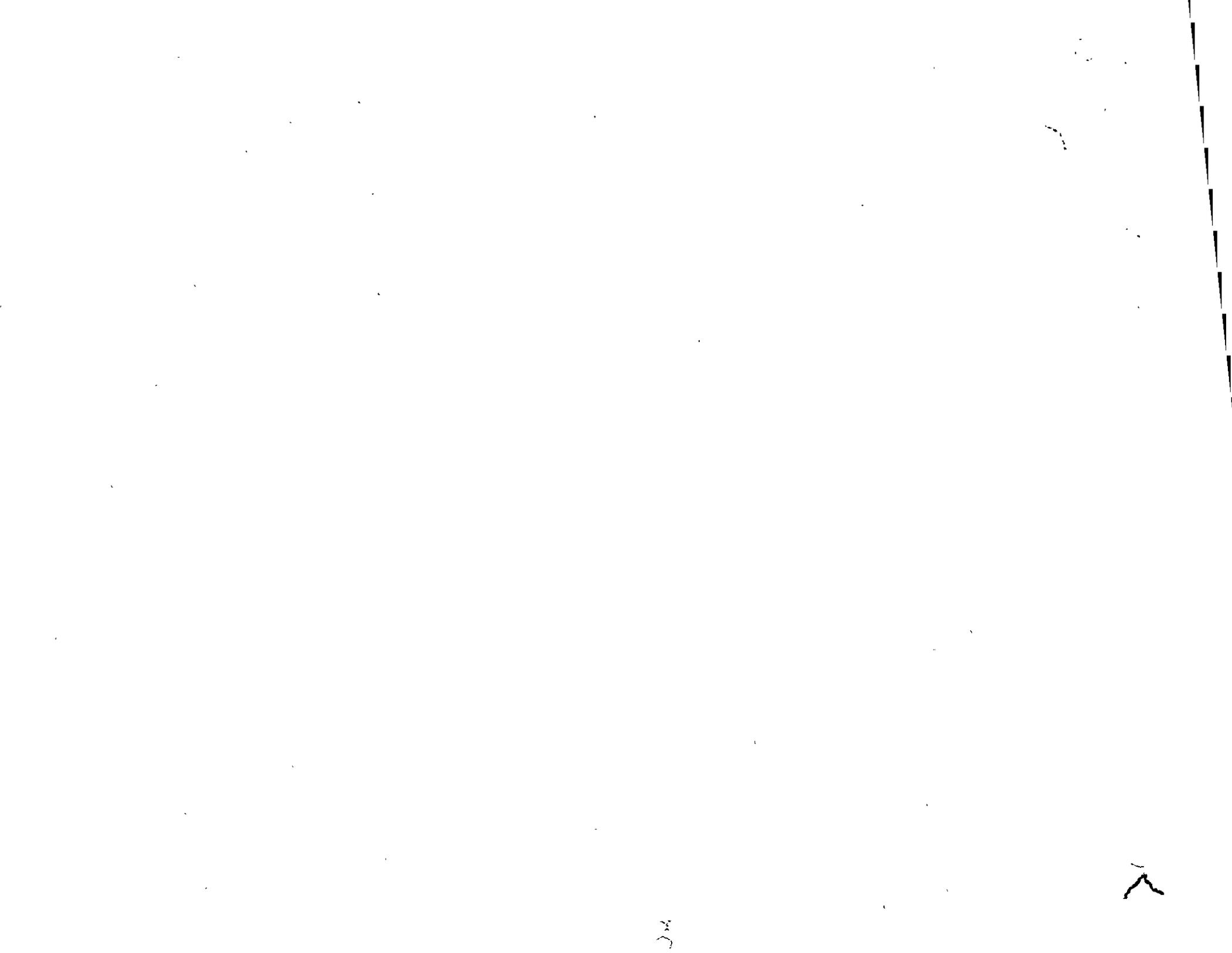


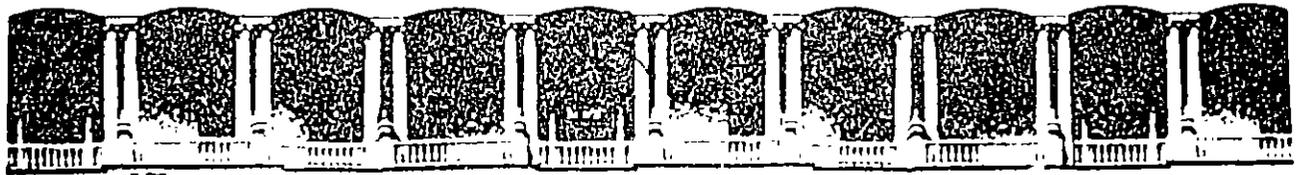
VIII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS

MODULO 2.- CONTAMINACION DE ACUIFEROS

30 DE SEPTIEMBRE AL 4 DE OCTUBRE DE 1996

DIA	HORA	T E M A	PROFESOR
LUNES 30	9:00 A 14:00	CONTAMINACION DE ACUIFEROS	ING. JUAN M. LESSER ILLADES
	16:00 A 19:00	IMPACTO AMBIENTAL Y AUDITORIAS AMBIENTALES	BIOL. HECTOR LESSER HIRIART
MARTES 1º	9:00 A 12:00	CALIDAD DEL AGUA	DRA. BLANCA JIMENEZ
	12:00 A 14:00	RADON	FIS. ALEJANDRA CORTES
	16:00 A 19:00	QUIMICA DEL AGUA. CICLOS DEL FIERRO Y DEL NITROGENO, QUIMICA ORGANICA	DRA. MA. AURORA ARMIENTA
MIERCOLES 2	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.
JUEVES 3	9:00 A 14:00	RIESGOS E IMPACTO EN LA SALUD (CONTINUACION)	DR. RAMIRO RODRIGUEZ C.
	16:00 A 19:00	RELLENOS SANITARIOS, IMPACTO AMBIENTAL, DISEÑO Y OPERACION	ING. FRANCISCO SUZAN COLOMBRES
VIERNES 4	9:00 A 14:00	CONTAMINACION POR	ING. JUAN M. LESSER ILLADES
	16:00 A 19:00	HIROCARBUROS Y RELLENOS SANITARIOS	





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

**VIII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS
MODULO II: CONTAMINACION DE ACUIFEROS
DEL 30 DE SEPTIEMBRE AL 4 DE OCTUBRE DE 1996
DIRECTORIO DE PROFESORES**

DR. MA. AURORA ARMIENTA HERNANDEZ
JEFE DE LABORATORIO DE QUIMICA ANALITICA
INSTITUTO DE GEOFISCA, UNAM
CIRCUITO EXTERIOR, CIUDAD UNIVERSITARIA
COYOACAN
04510 COYOACAN, MEXICO D.F.
622 41 14

FIS. ALEJANDRA CORTES SILVA
INVESTIGADOR
INSTITUTO DE GEOFISICA, UNAM
CIRCUITO EXTERIOR, CU
COYOACAN
04510 COYOACAN, MEXICO D.F.
622 41 35 622 41 33 622 41 31

ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
ADMINISTRADOR UNICO
LESSER ASOCIADOS, S.A.
RIO GUADALQUIVIR No 3
PATHE
76020 QUERETARO, QUERETARO
91 42 23 15 15 23 33 61

ING. RAMIRO RODRIGUEZ CASTILLO
JEFE DEL DEPTO DE REC. NATURALES
INSTITUTO DE GEOFISICA
CIRCUITO EXTERIOR, CU
COYOACAN
04510 COYOACAN, MEXICO D.F.
550 54 15 622 41 31 622 41 32

M. EN I. FRANCISCO SUZAN COLOMBRES
SUBGERENTE DE RESIDUOS SOLIDOS
BANCO NAC. DE OBRAS Y SERV. PUBLICOS, SNC
INSURGENTES SUR No 1582 PISO 3
CREDITO CONSTRUCTORA
03940 BENITO JUAREZ, MEXICO D.F.
420 55 19



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



CURSO: VIII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS

FECHA: MOD. II CONTAMINACION DE ACUIFEROS 30 DE SEP. AL 4 DE OCTUBRE /96

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 M. LESSER ILLADES				
BIOL. HECTOR LESSER HIRIART				
DRA BLANCA JIMENEZ				
FIS. ALEJANDRA CORTES SILVA				
DR. RAMIRO RODIRGUEZ 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>Excélsior</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:



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



CURSO: VIII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS
FECHA: MOD. 2 CONTAMINACION DE ACUIFEROS 30 DE SEP. AL 4 OCTUBRE/96
EVALUACION DEL PERSONAL DOCENTE
 (ESCALA DE EVALUACION: 1 A 10)

CONFERENCISTA	DOMINIO DEL TEMA	USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES	COMUNICACIÓN CON EL ASISTENTE	PUNTUALIDAD
ING: JUAN M. LESSER ILLADES				
BIOL. HECTOR LESSER HIRIART				
DRA. BLANCA JIMENEZ				
FIS. ALEJANDRA CORTES				
DRA. MA. AURORA ARMIENTA				
DR. RAMIRO RODRIGUEZ C.				
ING: FRANCISCO SUZAN COLOM - BRES				

Promedio _____

EVALUACIÓN DE LA ENSEÑANZA

CONCEPTO	CALIF
ORGANIZACION Y DESARROLLO DEL CURSO	
GRADO DE PROFUNDIDAD DEL CURSO	
ACTUALIZACIÓN DEL CURSO	
APLICACION 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?

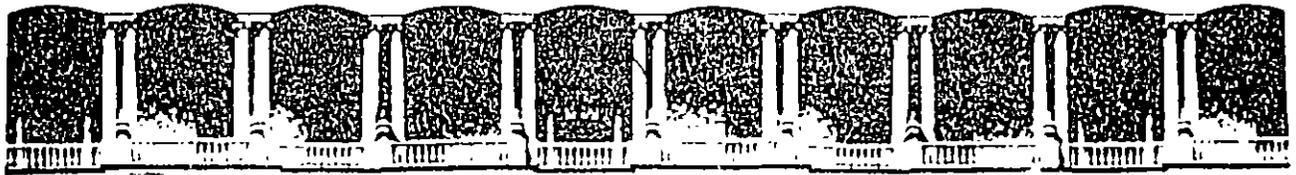
4 ¿Recomendaría el curso a otra(s) persona(s) ?

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**

**VIII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE
ACUIFEROS**

MODULO II: CONTAMINACION DE ACUIFEROS

TEMA : MANEJO AMBIENTAL DE LAS INDUSTRIAS

EXPOSITOR: ING. HECTOR LESSER



MANEJO AMBIENTAL DE LAS INDUSTRIAS

La ecología y el medio ambiente se han convertido en temas de gran relevancia para la mayoría de los habitantes de la República Mexicana. Su importancia se deriva de lo que años atrás fuera una moda que hoy en día se ha convertido en una necesidad real para los procesos y actividades productivas que se realizan a lo largo y ancho de nuestro territorio. La popularidad del término ecología ha derivado a un sinnúmero de áreas, productos y servicios, a tal grado que hoy en día es común oír hablar de tal o cual producto ecológico, ya sea un refrigerador, una caja de cartón, un automóvil, una torta o un sandwich ecológico, o bien las ya famosas tintorerías o los cines ecológicos que tanta popularidad han alcanzado.

Antes de analizar la problemática que existe entre el medio ambiente y el desarrollo de los procesos productivos, intentaré hacer referencia al concepto ecológico y lo más apropiado, consiste en definir a la ecología. Existen muchas definiciones para el término ecología, pero tal vez la más adecuada sea la que establece que la ecología es la ciencia que estudia las relaciones de los organismos con el medio en el que habitan. Bajo este concepto es difícil hablar o entender cómo es, o cómo debe ser un refrigerador o un cine ecológico, o cómo se protege a la ecología, cuando ésta es una ciencia, sin embargo, resultaría sensato hablar de un producto menos contaminante que emplea tal o cual sistema que le permite reducir las emisiones contaminantes, aquel que no utiliza tal o cual sustancia dañina al medio ambiente, y por consiguiente es un producto "más amable al ambiente", o bien que tal o cual proceso o acciones están encaminadas a proteger el medio ambiente, más no a la ecología.

Por otra parte, las empresas enfrentan cada vez mayores y más difíciles retos y a la crisis económica que actualmente vivimos, debemos añadir la crisis ambiental que también padecemos todos y cada uno de nosotros. En este sentido los empresarios tienen una nueva y difícil responsabilidad que consiste en incorporar prácticas y realizar inversiones que les permitan cumplir con la cada vez más estricta legislación ambiental.

Muchos industriales piensan aún que el medio ambiente sigue siendo una moda pasajera y que las inversiones que pudieran realizar en materia ambiental representarían un gasto superfluo, pero deben tener en cuenta que un manejo ambientalmente adecuado de sus empresas, al que erróneamente se le ha denominado como "ecológico" puede representar ahorros sustanciales en sus procesos y actividades productivas. Pensemos simplemente en el industrial que sistemáticamente ha vertido desechos al suelo o a un río y que hoy en día de acuerdo a la legislación ambiental mexicana no solo debe implementar los procedimientos o sistemas que le permitan cumplir con las normas oficiales mexicanas en materia ambiental, sino que debe sanear los suelos o aguas que contaminó en procesos que le pueden tomar varios años a un alto costo, o bien en el industrial que debe pagar para que se lleven sus residuos como cartón, madera, vidrio o metal, cuando mediante la incorporación de sencillas prácticas que le permitan separar los residuos por componentes puede obtener un beneficio económico de la venta de ellos y contribuir a reducir el problema que se deriva de la generación de residuos sólidos industriales.

Un manejo ambientalmente adecuado de las actividades y procesos productivos de una empresa le permite al industrial prevenir en vez de remediar o en su caso minimizar los efectos que pudieran derivarse de un siniestro que en cualquier momento pudiera suceder ya sea por causas asociadas a los procesos y actividades que desarrolla, o por causas ajenas, como una inundación, un temblor o un huracán por citar algunos ejemplos, además de crear una conciencia ambiental entre sus empleados y los habitantes de zonas cercanas a su industria.

Para ejemplificar tan solo uno de los problemas a los que me he referido, tomaré como ejemplo el de un tanque con un combustible o una sustancia química que se emplea en el proceso productivo y que por un defecto en una válvula o corrosión en la pared del tanque se derrama la sustancia que se almacena en él



y al no contar con un bordo de contención, la fuga se extiende hacia afuera, contaminando el suelo, subsuelo, el acuífero, o un río. En este caso el industrial no solo perderá la materia prima que almacenaba, sino que tendrá que manifestar el accidente ante las autoridades ambientales, realizar un saneamiento de los suelos y aguas afectadas y enviar los residuos que se generen en la remediación de los suelos y aguas afectadas a un confinamiento autorizado para residuos peligrosos a costo extremadamente alto, que pudiera haberse evitado a un bajo costo si se contara con una fosa o un borde para contener los derrames y con un programa de mantenimiento apropiado.

La práctica más común a la que recurren los industriales para identificar los problemas ambientales de sus empresas y posteriormente implementar las medidas correctivas reside en la realización de una auditoría ambiental. La auditoría ambiental consiste en una revisión de la documentación con la que la empresa cuenta en materia ambiental, una revisión exhaustiva de los procesos y actividades productivas que se desarrollan en ella y una investigación de la legislación ambiental aplicable para el giro industrial y para las características y particularidades de la empresa. De esta manera, es posible identificar las áreas o prácticas en las que existe una inobservancia de las leyes, reglamentos y normas oficiales mexicanas en materia ambiental para posteriormente definir las estrategias y líneas de acción que permitan implementar las medidas que conduzcan a un manejo ambientalmente adecuado de la empresa.

Afortunadamente cada vez existe una mayor conciencia entre los empresarios e industriales para enfrentar y resolver los problemas ambientales y en este sentido, debe reconocerse que desde hace mucho tiempo existen los empresarios preocupados por heredarles a sus hijos un ambiente más limpio y sano y que desde años atrás conocían y sabían de sus problemas de contaminación ambiental, tales como la descarga de aguas residuales sin tratamiento alguno o la emisión de agentes contaminantes a la atmósfera, pero que desafortunadamente no tenía a quien recurrir, ni existía tampoco la legislación ambiental que rige hoy en día. En la actualidad, la demanda de estos servicios, ha dado lugar a la creación de un número cada vez mayor de empresas dedicadas a prestar sus servicios en materia de consultoría ambiental, ya sea para regularización de trámites y registros ante las autoridades ambientales, para resolver problemas de contaminación a la atmósfera, al agua o al suelo, para eficientizar sus procesos y actividades productivas, para reemplazar compuestos o sistemas altamente contaminantes por equipos o sustancias que permitan reducir los índices de contaminación, para reducir el riesgo ambiental asociado a procesos y actividades altamente peligrosas, o simple y sencillamente para implementar prácticas como la separación de residuos sólidos y generar recursos extraordinarios para eficientizar sus actividades productivas.

Otra de las áreas en las que cada vez existe una mayor demanda reside en la realización de auditorías ambientales de transferencia de propiedad, esto es que aquel inversionista que desea adquirir un predio, una planta productiva, o acciones de una empresa, solicita la realización de una auditoría ambiental que le permita identificar el estado que guarda esta en materia ambiental y tomar una decisión adecuada para tal fin. En la práctica muchos inversionistas se han encontrado con la triste realidad de haber comprado un problema ambiental cuya solución puede costarles mucho más de lo que invirtieron para su adquisición. Los trabajos de remediación y saneamiento de suelo, subsuelo, acuíferos y cuerpos de agua afectados por problemas de contaminación son evidentemente otra de las áreas en las que las firmas de consultoría ambiental ofrecen sus servicios.

Finalmente, la formulación de estudios de impacto ambiental para el desarrollo de nuevas obras o actividades o de estudios de riesgo, requeridos por las autoridades competentes para identificar de manera previa a su realización los impactos ambientales que estas pudieran ocasionar y proponer las medidas de mitigación y prevención correspondientes, es otro de los campos de acción del consultor ambiental.

* Artículo publicado en la Revista *Mundo Celular*. Abril de 1995

LEGISLACION AMBIENTAL MEXICANA

**Preparado por:
ICF Kaiser Servicios Ambientales, S.A. de C.V.**

Septiembre de 1996

Periférico Sur # 3343 Desp.- 301. San Jerónimo Lídice, C.P. 10200, México, D.F. Tel. (Fax): 683-3908, 668-4871
Capitán Caldera # 410, Col. Tequisquiapan, C.P. 78200, San Luis Potosí, S.L.P. Tel (Fax): (48) 17-5930, 11-2254
Av. Nader, Edif. Madrid, Of. 28. Lote 29; Mzna. 1; S.M. 2. Cancún, Q. Roo, C.P. 77500 Tel (Fax). (98) 87-4828



Legislación Ambiental Mexicana

La Política Ambiental Mexicana se fundamenta en el reconocimiento de la necesidad de vincular el crecimiento económico con la protección al ambiente. Se parte de la convicción de que es posible lograr que los procesos industriales, los usos de la energía y la utilización productiva de los recursos naturales requeridos para impulsar la expansión económica sean cada vez más limpios, eficientes y respetuosos del ambiente.

México se ha comprometido con la tarea de atender y resolver problemas ambientales con implicaciones transfronterizas o de repercusión global. Para ello ha suscrito numerosos convenios bilaterales y multilaterales e instrumentado diversos programas, en la aplicación de los cuales ha obtenido reconocimiento internacional por sus logros.

Descripción General del Marco Legislativo en Materia Ambiental.

La base del sistema jurídico mexicano se encuentra en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos o la Carta Magna. De esta norma fundamental, promulgada el 5 de febrero de 1917 y reformada más de 400 veces, derivan las normas jurídicas específicas, siguiendo una jerarquización tal, que cada una valida y fundamenta a otra inferior, y ésta a su vez da origen a otra u otras.

Al amparo de la segunda reforma fue promulgada la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) en 1988; así como leyes locales de las 31 Entidades Federativas que integran al Pacto Federal Mexicano; los Reglamentos a la Ley General y las Normas Oficiales Mexicanas para proteger el medio ambiente.

El Sistema Jurídico en México se encuentra estructurado jerárquicamente de la siguiente forma:

- A. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.
- B. Leyes Reglamentarias de la Constitución
 - I. Leyes reglamentarias de artículos constitucionales.
 - II. Leyes que emanan de conceptos constitucionales.



C. Reglamentos

- I. Expedidos por el Ejecutivo, especializando y especificando los principios de las leyes reglamentarias o especiales.
- II. Reglamentos autónomos

D. Normas

A continuación se presenta una descripción de la legislación más sobresaliente en materia ambiental, incluyendo leyes y convenios internacionales, al igual que una descripción de las instituciones gubernamentales con responsabilidad en la materia.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, sus Reglamentos y NOMs

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) fue publicada el 28 de enero de 1988 en el *Diario Oficial de la Federación* (DOF). Esta Ley sienta las bases para reglamentar los principios constitucionales en la materia y está compuesta por 194 artículos, divididos en seis Títulos. La LGEEPA es por una parte una Ley Federal sobre protección del ambiente, preservación y restauración del equilibrio ecológico, y por la otra una ley que descentraliza ciertas atribuciones para los gobiernos locales.

La LGEEPA señala que son asuntos de competencia federal los de alcance general en la Nación o de interés de la Federación, y enumera cuáles son estos asuntos; describe las facultades de las Entidades Federativas; establece las facultades de la Secretaría de Desarrollo Social, (SEDESOL); hoy Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, (SEMARNAP); y por último establece la relación de las atribuciones de la SEMARNAP con las del Departamento del Distrito Federal (D.D.F.).

La política ecológica en México exige, a través de la LGEEPA, sus Reglamentos y Normas Oficiales Mexicanas (NOMs), una serie de requisitos a toda actividad industrial, comercial o antropogénica que por sus características emita o pueda emitir materia o energía que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural. Estos requisitos se encuentran contenidos en la LGEEPA en los Capítulos de su Título Cuarto.

La LGEEPA ha dado fundamento a cinco Reglamentos sobre: Evaluación del Impacto Ambiental; Residuos Peligrosos; Transporte Terrestres de Materiales y Residuos Peligrosos; Prevención y Control de Contaminación de la Atmósfera; y Contaminación Generada por los Vehículos Automotores que Circulan en el D.F. y Zona Metropolitana. Además, la LGEEPA otorgó vigencia jurídica al Reglamento



para la Protección y Control del Medio Ambiente Contra la Contaminación Originada por la Emisión de Ruido. La LGEEPA ha dado fundamento también a las NOMs en materia ambiental.

A partir del 16 de julio de 1992 entró en vigor la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN) por lo que se hizo necesario replantear todas las Normas Técnicas Ecológicas expedidas por la entonces SEDUE y SEDESOL, hoy en día res estructurada en la SEMARNAP, así como las Normas Técnicas Sanitarias expedidas por a Secretaría de Salud, publicadas previamente en el país. Con este replanteamiento se advierte que la expedición de Normas Oficiales Mexicanas (NOMs) de carácter obligatorio, requiere una fundamentación científico técnica, de costo-beneficio y/o de protección al consumidor.

Con las modificaciones derivadas de la LFMN, las Normas Técnicas Ecológicas y Sanitarias dejaron de estar vigentes en el mes de octubre de 1993, para transformarse en Normas Oficiales Mexicanas, con el propósito de armonizar los procedimientos para su elaboración y reflejar los intereses de los diversos sectores involucrados.

Para lograr las modificaciones hechas a las Normas Técnicas Ecológicas derivadas de la LFMN, se creó la *Comisión Nacional de Normalización* como órgano responsable de instrumentar la política de normalización y coordinar las actividades que en la materia corresponda realizar a las distintas dependencias de la Administración Pública Federal.

El 29 de marzo de 1993 se publicó el Programa Nacional de Normalización, el cual incluye un *Comité Consultivo Nacional* integrado por miembros del sector público, industrial y académico, especialistas en la materia.

El Comité Nacional de Normalización para la Protección Ambiental está integrado por siete subcomités: Aprovechamiento Ecológico de los Recursos Naturales; Ordenamiento Ecológico; Materiales y Residuos Peligrosos, Aire, Agua, Riesgo Ambiental y Energía Contaminante.

Dichos sucomités operan a través de 14 grupos de trabajo, los cuales elaboraron 141 NOMs ambientales para cubrir el Programa Normativo de 1993. El Comité publicó en el DOF un total de 64 proyectos de NOM: 13 en materia de aire (23 de junio de 1993); 33 en materia de agua (28 de junio de 1993); 7 en materia de residuos peligrosos (2 de julio de 1993); 4 más en materia de recursos naturales (2 de agosto de 1993) y 5 regulan el monitoreo.



Distribución de Competencias.

La distribución de competencias en materia ambiental entre los 3 niveles de gobierno que emanan del texto constitucional, ha dado lugar a tres sistemas normativos de protección al ambiente, el federal, el estatal y el municipal, no estando siempre definidos de manera categórica los límites de estos tres niveles competenciales. Aunado a lo anterior, el estudio y aplicación del derecho ambiental se dificulta por su complejidad, dispersión, diversidad y por la gran cantidad de normas existentes, así como por la carencia de orientaciones doctrinales y jurisprudenciales.

En materia ambiental las Entidades Federativas sólo pueden legislar sobre aquellos aspectos que constitucionalmente no han sido reservados a la Federación, o bien, sobre aquellos aspectos que el Congreso Federal les delegó en la LGEEPA, y en este último caso sólo pueden hacerlo para establecer procedimientos administrativos que permitan la aplicación de la Ley Federal.

El Artículo 6º de la LGEEPA establece las atribuciones de las Entidades Federativas y Municipios en materia ambiental.

En suma, en materia ambiental no existe ni concurrencia ni coincidencia de facultades legislativas, cada uno de los tres niveles de gobierno tiene perfectamente delimitado su ámbito de atribuciones. Sin embargo, se presenta con frecuencia la invasión de atribuciones legislativas por parte de los congresos locales.

Leyes Sectoriales.

La LGEEPA establece las características generales para proteger y preservar el equilibrio ecológico, no obstante la competencia federal en otras materias no contempladas dentro de la LGEEPA está encomendada a otras dependencias de la Administración Pública Federal en el texto de otras leyes. Estas Leyes son las siguientes: Ley de Aguas Nacionales; Ley Forestal; Ley de Pesca; Ley Federal sobre Metrología y Normalización; Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear; Ley Minera; Ley de Vías Generales de Comunicación; Ley General de Salud y; Ley de Caza.

Descripción General del Marco Institucional en Materia Ambiental.

El Plan Nacional de Desarrollo (PND) 1995-2000 establece como un reto a la sociedad y estado asumir plenamente las responsabilidades y costos de un aprovechamiento duradero de los recursos naturales renovables y del medio ambiente que permita mejor calidad de vida



para todos, propicie la superación de la pobreza, y contribuya a una economía que no degrade sus bases naturales de sustentación, dicho en otras palabras, se orienta en materia ambiental hacia un desarrollo sustentable.

Las oportunidades de inversión en el rubro ambiental han sido objeto de diversas modificaciones derivadas de la debacle financiera de la que ha sido objeto la presente administración del Presidente Zedillo, derivada en gran medida de la devaluación de la moneda mexicana frente a las divisas extranjeras. En este sentido se espera que los procesos de privatización previstos por el gobierno federal se aceleren y se amplíen a otras áreas adicionales a las ya contempladas inicialmente como la petroquímica secundaria, encaminándose hacia algunos sectores como el aeroportuario, el de generación de energía eléctrica, además de los servicios portuarios, ferroviarios y carreteros que ya se tenían contemplados desde la administración anterior.

La Ley Orgánica de la Administración Pública Federal se reformó en los inicios de la presente administración del Presidente Zedillo llevándose a cabo la reestructuración de diversas dependencias de gobierno como la de las: Secretaría de Pesca; de Energía, Minas e Industria Paraestatal; de Agricultura y Recursos Hidráulicos y; de la Contraloría General de la Federación que fueron reorganizadas en las siguientes secretarías: del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca; de Energía; de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural y; de Contraloría y Desarrollo Administrativo, respectivamente.

Desde una perspectiva ambiental, las modificaciones más relevantes se centran en lo que fuera la Secretaría de Pesca convertida en la actual Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, dependencia a la que en su esfera de competencia le corresponde el despacho de los siguientes asuntos:

- I. Fomentar la protección, restauración y conservación de los ecosistemas y recursos naturales y bienes y servicios ambientales, con el fin de propiciar su aprovechamiento y desarrollo sustentable;
- II. Formular y conducir la política nacional en materia de recursos naturales, siempre y cuando no estén encomendados expresamente a otra dependencia, así como en materia de ecología, saneamiento ambiental, agua, regulación ambiental del desarrollo urbano y desarrollo de la actividad pesquera, con la participación que corresponda a otras dependencias y entidades;
- III. Administrar y regular el uso y promover el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales que correspondan a la Federación con excepción del petróleo y todos los carburos de hidrógeno líquidos, sólidos y gaseosos, así como minerales radioactivos;



-
- IV. Establecer con la participación que corresponda a otras dependencias y a las autoridades estatales y municipales normas oficiales mexicanas sobre la preservación y restauración de la calidad del medio ambiente sobre los ecosistemas naturales; sobre el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y de la flora y fauna terrestre y acuática, sobre descargas de aguas residuales, y en materia minera; sobre materiales peligrosos y residuos sólidos y peligrosos;
- V. Vigilar y estimular, en coordinación con las autoridades federales, estatales y municipales, el cumplimiento de las leyes, normas oficiales mexicanas y programa relacionados con recursos naturales, medio ambiente, aguas, bosques, flora y fauna silvestre, terrestre y acuática y pesca; y demás materias competencia de la Secretaría, así como, en su caso, imponer las sanciones correspondientes;
- VI. Proponer al Ejecutivo Federal el establecimiento de áreas naturales protegidas, y promover para su administración y vigilancia, la participación de autoridades federales o locales, y de universidades, centros de investigación y particulares;
- VII. Organizar y administrar áreas naturales protegidas, y supervisar las labores de conservación, protección y vigilancia de dichas áreas cuando su administración recaiga en gobiernos estatales y municipales o en personas físicas o morales;
- VIII. Ejercer la posesión y propiedad de la Nación en las playas, zona federal marítimo terrestre y terrenos ganados al mar;
- IX. Intervenir en foros internacionales respecto de las materias de competencia de la Secretaría, con la participación que corresponda a la Secretaría de Relaciones Exteriores, y proponer a ésta la celebración de acuerdos y tratados internacionales en tales materias;
- X. Promover el ordenamiento ecológico del territorio nacional, en coordinación con las autoridades federales, estatales y municipales, y con la participación de los particulares;
- XI. Evaluar y dictaminar las manifestaciones de impacto ambiental de proyectos de desarrollo que le presenten los sectores público, social y privado; resolver sobre los estudios de riesgo ambiental, así como los programas para la prevención de accidentes con incidencia ecológica;
- XII. Elaborar, promover y difundir las tecnologías y formas de uso requeridas para el aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y sobre la calidad ambiental de los procesos productivos, de los servicios y del transporte;



-
- XIII. Fomentar y realizar programas de reforestación y restauración ecológica, con la cooperación de autoridades federales estatales y municipales, en coordinación en su caso, con la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural;
- XIV. Evaluar la calidad del ambiente y establecer y promover el sistema de información ambiental, que incluirá los sistemas de monitoreo atmosférico, de suelos y de cuerpos de agua de jurisdicción federal, y de los inventarios de recursos naturales y de población de fauna silvestre, con la cooperación de autoridades estatales y municipales, las instituciones de investigación y educación superior, y las dependencias y entidades que correspondan;
- XV. Desarrollar y promover metodologías y procedimientos de valuación económica del capital natural y de los bienes y servicios ambientales que éste presta, y cooperar con dependencias y entidades para desarrollar un sistema integrado de contabilidad ambiental y económica;
- XVI. Conducir las políticas nacionales sobre cambio climático y sobre protección de la capa de ozono;
- XVII. Promover la participación social y de la comunidad científica en la formulación, aplicación y vigilancia de la política ambiental, y concertar acciones e inversiones con los sectores social y privado para la protección y restauración del medio ambiente;
- XVIII. Realizar el censo de predios forestales y silvopastoriles y de sus productos; levantar, organizar y manejar la cartografía y estadística forestal, así como llevar el registro y cuidar la conservación de los árboles históricos y notables del país;
- XIX. Proponer, y en su caso resolver sobre el establecimiento y levantamiento de vedas forestales, de caza, y pesca, de conformidad con la legislación aplicable, y establecer el calendario cinegético y el de aves canoras y de ornato;
- XX. Imponer las restricciones que establezcan las disposiciones aplicables, sobre la circulación o tránsito por el territorio nacional de especies de la flora y fauna silvestres procedentes del o destinadas al extranjero, y promover ante la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial el establecimiento de medidas de regulación o restricción a su importación o exportación, cuando se requiera para su conservación o aprovechamiento;
- XXI. Dirigir los estudios, trabajos y servicios meteorológicos, climatológicos, hidrológicos y geohidrológicos, así como el Sistema Meteorológico Nacional, y participar en los convenios internacionales sobre esta materia;



XXII. Coordinar, concertar y ejecutar proyectos de formación, capacitación y actualización para mejorar la capacidad de gestión ambiental y el uso sustentable de recursos naturales: estimular que las instituciones de educación superior y los centros de investigación realicen programas de formación de especialistas, proporcionen conocimientos ambientales e impulsen la investigación científica y tecnológica en la materia; promover que los organismos de promoción de la cultura y los medios de comunicación social contribuyan a la formación de actitudes y valores de protección ambiental y de conservación de nuestro patrimonio natural; y en coordinación con la Secretaría de Educación Pública, fortalecer los contenidos ambientales de planes y programas de estudios y los materiales de enseñanza de los diversos niveles y modalidades de la educación;

XXIII. Organizar, dirigir y reglamentar los trabajos de hidrología en cuencas, cauces y alveólos de aguas nacionales, tanto superficiales como subterráneos, conforme a la ley en materia;

XXIV. Administrar, controlar y reglamentar el aprovechamiento de cuencas hidráulicas, vasos, manantiales y aguas de propiedad nacional, y de zonas federales correspondientes, con exclusión de los que se atribuya expresamente a otra dependencia; establecer y vigilar el cumplimiento de las condiciones particulares que deban satisfacer las descargas de aguas residuales, cuando sean de jurisdicción federal; autorizar, en su caso, el vertimiento de aguas residuales en el mar, en coordinación con la Secretaría de Marina, cuando provenga de fuentes móviles o plataformas fijas, en cuencas, cauces y demás depósitos de aguas de propiedad nacional; y promover y, en su caso, ejecutar y operar la infraestructura y los servicios necesarios para el mejoramiento de la calidad del agua en las cuencas;

XXV. Estudiar, proyectar, construir y conservar, con la participación que corresponda a la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, las obras de riego, desecación, drenaje, defensa y mejoramiento de terrenos y las de pequeña irrigación, de acuerdo con los programas formulados y que compete realizar al Gobierno Federal, por sí o en cooperación con las autoridades estatales y municipales o de particulares;

XXVI. Regular y vigilar la conservación de las corrientes, lagos y lagunas de jurisdicción federal, en la protección de cuencas alimentadoras y las obras de corrección torrencial;

XXVII. Manejar el Sistema Hidrológico del Valle de México;

XXVIII. Controlar los ríos y demás corrientes y ejecutar las obras de defensa contra inundaciones;



XXIX. Organizar y manejar la explotación de los sistemas nacionales de riego, con la intervención de los usuarios, en los términos que lo determinen las leyes, en coordinación, en su caso, con la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural;

XXX. Ejecutar las obras hidráulicas que deriven de tratados internacionales;

XXXI. Intervenir, en su caso, en la dotación de agua a los centros de población e industrias; fomentar y apoyar técnicamente el desarrollo de los sistemas de agua potable, drenaje, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales que realicen las autoridades locales; así como programar, proyectar, construir, administrar, operar y conservar por sí, o mediante el otorgamiento de la asignación o concesión que en su caso se requiera, o en los términos del convenio que se celebre, las obras y servicios de captación, potabilización, tratamiento de aguas residuales, conducción y suministro de aguas de jurisdicción federal;

XXXII. Regular la explotación pesquera, y expedir las normas oficiales mexicanas que correspondan así como promover, fomentar y asesorar técnicamente la producción, industrialización y comercialización de sus productos en todos sus aspectos, en coordinación con las dependencias competentes;

XXXIII. Estudiar, proyectar, construir y conservar las obras de infraestructura pesquera y de acuicultura que requiera el desarrollo del sector pesquero, con la participación de las autoridades estatales, municipales o de particulares;

XXXIV. Regular la formación y organización de la flota pesquera, así como las artes de pesca, expidiendo al efecto las normas oficiales mexicanas que corresponda;

XXXV. Participar con la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, en la determinación de los criterios generales para el establecimiento de los estímulos fiscales y financieros necesarios para el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y el cuidado del medio ambiente;

XXXVI. Realizar directamente y autorizar conforme a la ley, lo referente a acuicultura; así como establecer viveros, criaderos y reservas de especies acuáticas, con la participación, en su caso, de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural;

XXXVII. Promover la creación de zonas portuarias pesqueras, así como su conservación y mantenimiento;



XXXVIII. Promover en coordinación con la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, el consumo humano de productos pesqueros, asegurar el abasto y la distribución de dichos productos, y de materia prima a la industria nacional:

XXXIX. Otorgar contratos, concesiones, licencias, permisos, autorizaciones, asignaciones, y reconocer derechos, según corresponda, en materia de: aguas; forestal; ecológica; pesquera; explotación de la flora y fauna silvestre y; sobre playas, zona federal marítimo terrestre y terrenos ganados al mar;

XL. Diseñar y operar, con la participación que corresponda a otras dependencias y entidades, la adopción de instrumentos económicos para la protección, restauración y conservación del medio ambiente, y;

XLI. Los demás que le atribuyan expresamente las leyes y reglamentos.

Entre las atribuciones que se le confieren a la nueva dependencia, la SEMARNAP, destacan las inherentes a recursos forestales e hidráulicos que anteriormente le correspondían a la SARH.

Por otra parte, es importante señalar que en el mes de Diciembre de 1994 se publicó la Ley que reforma deroga y adiciona diversas disposiciones fiscales, entre las que destacan por su relevancia en el área ambiental, las asociadas a la posibilidad de deducir las aportaciones para fondos destinados a investigación y desarrollo en tecnología, así como las aportaciones a fondos destinados a programas de capacitación de sus empleados.

En materia ambiental, el 3 de Abril de 1996, se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF), el Decreto por el que se aprueba el programa sectorial de mediano plazo denominado "Programa de Medio Ambiente, 1995-2000" (PMA).

El PMA esta compuesto en esencia de 6 capítulos a saber:

- I Marco Jurídico;
- II El Reto del Desarrollo Sustentable, Panorama General;
- III Líneas de Diagnóstico;



-
- IV Objetivo General y Objetivos Particulares;
 - V Instrumentos para la Política Ambiental;
 - VI Estrategias, Proyectos y Acciones Prioritarias.

El PMA, parte del Plan Nacional de Desarrollo (PND) y contempla y se orienta hacia un desarrollo sustentable, basado en principios orientadores para hacer frente al desafío de diseñar un futuro más racional, estable y equitativo. El desarrollo sustentable compatibiliza la satisfacción de las necesidades y aspiraciones sociales de hoy con el mantenimiento de equilibrios biofísicos y sociales indispensables para el propio proceso de desarrollo actual y futuro. El desarrollo sustentable, configura un nuevo paradigma que se articula en torno a un proceso gradual de transición hacia formas cada vez más racionales de utilización de los recursos naturales.

Partiendo de lo expuesto anteriormente, es posible analizar la estructura de la actual SEMARNAP. El Reglamento Interior de la SEMARNAP, publicado en el DOF del 8 de Julio de 1996 establece que para el estudio, planeación y despacho de los asuntos que le competen a la SEMARNAP, ésta tendrá las siguientes unidades administrativas:

Secretaría de Despacho

Subsecretaría de Planeación

Subsecretaría de Recursos Naturales

Subsecretaría de Pesca

Oficialía Mayor

Unidad Coordinadora de Análisis Económico y Social

Unidad Coordinadora de asuntos Internacionales



Unidad de Contraloría Interna

Dirección General de Asuntos Jurídicos

Dirección General de Comunicación Social

Dirección General de Planeación

Dirección General de Programas Regionales

Dirección General del Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable

Dirección General de Estadística e Informática

Dirección General de Zona Federal Marítimo Terrestre

Dirección General de Restauración y Conservación de Suelos

Dirección General Forestal

Dirección General de Política y Fomento Pesquero

Dirección General de Administración de Pesquerías

Dirección General de Infraestructura Pesquera

Dirección General de Acuicultura

Dirección General de Recursos Humanos y Organización



Dirección General de Programación, Presupuesto y Evaluación

Dirección General de Administración

Delegaciones Federales y

Organos Administrativos Desconcentrados:

Comisión Nacional del Agua

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Instituto Nacional de Ecología

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente

Instituto Nacional de la Pesca

Para fines prácticos, se analizarán las funciones y atribuciones de los principales órganos desconcentrados de la SEMARNAP en materia ambiental.

Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP)

La SEMARNAP cuenta con cinco órganos desconcentrados. Dos de ellos, son los que mayor injerencia tienen en materia ambiental:

1. El Instituto Nacional de Ecología (INE), el cual tiene facultades técnico-normativas;
2. La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), la cual cuenta con facultades para vigilar la correcta aplicación de la normatividad ambiental vigente en México, y para atender las demandas ciudadanas.



Instituto Nacional de Ecología (INE).

Atribuciones del Instituto Nacional de Ecología:

- * **Planeación Ecológica**
- * **Normas Ambientales**
- * **Recursos Naturales.**
- * **Investigación y Desarrollo**

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA).

La Procuraduría, órgano operativo de la SEMARNAP, esta facultada para ejercer las atribuciones siguientes:

- * **Participación Social.**
- * **Auditorías Ambientales.**
- * **Verificación Normativa**

En cuanto a su responsabilidad en el área de verificación y cumplimiento, es importante resaltar que desde su creación en 1992, la PROFEPA ha ampliado sus actividades de manera muy significativa. Dentro de estas actividades se destacan el incremento en el número de inspecciones a instalaciones industriales y el Programa Voluntario de Auditorías Ambientales. Los esfuerzos de la PROFEPA se han orientado hacia las industrias consideradas de alto riesgo.

A pesar de las limitaciones señaladas, es importante anotar que durante los últimos años, como resultado de sus inspecciones la PROFEPA ha impuesto un gran número de multas y sanciones a diversos tipos de industrias. Estas sanciones han incluido clausuras temporales o permanentes de plantas y, en algunos casos, unidades de operación.

En 1992 la PROFEPA inició un Programa de Auditorías Ambientales a industrias de alto riesgo. Estas auditorías ambientales constituyen una evaluación detallada de todos los aspectos de la operación de una planta industrial que pueden ocasionar un impacto sobre la salud humana o el medio ambiente y tienen como finalidad identificar todo tipo de deficiencias, tanto a nivel de incumplimiento con la normatividad ambiental y de seguridad e higiene en el trabajo. Las auditorías son realizadas por una empresa de consultoría debidamente



autorizada por la PROFEPA. La empresa auditora debe ceñirse a los Términos de Referencia establecidos por la PROFEPA y es supervisada directamente por una empresa supervisora que representa a la PROFEPA en este proceso. A partir de las deficiencias identificadas y las acciones correctivas recomendadas por la empresa auditora, los representantes de la planta industrial auditada negocian un convenio con la PROFEPA para corregir dichas deficiencias según un calendario acordado por las partes.

El Programa de Auditorías Voluntarias empezó con un reducido número de industrias, consideradas como especialmente críticas desde un punto de vista de riesgo ambiental, las cuales fueron invitadas a participar por la PROFEPA, quién sufragó los costos. A la fecha, un número considerable de empresas que realizan actividades de alto riesgo ha participado en el programa (actualmente la empresa auditada es responsable del pago de los servicios prestados por las empresas auditora y supervisora). Muchas se encuentran en proceso de negociación del convenio con la PROFEPA y algunas ya están ejecutando las acciones correctivas necesarias para cumplir con los convenios respectivos.

Comisión Nacional del Agua (CNA).

El 16 de enero de 1989 se creó por decreto la Comisión Nacional del Agua (CNA) como órgano administrativo desconcentrado de la actual Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. De acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales, la CNA tiene a su cargo, entre otras, las siguientes funciones:

1. Proponer la política hidráulica del país; formular y mantener actualizado el Programa Nacional Hidráulico y ejecutar el Sistema de Programación Hidráulica.
2. Fijar los criterios y lineamientos que permitan dar unidad y congruencia a los programas y acciones del Gobierno Federal en materia de agua.
3. Establecer y, en su caso, proponer las bases para la coordinación de acciones de las unidades administrativas e instituciones públicas relacionadas con el agua.
4. Administrar y regular, en los términos de la Ley, las aguas nacionales, la infraestructura hidráulica y los recursos que se le destinen.
5. Programar, estudiar, construir, operar y conservar obras hidráulicas y realizar las acciones que requiera el aprovechamiento integral



del agua.

6. Manejar el Sistema Hidrológico del Valle de México.

7. Estudiar, programar y proyectar las obras de drenaje, control de ríos y aprovechamiento de los recursos hidráulicos de la Cuenca del Valle de México, así como construir las obras de drenaje o aprovechamiento hidráulico y realizar acciones que para su desarrollo se requieran.

8. Asegurar y vigilar la congruencia entre los programas relacionados con el agua y la asignación de los recursos públicos para su ejecución; y

9. Estudiar, proponer y ejecutar, en su caso, las medidas de tipo financiero que permitan el desarrollo de la infraestructura y de los servicios hidráulicos del país.



Legislación Específica en Temas de Interés

Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera.

La calidad del aire comenzó a cobrar importancia en la década de los sesentas, principalmente en las urbes con zonas industriales como el Valle de México y Monterrey; sin embargo, no fue sino hasta la década de los ochenta en la que con la promulgación de la entonces Ley Federal de Protección al Ambiente, hoy en día abrogada y reemplazada por la LGEEPA y el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica, que se intensificaron las acciones tendientes a prevenir y controlar la contaminación atmosférica en las distintas fuentes que la originan.

La Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera en México se encuentra regulada, a nivel Federal por:

- I. La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)
- II. El Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera.
- III. Las Normas Oficiales Mexicanas en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera publicadas en el DOF.
- IV. La Ley General de Salud.

En términos de lo dispuesto por el Artículo 1º Fracción VI de la LGEEPA, uno de los objetivos de esta Ley es precisamente la prevención y el control de la contaminación del aire; para ello, se establecen en primer lugar, los criterios que deberán observarse. Dichos criterios son los siguientes:

- "La calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos y regiones del país," y
- "Las emisiones de contaminantes a la atmósfera, sean de fuentes artificiales o naturales, fijas o móviles, deben ser reducidas y controladas, para asegurar una calidad del aire satisfactoria para el bienestar de la población y el equilibrio ecológico." (Artículo 110)

Asimismo, la LGEEPA otorga a las autoridades un conjunto de facultades encaminadas a cumplir con los criterios antes anotados. Así, por ejemplo, a la Federación se le asignan entre otras, las siguientes atribuciones:

- La expedición de Normas Oficiales Mexicanas que establezcan los niveles máximos permisibles de emisión por contaminante y por fuente de



contaminación; para el establecimiento y operación de los sistemas de monitoreo de la calidad del aire; para la certificación de los niveles de emisión de contaminantes a la atmósfera; para reducir las emisiones contaminantes de origen vehicular; y para el establecimiento de sistemas de verificación del parque vehicular, y;

- La determinación de los equipos de control de emisiones que deberán instalar los responsables de las fuentes contaminantes.

Asimismo, la LGEEPA establece que los gobiernos de las Entidades Federativas y de los Municipios les corresponde, en sus respectivos ámbitos de competencia, ejercer las siguientes atribuciones:

- Llevar a cabo acciones de prevención y control de la contaminación del aire en bienes, zonas y fuentes contaminantes de jurisdicción local.
- Incorporar los criterios para la protección de la atmósfera en las declaratorias de usos, destinos, reservas y provisiones que expidan; establecer y operar sistemas de verificación de emisiones de automotores en circulación, así como sistemas de monitoreo de la calidad del aire.

La regulación de actividades relacionadas en materia de prevención y control de la contaminación de la atmósfera es asunto de competencia federal, por tener alcance general en la Nación y ser de interés de la Federación, según lo señala el Artículo 5º Fracción XIV de la LGEEPA.

Cabe aclarar que aunque dicho instrumento hace referencia a diversas atribuciones tanto del Gobierno Federal, como de los gobiernos locales, sus preceptos se dirigen a regular las conductas humanas a través de las cuales se pretenden realizar o se realicen obras o actividades por las que se emitan a la atmósfera olores, gases y/o partículas sólidas o líquidas generadas en bienes o zonas federales o que provengan de fuentes federales.

Fuentes Contaminantes de Jurisdicción Federal.

De acuerdo con la legislación ambiental, existen dos tipos de fuentes contaminantes: las fijas y las móviles. Se entiende por fuente fija toda instalación establecida en un solo lugar, que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, o de servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera. Las fuentes móviles son aviones, helicópteros, ferrocarriles, tranvías, tractocamiones, autobuses integrales, camiones, automóviles, motocicletas, embarcaciones, equipo y maquinaria no fijos con motores de combustión y similares, que con motivo de su operación generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera.

El Reglamento de la LGEEPA en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera establece una relación de las fuentes fijas que deben ser consideradas de jurisdicción federal. El Artículo 11, fracción II de este Reglamento, señala que son fuentes fijas de jurisdicción federal:

- a) Las instalaciones, obras o actividades industriales, comerciales y de servicios que realicen las dependencias y entidades de la Administración Pública



Federal.

b) La industria del asbesto, así como las previstas en el Artículo 29, Fracción III de la LGEEPA. (Industria química, petroquímica, siderúrgica, papelera, azucarera, de bebidas, del cemento, automotriz y de generación y transmisión de electricidad).

Asimismo, el Artículo 28 de nuestra Carta Fundamental, prescribe como federales las siguientes áreas estratégicas: correos, telégrafos, radiotelegrafía, comunicación vía satélite, petróleo y demás hidrocarburos, petroquímica básica, minerales radioactivos, generación de energía nuclear, electricidad y ferrocarriles.

Por otra parte, el Artículo 73 Constitucional, en su Fracción X, señala que son federales las siguientes materias: Hidrocarburos, petroquímica, minería, industria cinematográfica, comercio, juegos con apuestas y sorteos, intermediaciones y servicios financieros y energía eléctrica y nuclear.

En tercer lugar, el artículo 123 de la Constitución señala una serie de ramas industriales y de servicios que deben ser consideradas de jurisdicción federal, siendo éstas las siguientes: textil; cinematográfica; hulera; azucarera; minera; metalúrgica y siderúrgica; hidrocarburos; petroquímica; cementera; calera; automotriz, incluyendo autopartes mecánicas y eléctricas; química, incluyendo la química farmacéutica y medicamentos; celulosa y papel; de aceites y grasas vegetales; productora de alimentos, abarcando exclusivamente la fabricación de los que sean empleados, enlatados o envasados o que se destinen a ello; ferrocarrilera; maderera; vidriera exclusivamente por lo que se refiere a la fabricación de vidrio plano, liso o labrado, o de envases de vidrio y tabacalera.

c) Asimismo, debemos considerar como fuentes fijas de jurisdicción federal a aquellas instalaciones, obras o actividades que, en términos de la propia normatividad ambiental sean consideradas como altamente riesgosas o en las que se manejen materiales o residuos peligrosos, en virtud de que en ambos casos, se trata de asuntos cuya regulación y control corresponde al Gobierno Federal.

d) La industria que se localice en la zona conurbada del Distrito Federal.

e) Las obras o actividades localizadas en una Entidad Federativa, cuyas emisiones a la atmósfera contaminen o afecten el equilibrio ecológico de otra u otras Entidades Federativas, cuando así los determine la SEMARNAP o lo solicite la Federación, el Estado afectado por las emisiones de contaminantes a la atmósfera.

f) Las obras o actividades localizadas en el territorio nacional que puedan afectar el equilibrio ecológico de otros países.

g) En el Distrito Federal, son de jurisdicción federal todas las fuentes fijas, excepto las que funcionen como establecimientos mercantiles o para espectáculos públicos.



Como ya se mencionó, la emisión de olores, gases, así como de partículas sólidas o líquidas a la atmósfera que se generen por fuentes fijas, deberán ajustarse a los niveles máximos permisibles de emisión e inmisión por contaminantes y por fuentes de contaminación que se establezcan en las Normas Oficiales Mexicanas que al respecto se expiden.

Dentro de las obligaciones de los responsables de fuentes fijas de jurisdicción federal se encuentran las siguientes: contar con la Licencia de Funcionamiento; emplear equipos y sistemas que controlen las emisiones a la atmósfera; integrar un inventario de sus emisiones contaminantes a la atmósfera para lo cual deberá llevar a cabo las mediciones respectivas; instalar plataformas y puertos de muestreo; llevar a cabo el monitoreo perimetral de sus emisiones contaminantes a la atmósfera; llevar una bitácora de operación y mantenimiento de sus equipos de proceso y de control, y; dar aviso anticipado a la SEMARNAP del inicio de operación de sus procesos en el caso de paros programados, y de inmediato, en el caso de que éstos sean circunstanciales, si ellos pueden provocar contaminación, así como en el caso de falla en el equipo de control.

Fuentes Móviles de Jurisdicción Federal.

El artículo 11 del Reglamento de la LGEEPA en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera, considera como fuentes móviles de jurisdicción federal las siguientes:

- Los vehículos automotores hasta en tanto no salgan de la planta de producción;
- El transporte público federal.

La legislación ambiental determina que las emisiones de olores, gases, así como de partículas sólidas y líquidas a la atmósfera generadas por las fuentes móviles, no deberán rebasar los niveles máximos permisibles de emisión que establezcan las Normas Oficiales Mexicanas respectivas.

Otro de los aspectos contemplados en la legislación ambiental, de ámbito federal, es el establecimiento de un sistema de información de la calidad del aire, el cual se integrará con los datos resultantes del monitoreo atmosférico que se realice tanto en el Distrito Federal como en cada una de las Entidades Federativas, así como de los inventarios de las emisiones contaminantes de fuentes fijas de jurisdicción federal y estatal.

Se prevé que los sistemas de monitoreo de la calidad del aire deberán sujetarse a las Normas Oficiales Mexicanas que se expidan. Sobre el particular, se encuentran en vigor NOMs a través de las cuales se establecen los métodos de medición para determinar la concentración de monóxido de carbono, partículas suspendidas totales, ozono, bióxido de nitrógeno y bióxido de azufre, así como los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.

El último aspecto contenido en la legislación federal ambiental, se refiere a la incineración a cielo abierto. De acuerdo con lo previsto en el Reglamento



en la materia corresponde al Gobierno Federal, a través de la SEMARNAP autorizar dicha actividad siempre que se cumplan con dos requisitos: que se realicen en zonas de jurisdicción federal y tenga por objeto adiestrar y capacitar al personal encargado del combate de incendios.

Los órganos de la Administración Pública que tienen relación con esta materia son, además de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), los siguientes: 1) Secretaría de Salud (SS); 2) Secretaría de Trabajo y Previsión Social (STPS); 3) Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI); 4) Secretaría de Energía (SE); y 6) Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

La SEMARNAP requiere que las industrias presenten un inventario anual de emisiones al ambiente. La hoy SEMARNAP cuenta con un Instructivo para el diseño e instalación de puertos y plataformas para el muestreo de emisiones contaminantes originadas por las chimeneas de operaciones y procesos industriales con diámetros internos, iguales o mayores a 30 centímetros y sus equivalentes.

Prevención y Control de la Contaminación del Agua.

La prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos en México se encuentra regulada, a nivel Federal por:

- I. La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), su Reglamento y Normas Oficiales Mexicanas.
- II. Ley de Aguas Nacionales
- III. Ley Federal de Derechos en Materia de Agua.
- IV. Ley de Salud
- V. Reglamento para el Control de la Contaminación de Aguas Marítimas por Derrames de Residuos y otros materiales.

La SEMARNAP tiene la autoridad prioritaria para establecer los criterios de calidad del agua y los estándares para descarga de aguas residuales a cuerpos de agua dulce y aguas marítimas. La Secretaría de Marina es responsable de controlar la calidad de las aguas marítimas nacionales y controlar la contaminación de barcos mexicanos y otras embarcaciones que se encuentren navegando en aguas nacionales.



La Comisión Nacional del Agua es responsable de clasificar los usos de los cuerpos de agua y determinar su capacidad de asimilación con el fin de asistir a la SEMARNAP en el establecimiento de los criterios de la calidad del agua y para el control de descargas contaminantes a cuerpos de agua de jurisdicción federal en coordinación con la SEMARNAP.

La Secretaría de Salud es responsable de emitir normas sanitarias y del control de contaminantes en las aguas de cualquier cuerpo receptor superficial o subterráneo, cuando éstas se destinen para uso o consumo humano.

El artículo 1º Fracción VI de la LGEEPA, establece en uno de sus objetivos la prevención y control de la contaminación del agua; para ello, se establecen en primer lugar, los criterios que deberán observarse. Dichos criterios son los siguientes:

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

La Ley otorga a las autoridades un conjunto de facultades encaminadas a cumplir con los criterios antes anotados. Así, por ejemplo, se le asignan entre otras, las siguientes atribuciones:

- La expedición de Normas Oficiales Mexicanas que establezcan los niveles máximos permisibles del vertimiento de aguas residuales; para el almacenamiento de aguas residuales; para el uso o aprovechamiento de aguas residuales; para el tratamiento de aguas



residuales de origen urbano que se destinen a la industria y a la agricultura; para fijar condiciones particulares de descarga cuando se trate de aguas residuales generadas en bienes y zonas de jurisdicción federal y de aquellas vertidas directamente en aguas de propiedad nacional.

- La determinación de los procesos de tratamiento de las aguas residuales, en función del destino de esas aguas y las condiciones del cuerpo receptor.
- Promover la incorporación de sistemas de separación de las aguas residuales de origen doméstico de aquellas de origen industrial en los drenajes de los centros de población, así como la instalación de plantas de tratamiento para evitar la contaminación de aguas.

Asimismo, la LGEEPA establece que los gobiernos de las Entidades Federativas y de los municipios les corresponde, en sus respectivos ámbitos de competencia, ejercer las siguientes atribuciones:

- Llevar a cabo acciones de prevención y control de las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado;
- Requerir a quienes generen descargas a dichos sistemas y no satisfagan las Normas Oficiales Mexicanas que se expidan, la instalación de sistemas de tratamiento;
- Determinar el monto de los derechos correspondientes para que el municipio o autoridad estatal respectiva pueda llevar a cabo el tratamiento necesario, y en su caso, proceder a la imposición de las sanciones a que haya lugar, y
- Llevar y actualizar el registro de las descargas a las redes de drenaje y alcantarillado que administren, el que será integrado al Registro Nacional de Descargas a cargo de la SEMARNAP.

