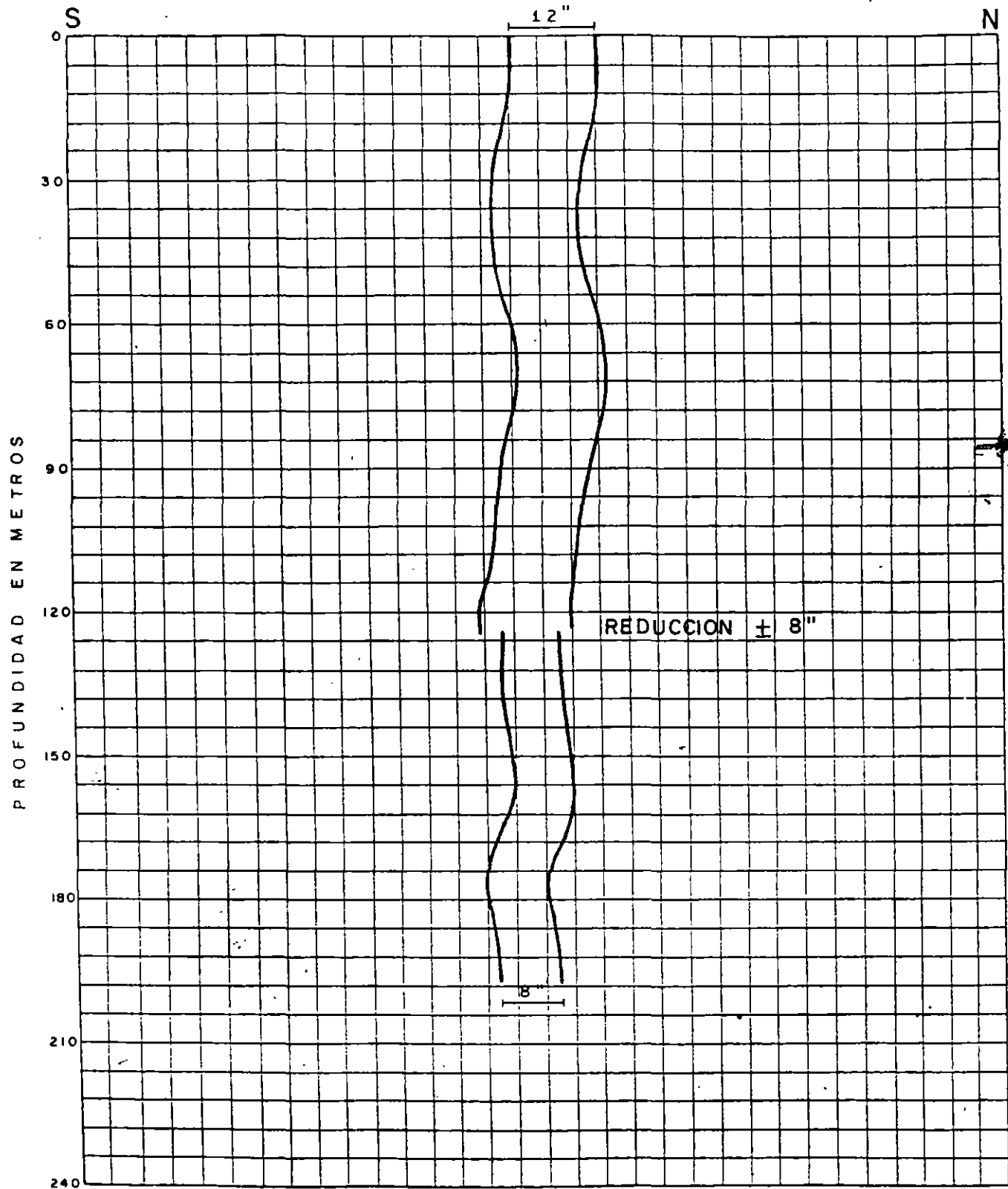


# REGISTRO DE VERTICALIDAD

POZO N° 107 NOMBRE PEÑON 2 (ESCUELA)  
ALTURA DE LA POLEA A LA RETICULA 2.25 m.  
DIAMETRO ADEME 12" DIAMETRO CANASTILLA 10", 6"  
PROFUNDIDAD \_\_\_\_\_ m. FECHA 27 de Julio 1987

ESCALA HORIZONTAL - 1:20

ESCALA VERTICAL - 1:1,200

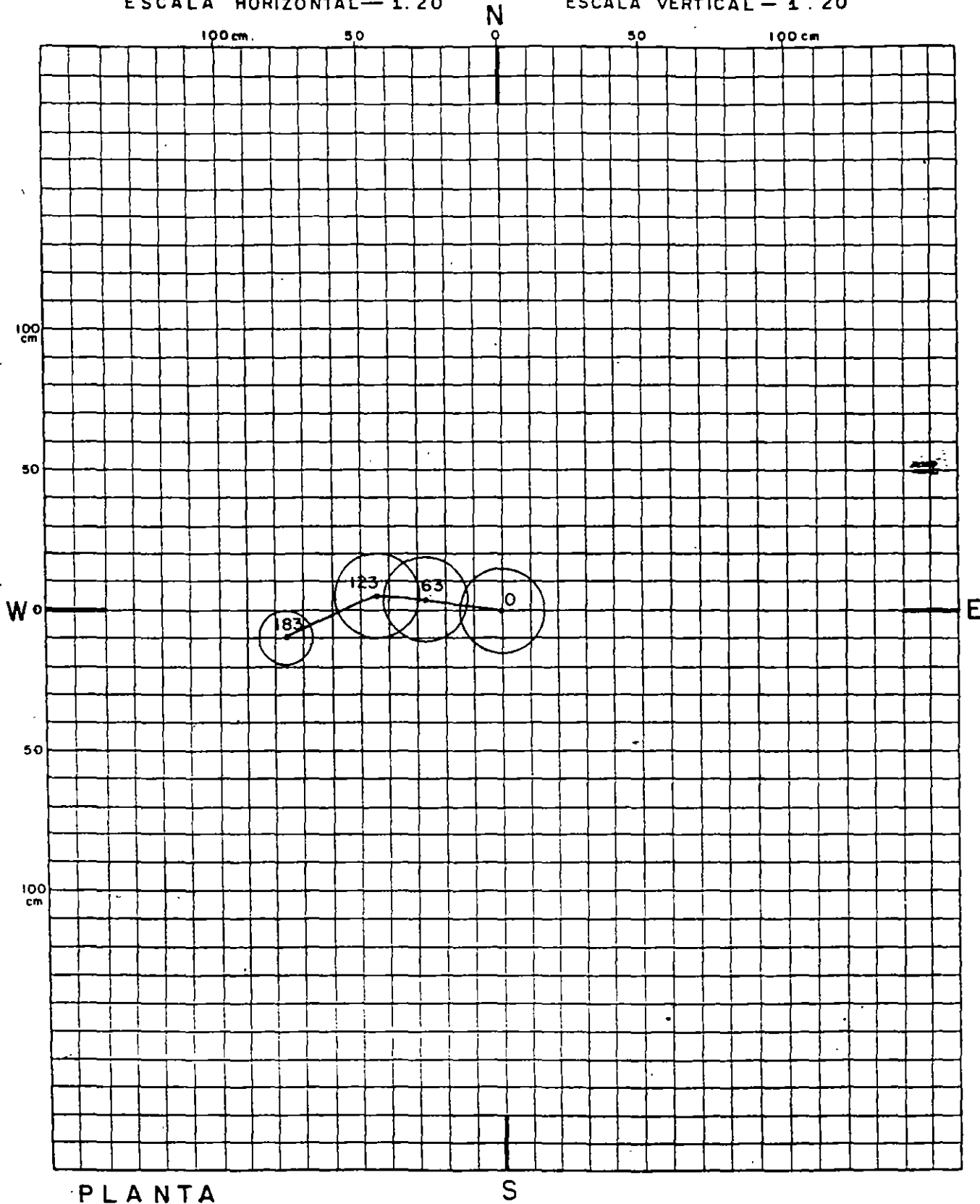


# REGISTRO DE VERTICALIDAD

POZO N° 103 NOMBRE PEÑON 2 (ESCUELA)  
ALTURA DE LA POLEA A LA RETICULA 2.25 m.  
DIAMETRO ADEME 12" DIAMETRO CANASTILLA 10" 6"  
PROFUNDIDAD \_\_\_\_\_ m. FECHA 27 de Julio 1987

ESCALA HORIZONTAL — 1 : 20

ESCALA VERTICAL — 1 : 20



PLANTA

S

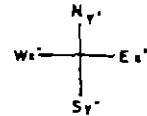
# REGISTRO DE VERTICALIDAD

POZO N° \_\_\_\_\_ NOMBRE XOTEPINGO 5-B

ALTURA DE LA POLEA A LA RETICULA 1.72 m.

DIAMETRO ADEME 12" DIAMETRO CANASTILLA 10", 8", 6"

PROFUNDIDAD \_\_\_\_\_ FECHA 9 de Julio 1987



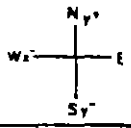
PROFUNDIDAD EN m.	LECT. X		LECT. Y		DESVIACION arc. tan $\frac{y}{x}$	DESPLAZAMIENTO m.		DESPLAZAMIENTO m.		RESULTANTE m.
	E	W	N	S		E (+)	W (-)	N (+)	S (-)	
3	0.000		0.000		0		0		0	0
6	0		0		0		0		0	0
9	- 0.001		0.000		0		0.006		0	0.006
12	- 0.005		- 0.001		11.3		0.040		0.008	0.041
15	- 0.005		- 0.003		31.0		0.049		0.029	0.057
18	- 0.005		- 0.003		31.0		0.057		0.034	0.067
21	- 0.006		- 0.003		26.6		0.079		0.040	0.089
24	- 0.005		- 0.002		21.8		0.075		0.030	0.080
27	- 0.005		- 0.002		21.8		0.083		0.033	0.090
30	- 0.005		0.000		0		0.092		0	0.092
33	- 0.005		+ 0.001		11.3		0.101	0.020		0.103
36	- 0.005		+ 0.002		21.8		0.110	0.044		0.118
39	- 0.002		+ 0.002		45.0		0.047	0.047		0.067
42	- 0.004		+ 0.002		26.6		0.102	0.051		0.114
45	- 0.002		+ 0.002		45.0		0.054	0.054		0.077
NO PASO CANASTILLA DE 10" SE CAMBIO POR UNA DE 8"										
48	0.000		0.000		0		0		0	0
51	- 0.001		- 0.002		63.4		0.031		0.061	0.068
54	- 0.001		- 0.002		63.4		0.032		0.065	0.072
57	- 0.001		- 0.002		63.4		0.034		0.068	0.076
60	- 0.001		- 0.001		45.0		0.036		0.036	0.051
63	- 0.001		- 0.001		45.0		0.038		0.038	0.053
69	0.000		- 0.002		90.0		0		0.082	0.082
72	- 0.001		- 0.002		63.4		0.043		0.086	0.096
75	- 0.001		- 0.002		63.4		0.045		0.089	0.100
78	- 0.000		- 0.001		90.0		0		0.046	0.046
SE ATORA CANASTILLA DE 8" SE BAJO UNA DE 6"										
81	0.000		0.000		0		0		0	0
84	0.000		0.000		0		0		0	0
87	0.000		0.000		0		0		0	0
90	0.000		- 0.001		90.0		0		0.053	0.053
93	0.000		- 0.001		90.0		0		0.055	0.055
96	+ 0.001		- 0.001		45.0	0.057			0.057	0.080
99	0.000		+ 0.001		90.0	0		0.058		0.058
102	0.000		- 0.001		90.0	0			0.060	0.060
105	0.000		+ 0.001		90.0	0		0.062		0.062
108	0.000		0.000		0	0		0		0
111	0.000		0.000		0	0		0		0

POZO N° \_\_\_\_\_ NOMBRE XOTEPINGO 5-B

ALTURA DE LA POLEA A LA RETICULA 1.72 m.

DIAMETRO ADEME 12" DIAMETRO CANASTILLA 10", 8", 6"

PROFUNDIDAD \_\_\_\_\_ FECHA 9 de Julio 1987



PROFUNDIDAD EN m.	LECT. X		LECT. Y		DESVIACION arc. tan $\frac{y}{x}$	DESPLAZAMIENTO m.		DESPLAZAMIENTO m.		RESULTANTE m.
	E	W	N	S		E (+)	W (-)	N (+)	S (-)	
114	0.000		0.000		0	0		0		0
117	0.000		0.000		0	0		0		0
120	0.000		0.000		0	0		0		0
123	0.000		0.000		0	0		0		0
126	0.000		0.000		0	0		0		0
129	0.000		0.000		0	0		0		0
132	0.000		0.000		0	0		0		0
135	+ 0.001		+ 0.001		45.0	0.079		0.079		0.112
138	+ 0.003		+ 0.001		18.4	0.244		0.081		0.257
141	+ 0.001		0.000		0	0.083		0		0.083
144	0.000		0.000		0	0		0		0
147	0.000		0.000		0	0		0		0
150	+ 0.003		- 0.001		18.4	0.265			0.088	0.279
153	+ 0.001		+ 0.001		45.0	0.090		0.090		0.127
156	+ 0.001		+ 0.002		63.4	0.092		0.183		0.205
159	+ 0.001		0.000		0	0.093		0		0.093
162	+ 0.002		0.000		0	0.190		0		0.190
165	+ 0.002		0.000		0	0.194		0		0.194
168	+ 0.001		+ 0.001		45.0	0.099		0.099		0.139
171	+ 0.002		- 0.001		26.6	0.200			0.100	0.224
174	0.000		0.000		0	0			0	0
177	0.000		0.000		0	0			0	0
180	+ 0.003		- 0.001		18.4	0.317			0.106	0.334
183	+ 0.001		- 0.001		45.0	0.107			0.107	0.152
186	+ 0.002		- 0.003		56.3	0.218			0.327	0.393
SE ATORA CANASTILLA DE 6"										

# REGISTRO DE VERTICALIDAD

POZO N° \_\_\_\_\_

NOMBRE XOTEPINGO 5-B

ALTURA DE LA POLEA A LA RETICULA 1.72 m.

DIAMETRO ADEME 12"

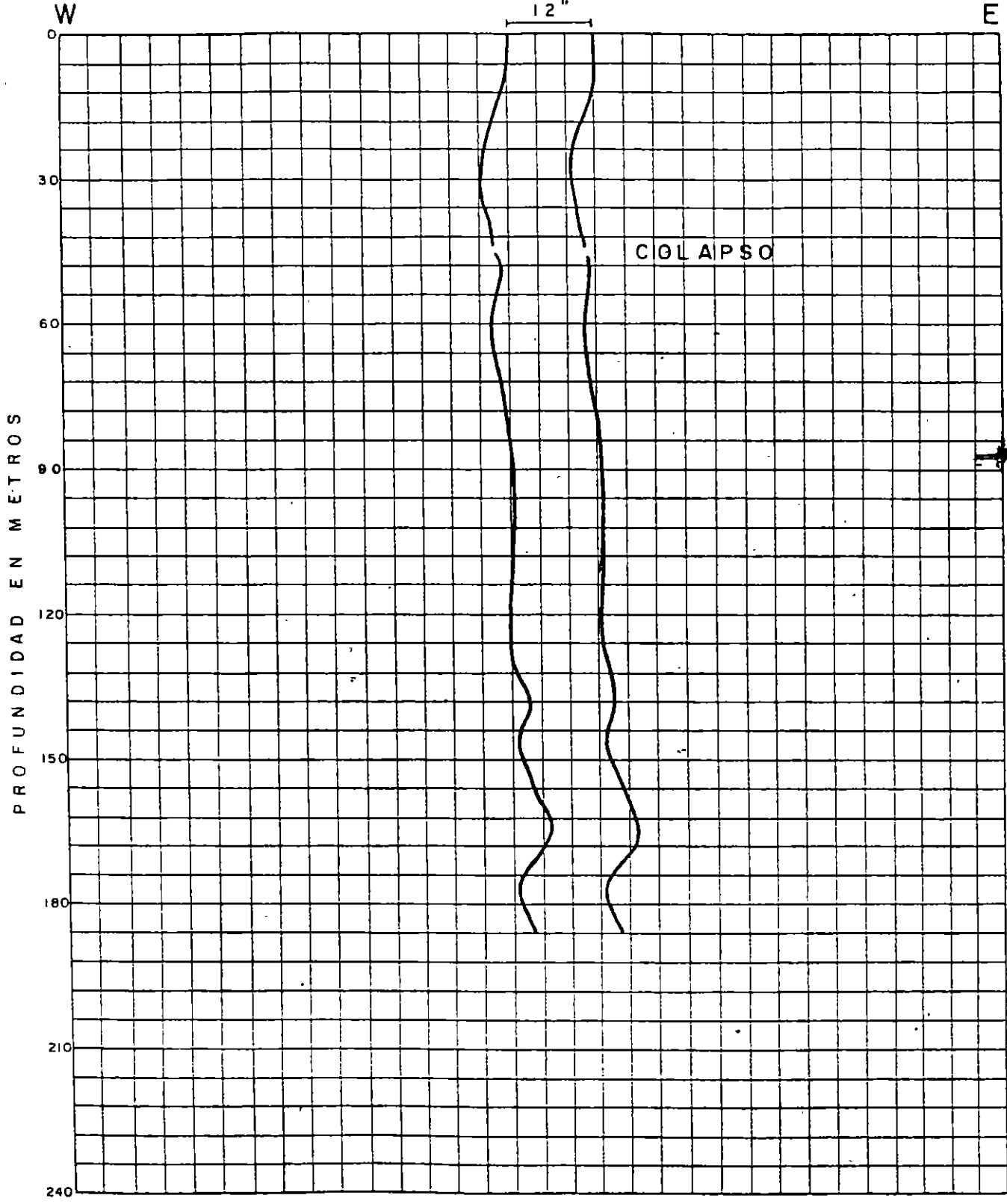
DIAMETRO CANASTILLA 10", 8", 6"

PROFUNDIDAD \_\_\_\_\_ m.

FECHA 9 de Julio 1987

ESCALA HORIZONTAL-1:20

ESCALA VERTICAL-1:200



# REGISTRO DE VERTICALIDAD

POZO N° \_\_\_\_\_

NOMBRE XOTEPINGO 5-B

ALTURA DE LA POLEA A LA RETICULA 1.72 m.

DIAMETRO ADEME 12"

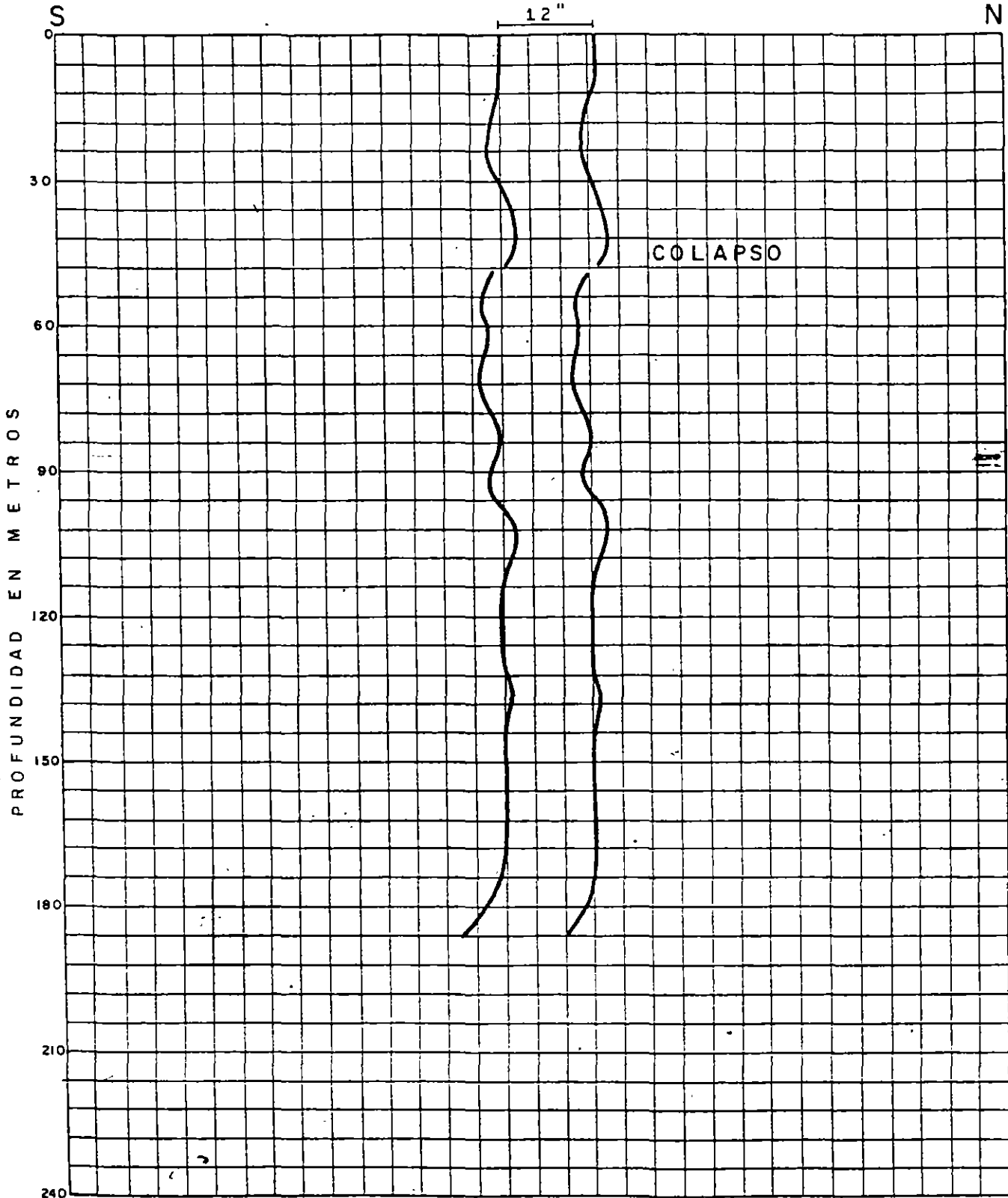
DIAMETRO CANASTILLA 10", 8", 6"

PROFUNDIDAD \_\_\_\_\_ m.

FECHA 9 de Julio 1987

ESCALA HORIZONTAL - 1:20

ESCALA VERTICAL - 1:200



# REGISTRO DE VERTICALIDAD

POZO N° \_\_\_\_\_

NOMBRE XOTEPINGO 5-B

ALTURA DE LA POLEA A LA RETICULA 1.72 m.

DIAMETRO ADEME 12"

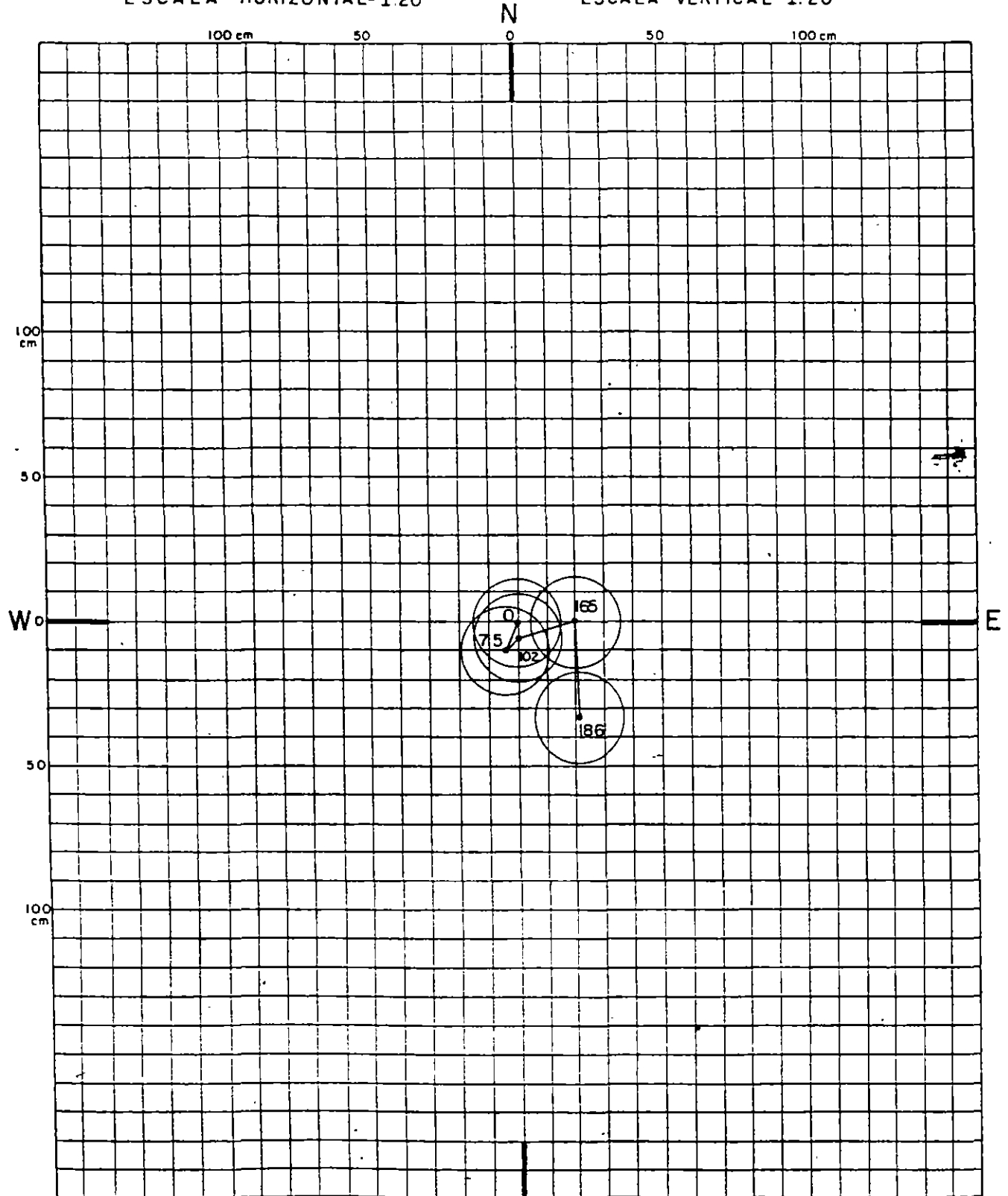
DIAMETRO CANASTILLA 10", 8", 6"

PROFUNDIDAD \_\_\_\_\_ m.