La regulación de actividades relacionadas en materia de prevención y control de la contaminación del agua es asunto de competencia federal, por tener alcance general en la Nación y ser de interés de la Federación, según lo señala el Artículo 5º Fracción XII de la LGEEPA.

Para evitar la contaminación del agua, quedan sujetos a regulación federal o local las siguientes descargas: de origen industrial; de origen municipal y su mezcla incontrolada con otras descargas; las derivadas de actividades agropecuarias; las que contengan desechos, sustancias



o residuos generados en las actividades de extracción de recursos no renovables; la aplicación de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas; las infiltraciones que afecten los mantos acuíferos; y el vertimiento de residuos sólidos en cuerpos y corrientes de agua.

A la fecha se encuentran vigentes Normas Oficiales Mexicanas específicas que abarcan las siguientes industrias: termoeléctricas, azúcar de caña, refinerías, fertilizantes, plásticos y polímeros, harinas, cervezas y malta, asbestos de construcción, leche y derivados, vidrio plano y fibra, vidrio prensado y soplado, industria hulera, hierro y acero, industria textil, celulosa y papel, bebidas gaseosas, acabados metálicos, laminación de cobre, productos de aserradero, asbestos textiles, curtido de pieles, cárnicos, conservas alimenticias, papel celulosa virgen, papel fibra celulósica, restaurantes u hoteles, beneficio del café, harina y aceite, pescado, hospitales, jabones y detergentes, drenaje y alcantarillado, riego agrícola y riego para hortalizas.

La Ley de Aguas Nacionales tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, su distribución y control así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable. Esta Ley se inscribe en el marco de la modernización; planeación y programación de la administración y del uso eficiente y racional de los recursos hidráulicos.

Esta Ley menciona en su Título Séptimo el procedimiento para la prevención y control de la contaminación de las aguas, en el cual se señala que la Comisión Nacional del Agua tiene facultades para establecer y vigilar el cumplimiento de las condiciones particulares de descarga que deben satisfacer las aguas residuales que se generen en bienes y zonas de jurisdicción federal, de aguas residuales vertidas directamente en aguas y bienes nacionales o en cualquier terreno cuando dichas descargas puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos y en los demás casos previstos en la LGEEPA realizando la inspección o fiscalización de las descargas de aguas residuales con el objeto de verificar el cumplimiento de esta Ley.

Legislación de Residuos No Peligrosos.

El artículo 134 fracción III de la LGEEPA establece que "es necesario racionalizar la generación de residuos sólidos, municipales e industriales; e incorporar técnicas y procedimientos para su reuso y reciclaje".

El artículo 135 de la LGEEPA establece en materia de prevención y control del suelo la operación de los sistemas de limpia y disposición final de residuos municipales en rellenos sanitarios, así como la instalación y operación de confinamientos o depósitos de residuos.

Por su parte, el Artículo. 136 de la LGEEPA establece que los residuos que se acumulen y se depositen o infiltren en los suelos deberán



reunir las condiciones necesarias para prevenir o evitar:

- I. La contaminación del suelo;
- II. Las alteraciones nocivas en el proceso biológico de los suelos;
- III. Las alteraciones en el suelo que alteren su aprovechamiento, uso o explotación; y
- IV. Riesgos de salud”.

Los residuos están regulados por otros ordenamientos jurídicos, entre los que deben mencionarse el Reglamento de Tránsito en Carreteras Federales, que dispone que está prohibido dejar o tirar, sobre la vía pública, basura, botellas, vidrios, clavos, tachuelas, alambre, latas, u otros materiales que puedan dañar a las personas o vehículos que hacen uso de las vía.

Legislación en Materia de Residuos Peligrosos

Legislación de Residuos Peligrosos

La materia de Residuos Peligrosos en México se encuentra regulada en:

- I. La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)
- I. El Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Residuos Peligrosos (RRP)
- III. El Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos.
- IV. Las Normas Oficiales Mexicanas en materia de Residuos Peligrosos publicadas en el DOF.
- V. La Ley General de Salud.



VI. El Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios.

Para regular la gestión de los residuos peligrosos se publicaron siete NTEs entre 1988 y 1989, las cuales fueron derogadas y transformadas en las NOMs el 22 de octubre de 1993.

NOM-052/ECOL/1993 establece las características de los residuos peligrosos y el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

NOM-053/ECOL/1993 establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

NOM-054/ECOL/1993 establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la NOM-CRP-001/93.

NOM-055/ECOL/1993 establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos, excepto de los radiactivos.

NOM-056/ECOL/1993 establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.

NOM-057/ECOL/1993 establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de confinamiento controlado para residuos peligrosos.

NOM-058/ECOL/1993 establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.

La Secretaría de Salud, en coordinación con la SEMARNAP autoriza el almacenamiento temporal de residuos peligrosos, siempre que dicho almacenamiento no constituya riesgo para la salud humana.

En lo relativo a residuos peligrosos que regula este Título queda prohibido de acuerdo al artículo 1235:



-
1. Rebasar los niveles de concentración máxima permisible en aire, agua, suelo y alimentos y los límites máximos de exposición de las personas.
 2. Su transporte con propósitos industriales o comerciales, junto con alimentos, bebidas, medicamentos o vestuario o con utensilios destinados a almacenar o producir alimentos y en general, con cualquier producto que se destine para uso o consumo humano.
 3. Su transporte con propósitos industriales o comerciales, junto con alimentos para animales domésticos.
 4. Su colocación, con propósitos comerciales, junto con cualquier otro producto que se destine para uso o consumo humano.
 5. Su venta a granel y su envase, almacenamiento o transporte en recipientes abiertos, deteriorados, inseguros, desprovistos de rótulo, sin etiquetas o con indicaciones ilegibles o en envases que se destinen para contener productos de consumo humano.
 6. Su transporte con propósitos industriales o comerciales, cuando no posean un embalaje adecuado para la protección de la salud durante su manejo.
 7. La realización de cualquier parte de su proceso, en establecimientos dedicados al proceso de productos de uso o consumo humano.
 8. Su emisión o disposición final o temporal, así como la de sus residuos, en sitios que carezcan de licencia sanitaria.

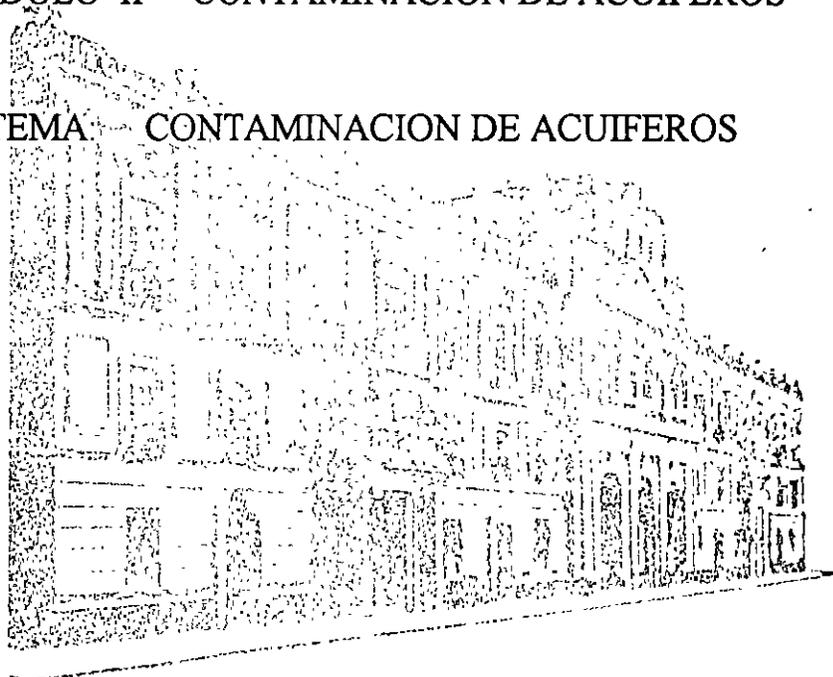


**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**VIII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE
ACUIFEROS**

MODULO II CONTAMINACION DE ACUIFEROS

TEMA CONTAMINACION DE ACUIFEROS



ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES

1996

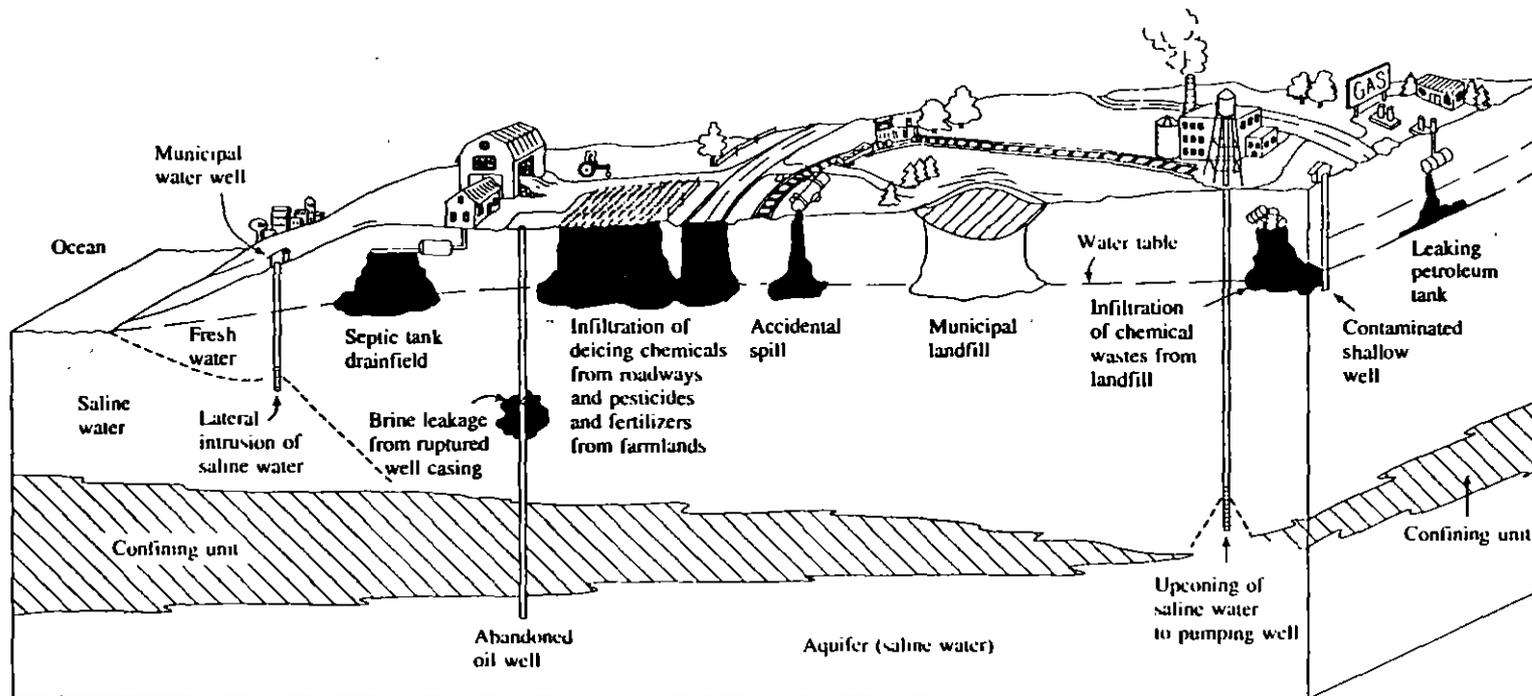
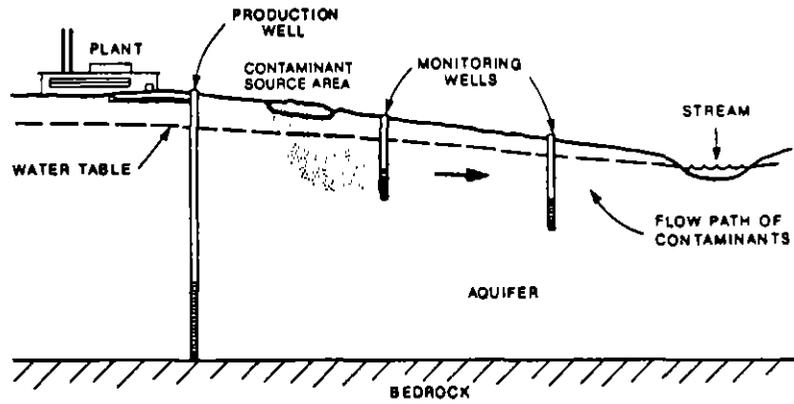
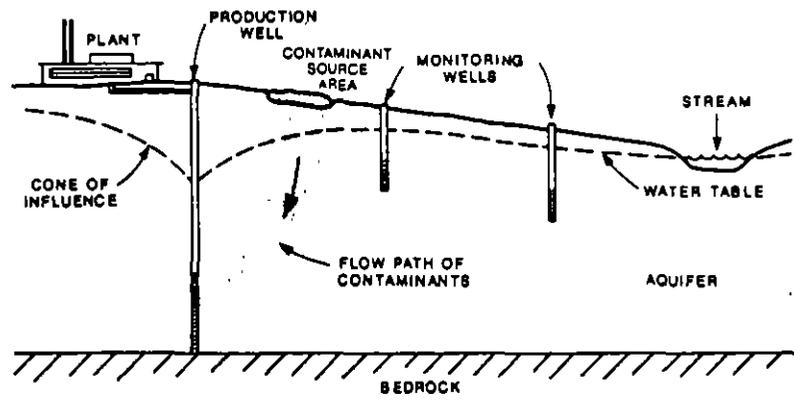


FIGURE 1.1 Mechanisms of ground-water contamination.



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

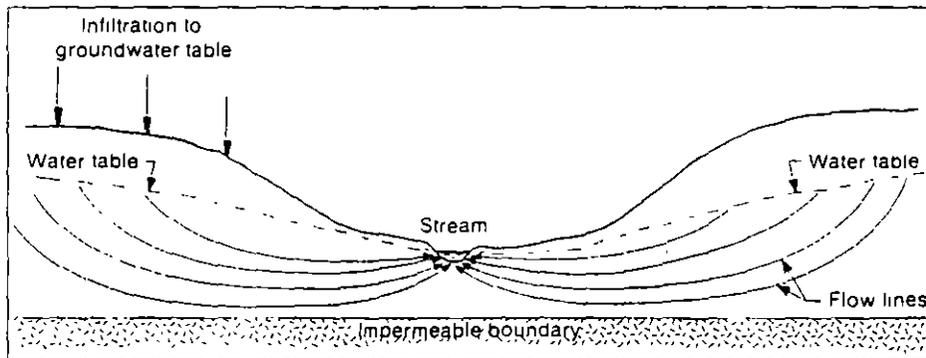


Figure 5.17a. Cross section through a stream valley showing flow lines in the groundwater system.

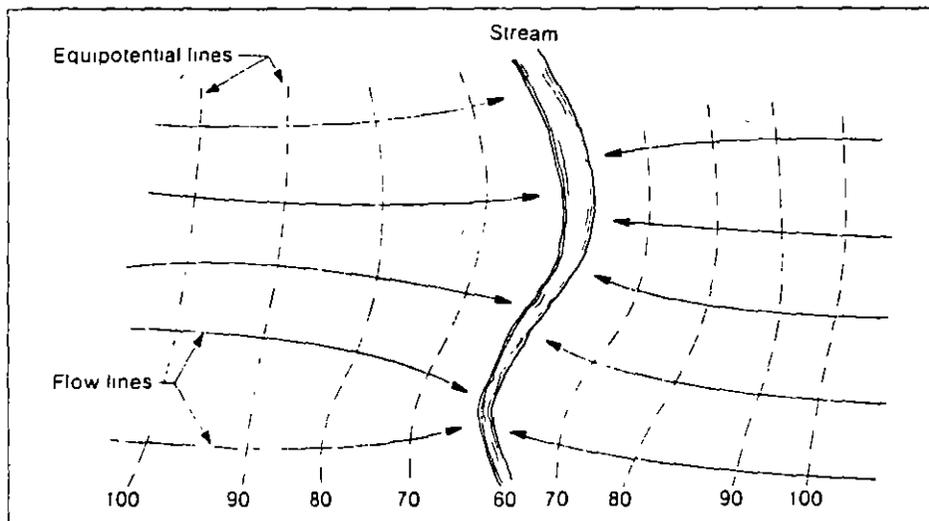
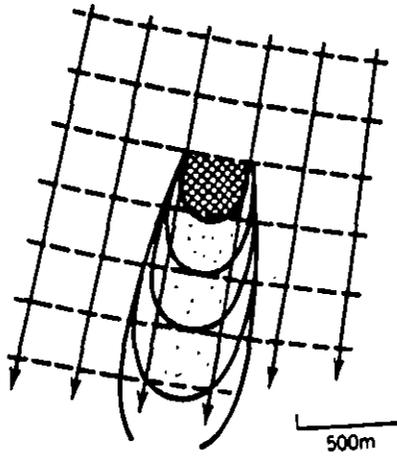
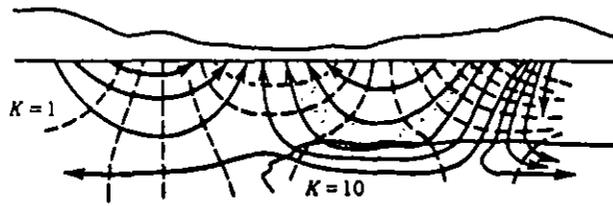
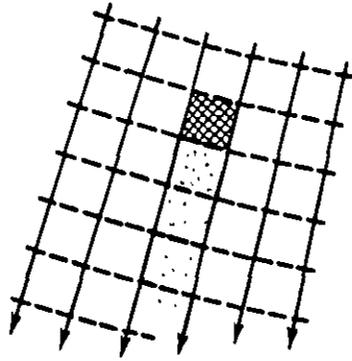
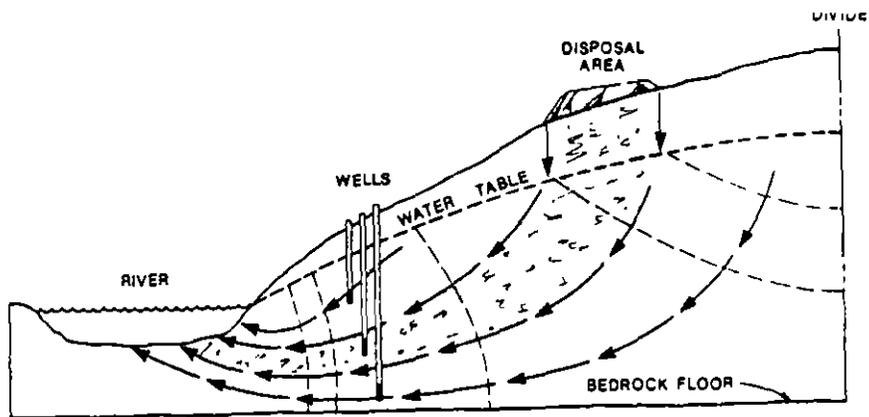
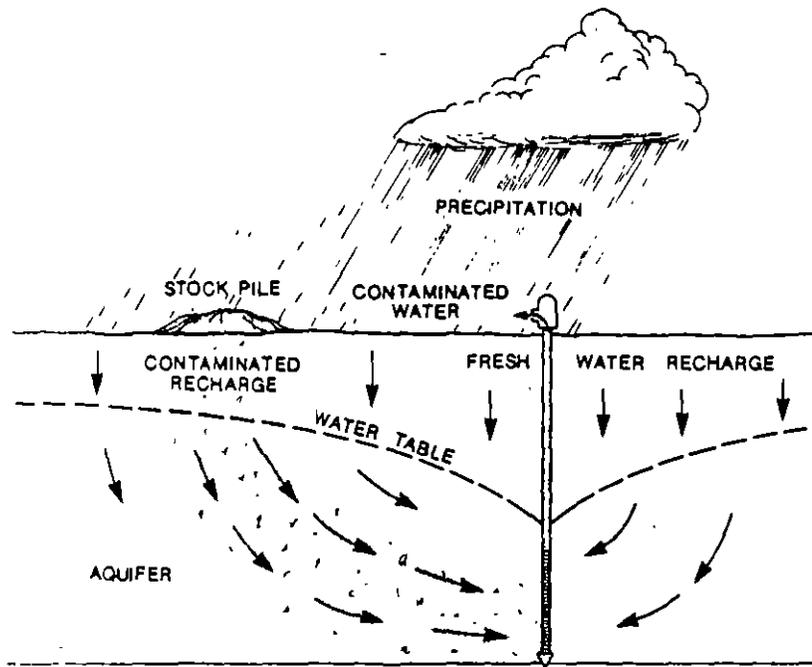
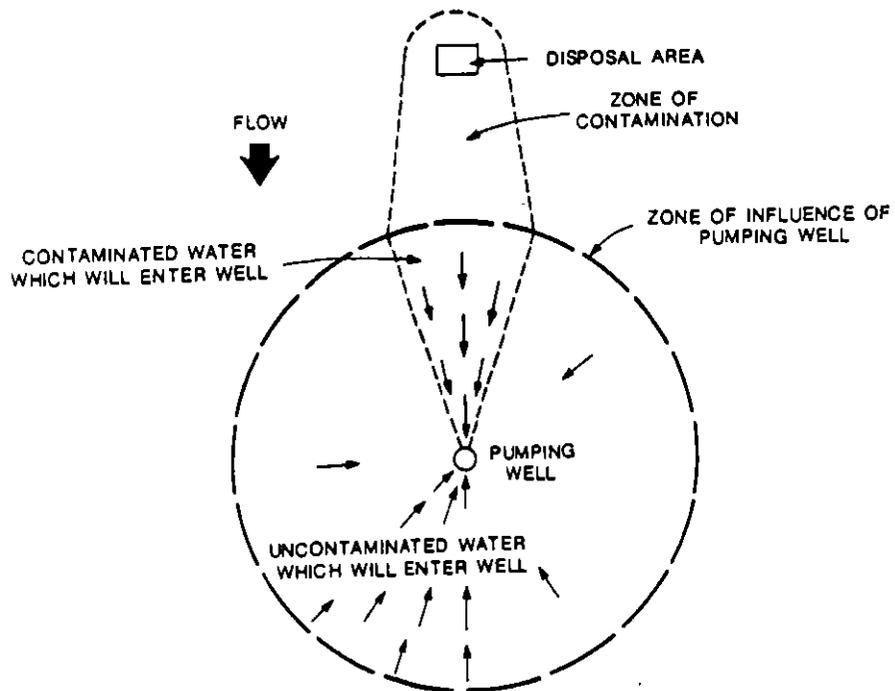
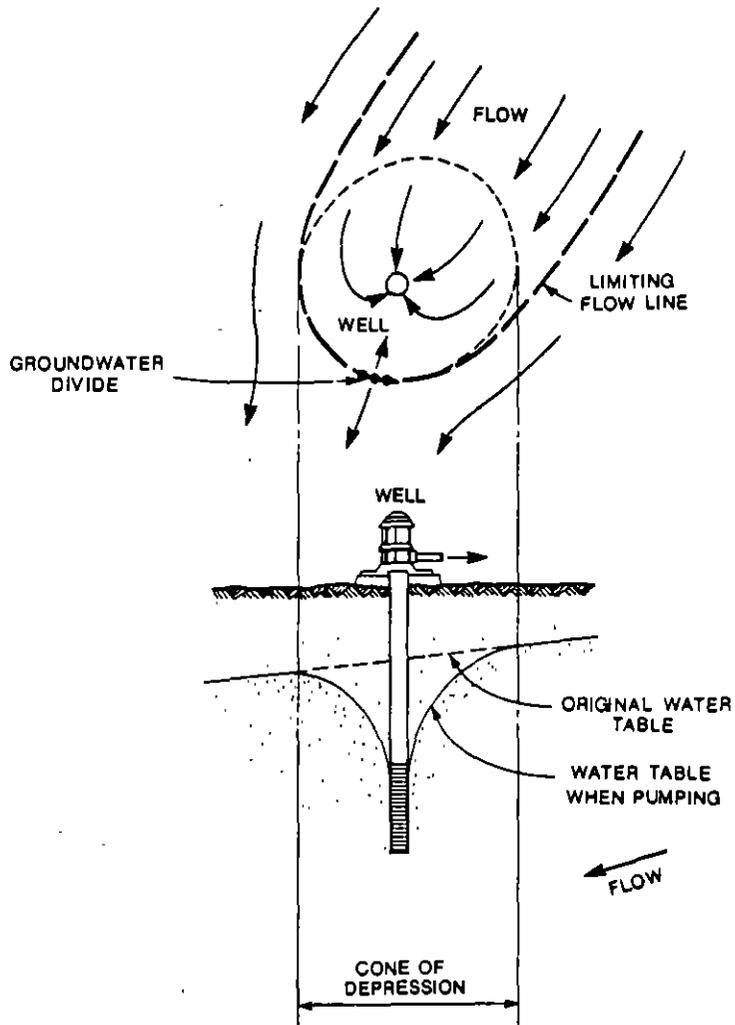
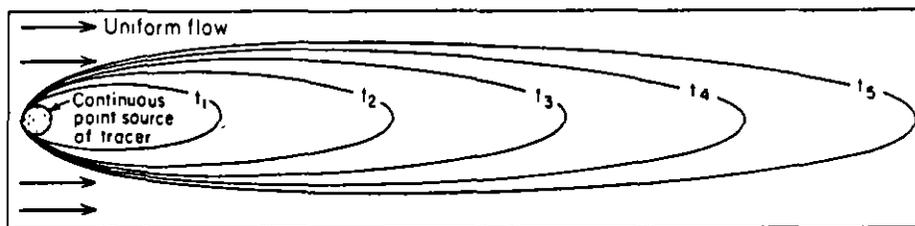
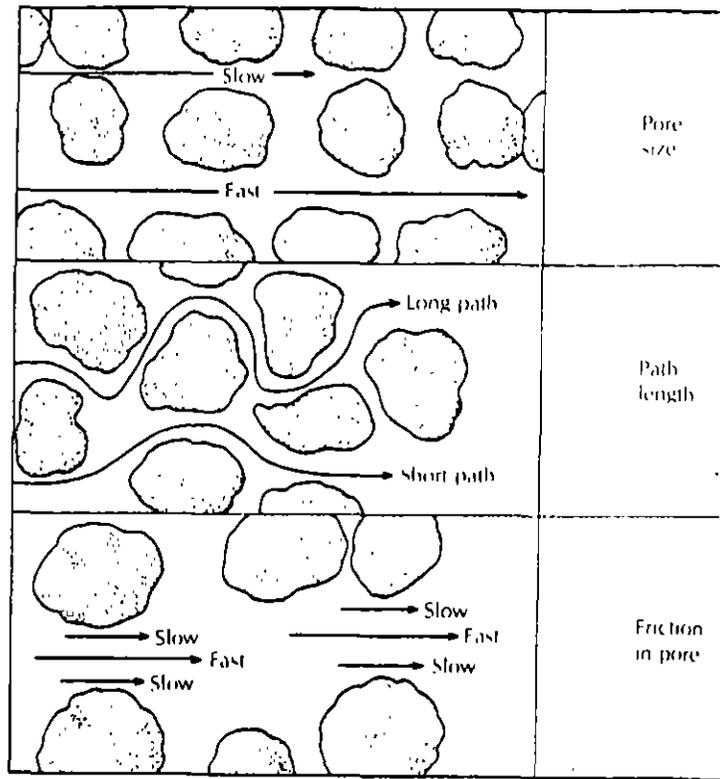


Figure 5.17b. Looking down on the stream valley from above with the water table exposed. The dotted lines represent points of equal groundwater elevation.

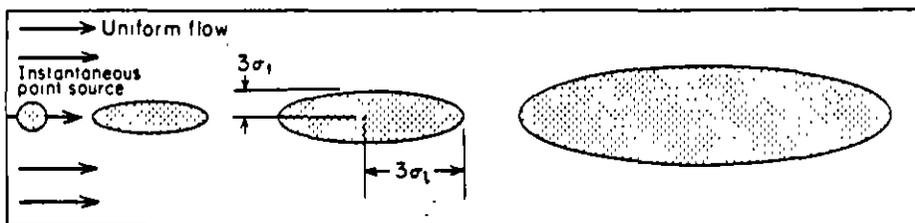






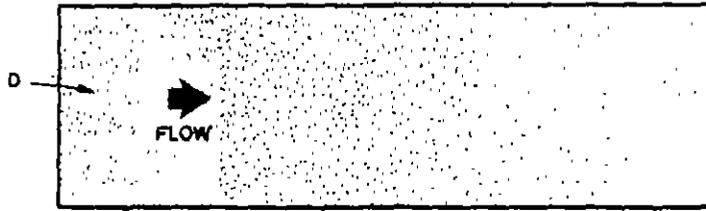


(a)

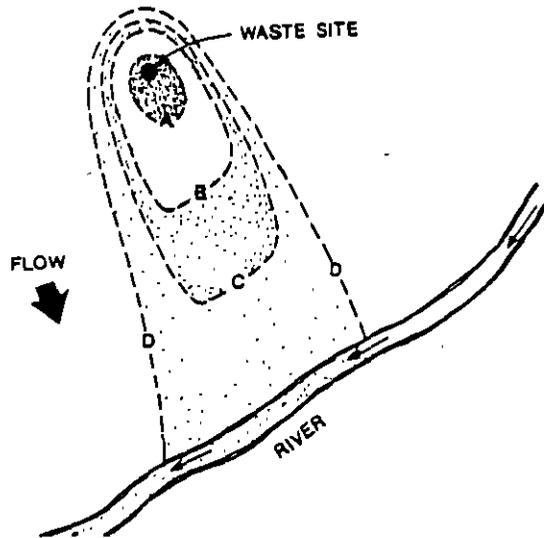
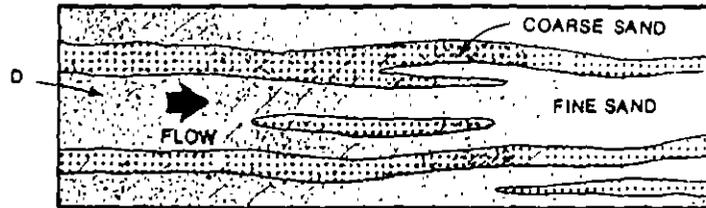


(b)

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

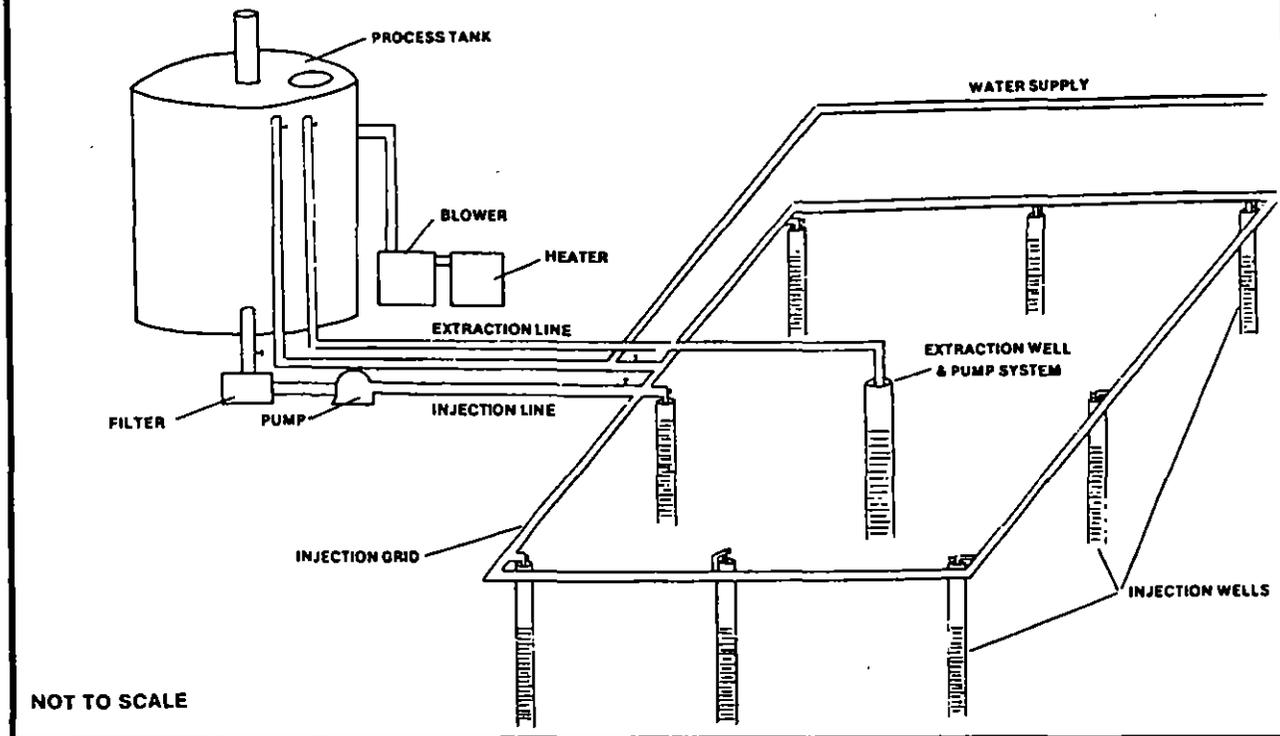
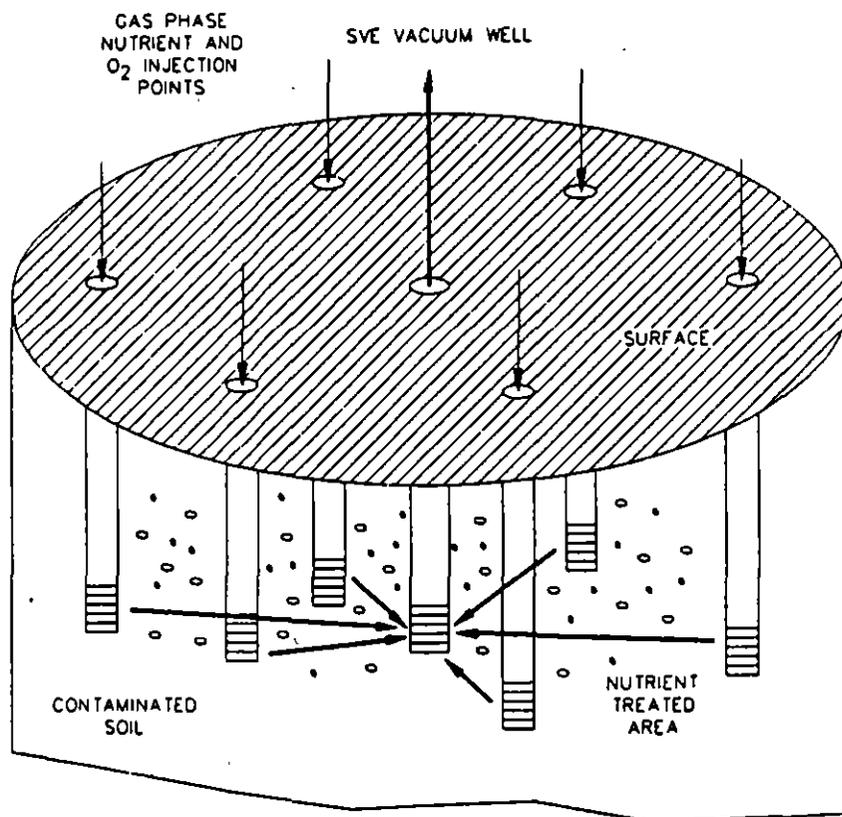
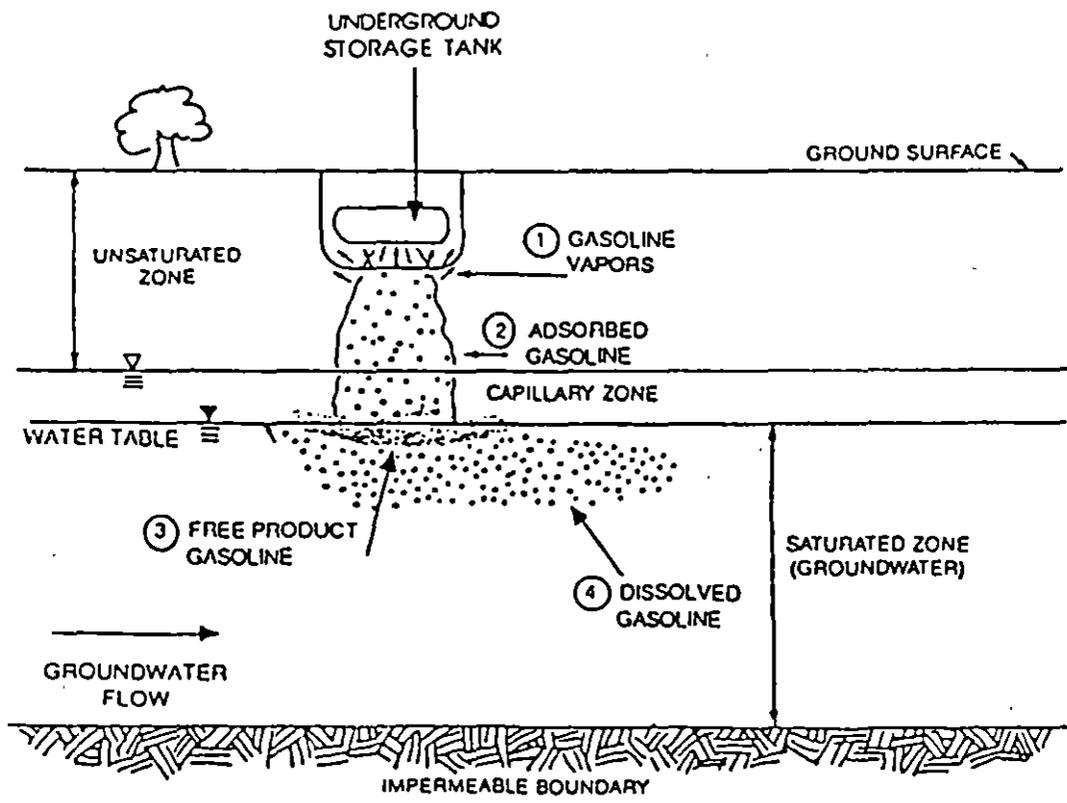
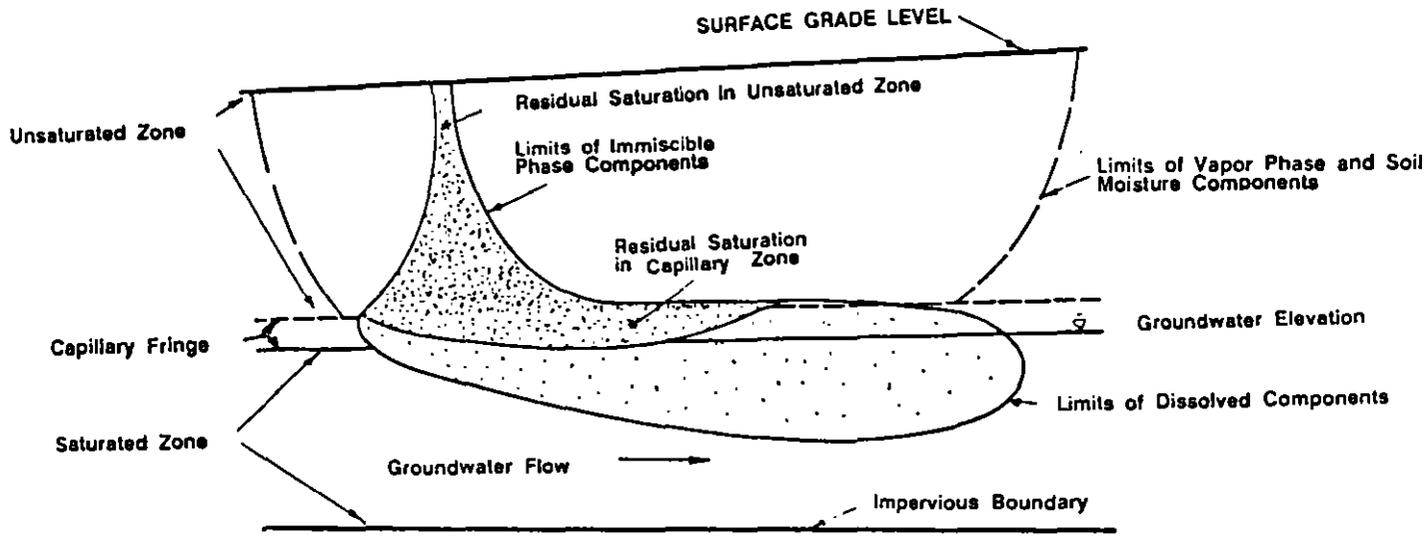
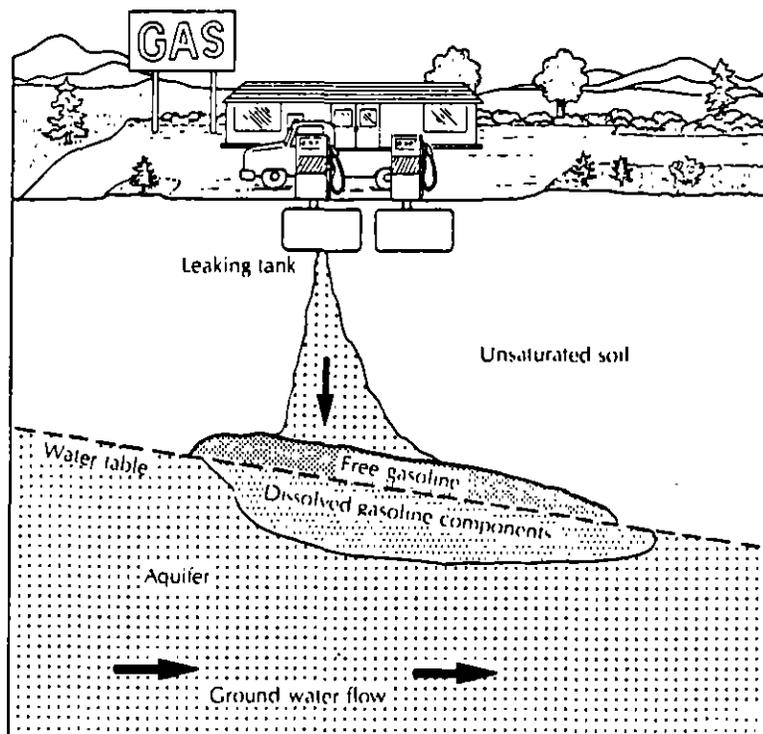
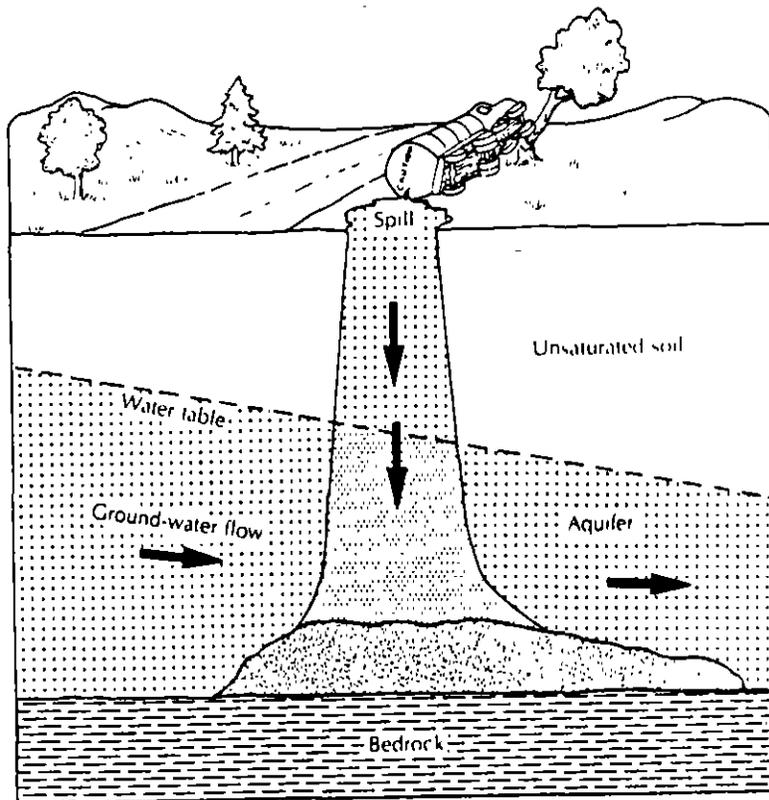


Figure 1. Continuous recirculation.







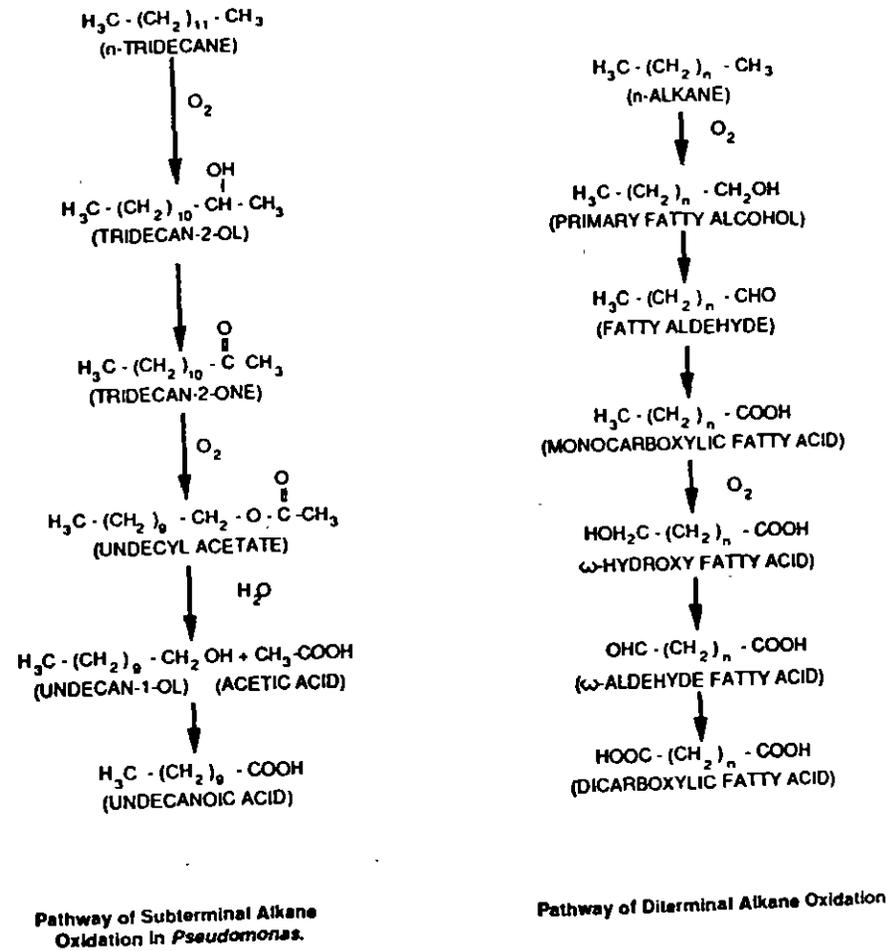
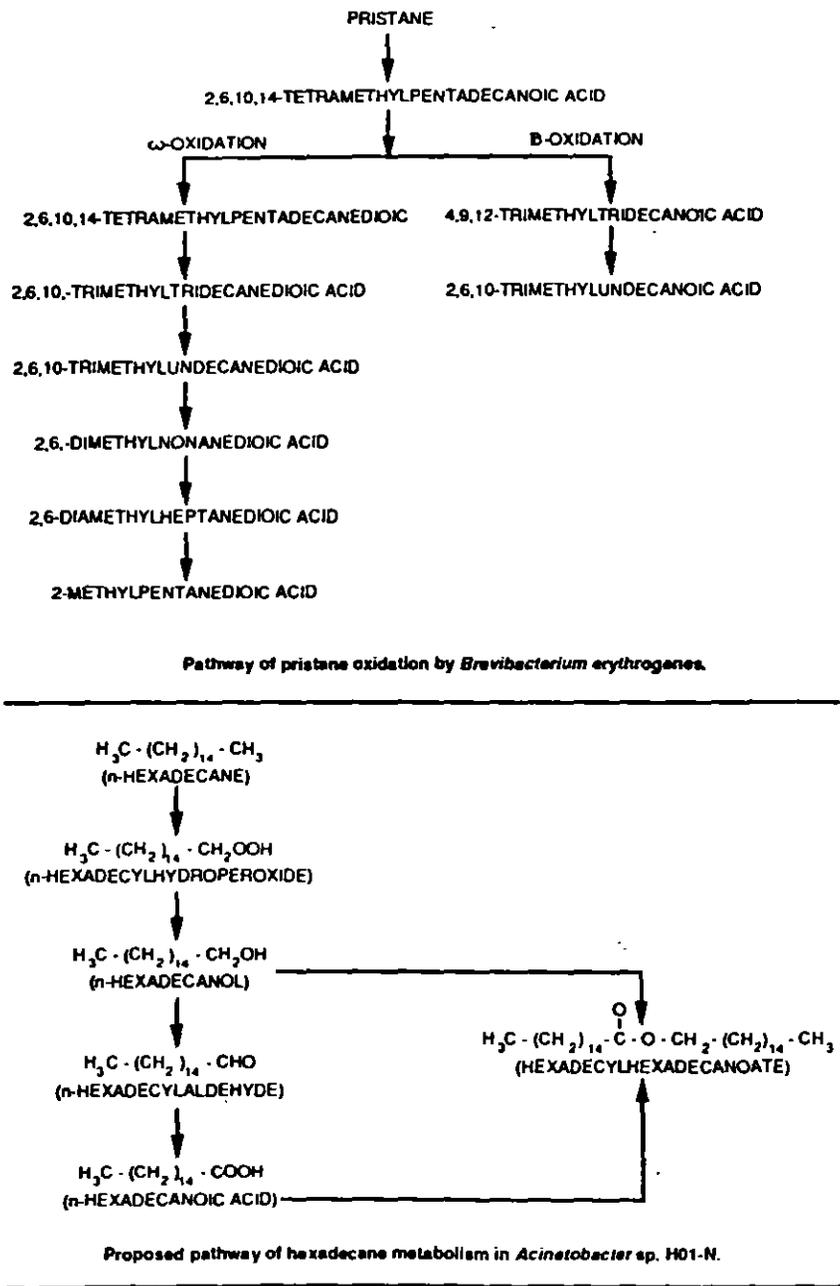
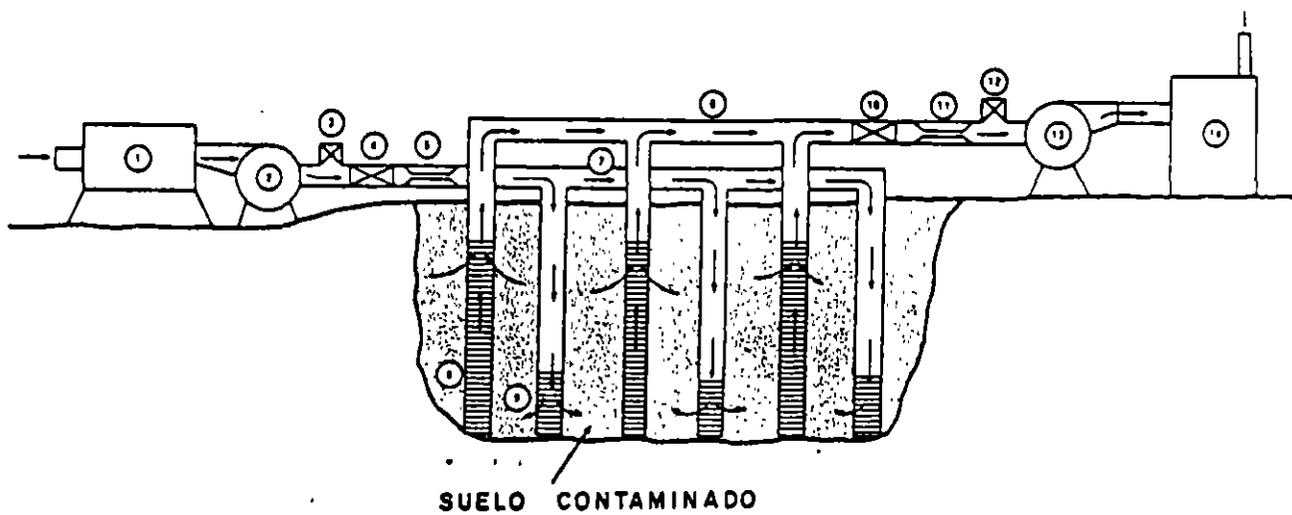
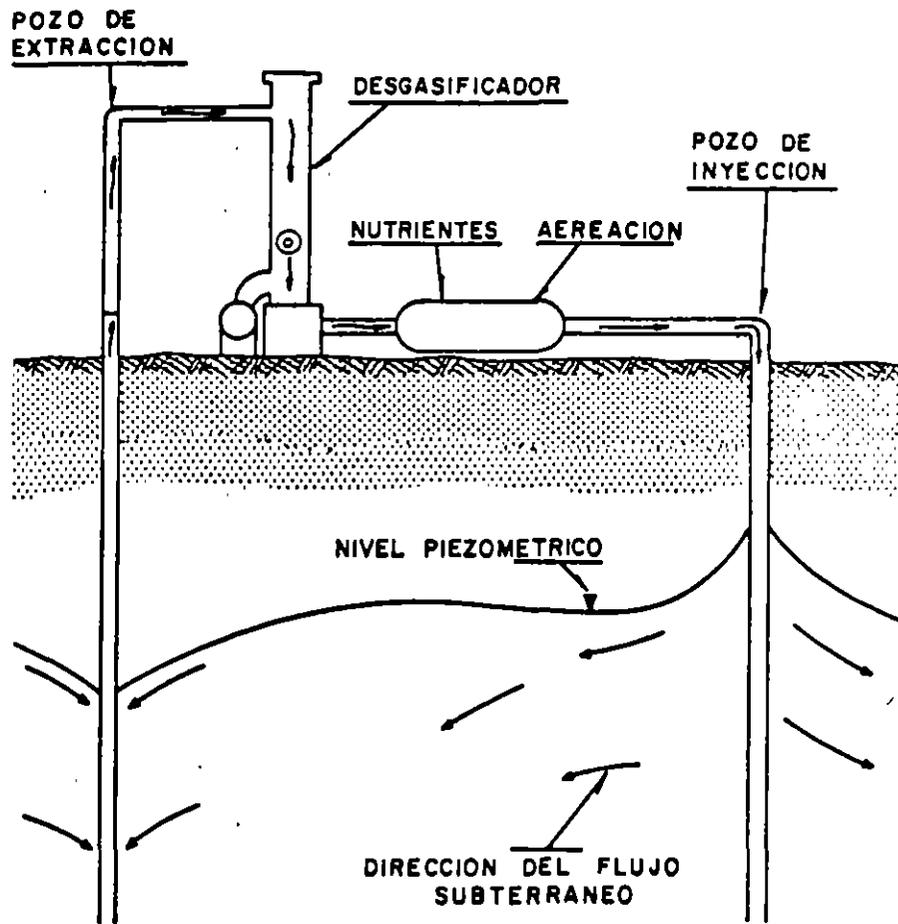


Figure 11-4. (continued).

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

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

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



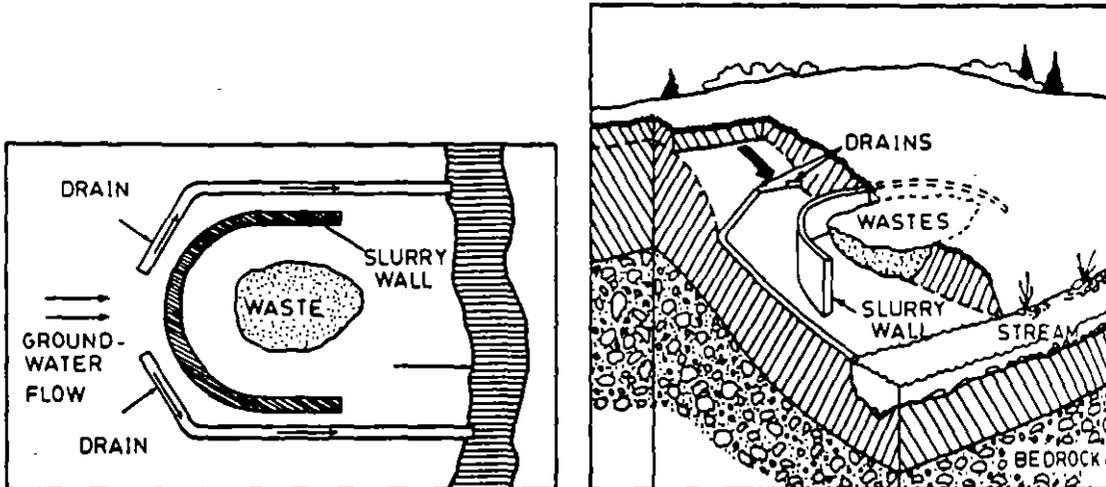


Figure 9-6. Combination of drains and slurry wall used to prevent leaching of contaminants into groundwater and a surface stream.

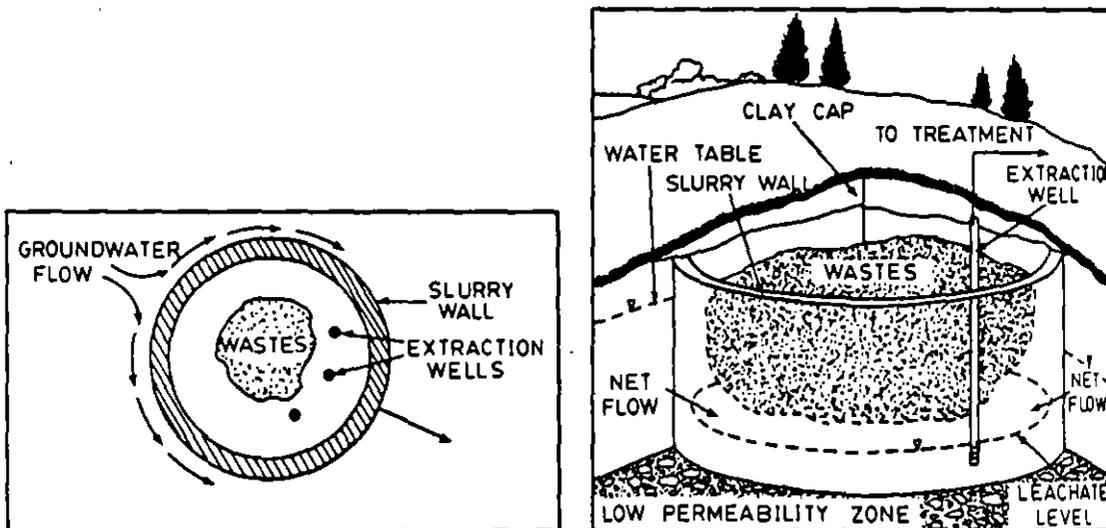


Figure 9-7. Circular slurry wall and groundwater extraction combined to prevent groundwater contamination.

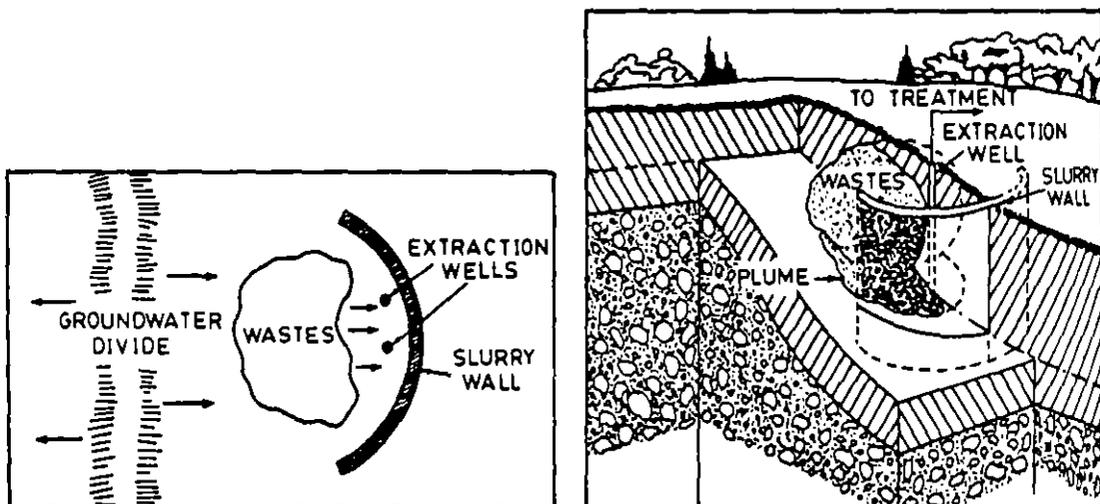


Figure 9-8. Slurry wall and extraction wells used to collect leachate.

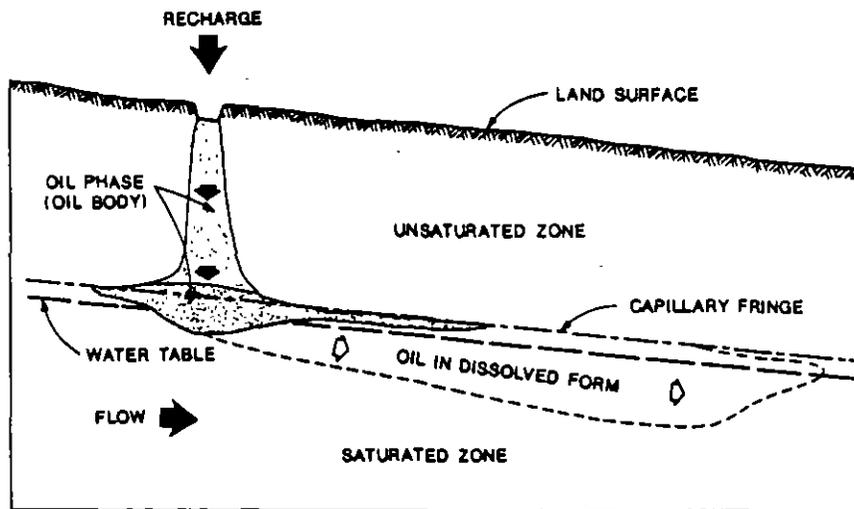


Figure 3-35. Example of multiphase flow in the subsurface (adapted from Schwille, 1975).

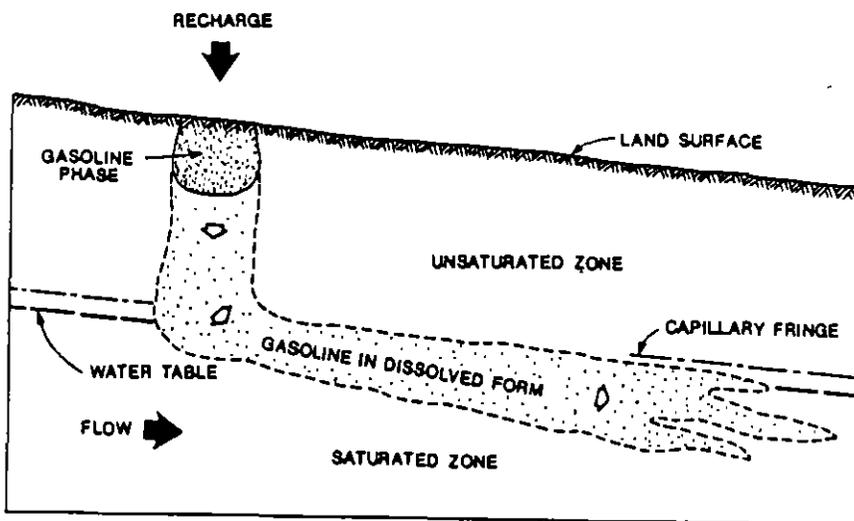


Figure 3-34. Movement of gasoline in the subsurface (adapted from Schwille, 1975).

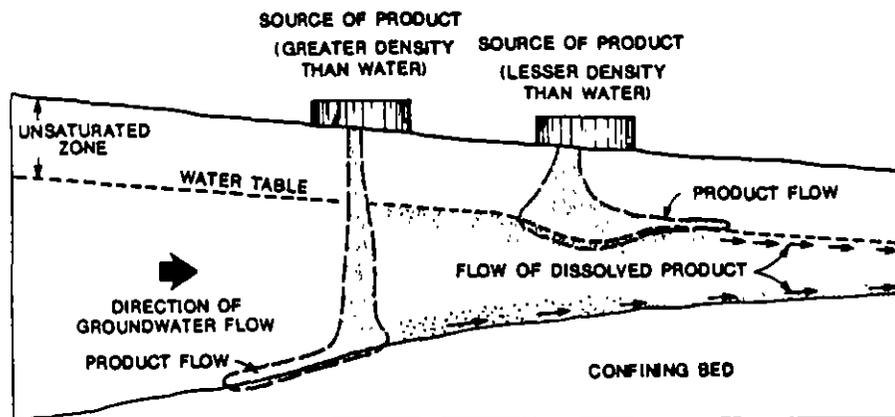
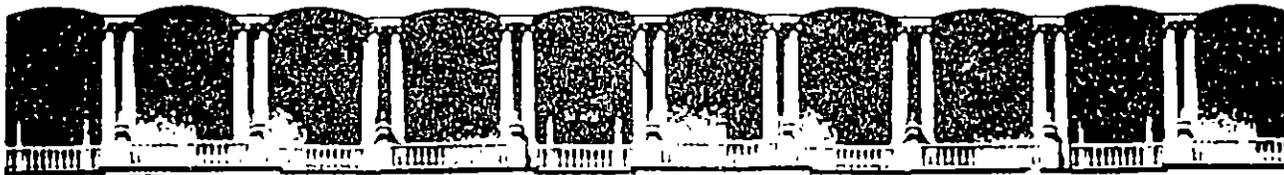


Figure 3-36. Example of the subsurface movement of fluids with densities greater than, and less than, that of water.



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

**VIII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE
ACUIFEROS**

MODULO II CONTAMINACION DE ACUIFEROS

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



ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES

1996

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

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 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- 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 proteico.....	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).....	0.5
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 organizarán, 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

CARACTERISTICA	LIMITE 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 ⁻)	0.07
Cloro residual libre	0.5-1.00 (después de un tiempo de contacto mínimo de 30 min)
Cloruros (como Cl ⁻)	250.00
Cobre	2.00
Cromo total	0.05
Dureza total (como CaCO ₃)	500.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001
Fierro	0.30
Fluoruros (como F ⁻)	1.50
Fosfatos (como PO ₄ ⁼)	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 ₄ =)	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 LIMITES PERMISIBLES DE CARACTERISTICAS RADIATIVAS

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 POTABILIZACION 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 $\mu\text{g/L}$.

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 μg , with grains, cereals, potatoes, meat, fish, and poultry as major cadmium suppliers. A tolerable weekly intake of 0.4–0.5 $\text{mg}/\text{individual}$ 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 $\mu\text{g/L}$ (mean of positives: 3 $\mu\text{g/L}$).
Surface water—20% above 2 $\mu\text{g/L}$ (mean of positives: 3.2 $\mu\text{g/L}$).

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 $\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$ of NOAEL

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

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

B. ANIMAL STUDY—Ten-Day assessments

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

0.08 $\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$ NOAEL (proteinuria in rats)

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

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

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 [$0.352 \div (10 \times 2)$]

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	= BI = "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—FeCr₂O₄. The most important compounds are the chromates of sodium and potassium (K₂CrO₄); the dichromates (K₂Cr₂O₇), and the potassium and ammonium chrome alums (KCr(SO₄)₂ × 12H₂O); and lead chromate.

chromous ion Cr ²⁺	} metallic chromium
chromic ion Cr ³⁺	
chromite ion CrO ₇ ²⁻ or CrO ₇ ⁻	} trivalent—more stable in general but not in chlorinated water
chromite ion CrO ₄ ²⁻	
dichromate ion Cr ₂ O ₇ ²⁻	} hexavalent—with tendency to be 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
C₆H₆

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).

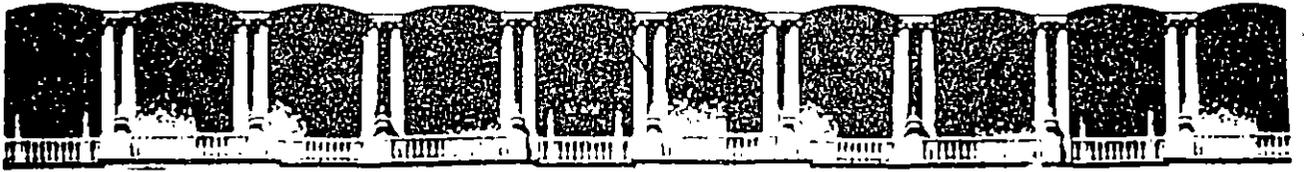
USEPA banned the sale of propellents and all the aerosols containing vinyl chloride monomer due to human and animal carcinogenicity. A distribution system constructed with PVC pipes showed concentrations of 1.4 $\mu\text{g/L}$.

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**

**VIII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE
ACUIFEROS**

MODULO II CONTAMINACION DE ACUIFEROS

TEMA: CALIDAD DEL AGUA EN MEXICO



DRA. BLANCA E. JIMENEZ CISNEROS

1996

1. INTRODUCCION

Existen aproximadamente 1'458,000.000 km³ 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 m³ 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 H₂S 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} - 1μ

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
DBO ₅ , mgO ₂ /L	110	220	400
DQO, mgO ₂ /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 ₃ /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 nulumente. La conductividad de electrólitos (no la metálica) es muy dependiente de la temperatura, aproximadamente 1.9%/°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°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 O₂) 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 μ , 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 mg/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 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ y 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 (H_2SO_4 , 0.02N) y el resultado se expresa como mgCaCO_3/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 CO_2 . El CO_2 formado es detectado por infrarrojo. Se puede medir el carbono total (TC) si se incluye el contenido original de 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.

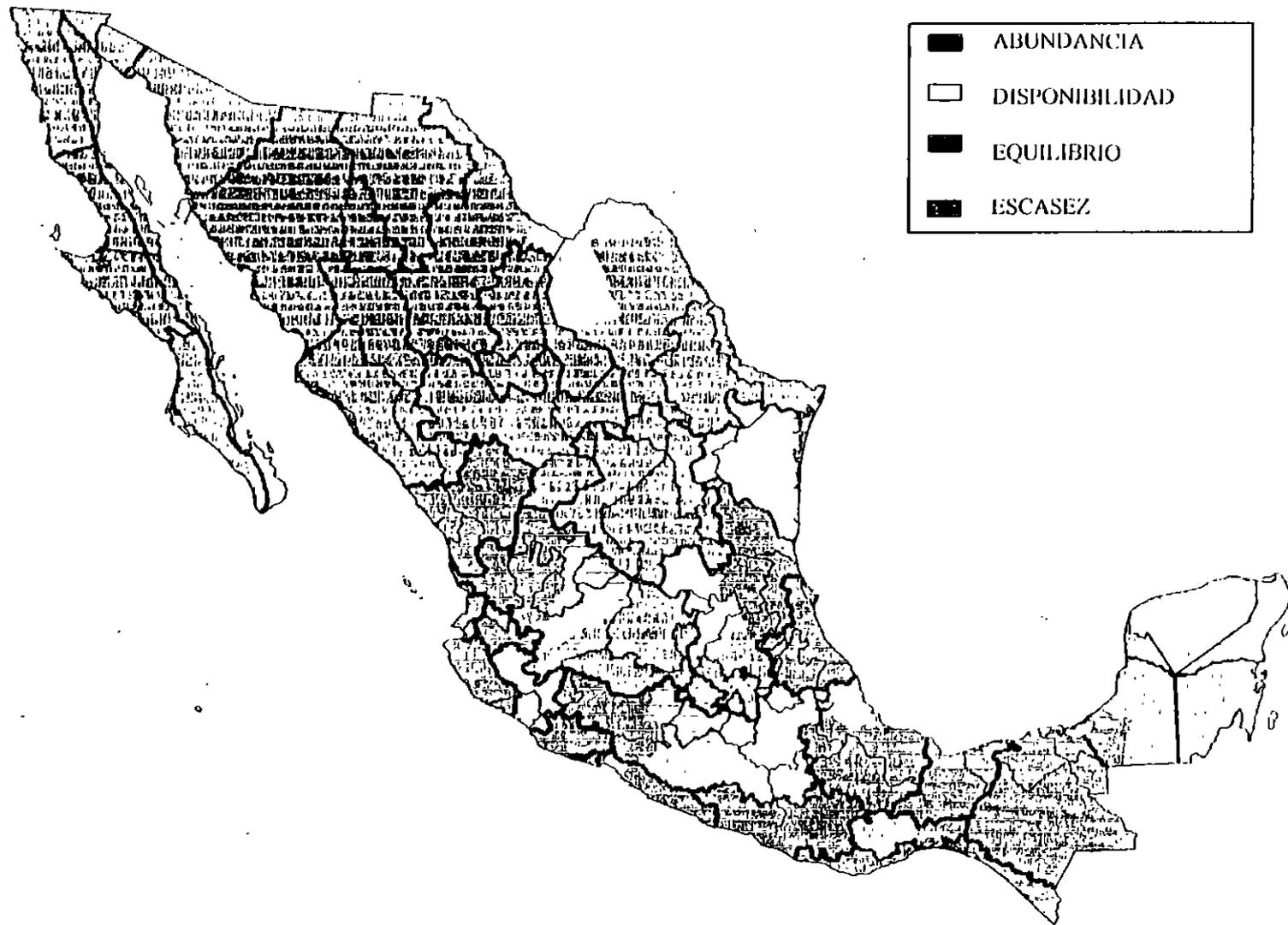
La excesiva concentración de cloruro eleva la tasa de corrosión de los metales del sistema de distribución, en función de la alcalinidad del agua y puede hacer que aumenten las concentraciones de metales en ésta.

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 mgO₂/L. Un agua de calidad potable tiene una DBO promedio mensual del orden de 0.75 a 1.5 mgO₂/L, el agua residual doméstica oscila entre 200 a 300 mgO₂/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 ($K_2Cr_2O_7$) 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 x

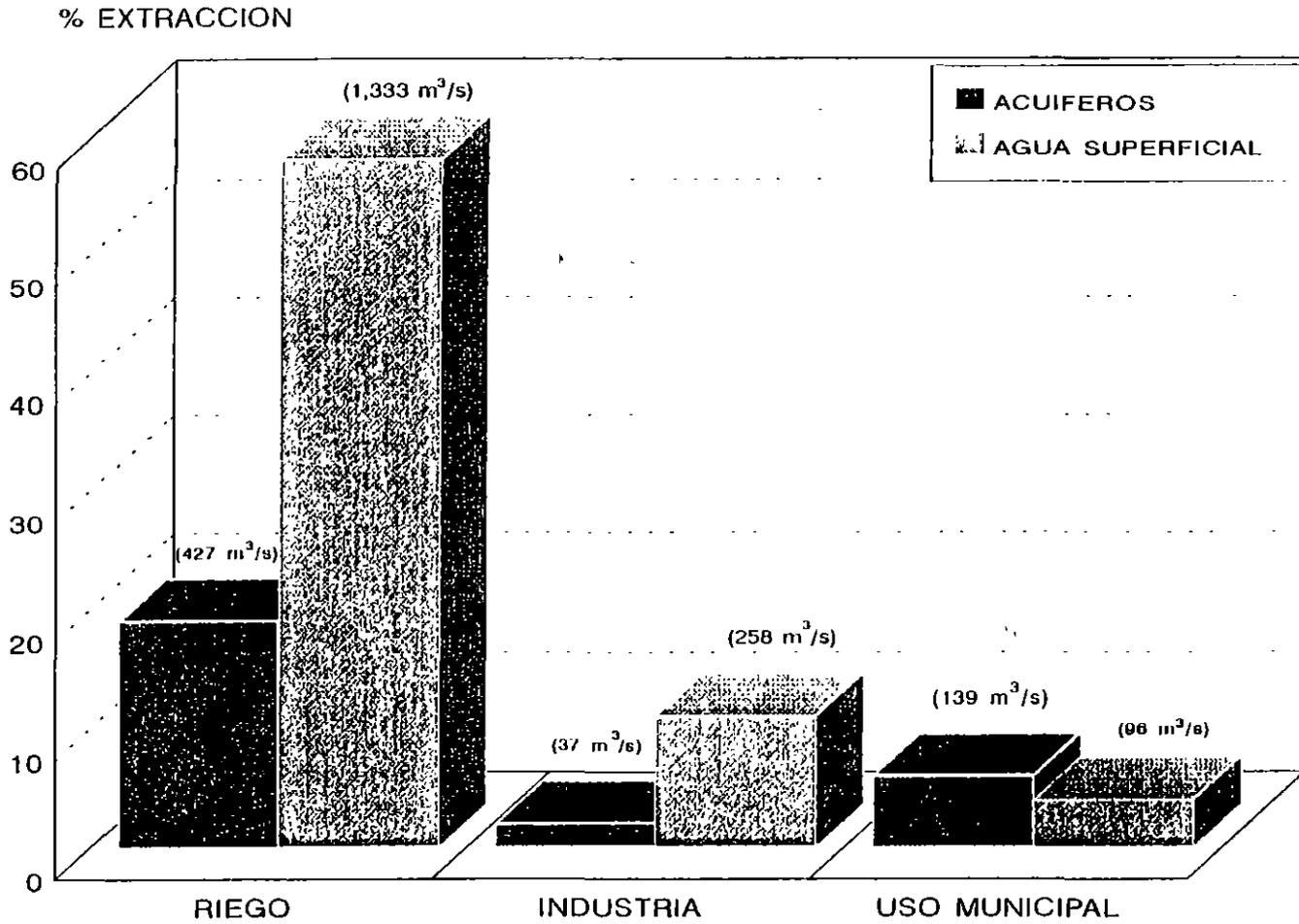


FIG 1 Empleo nacional del agua por los sectores agrícola, industrial y municipal y explotación de los acuíferos

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 0.45μ 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 $\mu\text{g/L}$. 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 $\mu\text{g/L}$. 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 hierbicidas 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 hierbicidas 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 (γ -hexaclorociclohexano, γ -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).

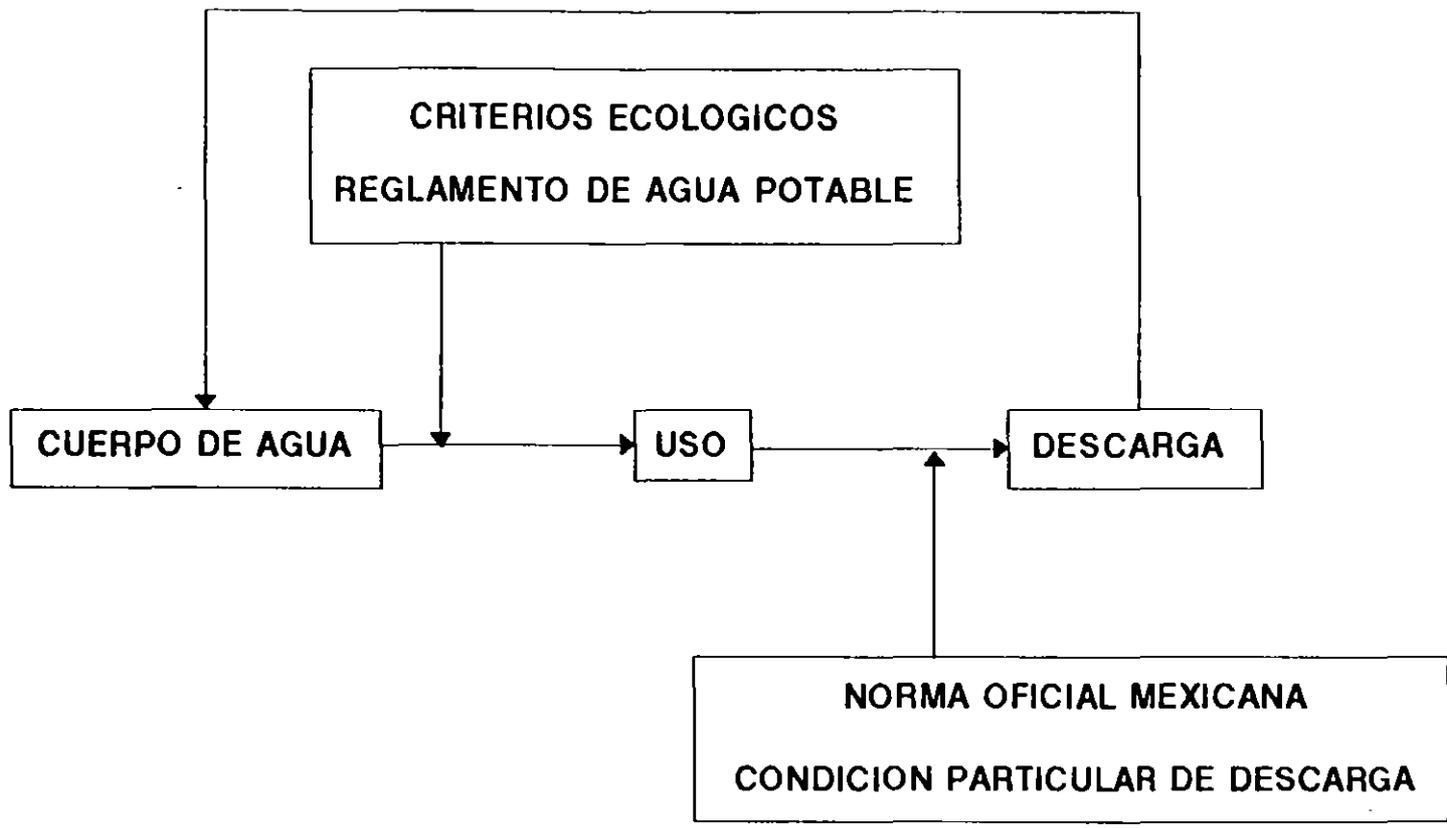


FIG 1 Usos y descargas del agua y su normatividad

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)
1. Consumo humano 2. Agricultura 3. Municipal (riego de áreas verdes, lavado de calles, fuentes de ornamento, lavado de maquinaria de servicio, etc.) 4. Industria 5. Recreación - Con contacto primario - Con contacto secundario 6. Acuicultura 7. Protección ecológica 8. Abastecimiento pecuario 9. Transporte de desechos 10. Navegación 11. Generación de energía eléctrica 12. Control de avenidas	1. Usos Domésticos 2. Servicios Públicos Urbanos 3. Abrevaderos de Ganado 4. Riego de Terrenos Ejidales y Comunales y de Propiedad Privada 5. Industrias: 5.1 Generación de Energía Eléctrica para Servicio Público 5.2 Otras Industrias 6. Acuicultura 7. Generación de Energía Eléctrica para Servicio Privado 8. Lavado y Entarquinamiento de Terrenos 9. Otros	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)	1. Público Urbano 2. Agrícola 3. Generación de Energía Eléctrica 4. Otras Actividades Productivas

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.

TABLE 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 ₃ >	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	-	0.1 ¹¹¹	--
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	0.1/0.5 ¹¹¹
Demanda Biológica de oxígeno	--	--	--	--	--	3.0
Dureza de Calcio < como CaCO ₃ >	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	1.5-0.7 ¹¹¹	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 ₄ -2 >	250.0	250.0	-	400.0	25 ⁽¹⁾	500
Subst. Activas al Azul de Metileno	0.5	-	-	1.0	0.5	0.5
Carbon Extractable en Clorotorno	0.3	-	-	0.5		
Carbon 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) Solo 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	$(CH_3)_2S$, 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. O₂, N₂, Cl₂ y H₂.

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 (mol/m^3)

* ingenieros ambientales

mg/l

$\mu\text{m}/\text{l}$

Concentración en porcent^o

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 según 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

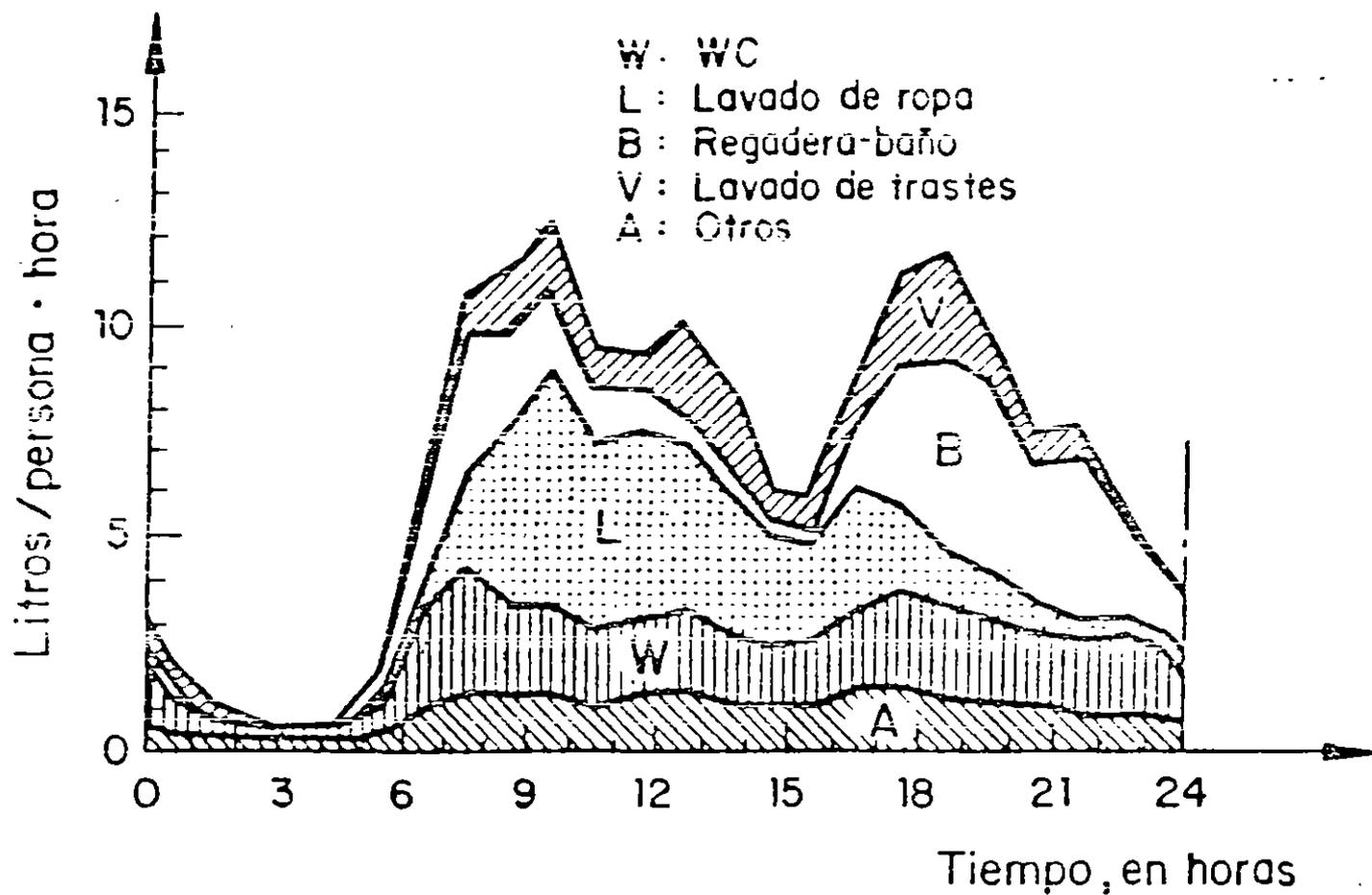
pesticidas

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 habitación.

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 METO TRADICIONALES

Fuentes

- ◆ desechos urbanos e industriales
 - ◆ descargas no controladas
 - ◆ campos agrícolas
 - ◆ minas
 - ◆ efluentes de plantas de tratamiento
 - ◆ drenajes rotos
 - ◆ lavado de la atmósfera
- | |
|-------|
| rios |
| mares |
| lagos |

(21-201)

Problemática
del
Agua
≠
a la del
aire

CALIDAD

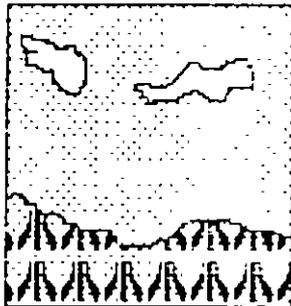
DISPONIBILIDAD

FUENTE DE
ABASTECIMIENTO

=

AGUA DE MUY ELEVADA CALIDAD

~ 1800



DIRECTO
↓
DESINFECCION
↓
FILTRACION
↓
COAGULACION

TRATAMIENTO CONVENCIONAL

OBJETIVO : REMOVER PARTICULAS EN SUSPENSION

CRIBADO + COAGULACION + FILTRACION + DESINFECCION

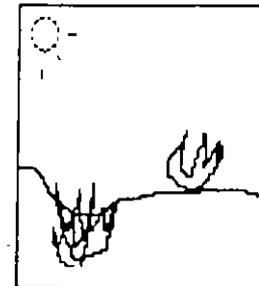
FUENTE DE
ABASTECIMIENTO

=

AGUA DISPONIBLE

TRATAMIENTO AVANZADO

OBJETIVO : REMOCION DE MATERIAL SOLUBLE



b-ubi

FUENTES DE ABASTECIMIENTO

CONVENCIONALES

SUPERFICIAL

- MENOS DURAS
- OD ↑
- H₂S ↓
- FACILMENTE CONTAMINABLES
- ↑ ACTIVIDAD BIOLOGICA
- COLOR Y TURBIEDAD ⇕

FREATICAS

- UNIFORME
- NO ↓
- H₂S ↑

NO CONVENCIONALES

AGUA DE MAR

\$\$\$

AGUAS GRAS

\$\$

????

Handwritten note: mejor agua

Handwritten note: from a way

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

Norma-7

PARAMETROS DE CONTROL

20

CONDUCCIONES

Cu, Fe
Asbesto

Infiltraciones

ALMACENAMIENTO

Virus

3.1.1

Bacterias



Materia

Contaminantes

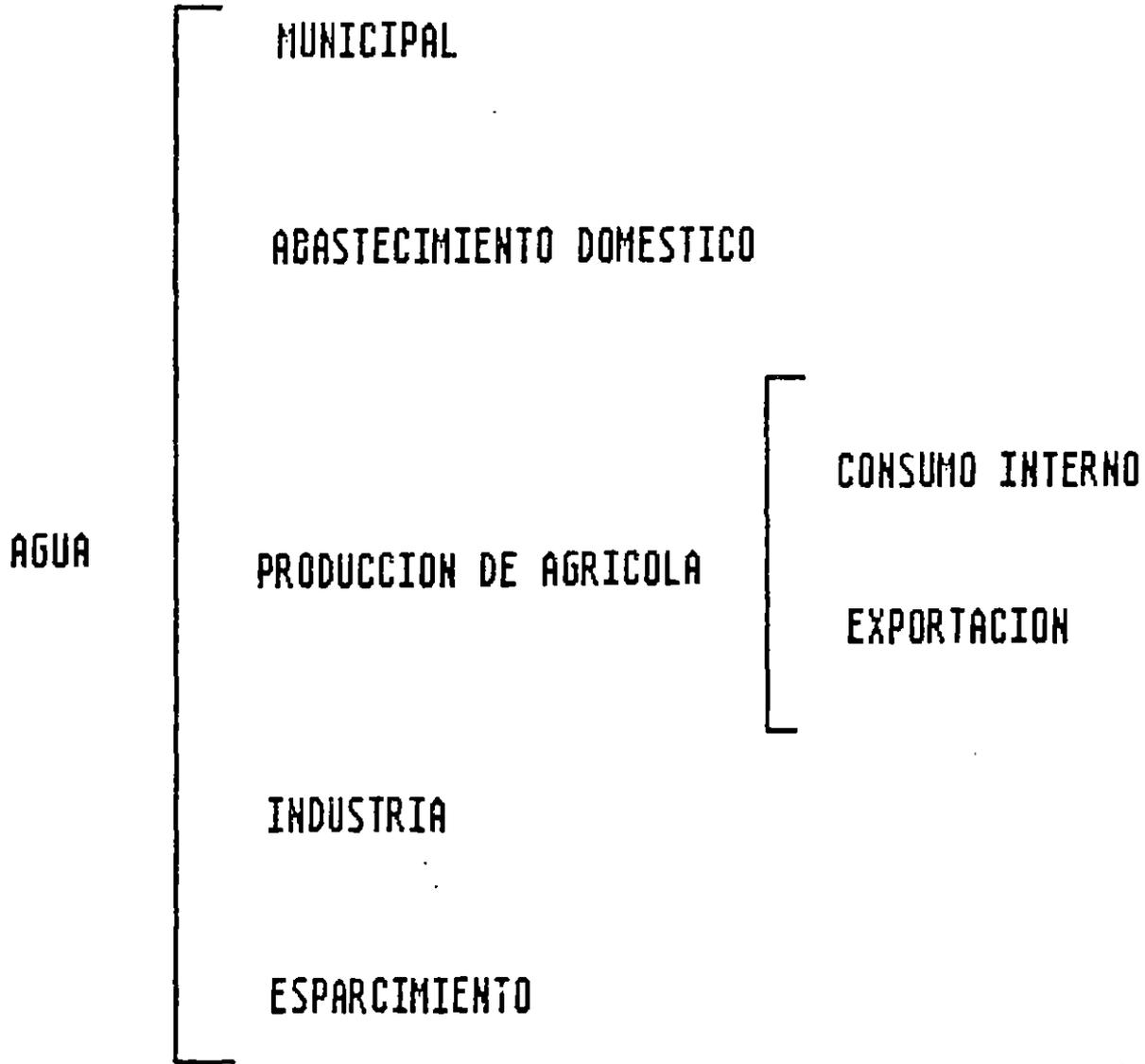
Deseables

Inocuos

Energia

5-1188

2-1004



1250 M³ DE AGUA DISPONIBLE/PERSONA, AÑO

valores de uso

TABLA 10 AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD POR EL EMPLEO DE AGUA RESIDUAL EN RIEGO EN MEXICO

CULTIVO	RENDIMIENTO EN TON/HA		% DE CAMBIO
	AGUAS NEGRAS	AGUAS BLANCAS	
Alfalfa	120	70	71
Maíz	5	2	150
Fríjol	1	1.3	-23
Trigo	3	1.8	67
Cebada	4	2.0	100
Avena de forraje	22	12.0	83
Tomate	35	18.0	94
Chile	12	7.0	71

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 (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
ACIDIFICADA**

OS

RESERVA

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/cm² a 60 o 50 dinas/cm) como la viscosidad (10% cda 50 mg/l).
- Son productos a la vez emulsionantes, espumantes y mojanter.

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 alquilfenoles.

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 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 mgO_2 / 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 mgO_2 / L .
Agua residual doméstica de 200 a 350

- Dureza permanentemente requiere métodos más sofisticados
- Dureza temporal a adueña due se elimina al retirar el agua

- * imbuide la formación de esbuma
- * dificulta la cocción de legumbres
- * contiene sales inestables

- Cantidad importante => el agua es dura

magnesio y en ocasiones de hierro y aluminio.

- Se debe a carbonatos, bicarbonatos y sulfatos de calcio y

Dureza

suministro, buscando algunas condiciones suaves:

de disolución del oxígeno se disminuye la concentración de

- Si la velocidad con la cual disminuye el OD es mayor a la tasa

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 permangato 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 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ y NH_4^+

* más comunes los de calcio y magnesio

- Se determina por titulación ácido (H_2SO_4 , 0.02N)

- Resultado como CaCO_3

- Expresa la capacidad que tiene un agua para mantener su pH cuando se le añade una solución ácida o alcalina.

pH

- Se determina mediante un electrodo de vidrio.

- El cologaritmo de la concentración de los iones hidronio (H^+).

- Parámetro de operación para procesos biológicos y físico-químicos de agua potable y residual.

c) Sólidos filtrables.

- Sólidos que atraviezan el filtro corresponde a las sustancias solubles.

En cada una de las porciones anteriores se realiza el análisis de volatilidad (mufla a 550° C).

- material que se pierde por ignición corresponde al contenido orgánico

- material que permanece es inorgánico.

En la FIG 2.5 se muestra la clasificación completa de los tipos de sólidos que se pueden determinar mediante el método gravimétrico.

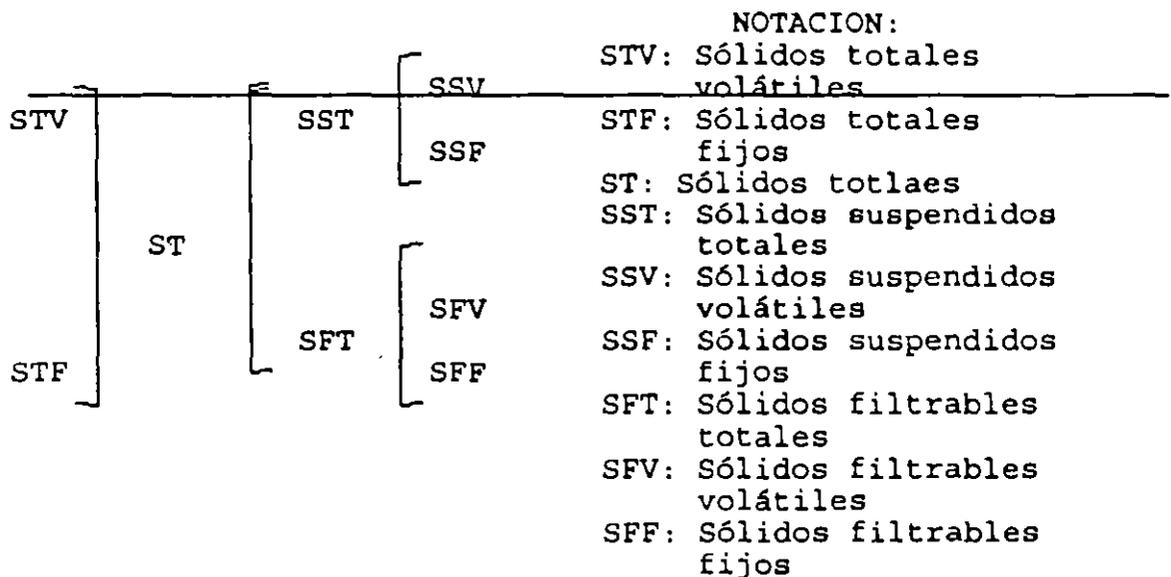


FIG. 2.5 Nueve formas en que se miden los sólidos contenidos en una agua por el método gravimétrico.

- Medición de sólidos por gravimetría
- Evalúa compuestos muy variados (prueba global)
 - * incluye sales inorgánicas (carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos de sodio, potasio y trazas de calcio, magnesio, fierro) y materia orgánica.
 - * mide a los responsables de la dureza, tóxicos y materiales necesarios para la vida.

a) Sólidos sedimentables.

- Volumen retenido en 45 min en cono Imhoff después de 45 min de decantación
- Representan la fracción de los contaminantes que serán fácilmente removidos por desarenación o sedimentación primaria.

FIG . Cono Imhoff

b) Sólidos suspendidos.

- Sólidos retenidos al pasar el agua a través de un filtro con apertura de poro de $0.47 \mu\text{m}$.

Turbiedad

- Sólidos en suspensión
- Los sólidos reflejan parte de la luz que incide

pérdida de luminiscencia en línea recta se le denomina turbiedad.

- Idea del contenido de materia coloidal y suspendida
- Muchas unidades (UTJ, sílice, etc.) se debe emplear UTN (Unidades técnicas de nefelometría).
- Agua potable: 5 UTN
Residual doméstica : entre 100 y 150 UTN.

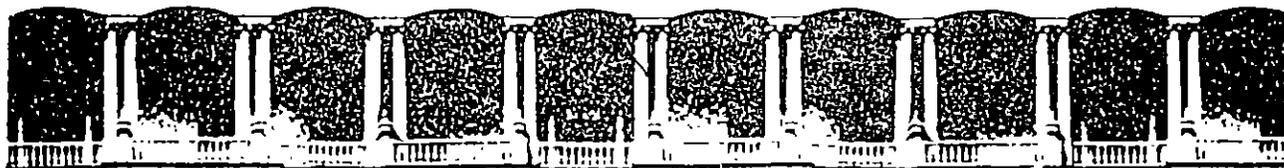
Sólidos

- 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.

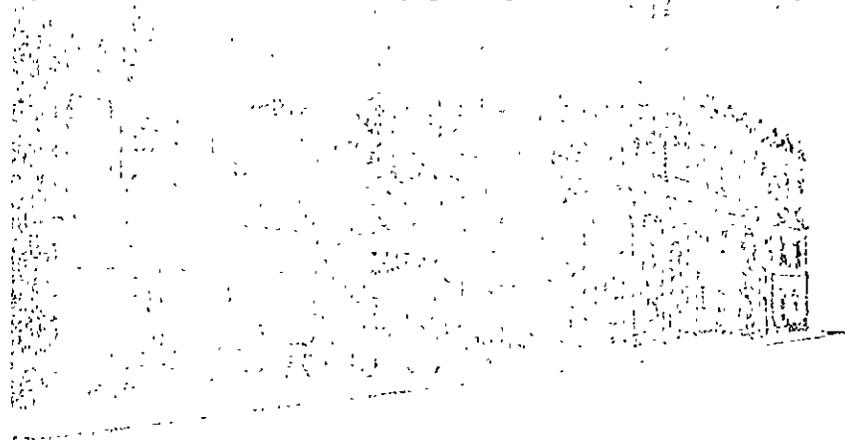


FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

VIII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE
ACUIFEROS

MODULO II CONTAMINACION DE ACUIFEROS

TEMA: CICLOS DEL NITROGENO Y DEL FIERRO



DRA. MA. AURORA ARMIENTA HERNANDEZ

1996

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

CICLOS DEL NITROGENO Y DEL FIERRO

Dra. Ma. Aurora Armienta H.

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 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, 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, 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 la 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 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 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 NO_3^- que se encuentran normalmente en las aguas subterráneas no están limitadas por su solubilidad. Los NO_3^- pueden transportarse a grandes distancias en acuíferos someros en sedimentos con alta permeabilidad o roca fracturada, debido a que la concentración de 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 N_2O o N_2 . Si en estas condiciones el agua se mueve hacia la zona no saturada, una parte del N_2O o del 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 NO_3^- .

CICLO DEL FIERRO

Aspectos Generales

El hierro es un elemento abundante y ampliamente distribuido en rocas y suelos. En forma de Fe_2O_3 constituye el 1.5 % de la corteza continental y como 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 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 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 FeCO_3 y 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 Fe^{3+} , 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 Cl^- , F^- , SO_4^{2-} y 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.

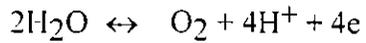
Este tipo de diagramas potencial-pH fue desarrollado por Pourbaix en Bélgica en años anteriores a la segunda Guerra Mundial. Aunque se trata de un diagrama teórico, las predicciones respecto al comportamiento del hierro se ajustan bastante a su comportamiento real.

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.

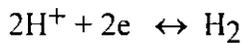
El agua se oxida según la reacción:



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:

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

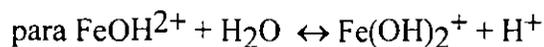
$$E = -0.06 \text{ pH}$$

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:

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

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

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

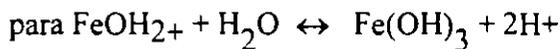


$$pK_s \text{Fe(OH)}_2 = 15.1$$

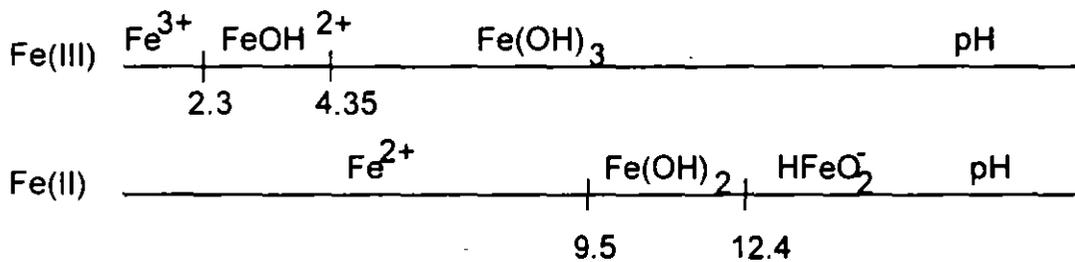
$$K_{eq} = 10^{-31.58} = [\text{HFeO}_2^-] [\text{H}^+]^3 / [\text{Fe}^{2+}]$$



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



Por facilidad se puede iniciar la construcción del diagrama especificando las especies de Fe^{2+} y de 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 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 $2.3 < \text{pH} < 4.3$:

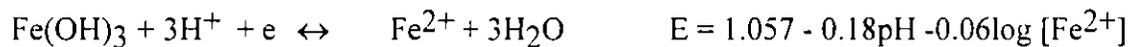
El sistema $\text{FeOH}^{2+} / \text{Fe}^{2+}$ depende del pH según



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

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

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



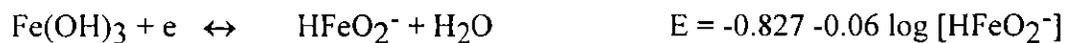
Para $9.5 < \text{pH} < 12.4$

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 Fe^{2+} a 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.

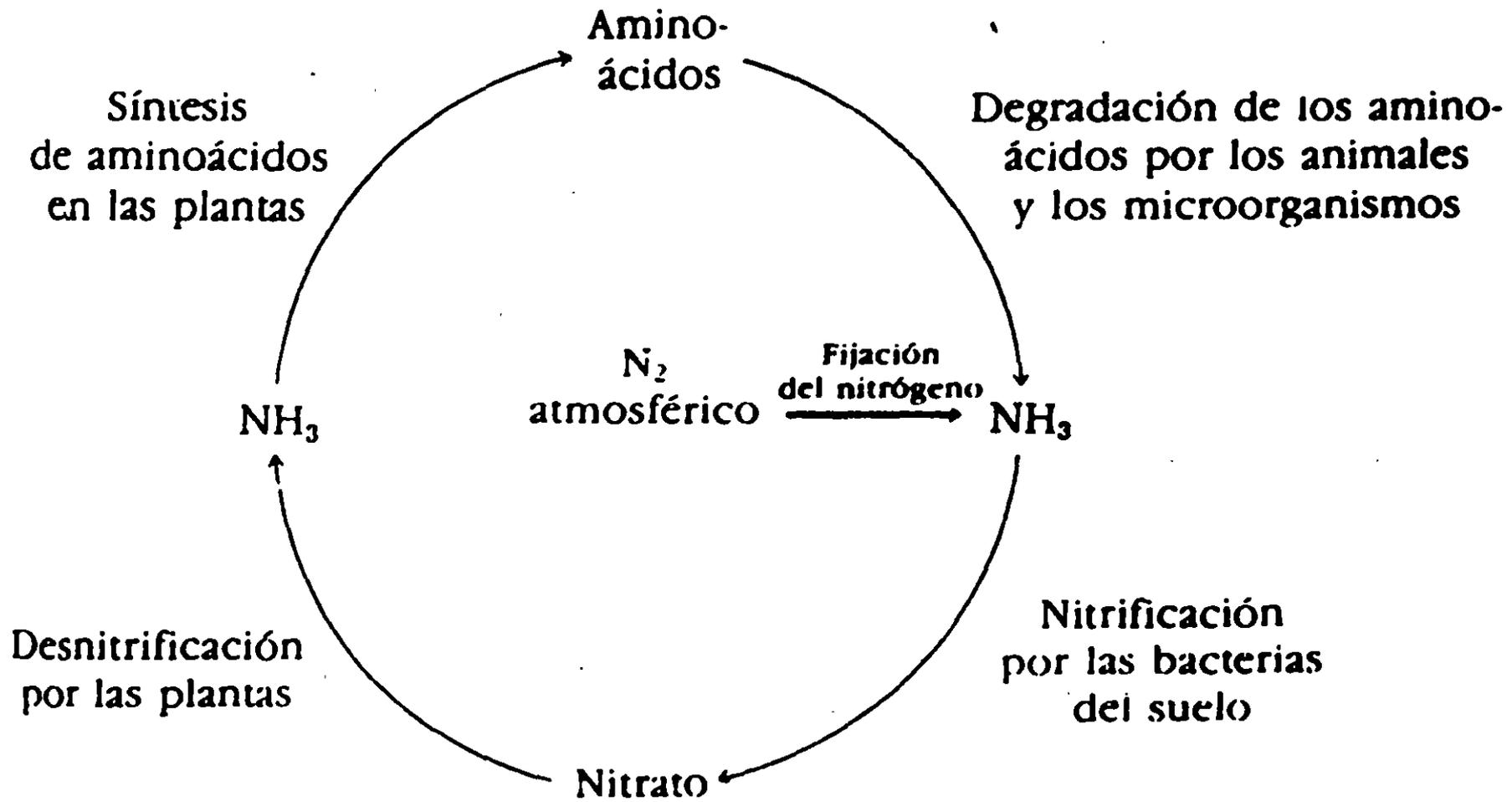


Figura 1

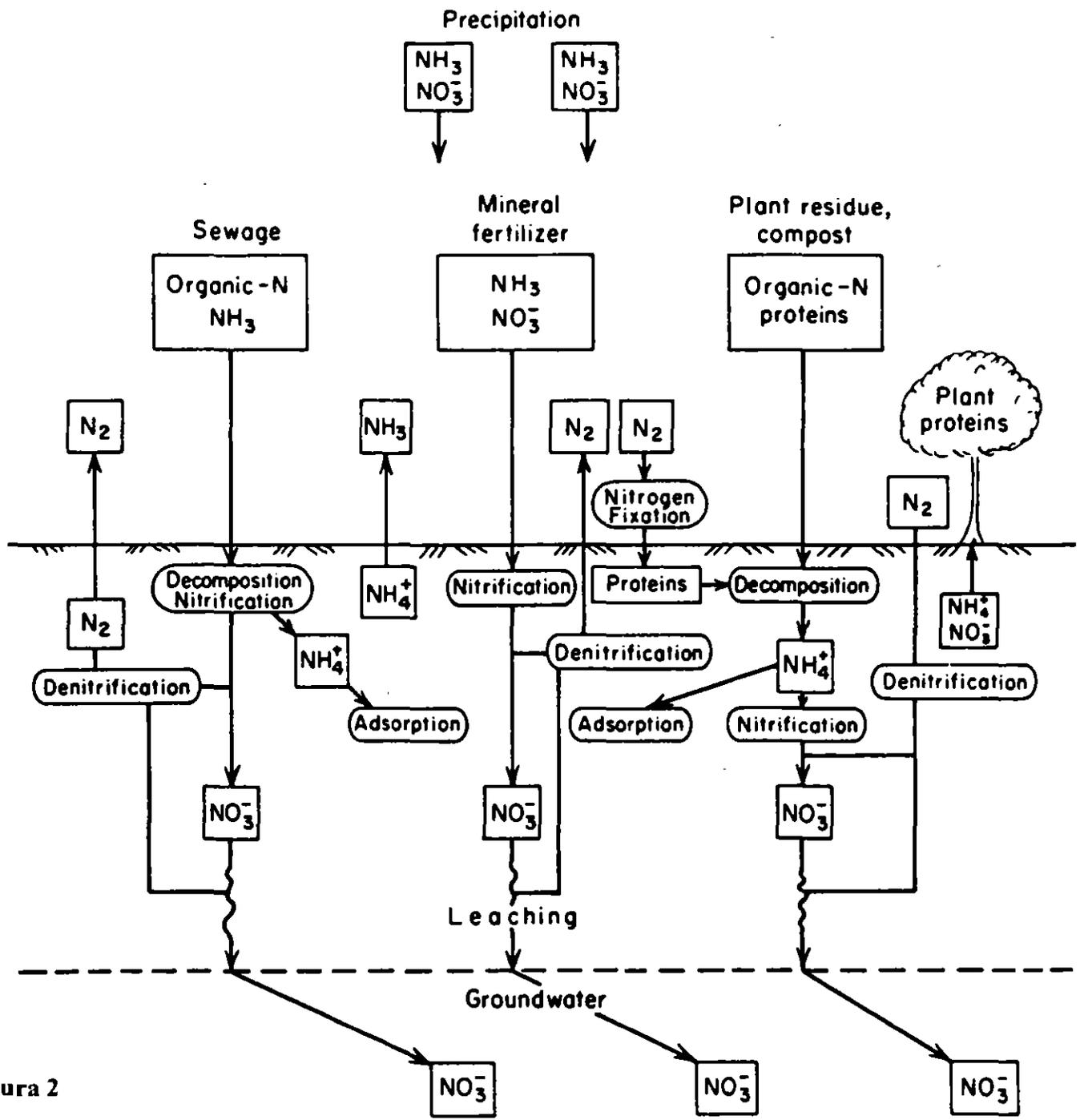


Figura 2

{ Denitrification in reducing zones } $\text{N}_2^{(aq)}$ N_2O

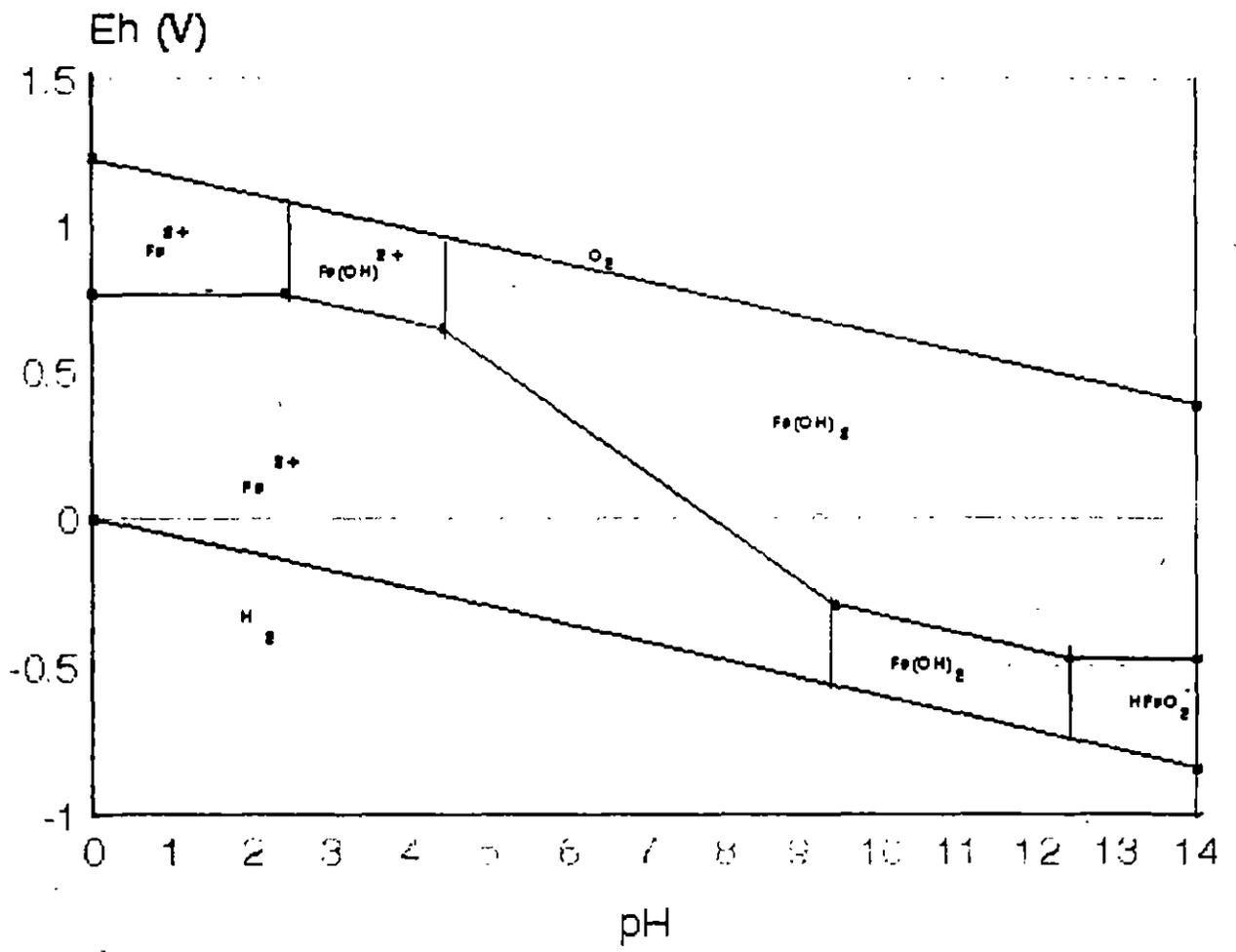


Figura 3

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 con 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 la 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 (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.