FECHA 9 de Julio 1987

ESCALA HORIZONTAL-1:20

ESCALA VERTICAL-1:20



PLANTA

S

# SEPARADORES DE ARENA

## Para bombas tipo turbina y sumergible

### SELECCION E INSTALACION

#### 1.- FUNCIONAMIENTO :

Los separadores de arena están diseñados con el propósito específico de separar los sólidos en el líquido ANTES de la succión de la bomba. Los líquidos y sólidos son succionados a través de las ranuras de entrada del separador formando una turbulencia circular, que por fuerza centrífuga impulsa los sólidos hacia la pared del separador, que al perder velocidad se decantan en el fondo hacia la salida de purga. La baja presión causada por la acción centrífuga, impulsa al líquido ya libre de sólidos hacia la salida del separador y a la succión de la bomba.

#### 2.- INSTALACION :

**A)** Los separadores descargan la arena hacia el fondo del pozo y, para evitar que las partículas desalojadas vuelvan a entrar al separador, debe instalarse un tubo en la descarga, (ver pág. 2). Durante la instalación de la tubería de descarga de los sólidos, ésta debe estar equipada con un dispositivo que la mantenga en el centro para asegurarse que no se dañe o rompa.  
Para descarga en la superficie u otro lugar remoto, se puede utilizar un sistema EDUCTOR (periódico) ó un sistema EYECTOR (continuo).

#### **B) MODELOS PARA BOMBA TURBINA**

Los separadores se fabrican con un acoplador en la salida del agua libre de sólidos (ver tabla 2). El separador se proporciona con soportes para levantar en el acoplador en los modelos "E" al "KKA" que sirven para introducir y sostener el separador y tubería de descarga de sólidos, en el ademe del pozo. Una vez asegurados, proceda a la conexión a la succión de la bomba y continúe con la instalación del equipo de bombeo.

#### **C) MODELOS PARA BOMBA SUMERGIBLE**

Para hacer funcionar de manera adecuada los separadores, la motobomba sumergible debe ser introducida en una coraza (ver diagrama pág. 2 y 3) y ésta conectada al separador (ver pág. 3). Con la motobomba asegurada en la coraza, el acoplador de salida de agua libre de sólidos, se conecta a la columna. Continúe la instalación del equipo de bombeo.

**D)** Una vez instalados los separadores de arena, NO requieren de mantenimiento constante.- Los eductores o eyectores deben ser operados de acuerdo con las instrucciones del fabricante.  
Los separadores de arena deben ser operados de acuerdo al rango de flujo indicado en la tabla de la pág. 2, colocando el collarín de flujo ajustable en la posición adecuada (ver pág. 3).  
Estas instrucciones se aplican únicamente para la instalación de separadores de arena en pozos profundos. Sin embargo se pueden usar en otras aplicaciones (ver contra portada).

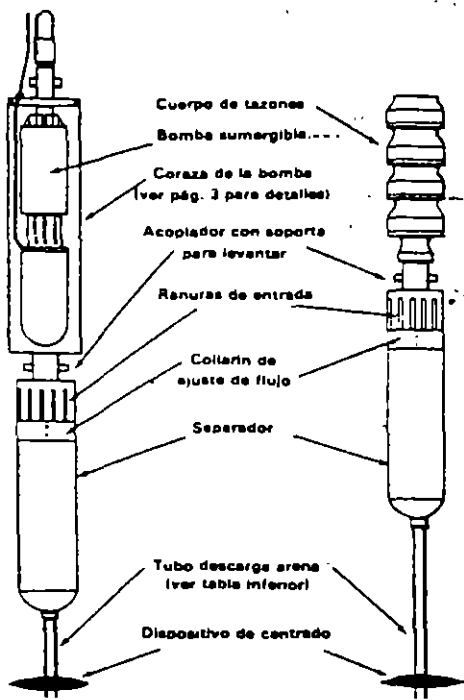
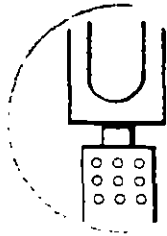


**Separadores Lakos de México, S.A. de C.V.**

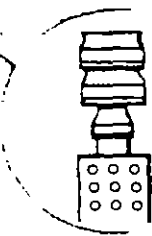
Colina de las Termas No. 167 Desp. 2  
Fracc. Boulevares Naucalpan, Edo. de Méx.  
C.P. 53140, Tel. 560 37 98



## SEPARADOR PARA BOMBA SUMERGIBLE



## SEPARADOR PARA BOMBAS TURBINA



## ESPECIFICACIONES.

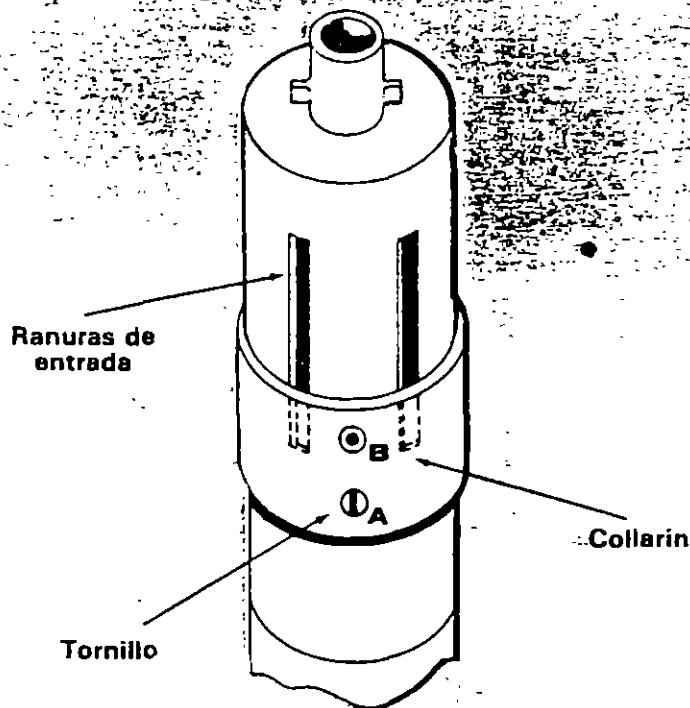
La siguiente tabla se aplica al separador básico de bomba turbina y bomba sumergible. La bomba sumergible debe estar introducida en una coraza (ver pág. 3).

Modelo	Diámetro mínimo del adema pg/mm.	Gasto ó Rango de flujo US gpm/lps	Diámetro exterior pg/mm	Longitud con acoplador pg/mm	Diámetro acoplador NPT pg.	Diámetro acoplador de descarga NPT pg.	Long. Req. Tubo Desc. Arena pies/mt.	Peso lb/kg.
D	6 152.4	100-175 6.3-11.1	4½ 114.3	65-3/8 1660.5	2½ pg	¾ pg	20 6.1	72 32.7
E	7 177.8	125-250 7.9-15.9	5-9/16 141.3	85½ 2178.1	3 pg.	1 pg	20 6.1	114 51.7
F	8 203.2	150-325 9.5-20.6	6-5/8 168.3	95½ 2432.1	4 pg	1 pg.	20 6.1	195 88.5
GSA	9¾ 247.6	325-520 20.6-33.0	7½ 190.5	119 3022.6	6 pg.	1¼ pg.	40 12.2	295 133.8
GGA	9¾ 247.6	520-710 33.0-45.1	7½ 190.5	125 3175.0	6 pg.	1¼ pg.	40 12.2	307 139.3
G	10¾ 273.1	325-650 20.6-41.3	8-5/8 219.1	105½ 2679.7	6 pg	1¼ pg	20 6.1	285 129.3
HSA	12 304.8	600-910 38.1-57.8	9-5/8 244.5	136½ 3467.1	8 pg	1½ pg	60 18.3	340 154.2
HHA	12 304.8	880-1375 55.9-87.4	9-5/8 244.5	148½ 3771.9	8 pg.	1½ pg	60 18.3	355 161.0
H	13¾ 336.6	550-1110 34.9-70.6	10¾ 273.1	116 2946.4	8 pg	1½ pg	20 6.1	345 156.5
ISA	13¾ 336.6	1290-1700 82.0-108.1	10¾ 273.1	145½ 3695.7	8 pg	1½ pg	60 18.3	465 210.9
I	15¾ 382.4	825-1450 52.4-92.2	12¾ 323.8	128 3251.2	8 pg.	1½ pg	20 6.1	443 200.9
JSA	15¾ 382.4	1460-2040 98.8-129.7	13¾ 342.9	168 4267.2	10 pg	2 pg.	60 18.3	518 234.9
J	17¾ 438.2	1010-1800 64.2-114.4	14¾ 355.6	142½ 3619.5	10 pg.	2 pg	20 6.1	525 238.1
KSA	17¾ 438.2	1780-2420 113.1-153.9	14¾ 374.6	165 4191.0	10 pg	2 pg	60 18.3	628 284.9
K	19¾ 488.9	1640-2560 104.2-182.8	16 406.4	156 3962.4	10 pg	2 pg.	20 6.1	670 303.9
KKA	19¾ 488.9	2520-3180 160.2-202.2	16 406.4	172 4368.8	12 pg.	2 pg	60 18.3	715 324.3

NOTA.- La pérdida de presión típica es de 9-14 pies (2.74 - 4.27 m) excepto modelos con tubos de descarga de arena más largos los que experimentaran una notable pérdida de presión. Consúltanos si es pertinente.

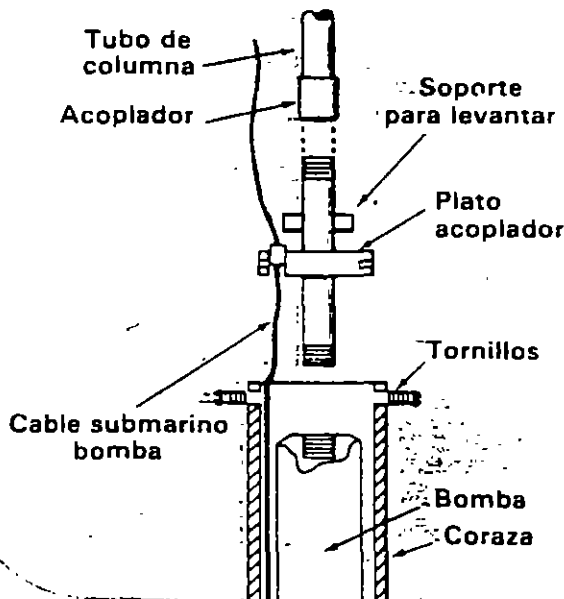
# COLLARIN DE AJUSTE DE FLUJO

Incluido en todos los modelos de permite ajustar el rendimiento de su separador de arena y está diseñado específicamente para absorber cualquier variación del gasto de su bomba. Normalmente este ajuste es hecho en la fábrica de acuerdo a los datos proporcionados, algún cambio en el rango de flujo puede indicar que debe hacerse un ajuste (ver tabla de recha).



Modelo	Rango de flujo USgpm/lps	Posición del collarín
E	125-200	Cerrado
	7.9-12.7	
F	200-250	Abierto
	12.7-15.9	
G	150-210	A
	9.5-13.3	
H	210-275	B
	13.3-17.5	
I	275-325	Abierto
	17.5-20.6	
J	300-425	A
	19.0-27.0	
K	425-525	B
	27.0-33.4	
L	525-650	Abierto
	33.4-41.3	
M	550-675	A
	34.9-42.9	
N	676-825	B
	42.9-52.4	
O	826-1100	Abierto
	52.4-69.9	
P	825-1050	A
	52.4-66.7	
Q	1050-1225	B
	66.7-77.9	
R	1225-1450	Abierto
	77.9-92.2	
S	1010-1275	A
	64.2-81.0	
T	1275-1450	B
	81.0-92.2	
U	1450-1800	Abierto
	92.2-114.4	
V	1640-1890	A
	104.2-120.1	
W	1890-2250	B
	120.1-143.0	
X	2250-2560	Abierto
	143.0-162.8	

## INTRODUCIR LA BOMBA EN SU CORAZA



Únicamente para modelos de bombas sumergibles.

La coraza de la bomba está diseñada para que toda el agua penetre al separador antes que a la bomba. Requiere que su interior sea desarmado como se describe a continuación:

1. Sacar el plato acoplador de la coraza aflojando los tornillos de acero inoxidable.
2. Unir el plato acoplador a la descarga de la bomba.
3. Introducir el cable eléctrico de la bomba a través de la abertura del plato acoplador.
4. Introducir la bomba dentro de la coraza y asegurar el plato acoplador con los tornillos.
5. Se suministran un par de soportes para levantar, para que la columna de tubería sea fácilmente acoplada.

# BOMBEE AGUA SIN

# ARENA

## CON LOS DESARENADORES LAKOS.

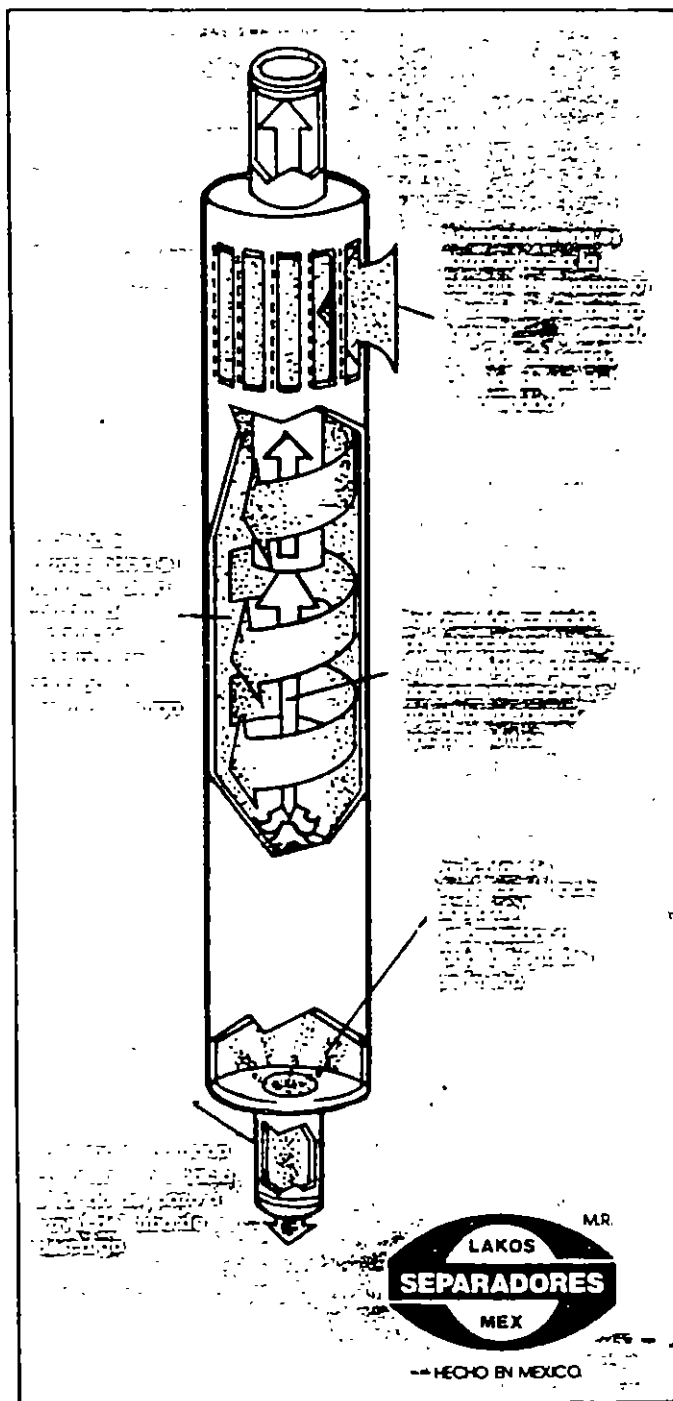
Eliminan la arena para aumentar la vida de las bombas de turbina (flecha) y sumergibles, y ayudan a mantener la eficiencia de las mismas por un período más largo.

- Reduce el desgaste de las bombas y aumenta la vida por lo menos en 4 veces. Una bomba de turbina debe ser reparada antes de que su eficiencia baje a 40%. El desarenador LAKOS evita desgastes excesivos causados por la arena en los impulsores, chumaceras, empaques y tazones.
- Ahorro en el consumo de energía eléctrica: cuando las bombas operan a baja eficiencia simplemente deben de trabajar más y operar por períodos más largos para obtener el volumen de agua requerido... y el costo de la energía eléctrica es alto.
- Reduce reparaciones y servicios costosos. La abrasión de la arena puede acelerar el desgaste y requerir reparaciones cuando más se necesita el agua, causando retrasos en servicios y pérdidas en cosechas.
- También disponibles en la serie W-PIT en su aplicación para canales, cárcamos, lagos y ríos.
- Dése cuenta lo que es bombear arena  
1 lt/seg con una concentración de 1 p.p.m. (.001 gr/lt) significa haber bombeado 259 Kg/mes de arena. Pero eso no es nada...  
10 lt/seg con una concentración de 100 p.p.m. (.1 gr/lt) significa haber bombeado 2590 Kg/mes de arena.  
...Y piense en 100 lt/seg con una concentración de 100 p.p.m., ¿cuántos camiones de volteo pueden llenarse?



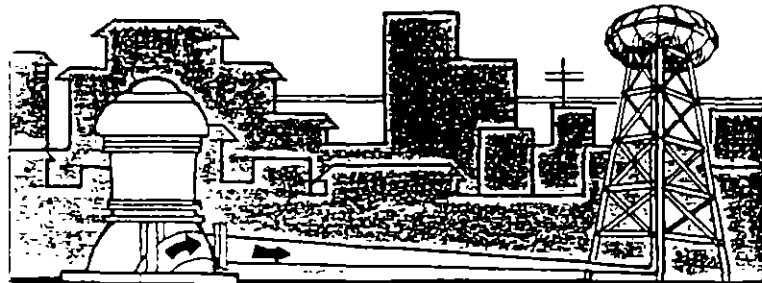
SEPARADORES LAKOS  
DE MEXICO, S.A. DE C.V.

Colina de las Termas No. 167 Desp. 2  
Tel 560-37-98 Fracc. Boulevares  
Naucalpan, Edo. de México. C.P. 53140



HECHO EN MEXICO

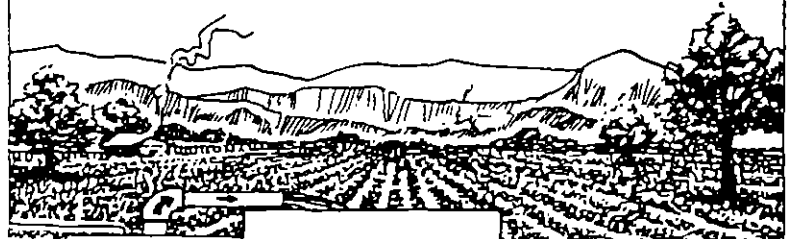
## APLICACION DE UN DESARENADOR LAKOS EN UNA BOMBA DE TURBINA (flecha)



UN SISTEMA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE REDUCIRIA NOTABLEMENTE SUS COSTOS DE MANTENIMIENTO.

- Las redes de distribución operan libres de arena evitando taponamientos en las puntas de las tuberías.
- Al evitar descomposturas imprevistas por desgastes prematuros de los equipos de bombeo se minimizarán las quejas de usuarios residenciales y comerciales.
- Protege los medidores de agua en las tomas domiciliarias permitiendo un funcionamiento correcto de los mismos.
- El desarenador LAKOS no requiere mantenimiento. Ahorra energía eléctrica, elimina la MAYOR parte de toda la arena típicamente responsable del desgaste causado por la abrasión.

## APLICACION DE UN DESARENADOR LAKOS EN UNA BOMBA SUMERGIBLE



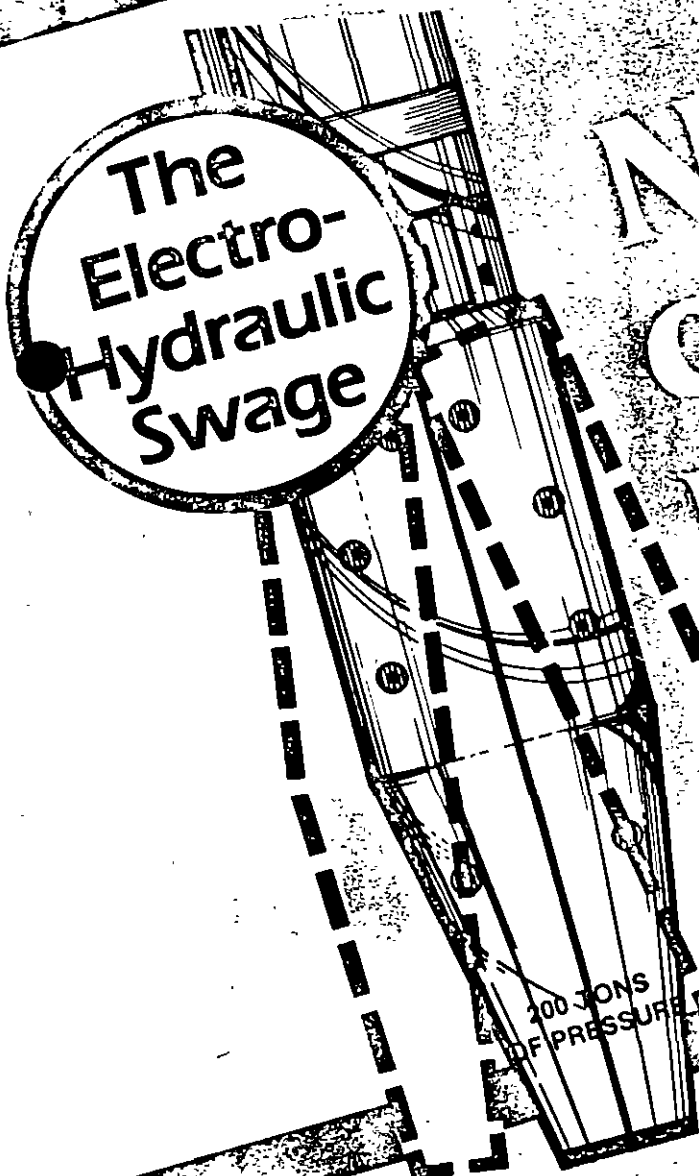
LOS SISTEMAS DE RIEGO EN EL CAMPO SE VERAN BENEFICIADOS POR EL USO DEL DESARENADOR LAKOS.

- Si utiliza una bomba sumergible (3.500 RPM) se puede lograr un ahorro importante en la inversión. El problema de la arena abrupta ha disminuido considerablemente.
- Eliminar la arena con un desarenador LAKOS protege la bomba en sistemas de riego por aspersión o goteo. Evita desgastes de aspersores y obstrucciones de tuberías, exceso o falta de agua en los regadíos.
- Los beneficios son directos: menor desgaste de impulsores y cunmaceras, menos reparaciones y retacciones, ahorro en consumo de energía eléctrica, menores costos de operación... y confiabilidad cuando las cosechas requieren ser regadas.

REPRINTED FROM  
**GROUND  
WATER AGE**

FIGURE 10  
HWS-163

VOLUME 21 NUMBER 12 AUGUST 1987



**NOW YOU  
can save  
repair  
damaged  
wells**

## DOWN-THE-HOLE

# Electro-Hydraulic Swaging

### Tools for repairing a damaged well.

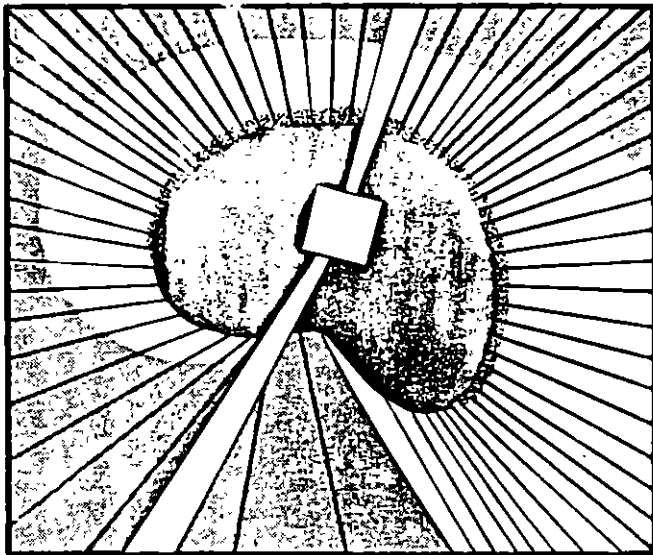
Perhaps the most common forms of water well casing damage involve compression breaks, collapsed casing and cracks or holes in the casing. Such damages could easily render a well useless and force abandonment rather than risk jamming and/or losing a pump or suffering from heavy particle infiltration. With the use of an electro-hydraulic swage, these problems can often be corrected and the wells rehabilitated to their original yield.

The shifting of underground formations, imbalance of external and internal pressures, and the action of well tools

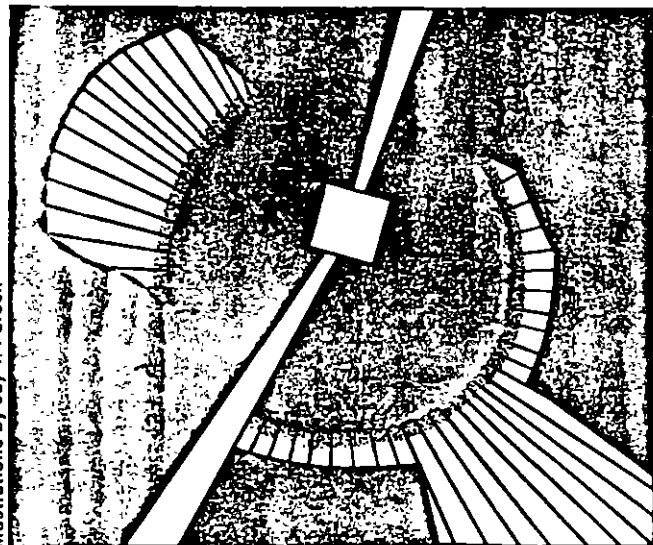
and operating equipment frequently deform well casings so that they are inoperable until the problem is corrected. A frequent problem is collapsing of the casings so that their minimum transverse dimensions are inadequate to receive or to house operable drilling equipment, pumping apparatus or repair tools.