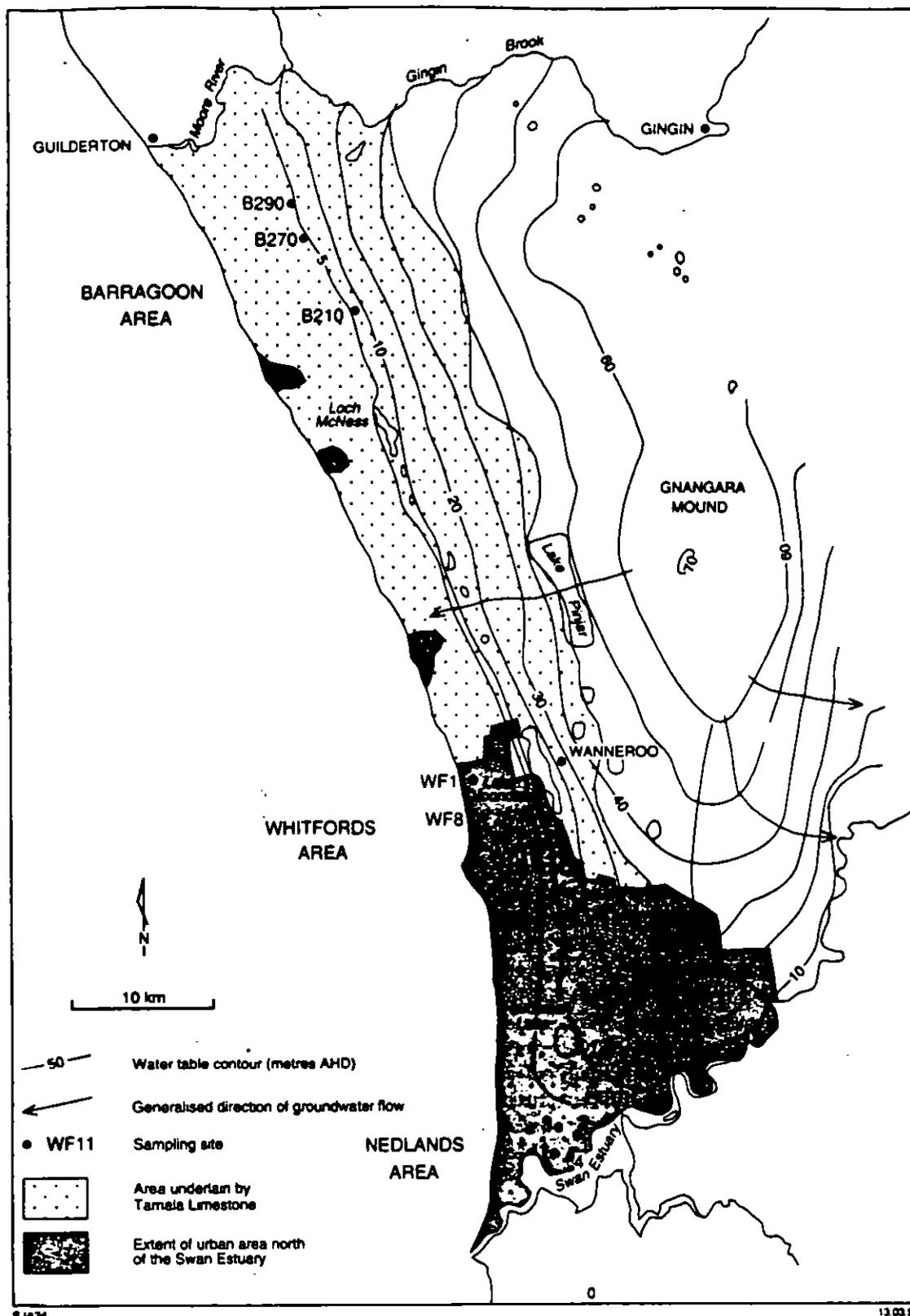


Figure 1. Location of study area, showing sampling sites.

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 m²) 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 m²). 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 saturated 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 3). 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 ¹	Tritium units (TU)	Age ²
Nedlands area		
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
Whitfords area		
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
Barragoon area		
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

¹ S, Shallow; I, Intermediate; D, Deep

² 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

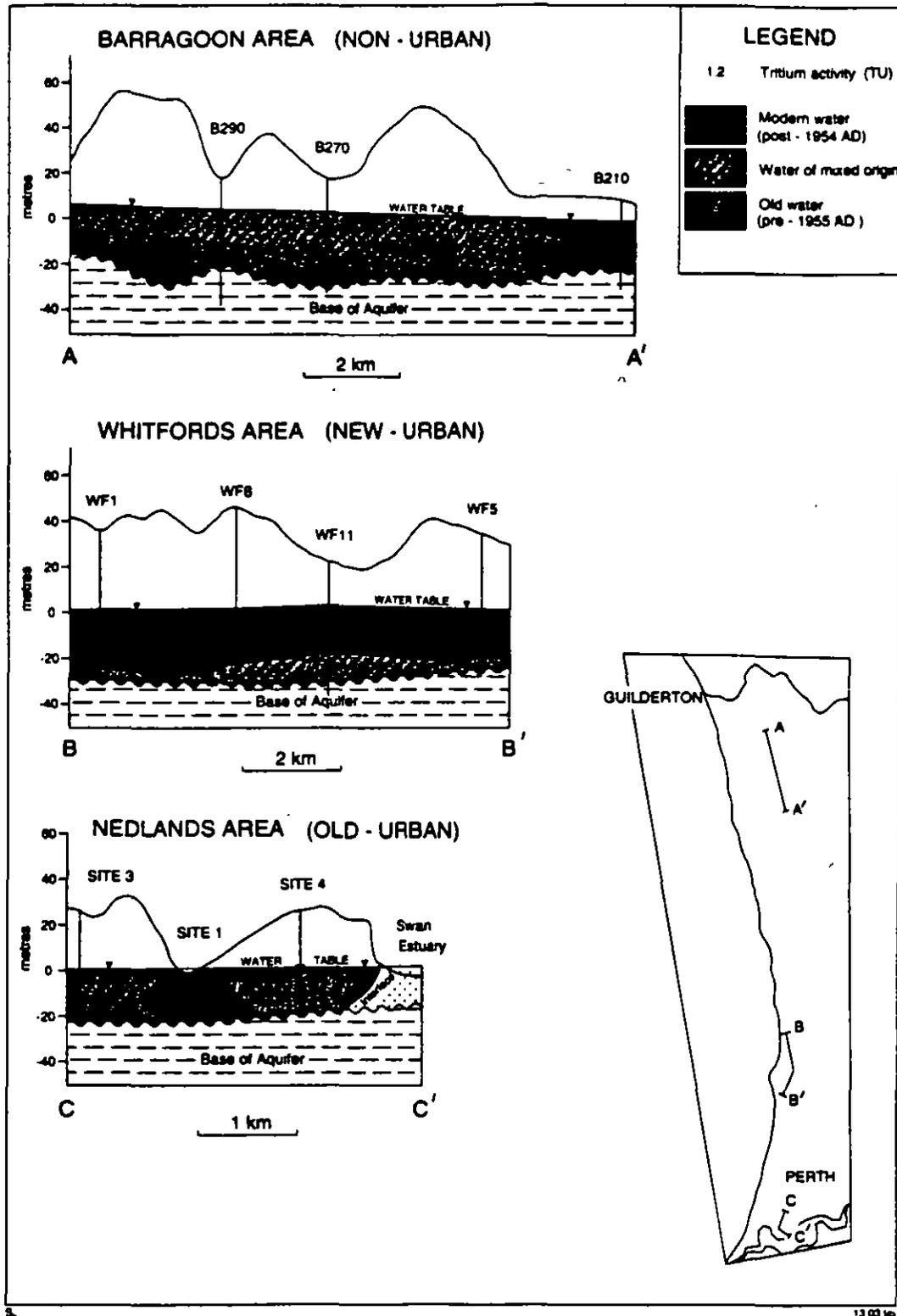


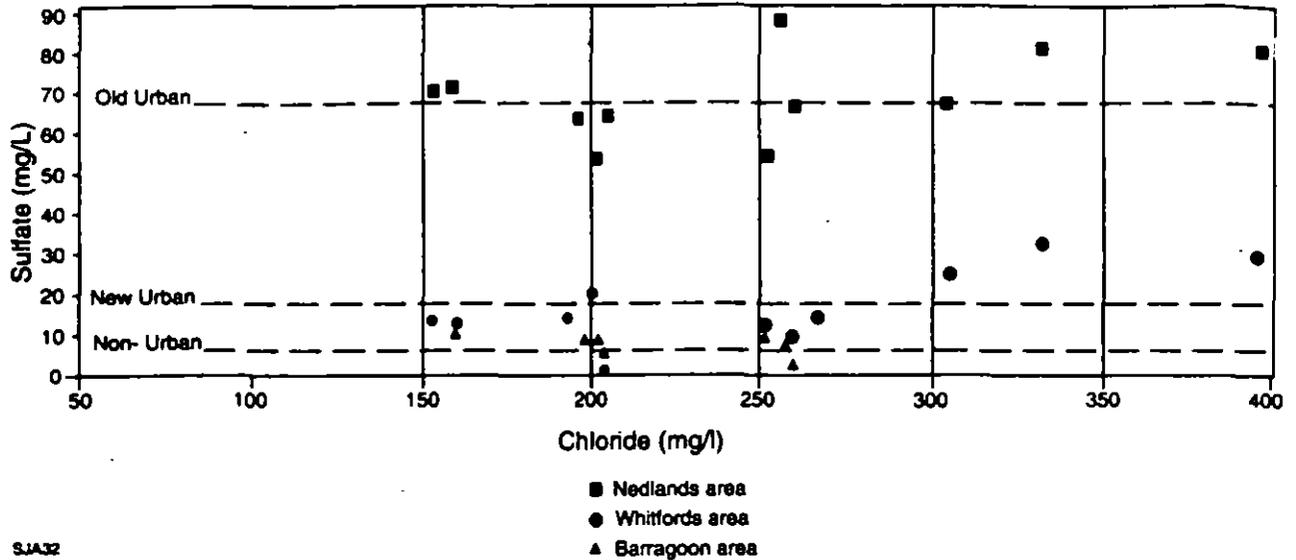
Figure 2. Hydrogeologic sections showing groundwater age in the three sampling areas.

Table 2. Chemical analyses of groundwater.

Well no. and Interval ¹	Chemical properties and constituents ²												
	TDS	Eh (mV)	D.O.	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄	SiO ₂	NO ₃ -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

¹ S, Shallow; I, Intermediate; D, Deep

² 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)



SJA32

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

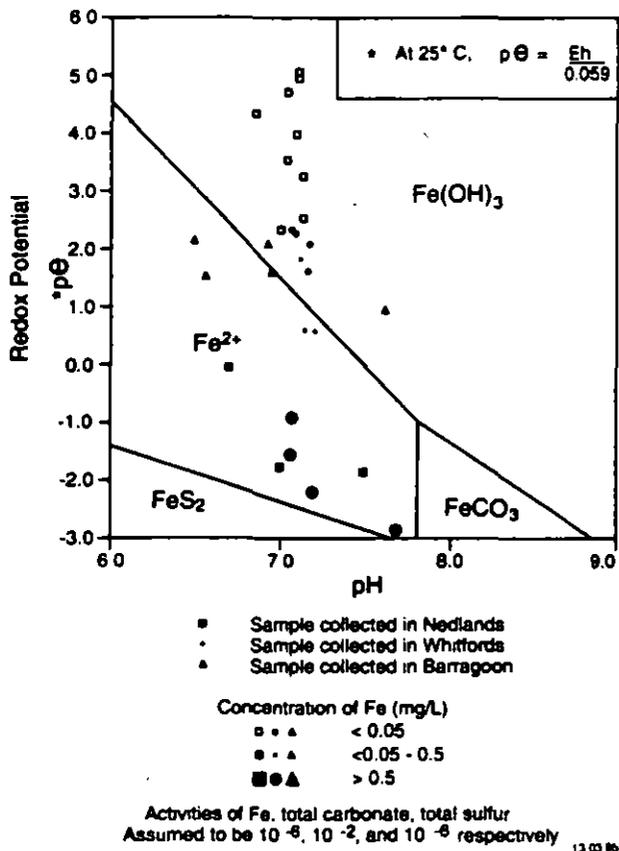


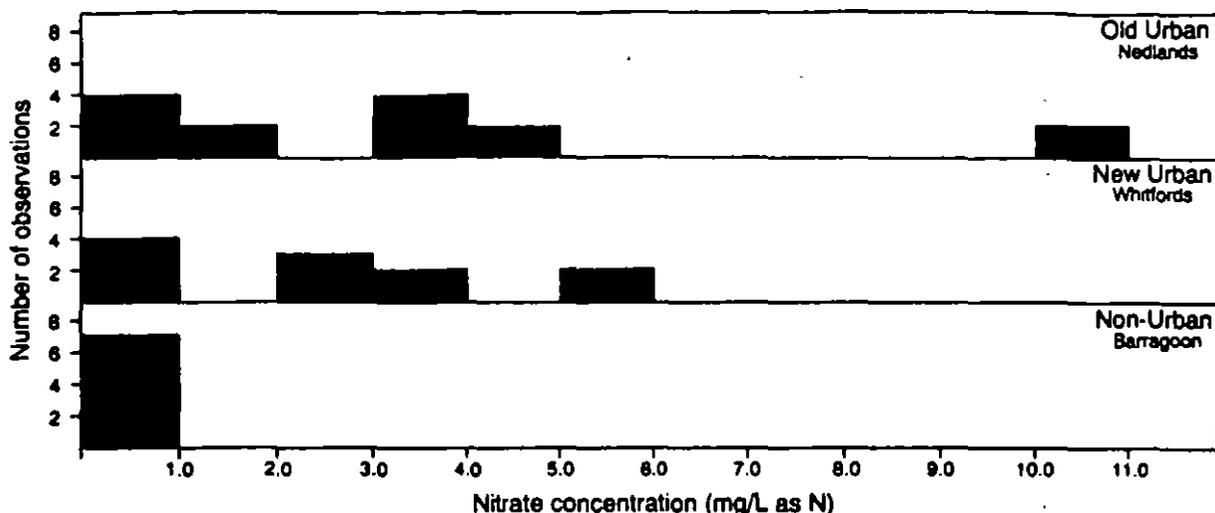
Figure 4. Pourbaix diagram showing variations in Fe concentration with pH and redox potential.

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 (Matthess, 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:



SIJAS3
 Figure 5. Distribution of nitrate concentrations in the three sampling areas.

12.08.94

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

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 Fe²⁺ 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.
- Cargeeg, 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.
- Matthess, 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 Whitfords 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., Heme, 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 Cargeeg, 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^a and Derek R. Lovley^b

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 μ M), and acetate (~ 1.0 μ 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 μ 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

^aU.S. Geological Survey, WRD, 720 Gracern Rd., Suite 129, Columbia, South Carolina 29210.

^bU.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.

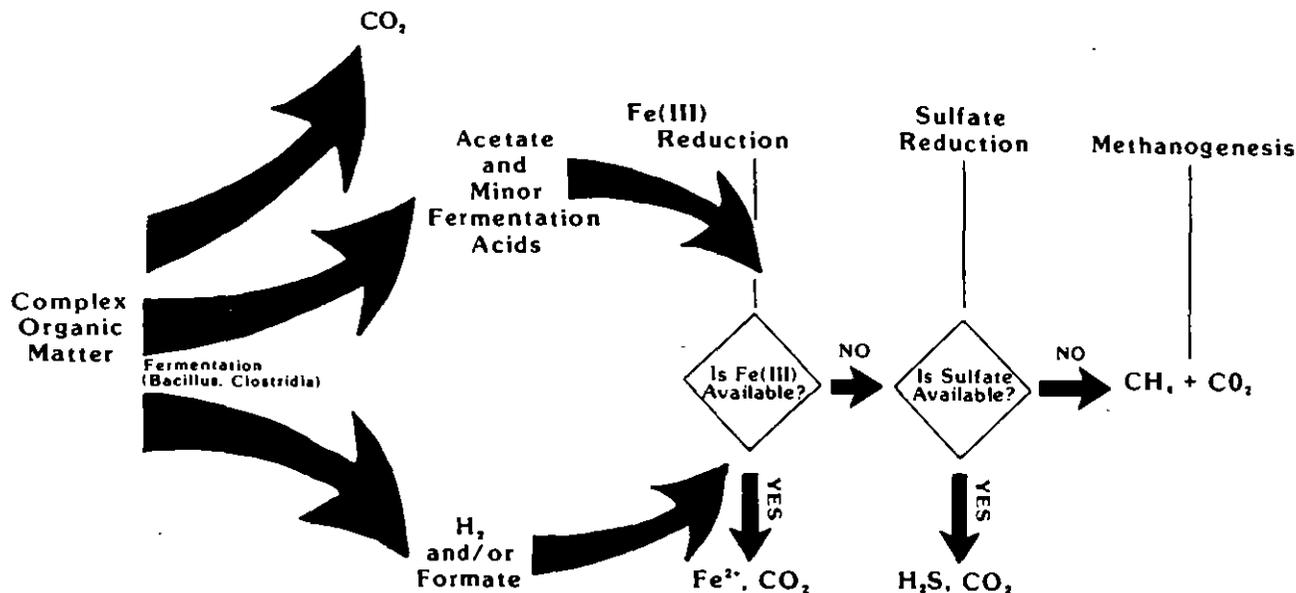


Fig. 1. Model for carbon and electron flow in sediments with Fe(III) reduction, sulfate reduction, and methanogenesis as potential terminal-electron accepting processes.

abundant Fe(III) oxyhydroxides. Rather, sulfate reduction is only observed after Fe(III) is depleted (Froelich et al., 1979; Ponnampuruma, 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 an 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 UK₂ of Prowell et al. (1985) and unit K₄ 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). This change, based upon lithologic and paleontological description of the cored sediments (David C. Prowell and W. Fred Falls, U.S. Geological Survey, written communication,

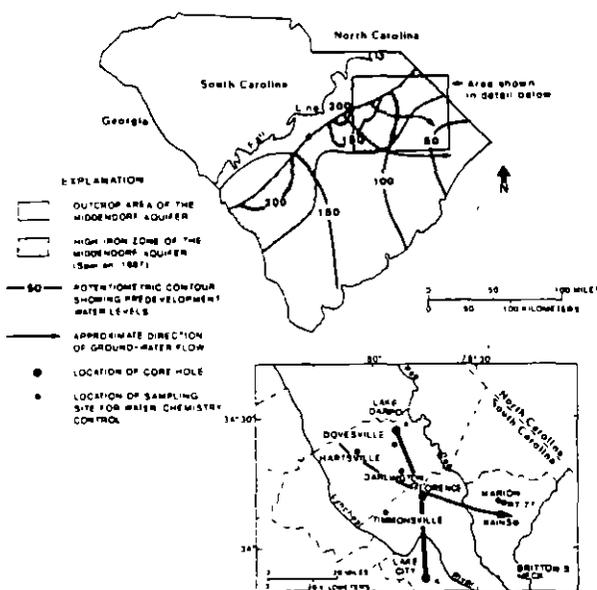


Fig. 2. Location of the study area, predevelopment potentiometric surface, outcrop area, and locations of water-chemistry sampling sites for the Middendorf aquifer.

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 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 10^5 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

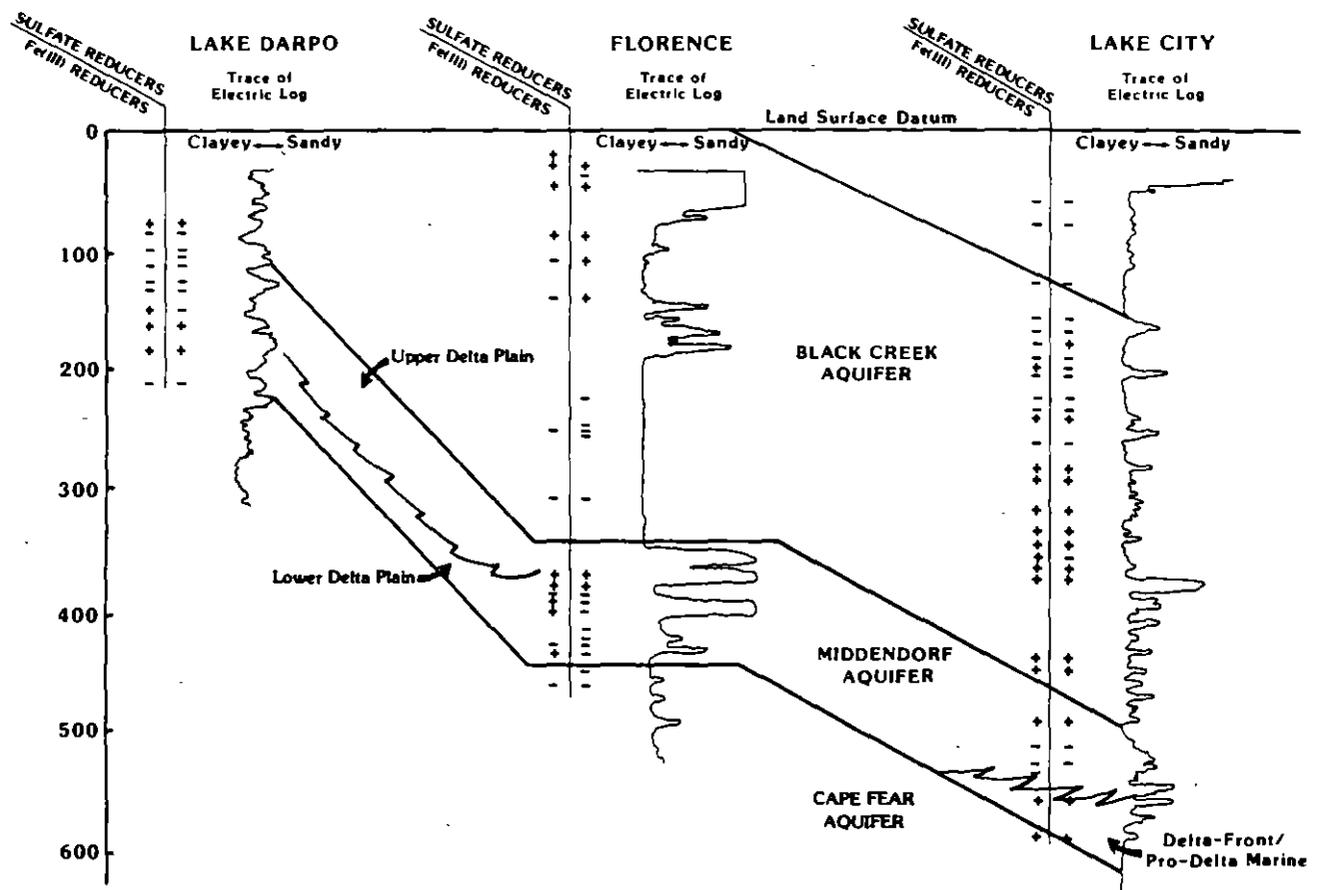


Fig. 3. Hydrogeologic section and presence (+) or absence (-) of viable Fe(III)-reducing and sulfate-reducing bacteria in the hydrologic units penetrated by three core holes. The line of section is shown on Figure 2.

complete all sediment inoculations within about 30 minutes of core recovery.

Water Chemistry Data

All major-ion 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 μM .

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 N_2 . Anaerobic conditions were necessary in order to minimize oxidation of 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 (DO), dissolved iron, dissolved inorganic carbon (DIC), dissolved sulfate, and dissolved hydrogen (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 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

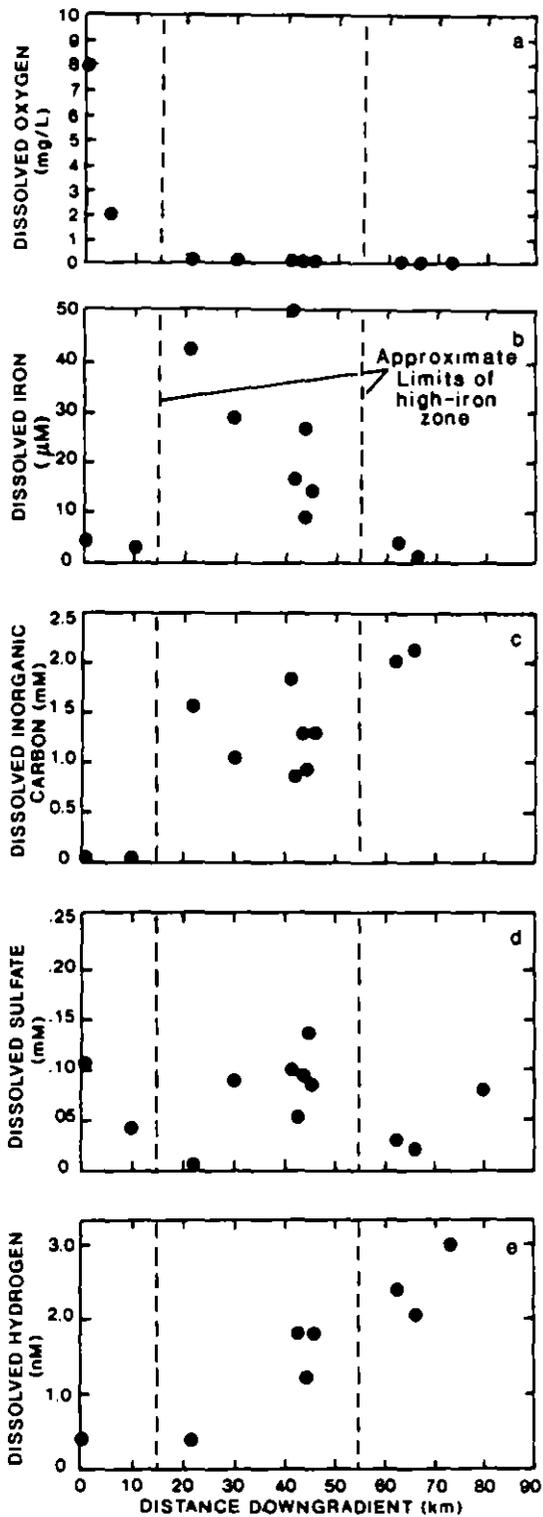


Fig. 4. Concentrations of (a) dissolved oxygen, (b) dissolved iron, (c) dissolved inorganic carbon (DIC), (d) dissolved sulfate, and (e) dissolved hydrogen plotted versus distance downgradient of the Middendorf aquifer.

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

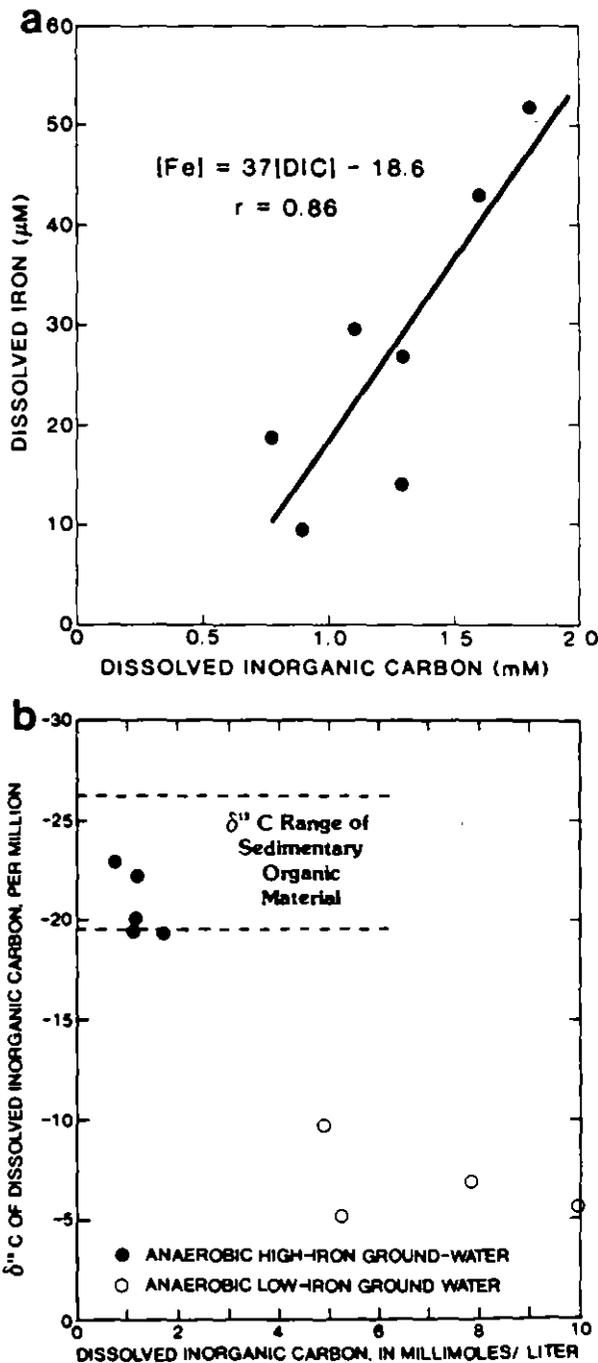


Fig. 5. (a) $\delta^{13}\text{C}$ of DIC in Middendorf aquifer water. Closed circles are data from the high iron zone and open circles are data from locations downgradient of the study area.

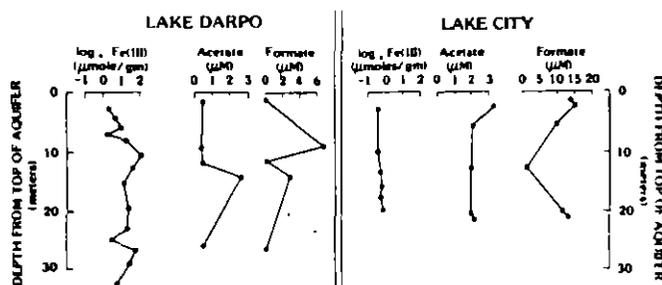


Fig. 6. Concentrations of poorly crystalline Fe(III) oxyhydroxides in Middendorf aquifer sediments and concentrations of dissolved acetate and formate in Middendorf aquifer pore water at the Lake Darpo (upper delta plain) and Lake City (lower delta plain/marine) core hole sites.

accepting process in the high-iron zone near Florence was provided by laboratory studies that showed [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 μM and 2.0 μM , 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 μM , respectively. The results of 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, 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, H_2 concentrations increase to greater than 3.0 nM. These measurements show that acetate, formate, and 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 ground-water 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 that 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. 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: I. Sulfate from confining beds as an oxidant in microbial CO₂ 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. Luedtke, G. R. Heath, D. Cullen, P. Dauphin, Hammond, B. Hartman, and V. Maynard. 1979. Early oxidation of organic matter in pleigic 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 surface 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. *Geochim. et Cosmochim. Acta.* v. 52, 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 CO₂ 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

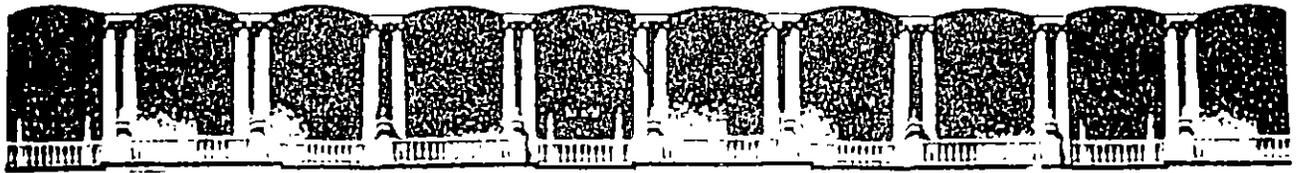
Membership is open to:
 "those who are engaged in occupations pertaining to the supervision, regulation, or investigation of ground water or ground-water supply installations or who are teachers or students at recognized institutions in academic fields related to the study of ground water."

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)



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

VIII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE
ACUIFEROS

MODULO II CONTAMINACION DE ACUIFEROS

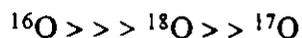
TEMA: EVALUACION DE RIESGO

DR. RAMIRO RODRIGUEZ CASTILLO

1996

MOLECULA DEL AGUA

Abundancia de isotopos de oxigeno

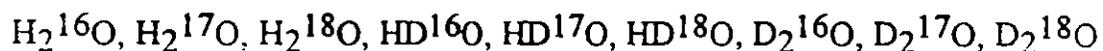


Abundancia de isotopos de hidrogeno

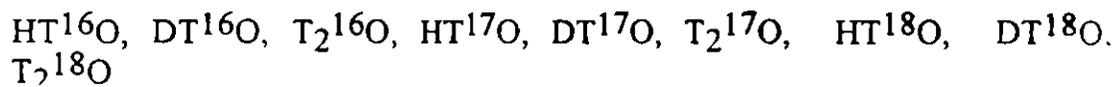


⇒ 48 moléculas diferentes, 39 radioactivas

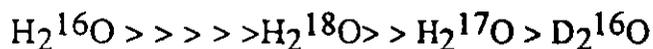
⇒ 9 moléculas estables de agua



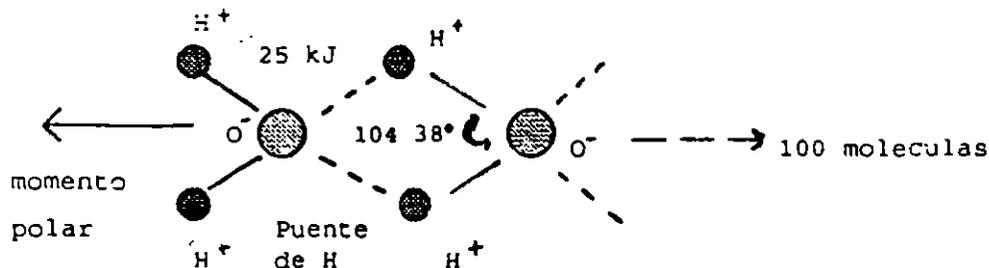
aunque, también es posible encontrar las siguientes moléculas



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.

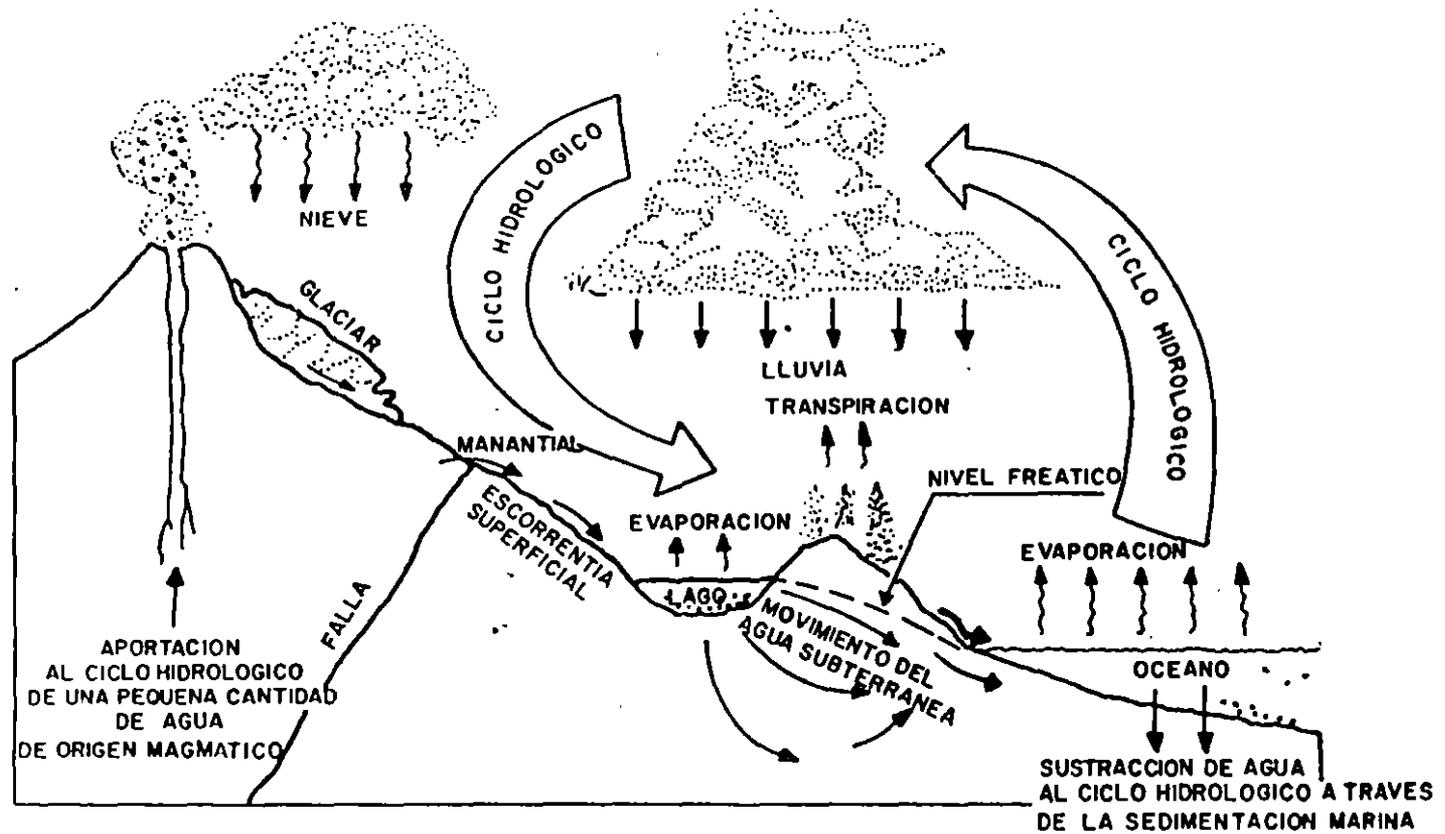
Propiedades Físico-Químicas del agua

Propiedad	Simbología	Valor	Peculiaridades
Densidad	ρ	998.2 g/cm ³	f(T)
Viscosidad	μ	1.0 x 10 ⁻² centipoise	f(1/T)
Coef. Cinemático de Viscosidad	ν	1.01 x 10 ⁻⁶ m ² /s [stockes]	f(1/T)
Coef. Conductividad Térmica	K	140 x 10 ⁻⁵ cal / cm s	no es buena conductora de calor
Calor de fusión	C _f	79.71 cal/g C	
Calor de vaporización	C _v	595.4 cal/g C	
Calor específico	C _e	1.0 cal/g °C	buena moderadora del clima
Coef. Lamé Modulo de rigidez	μ	0	En líquidos no existen ondas longitudinales
Vel. ondas P	V _p	1.485 Km/s	
Compresibilidad isotérmica		4.6 cm ² /dina 10 ⁻¹¹	f(T)
Coef. de Compresibilidad	β	4.88 x 10 ⁻¹⁰ m ² /N	$\beta = 1/\epsilon$
Coef. de elasticidad	ϵ	0.205 x 10 ¹⁰ N/m ²	
Índice de Refracción para luz de sodio	I _r	1333	
Resistividad (agua Kohlrausse)	ρ_{max}	28 x 10 ⁶ ohm cm ⁻¹	f(1/mineralización)
Conductividad eléctrica específica	μ	5 x 10 ⁻⁶ S/m	f(mineralización)
Constante o permeabilidad dieléctrica	ϵ	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

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

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 6 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

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

Modificado del U.S. Geol. Survey, 1988

Contaminant	Examples of uses
Aromatic hydrocarbons	
Acetanilide	Intermediate manufacturing, pharmaceuticals, <u>dye-stuffs</u>
Alkyl benzene sulfonates	Detergents
Aniline	<u>Dye-stuffs</u> , intermediate, photographic chemicals, pharmaceuticals, <u>herbicides</u> , <u>fungicides</u> , petroleum refining, explosives
Anthracene	<u>Dye-stuffs</u> , intermediate, semiconductor research
Benzene	Detergents, intermediate, <u>solvents</u> , antiknock gasoline
Benzidine	<u>Dye-stuffs</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 ^o
Chrysene	Organic synthesis, coal tar by-product
Creosote mixture	<u>Wood preservatives</u> , disinfectants
Dibenz[a,h.]anthracene	NA
Di-butyl-p-benzoquinone	NA
Dihydrotrimethylquinoline	Rubber antioxidant
4,4-Dinitrosodiphenylamine	NA
Ethylbenzene	Intermediate, <u>solvent</u> , gasoline
Fluoranthene	Coal tar by-product
Fluorene	Resinous products, <u>dye-stuffs</u> , <u>insecticides</u> , coal tar by-product
Fluorescein	Dye-stuffs
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>fungicid</u> moth repellent
o-Nitroaniline	<u>Dye-stuffs</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>Dye-stuffs</u> , explosives, synthesis of drugs, biochemical research
n-Propylbenzene	Dye-stuffs, 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 dye-stuffs</u> , pharmaceuticals, chemical manufacturing
Xylenes (m, o, p)	Aviation gasoline, protective coatings, solvent, synthesis of organic chemicals, gasoline
Oxygenated hydrocarbons	
Acetic acid	Food additives, plastics, <u>dye-stuffs</u> , pharmaceuticals, photographic chemicals, <u>insecticides</u>
Acetone	<u>Dye-stuffs</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
Oxygenated hydrocarbons (cont'd)	
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
Hydrocarbons with specific elements (e.g., with N, P, S, Cl, Br, I, F)	
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
Hydrocarbons with specific elements (cont'd)	
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
α -Hexachlorocyclohexane (= Benzenehexachloride, or α -BHC)	<u>Insecticides</u>
β -Hexachlorocyclohexane (β -BHC)	<u>Insecticides</u>
γ -Hexachlorocyclohexane (γ -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
Hexachloronorborendiene	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
Hydrocarbons with specific elements (cont'd)	
RDX (Cyclonite)	<u>Explosives</u>
Simazine	<u>Herbicides</u>
Tetrachlorobenzene	NA ^a
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, drying agent</u> , 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, textiles, 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
Other hydrocarbons	
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
4,5,8-Trimethyl-1-nonene	NA
Undecane	Petroleum research, organic synthesis
Metals and cations	
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
Metals and cations (cont'd)	
Arsenic	<u>Alloys</u> , <u>dyestuffs</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>insecticides</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> , glass, <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
Nonmetals and anions	
Ammonia	<u>Fertilizers</u> , chemical manufacturing, refrigerants, synthetic fibers, fuels, <u>dyestuffs</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. Quim // Oxidación, hidrólisis, catalisis de halogenación reductiva, sustitución nucleofílica

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

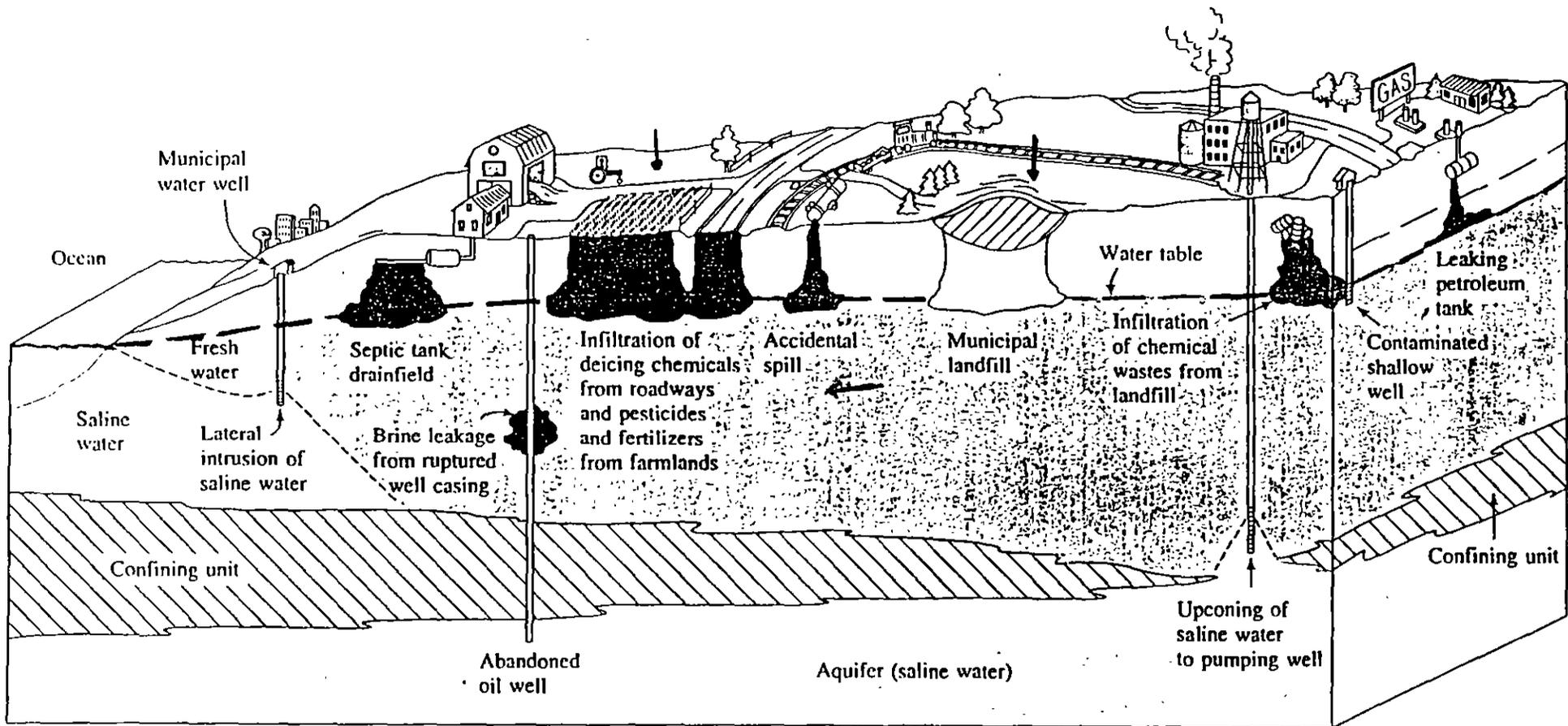


FIGURE 1.1 Mechanisms of ground-water contamination.

TRANSPORTE DE SOLUTOS EN MEDIOS SATURADOS

BALANCE DE MASA

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

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

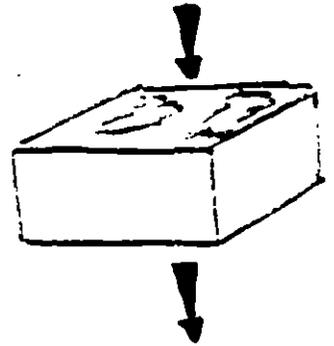
$$\text{SI } \Delta S \neq 0 \quad q = n(c\bar{v} - D\nabla c)$$

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

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

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

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

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

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

ADVECCION

DISPERSION

• $\longrightarrow \bar{v}$  } Dispersión Transversal

 Dispersión Longitudinal

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

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

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

σ_L^2 = extensión lateral pluma

σ_T^2 = extensión transversal de la pluma

NUMERO PECCLET N_p

CONTRIBUCION DE DISPERSION MECANICA Y DISPERSION

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

d = diametro grano promedio

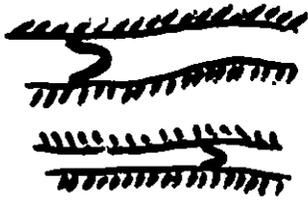
MECANISMOS DE DISPERSION

Esca la Microscópica / Esca la Macroscópica

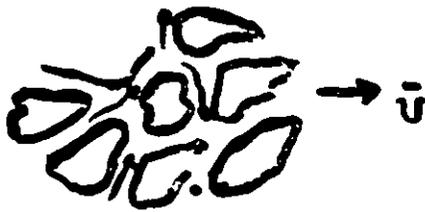
Difusión Molecular Dispersión Mecánica



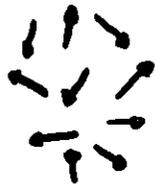
Perfil Velocidad



Diferentes dimens. poros



Ramificación Canales.



La dispersión mecánica puede ser representada como un proceso fickiano operando a esca la macro.

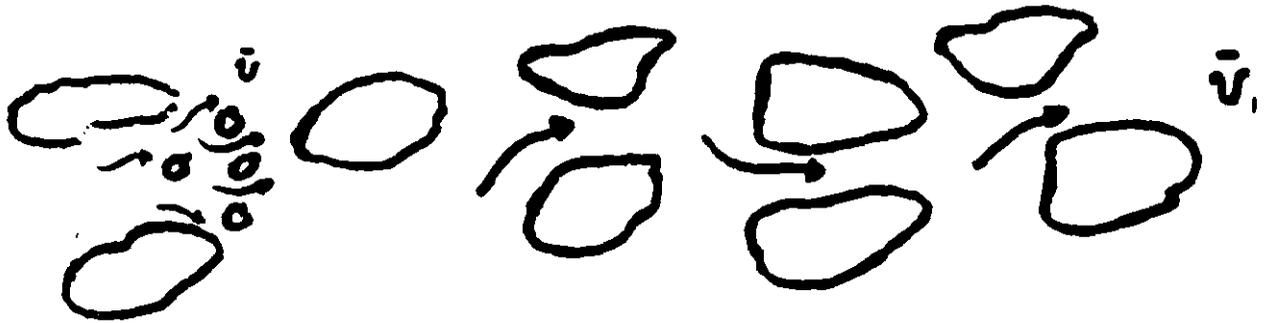
es proporcional

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

$$J_d \sim \nabla c$$

$$J_c = -D_a \frac{\partial c}{\partial x}$$

FACTOR DE ESCALA



Dispersión a
pequeña escala

Dispersión a
gran escala

$$D = D_m + D_e$$

\downarrow →
 Coef. Disp Mec. Coef. Dif. Mol.

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

\downarrow
dispersividad

$$D_e = D_0 \tau$$

\downarrow →
 Coef. Dif. libre Relacionada
Tortuosidad
Medio Poroso

$$\alpha \propto \begin{matrix} d(x) & ? \\ \alpha(t) & ? \\ d(x,t) & ? \end{matrix}$$

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

$\tau < 1$

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

Coef. Dif. Efectivo \downarrow
 Coef. Distrib.

$$K_d = K_s / K_f$$

\downarrow
función de distribución

ZONA NO SATURADA

RETENCION DE HUMEDAD

i) Adsorción

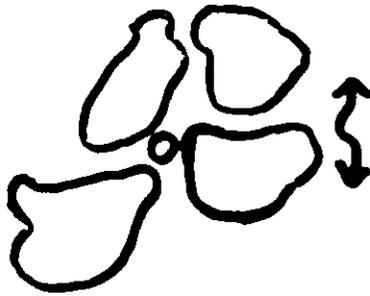
En Mat. grano fino:
mayor densidad carga
mayor area especf.



Molecula de Agua
(Orientada)

Rango de interacción 100 Å

ii) Retención Capilar



Aire a dif. presiones
dif. efecto capilar

Contenido de agua θ a presión ψ 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

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

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

TRANSFORMACION, RETARDACION Y ATENUACION DE SOLUTOS

INTERACCION SOLUTO AGUA SUBTERRANEA MATRIZ POROS

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 hiperb. 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.

$$R = 1 + \frac{S}{n} K_d$$

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

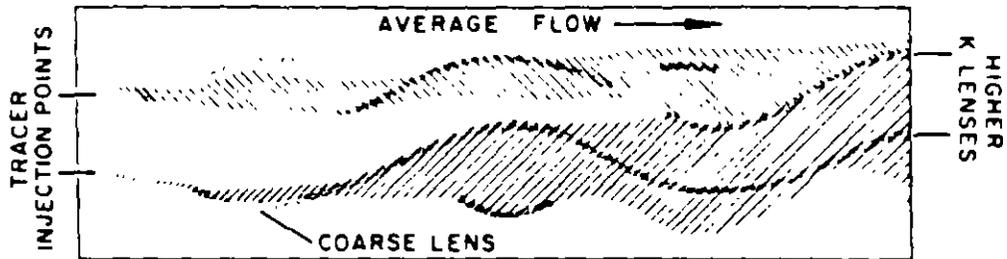


Fig. 6. Macroscopic dispersion as represented in a laboratory experiment (adapted from Skibitzkie and Robinson, 1963). "Higher K lenses" refers to lenses of high hydraulic conductivity.

Dispersión Macroscópica

Dispersión - difusión medio doble porosidad

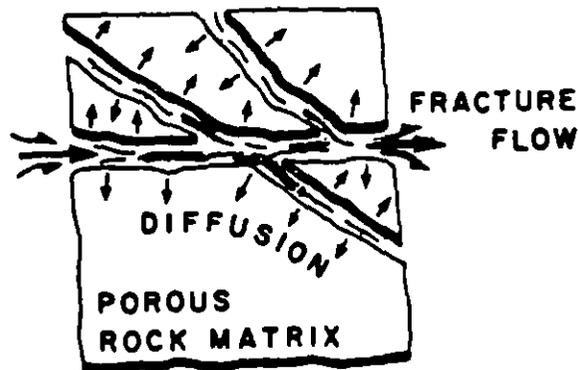
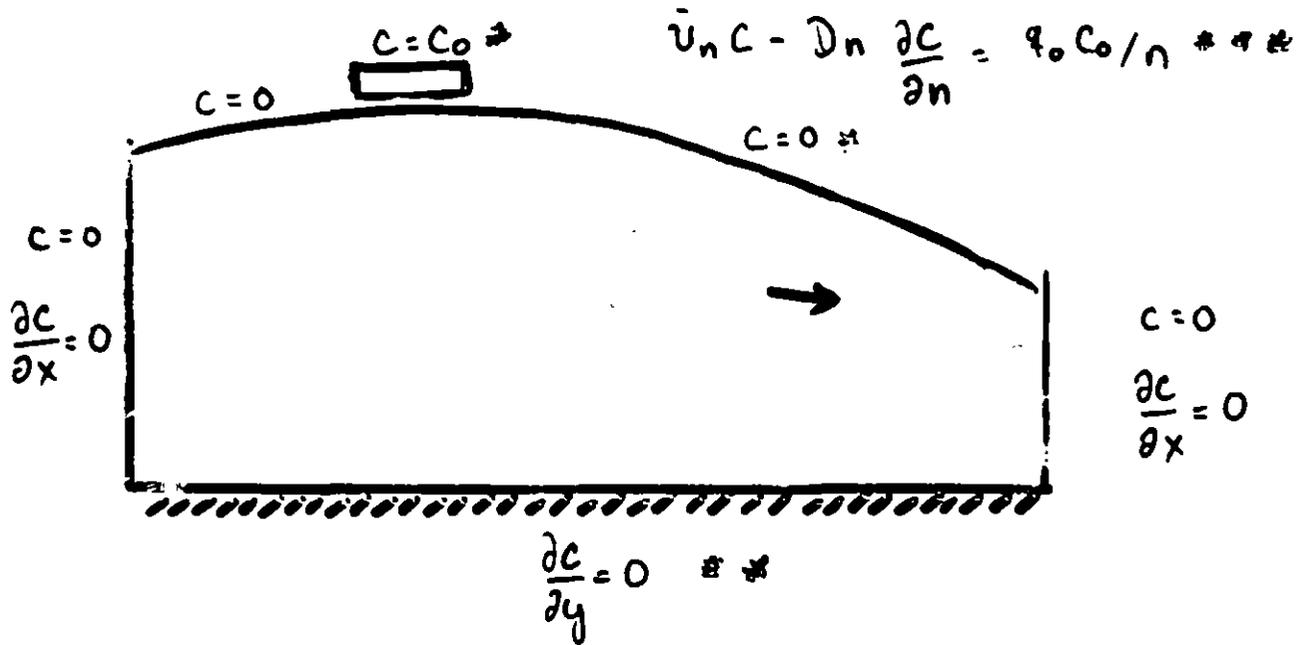
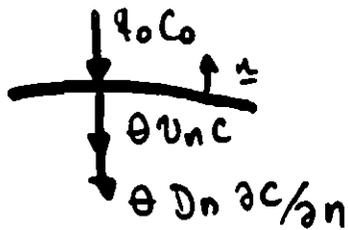


FIGURE 2-5 Schematic diagram representing flow through fracture and diffusion of contaminants from fractures into the rock matrix of a dual porosity medium.

Condiciones Frontera



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



$$\begin{aligned}
 c(0, t) &= C_0 & t &\geq 0 \\
 c(x, 0) &= 0 & x &\geq 0 \\
 c(\infty, t) &= 0 & t &\geq 0
 \end{aligned}$$

Soluciones

Advección - Difusión

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

$$c(x=0) = c_0$$

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



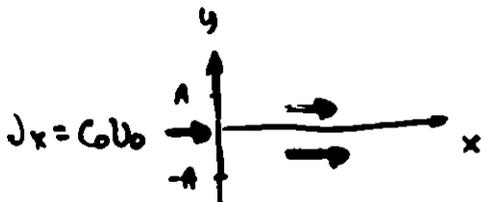
$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_L \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_e \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - \bar{v} \frac{\partial c}{\partial x}$$

Caso no-estac.

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

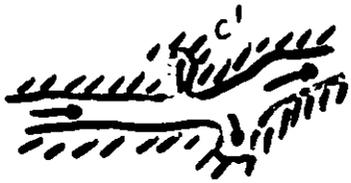
Caso estacionario

$$c(x, y) = c_0 \frac{\bar{v}}{2\bar{u} \sqrt{D_e D_L}} \exp \left(\frac{\bar{v}x}{2D_L} \right) \int_{-A}^A K_0 \{ w(z) \} dz$$



ADVECCION-DISPERSION

(MEDIOS NO-HOMOGENEO, NO-ISOT.)



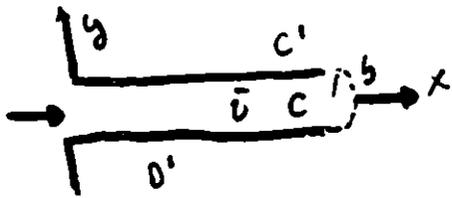
Difusión en zonas de estancamiento produce efectos de "capacitancia"

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

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

$C'(x, t)$?

$f(\bar{v}, n)$?



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 ?

$C'(x)$?

- * Dispersión longitudinal tiende a ser no-gausiana
- * 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. Ret. matriz

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

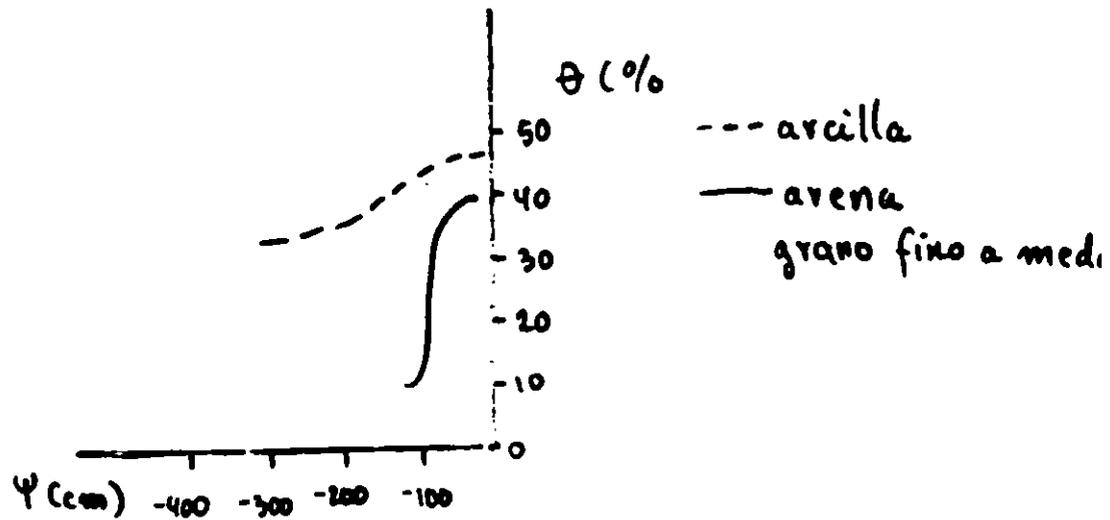
flujo difusivo en la interfase

TRANSP. ZONA NO-SATURADA.