### The Traditional Approach

Although many tools have been devised for the purpose, it has often been the practice to re-drill that portion of the well with the collapsed casing or to successively drop a pointed weight into the collapsed portion with the hope that the blind hammering alleviates more than it aggravates the pinched condition. Both practices are questionable. Re-drilling is time consuming, expensive, damaging to excessive amounts of the casing and frequently results in a departure from the initial borehole and the formation of a bifurcated well. The weight dropping practice usually fails to utilize the momentum of the falling



Downhole view of a 16" collapse (above) and a 20" compression break (below).



Illustrations by Jay T. Purcell

Re-drilling is time consuming, expensive, damaging to excessive amounts of the casing and frequently results in a departure from the initial borehole.

weight advantageously, outward penetration of the casing is common, and much denting and dimpling results. In the event either operation is successful, it is then necessary to insert a reinforcing sleeve at the position of difficulty and to secure it in a dependable manner. Neither the burred condition of a drilled casing nor the dimpled and dented state of the weight-hammered casing is conducive to convenient and proper fitting of these sleeves.

Of the other tools intended for the purpose, most are even less effective than those just described and, thus, have not generally been accepted. Many call for the time-consuming job of lowering and retrieving with a tubing string utilized for power supply or control purposes, which requires the assembly and subsequent disassembly of numerous lengths of drill pipe; and most provide inadequate power to expand collapsed casing. Further, even though

casing faults frequently occur at great depths and where there are extreme fluid pressures, none have recognized nor been adapted to these additional difficulties and several are rendered inoperable. For example, the inaccuracies of dropping are considerably increased and its impacting power decreased by falling through liquid for substantial distances. The usual confining of well liquids in casing causes the liquids to retard rapid movement of such weights even more than might otherwise occur.

Conversely, the electro-hydraulic swage is simply lowered into a damaged well on a cable or drill pipe to the damaged area, which is located with the use of and calibration from a downhole photography system. Once in position, a switch on the control box above ground is activated and the jaws of the swage expand, either opening a collapsed section or setting a liner-patch. Generally speaking, if a casing has undergone collapsing or compression breaks, that casing will also have cracks and holes which must be patched to prevent infiltration and to retard any re-occurrence of similar damage in that same section of the well.

## Swaging Collapsed Casing

As the jaws to the electro-hydraulic swage expand, the original casing is slowly and gently forced back to its

The electro-hydraulic swage is simply lowered into a damaged well on a cable or drill pipe to the damaged area, which is located with the use of a downhole photography system.

original shape. The jaws are then retracted, slightly rotated at the same depth, and activated two or more additional times to insure that the entire section of casing is smoothly pressed back into shape. As the jaws re-open casings, the weight of the swage forces it further downward into the damaged (and collapsed) area, so that it is quickly re-positioned for the jaws to be reactivated. This action, along with the deliberate rotation of the swage, enables the swage to work through damage from top to bottom without missing any problem areas. Once satisfied that this procedure has been concluded, the electro-hydraulic swage is pulled from the well and prepared for a liner-patch.

After a casing has been swaged back into its original shape, a liner-patch is easily inserted. Commonly made of a 4' length of vertically corrugated metal, the liner is

slipped around the end of the jaws and medium gauge rope or wire is used to hold the liner in position. Next, the swage is carefully lowered to the proper depth of the area to be patched and the jaws are activated, pressing the liner into place against the casing wall and expanding the corrugated ribs of the liner. The jaws are then repeatedly retracted and re-activated up and down the length of the liner until it is firmly and smoothly pressed into position over the damaged area. The swage may then be withdrawn from the well, severing the medium gauge cord which kept the liner in place until the actual operation began.

Once the entire swaging operation has been finished, a visual survey with either TV or 3-D inspection equipment is important to verify the successful rehabilitation of the well.

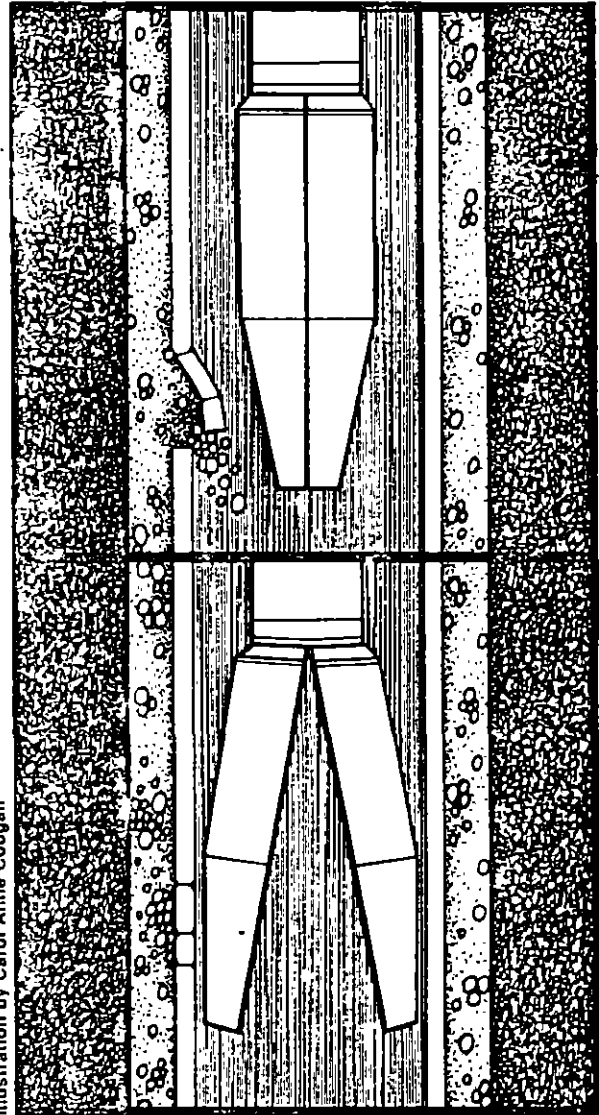


Illustration by Carol Anne Coogan

Once the problem area has been identified, an electro-hydraulic swage forces the well casing back to its original shape.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

VII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS

MODULO II CONTAMINACION DE ACUIFEROS

T E M A

SELECCION DE SITIOS PARA DISPOSICION DE  
DESECHOS SOLIDOS

ING. JUAN MANUEL LESSER.



**SELECCION DE SITIOS PARA  
DISPOSICION DE  
DESECHOS SOLIDOS**

COMPLEMENTO

MODULO 2

**POR: ING. JUAN MANUEL LESSER**

## RELLENOS SANITARIOS

### I.- ESTUDIOS BASICOS PARA LA SELECCION DE SITIOS PARA DISPOSICION DE DESECHOS SOLIDOS

#### GEOLOGIA: TIPO Y CARACTERISTICAS DE LAS ROCAS

- ESTRUCTURAS
- FALLAS, GEOFISICA
- EROSION
- GEOFISICA

#### GEOHIDROLOGIA

- ROCAS PERMEABLES
- ROCAS IMPERMEABLES
- PROFUNDIDAD AL N.E.
- DIRECCION DEL FLUJO SUBTERRANEO
- PERMEABILIDAD DEL ACUIFERO

#### MECANICA DE SUELOS

- PERMEABILIDAD DE LA CAPA SUPERFICIAL

#### HIDROLOGIA SUPERFICIAL

- ARROYOS
- PRECIPITACION

#### CALCULO INFILTRACION

- PRECIPITACION
- PERMEABILIDAD
- PENDIENTE

#### DISEÑO PRELIMINAR

- TOPOGRAFIA
- DISEÑO DE LA BASE
- DISEÑO DE LA CUBIERTA
- RECOLECCION DE LIXIVIADOS
- VENTILACION
- PROTECCION SUPERFICIAL

#### SISTEMA DE MONITOREO

- DRENAJES DE LIXIVIADOS
- POZOS

### II.- DISEÑO EJECUTIVO Y MANEJO DE RESIDUOS

### III.- OTROS ESTUDIOS

- ZONAS HABITADAS
- DIRECCION VIENTOS
- VIAS DE ACCESO

## **FACTORES QUE AFECTAN EL RELLENO**

**TIPO DE BASURA**

**TIEMPO**

**TEMPERATURA AMBIENTE**

**HUMEDAD**

**OXIGENO**

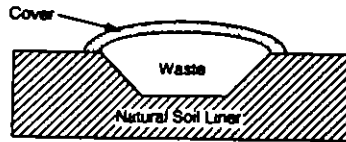
## **FACTORES QUE AFECTAN LA CANTIDAD DE LIXIVIADO**

**PRECIPITACION**

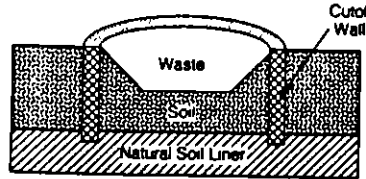
**NIVEL ESTATICO SOMERO**

**CUBIERTA**

(A) Waste Buried in a Natural Soil Liner



(B) Waste Buried Above a Natural Soil Liner



(A) Waste Buried in Unit with Engineered Liner

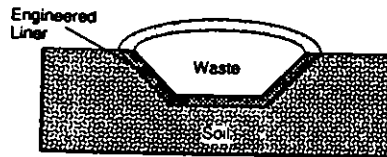


Fig. 5.3 Lining of waste disposal units with (a) natural soils, (b) vertical cutoff walls, and (c) engineered liners.

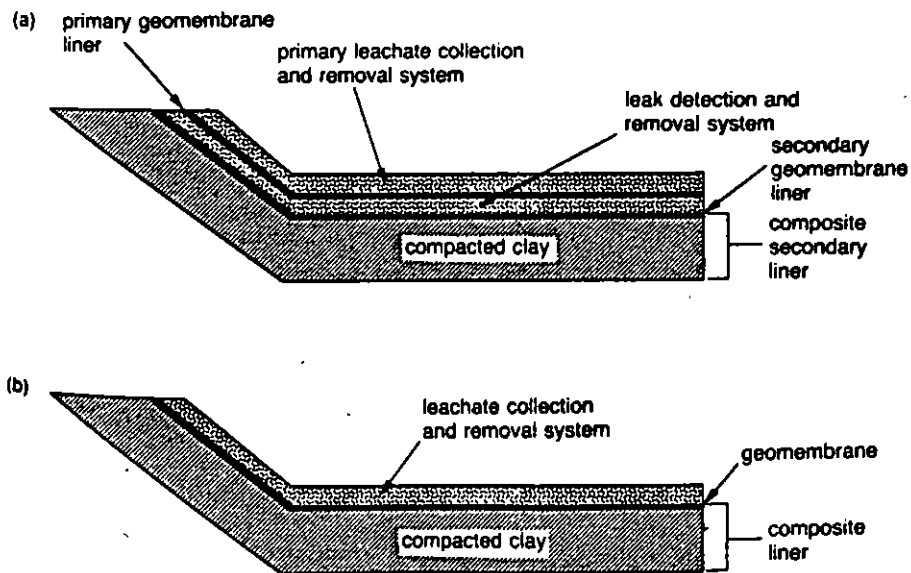


Fig. 5.4 Minimum liner requirements of the US Environmental Protection Agency: (a) for hazardous waste landfills (b) for non-hazardous waste landfills.

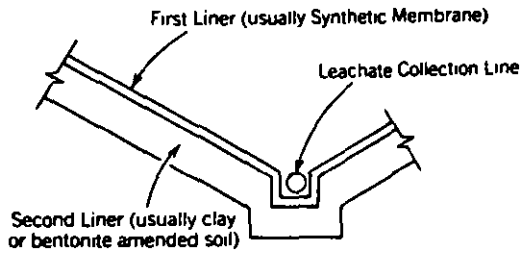


FIG. 1.3. Double liner.

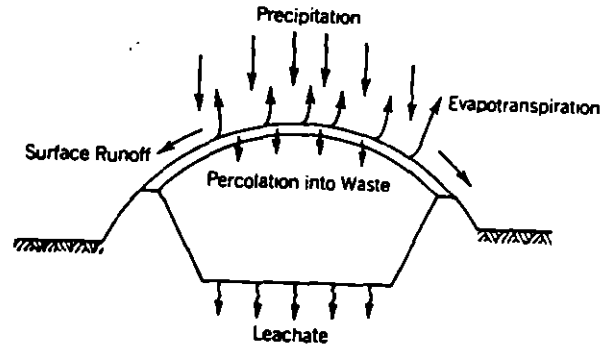


FIG. 3.1. How leachate is generated.

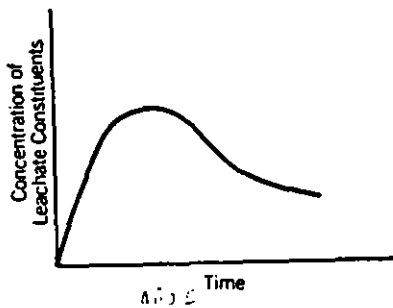


FIG. 3.2. Typical variation of leachate quality with time.

TABLE 3.14. Typical Leachate Quality of Municipal Waste\*

SI Number	Parameter	Overall Range (mg/liter except as indicated)
1	TDS	584-55,000
2	Specific conductance	480-72,500 $\mu$ mhv/cm
3	Total suspended solids	2-140,900
4	BOD	ND-195,000
5	COD	6.6-99,000
6	TOC	ND-40,000
7	pH	3.7-8.9 units
8	Total alkalinity	ND-15,050
9	Hardness	0.1-225,000
10	Chloride	2-11,375
11	Calcium	3.0-2,500
12	Sodium	12-6,010
13	Total Kjeldahl nitrogen	2-3,320
14	Iron	ND-4,000
15	Potassium	ND-3,200
16	Magnesium	4.0-780
17	Ammonia-nitrogen	ND-1,200
18	Sulfate	ND-1,850
19	Aluminum	ND-85
20	Zinc	ND-731
21	Manganese	ND-400
22	Total phosphorus	ND-234
23	Boron	0.87-13
24	Barium	ND-12.5
25	Nickel	ND-7.5
26	Nitrate-nitrogen	ND-250
27	Lead	ND-14.2
28	Chromium	ND-5.6
29	Antimony	ND-3.19
30	Copper	ND-9.0
31	Thallium	ND-0.78
32	Cyanide	ND-6
33	Arsenic	ND-70.2
34	Molybdenum	0.01-1.43
35	Tin	ND-0.16
36	Nitrite-nitrogen	ND-1.46
37	Selenium	ND-1.85
38	Cadmium	ND-0.4
39	Silver	ND-1.96
40	Beryllium	ND-0.36
41	Mercury	ND-3.0
42	Turbidity	40-500 Jackson units

Based on McGinley and Kmet (1984) and Lu et al. (1981).

\*Several bacteria and fungi species and several priority pollutants are found in the leachate

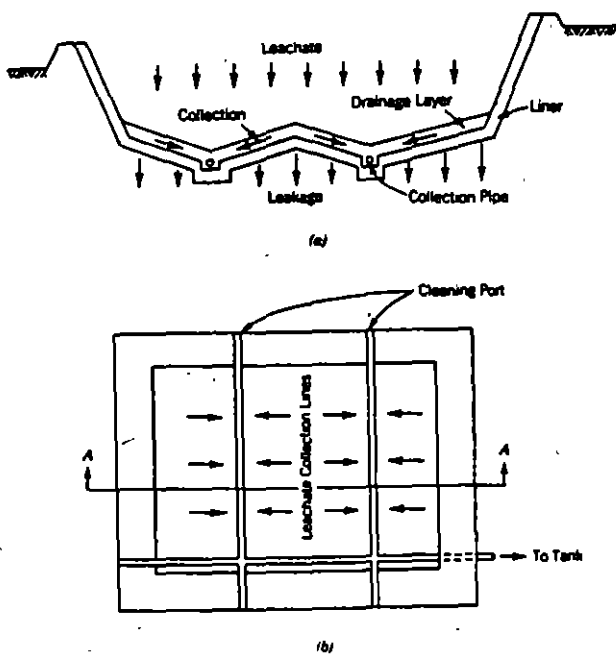


FIG. 6.1. Single lined containment landfill: (a) cross section; (b) plan.

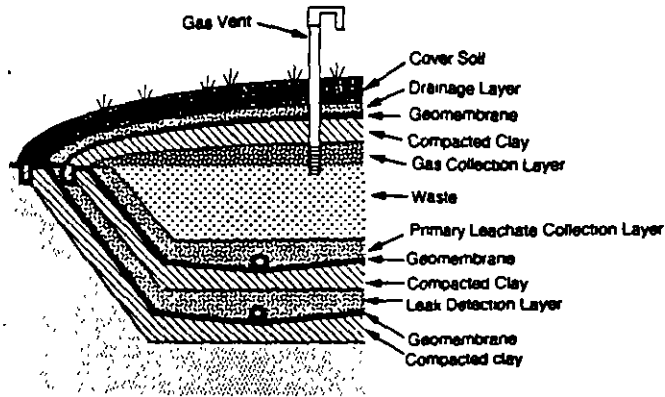


Fig. 5.6 Double composite liner system and multiple-component cover system in a waste containment unit.

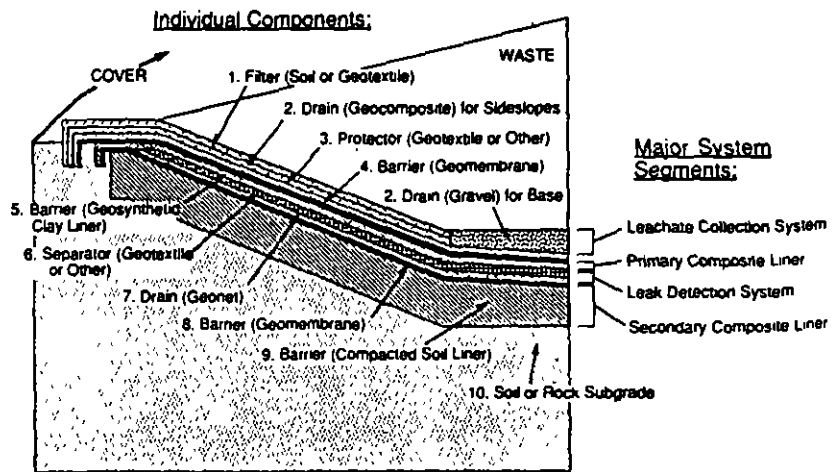


Fig. 5.7 Lining system recommended by Daniel and Koerner (1991).

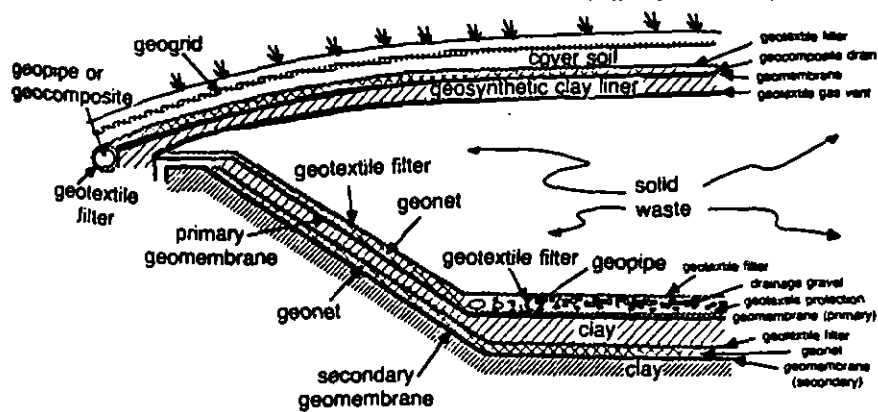


Fig. 8.2 Cross-section of solid waste landfill liner system and closure system illustrating the major use of geosynthetics.

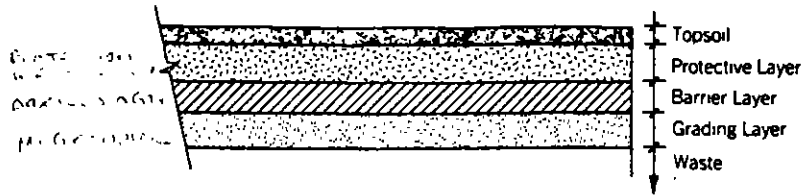


FIG. 8.23. Landfill final cover.

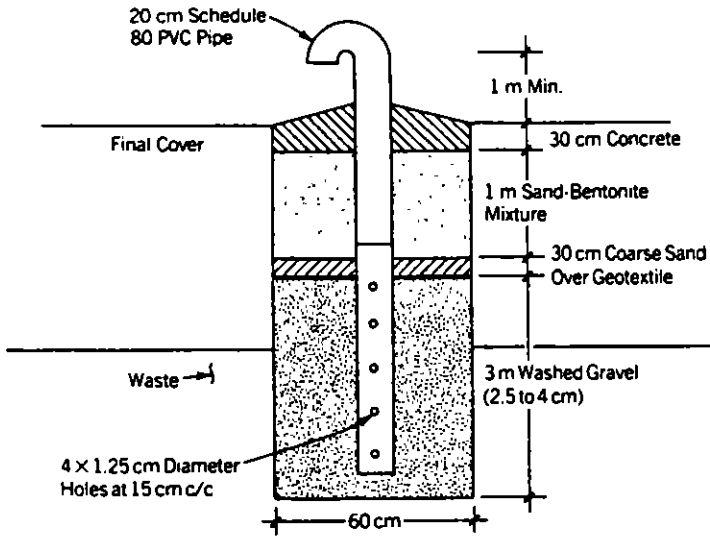


FIG. 8.24. Typical detail of an isolated gas vent.

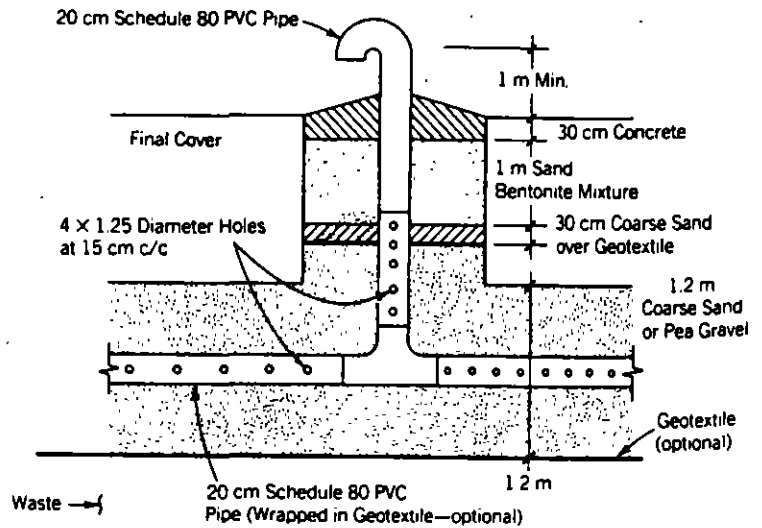


FIG. 8.25. Typical detail of a passive gas venting system with a header pipe.

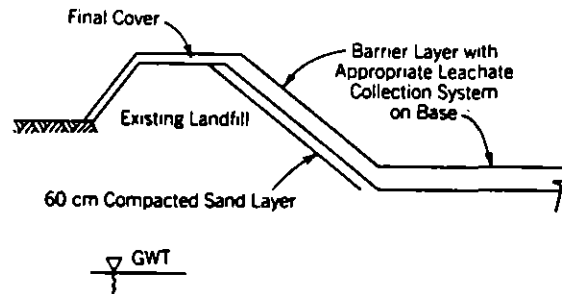
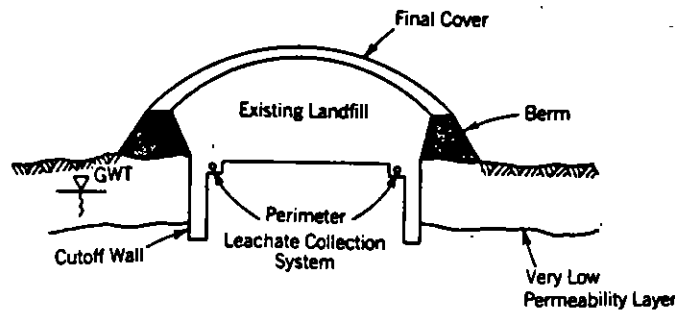


FIG. 8.33. Retrofitting of partially full existing landfill with a basal leachate collection system.

DESIGN OF LANDFILL ELEMENTS



34. Retrofitting of existing landfill with a perimeter leachate collection system.

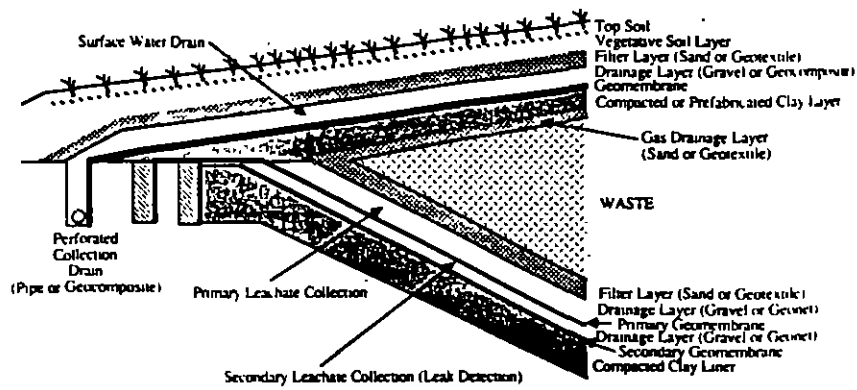


Fig. 9.1 Cross-section of solid waste facility illustrating various drainage layers involved in a liquid management program.

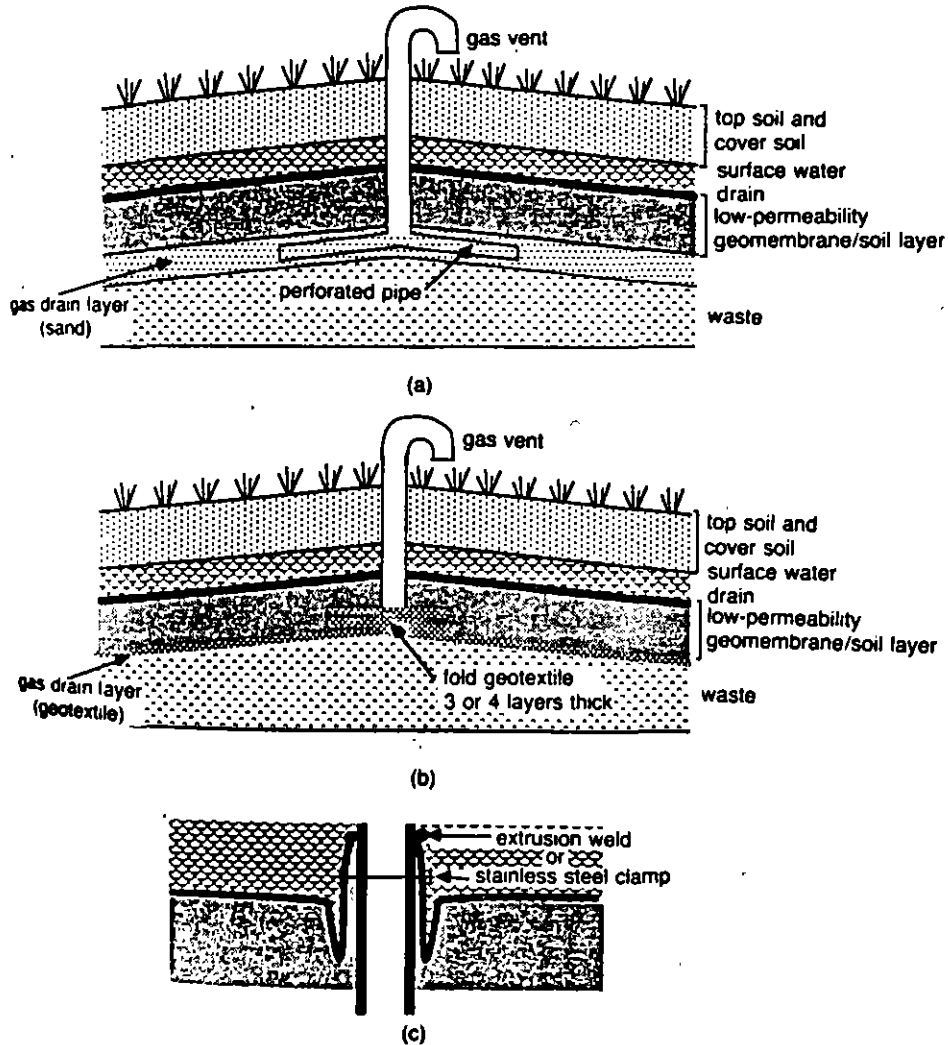


Fig. 9.9 Schemes for methane gas removal through final cover liner system: (a) natural soil vent system, after EPA (1989); (b) geotextile vent system; (c) suggested bellows at geomembrane penetration.



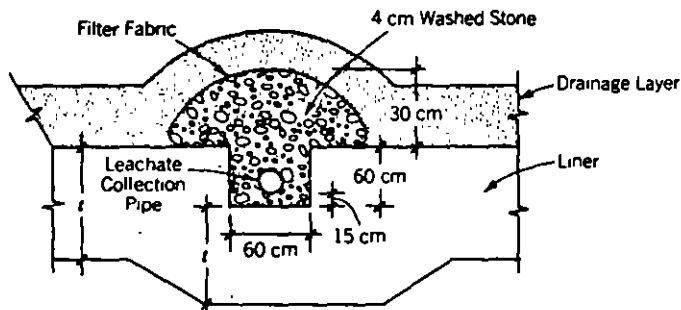


FIG. 8.1. Leachate collection trench detail.

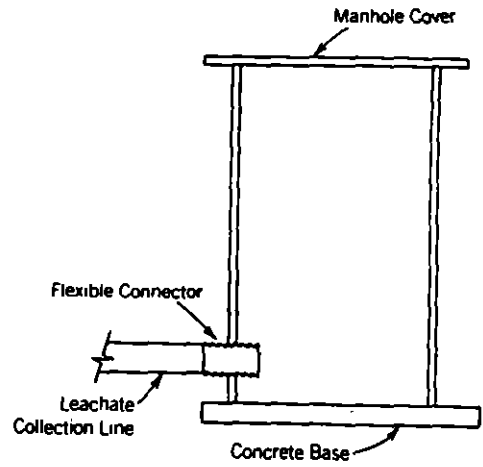


FIG. 8.5. Typical detail of landfill manhole.

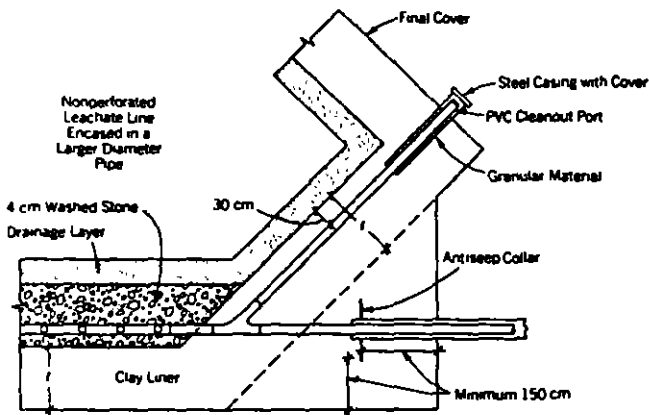


FIG. 8.2. Typical cleanout port.

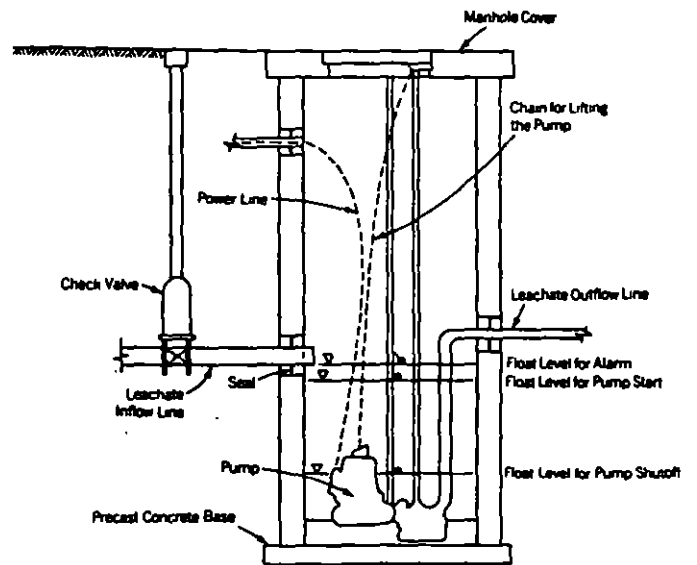


FIG. 8.7. Lift station.

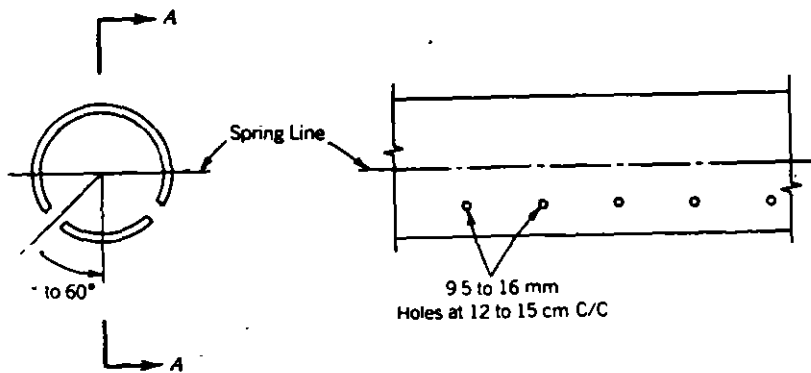


FIG. 8.6. Perforations in leachate collection pipes.

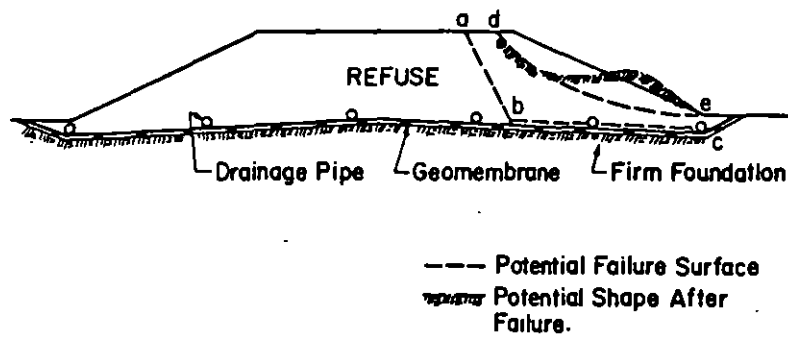


Fig. 11.1 Stability of a landfill on firm base.

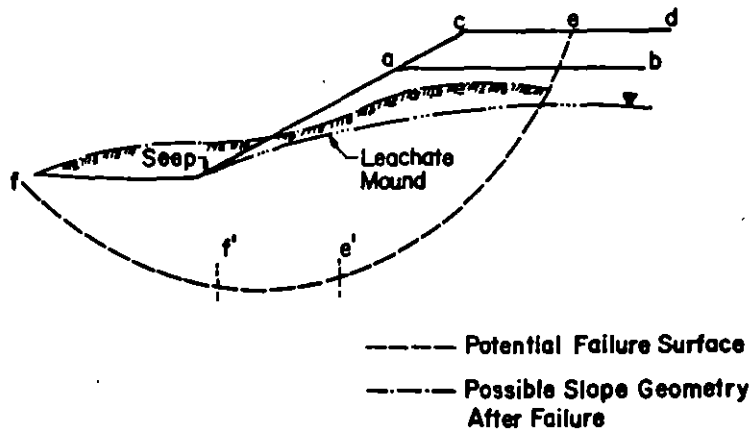


Fig. 11.2 Stability of a landfill expansion on soft base.

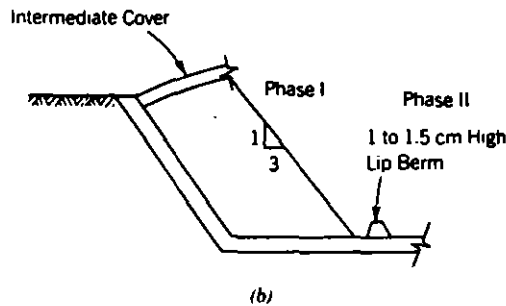
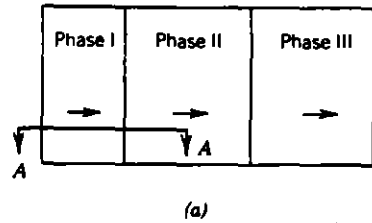


FIG. 11.3. Phasing plan for single stage landfill: (a) plan; (b) cross section A-A.

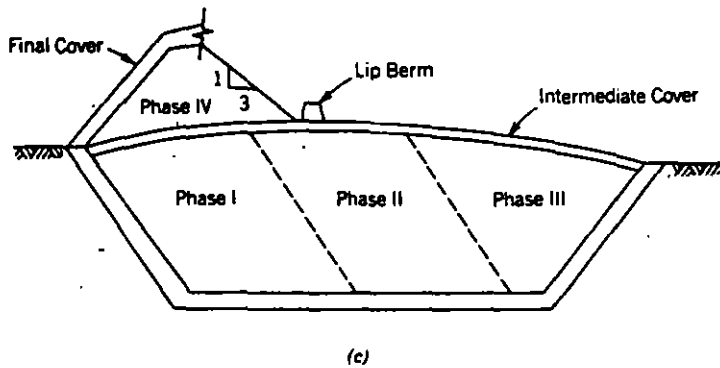
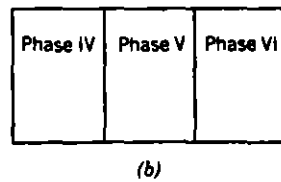
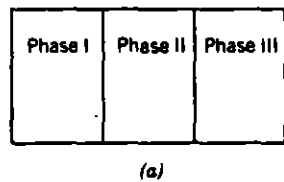


FIG. 11.4. Phasing plan for a multiphase landfill: (a) lower phase; (b) upper phase; (c) cross section.

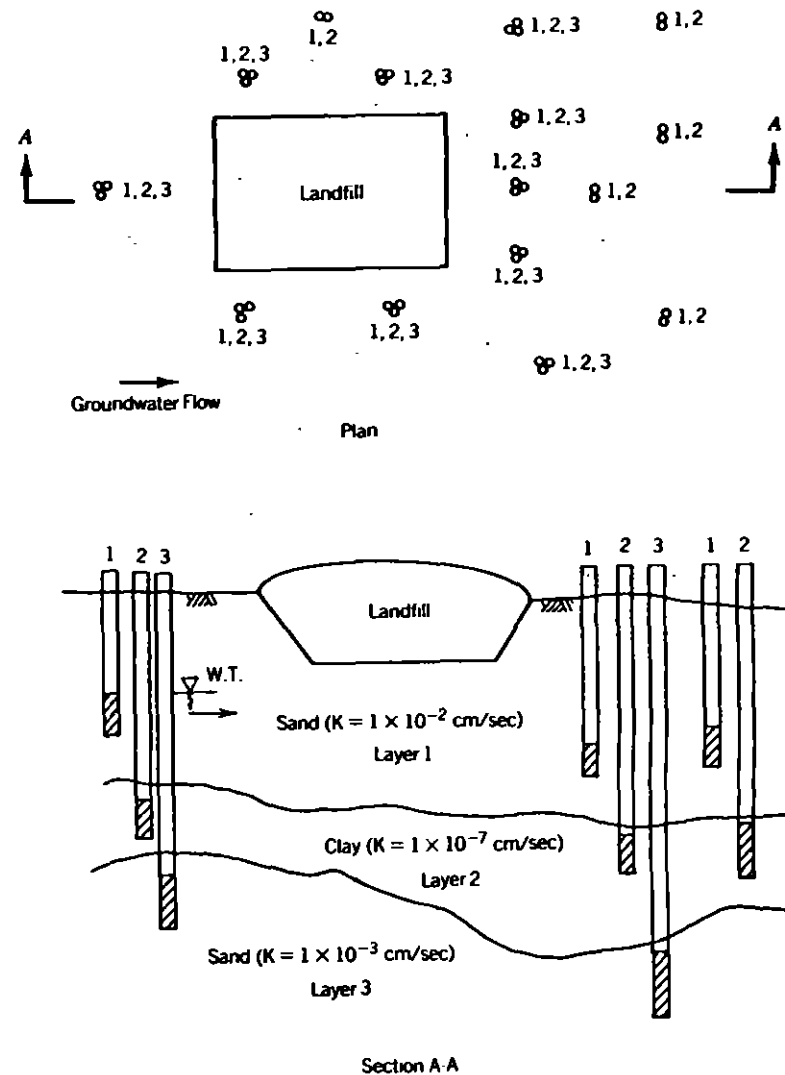
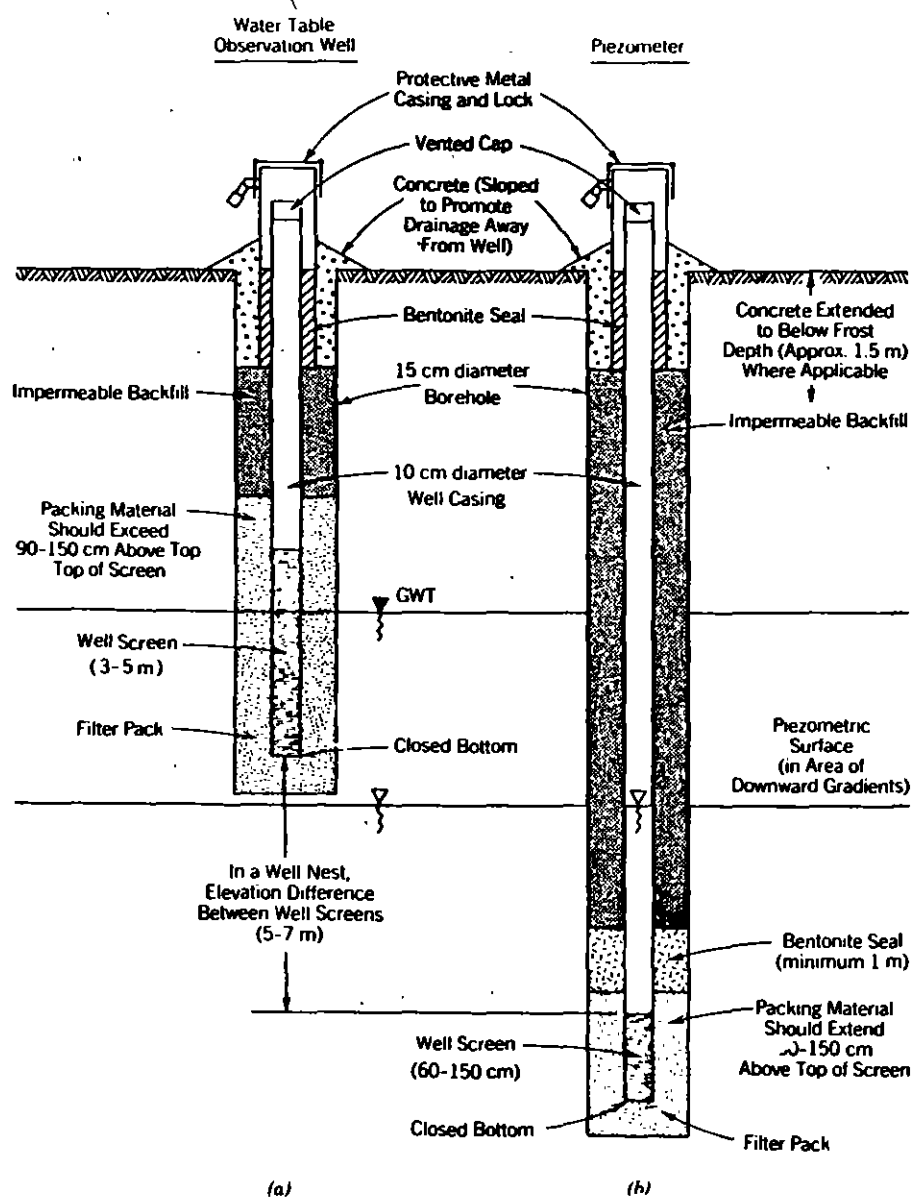


FIG. 10.13. Typical detail of a water table observation well and piezometer. Not to scale.

FIG. 10.11. Monitoring of an interbedded aquifer.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS  
VII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS  
MODULO II: CONTAMINACION DE ACUIFEROS**

**CALIDAD DEL AGUA**

**DRA. BLANCA E. JIMENEZ CISNEROS**

Palacio de Minería    Calle de Tacuba 5    Primer piso    Deleg. Cuauhtémoc 06000    México, D.F.    APDO. Postal M-2285  
Teléfonos: 512-8955    512-5121    521-7335    521-1987    Fax 510-0573    521-4020 AL 26

# **CALIDAD DEL AGUA EN MEXICO**

**DRA. BLANCA E. JIMÉNEZ CISNEROS**

# 1. INTRODUCCION

Existen aproximadamente 1'458,000,000 km<sup>3</sup> de agua en la Tierra de los cuales el 93% es salada, el 2% se encuentra congelada en los polos y sólo una pequeña parte está disponible a nuestras necesidades.

La renovación natural del recurso agua se realiza a través del ciclo hidrológico, en el cual del 100% de la precipitación, 28% cae en la tierra y 72% en el mar.

- Del 28 % que cae:

- \* 7% se percola a los acuíferos
- \* 8% va al mar por escurrimientos y el
- \* 13% restante, regresa a la atmósfera por evaporación (de los cuerpos de agua superficiales) y evapotranspiración (de la cubierta vegetal).

Aparte de las condiciones climáticas, la distribución y abundancia del recurso en el Mundo depende de la geología, orografía, tipo de suelo y cubierta vegetal. El resultado es que la distribución mundial del agua útil es muy desigual. Por si fuese poco, la carencia de infraestructura adecuada para el aprovechamiento del agua acrecenta las diferencias. En efecto, mientras 3 400 millones de personas cuentan con una dotación de apenas 50 L/d (se considera que el requerimiento para las necesidades básicas oscila entre 20 y 50 L) en países desarrollados el consumo puede fácilmente sobrepasar los 400 L/hab.d

# 2. DISPONIBILIDAD

La disponibilidad del agua tiene que ver no sólo con la cantidad, también es criterio que la calidad sea acorde con el uso que se persigue. En la antigüedad, la calidad del agua se calificaba sólo por su aspecto, sabor y olor. Actualmente los avances científico-técnicos han repercutido en técnicas analíticas y procesos capaces de identificar y de remover una amplia lista de contaminantes, a grado tal, que es posible lograr la calidad "potable" con la depuración de aguas residuales. Sin embargo, tales conocimientos aún no se plasman en una aplicación generalizada de instalaciones industriales o municipales suficientes y eficientes ni tampoco en políticas integrales que busquen:

- La conservación del recurso (agua superficial y subterránea),
- La preservación de su calidad,
- Su uso eficiente (Reuso, ahorro y recirculación del agua).

queda aún mucho por lograr en términos de la calidad tanto en el Tercer Mundo como en los países desarrollados, sin duda, con matices diferentes. En el sentido más amplio, los retos para el próximo siglo abarcan desde el suministro de agua microbiológicamente aceptable hasta el desarrollo de sofisticadas técnicas de control para contaminantes complejos y de daño a largo plazo.

## 2.1 Cantidad y calidad del agua en México

México cuenta 5,125 m<sup>3</sup> de agua renovable/hab.año, cifra que no da mucha información. En cambio, el índice de escasez que considera la disponibilidad en términos de sus usos sitúa al país en un nivel de **disponibilidad comprometida por su distribución temporal y espacial así como por problemas de contaminación**. Este índice refleja sin duda la situación que vivimos. El MAPA 1 muestra la disponibilidad del agua superficial como lo calcula la CNA para las regiones hidrológicas en que se divide al país.

La FIG 1 muestra como se explota el agua subterránea y la superficial para los diversos fines. El empleo de acuíferos representa el 27 % de la extracción total y es muy notorio que el sector que más la emplea es el riego (76 % del total). Normalmente, este tipo de agua es considerado de muy alta calidad y se prefiere preservar para el consumo humano. Sobre todo, cabría cuestionarse que use tanta agua de buena calidad para riego con eficiencias muy bajas (del orden del 50 %).

Las aguas superficiales son por lo general menos duras, tienen mayor concentración de oxígeno (que ayuda a la eliminación de Fe y Mn) y no contienen ácido sulfhídrico. En contrapartida, son fácilmente contaminables, tienen alta actividad biológica, color y turbiedad, sólidos en suspensión y flotantes. Su calidad varía en épocas de avenidas y tienen mayor probabilidad de contener materia orgánica que favorecerá la formación de organoclorados durante la desinfección con cloro.

El agua subterránea, por encontrarse protegida, es de calidad más uniforme, el contenido de color y compuestos orgánicos es bajo y no es corrosiva. Sus desventajas principales son su accesibilidad, el contenido de H<sub>2</sub>S y que generalmente es dura aunque poco corrosiva. En ocasiones puede además contener por disolución del medio en el que está contenida, metales pesados.

Las aguas subterráneas, comparadas con las aguas superficiales contienen sólidos disueltos, cloruros, alcalinidad, dureza y nitratos. Sin embargo, se caracterizan por tener concentraciones menores de color, turbiedad, nitrógeno amoniacal, DBO, coliformes, sólidos coloidales y sólidos suspendidos.



### **3. CONTAMINACION DEL AGUA**

#### **3.1 Conceptos generales**

El agua tiene una composición precisa ( $H_2O$ ), y por lo tanto es fácil identificar los compuestos ajenos a ella. Sin embargo, la definición de sus contaminantes se dificulta. Es un hecho que el agua rara vez se encuentra en forma pura. En general, se considera como contaminante al exceso de materia o energía (calor) que provoque daño a los humanos, animales, plantas y bienes, o bien, que perturbe negativamente las actividades que normalmente se desarrollan cerca o dentro del agua. De esta forma, la definición de contaminación del agua queda íntimamente ligada al uso al cual se le destina.

A pesar de la dificultad en la definición, es claro que el exceso de contaminación en un cuerpo de agua provoca el abatimiento de oxígeno, la muerte y descomposición de la flora y fauna, impide su uso en industrias o ciudades y deteriora el paisaje. El origen de la contaminación son los desechos urbanos e industriales, los drenados de la agricultura y de minas, la erosión, los derrames de sustancias tóxicas, los efluentes de plantas depuradoras, los lodos de potabilizadoras, la ruptura de drenajes, el lavado de la atmósfera, etc.

Como se puede observar, el problema del agua es complejo: para poder hacer uso de ella se requiere exista tanto en la calidad adecuada como en la cantidad suficiente durante un período determinado y en una época del año definida.

Los usos que se pueden dar al agua son muchos y se clasifican en:

- 1) Consumo humano (bebida, cocina y procesamiento de alimentos)
- 2) Limpieza personal
- 3) Cultivo de peces, mariscos o cualquier otro tipo de vida acuática
- 4) Agricultura
- 5) Industria
- 6) Usos municipales (riego de jardines, lavado de coches, fuentes de ornato, lavado de calles e instalaciones públicas)
- 7) Usos recreativos (natación, veleo, etc.)
- 8) Transporte de desechos

### 3.2 Clasificación de las descargas de contaminantes

Existen tres tipos de descargas de agua de desecho: las puntuales, las dispersas y las accidentales. Las primeras corresponden a las redes de drenaje y es posible localizarlas geográficamente y cuantificarlas y caracterizarlas. Las descargas puntuales se pueden controlar fácilmente ya que es posible conducir las a una planta de tratamiento o zona de reuso.

Las descargas dispersas provienen de diversos puntos y es muy difícil evaluarlas en cuanto a volumen y calidad. Las últimas, las accidentales, son prácticamente imposibles de cuantificar pues como su nombre lo indica ocurren en forma espontánea. Estas contaminan los cuerpos de agua a través de interacciones complejas entre las sustancias aplicadas o depositadas sobre el suelo y el ciclo hidrológico. Son de origen: urbano, agrícola y atmosférico.