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

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

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



Término 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**

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

Modificado de Wang R., 1994

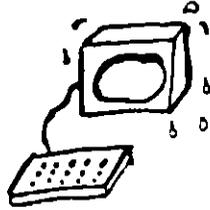
Potencial de migración en el agua subterránea de contaminantes orgánicos.

Compuesto	Mobilidad Potencial	Potencial de Migración
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

PROTOCOLO HIDROGEOQUIMICO.

OK!



MODELACION

HIPOTESIS !!??



CORRELACION
GEOLOGICA
HIDROGEOLOGICA

CRITERIOS !?

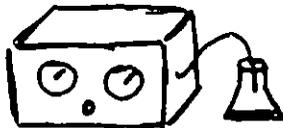


INTERPRETACION
QUIMICA
HIDROGEOLOGICA
HIDROGEOQUIMICA

CONCENTRACIONES



RESOLUCION



ANALISIS
INORGANICO
BACTERIOLOGICO
ORGANICO



ALMACENAMIENTO
CAPAC. LAB.

REACC. QUIMICAS



MANEJO Y TRANSPORTE
MUESTRAS.
ENVASES VS REAC. QUIM.

REPRESENTATIVIDAD

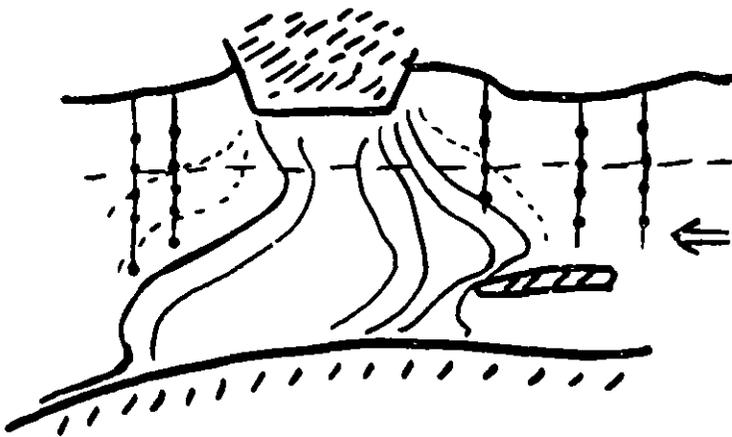


DETERM. IN SITU
TECNICAS EXTRACCION
PLAN. MONITOREO



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. - ACARBEI

FUENTES POTENCIALES CONTAMINACION

INVENTARIO

LOCALIZACION

GEOLOGIA

SISTEMAS ACUIFEROS

PARAMETRIZACION

ENTORNO SOCIAL

ELEMENTOS POLVANTES

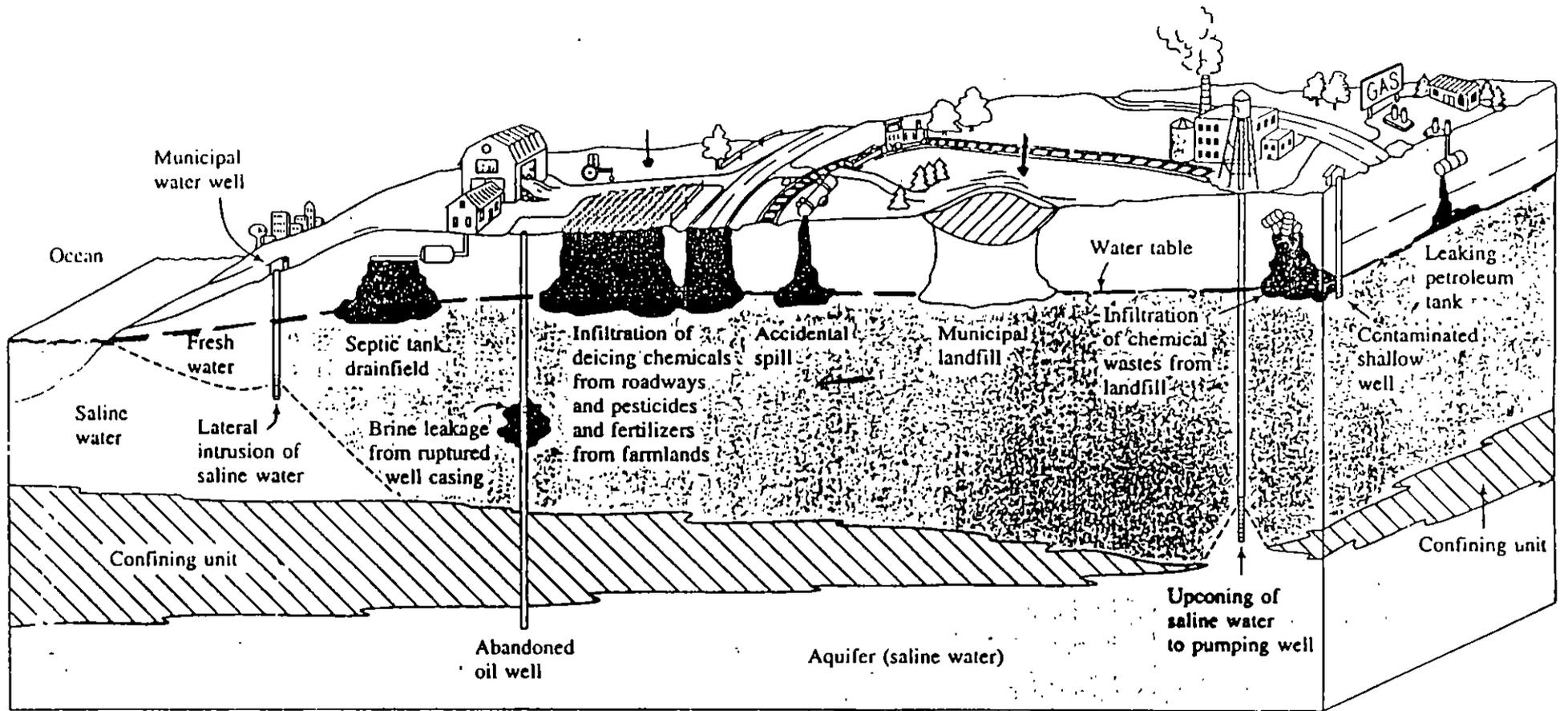
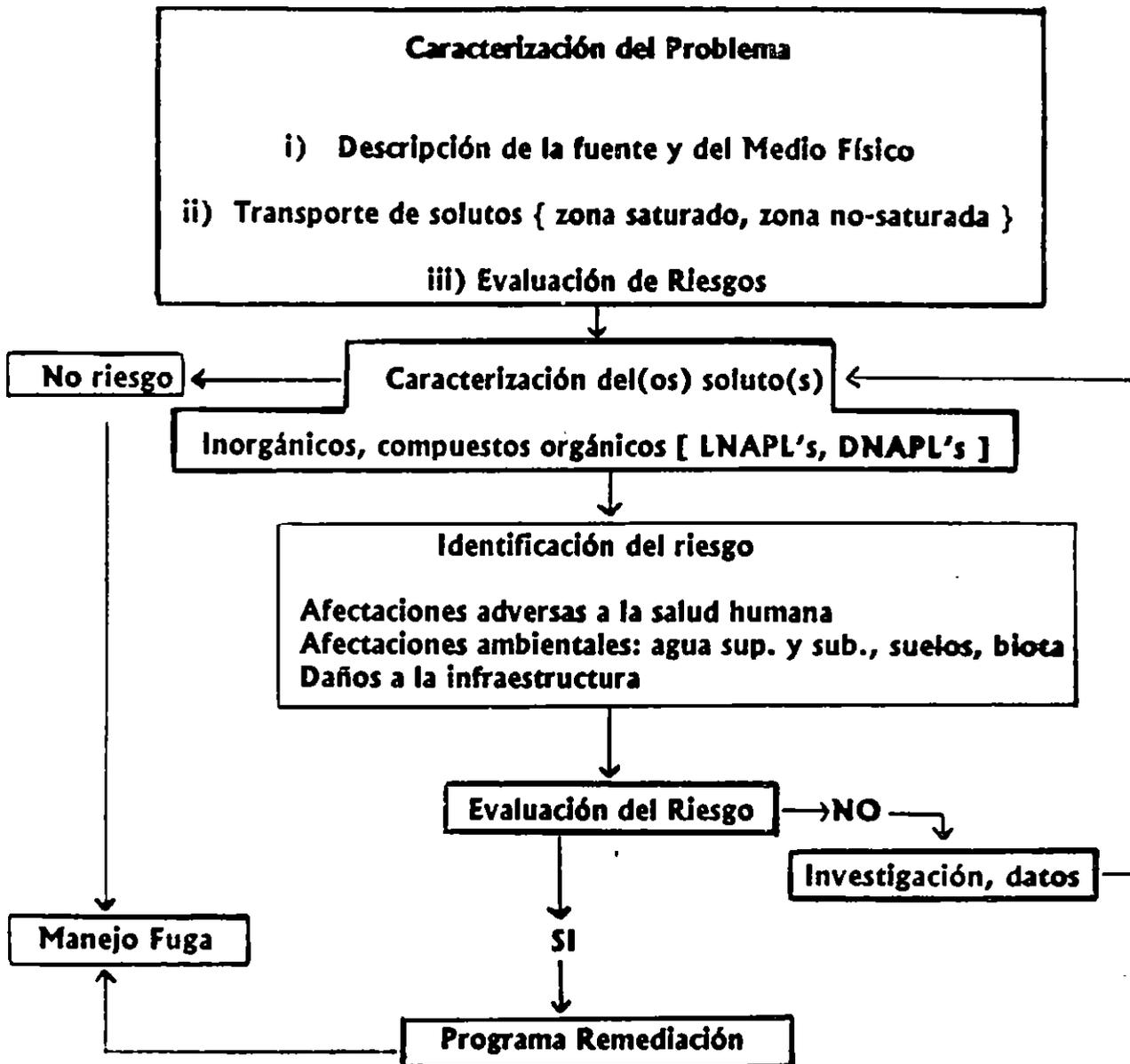


FIGURE 1.1 Mechanisms of ground-water contamination.

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 |
| - madera | autos, muebles, etc.) |
| - material de construcción | - residuos de mercado |

- material ferroso y no

- desechos hospitalarios

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, escurrentía 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

dañino.

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
- Desperdicios de hortalizas
- Lana
- Aleación de circón
- Bismuto
- Desechos de cervecera, 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
- Tantallo
- 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 substancias 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 substancias 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 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.

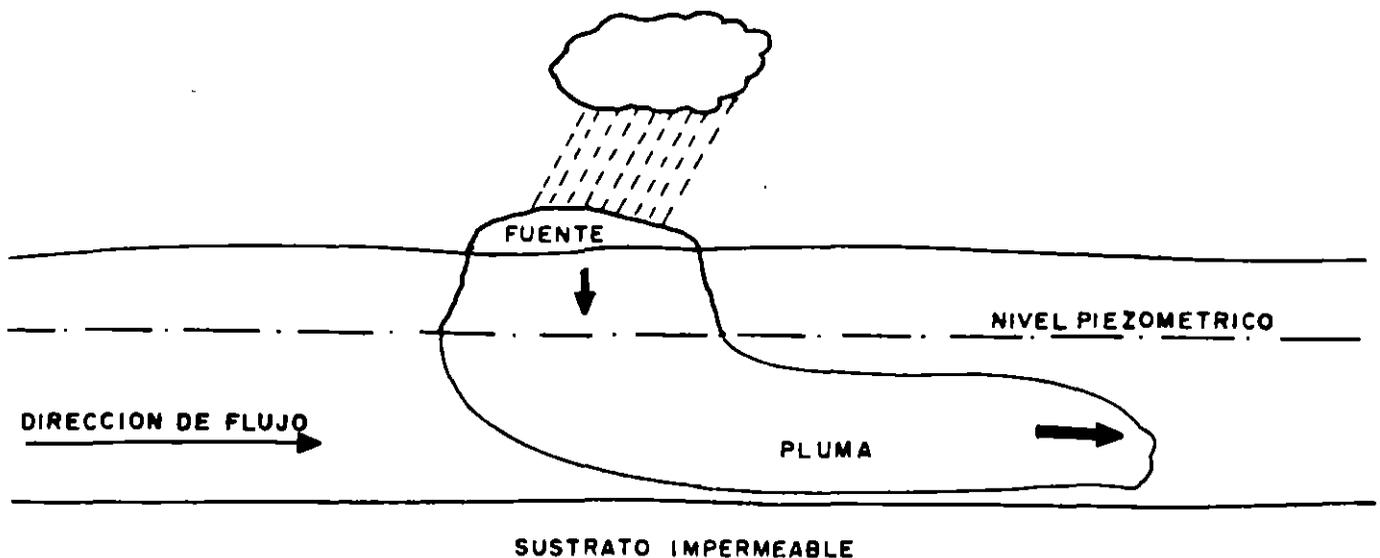
Las fuentes lineales son aquellas tales como derrames en sistemas de alcantarillado y tuberías, desperdicios mineros. salmuera, etc.

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.

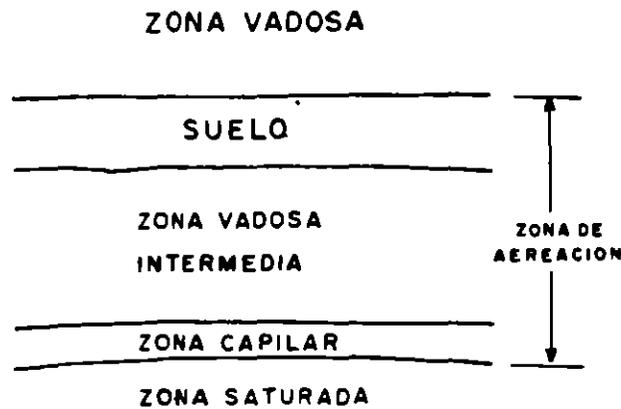
El establecimiento de un marco teórico adecuado requiere antes de la proposición de un modelo general hidrodinámico que conceptualiza el flujo de un poluante hacia un acuífero.



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 (Ψ) y la fuerza de gravedad (Z).

donde Ψ 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 otro a las fuerzas capilares.

Las primeras resultan de la interacción de la molécula 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 considerando que las reacciones entre la nube y el medio son mínimas, esto es se desprecian fenómenos 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 tendrá 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 η 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 α , 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 microbológico 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,

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

con S_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 $\frac{S_r}{\eta} \frac{\partial S}{\partial t}$ 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

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

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

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

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 isoterma.

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

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

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

$T_{1/2}$ 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 advectivo, 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, da 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

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.

-Amoniaco. La presencia de amoniaco 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 de efluentes 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:

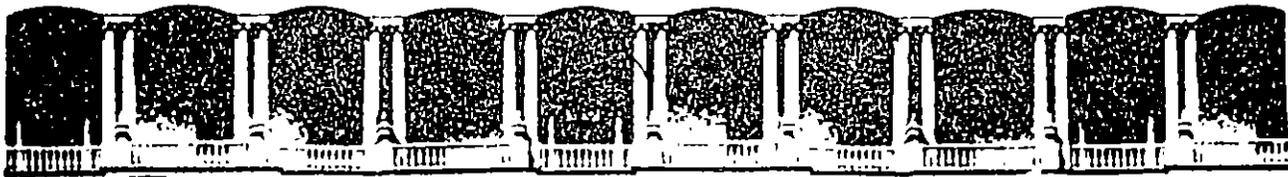
1. Naturales del agua En general no son patógenas; son típicas las pseudomonas, la serratía flavobacterium y chorobacterium.
2. Provenientes del suelo. No son patógenas y son frecuentes los bacillus y aerobacillus.
3. De origen intestinal o de aguas negras. Pueden ser o no patógenas; entre las no patógenas 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 vía 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.

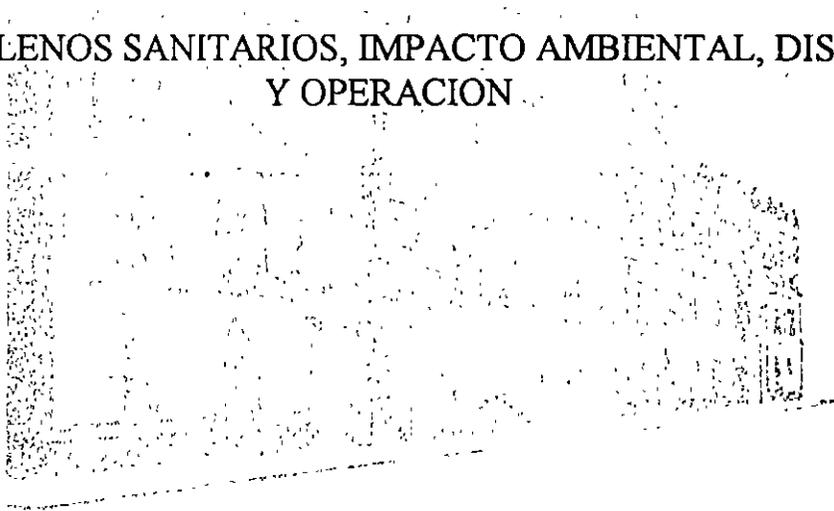


**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**VIII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE
ACUIFEROS**

MODULO II CONTAMINACION DE ACUIFEROS

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



ING. FRANCISCO SUZAN COLOMBRES

1996

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.

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

Normas Oficiales Mexicanas con relación a Residuos Sólidos.

NUM. NORMA	TITULO
- NOM-AA-15-85	Residuos sólidos municipales- muestreo- método de cuarteo. SECOFI. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-16-84.	Residuos sólidos municipales. Determinación de humedad en desechos sólidos . SECOFI. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-18-84.	Residuos sólidos municipales. Determinación de cenizas. SECOFI. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-19-85	Residuos sólidos municipales. Peso volumétrico in situ. SECOFI. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-21-85.	Residuos sólidos municipales. Determinación de materia orgánica en desechos sólidos. SECOFI. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-22-85	Residuos sólidos municipales. Selección y cuantificación de subproductos. SECOFI.
- NOM-AA-24-84	Residuos sólidos municipales. Determinación de nitrógeno total. Cancela NOM-AA-22-75. SECOFI. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-25-84.	Residuos sólidos municipales. Determinación de pH método potenciométrico. Cancela NOM-AA-25-75. SECOFI. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-31-76.	Residuos sólidos municipales. Determinación de azufre en desechos sólidos. SECOFI. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-32-76	Residuos sólidos municipales. Determinación fósforo total en desechos sólidos. SECOFI. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-33-85.	Residuos sólidos municipales. Determinación del poder calorífico superior. SECOFI. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-52-85.	Residuos sólidos municipales. Preparación de muestras en el laboratorio para su análisis. SECOFI. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-61-85.	Residuos sólidos municipales. Determinación de la generación. SECOFI. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-67-85.	Residuos sólidos municipales. Determinación de la relación carbono-nitrógeno. SECOFI. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-68-85.	Residuos sólidos municipales. Determinación de hidrógeno partir de la materia orgánica. SECOFI. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-69-86	Residuos sólidos municipales. Determinación del porcentaje de oxígeno en materia orgánica.
- NOM-AA-91-85	Residuos sólidos municipales. Terminología de residuos sólidos. SECOFI. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-92-84.	Residuos sólidos municipales. Determinación de azufre. SECOFI. Dirección General de Normas.
- NOM-AA-94-85.	Residuos sólidos municipales. Determinación del fósforo total. SECOFI. 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 60,000 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 actualmente a nivel nacional 1,710,462 tons., de residuos industriales, de los cuales, el 90.15% son semisólidos, 7.6% 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

PAISES		CIUDADES	
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	52	198
COBERTURA DE RECOLECCION	POR CIENTO	75	82 (1)
COBERTURA DE DISPOSICION SANITARIA	POR CIENTO	40	30
TRABAJADORES FORMALS	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

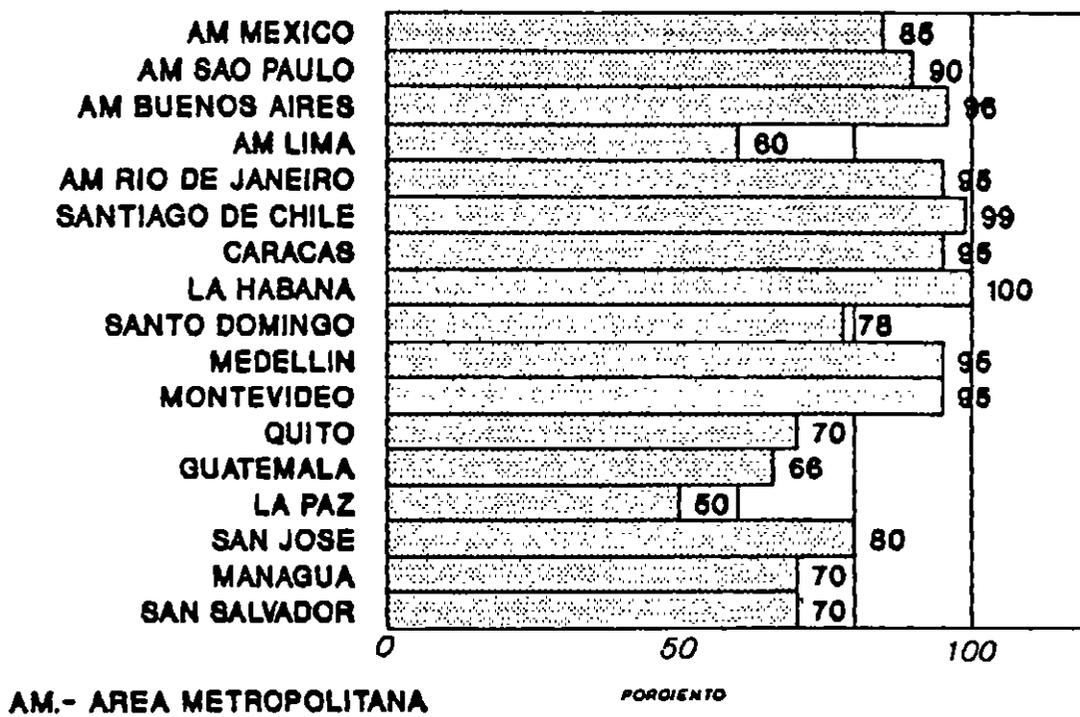
GENERACION Y RECOLECCION EN ALGUNAS LOCALIDADES

GENERACION DE BASURA		
CIUDADES	TON/DIA	%
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
TOTAL:	53,490	100.0

RECOLECCION DE BASURA	
CIUDADES	TON/DIA
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
TOTAL:	46,906

ARCH.JLG1.WK1

FIGURA NUM. 1 COBERTURA DE RECOLECCION



De la basura recolectada, únicamente, el 45% se deposita en 34 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 biogás, la incineración con aprovechamiento de la energía, la biotransformación en compost y la producción de combustible auxiliar. (Cuadro 6).

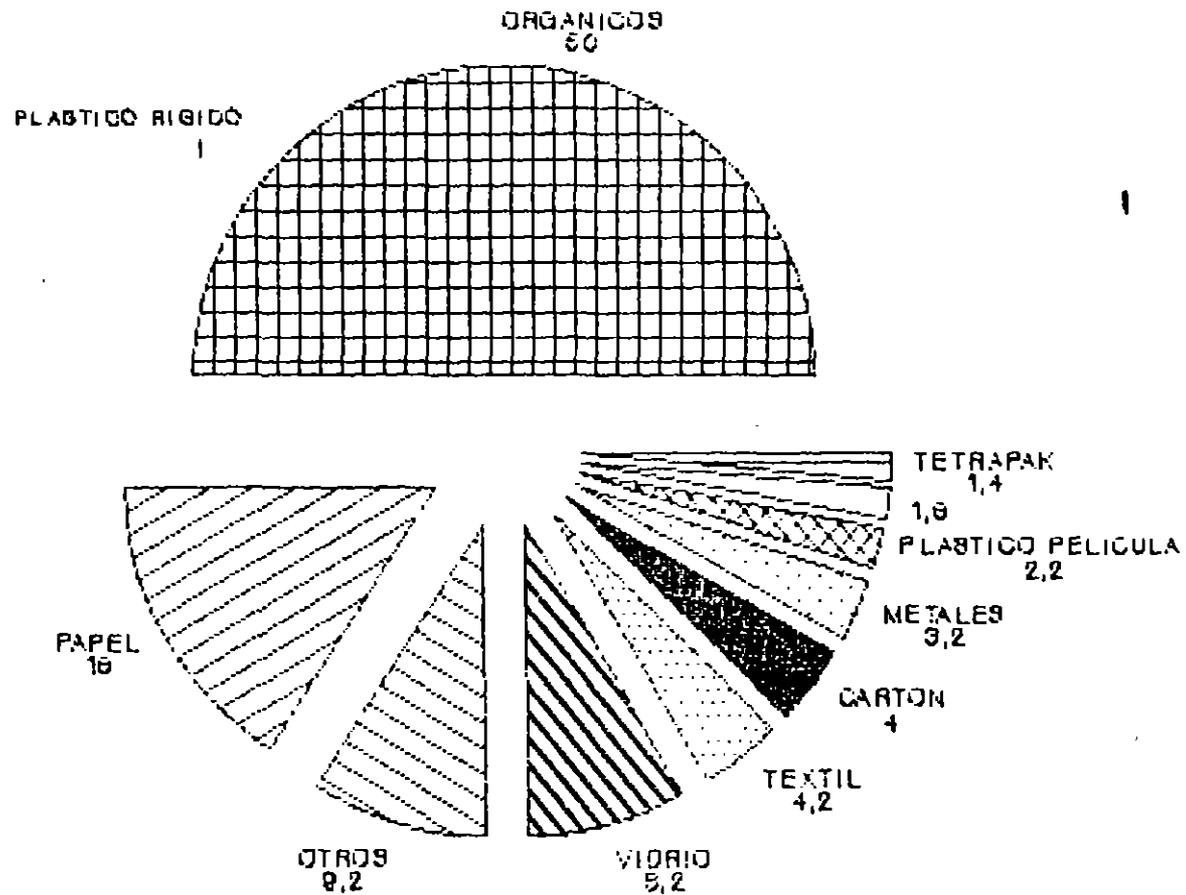
CUADRO No. 4

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 TN/DIA	CAPACIDAD APROVECHADA TN/DIA	CALIDAD COMPOST PRECIO/TON	% RECICLADO (PESO)	FINANZAS	OBSERVACIONES
RIO	TRANSFERENCIA RECICLAJE COMPOST (PILAS)	--	250	BUENA 20,305	4 A 6%	SUBVENCIONADA	
SAO PAULO	RECICLAJE COMPOST (BIODIG)	400	200-300	BUENA 5,270	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	250	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 SFS 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 (%)		
	RELLENDO SANITARIO (O 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	LATINDAMERICA		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.	BASURA TON/DIA	COBERT. RECOLEC. %	COBERT. RELLENO SANITARIO(1)			TIPO DE INSTITUC. RESPONS.	SERVICIO PROPIO O CONTRAT.	INGRESO/ COSTO (2)	NUMERO DE EMPLE.	EMPLEADOS POR 1000 HABIT.	TON. POR EMPLEADO
				BUENO	REGULAR	MALO						
A M MEXICO	20.0	15,000	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	5.0	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	BIEN			
LA HABANA	2.0	1,400	100	0	100	0	E.M.A.	MUNICIPAL	S/D	1,800	0.90	0.78
B,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	60	50	50	0	MUNICIPAL	MUNICIPAL	REGULAR	900	0.90	0.67
SAN JOSE	1.0	600	80	100	0	0	MUNICIPAL	MUNICIPAL	BIEN			
MANAGUA	1.0	600	70	0	0	100	MUNICIPAL	MUNICIPAL	S/D			
SAN SALVADOR	1.0	650	70	0	70	30	MUNICIPAL	MUNICIPAL	REG (60%)	1,150	1.15	0.87
SUMA	82.8	57,490								41,850	8.99	6.65
PROM DIRECTO			82	26	28	37					1.12	0.76
PROM. PESADO			0	0	0	0						

(1) BUENO = RELLENO SANITARIO, REGULAR = RELLENO CONTROLADO, MALO = BASURERO 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 SFSA VERDE

Asimismo, se esta 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	E.U.A.
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

CUADRO No. 10

PRODUCTO INTERNO BRUTO POR HABITANTE 1990

REGION	PIB \$MIL/ANO
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

INGRESO / COSTO	PORCENTAJE
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 \$17,036 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/m³

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 m³.

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	65,000	\$/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 m³.

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 m³ de operación/tn.depositada

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

BARRIDO

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

RECOLECCION

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

TRANSFERENCIA

UNIDADES	40 A 60 M ³
COSTO	15 A 30 N\$/TON

RECUPERACION DE COSTOS

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

*** FAMILIA DE 5 MIEMBROS**

Costo

México	15,000	a	18,000	\$/ton.
Latinoamérica	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-costo 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 \$	7,800	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, M. 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.	,080 - 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	5.84	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	29.704	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							353	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
							MEDIANO				
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	RECUPERACION 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	6,285 60	3,492 00
PAPEL	16	160	50	80	80	80	64	300 00	200 00	19,200 00	12,800 00
METALES	1.61	16 1	100	16.1	0	95	15 295	400 00	400 00	6,118 00	6,118 00
LATA	1.59	15.9	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	4,536 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
SUMA	100	1000	68.632	686.32	313.68	68.8186	628.186	201.724966	133.523192	126720.8	83877.4

BASE: 1 TONELADA DE BASURA

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	300	300
	2090 8932	4181 7864	6272 6796	8363 572	12545.35
	1383.9771	2767.9542	4151.9313	5536.908	8303.862
	1589.2932	3178.5864	4767.8796	6387.172	9535.759
	1,070	2,141	3,211	4,282	6,423

India

ARCHIVO: CUADRO 14.WK1 DISCO VERDE SPSA 1992

considero la comercialización de la composta, manteniendo los mismos precios de venta para los otros subproductos de la alternativa 1, 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

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 FINANACIERO.

TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)
VALOR PRESENTE NETO (VPN)
VALOR ANUAL EQUIVALENTE (VAE)

CRITERIO TIR.

PERIODO DE VIDA UTIL	15 AÑOS	
VALOR DE RESCATE		0
TASA IMPOSITIVA AL INGRESO GRAVABLE		37%
DEPRECIACION	LINEAL	
VALOR DE LA BASURA	83.9 N\$/TON	
COMERCIALIZACION	100%	

FINANCIAMIENTO.

PLAZO	7 A 15 AÑOS	
TASA DE INTERES		20%
CAPITAL FINANCIADO	20 AL 100% DE LA INVERSION	

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.

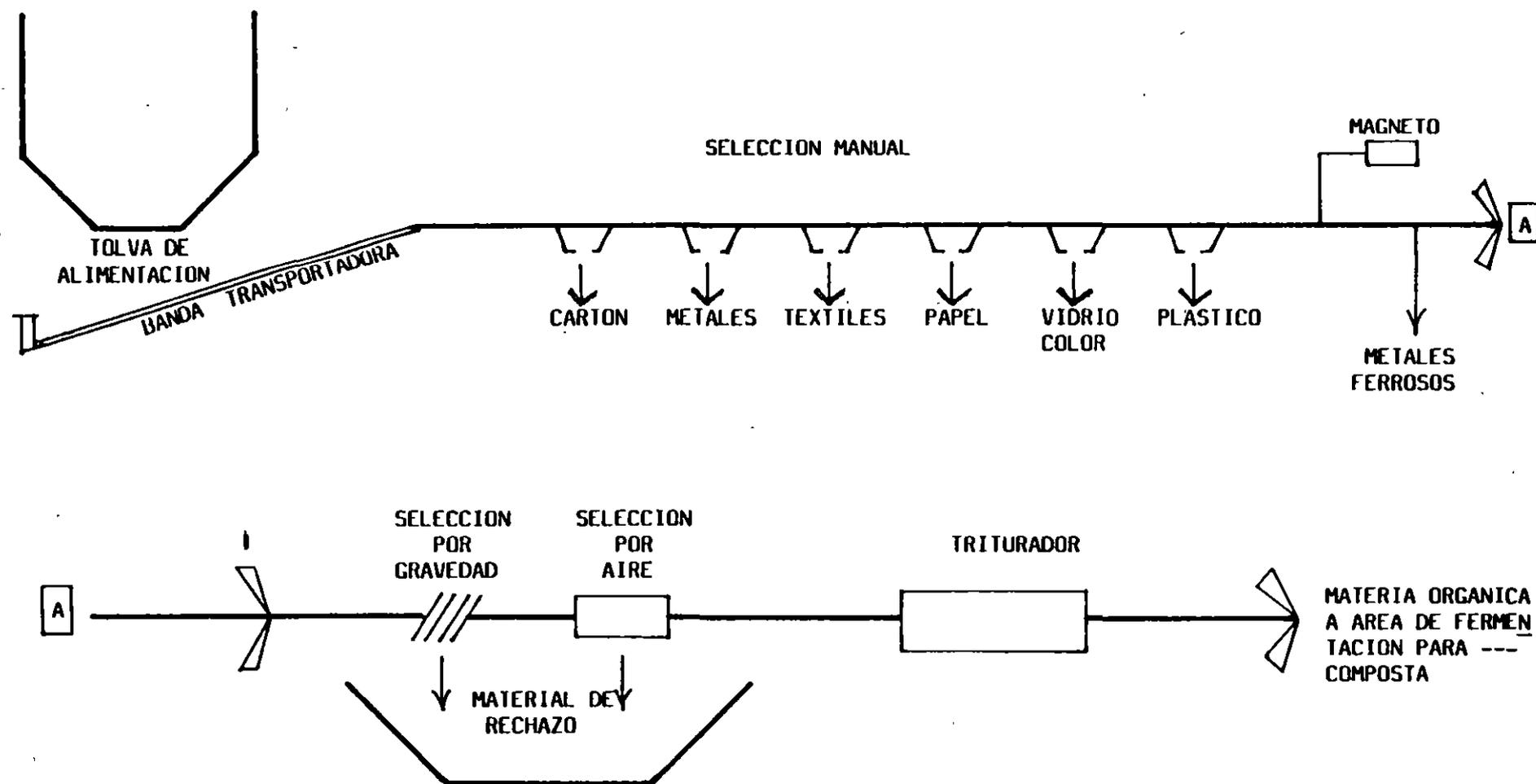
El análisis de inversión se hizo con el criterio de tasa interna de retorno en un período igual a la vida útil del proyecto a 15 años y no se consideró un valor de rescate.

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 consideraron porcentajes de 20, 40, 80 y 100% a una tasa de interés del 20% anual y plazos 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



45

CUADRO 16 ESTIMACION DE LA TIR

CAPACIDAD DE LA PLANTA 200 TON/DIA
 VALOR DE LA INVERSION 10,522 MILL. \$
 CAPITAL CONTABLE 2,104 MILL. \$
 PASIVO 8,418 MILL. \$
 VALOR DE LA BASURA 83,877 \$/TN
 FINANCIAMIENTO 80 %
 OTRAS FUENTES 20 %
 TASA DE INTERES 20 % ANUAL
 PLAZO DE AMORTIZACION 15 AÑOS

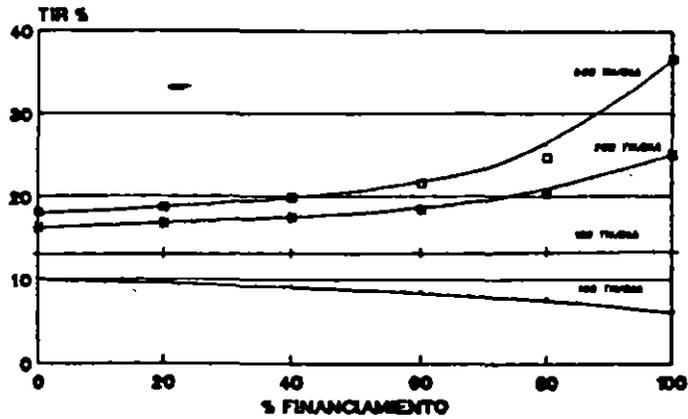
AÑOS	INTERES	PAGO AL PRINCIPAL	FEAI	DEPRECIACION	INGRESO GRAVABLE	PAGO DE IMPUESTO	FEDI
0	0		-2104				(2,104)
1	1,584	117	2,689	589	416	164	736
2	1,660	140	2,689	589	440	163	726
3	1,609	191	2,689	589	491	182	707
4	1,576	224	2,689	589	524	194	695
5	1,536	264	2,689	589	564	209	680
6	1,489	312	2,689	589	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	452
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

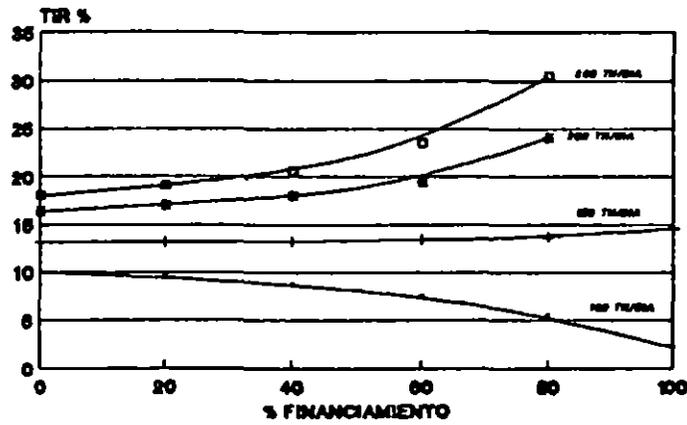
FDAI - FLUJO DE EFECTIVO ANTES DE IMPUESTO
 FEDI - FLUJO DE EFECTIVO DESPUES DE IMPUESTO
 ARCHIVO CUADRO14.WK1 SFSA ROJO

FIGURA NUM. 4

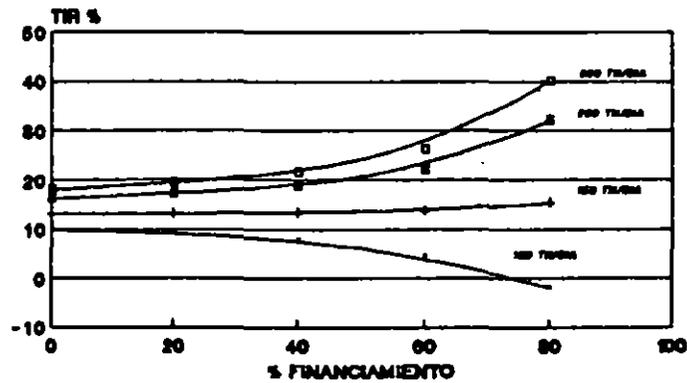
COMPORTAMIENTO DE LA TIR
CON FINANCIAMIENTO PARCIAL
PLAZO DE AMORTIZACION 7 AÑOS



PLAZO DE AMORTIZACION 10 AÑOS



PLAZO DE AMORTIZACION 15 AÑOS



VIDA UTIL DEL PROYECTO 15 AÑOS
TASA DE INTERES 20 %
VALOR DE LA BASURA 83877 \$/TN

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 N\$/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.

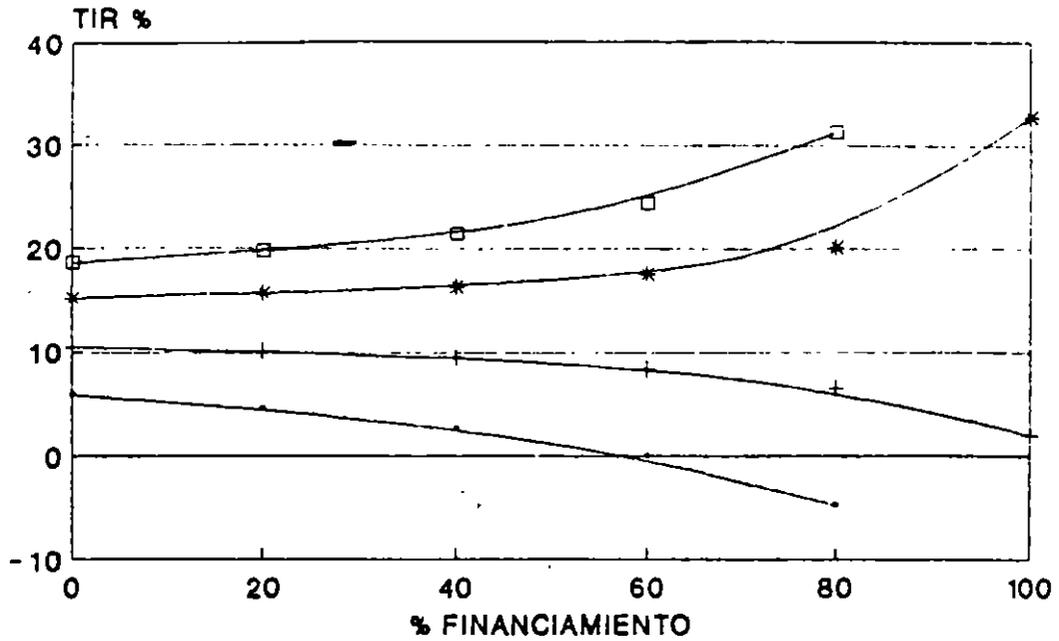
La separación de la basura en la fuente generadora permite una mayor recuperación de subproductos. Además, de poder comercializarse a un mejor precio por ser basura limpia.

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.

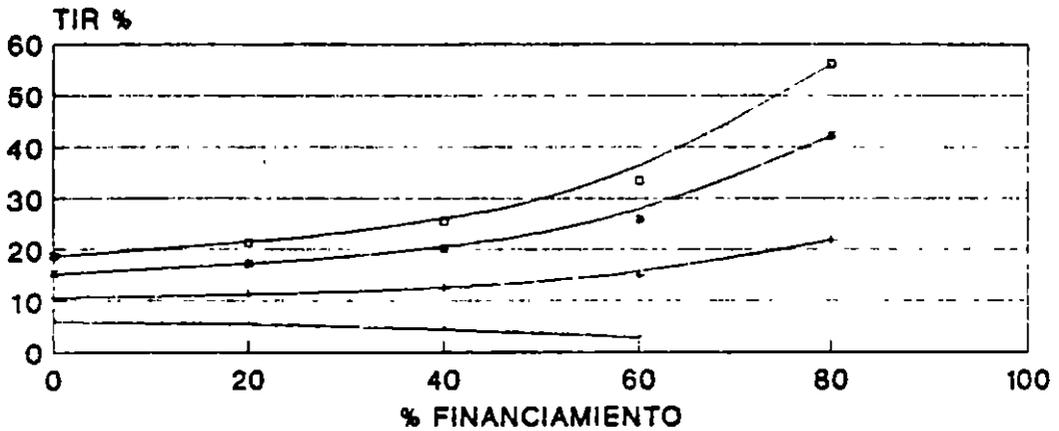
Los requerimientos de inversión consideradas para el reciclaje de la basura inorgánica representan del orden del 55% de los costos de inversión de una planta de tratamiento. Respecto a los costos de operación, únicamente se modificarían los conceptos de energía eléctrica (85%) combustibles (70%). Como no hay elaboración de composta el precio de la basura varía de 64,877 a 66,321 N\$/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 12% 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 15 AÑOS
 TASA DE INTERES 20 %
 VALOR DE LA BASURA 64877 \$/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 pepena, 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 12 Tn. de estiércol y únicamente de 10 a 14 Tn de composta, el costo de ambos productos son de 29. \$/Ton. y 65. \$/Ton respectivamente, por lo que puede establecerse una competitividad entre ambos, lo anterior conlleva a convencer 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 prácticamente 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.

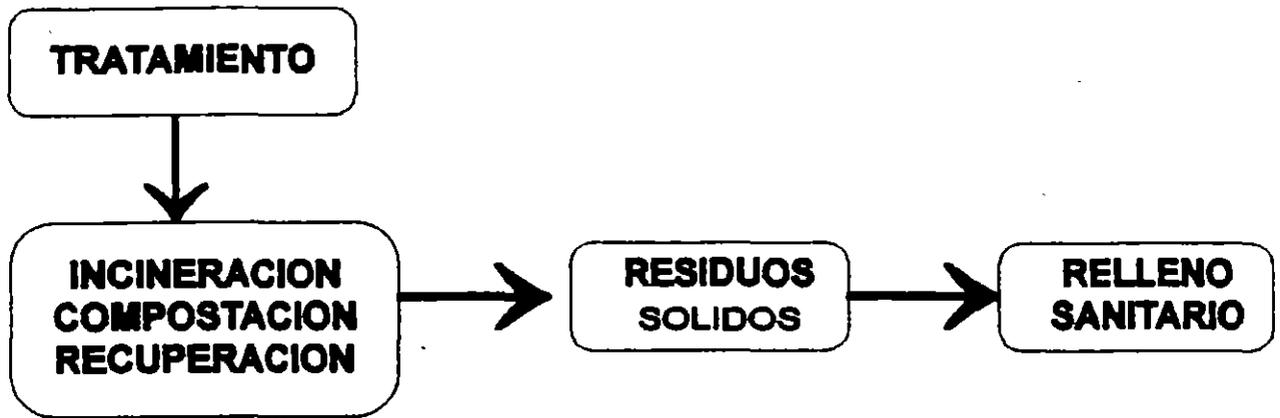
Existen a grandes resgos cinco diferentes perfiles de terreno que por sus características se prestan para la construcción y operación del relleno sanitario y por su topografía se casifican en :

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

COMPOSTACION

RESIDUO INERTE
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.

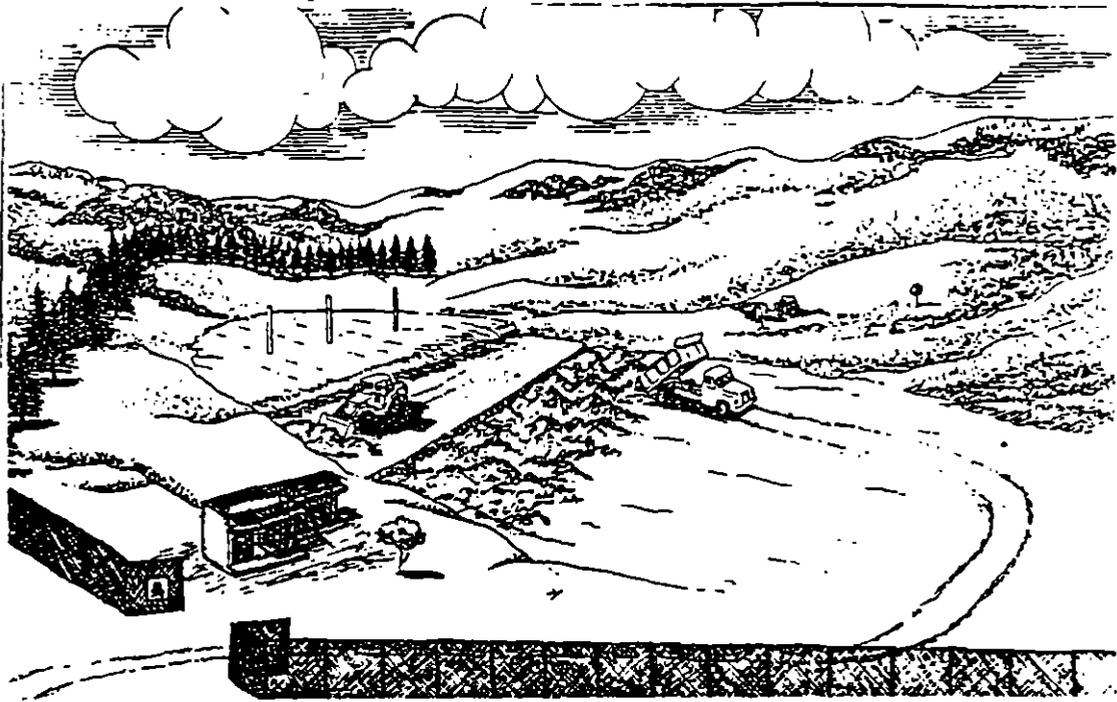
c) Método combinado

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.

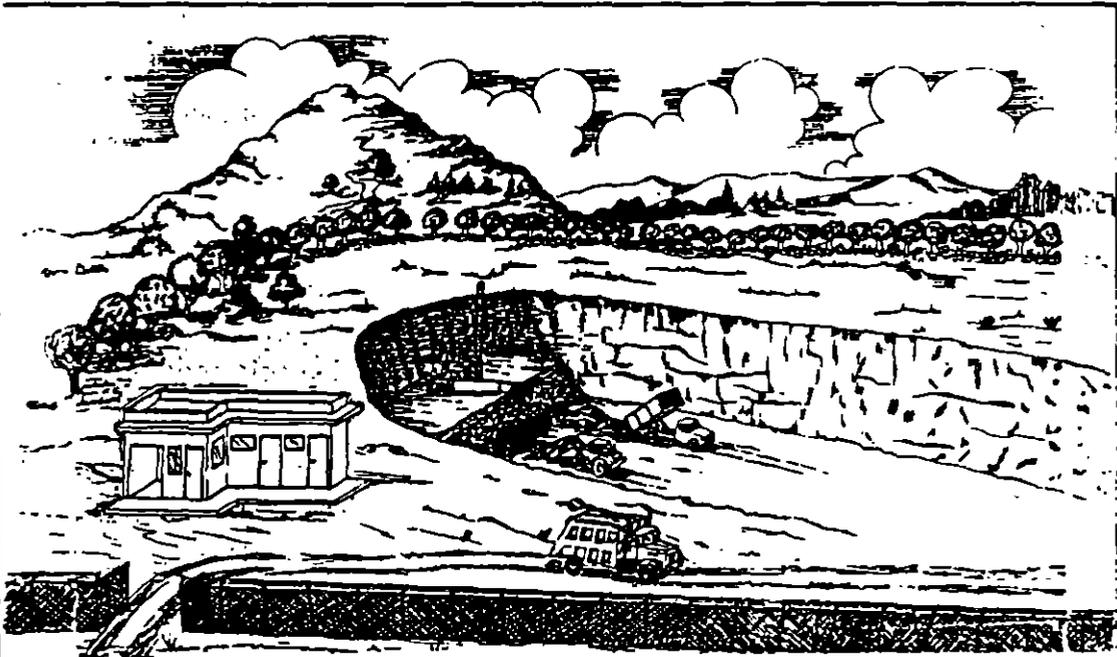
Otra variación del método combinado, consiste en iniciar con el método de área, excavando el material de cubierta de la base de la rampa, formándose una trinchera, la cual servirá también para ser rellenadas.

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 CERCAÑO**
- * 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

SEDUE. Re llenar Sanitarios

TABLA DE VALORES PARA LA SELECCION DE UN SITIO

CONCEPTOS	VALORES	EXCELENTE 1.000	BUENA 0.850	REGULAR 0.700
VIDA UTIL	1.000	1.000	0.850	0.700
TIERRA DE COBERTURA	0.700	0.700	0.595	0.490
TOPOGRAFIA	0.200	0.200	0.170	0.140
VIAS DE ACCESO	0.250	0.250	0.212	0.175
VIENTOS DOMINANTES	0.050	0.050	0.042	0.035
UBICACION DEL SITIO	0.400	0.400	0.340	0.280
GEOLOGIA	0.400	0.400	0.340	0.280
GEOHIDROLOGIA	0.400	0.400	0.340	0.280
HIDRO.SUPERFICIAL	0.300	0.300	0.255	0.210
TENENCIA DE LA TIERRA	0.700	0.700	0.595	0.490
TOTAL	4.400	4.400	3.739	3.080

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 ³ / seg
A	Area, en cm ²
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_s Volumen del sitio, en m^3 .
- 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	$(1+0.02)^1$	102,000
3	100,000	$(1+0.02)^2$	104,040
.			.
.			.
.			.
15	100.000	$(1+0.02)^{14}$	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/m³.

Si la densidad es 600 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
85.3	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 recomendado es 1: 3.

En los métodos de trinchera existe únicamente 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/m³ de compactación:

Altura de celda	2.65m
Ancho	8m.
Longitud	4.16m.
Area	33m ²
Volumen de la celda /ha.	300
Volumen de Residuos Sólidos	83M ³ /DÍA
Volumen de Material de Cubierta	24M ³ /DÍA(MÉTODO DE ÁREA)
	14M ³ /DÍA(MÉTODO TRINCHERA)

$$\text{Volumen de la zanja} \quad V_z = \frac{T \cdot D S_r \cdot M C}{D}$$

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 _{exc}	Tiempo de maquinaria para la excavación de la zanja (días)
V _z	Volumen de la zanja en m.
R	Rendimiento de excavación del equipo (m ³ /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 Área del terreno (m²)
F Factor para áreas adicionales (20 a 40 %)
Az Área de la zanja (m²)

$$VU = t \cdot n / 365 \text{ días}$$

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 m³/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/m³

$$V_z = \frac{(90)(48230)(1.2)}{600} = 8681 \text{ m}^3$$

Lo anterior representa que para depositar la basura de un día se requiere excavar 8681 m³/90 días = 96.5 m³/día

Dimensiones de la zanja

h = 2.65m
a = 8.0m
V = 8681 m³
l = 8681 / (2.65)(8.0) = 409m

Área = (409)(8) = 3272 m²
Área total = A(1.3) factor de aumento

Area total = 4253m²

Tiempo de maquinaria

J = 8hr/día

T_{exc} = 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 = 96.5m³

h = 2.65m

Ac= 96.5/2.65=36m²

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/m³
- i Infiltración en m/m² de relleno-año, 0.01 a 1.8

11. DRENAJE DEL LIQUIDO PERCOLADO

El manejo de liquido 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:

$$Q_p = K_i A / 3.6 \times 10^6$$

Donde:

- Q_p Caudal aportado, m³/seg.
- K Coeficiente de escurrimiento
- i Intensidad de la lluvia, para una duración igual a t_c, mm/hr
- A Área de la cuenca, m²
- t_c 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

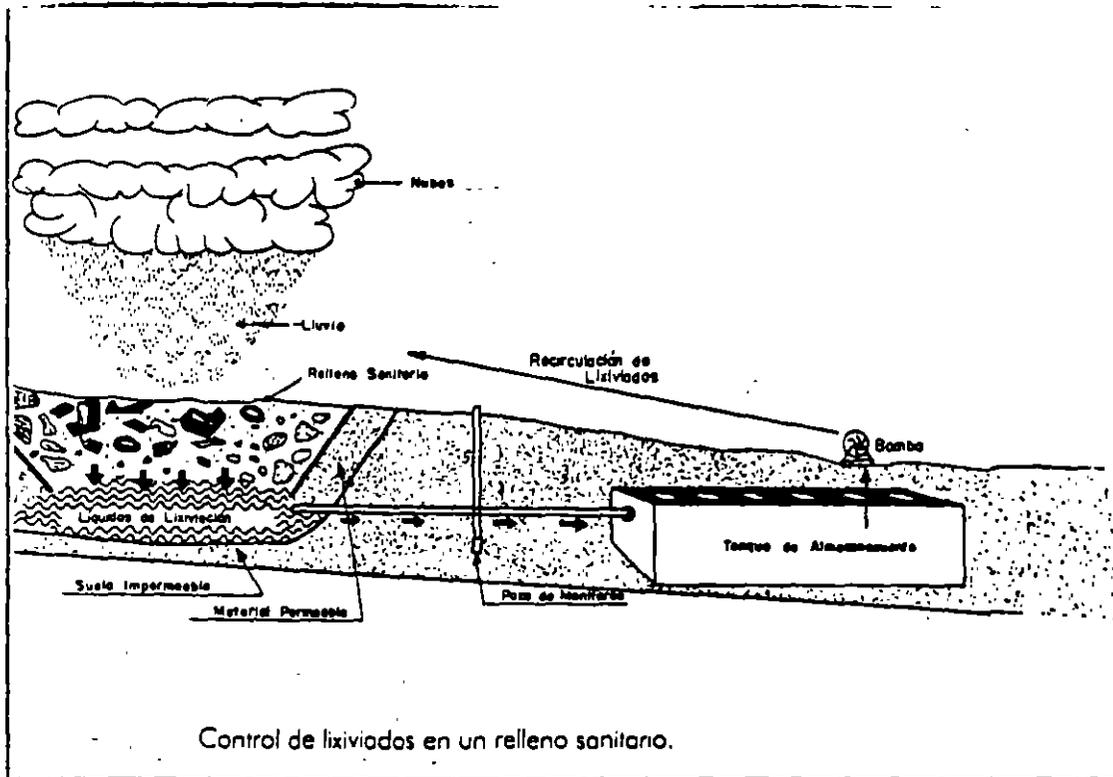
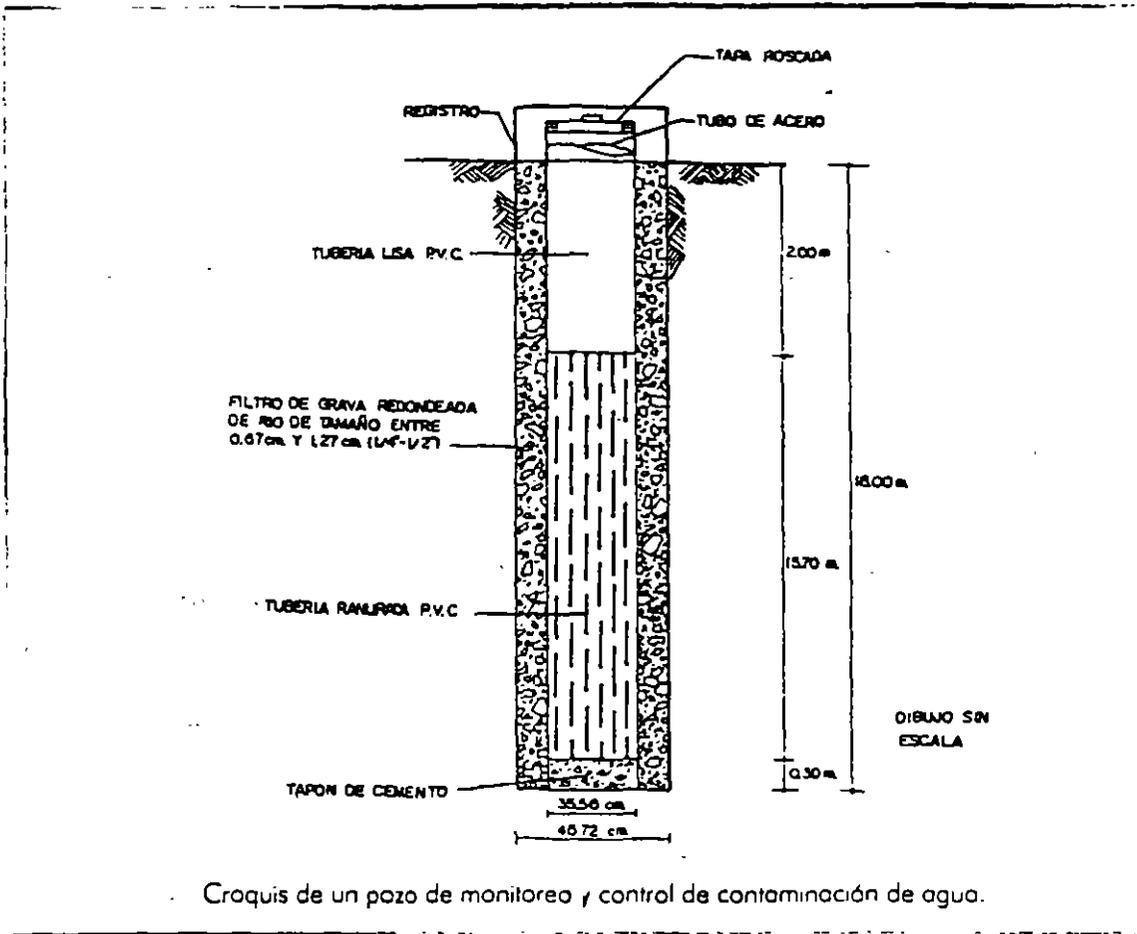
COMPONENTE	AMBITO(MG/L Ó PPM)
1. ALCALINIDAD TOTAL COMO CaCO ₃	4000 - 26540
2. ARSENICO	0.04
3. CADMIO	0 - 0.026
4. CALCIO	100 - 320
5. CIANUROS	0
6. CINC	0.25 - 3.0
7. CLORUROS	1325 - 8870
8. COBRE	0 - 0.6
9. CONDUCTANCIA ESPECIFICA	7400 - 32000 (μOHMS/CM)
10. CROMO TOTAL	0 - 8.7
11. DBO ₅	380 - 52000
12. DQO	1870 - 62320
13. DUREZA TOTAL	1800 - 11000
14. FLUORUROS	0.8 - 0.8
15. FOSFORO TOTAL	1 - 10
16. HIERRO TOTAL	1.7 - 1600
17. MAGNESIO	396 - 996
18. MANGANESO	0.05 - 4.0
19. MERCURIO	0 - 0.008
20. NITRATOS	0
21. NITRITOS	0.2 - 1.2
22. NITROGENO AMONIACAL	15.5 - 1420
23. NITROGENO ORGANICO	46 - 1889
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 - 16460
29. SODIO	490 - 4920
30. SULFATOS	40 - 1000
31. FENOL	0.8 - 18
32. DETERGENTES (SAAM)	0.7 - 233
33. TURBIEDAD	128 - 1500 (UNT)

FUENTE: GONZALEZ URDELA J. LORENZO
 MONITOREO AMBIENTAL EN RELLENAMIENTO SANITARIO
 1ER. CONGRESO MUNDIAL DE INGENIERIA SANITARIA VOL. XXXVI
 ENERO-MARZO, 1982

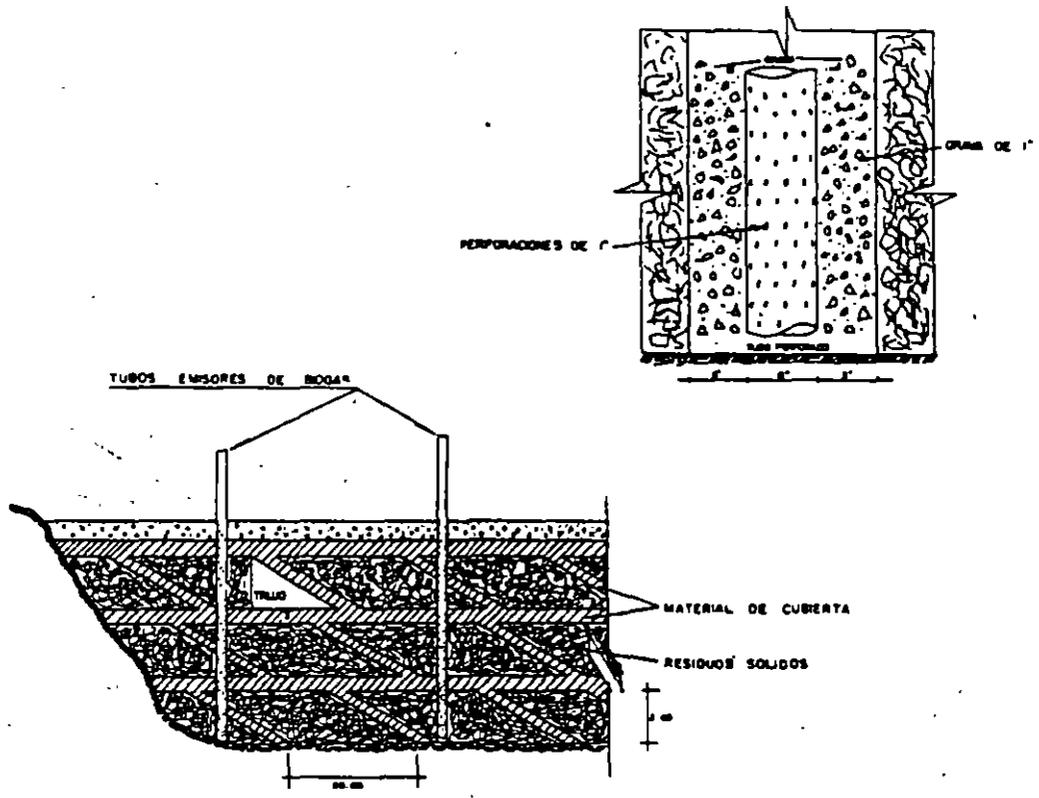
COMPOSICION DE LOS GASES PRODUCIDOS EN UN RELLENO

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	78	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

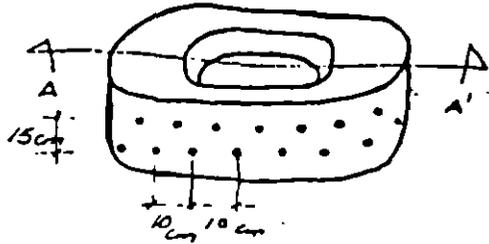


Idem 1.