Las de origen urbano son generadas por extensas áreas impermeables o semi-impermeables, como calles, coberturas de edificios, estacionamientos y otras, sobre las cuales se depositan residuos contaminantes generados en las ciudades. La principal descarga dispersa de origen urbano es la lluvia.

Las descargas dispersas de origen agrícola llevan implícitos procesos que ocurren entre las sustancias químicas del agua de riego y el suelo como el consumo de sustancias por organismos presentes en el terreno y liberación de metabolitos por parte de estos.

El control es muy difícil y está asociado con políticas adecuadas de cultivo y de dotación de infraestructura a los asentamientos humanos. Es decir, al desarrollo de políticas acordes de uso del agua y del suelo.

Por último, las descargas accidentales, como los derrames de PEMEX, son de control muy difícil, su estudio y estrategias para enfrentarlo deben ser determinadas a partir de estudios de simulación.

### 3.3 Principales contaminantes

Los componentes o impurezas que caracterizan la calidad del agua, pueden estar presentes en alguna de las siguientes tres formas:

**Materia suspendida.**- corresponde a moléculas suspendidas de diámetro equivalente a 1 - 100 microm

**Materia disuelta.**- corresponde a moléculas o iones disueltos de diámetro equivalente a  $10^{-5}$  -  $10^{-3}$   $\mu$

**Materia coloidal.**- corresponde a materia suspendida con características, en algunos casos, similares a la materia disuelta, con diámetro equivalente a  $10^{-3}$  -  $1 \mu$

La TABLA 1 muestra datos típicos de los constituyentes encontrados en el agua residual doméstica; dependiendo de las concentraciones constituyentes, el agua residual se clasifica como de concentración alta, media o baja.

TABLA 1 COMPOSICION TIPICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN DOMESTICO

COMPUESTO	CONCENTRACION		
	MINIMA	PROMEDIO	MAXIMO
Sólidos totales, mg/L	350	720	1200
Sólidos disueltos	250	500	850
Fijos	145	300	525
Volátiles	105	200	325
Suspendidos totales	100	220	350
Fijos	20	55	75
Volátiles	80	165	275
Sólidos sedimentables, ml/L	5	10	20
DBO5, mgO <sub>2</sub> /L	110	220	400
DQO, mgO <sub>2</sub> /L	250	500	1000
COT, mgC/L	80	160	290
Nitrógeno total, mgN/L	20	40	85
Orgánico	8	15	35
Amoniacal	12	25	50
Fósforo total	4	8	15
Alcalinidad mgCaCO <sub>3</sub> /L	510	100	200
Grasas, mg/L	20	100	150

Adaptado de Metcalf & Eddy, Inc. 1979.

### 3.4 Características físicas

Entre las propiedades físicas se encuentra el color, olor, sabor, temperatura, turbiedad, contenido de sólidos y conductividad.

- **Color.** El color verdadero se define como el color producido por sustancias disueltas y se aplica para agua potable. El color aparente está dado por los sólidos en suspensión. El método que se utiliza con mayor frecuencia es el de la escala Pt-Co (platino-cobalto).

La coagulación seguida por sedimentación es el método más apropiado para la remoción del color. La dosificación del coagulante depende de la concentración inicial del color y del pH óptimo (generalmente ácido).

- **Conductividad.** La conductividad representa la capacidad de una solución para transmitir una corriente eléctrica. Su valor depende del tipo de iones involucrados, sus concentraciones, el estado de oxidación de los mismos, el porcentaje de cada uno y de la temperatura. En general, las soluciones de ácidos, bases y sales son buenos conductores pero, las de compuestos orgánicos lo son escasa o nulamente. La conductividad de electrólitos (no la metálica) es muy dependiente de la temperatura, aproximadamente  $1.9\%/^{\circ}\text{C}$ .

- **Olor.** Es un parámetro que proporciona información sobre el estado del agua y puede provocar rechazo por el consumidor.

- **Sabor.** El sabor al igual que el olor, tiene su origen por la presencia de minerales (metales y sales del suelo) o por productos finales de las reacciones biológicas. Los compuestos inorgánicos producen sabor pero no olor, en cambio, los orgánicos producen ambos, (Ejemplo: el petróleo y los sulfuros producto de la descomposición biológica). El sabor es un parámetro de agua potable medido por catadores.

- **Sólidos.** Se entiende por sólido todo residuo que queda después de la evaporación a  $103^{\circ}\text{C}$ . Los procesos tradicionales de eliminación de sólidos suspendidos son la desarenación, sedimentación y filtración. Para el caso especial de los sólidos suspendidos orgánicos se emplean procesos secundarios (floculación-coagulación y sistemas biológicos), los que teóricamente eliminan entre el 90 y 95% de los mismos. Los sólidos suspendidos interfieren con la desinfección del efluente, protegiendo en ellos a los organismos patógenos por lo que su correcto control implica un tratamiento terciario (coagulación-floculación después de un biológico o filtración terciaria).

Los sólidos disueltos totales (SDT) en el agua comprenden sustancias inorgánicas (calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica. Los SDT en el agua potable proceden de fuentes naturales, aguas residuales, escorrentías urbanas y desechos industriales. Las concentraciones de los SDT en el agua varían considerablemente en diferentes regiones geológicas, debido a la distinta solubilidad de los minerales.

No se dispone de datos confiables sobre los posibles efectos en la salud de la ingestión de SDT en el agua para consumo humano y no se propone un valor guía basado en criterios sanitarios. Sin embargo, la presencia de altas concentraciones de los SDT puede causar quejas en los consumidores.

- **Temperatura.** Influye sobre las tasas de crecimiento biológico, las reacciones químicas, la solubilidad de los contaminantes o compuestos requeridos (sólidos, líquidos o gases, principalmente  $\text{O}_2$ ) y en el desarrollo de la vida. Es importante recordar que en un líquido a mayor temperatura mayor solubilidad de un sólido pero menor la de un gas y esto es el motivo

por el cual la contaminación térmica acaba con la vida aerobia de un cuerpo de agua, al eliminar el oxígeno disuelto del agua. La temperatura del agua residual es generalmente más alta que en la del agua potable, debido a la adición de agua caliente procedente de casas y actividades industriales.

- **Turbiedad.** La turbiedad es el parámetro que mide qué tanto la luz es absorbida o dispersada por la materia suspendida (sedimentable y coloidal) del agua. La turbiedad no es un análisis cuantitativo de los sólidos suspendidos. En las aguas superficiales se debe en gran parte a la presencia de arcilla y otros minerales. El intervalo en tamaños de la mayor parte de estas partículas es del orden de 0.2 a 5  $\mu$ , es decir, que corresponden a una escala superior a la de los verdaderos coloides. La coagulación de estas suspensiones se realiza con relativa facilidad, una vez que se ha determinado el pH adecuado.

### 3.5 Características químicas

- **Acido sulfhídrico (sulfuro de hidrógeno).** El ácido sulfhídrico es un gas de olor desagradable, a huevos podridos, que se percibe incluso con concentraciones muy bajas, inferiores a 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el aire. Se forma por hidrólisis de sulfuros en el agua. Sin embargo, la concentración del ácido sulfhídrico en el agua para consumo humano se reduce debido a que los sulfuros se oxidan fácilmente en el agua aireada.

La toxicidad aguda del ácido sulfhídrico es considerable para los seres humanos cuando estos lo absorben por inhalación; hay irritación ocular con concentraciones de 15 a 30  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Aunque no se dispone de datos sobre la toxicidad por vía oral, es poco probable que pueda consumirse una dosis perjudicial de ácido sulfhídrico en el agua para consumo humano. Por consiguiente, no se propone un valor guía basado en criterios sanitarios. No obstante, en el agua potable no deben ser detectables el sabor ni el olor de este compuesto.

- **Alcalinidad.** La alcalinidad expresa la capacidad que tiene un agua para mantener su pH a pesar de recibir una solución ácida o alcalina. Corresponde principalmente a los hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de los iones  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{NH}_4^+$ , siendo los más comunes los de calcio y magnesio. Cuando el agua contiene boratos, fosfatos o silicatos también son medidas por este método, de ahí que la prueba sea considerada como global. La alcalinidad se determina mediante la titulación con un ácido ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 0.02N) y el resultado se expresa como  $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ .

- **Carbono orgánico total.** El carbono presente en la materia orgánica se encuentra en varios estados de oxidación que reaccionan de manera diferente a la prueba de DBO o de DQO. En efecto, la DQO y DBO dependen del estado de oxidación de la materia orgánica en cambio el COT evalúa el contenido total de C. La medición se hace por liberación del carbono orgánico y su transformación en  $\text{CO}_2$ . El  $\text{CO}_2$  formado es detectado por infrarrojo. Se puede medir el carbono total (TC) si se incluye el contenido original de  $\text{CO}_2$  en la muestra y sobre la fracción de COT se puede diferenciar la soluble de la no disuelta.

- **Cloro residual.** La cloración del agua de abastecimiento o de agua tratada tiene por objeto destruir o desactivar microorganismos patógenos. Un segundo efecto, importante sobretodo en agua de abastecimiento, es mejorar la calidad global por la reacción del cloro con el nitrógeno amoniacal, fierro, manganeso, sulfuros y algunos compuestos orgánicos. El cloro libre (principalmente HOCl y OCl) así como el combinado (cloraminas) se determina por la formación de un compuesto amarillo con ortotoluidina, el cual se mide a 435 o 490 nm en un espectrofotómetro. Para medir cloro residual en forma aproximada existen dispositivos muy sencillos como los empleados en albercas.

- **Cloruro.** El cloruro presente en el agua para consumo humano procede de fuentes naturales, de las aguas residuales y de los efluentes industriales, de la escorrentía urbana que contiene sales utilizadas para deshelar y de intrusiones salinas. La principal fuente de exposición humana a este compuesto es la sal agregada a las comidas, cuya ingesta es por lo general mucho mayor que la procedente del agua potable.

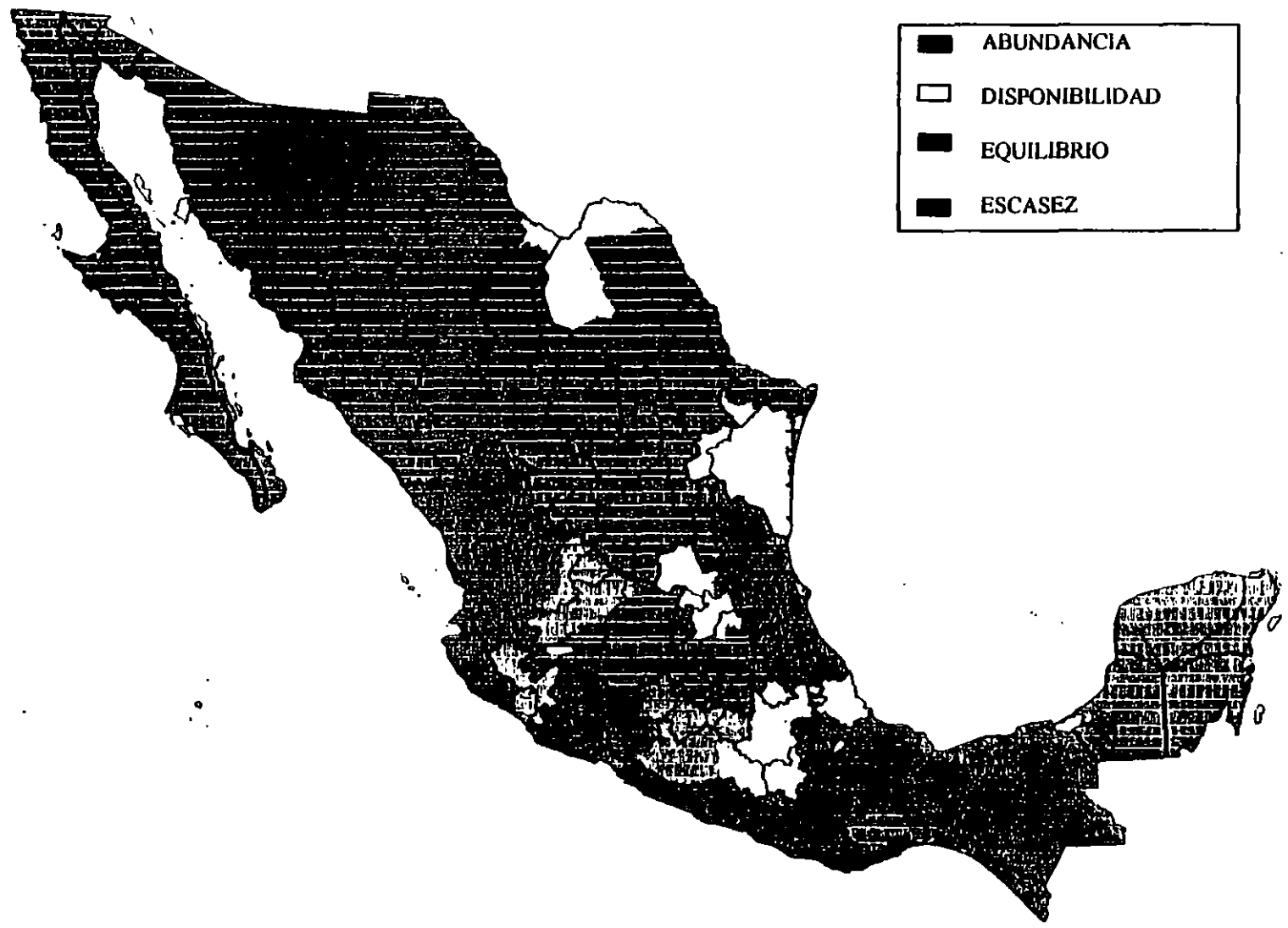
La excesiva concentración de cloruro eleva la tasa de corrosión de los metales del sistema de distribución, en función de la alcalinidad del agua y puede hacer que aumenten las concentraciones de metales en ésta.

No se propone un valor guía basado en sistemas sanitarios para el cloruro presente en agua potable. No obstante, en concentraciones superiores a 250 mg/L pueden alterar el sabor del agua.

- **Demanda biológica de oxígeno (DBO).** La demanda biológica de oxígeno es una medida de la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar la materia orgánica en el agua a 20°C y en 5 días. Sólo evalúa la demanda ejercida por la fracción carbonada, la de los sulfuros y del ión ferroso y excluye la fracción nitrogenada. La DBO no mide un compuesto en especial sino todos los biodegradables por vía aerobia y se expresa en mgO<sub>2</sub>/L. Un agua de calidad potable tiene una DBO promedio mensual del orden de 0.75 a 1.5 mgO<sub>2</sub>/L, el agua residual doméstica oscila entre 200 a 300 mgO<sub>2</sub>/L y algunos efluentes industriales de 1 a 2 g/L (rastros, ingenios, etc.).

El parámetro de la DBO es importante para el tratamiento de agua residual, los resultados DBO se utilizan para determinar:

- 1) la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente,
- 2) el tamaño de las instalaciones de tratamiento de agua residual y,
- 3) medir la eficiencia de algunos procesos de tratamiento.



MAPA 1 BALANCE HIDRAULICO POR REGION HIDROLOGICA

- **Demanda química de oxígeno (DQO).** Es una medida de la concentración de sustancias que en un agua pueden ser atacadas por un oxidante fuerte ( $K_2Cr_2O_4$ ) a altas temperaturas ( $\approx 700^\circ C$ ). La DQO no siempre guarda una relación con la DBO, aunque en general es mayor.

- **Dureza.** La dureza del agua es causada por calcio y magnesio disueltos en ella. Generalmente, se expresa por la cantidad equivalente de carbonato cálcico.

La dureza es función del pH y la alcalinidad. Una dureza superior a 200 mg/L puede dar lugar a incrustaciones, en particular en sistemas de calefacción. Las aguas blandas con una dureza inferior a unos 100 mg/L, tienen una baja capacidad de amortiguación y pueden resultar más corrosivas para las tuberías.

No se propone para la dureza un valor guía basado en criterios sanitarios. No obstante, el grado de dureza del agua puede influir en la aceptación de ésta por el consumidor, debido a sus efectos sobre el sabor y la aparición de incrustaciones.

- **Fenoles.** Los fenoles causan problemas de sabor en el agua, especialmente cuando ésta es clorada. Se producen principalmente por operaciones industriales y aparecen en el agua residual proveniente de ellas. En consecuencia, la prueba de fenoles se emplea para definir si un efluente tiene vertidos industriales. Los fenoles pueden ser biológicamente oxidados en concentraciones del orden de 500 mg/L.

- **Fluoruro.** El flúor representa aproximadamente 0.3 g/kg de la corteza terrestre. Sus compuestos inorgánicos se utilizan en la reducción de aluminio y la fabricación y utilización de fertilizantes fosfatados, que contienen hasta un 4% de flúor.

La exposición al fluoruro presente en el agua para consumo humano depende considerablemente de circunstancias naturales. En el agua no tratada, las concentraciones son, por lo común, inferiores a 1.5 mg/L, pero en las zonas ricas en minerales que contienen flúor, las aguas subterráneas pueden contener unos 10 mg/L. Este compuesto se agrega también en ocasiones al agua potable para prevenir la caries dental.

Tras su ingestión en el agua, los fluoruros solubles se absorben fácilmente a través del tracto intestinal. En 1987, el Centro de Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) clasificó los fluoruros inorgánicos en el grupo 3. En 1984 se indicó como valor guía 1.5 mg/L. Las concentraciones superiores a ese valor llevan consigo un riesgo creciente de fluorosis dental y concentraciones muchos mayores provocan fluorosis esquelética. El valor es superior al recomendado para fluoración artificial del abastecimiento de agua.

- **Grasas y aceites.** La grasa animal y los aceites son compuestos (ésteres) de alcohol o glicerol (glicerina) y ácidos grasos.

Son químicamente muy semejantes ya que se componen de carbono, hidrógeno y oxígeno, en diversas proporciones. Las grasas son uno de los compuestos orgánicos más estables y no se descomponen fácilmente por la acción de las bacterias. Sin embargo, los ácidos minerales y el



10 \*

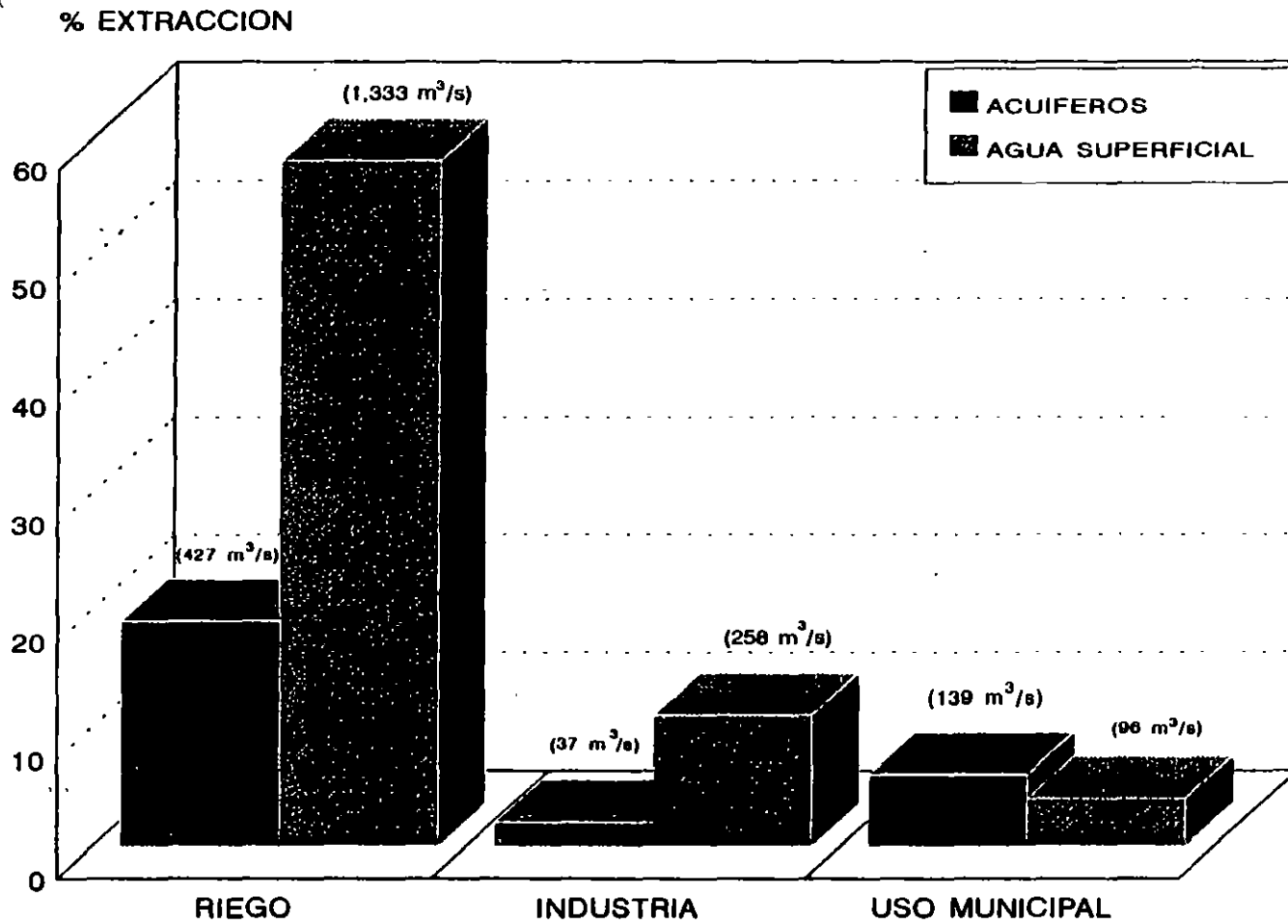


FIG 1 Empleo nacional del agua por los sectores agrícola, industrial y municipal y explotación de los acuíferos

hidróxido de sodio las atacan, dando como resultado la formación de glicerina y ácido graso o sus sales alcalinas.

- **Nitrato y nitrito.** Los nitratos y nitritos son iones presentes en la naturaleza que forman parte del ciclo del nitrógeno. En las aguas superficiales y subterráneas, las concentraciones de nitratos naturales ascienden generalmente a unos pocos miligramos por litro. En muchas aguas subterráneas, se ha observado en numerosas ocasiones, debido a la intensificación de las prácticas agrícolas, un aumento de las concentraciones de nitratos, que pueden llegar a varios centenares de miligramos por litro. En algunos países hasta el 10% de la población puede estar expuesto a concentraciones de nitratos superiores a 50 mg/L en el agua para consumo humano.

Por lo común, cuando las concentraciones en el agua potable son inferiores a 10 mg/L, la principal fuente de la ingesta total de nitratos serán las verduras. Cuando las concentraciones son superiores a 50 mg/L, el agua será la fuente principal.

El valor guía de nitrógeno como nitrato es de 10 mg/L. No obstante, el valor no debe expresarse sobre esta base sino sobre la del propio nitrato, que es la entidad química que puede perjudicar la salud, por lo que se establece un valor guía para el nitrato de 50 mg/L.

Dado que recientemente se han obtenido datos que indican la presencia de nitritos en algunos sistemas de abastecimiento de agua, se llegó a la conclusión de que debía proponerse un valor guía para el nitrito.

- **Oxígeno disuelto.** La concentración de oxígeno disuelto (OD) es un parámetro importante para evaluar la calidad del agua. Sirve como indicador del efecto producido por los contaminantes oxidables, de la capacidad para mantener vivos peces u otros organismos aerobios y de la capacidad autodepuradora de un cuerpo receptor.

- **pH.** No se propone un valor guía basado en sistemas sanitarios para éste parámetro, aunque valores superiores a 11 tienen relación con la irritación ocular y agravación de trastornos cutáneos. Aunque el pH no tiene, por lo común efectos directos en los consumidores, es uno de los parámetros operacionales más importantes de la calidad del agua.

- **Sulfato.** Los sulfatos están presentes en forma natural en diversos minerales y se utilizan comercialmente sobre todo en la industria química. Se descarga en el agua a través de los desechos industriales y de los depósitos atmosféricos; sin embargo, es común concentraciones mayores en las aguas subterráneas.

El sulfato es uno de los aniones menos tóxicos; sin embargo, en grandes concentraciones, se ha observado catarsis, deshidratación e irritación gastrointestinal. No se propone un valor guía basado en criterios sanitarios para el sulfato.

La presencia de sulfato en el agua potable puede causar también un sabor perceptible y contribuir a la corrosión de los sistemas de distribución.

- **Sustancias activas al azul de metileno (SAAM).** Las sales alcalinas de las grasas son conocidas como jabones y, como en el caso de las grasas, son estables. Los jabones comunes se hacen por saponificación de grasas con hidróxido sódico. Son solubles en agua, pero en presencia de los constituyentes de la dureza, las sales sódicas se transforman en sales cálcicas y magnésicas de ácidos grasos, también conocidas como jabones minerales, que son insolubles y precipitan.

Los principales problemas que provocan estos compuestos son la producción de espuma y la impartición de sabor a concentraciones muy bajas. Por ello, el estándar de 0.5 mg/L representa un factor de seguridad de 15,000 veces en relación con su toxicidad.

- **Sustancias extractables con cloroformo.** Los compuestos extractables con cloroformo corresponden al contenido de materia orgánica en el agua. Esta prueba se emplea como un primer cribado para separar insecticidas clorados, nitrobenzenos y éteres aromáticos. Cuando se tienen concentraciones superiores a 0.2 mg/L, el olor y el sabor del agua son de mala calidad. Es una prueba poco usada que ha sido sobrepasada por métodos más modernos y precisos.

### 3.6 Metales

Son un grupo de elementos situados en los grupos I, II III y parte del IV de la Tabla periódica. En la determinación de metales es frecuente emplear el término disueltos, cuando el análisis se efectúa sobre el filtrado a  $0.45 \mu$  y sin acidificar, en caso contrario se habla de metales suspendidos. Por metales totales se entiende la detección en una muestra no filtrada y sujeta a una digestión fuerte. Por último, los metales extractables en ácidos se refiere a la determinación efectuada en una muestra no filtrada y tratada con un ácido mineral caliente. Los metales principales son los siguientes:

- **Aluminio.** El aluminio es un elemento abundante y difundido, que representa alrededor del 8% de la corteza terrestre. En el tratamiento del agua utilizada para el abastecimiento público se usan ampliamente compuestos de aluminio, y la presencia de éste en el agua para consumo humano se debe con frecuencia a deficiencias del control y el funcionamiento del proceso. La exposición de los seres humanos puede producirse por diversas vías, y probablemente corresponde al agua potable menos del 5% de la ingesta total.

El metabolismo del aluminio en los seres humanos no es bien conocido pero, al parecer, el aluminio inorgánico se absorbe mal y la mayor parte del absorbido se, excreta rápidamente en la orina.

En algunos estudios, se ha observado una relación entre la presencia de aluminio en el agua para consumo humano y la aparición de lesiones cerebrales características de la enfermedad de Alzheimer. No se recomienda un valor guía basado en los efectos sanitarios. No obstante, una concentración de aluminio de 0.2 mg/L permite llegar a una solución de transacción entre la necesidad práctica de utilizar sales de aluminio para el tratamiento del agua y la conveniencia de evitar la coloración del agua distribuida.

- **Arsénico.** El arsénico está ampliamente distribuido por toda la corteza terrestre y se utiliza comercialmente, sobre todo en agentes aleadores. El presente en el agua procede de la disolución de minerales y minas, de efluentes industriales y de la atmósfera; en algunas zonas, las concentraciones que existen en las aguas subterráneas son elevadas, resultado de la erosión. Se estima que la ingesta diaria media de arsénico inorgánico en el agua es similar a la procedente de los alimentos.

Está demostrado que el arsénico inorgánico es carcinógeno para los seres humanos, y el CIIC lo ha clasificado en el grupo 1. En poblaciones que consumen agua con altas concentraciones de arsénico, se ha observado una incidencia relativamente elevada de cáncer de la piel y posiblemente de otros tipos, que aumenta con la dosis y la edad.

A fin de reducir la concentración de este contaminante carcinógeno, se ha establecido un valor guía provisional para el arsénico en el agua potable de 0.01  $\mu\text{g/L}$ .

- **Bario.** El bario está presente en varios compuestos que forman parte de la corteza terrestre y se utiliza en aplicaciones industriales muy diversas; el que se encuentra en el agua procede principalmente de fuentes naturales. En general, la principal fuente de exposición al bario son los alimentos; no obstante, en las zonas donde el agua contiene concentraciones elevadas de este elemento, una parte importante de la ingesta total puede proceder del agua para consumo humano.

El valor guía para el bario en agua potable es de 0.7 mg/L.

- **Boro.** El boro se utiliza principalmente en materiales estructurales. Los compuestos de boro se usan en algunos detergentes y procesos industriales y llegan al agua en los efluentes industriales y domésticos. Las concentraciones de boro que suelen hallarse en el agua para consumo humano son inferiores a 1 mg/L, pero se han observado niveles superiores, debido a la presencia de boro natural. Se estima que la ingesta diaria total se sitúa entre 1 y 5 mg/L. Cuando se administra en forma de borato o ácido bórico, el boro se absorbe rápida y casi completamente a través del tracto gastrointestinal.

Si se asigna el 10% de la Ingesta Diaria Total (IDT) al agua potable, se obtiene un valor guía de 0.3 mg/L. No obstante, debe señalarse que la ingesta de boro procedente de los alimentos no es bien conocida y que al parecer, el tratamiento del agua para consumo humano no elimina adecuadamente este elemento.

- **Hierro.** El hierro es uno de los metales más abundantes de la corteza terrestre. Se encuentra en las corrientes naturales, en concentraciones que varían de 0.5 a 50 mg/L. También puede estar presente en el agua para consumo humano debido a la utilización de coagulantes de hierro o a la corrosión de las tuberías de acero y hierro fundido durante el proceso de distribución.

El hierro es un elemento indispensable de la nutrición humana. Sin embargo, la posible acumulación de un volumen excesivo de hierro en el organismo, marca una ingesta diaria

tolerable máxima provisional (IDTMP) de 0.8 mg/kg de peso corporal, que se aplica al hierro de todas las fuentes con excepción de los óxidos de hierro utilizados como colorantes y los suplementos de hierro administrados durante el embarazo y la lactancia o por razones clínicas concretas. La asignación del 10% de esta IDTMP al agua potable proporciona un valor de unos 2 mg/L, que no representa un riesgo para la salud. Por lo general concentraciones inferiores afectan ya al sabor y la apariencia del agua.

No se propone un valor guía basado en criterios sanitarios para el hierro presentes en el agua potable.

- **Manganeso.** El manganeso es uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre y, por lo general, se presenta junto con el hierro. Las concentraciones de manganeso disuelto en las aguas subterráneas y superficiales pobres en oxígeno pueden alcanzar varios miligramos por litro. En presencia de oxígeno, el manganeso forma óxidos insolubles que pueden provocar la aparición de depósitos no deseables y causar problemas de color en los sistemas de distribución. La ingesta diaria de manganeso procedente de los alimentos es de 2 a 9 mg para los adultos.

El manganeso es un oligo elemento indispensable, requiriéndose diariamente de 30 a 50  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso corporal. Su tasa de absorción puede variar considerablemente según la ingesta efectiva, la forma química y la presencia de otros metales, como el hierro y el cobre, en el régimen de alimentación. En los lactantes y los animales jóvenes se han detectado tasa de absorción muy altas.

No hay datos convincentes que indiquen la aparición de efectos tóxicos en los seres humanos debido al consumo de manganeso en el agua para consumo humano, pero sólo se dispone de estudios limitados.

La ingesta del manganeso puede llegar a 20 mg diarios sin efectos perjudiciales aparentes. Con una ingesta de 12 mg diarios, un adulto que pese 60 kg recibirá 0.2 mg diarios /kg de peso corporal. Si se asigna el 20% de la ingesta al agua potable y se aplica un factor de incertidumbre de 3 para tener en cuenta el posible aumento de biodisponibilidad del manganeso procedente del agua, se obtiene un valor de 0.4 mg/L.

- **Molibdeno.** La concentración de molibdeno en el agua para consumo humano es generalmente inferior a 0.01mg/L. No obstante en las zonas próximas a minas, se ha notificado la presencia de concentraciones de hasta 200  $\mu\text{g}/\text{L}$ . La ingesta alimentaria de esta sustancia es aproximadamente de 0.1 mg diarios por persona. Se considera que el molibdeno es un elemento indispensable, del que los adultos necesitan, según las estimaciones, de 0.1 a 0.3 mg diarios.

No se dispone de datos sobre la carcinogenicidad del molibdeno por vía oral. Como el molibdeno es un elemento indispensable, se considera un factor de 3 lo que proporciona un valor guía de 0.07 mg/L.

- **Níquel.** La concentración de este metal en el agua para consumo humano es generalmente inferior a 0.02 mg/L. La contribución del níquel liberado por grifos y accesorios puede ser hasta de 1 mg/L. En casos especiales de liberación de depósitos naturales o industriales del suelo, la concentración en el agua para consumo humano puede ser incluso mayor. La ingesta alimentaria diaria media es normalmente de 0.1 a 0.3 mg de níquel, pero puede alcanzar 0.9 mg si se consumen determinados artículos alimenticios.

Si se asigna al agua potable el 10% de la IDT, se obtiene un valor guía basado en criterios sanitarios de 0.02 mg/L que debe proporcionar protección suficiente para las personas sensibles al níquel.

- **Sodio.** Prácticamente todos los alimentos (que son la principal fuente de exposición cotidiana) y el agua para consumo humano contienen sales de sodio (por ejemplo, cloruro sódico). Aunque las concentraciones típicas de sodio en el agua consumida son inferiores a 20 mg/L, en algunos países pueden ser mucho mayores. Las concentraciones de sales de sodio en el aire, son por lo común, bajas en comparación con las que se encuentran en los alimentos o en el agua. Debe señalarse que algunos ablandadores del agua pueden aumentar apreciablemente el contenido de sodio en ésta.

No se ha podido llegar a una conclusión firme sobre la posible relación entre el contenido de sodio en el agua potable y la hipertensión. Por lo tanto, no se propone un valor guía basado en criterios sanitarios. Sin embargo, las concentraciones superiores a 200 mg/L pueden dar lugar a un sabor inaceptable.

### **3.7 Componentes orgánicos**

#### **3.7.1 Alcanos clorados**

- **Tetracloruro de carbono.** El tetracloruro de carbono se utiliza principalmente para producir refrigerantes de clorofluorocarbono y se libera en el aire y el agua durante la fabricación y el uso de éstos. Aunque los datos de que se dispone sobre su concentración en alimentos son limitados, se prevé que la ingesta de tetracloruro de carbono procedente del aire resultará mucho mayor que la absorbida con los alimentos o el agua para consumo humano. Las concentraciones de esta última son generalmente inferiores a 5 µg/L.

El tetracloruro de carbono ha sido clasificado por el CIIC en el grupo 2B. Puede metabolizarse en sistemas microsómicos, produciendo un radical triclorometilo que se une a macromoléculas, iniciando la peroxidación de los lípidos y destruyendo las membranas celulares. Se ha demostrado que causa tumores hepáticos y de otro tipo en ratas, ratones y hamsters tras la exposición por vía oral o subcutánea o por inhalación.

- **Diclorometano.** El diclorometano o cloruro de metileno se utiliza ampliamente como disolvente para muchos propósitos, en partículas para descafeinar el café y para decapar la pintura. La exposición resultante de su presencia en el agua para consumo humano es insignificante comparada con la de otras fuentes.

La toxicidad aguda del diclorometano es reducida. En un estudio de absorción por inhalación de los ratones se demostró en forma concluyente la carcinogenicidad, mientras que otro realizado con el agua sólo proporcionó elementos de juicio favorables a la existencia de ésta. El CIIC ha clasificado el diclorometano en el grupo 2B; no obstante, el conjunto de los datos parece indicar que este compuesto no es un carcinógeno genotóxico y que no se forman *in vivo* metabolitos genotóxicos en cantidades relevantes.

- **1,1-Dicloroetano.** El 1,1-dicloroetano se utiliza como intermediario químico y disolvente. Se dispone de datos limitados que indican que puede estar presente en el agua para consumo humano en concentraciones de hasta 10 µg/L. No obstante, dada la generalización del uso de este compuesto y su consiguiente aparición en los desechos, su presencia en las aguas subterráneas puede aumentar.

Los mamíferos metabolizan rápidamente el 1,1-dicloroetano, produciendo ácido acético y diversos compuestos clorados. La toxicidad aguda es relativamente reducida y sólo se dispone de datos sobre la toxicidad en estudios a corto y a largo plazo.

Dada la limitación de los datos existentes sobre toxicidad y carcinogenicidad, se llegó a la conclusión de que no se debía proponer un valor guía.

- **1,2-Dicloroetano.** El 1,2-dicloroetano se utiliza principalmente como intermediario en la producción de cloruro de vinilo y otros productos químicos y en menor medida, como disolvente. Se han hallado en el agua para consumo humano en concentraciones de hasta unos pocos microgramos por litro. Está también presente en el aire de las zonas urbanas.

El CIIC ha clasificado el 1,2-dicloroetano en el grupo 2B. Se ha demostrado que esta sustancia provoca en animales de laboratorio varios tipos de tumores, en particular del hemangiosarcoma, que suele ser relativamente raro; los datos disponibles en su conjunto indican una posible genotoxicidad. No existen estudios adecuados a largo plazo que puedan servir de base a una IDT.

- **1,1,1-Tricloroetano.** El 1,1,1-tricloroetano solo se ha descubierto en una porción reducida de las aguas superficiales y subterráneas, por lo general en concentraciones inferiores a 20 µg/L. En unos pocos casos, se han observado concentraciones mucho mayores. La exposición a este compuesto parece ir en aumento.

El 1,1,1-tricloroetano se absorbe con rapidez a través de los pulmones y el tracto gastrointestinal, pero solo se metaboliza en pequeñas cantidades -aproximadamente el 6% en los seres humanos y el 3% en los animales de experimentación. La exposición a altas

concentraciones puede producir esteatosis hepática (hígado graso) tanto en seres humanos como en animales de laboratorio.

Se recomienda realizar estudios adecuados sobre la toxicidad por vía oral, a fin de obtener datos aceptables para la determinación de un valor guía.

### 3.7.2 Plaguicidas

Se reconoce que los productos de la degradación de plaguicidas pueden representar un problema en el agua para consumo humano. No se tienen guías de toxicidad de esos productos, ya que los datos disponibles sobre su identidad, su presencia y su actividad biológica son insuficientes.

- **Alacloro.** El alacloro es un herbicida que se utiliza para controlar las hierbas anuales y numerosas malezas de hoja ancha en los cultivos de maíz y en varios otros, antes y después de su aparición. Desaparece del suelo principalmente por volatilización, fotodegradación y biodegradación y en muchos de los productos se han identificado en el suelo. Se ha detectado la presencia de este compuesto en aguas subterráneas y superficiales. Se ha detectado también en el agua para consumo humano, concentraciones inferiores a 2  $\mu\text{g/L}$ .

Los datos experimentales disponibles no permiten llegar a una conclusión sobre la genotoxicidad del alacloro, aunque se ha demostrado que unos de sus metabolitos es mutagénico.

El valor guía para el agua potable correspondiente a un riesgo adicional de cáncer durante toda la vida de  $10^{-5}$  es de 20  $\mu\text{g/L}$ .

- **Clordano.** El clordano es un insecticida de amplio espectro que se utiliza desde 1947. En los últimos tiempos su uso está limitado cada vez más en muchos países, y ahora se emplea sobre todo para destruir termitas mediante inyección superficial en el suelo.

El clordano es una mezcla de estereoisómeros, con predominio de las formas *cis* y *trans*. Es muy resistente a la degradación, muy inmóvil en el suelo y pasa muy fácilmente a las aguas subterráneas, donde sólo se ha encontrado en raras ocasiones. Desaparece fácilmente por liberación en la atmósfera.

El CIIC reevaluó el clordano en 1991, llegando a la conclusión de que su carcinogenicidad no está suficientemente demostrada en el caso de los seres humanos pero sí en los animales, por lo que lo clasificó en el grupo 2B.

Aunque las concentraciones de clordano en los alimentos han ido disminuyendo, la sustancia es muy persistente y muestra gran potencial de bioacumulación.



- **DDT**. La estructura del DDT permite varias formas isoméricas distintas, y los productos comerciales están constituidos principalmente por *p,p'*-DDT. En algunos países, se ha restringido e incluso prohibido la utilización de este compuesto, pero en otros es utilizado tanto en la agricultura como en la lucha antivectorial. El DDT es un insecticida persistente, estable en la mayor parte de las condiciones ambientales; la sustancia y algunos de sus metabolitos son resistentes a la descomposición completa por los microorganismos presentes en el suelo.

En pequeñas dosis, el DDT y sus metabolitos son absorbidos casi por entero por los seres humanos, tras su ingestión o inhalación, y se acumulan en los tejidos adiposos y la leche.

El CIIC ha llegado a la conclusión de que la carcinogenicidad del DDT no está suficientemente demostrada en el caso de los seres humanos pero sí en los animales de experimentación (grupo 2B), ya que se ha observado la aparición de tumores hepáticos en ratas y ratones expuestos a él.

Como los lactantes y los niños pueden verse expuestos en cantidades de sustancias químicas mayores en relación con su peso corporal y dada la inquietud ante la bioacumulación del DDT, el valor guía se calculó a partir de la hipótesis de que un niño de 10 kg bebe un litro de agua diario. Además como la exposición al DDT por vías distintas al agua es considerable, se asignó al agua potable un valor guía de 2  $\mu\text{g/L}$  para el DDT y sus metabolitos presentes en el agua para consumo humano.

Este valor guía sobrepasa la solubilidad del DDT en el agua, que es de 1  $\mu\text{g/L}$ . No obstante, las pequeñas cantidades de partículas que contiene el agua pueden absorber una cierta cantidad de este producto, por lo que el valor guía de 0.02  $\mu\text{g/L}$  podría alcanzarse en determinadas circunstancias.

Conviene mencionar que, como en el caso de todos los plaguicidas, el valor guía recomendado para el DDT presente en el agua potable se ha establecido para la proteger la salud de los seres humanos y puede no ser suficiente para la protección del medio ambiente, la fauna y la flora acuáticas.

- **Acido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D)**. El 2,4-D es un herbicida clorofenóxido utilizado para el control de las malezas de hoja ancha. Su vida media antes de la biodegradación varía de unos días a 6 semanas en el suelo, mientras que en agua, oscila entre una y varias semanas. Datos limitados obtenidos durante actividades de vigilancia indican que las concentraciones en el agua para consumo humano no sobrepasan, por lo general, unos pocos microgramos por litro. El 2,4-D rara vez se encuentra en los alimentos.

El CIIC ha clasificado los hierbidas clorofenóxidos en el grupo 2B. Aunque en uno de los estudios realizados con seres humanos se observó una tendencia marginalmente significativa al aumento del riesgo adicional de linfomas distintos del de Hodgkin con la mayor duración a la exposición a hierbidas clorofenóxidos, no es posible evaluar el potencial carcinógeno del 2,4-D *per se* sobre la base de los datos epidemiológicos disponibles.

- **Lindano.** El lindano ( $\gamma$ -hexaclorociclohexano,  $\gamma$ -HCH) es un insecticida utilizado desde hace mucho tiempo. Aparte de sus usos agrícolas en plantas y animales, se emplea también en salud pública y como preservante de la madera.

El lindano es un compuesto persistente con una afinidad por el agua relativamente baja y una reducida movilidad en el suelo; se volatiliza lentamente en la atmósfera. Es un contaminante ambiental ubicuo, que se ha detectado también en el agua. La exposición de los seres humanos, que tiene lugar a través de los alimentos, está disminuyendo. El valor guía es, pues, de 2  $\mu\text{g/L}$ .

### **3.8 Determinación de organismos patógenos**

El análisis de organismos patógenos en el agua se realiza de dos formas: utilizando un organismo indicador, o bien, detectando algún micorganismo específico. El primer caso es el más común como parámetro de control. Un indicador debe estar presente cuando estén presentes patógenos y ausente siempre que estén ausentes los patógenos. El indicador tradicional son las bacterias coliformes y en particular las fecales. Hay bacterias coliformes de origen fecal (humano) y las no fecales (tierra), sólo las fecales son indicadores para agua residual, y todas las bacterias coliformes para agua potable (incluye fecales).

Los coliformes fecales son un componente normal de la flora y fauna del intestino humano, donde se encuentran en grandes cantidades, ya que no son patógenos. Son microorganismos indicadores porque su presencia revela la contaminación del agua con heces fecales y la posible existencia de patógenos. Se escogieron debido a que los patógenos son menos abundantes en el agua residual, no siempre encuentran en el agua su habitat ideal y, su manipulación es menos peligrosa para el analista. Así, su presencia sugiere la existencia de otras bacterias, virus o protozoarios perniciosos para el ser humano.

## **4. NORMATIVIDAD RELATIVA A LA CALIDAD DEL AGUA**

El término calidad del agua es un concepto abstracto que sólo adquiere sentido cuando se listan parámetros y se les asocia un valor para definirla. La amplia combinación de compuestos y valores que se pueden considerar hace que en la práctica se formen conjuntos en función del uso (Criterios Ecológicos y Norma de agua potable), origen (NOM de descargas) o destino (CPDs).

En México, la normatividad que se relaciona con la calidad del agua se muestra en la TABLA 2 a la cual se deben añadir los tratados y convenciones internacionales que básicamente se limitan a la contaminación de mar con hidrocarburos y los acuerdos derivados del Tratado de Libre Comercio que, en pocas palabras, se resumen que cada país debe cumplir con su propia normatividad. Lo anterior, para México, tiene implicaciones muy serias.

**TABLA 2 NORMATIVIDAD MEXICANA PARA LA PREVENCION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AGUA**

DEPENDENCIA ENCARGADA DE LA PUBLICACION	INSTRUMENTO REGULATORIO	FECHA DE EXPEDICION
SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS	LEY DE CONTRIBUCION DE MEJORAS POR OBRAS PUBLICAS FEDERALES DE INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA	ENERO DE 1991
	LEY DE AGUAS NACIONALES	DICIEMBRE DE 1992
	LEY FEDERAL DE DERECHOS EN MATERIA DE AGUA	FEBRERO DE 1993
SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL	LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE	ENERO DE 1988
	NORMAS OFICIALES MEXICANAS REFERENTES A LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES	DICIEMBRE 13 DE 1993 ENERO 11 DE 1995
SECRETARIA DE SALUD	LEY FEDERAL DE PROTECCION AL AMBIENTE	ENERO DE 1982
	REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DE SALUD EN MATERIA DE CONTROL SANITARIO DE ACTIVIDADES, ESTABLECIMIENTOS, PRODUCTOS Y SERVICIOS	ENERO DE 1988

La definición de las propiedades que debe tener un agua para reconocerle una cierta calidad y por tanto destinarla a un uso se establece en:

*a) Para suministro*

- Los Criterios Ecológicos de Uso del Agua, y
- El Reglamento de la Ley General de salud en Materia de Control sanitario en su título tercero relativo a agua de consumo humano

*b) Para fines de saneamiento*

- Las Normas oficiales Mexicanas referentes a las descargas, y
- Las Condiciones particulares de descarga (CPDs)

Para mejorar la calidad del agua, estos cuatro instrumentos deben estar relacionados (Los parámetros medidos con mayor frecuencia en la Red Nacional de Monitoreo), sin embargo, la falta de visión en forma integral de la normatividad mexicana hace que -a pesar de que el agua sea una sola- es prácticamente imposible asegurar que se mejore la calidad para los usos por

medio del control de la calidad en las descargas. En efecto, es el doble empleo que damos a los cuerpos de agua como fuente de abastecimiento y transporte de contaminantes que hace que sea útil emplear parámetros comunes en la regulación de los usos y las descargas para poder ligar la evolución de la calidad.

Los instrumentos de la FIG 2 son los medios con los que cuenta México para evaluar y medir la calidad del agua así como para establecer de qué manera inciden las políticas de saneamiento en su mejora. Los parámetros establecidos son tales (o deberían ser tales) que si se cumpliesen no habría problemas de contaminación.

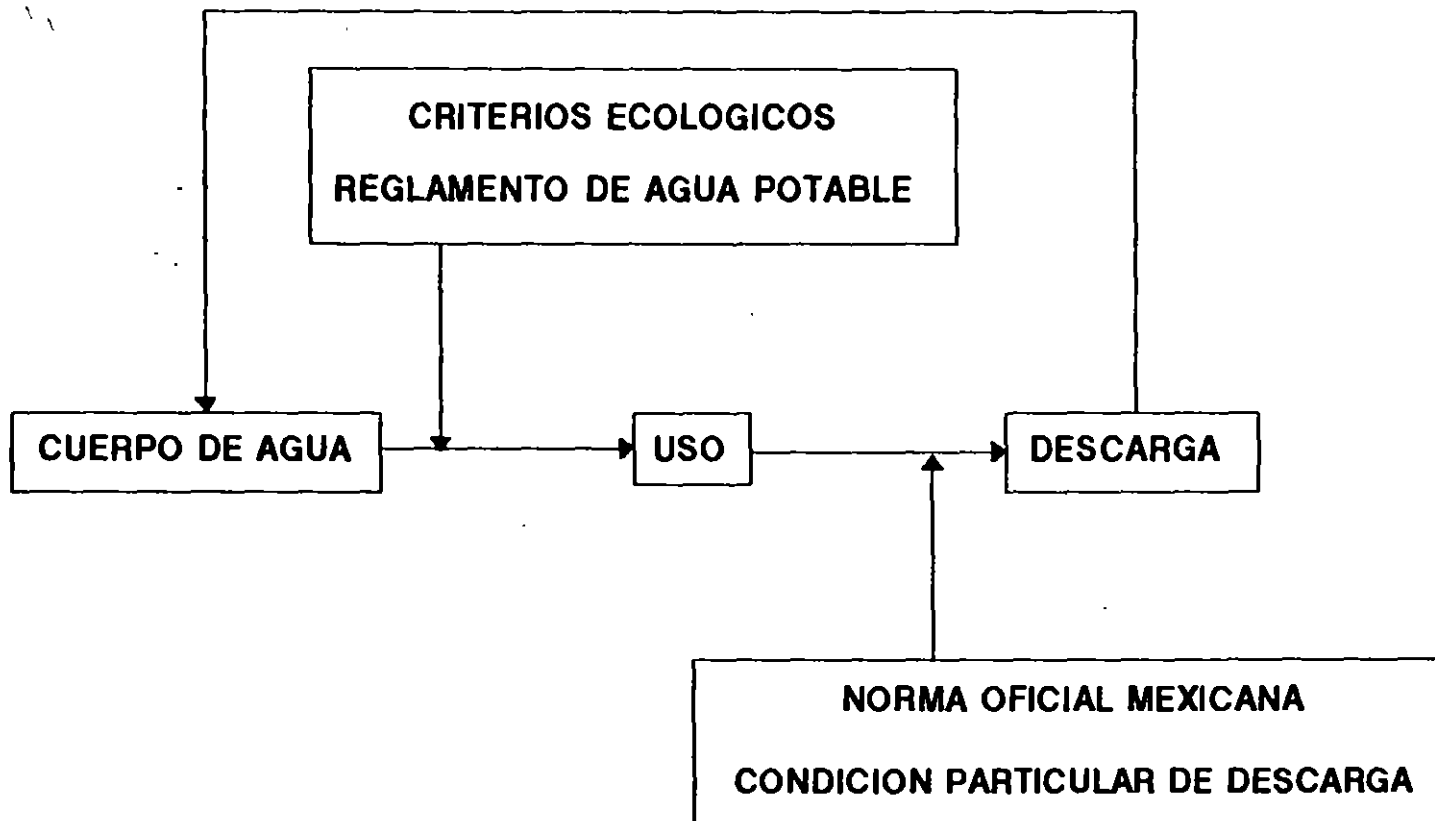
#### 4.1 Normatividad según el empleo

##### 4.1.1 Calidad del agua en función de sus usos

El listado que define la calidad del agua en función de sus usos está dado por los Criterios Ecológicos de Uso del Agua de 1989 que han servido como guía para el establecimiento de normas y políticas. Cabe mencionar que los criterios de Calidad del agua son similares a los que la EPA establece como metas a largo plazo (*goal*) y que se basan en conocimientos CIENTIFICOS y no tecnológicos por lo que en Estados Unidos no tienen aplicación directa. Se observa cuales son los usos que se reconocen:

1. Fuente Abastecimiento de Agua Potable.
2. Recreativo con Contacto Primario.
3. Riego Agrícola.
4. Pecuario.
5. Protección de la Vida Acuática:
  - 5.1 Agua Dulce.
  - 5.2 Agua Marina (Áreas Costeras).