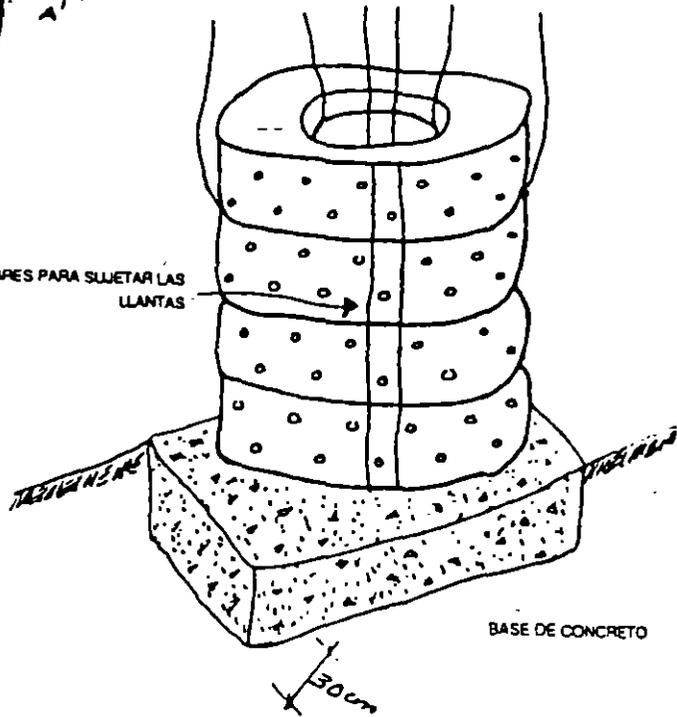
Detalle y colocación de los tubos emisores de biogas.

Idem 1



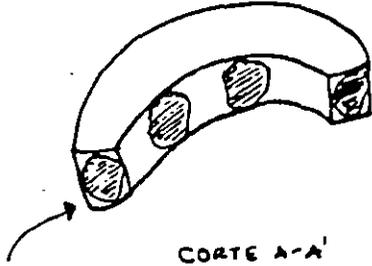
PERFORACION DE LLANTAS CON TALADRO O BERBIQUI

ALAMBRES PARA SUJETAR LAS LLANTAS



BASE DE CONCRETO

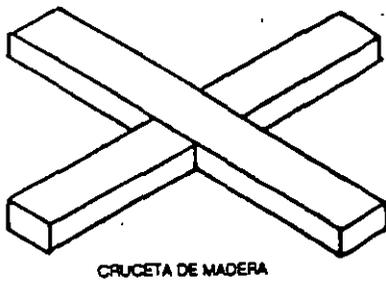
30 cm



CORTE A-A'

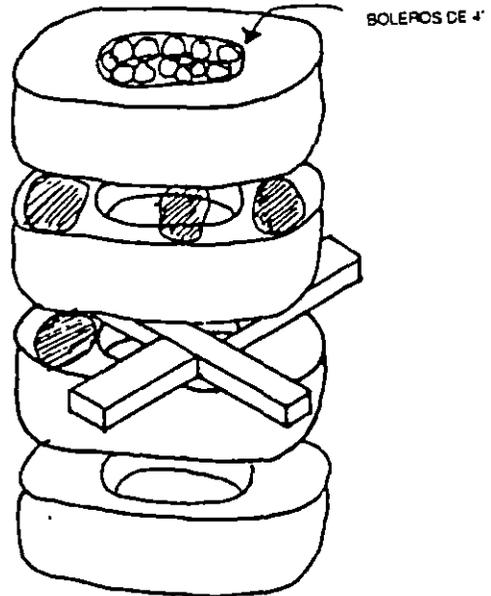
PIEDRAS GRANDES O BOLEROS ENTRE LAS LLANTAS PARA EVITAR QUE SE APLASTEN LAS PERFORACIONES

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



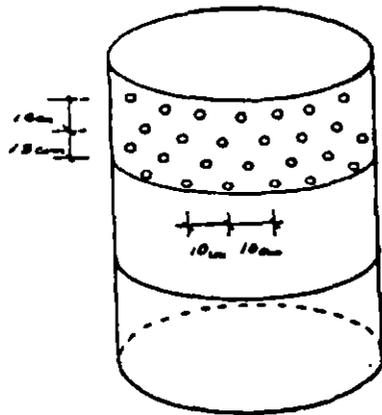
BOLEROS DE 4

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 MUECOS ENTRE LAS LLANTAS

Tubos emisores contruidos con llantas usadas.

IGUALMENTE SE FUARA CON UNA BASE DE CONCRETO

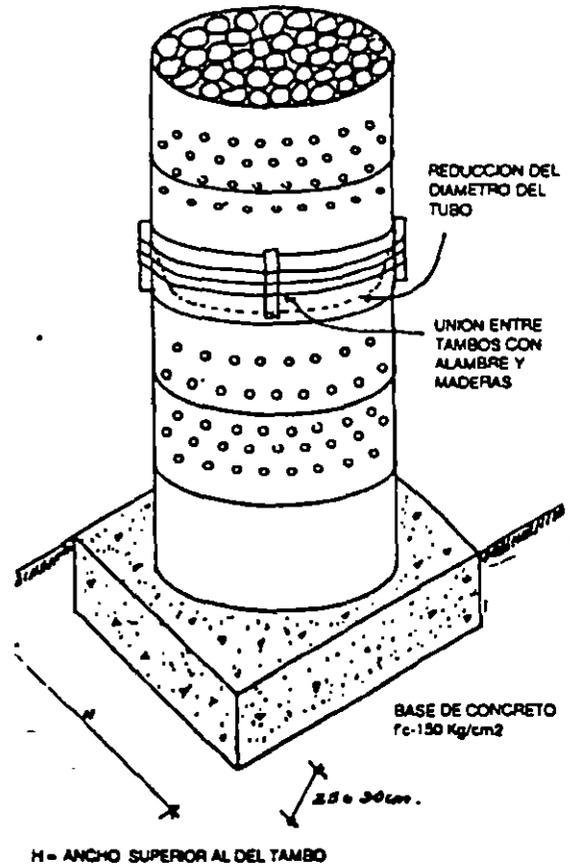
Idem 1



TAMBO DE 200 LTS.
DESFUNDADO

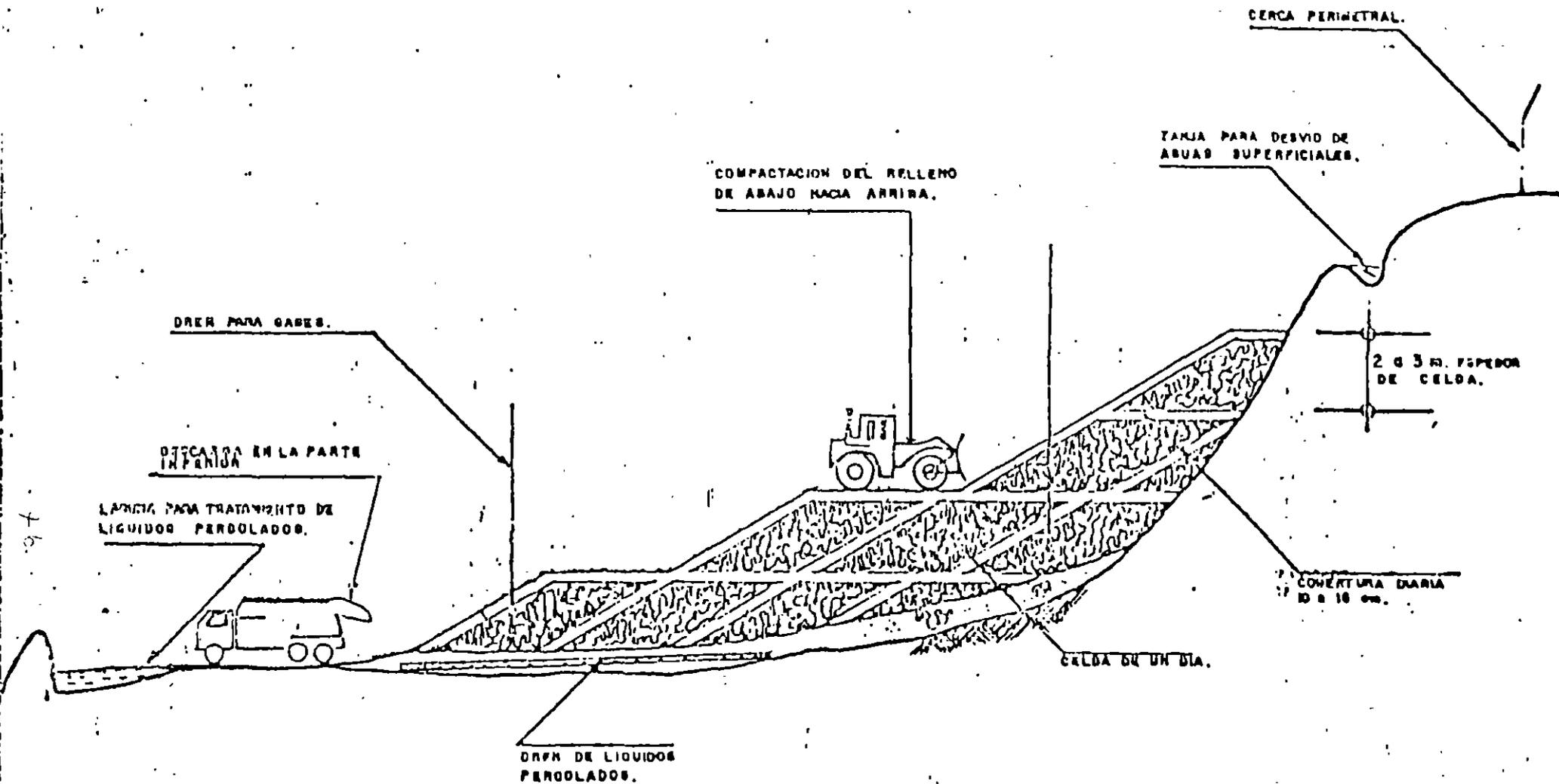
PERFORACIONES CON TALADRO O
SERBECUM 1/2"

GRAVA O BOLEROS DE 4"
DIAMETRO LIBRE DE ARCILLA



1. Tubos emisores contruidos con tambos vacíos.

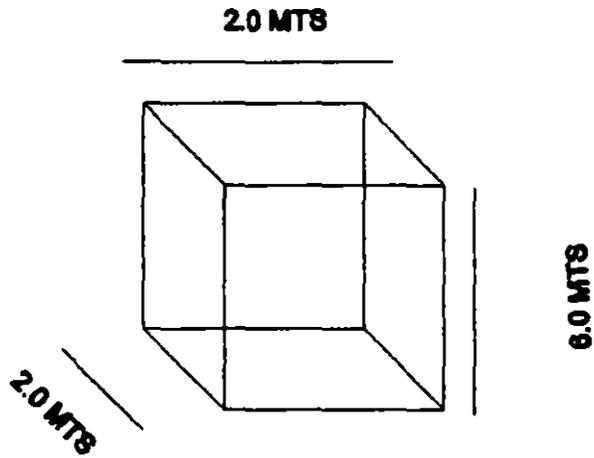
Idem 1.

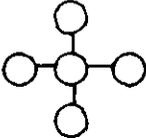
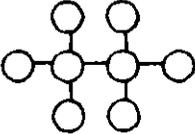
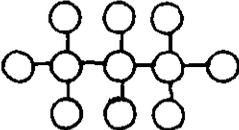


RELLENO SANITARIO

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 :

$$\frac{CB}{MP} \times EOM$$

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/m³). 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

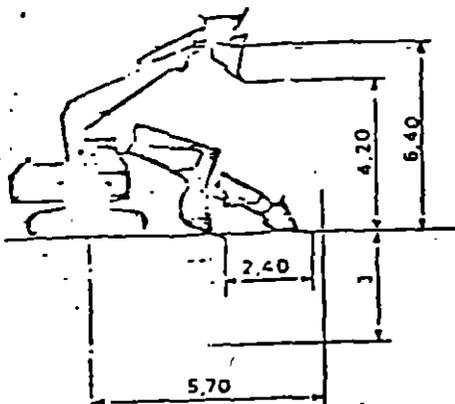
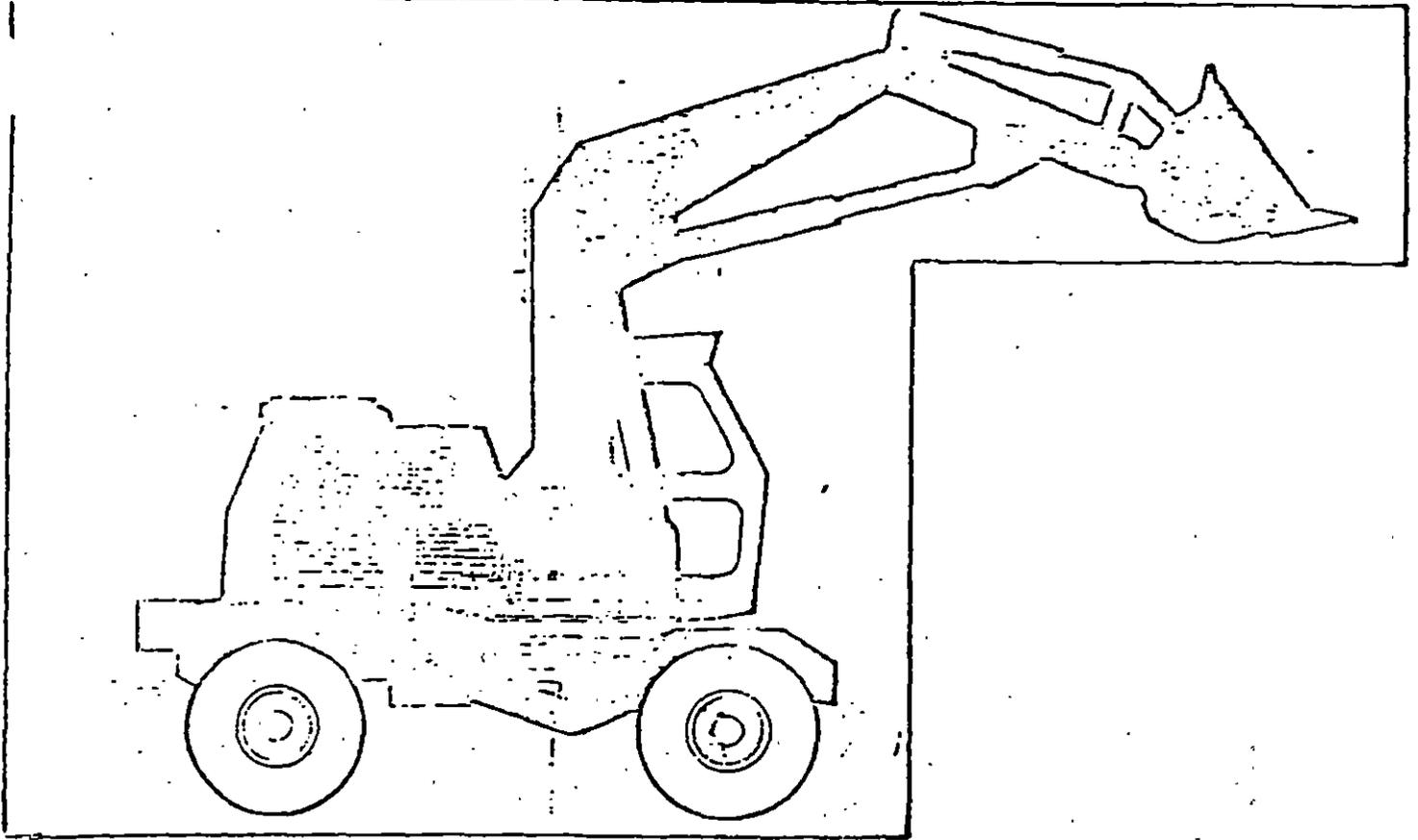
Esta maquinaria es versátil y rápida para el desmenuzamiento y reciclaje; puede cargar material de cobertura, acarrear los desechos y realizar trabajos de limpieza.

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 maquina 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

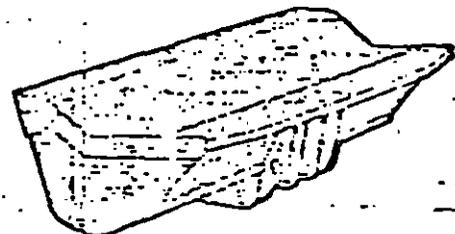
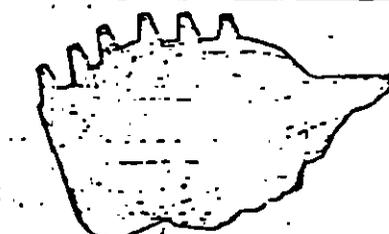
Cargador de Cadenas

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.



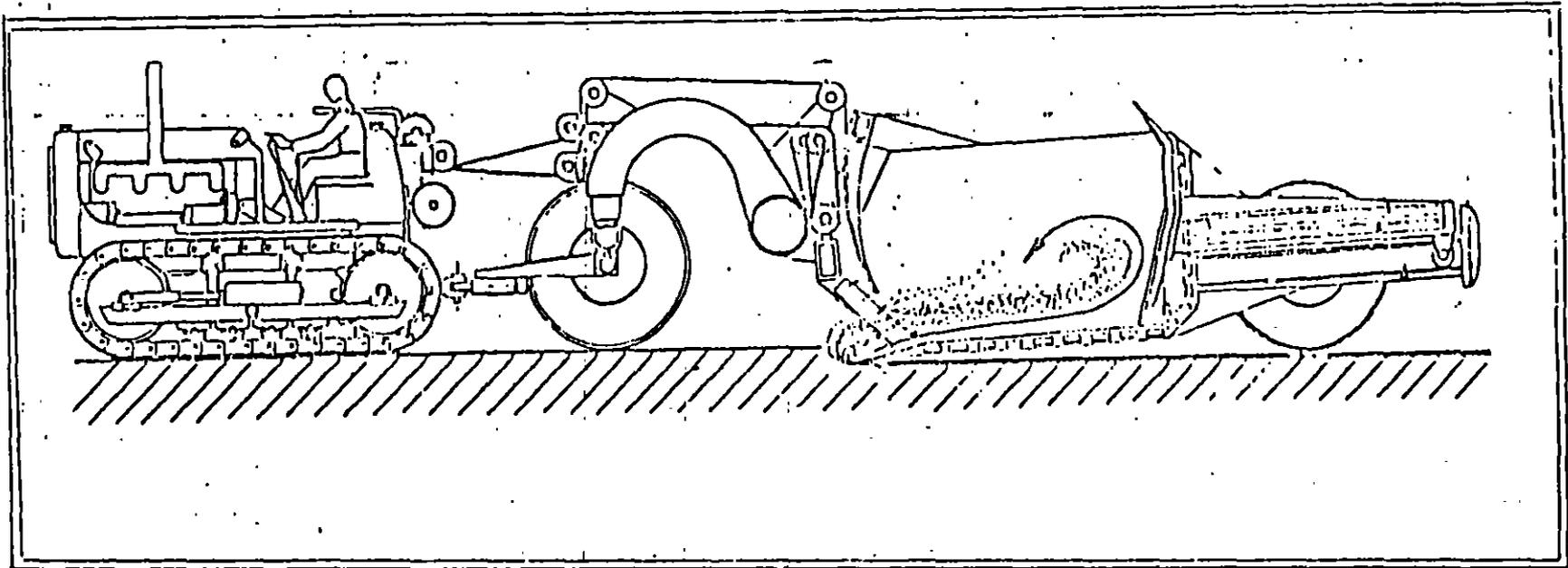
Recorrido al ras del suelo : 2,40 m.
 Altura de descargue : 5,40 m.
 Alcance desde eje giro : 5,70 m



GAMA DE CUCHARAS CARGADOR

simbolo	ancho	cuchilla d'ella	capacidad
* 100 034	1.100	4 dientes	430 l. (9 / 16 y ³)
* 100 035	1.300	6 dientes	520 l. (11 / 16 y ³)
* 100 037	1.500		850 l. (11 / 8 y ³)

CUCHARON CARGADOR FRONTAL



TRAILLAS

SELECCION DE EQUIPO

POBLACION	TON/DIA	MAQUINARIA
0 - 20000	0 - 45	D3; 931; 936 LFC
20000 - 60000	45 - 136	D4; 943; 518LFC; 936LFC
60000 - 100000	136 - 227	D5; D6; 953 Y 518LFC
100000 - 140000	227 - 318	D6; D7; 936 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. Carterpillar.

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 aproximadamenre 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 aproxcimador 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 movil, 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.

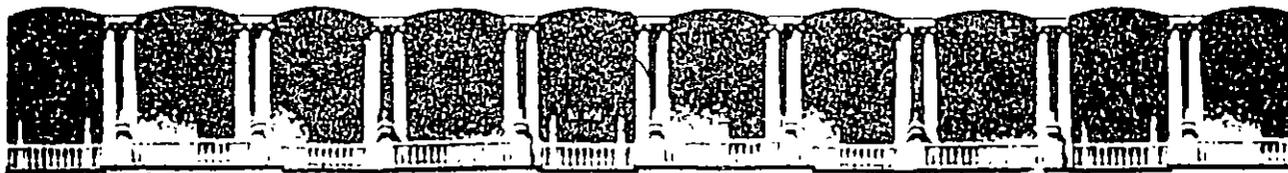
En caso de existir financiamiento para la inversión, es necesario incluir los interese que se generen por dicho financiamiento.

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 Solidos de la EPA; Simposio sobre Ambiente, Salud y Desarrollo en las Américas OPS/QMS, 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 1o. 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

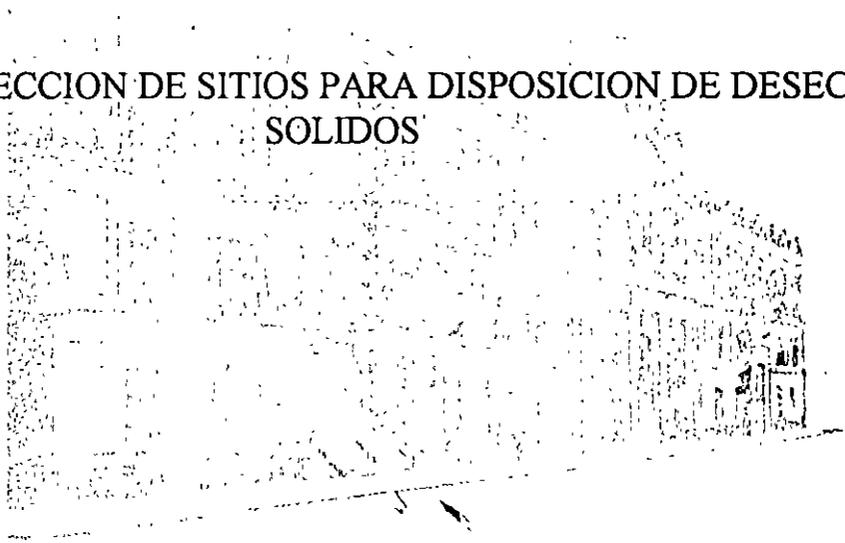


**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**VIII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE
ACUIFEROS**

MODULO II CONTAMINACION DE ACUIFEROS

**TEMA: SELECCION DE SITIOS PARA DISPOSICION DE DESECHOS
SOLIDOS**



ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES

1996

SELECCION DE SITIOS PARA DISPOSICION DE DESECHOS SOLIDOS

- DISTANCIA
- ZONAS HABITADAS, ESCUELAS
- DIRECCION DE LOS VIENTOS
- VIAS DE ACCESO
- SUBSUELO (ACUIFEROS)

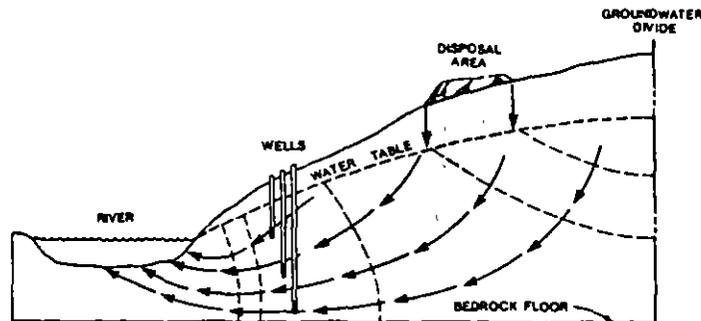


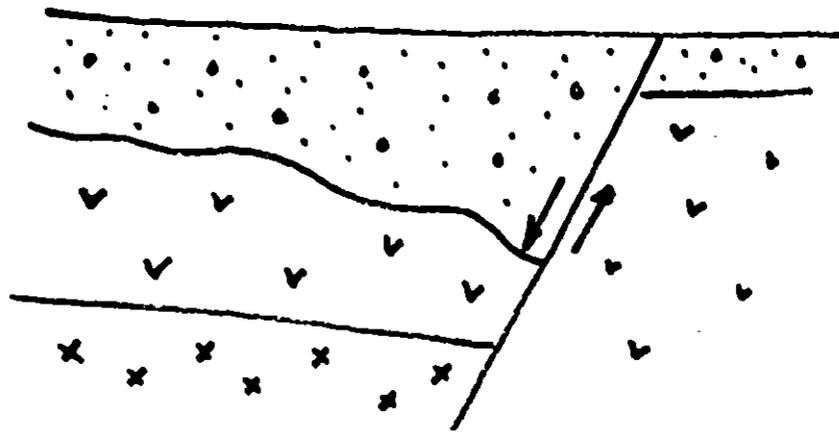
Figure 3-41. Relationship of screened zones to measuring the movement of contaminants in a regional flow system (adapted from Miller, USEPA, 1977).

ESTUDIOS PRELIMINARES DEL SUBSUELO

- 1.- MARCO GEOLOGICO
- 2.- GEOHIDROLOGIA
- 3.- LIXIVIADOS
- 4.- MODELACION

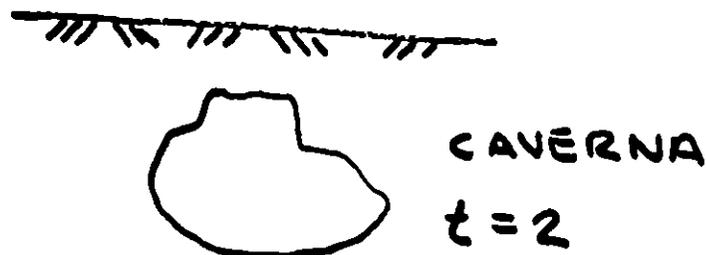
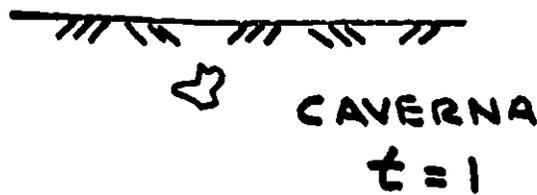
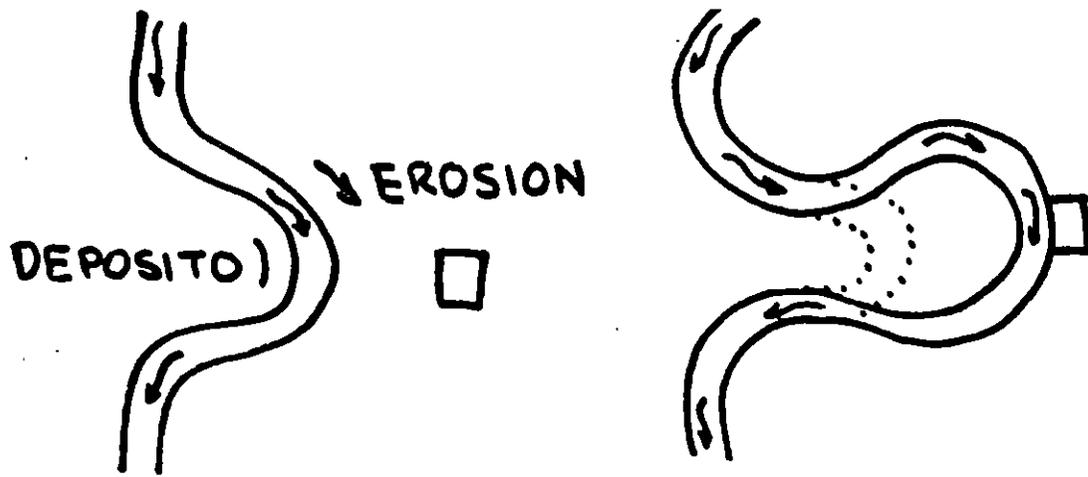
1.- MARCO GEOLOGICO

- GEOLOGIA DEL SUBSUELO
- SEDIMENTOLOGIA
- GEOLOGIA ESTRUCTURAL
- CORTES LITOLOGICOS
- GEOFISICA



MOVIMIENTOS PROPIOS DE LA CORTEZA TERRESTRE

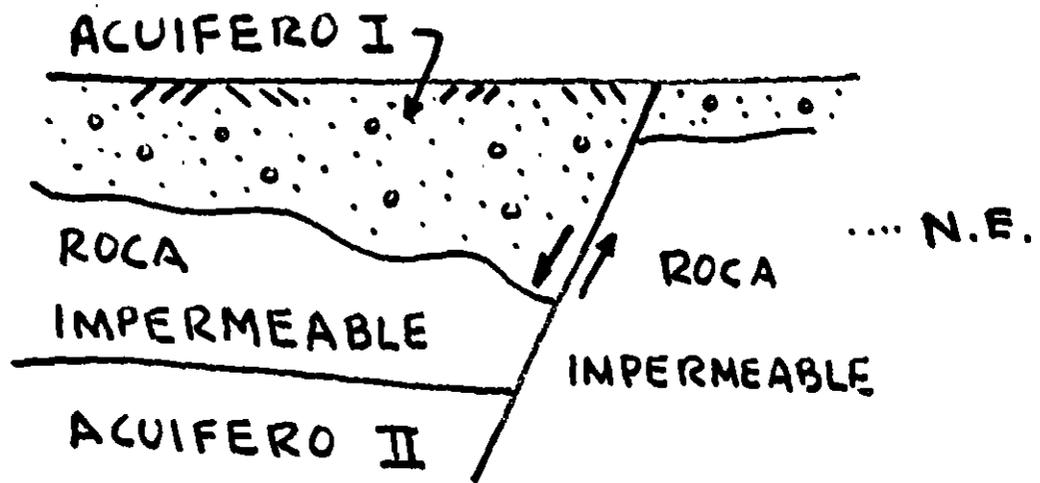
- SISMOS
- FALLAS ACTIVAS
- VULCANISMO
- EROSION
- MOVIMIENTOS DE TIERRA



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

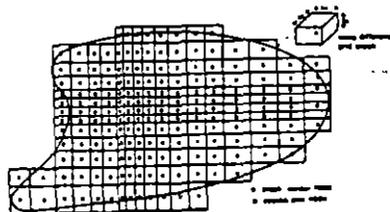
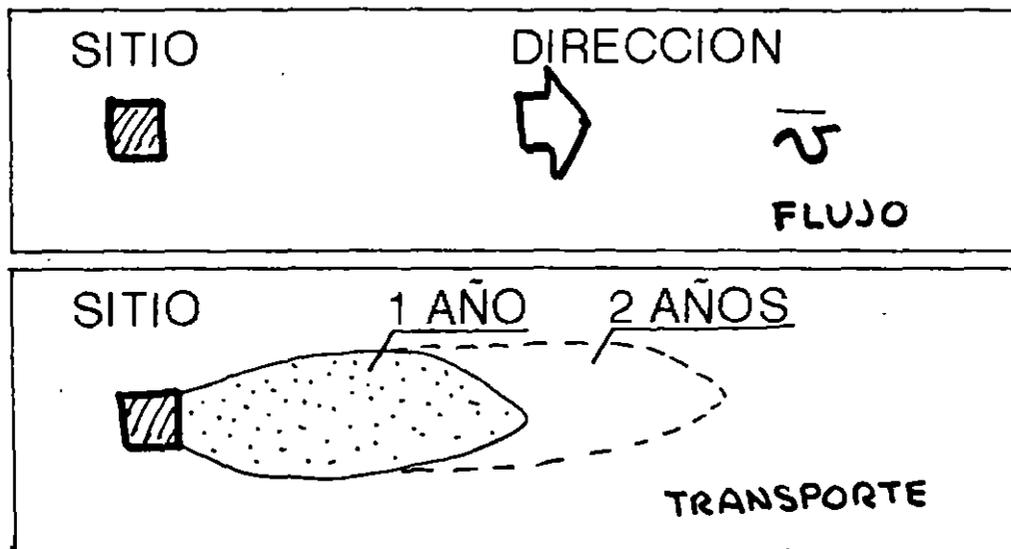
3.- MONITOREO

- 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 57

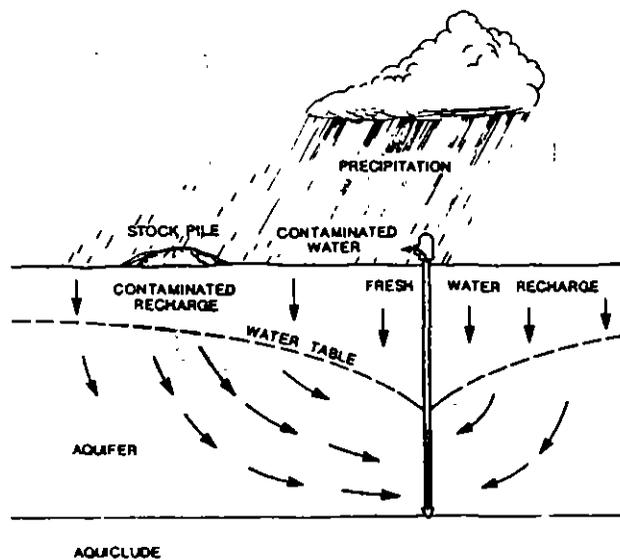


Figure 3-42. Influence of pumping on plume migration (adapted from Deutsch, U.S.G.S. 1963).

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 CONOCERSE SU COMPORTAMIENTO FQB Y MOVIMIENTO

ALTERNATIVAS DE SANEAMIENTO.-

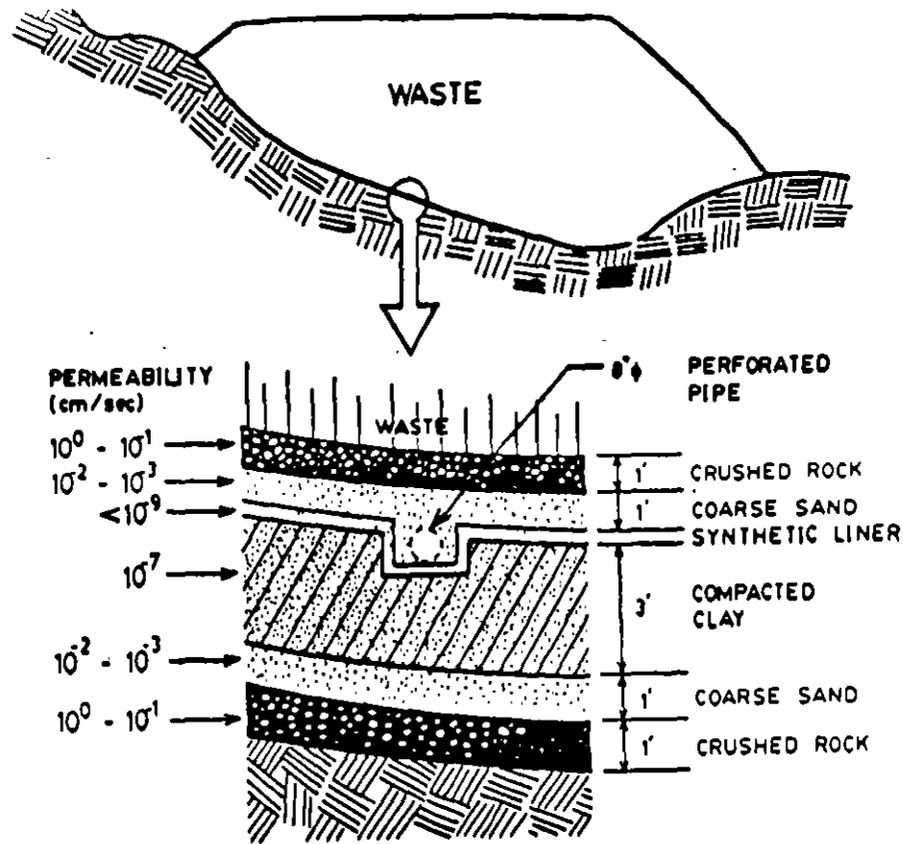


Figure 9-10. Typical landfill liner system.

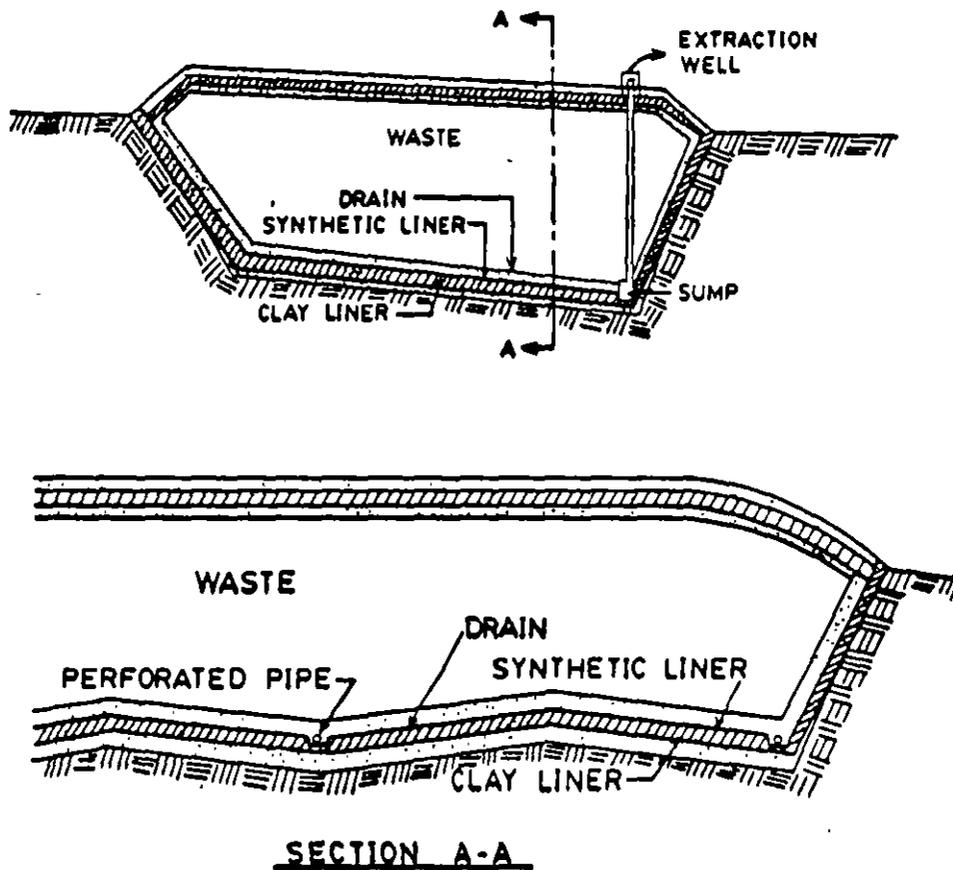


Figure 9-11. Schematic of hazardous waste landfill leachate collection system.

CONTROL OF SUBSURFACE MIGRATION

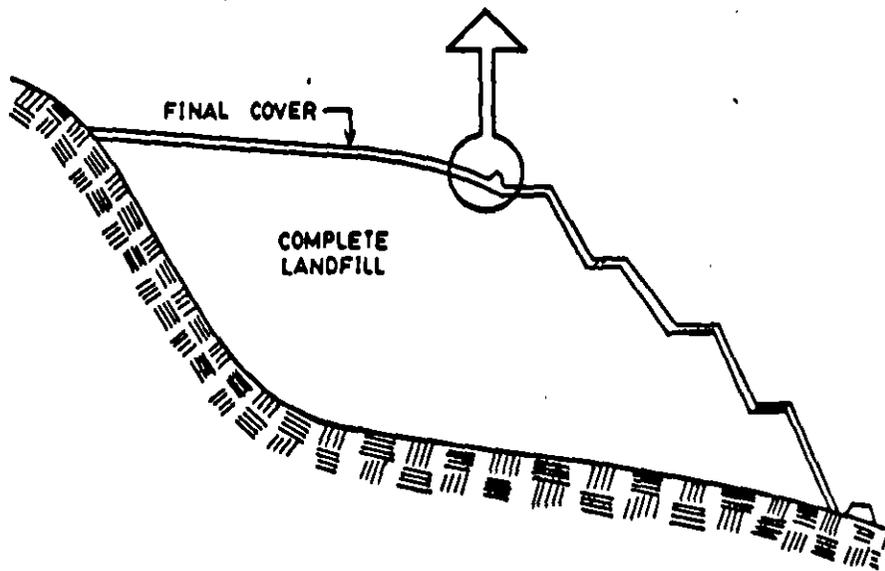
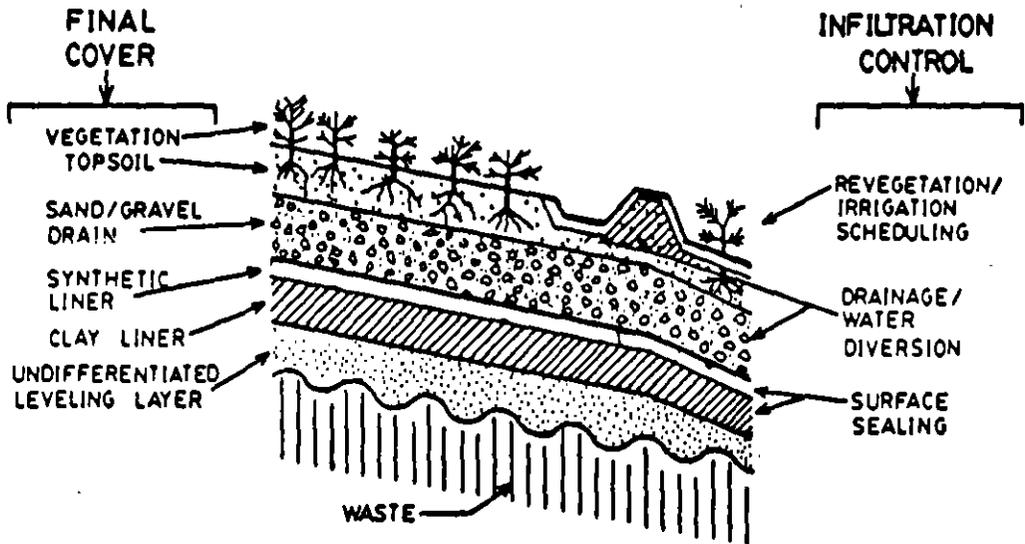
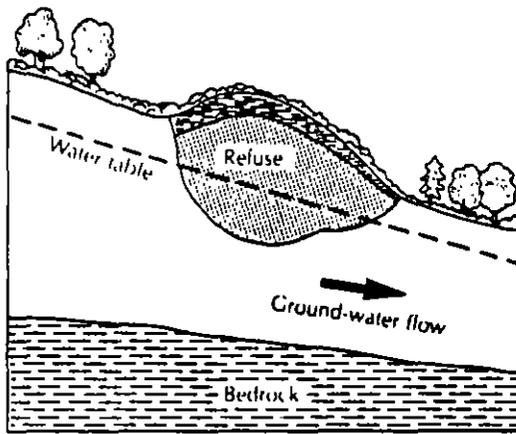
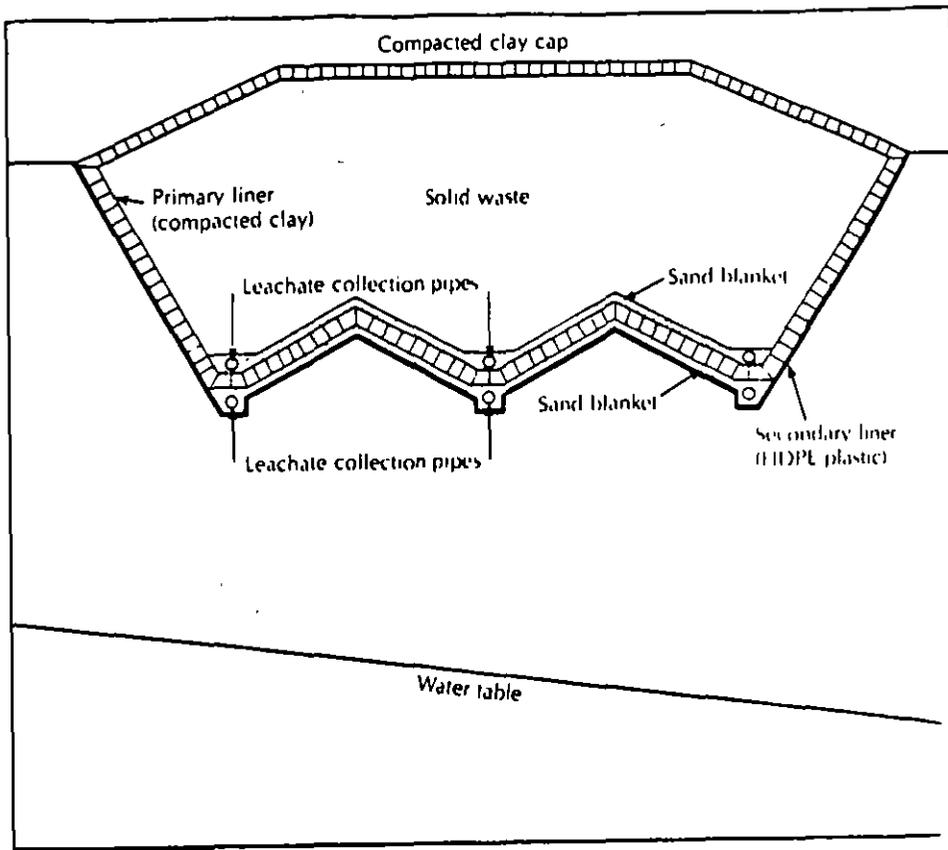
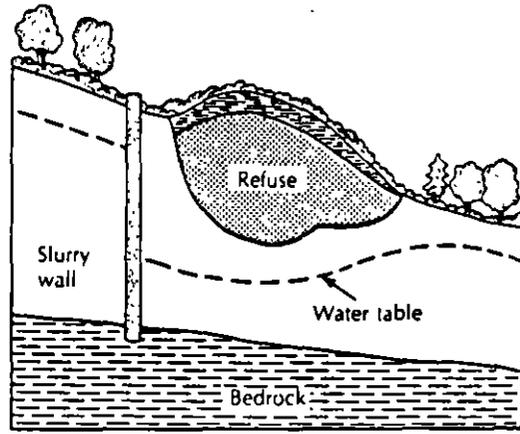


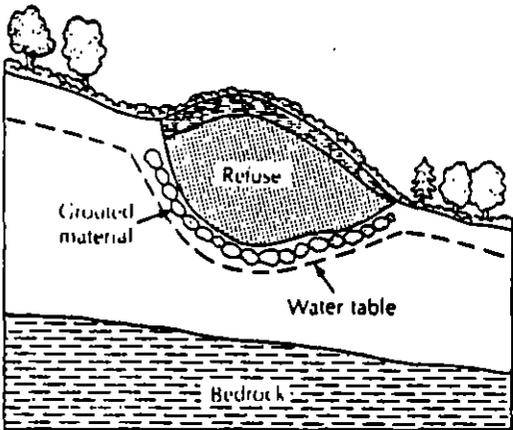
Figure 9-9. Infiltration control technologies.



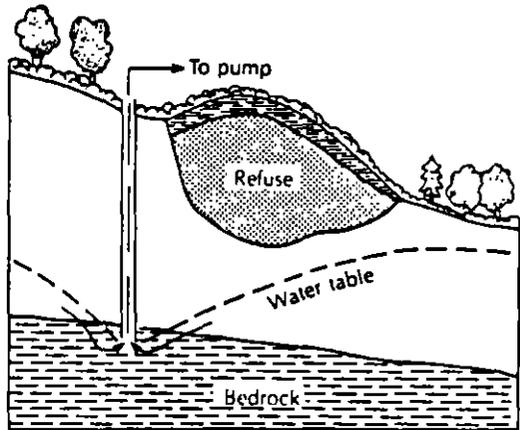
A No control measure



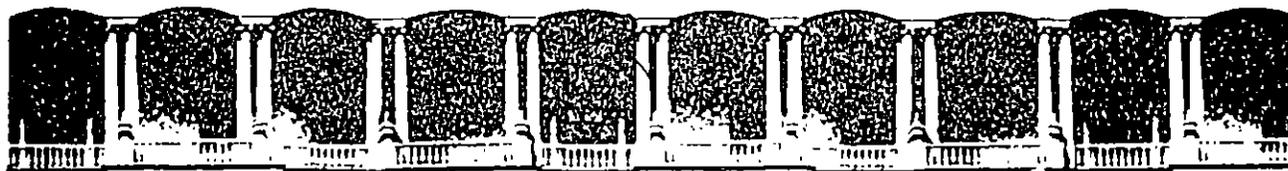
B Upgradient slurry wall to lower water table



C Injection of grout to form a seal on sides and bottom



D Gradient control well to lower water table

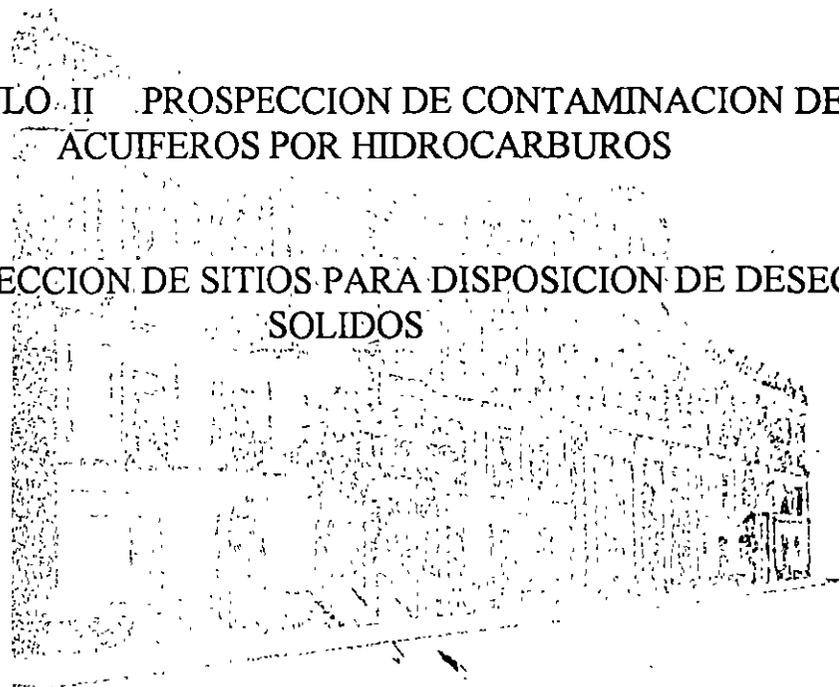


**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**VIII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE
ACUIFEROS**

**MODULO II PROSPECCION DE CONTAMINACION DE
ACUIFEROS POR HIDROCARBUROS**

**TEMA: SELECCION DE SITIOS PARA DISPOSICION DE DESECHOS
SOLIDOS**



ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES

1996

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 está constituido en sus aproximadamente 20 metros superiores, por arenas pumíticas (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.