Una primera observación revela que: los Criterios no son norma, es decir, no son obligatorios y no tienen efecto alguno sobre otras leyes y además, no son congruentes con los diversos usos que define la Ley (TABLA 3). De hecho, no hay correspondencia en ella misma. Situación que se agrava al incluir el análisis de la normatividad regional (Ej., En el D.F. se establece un uso "hospitalario", para el cual no se tiene definida calidad alguna).



**FIG 1 Usos y descargas del agua y su normatividad**

2/13

**TABLA 3 USOS DEL AGUA EN LOS DIFERENTES INSTRUMENTOS REGULATORIOS**

Usos del agua reconocidos en la literatura	Ley Federal de Aguas (11 de enero de 1972)	Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (13 de diciembre de 1989)	Ley de Aguas Nacionales (1 de diciembre de 1992)
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Consumo humano</li> <li>2. Agricultura</li> <li>3. Municipal (riego de áreas verdes, lavado de calles, fuentes de ornamento, lavado de maquinaria de servicio, etc.)</li> <li>4. Industria</li> <li>5. Recreación               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Con contacto primario</li> <li>- Con contacto secundario</li> </ul> </li> <li>6. Acuicultura</li> <li>7. Protección ecológica</li> <li>8. Abastecimiento pecuario</li> <li>9. Transporte de desechos</li> <li>10. Navegación</li> <li>11. Generación de energía eléctrica</li> <li>12. Control de avenidas</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Usos Domésticos</li> <li>2. Servicios Públicos Urbanos</li> <li>3. Abrevaderos de Ganado</li> <li>4. Riego de Terrenos: Ejidales y Comunales y de Propiedad Privada</li> <li>5. Industrias:               <ul style="list-style-type: none"> <li>5.1 Generación de Energía Eléctrica para Servicio Público</li> <li>5.2 Otras Industrias</li> </ul> </li> <li>6. Acuicultura</li> <li>7. Generación de Energía Eléctrica para Servicio Privado</li> <li>8. Lavado y Entarquinamiento de Terrenos</li> <li>9. Otros</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fuente Abastecimiento de Agua Potable</li> <li>2. Recreativo con Contacto Primario</li> <li>3. Riego Agrícola</li> <li>4. Pecuario</li> <li>5. Protección de la Vida Acuática:               <ul style="list-style-type: none"> <li>5.1 Agua Dulce</li> <li>5.2 Agua Marina (Áreas Costeras)</li> </ul> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Público Urbano</li> <li>2. Agrícola</li> <li>3. Generación de Energía Eléctrica</li> <li>4. Otras Actividades Productivas</li> </ol>

Por otra parte, en cuanto al agua dan el mismo peso e importancia a parámetros realmente limitativos del uso como a los recomendables. Por ejemplo, la turbiedad y el mercurio. Además, el valor numérico de varios de los parámetros no considera la posibilidad de aplicar alguna tecnología para remediarlo. Por ejemplo, no es necesario limitar la concentración de Fe a 0.3 mg/L en agua para preparar agua potable cuando existen sistemas de potabilización que remueven concentraciones mayores a un costo accesible.

La congruencia con los parámetros y valores estipulados en la norma de agua potable no fue reusada. Por ejemplo, los criterios ecológicos para suministro de agua potable limitan el contenido de cianuro a 0.02 y la norma de agua potable a 0.05, lo que hace suponer que alguna de los dos tiene un defecto.

Además, no consideran las condiciones propias del país. En cuerpos de agua limpios de países de climas fríos el contenido de N y de P es bajo. En cambio, en México, existen cuerpos de agua no contaminados y con condiciones ecológicas sanas que tienen concentraciones mayores que las establecidas en los criterios. Algo similar ocurre con el boro.

#### *4.1.2 Calidad del agua potable*

Técnicamente, la definición de la "potabilidad de un agua" es un aspecto complicado y se refiere a CERTIFICAR la ausencia del riesgo de enfermedad a largo o corto plazo en el ser humano. La OMS señala que existen más de 70,000 compuestos sintéticos, por los que es imposible y probablemente innecesario regularlos todos. La mayor parte de las legislaciones en

el Mundo consideran entre 70 y 120 compuestos. La selección de ellos se basa, en los países con capacidad económica, en la frecuencia y concentración de los contaminantes en sus cuerpos de agua. En otros países, como es el caso de México, la selección se efectúa mediante revisiones bibliográficas. Actualmente, la norma de agua potable en México esta siendo revisada. La TABLA 4 muestra la comparación de los criterios para Estados Unidos, Canadá, la Organización Mundial de la Salud, la Comunidad Económica Europea, Rusia y con la norma mexicana actualmente vigente así como la propuesta de modificación. Se observa que, si no se toma en cuenta los tóxicos sintéticos, la nuestra es la más completa y estricta. Cabría preguntarse si no es este un esfuerzo de sobrelegislación dado que en la práctica muchos de estos parámetros ni siquiera se miden para certificar la potabilidad de un agua.

TABLA 4 RESUMEN COMPARATIVO DE LOS ESTANDARES SECUNDARIOS DE  
EUA, CANADA, CEE y la OMS.

PARAMETRO REGULADO	MEXICO	ESTADOS UNIDOS	CANADA	O.M.S.	Comunidad Económica Europea	Rusia
Alcalinidad Total <como CaCO <sub>3</sub> >	400.0	-	-	-	-	-
Aluminio	0.2	-	-	-	0.2	--
Arsénico	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	--
Bario	1.0	1.0	1.0	-	0.1 <sup>(a)</sup>	--
Cadmio	0.005	0.01	0.005	0.005	0.005	0.001
Cianuro <como CN->	0.05	-	-	0.05	--	0.1
Cloro Libre en Agua Clorada	0.2	-	-	-	-	-
Cloro Libre en Agua Sobre Clorada	1.0	-	-	-	-	-
Cromo Hexavalente	0.05	0.05	0.05	0.05	0.005	0.1/0.5 <sup>(a)</sup>
Demanda Biológica de oxígeno	--	--	--	--	--	3.0
Dureza de Calcio <como CaCO <sub>3</sub> >	300.0	-	-	-	--	--
Fenoles o Compuestos Fenólicos	0.001	-	-	0.002	0.5	1.0
Fierro	0.3	0.3	-	1.0	0.3	0.5
Fluoruros <como F>	1.5	4.0	1.5	1.5	1.5-0.7 <sup>(b)</sup>	1.5
Magnesio	125.0	-	-	150.0	-	-
Manganeso	0.15	0.05	-	0.5	0.5	--
Mercurio	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.0005
Nitratos <como N>	5.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Nitritos <como N>	0.05	-	-	-	0.1	1.0
Nitrógeno Protéico	0.1	-	-	-	-	-
Oxígeno Consumido en Medio Acido	3.0	-	-	-	-	-

PARAMETRO REGULADO	MEXICO	ESTADOS UNIDOS	CANADA	O.M.S.	Comunidad Económica Europea	Rusia
Sulfatos < como SO <sub>4</sub> -2 >	250.0	250.0	-	400.0	25 <sup>(1)</sup>	500
Subst. Activas al Azul de Metileno	0.5	-	-	1.0	0.5	0.5
Carbón Extractable en Cloroformo	0.3	-	-	0.5		
Carbón Extractable en Alcohol	1.5	-	-	-		
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	2.0	< 1.0	10 0	0.0	0 0	-
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	0.0	-	0.0	0.0	0.0	
pH (unidades características)	6.9-8.5	6.5-8.5	-	6.5-9.2	6.5-8.5	-
Plata	-	0.05	0.05	-		
2,4 D	-	0.1	0.1	0.001		
Endrín	-	0.0002	0.0002	-		
Lindano	-	0.0004	0.004	0.0003		
Metoxicloro	-	0.1	0.1	0.003		
Pesticidas totales	-	-	0.1	-	0.5	-
Toxafeno	-	0.005	0.005	-		
2,4,5 TP silvex	-	0.01	0.01	-		
Trihalometanos	-	0.1	0.35	0.03(a)		
Partículas β y act. fotónica (mrem)	-	4.0	-	1.0(b)		
Partículas alfa (pCi/l)	-	15.0	-	0.1(b)		
Radio 226-228 (pCi/l)	-	5.0	1.0(b)	-		
Benceno	-	0.005	-	0.01		
Tetracloruro de carbono	-	0.005	-	0.003		
1,1 Dicloroetileno	-	0.007	-	0.003		
1,2 Dicloroetano	-	0.005	-	0.01		
p-Diclorobenceno	-	0.075	-	-		
1,1,1 Tricloroetano	-	0.2	-	-		
Tricloroetileno	-	0.005	-	0.03		
Cloruro de vinilo	-	0.002	-	-		

(a): Sólo cloroformo

(b): Bq/l

NOTA: Las unidades de los parámetros están en mg/l, a menos que se especifique alguna otra.

(1) Valor guía

(5) en función de la temperatura

(8) Como Cr (III) y Cr (IV)



## Olor

- parámetro subjetivo
- información sobre el estado del agua.
  
- agua supuestamente potable rechazada por mal olor.
  
- agua residual
  - olor diferente si fresca o en descomposición
  - se debe al  $H_2S$  formado por reducción de sulfatos y sulfitos.

TABLA 2.3. PRINCIPALES COMPUESTOS QUE CAUSAN MAL OLOR

COMPUESTO	FORMULA CONDENSADA	DESCRIPCION DEL OLOR
Aminas	$CH_3NH_2$ , $(CH_3)_3N$	Pescado
Amoníaco	$NH_3$	Amoníaco
Diaminas	$NH_2(CH_2)_4NH_2$	Pescado descompuesto
Acido sulfhídrico	$H_2S$	Huevos podridos
Mercaptanos	$CH_3SH$ , $CH_3(CH_2)_3SH$	Zorrillo
Sulfuros Orgánicos	$(CH_3)_2$ , $CH_3SSCH_3$	Basura podrida
Escatol	$C_8H_7NHCH_3$	Fecal

FUENTE: SAWYER, (1978).

### Características para describir un olor

- Carácter: Con lo que lo asocia
- Detectabilidad: A que dilución con aire puro ya no es perceptible.
- Apeatabilidad: Qué tan desagradable es.
- Intensidad: Qué tan fuerte es.

- Evaluado por personas y no con aparatos
- Resultados subjetivos
- Difícil coleccionar y preservar muestras.

## Color

- Agua potable indicación rápida de la calidad.

en agua de abastecimiento originado por

fierro

manganeso

sustancias húmicas

plancton

microalgas

- Agua residual  
procesos industriales (textil, pinturas, alimentos, etc).
- Método escala Pt-Co (platino-cobalto).

## Temperatura

- Influye sobre  
tasas de crecimiento biológico  
vida acuática  
reacciones químicas  
solubilidad de los contaminantes o compuestos requeridos.
- EN UN LÍQUIDO A MAYOR TEMPERATURA MAYOR SOLUBILIDAD DE UN SÓLIDO PERO MENOR LA DE UN GAS.

## Conceptos generales

### Elemento

- Expresión más simple de una sustancia que guarda todas las propiedades de ella.
- Existen 105
- TIENEN el mismo número atómico.

### Ión

- Atomo o conjunto de ellos cargados eléctricamente
- Se comportan como grupo con propiedades específicas
- En estado cristalino o solución.

iones

- + cationes
- aniones.

### **Molécula**

- Partícula neutra
- Dos o más átomos químicamente ligados
- EJ.  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $Cl_2$  y  $H_2$ .

## Evaluación de la contaminación

### TÉCNICAS EMPLEADAS

- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
  - American Public Health Association
  - American Society of Civil Engineers
  - American Water Works Association y Water Pollution Control Federation.
  
- Técnicas estandarizadas
- Protocolo y principio
- Precisión y sensibilidad
- Preservación de la muestra
- Principales interferencias
- Consejos prácticos referentes al tipo de agua

### Composición física

color  
olor  
temperatura  
turbiedad  
contenido de sólidos suspendidos.

## UNIDADES DE MEDIDA DE CONCENTRACIÓN EN SI

\* mol por metro cúbico ( $\text{mol/m}^3$ )

\* ingenieros ambientales

mg/l

$\mu\text{m/l}$

Concentración en porcent<sup>o</sup>

a) Peso/peso.

b) Peso/volumen.

c) Volumen/volumen.

En general, PARA

mezclas gaseosas =) volumen/volumen

soluciones en agua =) peso/peso

## **Clasificación de los contaminantes segun su naturaleza**

### **a) Agentes biológicos:**

provocan enfermedades

entran al agua por heces fecales de humanos o animales más comunes

tifo

salmonelosis

disentería

cólera

### **b) Compuestos tóxicos o peligrosos:**

provienen de los desechos líquidos y sólidos

producen quemaduras en la piel y ojos

enfermedades si son ingeridos.

En este grupo se encuentran:

ácidos

drenados ácidos de minas

desechos de la agricultura

amoníaco

arsénico

cadmio

cianuro

detergentes

plomo

mercurio

óxidos de nitrógeno

derrames de petróleo

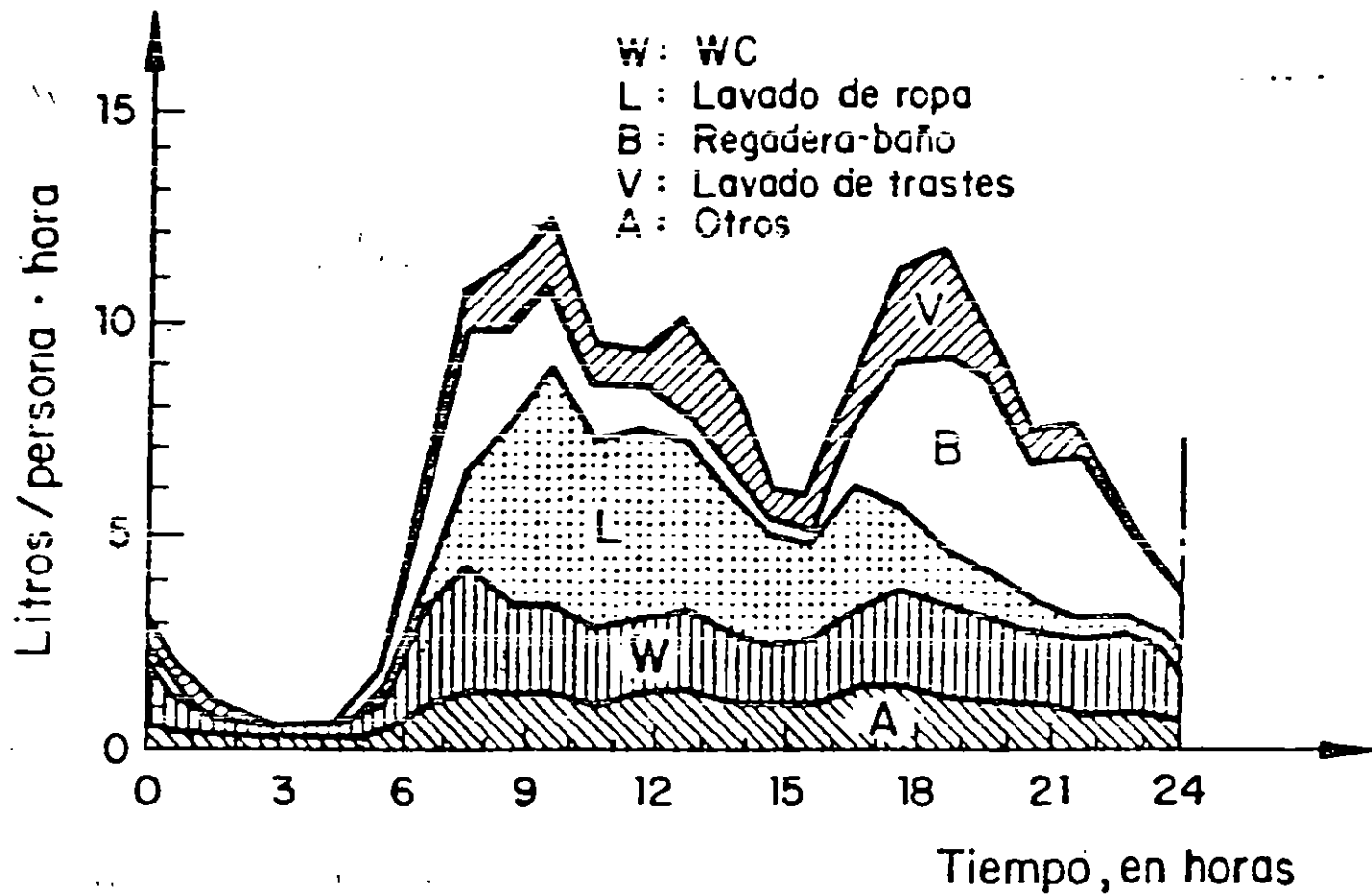
pesticidas

PVC

compuestos radiactivo desechados directamente

se forman por reacción en el agua

y una pequeña fracción se forma durante el propio tratamiento del agua (tetracloruro de carbono y cloroformo)



Evolución en un día del consumo de agua para diferentes usos en una casa habitada.

## ACUIFEROS

LIXIVIADOS DE RELLENOS SANITARIOS, BASUREROS Y CEMENTERIOS  
(ORGANOCOLORADOS, BENZÉNICOS, ALIFÁTICOS, ÁCIDOS HÚMICOS,  
TERPENOS, TANINOS, As, Se, Ra, Cd, NITRATOS, ETC)

## AGUAS SUPERFICIALES

RESIDUOS LÍQUIDOS SIN TRATAR Y EFLUENTES DE PLANTA DE TRATAMIENTO  
(COMPUESTOS HÚMICOS DIFÍCILMENTE BIODEGRADABLES,)

## PRECIPITACION

CONTAMINANTES DEL AIRE

(OXIDOS DE NITRÓGENO Y AZUFRE, Pb, POLVO, BACTERIAS, PAN, ETC)

- \* LA MAYORÍA SOLUBLES
- \* TODOS PROHIBIDOS POR LAS NORMAS DE POTABILIZACIÓN
- \* NO SON PARÁMETROS ESTÁNDARES DE CONTROL
- \* NO SE ELIMINAN MEDIANTE MÉTODOS TRADICIONALES

11-11-11



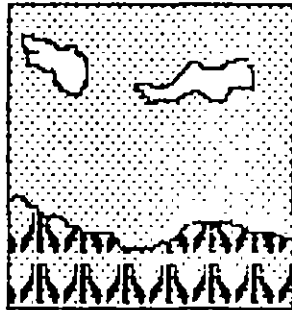
## Fuentes

- ◆ desechos urbanos e industriales
- descargas no controladas | ríos  
mares  
lagos
- campos agrícolas
- minas
- ◆ efluentes de plantas de tratamiento
- ◆ drenajes rotos
- ◆ lavado de la atmósfera

(1-10)



FUENTE DE  
ABASTECIMIENTO



=

AGUA DE MUY ELEVADA CALIDAD

~ 1800

DIRECTO



DESINFECCION



FILTRACION



COAGULACION

TRATAMIENTO CONVENCIONAL

OBJETIVO : REMOVER PARTICULAS EN SUSPENSION

CRIBADO + COAGULACION + FILTRACION + DESINFECCION

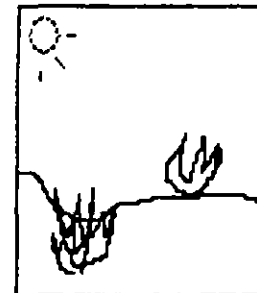
FUENTE DE  
ABASTECIMIENTO

=

AGUA DISPONIBLE

TRATAMIENTO AVANZADO

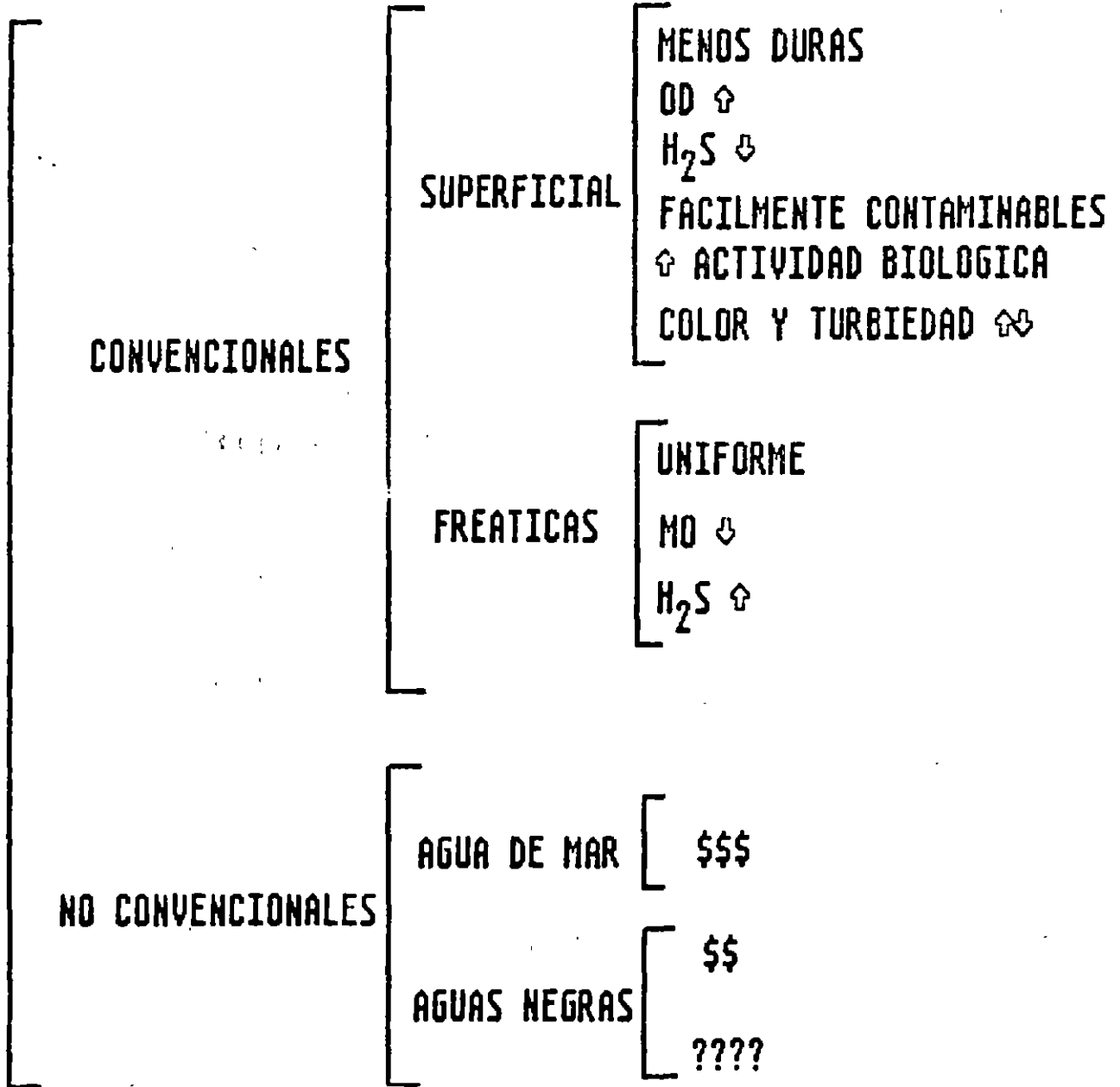
OBJETIVO : REMOCION DE MATERIAL SOLUBLE



6-1009

34  
c = (wa)j

FUENTES DE  
ABASTECIMIENTO



NET  
Cost

**Definición  
de  
Agua contaminada**

=

f [ uso,

exigencias higiénicas,  
avance del conocimiento y  
técnicas analíticas ]

# EL AGUA ES EL "SOLVENTE UNIVERSAL"

DISUELVE  
ARRASTRA  
SUSPENDE  
EMULSIONA

63 000 COMPUESTOS QUIMICOS (OMS, 1980)  
+ 2000 POR AÑO

PROBLEMAS [ CERTIFICACION DE POTABLE (EPA ~ 132)  
TRATAMIENTO

PARAMETROS  
DE CONTROL

20

CONDUCCIONES

Cu, Fe  
Asbesto

Infiltraciones

ALMACENAMIENTO

Virus

Bacterias

*Rem-F*

*met*

H<sub>2</sub>O

Materia

Energía

Contaminantes

Deseables

Inocuos

2-1005

AGUA

MUNICIPAL

ABASTECIMIENTO DOMESTICO

PRODUCCION DE AGRICOLA

CONSUMO INTERNO

EXPORTACION

INDUSTRIA

ESPARCIMIENTO

1250 M<sup>3</sup> DE AGUA DISPONIBLE/PERSONA, AÑO

*valores de uso*

*Figura 2*



**TABLA 10 AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD POR EL EMPLEO DE AGUA RESIDUAL EN RIEGO EN MEXICO**

<b>CULTIVO</b>	<b>RENDIMIENTO EN TON/HA</b>		<b>% DE CAMBIO</b>
	<b>AGUAS NEGRAS</b>	<b>AGUAS BLANCAS</b>	
<b>Alfalfa</b>	<b>120</b>	<b>70</b>	<b>71</b>
<b>Maíz</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>150</b>
<b>Frijol</b>	<b>1</b>	<b>1.3</b>	<b>-23</b>
<b>Trigo</b>	<b>3</b>	<b>1.8</b>	<b>67</b>
<b>Cebada</b>	<b>4</b>	<b>2.0</b>	<b>100</b>
<b>Avena de forraje</b>	<b>22</b>	<b>12.0</b>	<b>83</b>
<b>Tomate</b>	<b>35</b>	<b>18.0</b>	<b>94</b>
<b>Chile</b>	<b>12</b>	<b>7.0</b>	<b>71</b>

## **DETERMINACIÓN DE ORGANISMOS PATÓGENOS**

**EL ANÁLISIS DE ORGANISMOS PATÓGENOS EN EL AGUA SE REALIZA DE DOS FORMAS:**

- ◆ **UTILIZANDO UN ORGANISMO INDICADOR**
- ◆ **DETECTANDO ALGÚN MICROORGANISMO ESPECÍFICO.**

INDICADOR ----> PARÁMETRO DE CONTROL

**UN INDICADOR DEBE ESTAR PRESENTE CUANDO ESTÉN PRESENTES PATÓGENOS Y AUSENTE SIEMPRE QUE ESTÉN AUSENTES LOS PATÓGENOS (COLIFORMES)**

**COLIFORMES**

**ORIGEN FECAL (HUMANO)  
NO FECALES (TIERRA),**

**SÓLO LAS FECALES SON INDICADORES PARA AGUA RESIDUAL, Y TODAS LAS BACTERIAS COLIFORMES PARA AGUA POTABLE (INCLUYE FECALES).**

## Microbiológicas

### Coliformes fecales

- Determinar si un agua es legalmente apta para consumo humano
- Coliformes fecales componente normal de la flora y fauna del intestino humano en grandes cantidades
- No son patógenos.
- Los patógenos son
  - \* menos abundantes en el agua residual
  - \* más sensibles a las condiciones ambientales
  - \* manipulación peligrosa para el analista.
- Microorganismos indicadores
  - \* su presencia revela contaminación del agua por heces fecales.
  - \* indica posible existencia de otras bacterias, virus o protozoarios perniciosos
- Para su determinación existen dos técnicas:
  - \* conteo de colonias sobre membrana
  - \* tubos múltiples.
- En ambos selección mediante medios específicos de cultivo e incubación a 44° C.

- DDT en algunos países prohibido, en México se sigue empleando el DDT, las -----loparafinas y el aldrín.
- Compuestos que han ayudado en el control de plagas
- Alteraciones como cáncer, mutaciones, y abortos espontáneos.

## DDT

- Detuvo la epidemia del tifo en 1944 en Nápoles
- Limpió la isla de Cerdeña de los mosquitos de malaria.
- Entre 1947 y 1948 se pensó que erradicaría las moscas pero desarrollaron resistencia al producto.
  - \* Como resultado se aumentaron las dosis
  - \* se crearon programas de investigación para buscar otros compuestos.
  - \* Se sintetizó el lindano, clordano y el dieldrín.
  - \* el problema de la adaptación no fue remediado y se recurrió a otras familias (organofosfatos y carbamatos).

- Los organoclorados y en especial el DDT siguen siendo usado para combatir
  - \* malaria,
  - \* fiebre amarilla
  - \* mal de Chagas.

En agricultura, se emplea para control de plagas de

- \* algodón
- \* maíz
- \* cacahuete
- \* tabaco.

## **Pesticidas**

- Productos muy diversos y la mayor parte artificiales.
- Ejemplo:
  - organoclorados (DDT, HCH, lindano, clordano, heptacloro, aldrín y dieldrín)
  - organofosforados (malatión y paratión)
  - organometálicos que son muy difíciles de biodegradar.

Los organofosforados incluyen principalmente a los fosfatos, fosfonatos y derivados azufrados. La intoxicación con estos compuestos provoca dolor de cabeza, visión borrosa, dificultad para respirar, dolor abdominal, calambres y parálisis.

los seres humanos y *pruebas suficientes* de la carcinogenicidad para los animales de experimentación, así como de elementos de juicio sólidos que indican que, en la carcinogénesis, actúa un mecanismo que también existe en los seres humanos. Excepcionalmente, pueden clasificarse en esta categoría un agente, una mezcla o unas circunstancias de exposición únicamente sobre la base de *pruebas limitadas* de la carcinogenicidad para los seres humanos.

**Grupo 2B. El agente (o la mezcla) es posiblemente carcinógeno para los seres humanos.**

***Las circunstancias de exposición implican exposiciones posiblemente carcinógenas para los seres humanos.***

Esta categoría comprende los agentes, las mezclas y las circunstancias de exposición respecto de los cuales existen *pruebas limitadas* de la carcinogenicidad para los seres humanos y *pruebas que no llegan a ser suficientes* de la carcinogenicidad para los animales de experimentación. Puede utilizarse también cuando hay *pruebas insuficientes* de la carcinogenicidad para los seres humanos pero *pruebas suficientes* de la carcinogenicidad para los animales de experimentación. En algunos casos, pueden clasificarse en este grupo un agente, una mezcla o unas circunstancias de exposición respecto de los cuales existen *pruebas insuficientes* de la carcinogenicidad para los seres humanos pero *pruebas limitadas* de la carcinogenicidad para los animales de experimentación, junto con otros elementos de juicio pertinentes que corroboran las pruebas.

**Grupo 3. El agente (o la mezcla o las circunstancias de exposición) no puede clasificarse sobre la base de su carcinogenicidad para los seres humanos.**

Esta categoría se utiliza sobre todo para los agentes, las mezclas y las circunstancias de exposición respecto de los cuales las pruebas de la carcinogenicidad son insuficientes para los seres humanos e insuficientes o limitadas para los animales de experimentación.

Excepcionalmente, se pueden clasificar en esta categoría los agentes (o las mezclas) respecto de los cuales las pruebas de carcinogenicidad son insuficientes para los seres humanos pero suficientes para los animales de experimentación, cuando existen también elementos de juicio sólidos que indican que el mecanismo de acción carcinógena que actúa en los animales de experimentación no existe en los seres humanos.

Se clasifican asimismo en esta categoría los agentes, las mezclas y las circunstancias de exposición que no quedan incluidos en otro grupo.

**Grupo 4. El agente (o la mezcla) probablemente no es carcinógeno para los seres humanos.**

Esta categoría se utiliza para los agentes o las mezclas respecto de los cuales *las pruebas parecen indicar una falta de carcinogenicidad* para los seres humanos y los animales de experimentación. En algunos casos, pueden clasificarse en este grupo los agentes o las mezclas respecto de los cuales se dispone de *pruebas insuficientes* de la carcinogenicidad para los seres humanos y de *pruebas que parecen indicar una falta de carcinogenicidad* para los animales de experimentación, corroboradas en forma firme y consistente por una amplia gama de otros elementos de juicio pertinentes.

Generalmente se considera que el acontecimiento que inicia el proceso

**Grupo 4: el agente probablemente no es carcinógeno para los seres humanos.**

Cuando se establecieron los actuales valores guía para la calidad del agua potable, se tuvo en cuenta la clasificación de los compuestos carcinógenos realizada por el CIIC. En buen número de casos, se dispuso también de información adicional.

### ***Evaluación del riesgo de carcinogenicidad para los seres humanos***

El CIIC considera los datos disponibles en su conjunto a fin de llegar a una evaluación global de la carcinogenicidad de un agente, una mezcla o unas circunstancias de exposición para los seres humanos.

El agente, la mezcla o las circunstancias se describen de acuerdo con la definición de una de las categorías siguientes, indicando el grupo correspondiente. La clasificación de un agente, una mezcla o unas circunstancias de exposición es una cuestión de apreciación científica, que refleja la fuerza de las pruebas resultantes de estudios con seres humanos y con animales de experimentación y de los demás datos pertinentes.

#### ***Grupo 1. El agente (o la mezcla) es carcinógeno para los seres humanos.***

***Las circunstancias de exposición implican exposiciones carcinógenas para los seres humanos.***

Esta categoría se utiliza cuando existen *pruebas suficientes* de la carcinogenicidad para los seres humanos. Excepcionalmente, puede clasificarse en ella un agente (o una mezcla) cuando los datos referentes a seres humanos no llegan a ser suficientes pero existen *pruebas suficientes* de la carcinogenicidad en los animales de experimentación y elementos de juicio sólidos que indican que en los seres humanos expuestos, el agente (o la mezcla) actúa a través de un mecanismo de carcinogenicidad pertinente.

#### ***Grupo 2***

Esta categoría comprende agentes, mezclas y circunstancias de exposición respecto de los cuales, en un extremo, las pruebas de la carcinogenicidad para los seres humanos son casi suficientes y, en el otro extremo, no se dispone de datos sobre seres humanos pero hay pruebas de la carcinogenicidad para los animales de experimentación. Los agentes, las mezclas y las circunstancias de exposición se incluyen bien en el grupo 2A (probablemente carcinógeno para los seres humanos) o en el grupo 2B (posiblemente carcinógeno para los seres humanos) sobre la base de los datos epidemiológicos y experimentales favorables a la carcinogenicidad y de otros datos pertinentes.

#### ***Grupo 2A. El agente (o la mezcla) es probablemente carcinógeno para los seres humanos.***

***Las circunstancias de exposición implican exposiciones probablemente carcinógenas para los seres humanos.***

Esta categoría se aplica cuando existen *pruebas limitadas* de la carcinogenicidad para los seres humanos y *pruebas suficientes* de la carcinogenicidad para los animales de experimentación. En algunos casos, se puede clasificar en esta categoría un agente (o una mezcla) cuando se dispone de *pruebas insuficientes* de la carcinogenicidad para

## ◆ COMPONENTES ORGÁNICOS

### 1 ALCANOS CLORADOS

### 2 PLAGUICIDAS

- LOS PRODUCTOS DE LA DEGRADACIÓN DE PLAGUICIDAS REPRESENTAR UN PROBLEMA EN EL AGUA PARA CONSUMO HUMANO.
- NO SE TIENEN GUÍAS DE TOXICIDAD DE ESOS PRODUCTOS, YA QUE LOS DATOS DISPONIBLES SOBRE SU IDENTIDAD, SU PRESENCIA Y SU ACTIVIDAD BIOLÓGICA SON INSUFICIENTES.



## En México

- En forma natural en los acuíferos de la Comarca Lagunera (estados de Coahuila y Durango)
- Concentraciones que exceden 15 veces los valores recomendados por la OMS .
- Población afectada de 400 mil campesinos.

## Arsénico

- Elemento metálico de color gris.
- Nombre genérico de varios venenos como:
  - Trióxido de arsénico ( $\text{As}_2 \text{O}_3$ )
  - Pentóxido de As ( $\text{As}_2 \text{O}_5$ ).
  - Arsenito de Na
  - Verde parís (mezcla de compuestos de As y Cu)
  - Arsenato básico de plomo
  - Acido cacodílico
- Compuestos muy tóxicos
- Relacionados con los pesticidas.
- Exposición crónica => a daños cardiacos.
  - síntomas: dolor abdominal, vómito, pérdida de apetito, debilidad, diarrea y estreñimiento alternados, neuritis, dermatitis y pérdida de cabello.
- Acción tóxica sobre enzimas.

### El trióxido (arsénico blanco)

- polvo para matar roedores.

### El arsenito de sodio comercial

- insecticida y herbicida
- mezcla de ortoarsenito de sodio ( $\text{Na}_3 \text{AsO}_3$ ), metarsenito de sodio ( $\text{NaAsO}_2$ ) y piroarsenito de sodio ( $\text{Na}_4 \text{As}_2 \text{O}_5$ ).
- 5 a 50 mg provoca enfermedad
- 120 mg puede ocurrir la muerte.

## - El problema

- \* Se manifestó en 1953.
- \* Se detectó la fábrica responsable en 1959
- \* Hasta 1968 los responsables admitieron culpabilidad.

## Cadmio

- Se utiliza en galvanoplastia.
- peligroso para el ser humano a partir de 1 ppm.
- Se introduce en los cultivos por el riego con agua contaminada y por el empleo de tubería y tanques de almacenamiento galvanizados con zinc.
- primeros síntomas parecidos a los del reumatismo y de la neuritis.
  - \* los huesos se ablandan y duelen mucho.
  - \* ocurren fracturas y los pacientes se ven limitados a permanecer en cama.

## Plomo

- Proviene de la contaminación atmosférica en zonas de alta densidad automovilística.
  - \* El agua de lluvia puede contener hasta 40  $\mu\text{g/l}$  y la bruma 300  $\mu\text{g/l}$ .
  - \* El contenido de plomo en los océanos ha pasado de 0.01  $\mu\text{g/lm}$  a 0.07 en 75 años.

---

## **Mercurio**

- Su forma tóxica es el metil-mercurio que es sintetizado en la naturaleza y por el hombre a partir de mercurio inorgánico.
- Tóxico fuerte que se combina con las proteínas y las enzimas destruyendo el tejido celular y provocando parálisis.
- Afecta los sentidos y provoca la muerte.
- Dosis a partir de la cual comienzan los síntomas es de 0.5 ppm y se tienen problemas serios a partir de 6 ppm.
- Normalmente presente en el agua marina en dosis muy bajas -
  
- Las principales industrias contaminantes son:
  - \* Papeleras que lo emplean para evitar el desarrollo de bacterias en la pulpa.
  - \* Fábricas de tubos fluorescentes y de ciertos aparatos eléctricos.
  - \* Fábricas de plásticos donde el Hg se emplea como catalizador.
  - \* Fábricas de espejos y acabado de superficies.
  - \* Industria farmacéutica.

## **EPISODIO AMBIENTAL**

- Ocurrió en Minamata, Japón
  - Muchos pescadores y gatos murieron debido a un proceso de concentración del Hg por medio de una cadena alimenticia.
-

**METALES**

**ELEMENTOS DE LOS GRUPOS I, II, III Y IV DE LA TABLA PERIÓDICA.**

PI  
ACIDA

OS  
RESEF

**METALES DISUELTOS**

**CUANDO EL ANÁLISIS SE EFECTÚA SOBRE EL FILTRADO A 0.45 M Y SIN ACIDIFICAR, EN CASO CONTRARIO SE HABLA DE METALES SUSPENDIDOS**

**METALES TOTALES**

**LA DETECCIÓN EN UNA MUESTRA NO FILTRADA Y SUJETA A UNA DIGESTIÓN FUERTE.**

**METALES EXTRACTABLES EN ÁCIDOS**

**DETERMINACIÓN EFECTUADA EN UNA MUESTRA NO FILTRADA Y TRATADA CON UN ÁCIDO MINERAL CALIENTE.**

## **Grasas y aceites**

- Técnica global que detecta las sustancias solubles en clorotrifluoretano
- Interferencias principales compuestos sulfurados y pigmentos como la clorofila.
- Se aplica para la medición de los hidrocarburos con temperatura de ebullición superior a 70° C.
- En aguas residuales es importante ya que puede inhibir el tratamiento biológico.

## **Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)**

- Mide en forma global los detergentes aniónicos (alquil benceno sulfonato lineal) y los catiónicos.
- Determina las sustancias por con el azul de metileno

## **Hidrocarburos**

- Principalmente en mares como resultado de la industria petrolera.
- Forman una película que impide la reoxigenación natural de agua y limita la capacidad autodepuradora.
- Olor se percibe a partir de 0.001 mg/l.

## **En general PRODUCEN**

- Espuma que impide el proceso natural o artificial de depuración y que además propician la diseminación de bacterias o virus.

- Disminuyen la solubilidad del oxígeno por formación de una película aislante de la superficie.

- Sabor a jabón para contenidos muy inferiores al de formación de espuma.

- Aumento de los polifosfatos que favorecen la eutroficación.

- Aumento del boro en el agua proveniente de los aditivos (perborato).

## Detergentes

- Productos de fabricación reciente de mucho uso
- Contienen comúnmente entre 15 y 50% de sustancias tensioactivas
  - efecto de disminuir tanto la tensión superficial del agua (72 dinas/cm<sup>2</sup> a 60 o 50-dinas/cm) como la viscosidad (10% cda 50 mg/l).
- Son productos a la vez emulsionantes, espumantes y mojantes.

Existen tres tipos: aniónicos, catiónicos y no iónicos.

### a) Aniónicos:

- \* Más antiguos
- \* tóxicos para peces en concentraciones superiores a 60 mg/l, rara vez son alcanzadas.
- \* El más común es el aquil-benceno-sulfonato de sodio o ABS.
- \* cadena ramificada muy resistente al ataque de microorganismos
- \* El más actual es el LAS.

### b) Catiónicos.

- \* detergentes bactericidas
- \* peligrosos aún en pequeñas concentraciones (del orden de mg/l))

### c) No iónicos.

- \* En general, a base de alquifenoles.



## **Demanda química de oxígeno**

- DQO mide la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar materia orgánica con un oxidante fuerte ( $K_2 Cr_2 O_4$ ) a altas temperaturas ( $700^\circ C$ ) y condiciones ácidas
- No siempre guarda una relación con la DBO, aunque en general es mayor.
  - \* en industria textil  $DQO \gg DBO$ , la celulosa es poco biodegradable
  - \* En destilerías y refinerías puede suceder  $DQO < DBO$  a menos que se modifique la prueba para impedir pérdida de volátiles
- Tarda aproximadamente 3 horas en laboratorio

## **Sustancias extractables con cloroformo**

- ECC (sustancias extractables con cloroformo en filtro de carbono)
- Incluyen sustancias grasosas, solventes orgánicos, pinturas y cualquier otro desecho orgánico de tipo industrial que no es forzosamente biodegradable.
- Concentraciones de  $0.2 \text{ mg/l}$  provoca mal olor y sabor en agua potable.

## **Materia orgánica**

**DBO**  
**COT**  
**DQO**  
**SECC**

### **Demanda biológica de oxígeno**

- Oxígeno que se requiere para que los microorganismos para degraden materia orgánica en el agua.
- Medición se realiza a 20° C y tarda 5 días.
- Se expresa en  $\text{mgO}_2 / \text{L}$ .
- No mide un compuesto en especial sino la biodegradabilidad de varios por vía aerobia.
- Algunos compuestos orgánicos que no producen DBO por ser tóxicos
- Agua potable DBO de 0.75 a 1.5  $\text{mgO}_2 / \text{L}$ .
- Agua residual doméstica de 200 a 350

- Si la velocidad con la cual disminuye el OD es mayor a la tasa de disolución del oxígeno se disminuye la concentración de saturación, pudiendo alcanzar condiciones anaerobias.

## Dureza

- Se debe a carbonatos, bicarbonatos y sulfatos de calcio y magnesio y en ocasiones de hierro y aluminio.

- Cantidad importante (=) el agua es dura  
\* contiene sales inorgánicas  
\* dificulta la cocción de legumbres  
\* impide la formación de espuma

- Dureza temporal a aquella que se elimina al hervir el agua  
- Dureza permanente requiere métodos más sofisticados

## Oxígeno disuelto

### - Indicador de

- \* el efecto producido por los contaminantes oxidables
- \* la calidad del agua para mantener peces u otros organismos aerobios
- \* la capacidad autodepuradora de un cuerpo receptor

### - El OD disminuye al aumentar

- \* salinidad
- \* temperatura
- \* altitud ( $\sim 7\%$  cada 60 m).

- En agua residual la ausencia de oxígeno genera olores desagradables

- En agua de abastecimiento un exceso de oxígeno provoca corrosión.

### Determinación mediante método electroquímico

- introducción directa de una sonda con ajuste a presión y temperatura dada.

- Cuando no se dispone de oxímetro se hace titulación del permangano de potasio con la sal de Mohr (sulfato ferroso amoniacal).

### Curva de pandeo del oxígeno

- Un desecho biodegradable en una corriente consume oxígeno disuelto proporcional a su concentración por acción de bacterias.

## pH

- Cologaritmo de la concentración de los iones hidronio ( $H^+$ ) en solución
- Define si una solución es ácida o alcalina
- escala de 1 a 14
- pH entre
  - 1 y 7 ácidas
  - de 7 a 14, alcalinas o básicas.
- Agua neutra pH de 7 a 24° C.

Compuestos químicos

Alcalinidad
Hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de los iones Ca2+, Mg2+, Na+, K+ y NH4+

Se determina por titulación con ácido (H2SO4 0.02N)

- Resultado como CaCO3

- Expresa la capacidad que tiene un agua para mantener su pH cuando se le añade una solución ácida o alcalina.

- Se determina mediante un electrodo de vidrio.

- El logaritmo de la concentración de los iones hidronio (H+).

- Parámetro de operación para procesos biológicos y físico-químicos de agua potable y residual.

## Turbiedad

Los sólidos, reflejan parte de la luz que incide en ellos, por lo que se produce una pérdida de luminiscencia en línea recta se le denomina turbiedad.

- Idea del contenido de materia coloidal y suspendida
- Muchas unidades (UTN, sílice, etc.) se debe emplear UTN (Unidades técnicas de nefelometría).

- Agua potable: 5 UTN
- Residual doméstica: entre 100 y 150 UTN

## Sólidos

- Residuo después de la evaporar el agua a 103°C.

FIG 2.2. - Como se presenta la materia en el agua

- A medida que disminuye el tamaño es más complicada la técnica de separación (FIG 2.3).

FIG 2.3. - Clasificación y tamaño de las partículas encontradas en el agua residual.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
CURSOS ABIERTOS  
VII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS  
MODULO II: CONTAMINACION DE ACUIFEROS  
DEL 25 AL 29 DE SEPTIEMBRE DE 1995  
DIRECTORIO DE ASISTENTES

ARMANDO ALTAMIRA AREYAN  
DELFIN MADRIGAL 1151  
COL. SANTO DOMINGO MO.  
04369 MEXICO, D.F.  
TEL. 658 74 16

HERMENEGILDO ARCOS SERRANO  
PROFESOR  
ENEP ACATLAN  
AV. ALCANFORES S/N.  
COL. SANTA CRUZ ACATLAN  
NAUCALPAN, EDO. DE MEXICO  
TEL. 623 17 68

ALEJANDRO DIAZ GARCIA  
INGENIERO CIVIL  
ENEP ACATLAN  
AV. ALCANFORES S/N  
COL. SANTA CRUZ ACATLAN  
NAUCALPAN, EDO. DE MEXICO  
TEL. 623 17-66

ARMANDO GASTELUM FRAIJO  
ESPECIALISTA EN HIDRAULICA  
COM. NACIONAL DEL AGUA  
INSURGENTES SUR 1960  
COL. FLORIDA  
DEL. A. OBREGON, MEX. D.F.  
TEL. 663 31 47

LIUBOW N. GONZALEZ MARTINEZ  
CHILE

JORGE ALBERTO GUZMAN PAZ  
GEOLOGO  
EXPLORACIONES PEÑALES  
LEONARDO ZULOAGA 380  
COL. LOS ANGELES  
TORREON, COAHUILA  
TEL. 91 177 521 21 EXT. 4408

ENRIQUE MASSA SEGUI  
ASESOR  
DIR. NACIONAL MINERIA Y GEOLOGIA  
HERVIDERO 2861  
MONTEVIDEO URUGUAY  
TEL. 20 19 51

DIANA MONCAYO GUAJALA  
INVESTIGADOR GEOLOGA  
INST. NAL. DE PESCA  
LETAMENDI 102 RIA  
GUAYAQUIL ECUADOR  
TEL. 401 776 79-73

ANTONIO MORALES MIRELES  
ESPECIALIDAD EN HIDRAULICA  
COM. NAL. DEL AGUA  
INSURGENTES SUR 1960  
COL. FLORIDA  
DEL. A. OBREGON, MEXICO, D.F.  
TEL. 663 31 48

GILBERTO MORENO RAMIREZ  
PROFESOR  
FACULTAD DE QUIMICA, UNAM  
CIUDAD UNIVERSITARIA  
04510 MEXICO, D.F.  
TEL. 763 37 97

CARLOS E. PACHECO PEROZO  
VENEZUELA

JOSE LUIS PAREDES COLON  
HIDROGEOLOGO  
DIR. DE RECURSOS HIDRAULICOS  
HINDERBURE S/N  
COL. FILADELFIA  
CHACO  
FILADELFIA, CHACO  
TEL. 091 275



MARTE A. PEREZ GOMEZ BOTELLO  
ESPECIALISTA AMBIENTAL  
LERDO EDIF. 16 241-1-002  
UNIDAD TLATELOLCO  
06900 MEXICO, D.F.  
TEL. 597 98 12

RODOLFO RAUDALES MARADIAGA  
HONDURAS

JOSE LUIS ROJAS ALVAREZ  
TEC. HIDROLOGIA SUBTERRANEA  
MAR3ENA MINISTERIO DEL AMBIENTE  
KM. 12 Y MEDIO CARR. NORTE  
MANAGUA NICARAGUA  
TEL. 31504 EXT. 224

MIGUEL ROYO OCHOA  
CATEDRATICO INVESTIGADOR  
FAC. INGENIERIA U.A.C.H.  
CIUDAD UNIVERSITARIA S/N  
CHIHUAHUA, CHIH.  
TEL. 13 77 60

GUILLERMO A. TORRES DIAZ  
PANAMA

EDGARDO CESAR VIOTTI GERARDUZZI  
GCIA. DE CONST. DE OBRAS Y  
SERVICIOS SANITARIOS  
SAN MARTIN 249  
8500 VIEDMA  
TEL. 920 23078/079

JOSE WILLIAM PEREZ MORALES  
PROFESIONAL 2  
SERV. NAL. DE AGUAS SUBTERRANEAS  
RIEGO Y AVENAMIENTO  
NAYARIT 40  
COL. ROMA SUR  
MEXICO, D.F.  
TEL. 584 23 38

FRANCISCO RODRIGUEZ HERRERA  
JEFE DE DEPARTAMENTO  
C.M.A.  
AV. EJERCITO NACIONAL 90  
MPIQ. DE GUADALUPE  
GUADALUPE, ZACATECAS  
TEL. 364 23

JAIME FLOMAN VILLALOBOS  
CATEDRATICO  
INST. TEC. DE CHILPANCINGO  
CARR. NAL. MEX. ACAPULCO KM. 274  
CHILPANCINGO GUERRERO  
TEL. 271 52

ISAAC RAUL SORIANO GARIBO  
ENCARGADO DEPTO. GEOHIDROLOGIA  
COM. ESTATAL DEL AGUA Y SANEAM.  
31 ORIENTE 21  
COL. HUEYOTITLA  
PUEBLA PUEBLA  
TEL. 37 25 71

EDUARDO VAZQUEZ ARRIAGA  
ESPECIALISTA EN IMPACTO AMB.  
INST. NAL. DE ECOLOGIA  
RIO ALBA 20  
COL. CUAUHTEMOC  
06500 MEXICO, D.F.  
TEL. 286 80 47