CARACTERÍSTICAS 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 LNAPLS (Ligth-Nonaqueous 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 cancerigenos, 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 mapeo 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, O₂, CO₂ 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 (ADAPTADA POR PERRY Y MODIFICADA POR NYER 1993)

	VOLUMEN %		
	GASOLINA 1	GASOLINA 2	GASOLINA 3
ALCANOS			
n-PENTANO	0.33	0.44	1.12
n-HEXANO	6.44	7.76	9.15
n-HEPTANO	6.90	6.94	8.42
2-METILPENTANO	2.89	2.66	3.47
2,3-DIMETILHEXANO	0.22	1.30	2.39
CICLOALCANOS			
CICLOPENTANO	0.86	1.76	0.87
METILCICLOPENTANO	6.61	10.29	6.01
CICLOHEXANO	10.40	7.63	7.13
METILCICLOHEXANO	22.00	14.56	16.07
ETILCICLOPENTANO	2.03	4.38	2.34
TRIMENTILCICLOPENTANO	3.64	6.12	4.18
AROMATICOS			
BENCENO	3.27	2.22	3.61
TOLUENO	16.19	7.94	12.02

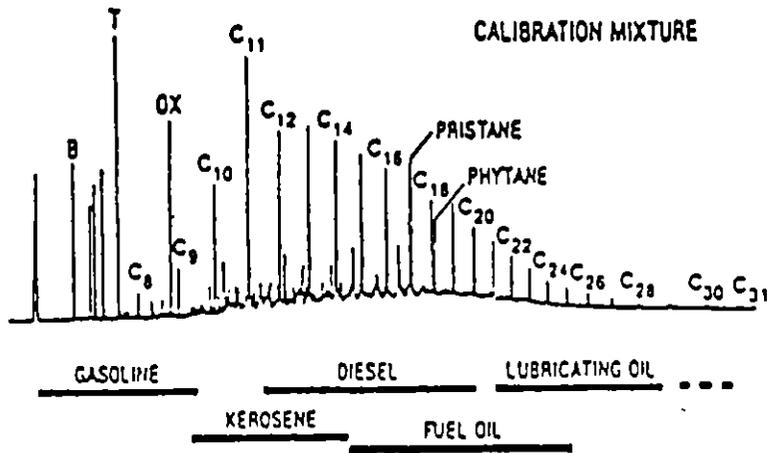


FIGURA 1. CROMATOGRAMA DE MEZCLA DE HIDROCARBUROS (MODIFICADA DE SENN AND JOHNSON, 1985)

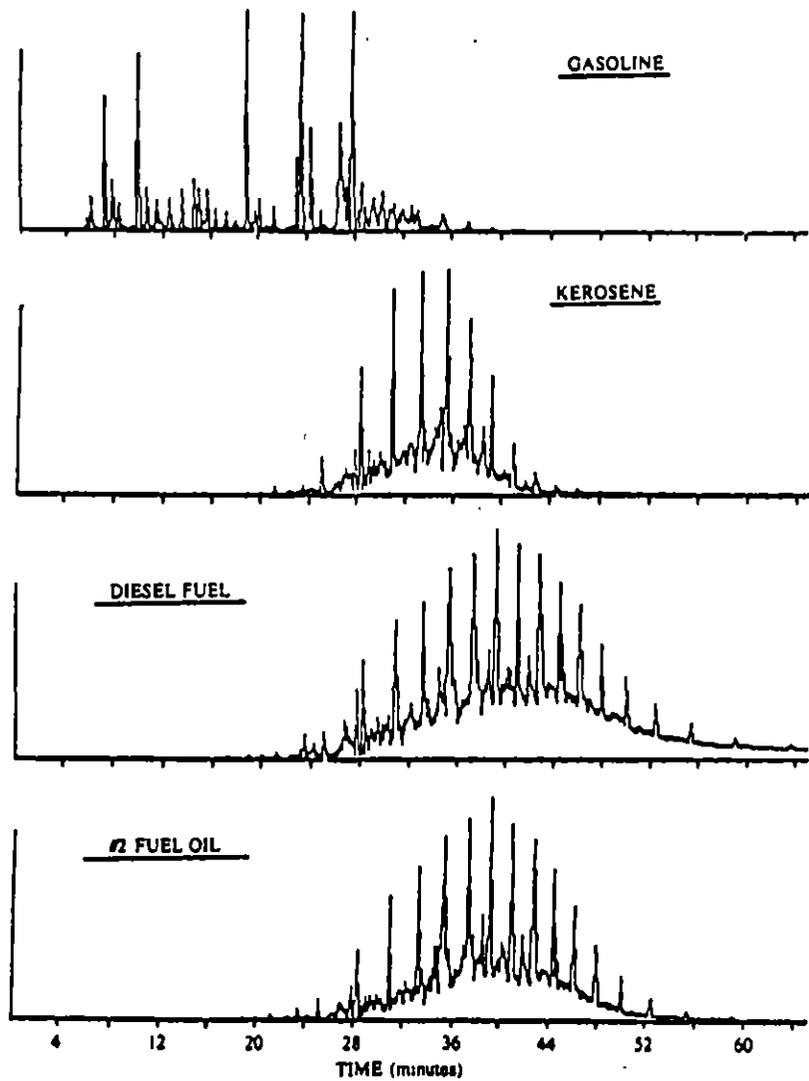
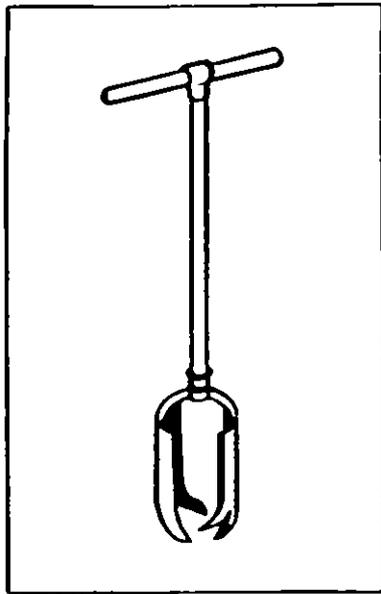
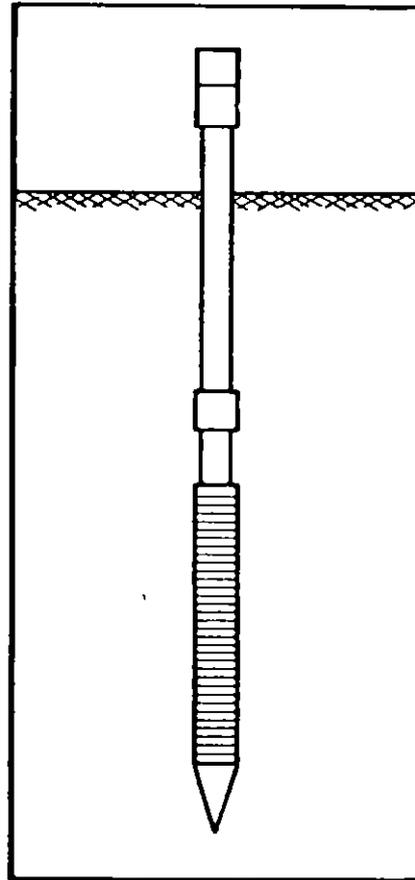


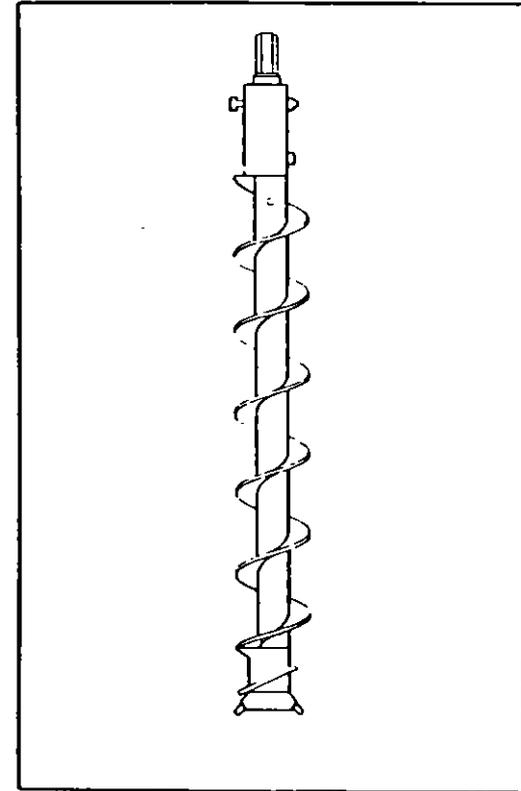
FIGURA 2. CROMATOGRAMAS DE DIFERENTES HIDROCARBUROS (DE CALABRESE Y KOSTECKI, 1989)



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

RESUMEN

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 hidrocarburos fresco de otro antiguo.

REFERENCIAS

CALABRESE, E.J. AND P.T. Kostecki. 1989. Petroleum Contaminated Soils. Volume 2. Remediation Techniques Environmental Fate Risk Assesment Analytical Methodologies. Lewis Publishers, Inc. 515 p.

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.

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.

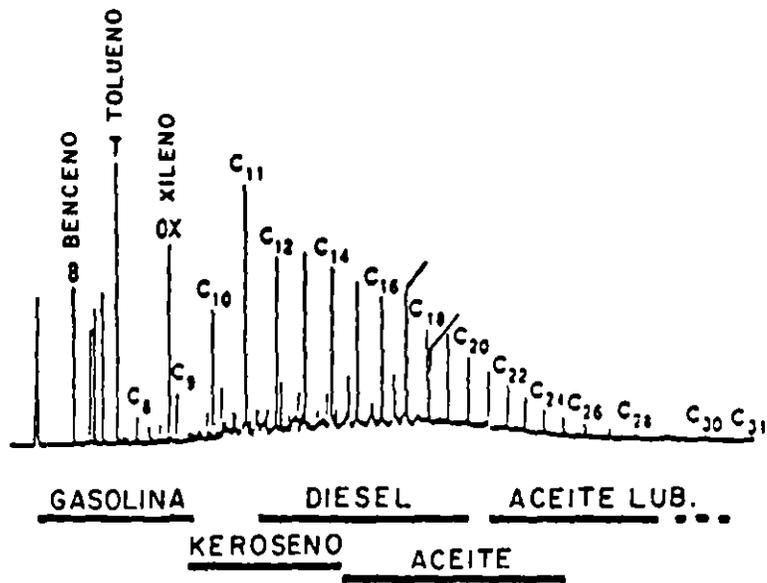
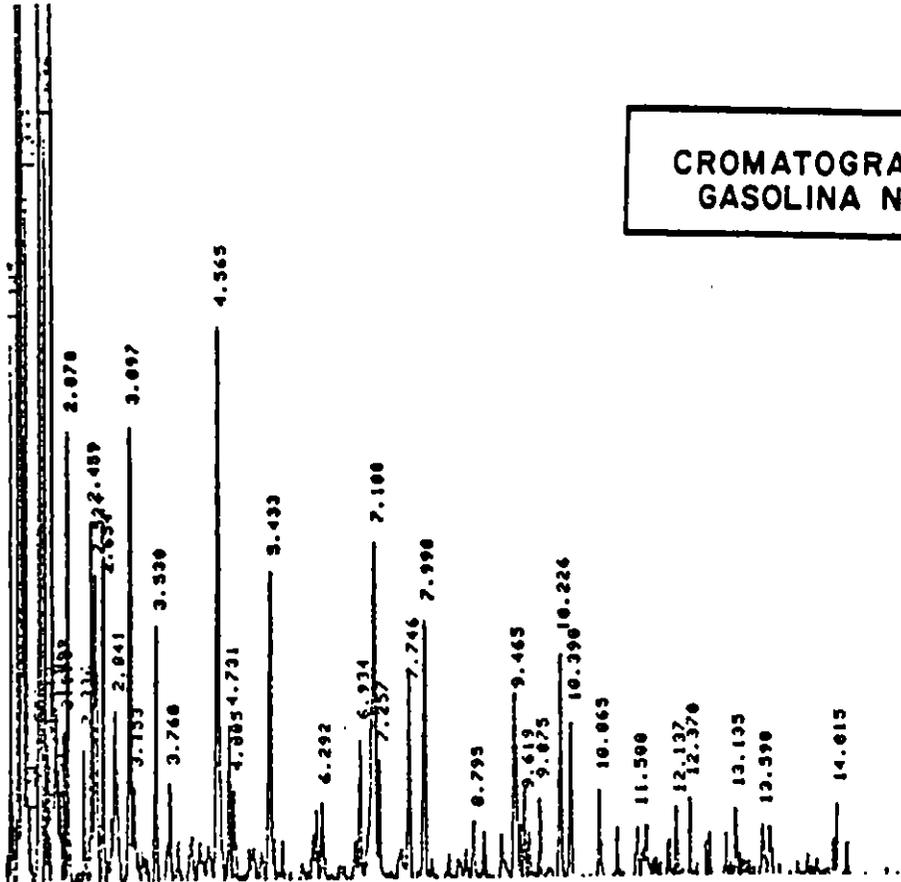


FIGURA 1 CROMATOGRAMA DE UNA MEZCLA DE
 HIDROCARBUROS.
 (MODIFICADA DE SENN AND JOHNSON 1985)

10.422
10.815

CROMATOGRAMA DE GASOLINA NOVA



CROMATOGRAMA DE DIESEL

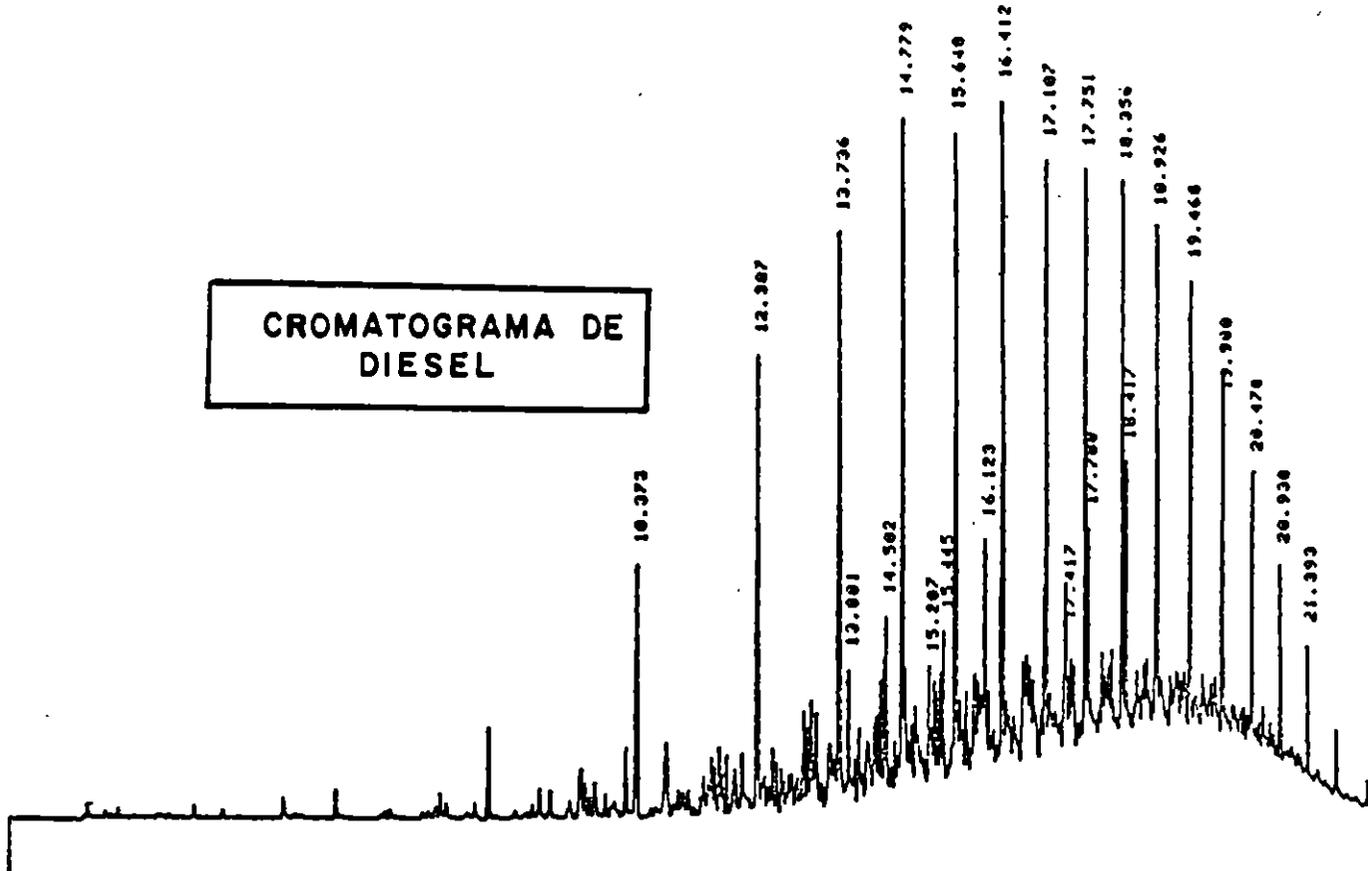
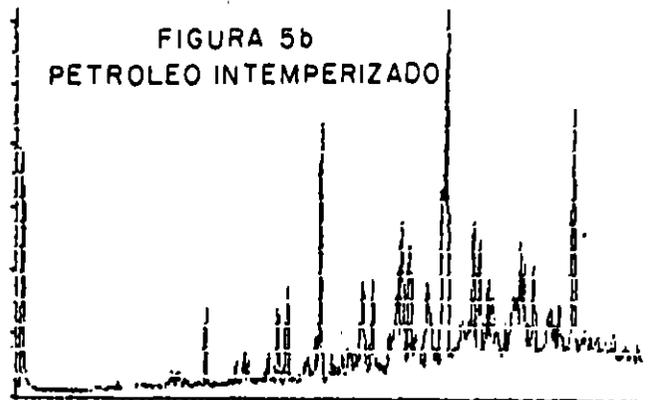
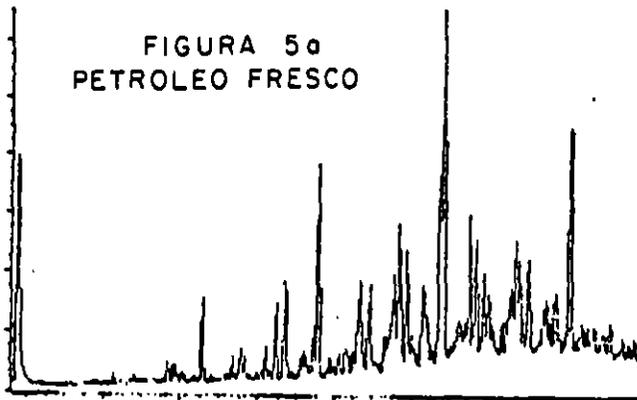
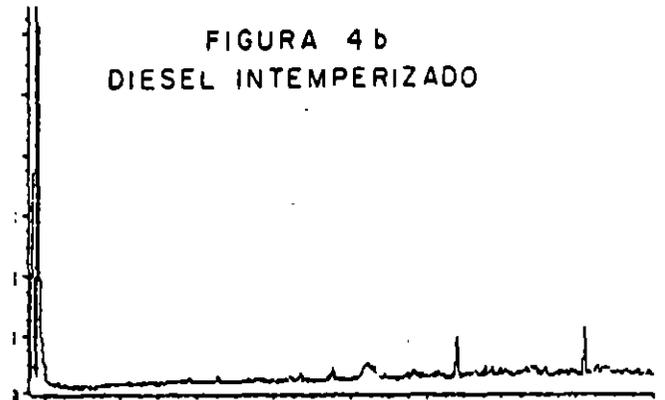
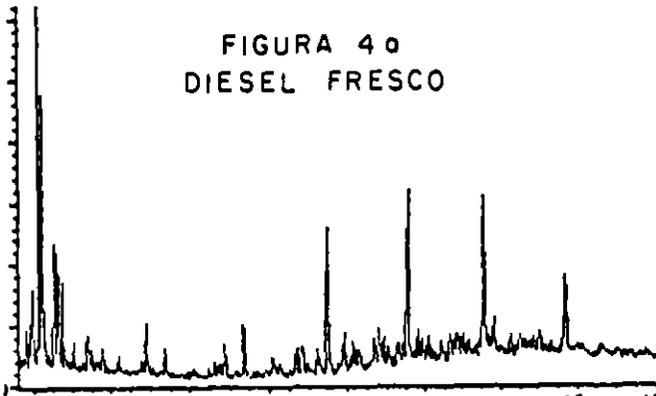
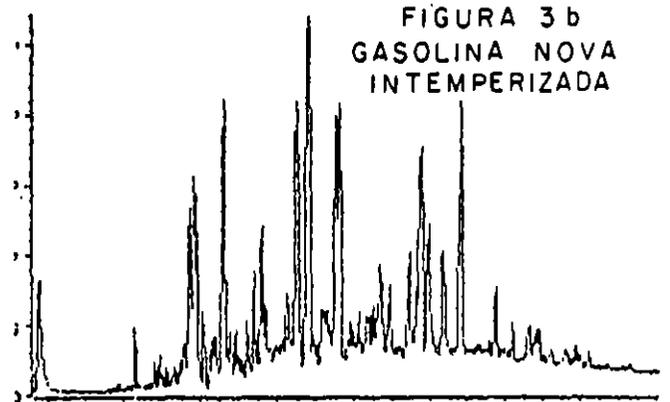
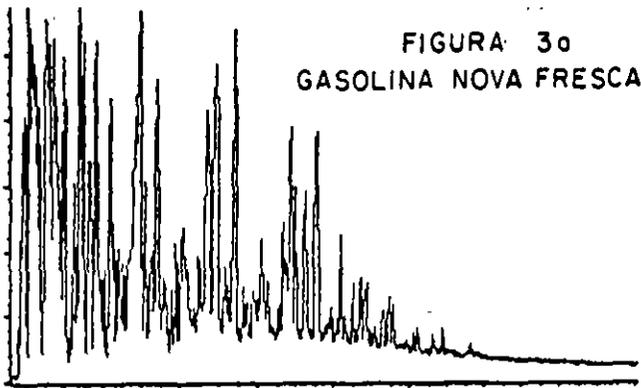


FIGURA 2.- CROMATOGRAMAS TÍPICOS DE GASOLINA NOVA Y DIESEL



COMPORTAMIENTO DE HIDROCARBUROS A LA INTEMPERIE, RESPECTO AL TIEMPO

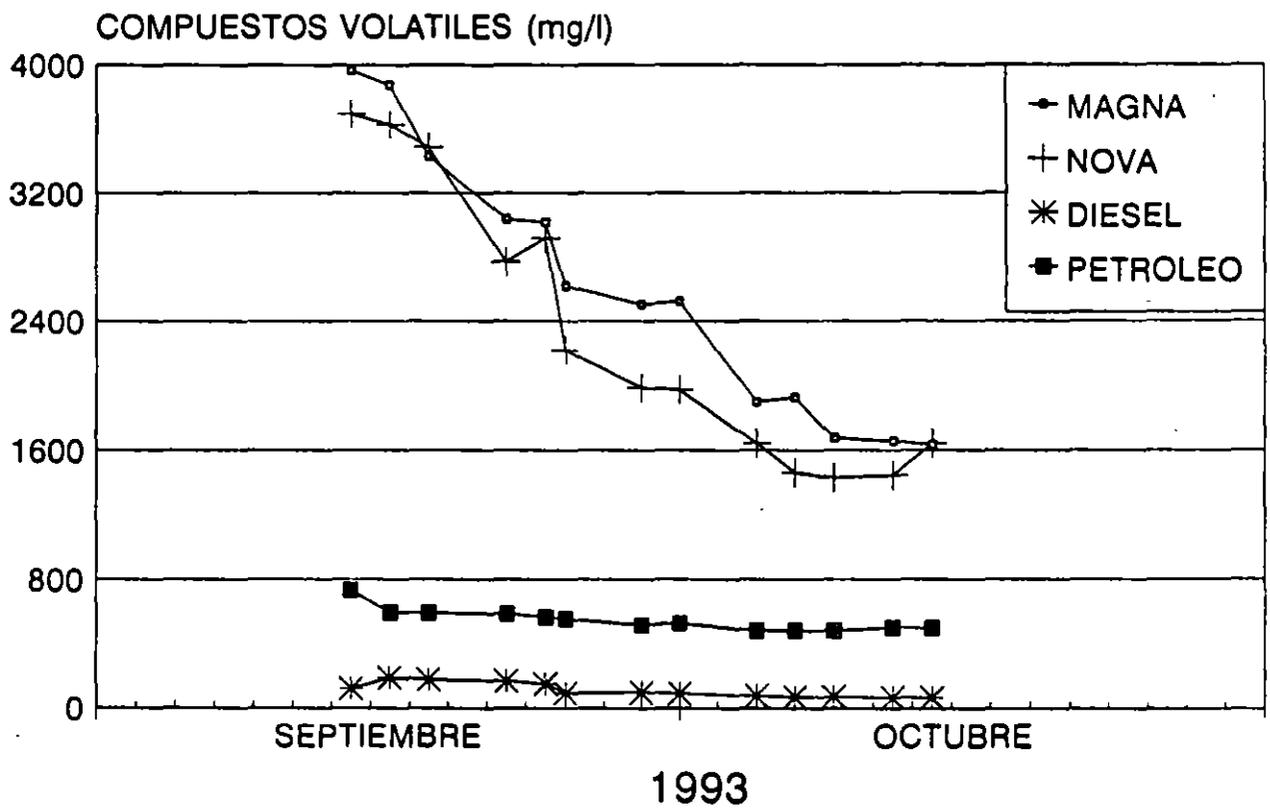


FIGURA 6

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 taque 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.

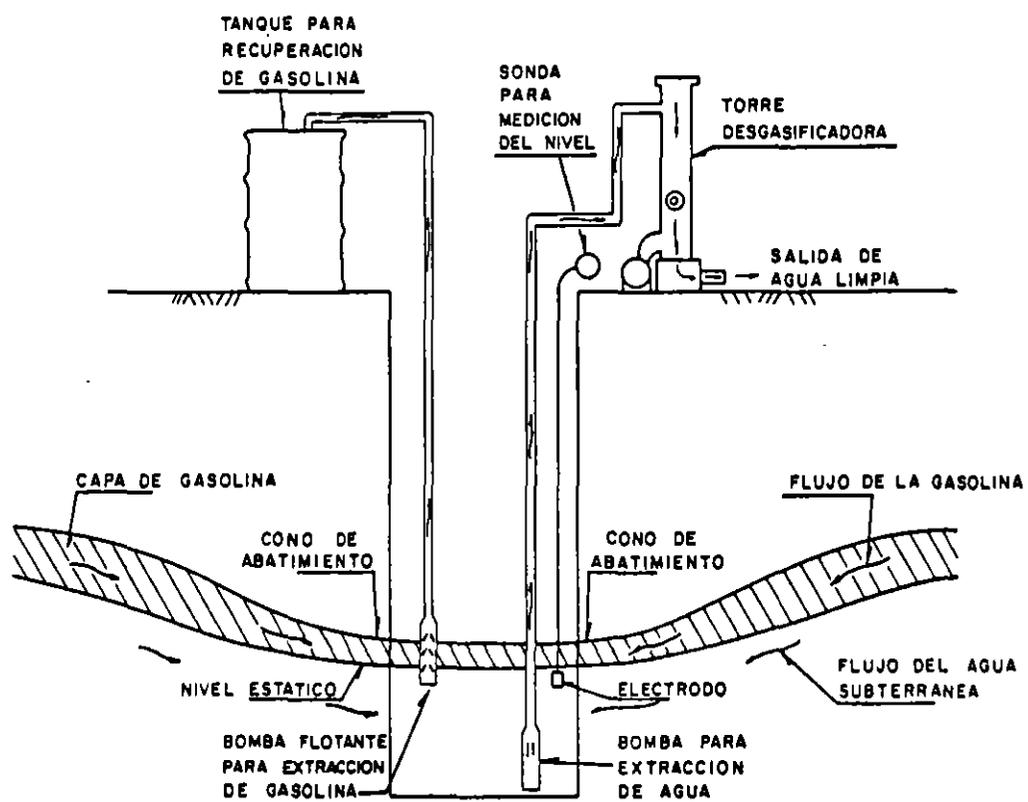


FIGURA 1.- EXTRACCION DE HIDROCARBUROS POR BOMBEO Y TRATAMIENTO EN SUPERFICIE

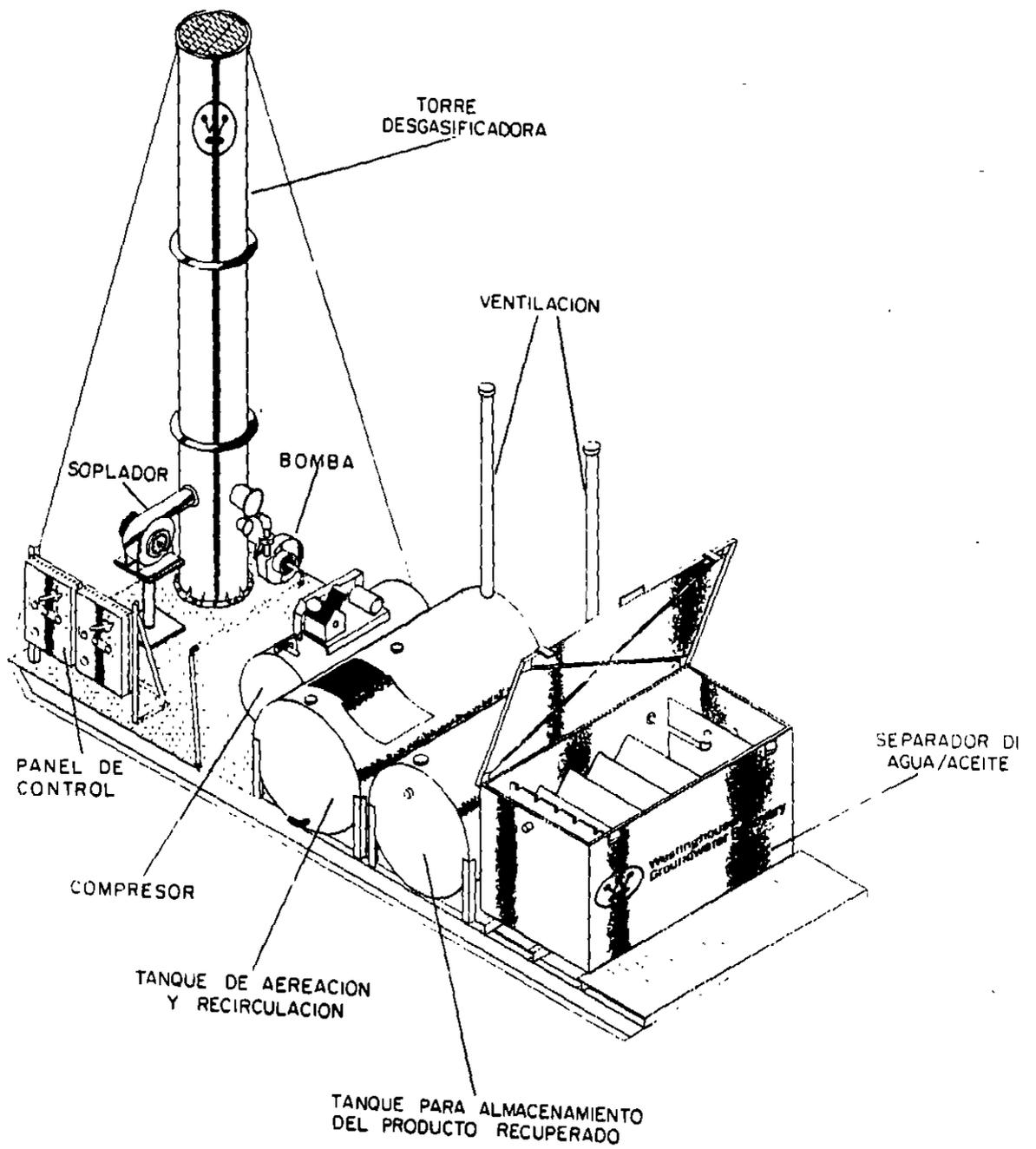
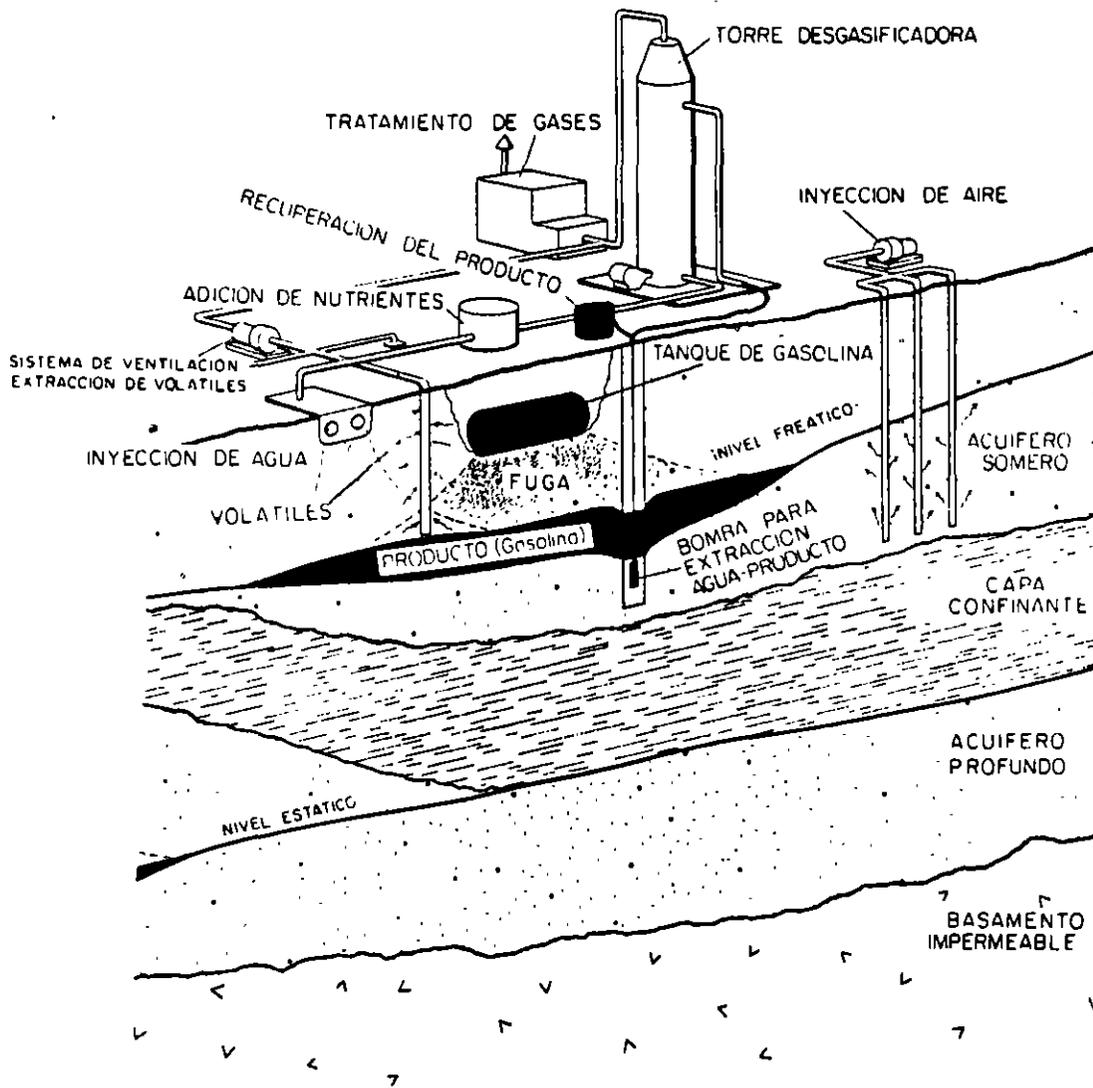


FIGURA 2.- EQUIPO WESTIGHOUSE PARA EL TRATAMIENTO DE
HIDROCARBUROS Y AGUA



DE: ORS ENVIRONMENTAL EQUIPMENT CATALOG

FIGURA 3.- SISTEMA ORS/ENVIRONMENTAL EQUIPMENT PARA EXTRACCION Y TRATAMIENTO DE PRODUCTO LIQUIDO Y VOLATIL

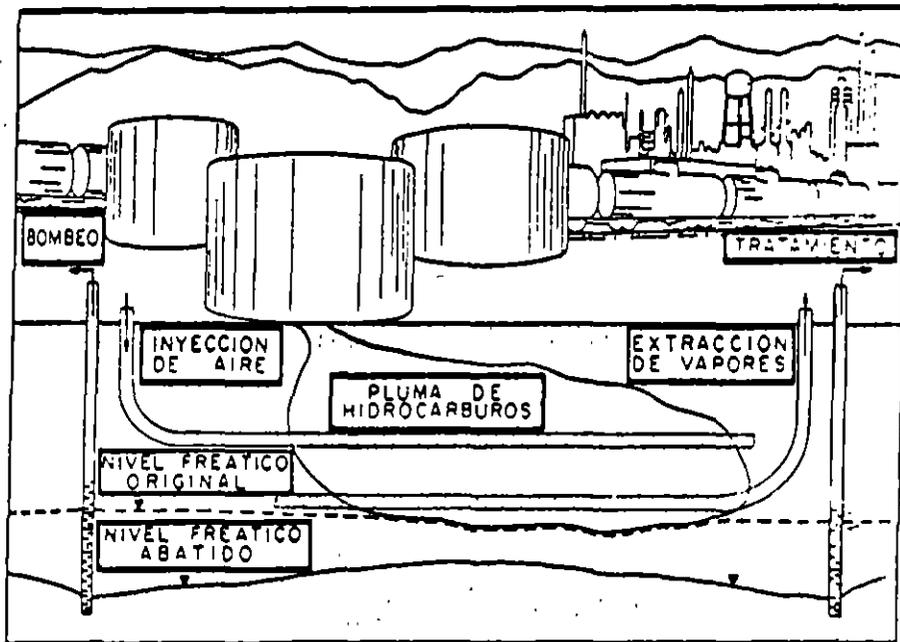


FIGURA 4 . SANEAMIENTO DE HIDROCARBUROS DEL SUBSUELO
MEDIANTE POZOS DIRECCIONALES (DE ENGINEERING-SCIENCE, INC.)

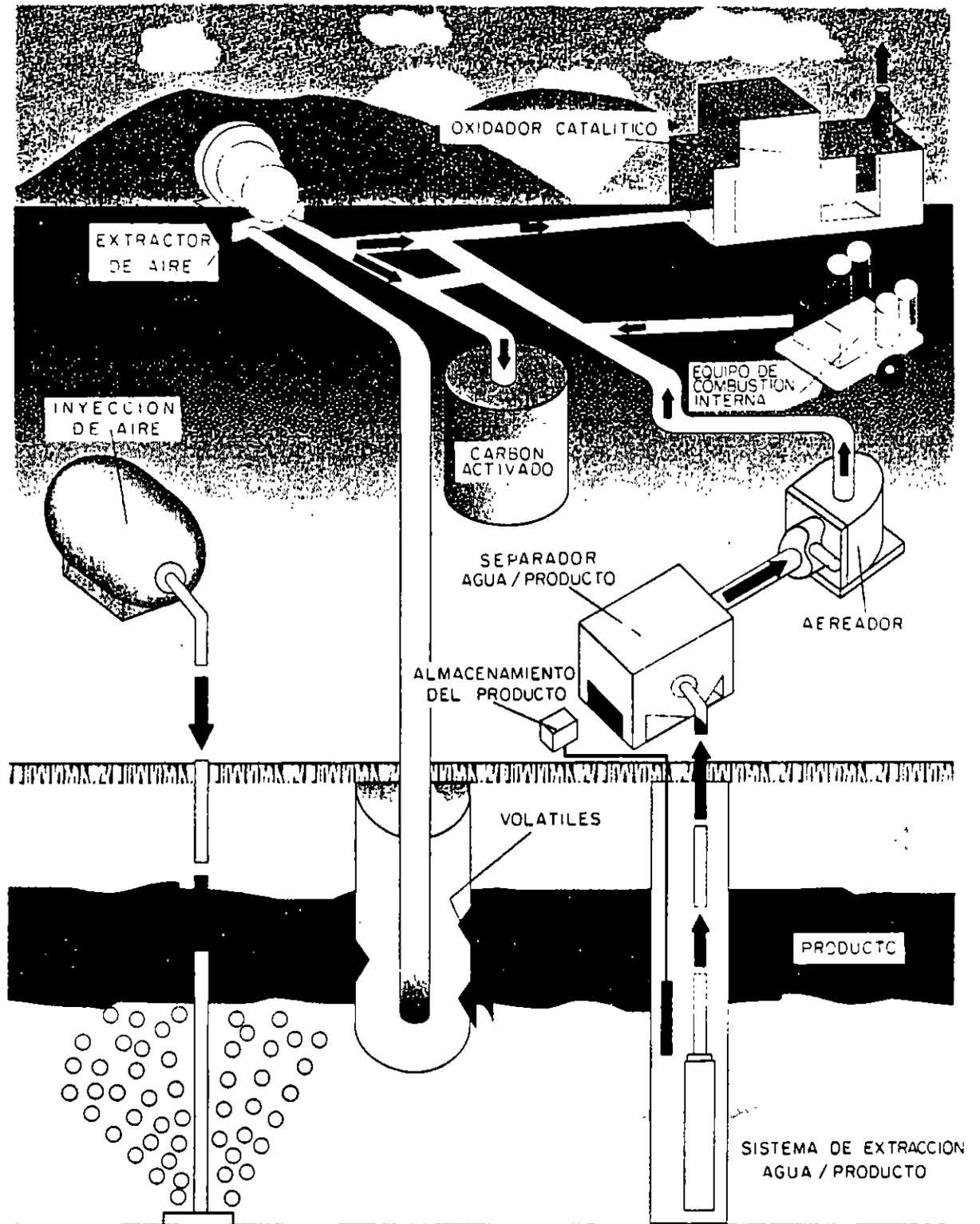
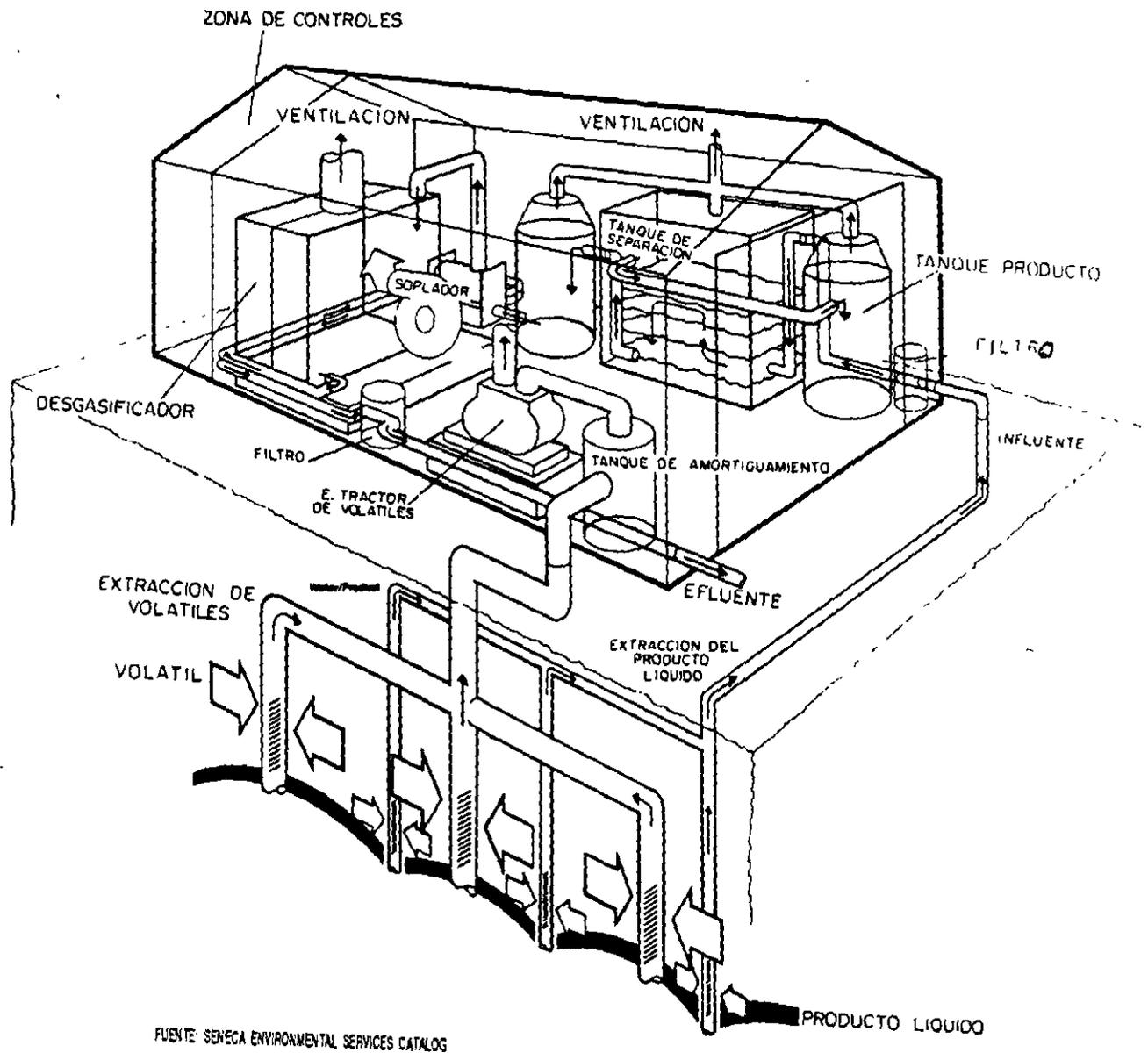
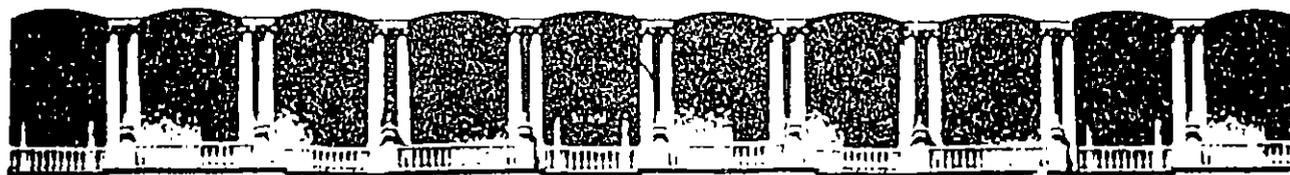


FIGURA 5.- SISTEMA ENVIRONMENTAL INSTRUMENTS PARA LA EXTRACCION Y TRATAMIENTO DE PRODUCTO LIQUIDO Y VOLATIL.



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**

**VIII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE
ACUIFEROS**

**MODULO II SELECCION DE SITIOS PARA DISPOSICION DE
DESECHOS SOLIDOS**

**TEMA: SELECCION DE SITIOS PARA DISPOSICION DE DESECHOS
SOLIDOS**



ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES

1996

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

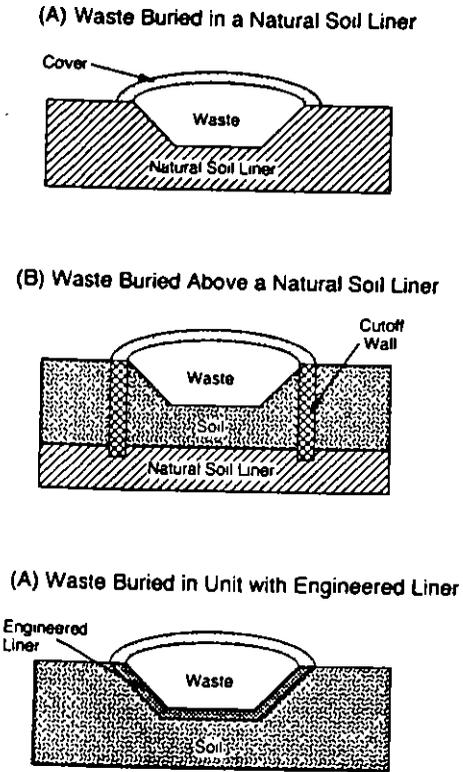


Fig. 5.3 Lining of waste disposal units with (a) natural soils, (b) vertical cutoff walls, and (c) engineered liners.

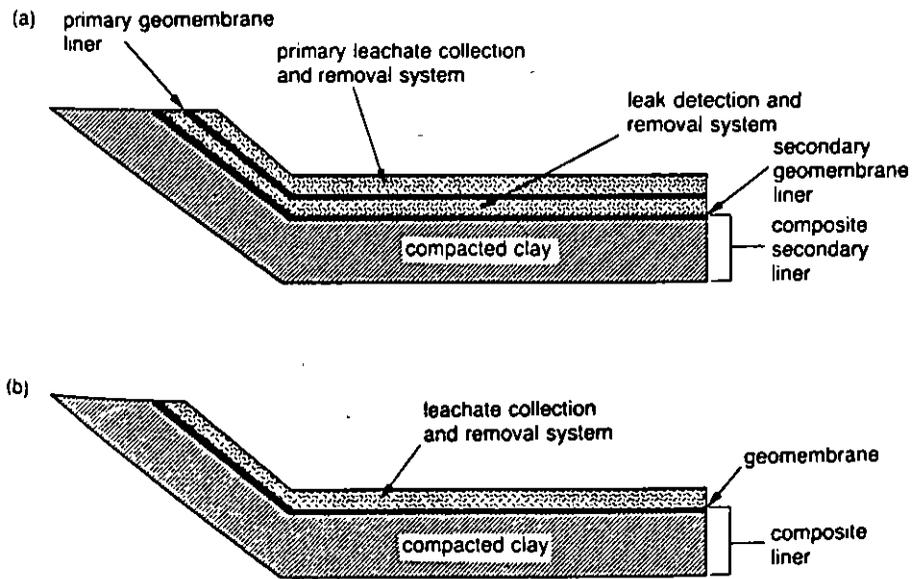


Fig. 5.4 Minimum liner requirements of the US Environmental Protection Agency. (a) for hazardous waste landfills (b) for non-hazardous waste landfills.

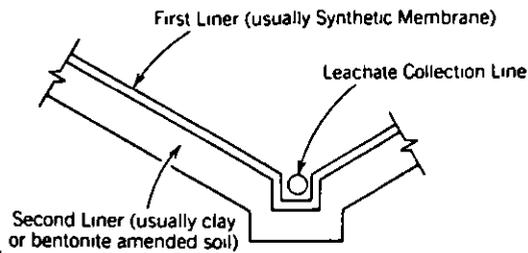


FIG. 1.3. Double Liner.

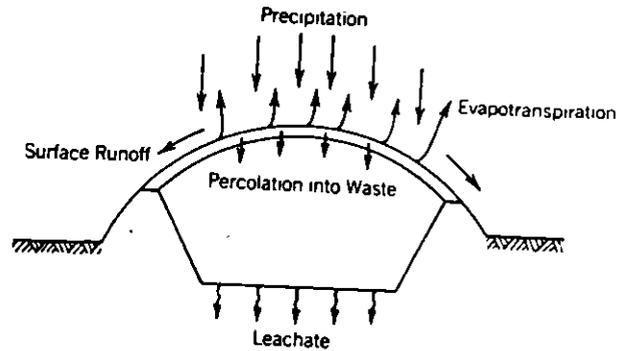


FIG. 3.1. How leachate is generated.

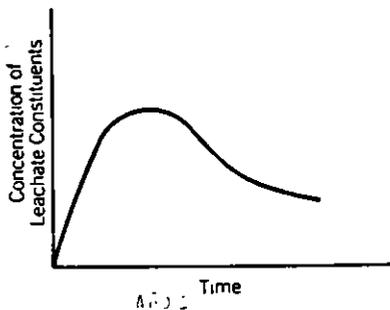


FIG. 3.2. Typical variation of leachate quality with time.

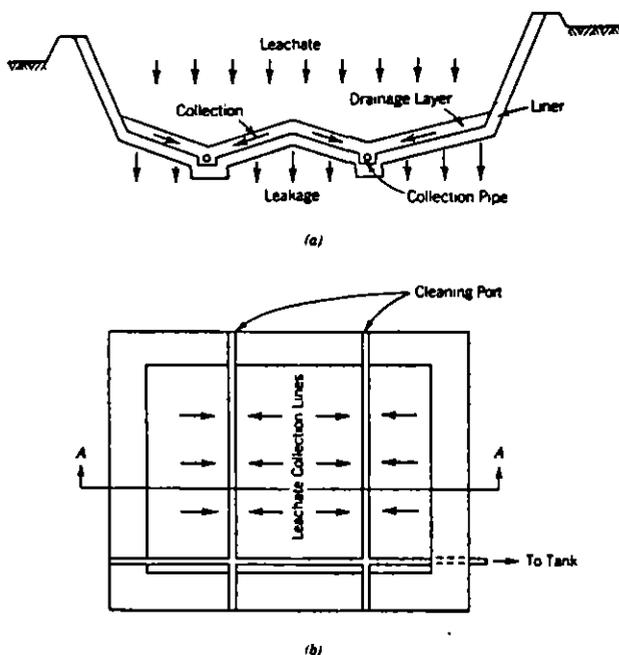


FIG. 6.1. Single lined containment landfill: (a) cross section; (b) plan.

TABLE 3.14. Typical Leachate Quality of Municipal Waste*

Sl Number	Parameter	Overall Range (mg/liter except as indicated)
1	TDS	584-55,000
2	Specific conductance	480-72,500 $\mu\text{mhos/cm}$
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

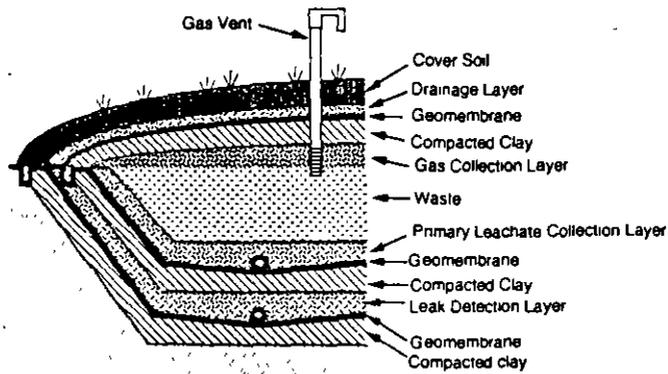


Fig. 5.6 Double composite liner system and multiple-component cover system in a waste containment unit.

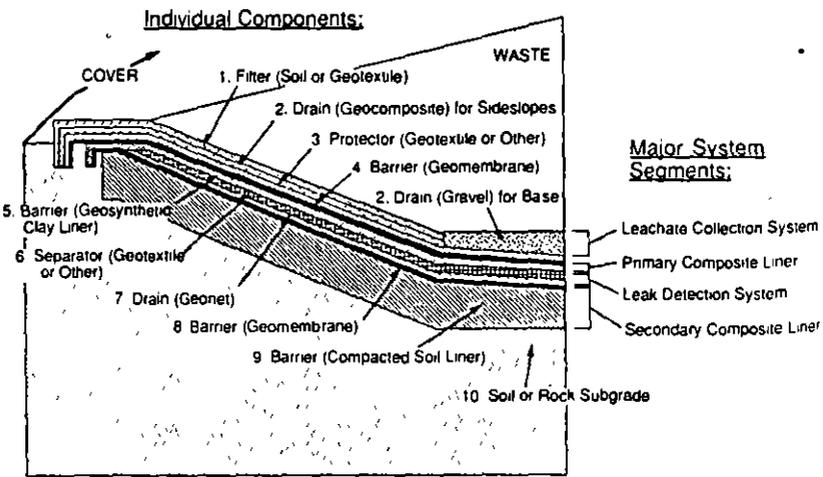


Fig. 5.7 Lining system recommended by Daniel and Koerner (1991).

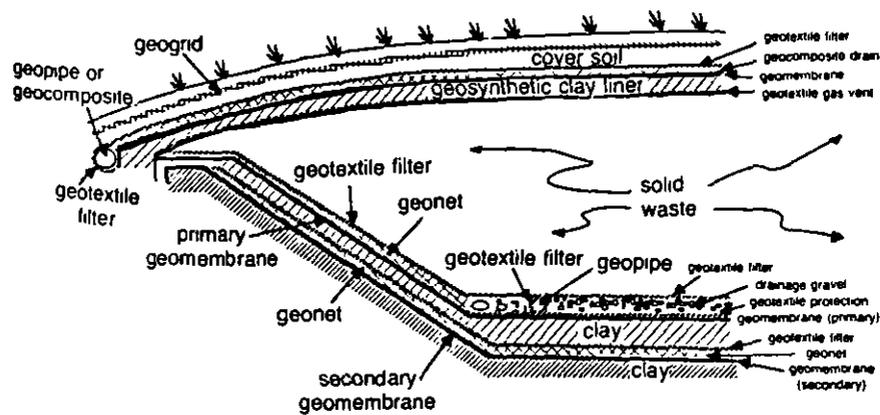


Fig. 8.2 Cross-section of solid waste landfill liner system and closure system illustrating the major use of geosynthetics.

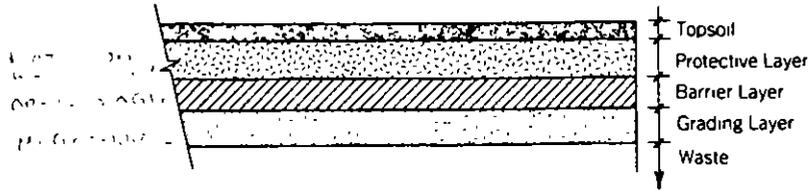


FIG. 8.23. Landfill final cover

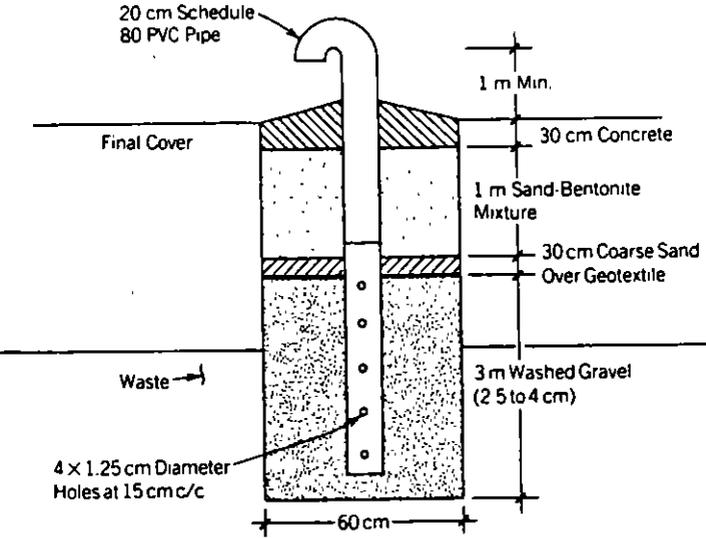


FIG. 8.24. Typical detail of an isolated gas vent.

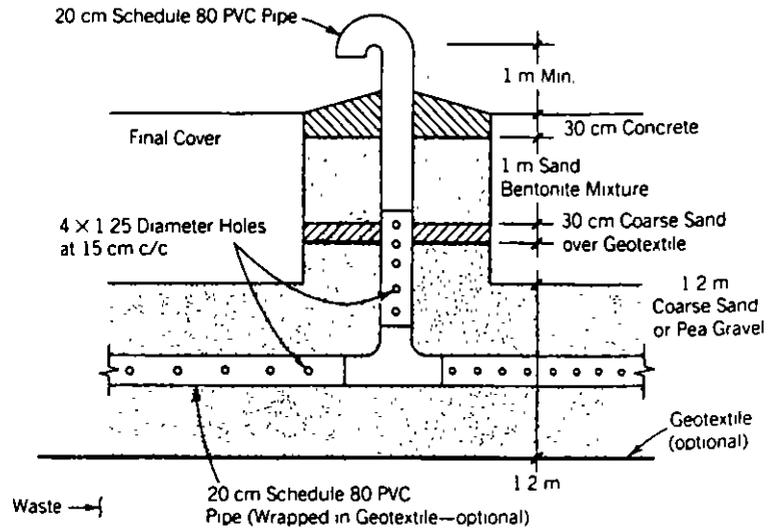


FIG. 8.25. Typical detail of a passive gas venting system with a header pipe

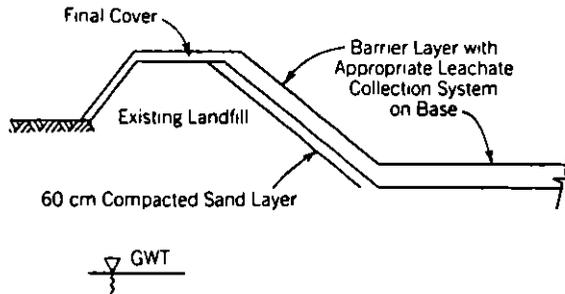
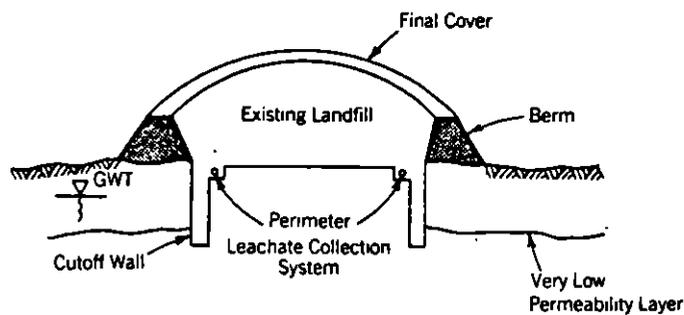


FIG. 8.33. Retrofitting of partially full existing landfill with a basal leachate collection system.

DESIGN OF LANDFILL ELEMENTS



34. Retrofitting of existing landfill with a perimeter leachate collection system.

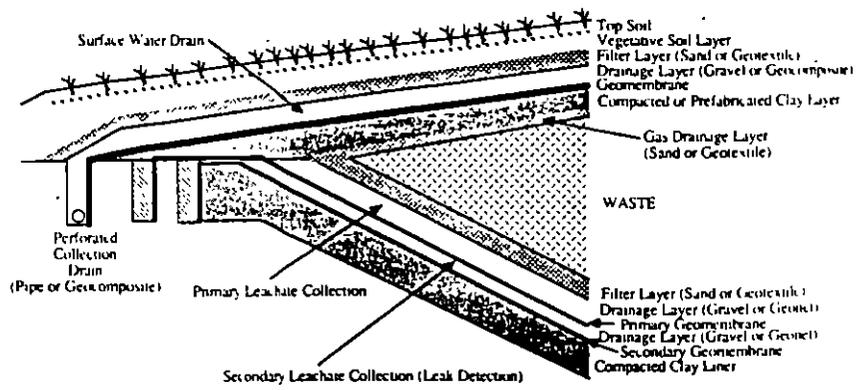


Fig. 9.1 Cross-section of solid waste facility illustrating various drainage layers involved in a liquid management program.

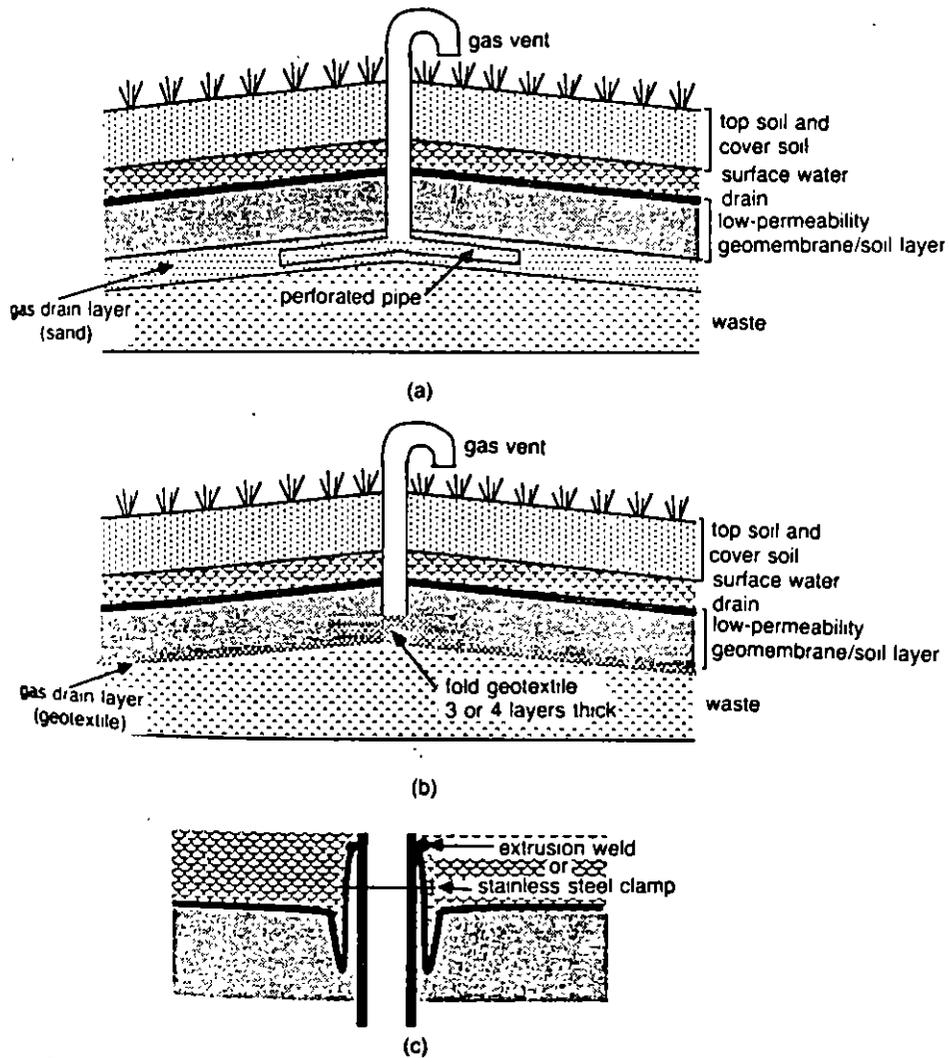


Fig. 9.9 Schemes for methane gas removal through final cover liner system: (a) natural soil vent system, after EPA (1989); (b) geotextile vent system; (c) suggested bellows at geomembrane penetration.

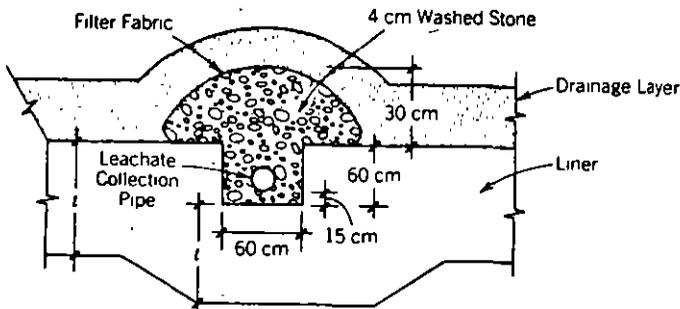


FIG. 8.1. Leachate collection trench detail.

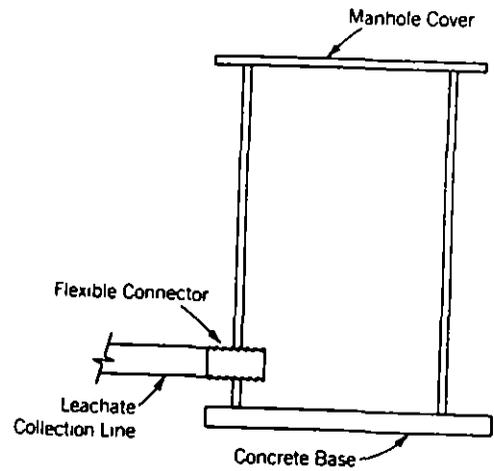


FIG. 8.5. Typical detail of landfill manhole.

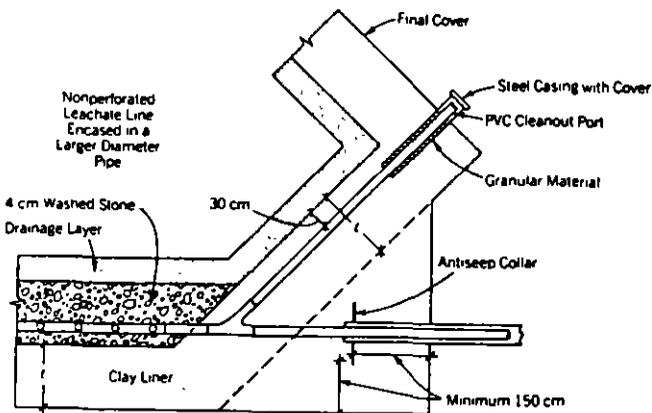


FIG. 8.2. Typical cleanout port.

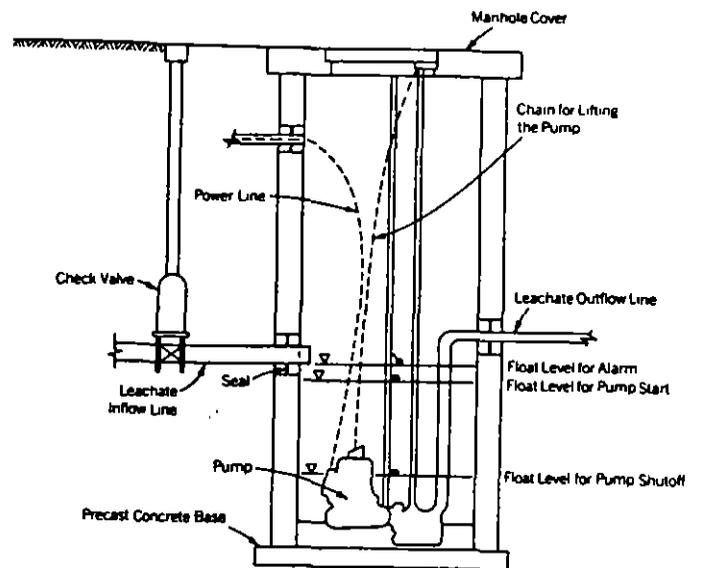


FIG. 8.7. Lift station.

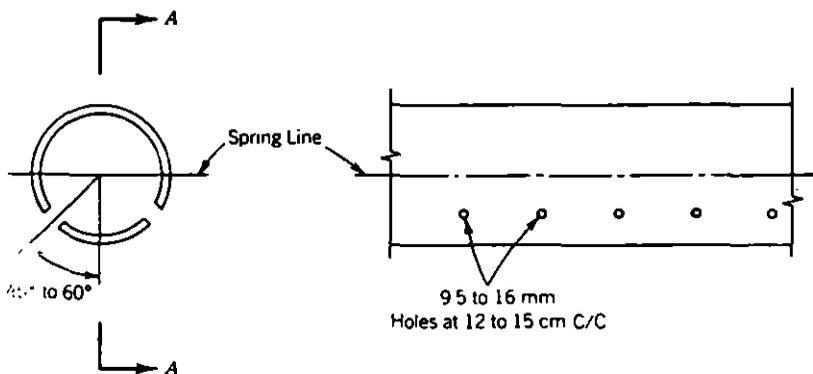


FIG. 8.6. Perforations in leachate collection pipes.

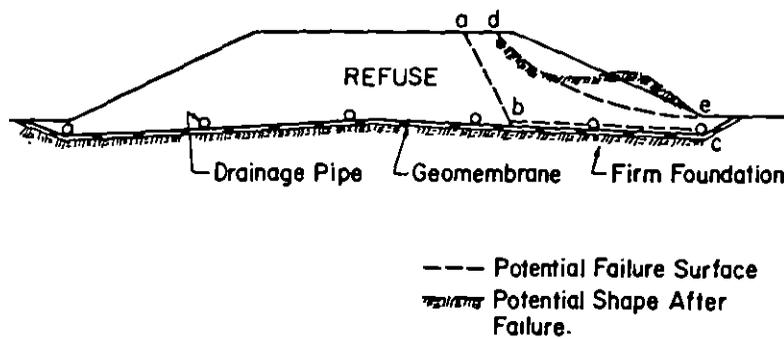


Fig. 11.1 Stability of a landfill on firm base.

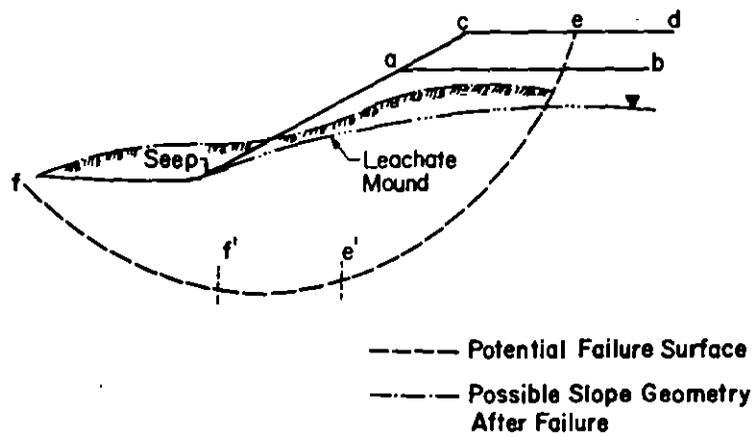
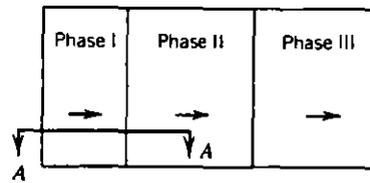
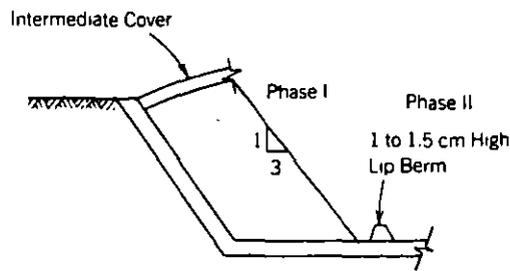


Fig. 11.2 Stability of a landfill expansion on soft base.

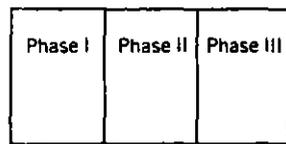


(a)

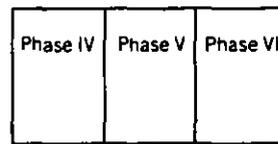


(b)

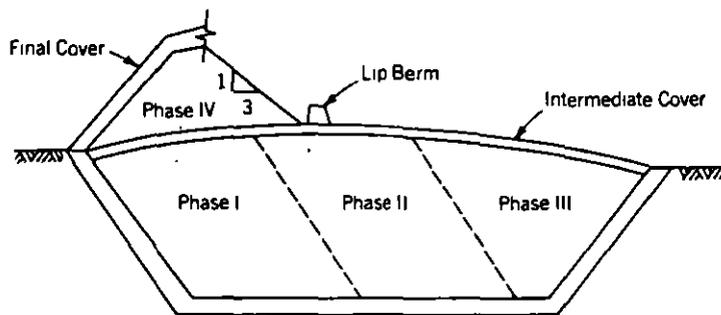
FIG. 11.3. Phasing plan for single stage landfill: (a) plan; (b) cross section A-A.



(a)



(b)



(c)

FIG. 11.4. Phasing plan for a multiphase landfill: (a) lower phase; (b) upper phase; (c) cross section.

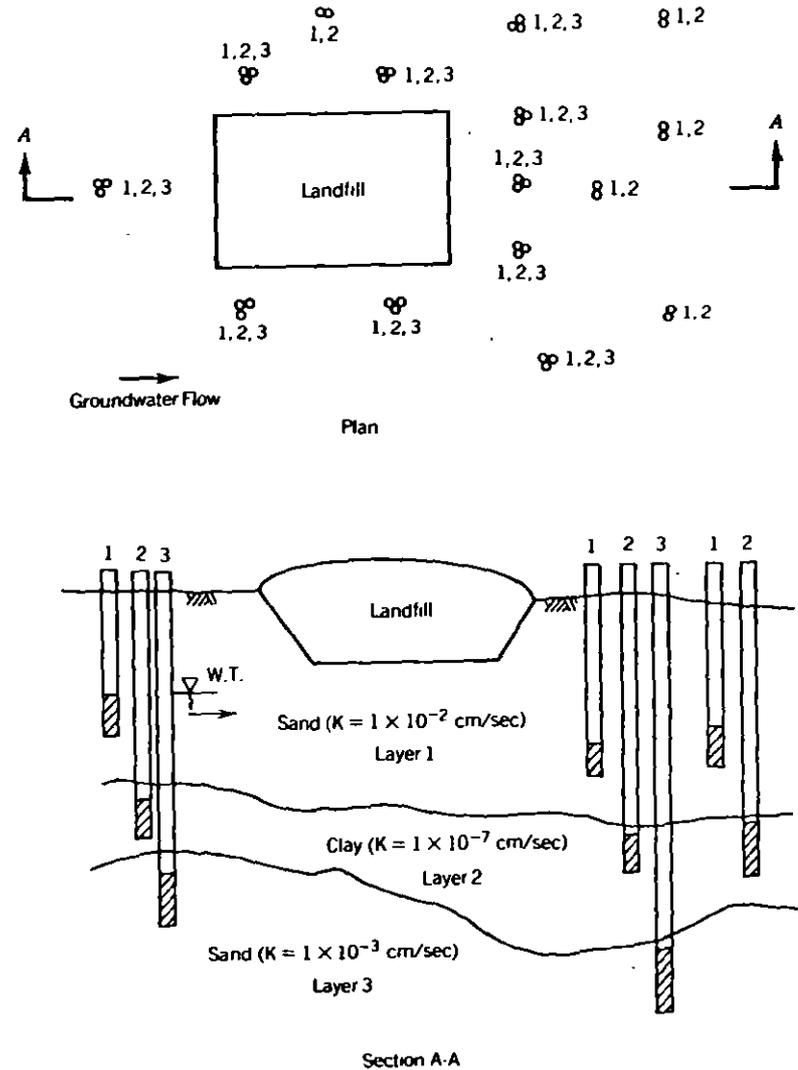
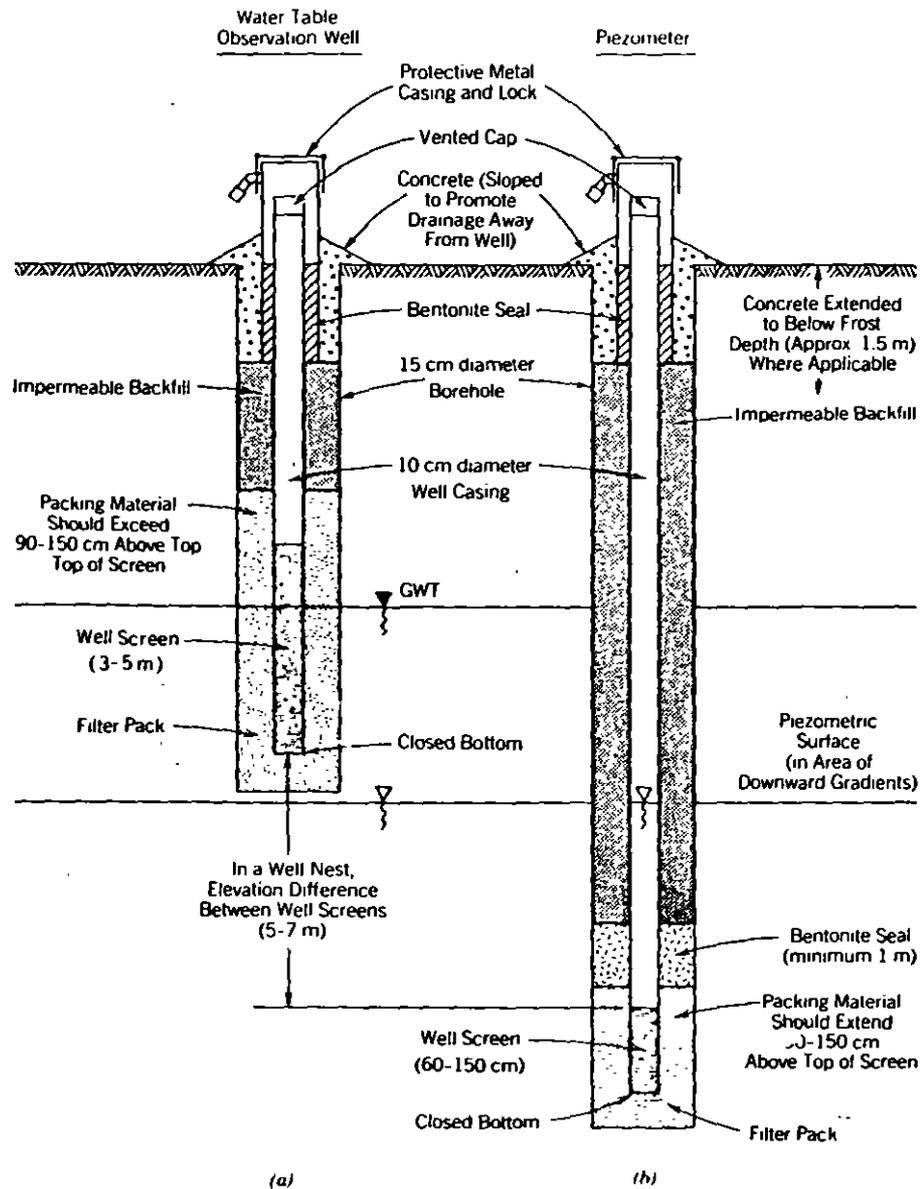
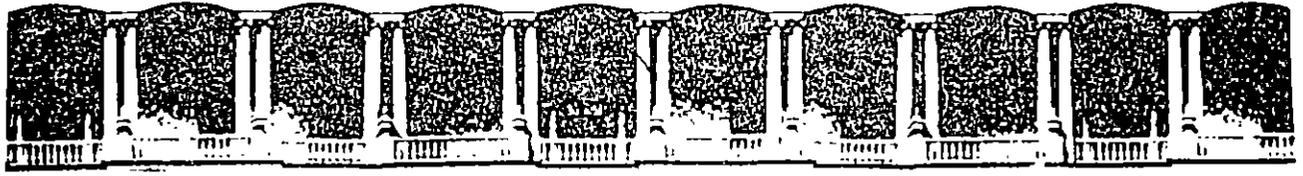


FIG. 10.11. Monitoring of an interbedded aquifer.

FIG. 10.13. Typical detail of a water table observation well and piezometer. Not to scale.



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

**VIII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE
ACUIFEROS**

MODULO II

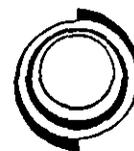
CONTAMINACION DE ACUIFEROS

ANEXOS

EXPOSITOR: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES



DF *DIRECCION TECNICA* DGCOH
SUBDIRECCION DE PROGRAMACION



**PIEZOMETRIA Y BALANCE GEOHIDROLOGICO
ZONA METROPOLITANA
DE LA CIUDAD DE MEXICO, 1995**



LESSER Y ASOCIADOS
S. A. DE C. V.

NOVIEMBRE 1995

RESUMEN EJECUTIVO

Se realizó la medición de niveles estáticos en 480 pozos piloto ubicados en la zona metropolitana de la Ciudad de México durante el presente año de 1995. Se construyeron configuraciones de la profundidad, elevación y evolución del nivel estático. El nivel estático se encuentra a profundidades que van de 30 a 180 metros. Los valores menores se encuentran hacia la parte central de los valles, mientras que los valores más altos se ubican hacia los flancos de las sierras que circundan al valle. La configuración de la elevación del nivel estático sobre el nivel del mar, permitió marcar la dirección del flujo subterráneo, observándose que el agua subterránea fluye de las elevaciones topográficas hacia la parte central de los valles. La distribución de la red de flujo, permitió diferenciar 3 subsistemas acuíferos correspondientes, el primero, a la Ciudad de México limitado al norte por la Sierra de Guadalupe, al oeste por la Sierra de las Cruces, al sur por la Sierra del Chichinautzin y al oriente por una línea entre el Peñón del Marqués y el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. El segundo subsistema acuífero corresponde al lago de Texcoco, ubicado al oriente del subsistema de la Ciudad de México y que se extiende al norte hasta el Cerro de Chiconautla al oriente hasta las estribaciones de la sierra nevada y al sur hasta la Sierra de Santa Catarina. El subsistema acuífero de Chalco presenta un flujo que va de las partes altas de las elevaciones topográficas hacia el centro del valle y está limitado al norte por las Sierras de Santa Catarina y el El Pino, al oriente por la Sierra Nevada, al sur por la Sierra del Chichinautzin y al oeste por un parteaguas subterráneo que permite separarlo del subsistema acuífero de la Ciudad de México.

La evolución del nivel estático en los últimos 10 años (1985-1995), presenta máximos de -15 metros, los que se registran hacia las partes centrales de los valles. El abatimiento disminuye hasta perderse en los flancos de las elevaciones topográficas.

La evolución del nivel estático para los últimos 2 años (1993-1995) va de 0 a -3 metros en la mayor parte de la zona estudiada. Una excepción es la zona poniente, que va de Azcapotzalco

hasta Tlalpan, área donde se presentaron recuperaciones de 1 a 2 metros para el período mencionado.

La cuantificación del acuífero se realizó tomando en cuenta la ecuación de balance que indica que las entradas de agua al acuífero son iguales a las salidas menos el cambio de almacenamiento.

La recarga al acuífero por flujo subterráneo, proviene de las infiltraciones que se generan sobre los flancos de las sierras. Para su cálculo se trazó una red piezométrica y sobre ella celdas para la cuantificación de la cantidad de agua que entra al acuífero, utilizando la ecuación de Darcy. El caudal de entrada por flujo subterráneo, en el subsistema acuífero de la Ciudad de México asciende a 257 millones de metros cúbicos por año (Mm³/año), a 154.3 en el valle de Texcoco y a 135.7 Mm³/año en el valle de Chalco.

La salida de agua del acuífero se realiza a través de la extracción por bombeo que se lleva a cabo en prácticamente toda la zona. Existe control sobre las extracciones, las cuales ascendieron para el año de 1994 a 348 Mm³/año en el subsistema acuífero de la Ciudad de México, a 254 en Texcoco y a 168.57 Mm³/año en el valle de Chalco.

Cuando la extracción por bombeo es mayor que la recarga que recibe el acuífero (como es el caso que se presenta en la ZMCM), existe un cambio de almacenamiento negativo que se refleja en un abatimiento de la superficie piezométrica. Se calculó la evolución sufrida en los niveles de alrededor de 400 pozos piloto, obteniéndose un cambio de almacenamiento que ascendió a -12.82 Mm³/año para la Ciudad de México, -23 en Texcoco y -6.47 Mm³/año en el valle de Chalco.

Las características particulares del acuífero de la Ciudad de México, al estar cubierto por una capa de arcillas lacustres saturadas que funcionan como acuitardo, ocasionan un drenado vertical. Este, se produce desde el momento en que existen pozos que extraen agua del subsuelo, debido a que dicha extracción disminuye la presión hidrostática dentro del acuífero permitiendo un flujo vertical descendente. El drenado se calculó a partir de la ecuación de balance, la cual establece que: $E_s + D_v = E_{xt} + A_s$. En la Ciudad de México, la entrada de agua al acuífero por flujo subterráneo asciende a 257 Mm³/año; la extracción por bombeo fue de 348 y el cambio de almacenamiento ascendió a -12.87, de donde se dedujo el drenado vertical el cual fue de 78.18 millones de metros cúbicos anuales; en Texcoco la entrada por flujo subterráneo fue de 154.3 Mm³/año, la extracción por bombeo ascendió a 254 lo cual repercute en un cambio de almacenamiento negativo de 23 Mm³/año. De lo anterior se dedujo un drenado vertical

CONTAMINACION DE ACUIFEROS
POR: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES

MODULO 2

**TABLA 2.2.- VALORES DE VULNERABILIDAD
DE ACUERDO A LA PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTATICO**

RANGO EN METROS	VALOR
0-1.5	10
1.5-4.5	9
4.5-9.0	7
9.0-15.2	5
15.2-23.0	3
23.0-30.0	2
30.0-0+	1

PESO ESPECIFICO : 5

TABLA 2.3.- RECARGA NETA

RANGO EN mm	VALOR
0-50	1
50-100	3
100-175	6
175-250	8
250+	9

PESO ESPECIFICO : 4

TABLA 2.4.- TIPO DE ROCA

TIPO	RANGO	VALOR TIPICO
LUTITA	1-3	2
ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS	2-5	3
ROCAS IGENAS Y METAMORFICAS INTEMPERIZADAS	3-5	4
SECUENCIAS DE CAPAS DE ARENISCA CALIZA Y LUTITA	4-6	5
TILITA	5-9	6
ARENISCA	4-9	6
CALIZA	4-9	6
ARENA Y GRAVA	4-9	8
BASALTO	2-10	9
CALIZA CASTICA	9-10	10

PESO ESPECIFICO: 3

TABLA 2.5.- TIPO DE SUELO

TIPO	VALOR
CAPA DELGADA O AUSENTE	10
GRAVA	10
ARENA	9
CARBON	8
AGREGADO DE ARCILLAS	7
MEZCLA ARENOSA	6
MEZCLA	5
MEZCLA LIMOSA	4
MEZCLA ARCILLOSA	3
ABONO	2
ARCILLA	1

PESO ESPECIFICO : 2

TABLA 2.6.- PENDIENTE DEL TERRENO
(ANGULO DE INCLINACION EN %)

RANGO	VALOR
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
18+	1

PESO ESPECIFICO : 1

TABLA 2.7.- ZONA VADOSA

TIPO	RANGO	VALOR TIPICO
CAPA CONFINANTE	1	1
LIMO O ARCILLA	2-6	3
LUTITA	2-5	3
CALIZA	2-7	6
ARENISCA		6
HORIZONTES DE CALIZA, ARENISCA Y LUTITA	4-8	6
ARENA Y GRAVA CON ALTO CONTENIDO DE LIMO Y ARCILLA	4-8	6
ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS	4-8	4
ARENA Y GRAVA	6-9	8
BASALTO	2-10	9
CALIZA CARSTICA	8-10	10

PESO ESPECIFICO: 5

TABLA 2.8.- PERMEABILIDAD EN VARIOS TIPOS DE ROCA
CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA
(m/s)

RANGO	VALOR
$5 \times 10^{-7} - 5 \times 10^{-5}$	1
$5 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-4}$	2
$1 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-4}$	4
$3 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-4}$	6
$5 \times 10^{-4} - 9 \times 10^{-4}$	8
$9 \times 10^{-4} +$	10

PESO ESPECIFICO : 3

MONITOREO RECARGA ARTIFICIAL SANTA CATARINA

TABLA 2.9.- CALCULO DE VOLNERABILIDAD

FACTOR	BASALTOS AL PIE DE LA SIERRA DEL CHICHINAUTZIN	ACUIFERO AL CENTRO DE LA ZONA METROPOLITANA
NIVEL ESTATICO	5	5
RECARGA NETA	36	4
TIPO DE ROCA	27	6
TIPO DE SUELO	20	2
PENDIENTE DEL TERRENO	1	10
ZONA VADOSA	45	5
PERMEABILIDAD	30	3
SUMA	164	35
CLASIFICACION	ALTAMENTE VULNERABLE	REDUCIDA VULNERABILIDAD

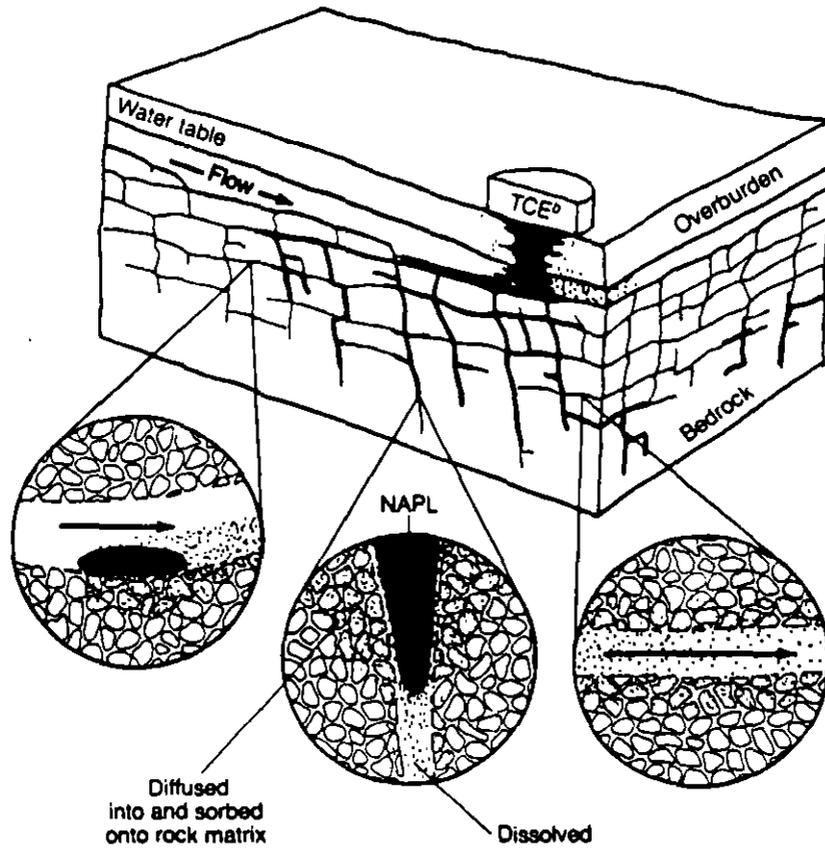


Figure 2.2 Schematic illustration of a DNAPL in a fractured porous medium showing geologic and pore scales. The DNAPL dissolves to create contamination in the fractures and in the low-permeability rock matrix (from Mackay and Cherry, 1989).

DE: PANKOU Y CHERRY, 1989

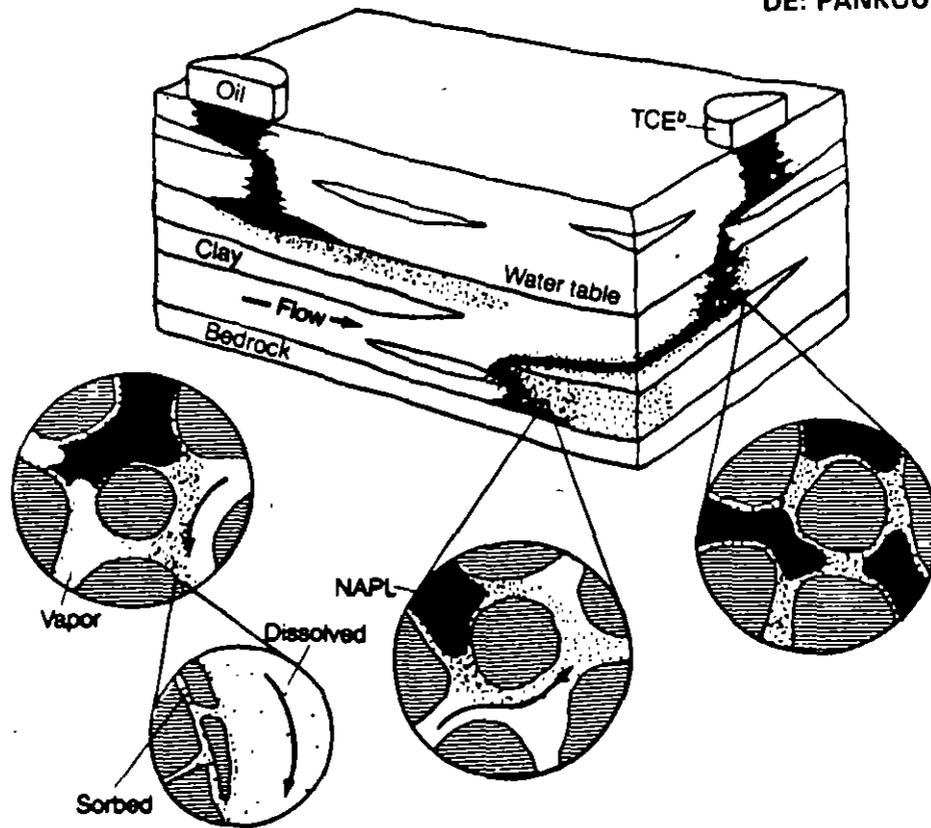


Figure 2.1 Schematic illustration of a DNAPL and a LNAPL in a porous medium, showing geologic and pore scales. A low-permeability clay layer deflects the DNAPL. DNAPL dissolution causes a plume (from Mackay and Cherry, 1989).

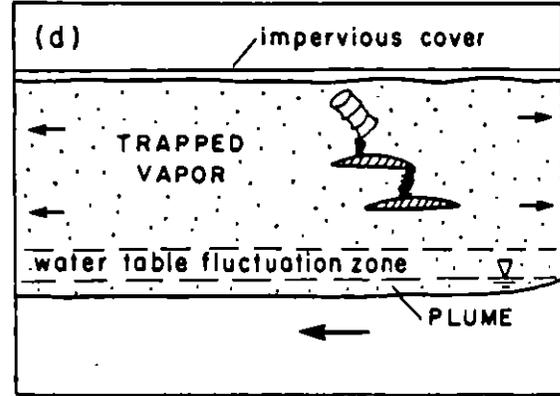
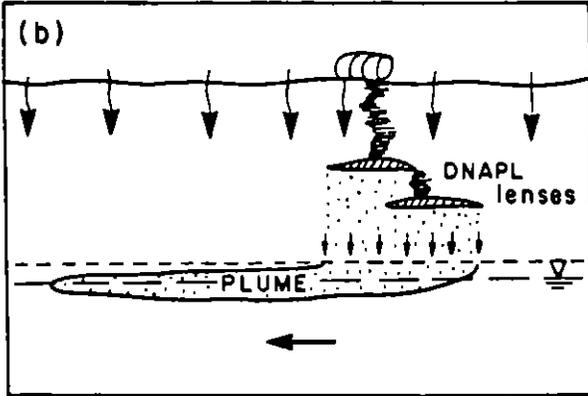
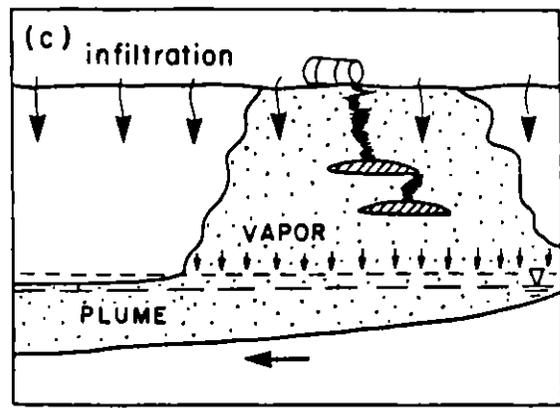
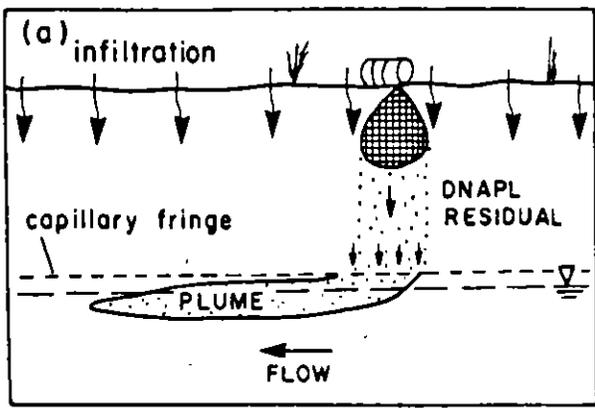
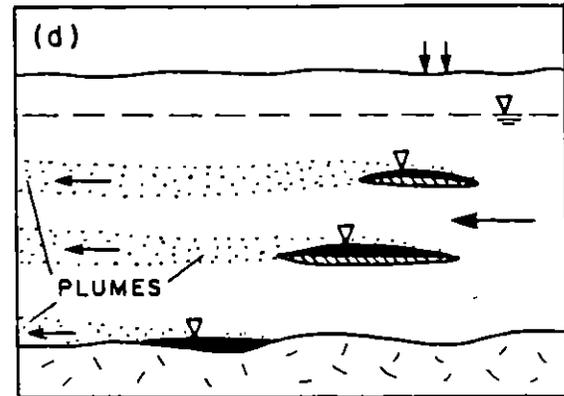
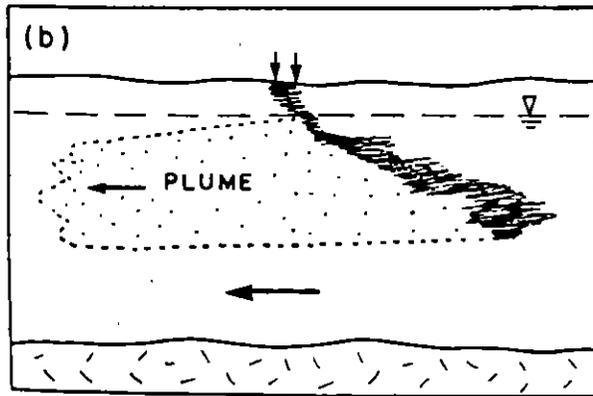
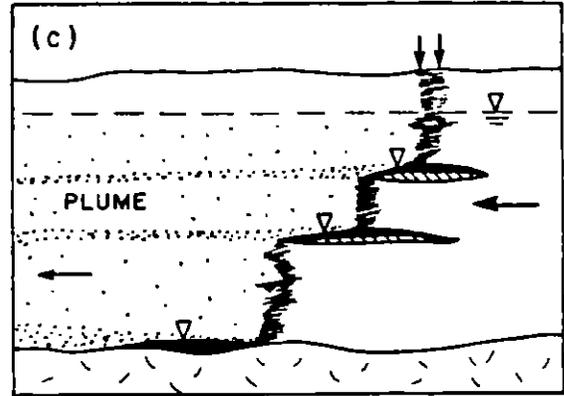
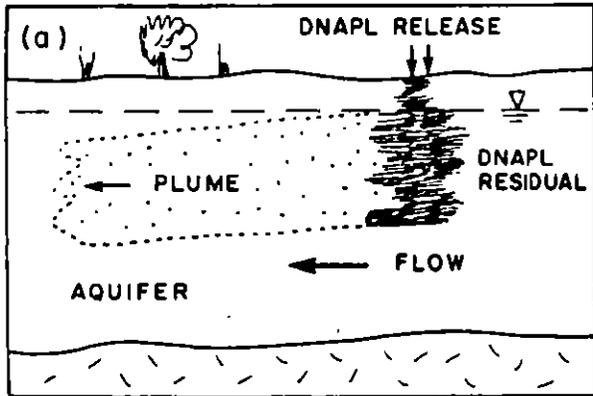


Figure 2.4 Conceptual scenarios for a DNAPL in the vadose zone in granular geologic deposits: a) homogeneous case - no vapor plume; b) heterogeneous case - no vapor plume; c) heterogeneous case - vapor plume; and d) effect of impervious ground cover over vapor-releasing DNAPL source.



DE: PANKOU Y CHERRY, 1996

Figure 2.5 Conceptual scenarios for a DNAPL in the groundwater zone in granular aquifers: a) partial penetration; b) partial penetration with offset; c) full penetration with offset; and d) same as part c, but at a later stage after DNAPL residual has disappeared due to dissolution in flowing groundwater.

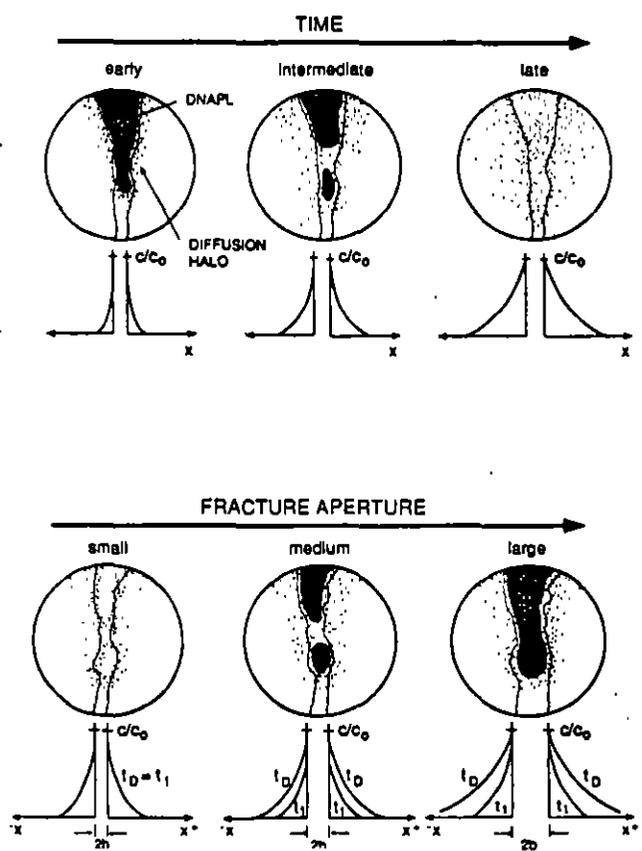
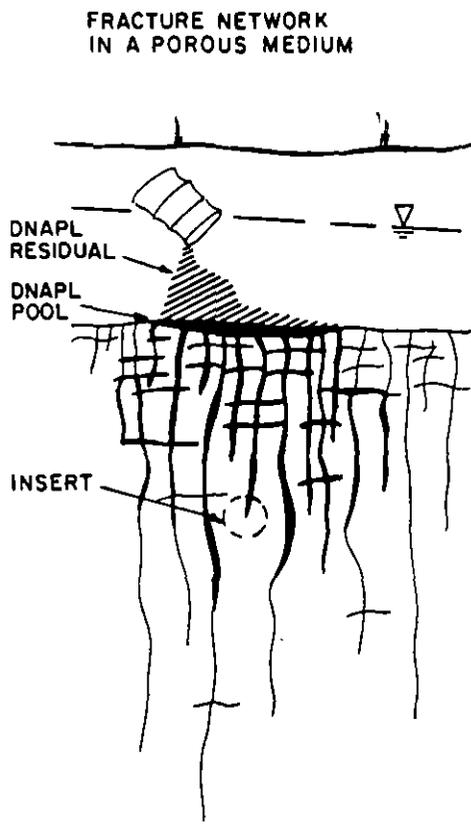
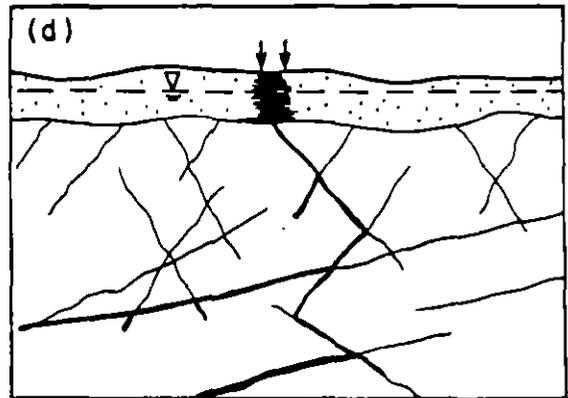
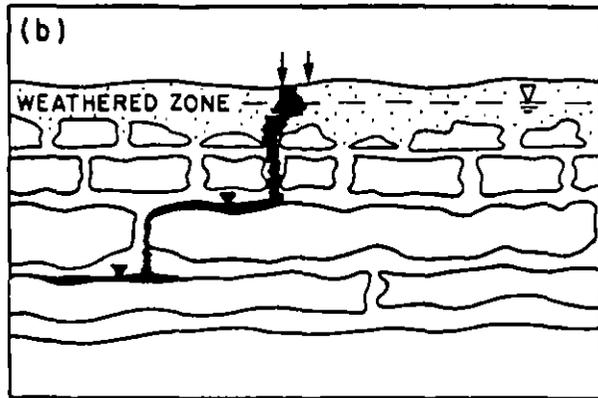
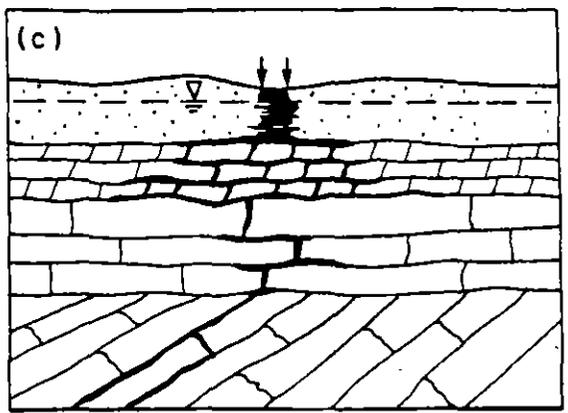
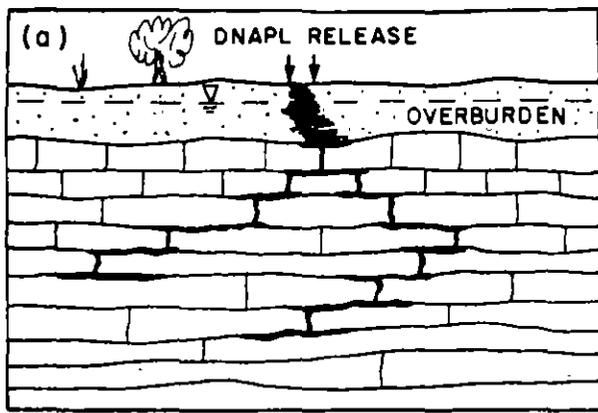


Figure 2.7 Conceptualization of DNAPL persistence and distribution with DNAPL mass loss due to diffusion in water-saturated fractures in a porous medium (such as a fractured clay till or sedimentary rock) as a function of: a) time; and b) fracture size (aperture). Diffusion halos around fractures containing DNAPL become large (more developed) with increases in time, as shown with the concentration vs. distance plots for the three relative time periods in part a. At any particular time t_1 , the DNAPL mass distribution will vary in different size fractures, with DNAPL disappearance occurring most rapidly in the smallest fractures; residual or disconnected DNAPL will be present in medium-sized fractures, and free DNAPL will be present in the largest fractures that are connected to overlying DNAPL pools. DNAPL disappearance times (t_D) increase with an increase with fracture aperture.

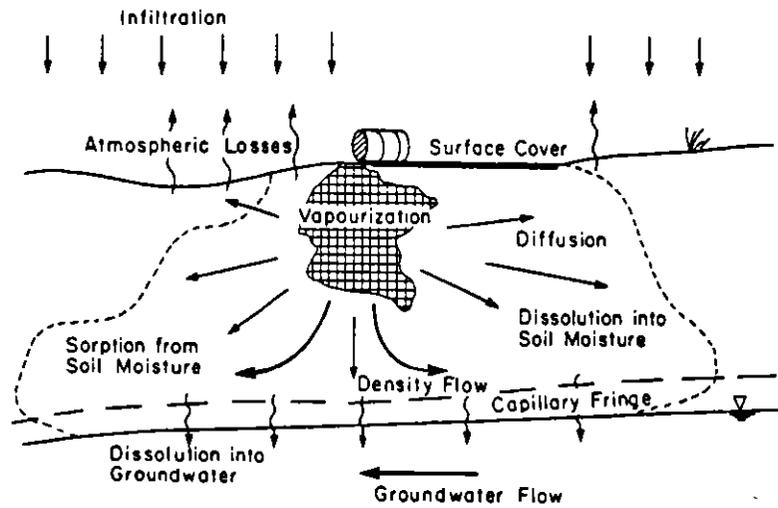


Figure 6.1 Conceptual model of vapor transport processes from a residual DNAPL source in the unsaturated zone. (Reprinted with permission from Mendoza and Frind, 1990a.)

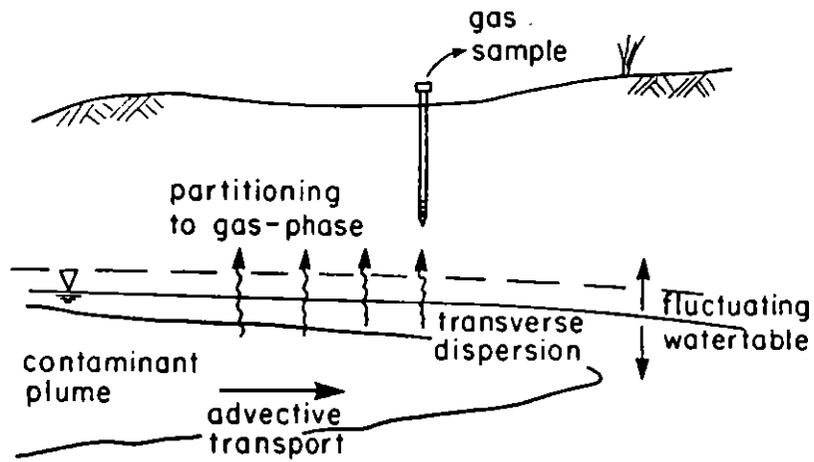


Figure 6.4 Conceptual model for processes involved in groundwater plume detection using soil-gas sampling techniques

DE: PANKOU Y CHERRY, 1996

DISPERSION

Fórmula que relaciona distancia, tiempo, dispersión, concentración inicial y concentración a diversas distancias.

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{L - V_x T}{2\sqrt{D_L T}} \right) + \exp \left(\frac{V_x L}{D_L} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{L + V_x T}{2\sqrt{D_L T}} \right) \right] \quad 1$$

Ecuación de la dispersión hidrodinámica (Fetter, 1988, pag.393).

Donde:

C_0 = Concentración inicial

L = Distancia

T = Tiempo

C = Concentración a la distancia L y el tiempo T

V_x = Velocidad lineal media del agua subterránea

$$V_x = \frac{K}{n_e} \frac{dh}{dl} \quad 2$$

K = conductividad hidráulica

n_e = porosidad efectiva

dh/dl = gradiente hidráulico

D_L = Coeficiente de dispersión longitudinal

$$D_L = \alpha_L V_x + D^* \quad 3$$

D^* = Difusión molecular (10^{-10} -- 10^{-11} para materiales finos, y 10^{-9} para grandes, en m/s^2)

mas

α_L = Dispersividad (unidades de distancia)

$$\alpha_L \approx 0.1L \quad 4$$

Ejemplo. Determinar el tiempo en que el frente de la pluma de un contaminante con un valor de 5 mg/l llega a un pozo de explotación localizado a una distancia de 2000 metros del pozo de recarga. Se seleccionó al parámetro NO₃ por ser el que presenta mayor concentración en el agua de recarga. Se marcó como 5 mg/l el frente de la pluma contaminante debido a que corresponde al criterio para agua potable.

Por lo tanto los valores iniciales son:

$$C_0 = 515 \text{ mg/l (NO}_3\text{)}$$

$$C = 5 \text{ mg/l (NO}_3\text{)}$$

$$L = 2000 \text{ m}$$

$$T = \text{incognita}$$

$$K = 2.2 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$dh/dl = 0.01$$

$$n_e = 0.23$$

$$D^* = 10^{-9} \text{ m/s}^2$$

sustituyendo los valores en la fórmula (2)

$$V_x = \frac{2.2 \times 10^{-5}}{0.23} \times 0.01 = 9.6 \times 10^{-7} = 10^{-6} \text{ m/s}$$

$$\alpha_L = 0.1(2000) = 200 \text{ m}, \text{ (formula 4)}$$

$$D_L = 200 \times 10^{-6} + 10^{-9} = 2 \times 10^{-4} \text{ m/s}, \text{ (formula 3)}$$

Cuando la dispersividad (α_L), longitud (L) o el tiempo (T) son grandes, el segundo término del lado derecho de la expresión general (ecuación 1) tiende a cero. (Freeze and Cherry, 1979, pag. 391).

Por ello y sustituyendo los valores en la ecuación (1) queda:

$$\frac{5}{515} = \frac{1}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{2000 - 10^{-6} T}{2\sqrt{2 \times 10^{-4} T}} \right) \right]$$

$$0.02 = \operatorname{erfc} \left(\frac{2000 - 10^{-6} T}{0.028\sqrt{T}} \right) \quad \text{5}$$

$$\text{si denominamos } X = \left(\frac{2000 - 10^{-6} T}{0.028\sqrt{T}} \right) \quad \text{6}$$

entonces:

$$\operatorname{erfc}(x) = 0.02$$

de la tabla (apendice 13, Fetter, 1988):

$$\operatorname{erfc}(1.6) = 0.023652$$

$$\operatorname{erfc}(1.7) = 0.016210$$

$$\text{por lo tanto: } \frac{0.023652 - 0.016210}{10} = 0.0007442 \quad \text{para cada incremento}$$

de 0.01 en el rango de 1.6 a 1.7

$$\text{por lo tanto: } \operatorname{erfc}(1.65) = 0.0199$$

$$\text{por lo tanto: } x = 1.65$$

$$\text{sustituyendo en (6): } 1.65 = \left(\frac{2000 - 10^{-6} T}{0.028\sqrt{T}} \right)$$

$$0.046\sqrt{T} = 2000 - 10^{-6} T$$

elevando al cuadrado:

$$0.002T = 4 \times 10^6 - 0.004T + 10^{-12} T^2$$

$$10^{-12} T^2 - 0.006T + 4 \times 10^6 = 0$$

$$T = \frac{0.006 \pm \sqrt{0.006^2 - 4 \times 10^{-12} \times 4 \times 10^6}}{2 \times 10^{-12}}$$

$$T = \frac{0.006 \pm \sqrt{3.6 \times 10^{-5} - 1.6 \times 10^{-5}}}{2 \times 10^{-12}}$$

$$T = \frac{0.006 \pm 0.0045}{2 \times 10^{-12}}$$

$$T_1 = \frac{5.3 \times 10^{-3}}{10^{-12}}$$

$$T_2 = \frac{7.5 \times 10^{-4}}{10^{-12}}$$

$$T_1 = 5.3 \times 10^9 \text{ seg}$$

$$T_2 = 7.5 \times 10^8 \text{ seg}$$

$$T_1 = 170 \text{ años}$$

$$T_2 = 24 \text{ años}$$

El valor de tiempo real obtenido de la deducción de la ecuación cuadrática anterior es de 24 años.

EJEMPLO:

Se busca la distancia L del frente de Concentración C en al tiempo T

Concentración inicial (Co) mg/L:	515
Concentración del frente (C) mg/L:	5
Tiempo (T) años:	10
Tiempo en segundos:	3.15E+08
Conductividad hidráulica (K) m/s:	2.2E-05
Porosidad:	0.23
Gradiente:	0.01
Velocidad linear (Vx) m/s:	9.6E-07
Difusión molecular (D*) m/s ² :	1.00E-09
Dispersividad (alfa) m:	82 ** Se obtiene de aproximaciones de (alfa) = 0.
Dispersión (D _L) m/s ² :(formula 3)	7.84E-05

De formula (1):

$$\frac{2C}{C_o} = \operatorname{erfc}\left(\frac{L - V_x T}{2\sqrt{D_L T}}\right)$$

Si denominamos

$$X = \frac{L - V_x T}{2\sqrt{D_L T}} \quad \text{-----(7)}$$

entonces:

$$\frac{2C}{C_o} = \operatorname{erfc}(X)$$

$$\operatorname{erfc}(x) = 0.019417$$

x (limite inferior):	1.6	erfc(limite inferior):	0.023652
x (limite superior):	1.7	erfc(limite superior):	0.016210
		incremento por 0.001 de unidad:	0.000744
		No. de incrementos:	4.310
		X:	1.66

Sustituyendo X en formula (7):

$$L = X2\sqrt{D_L T} + V_x T$$

Se obtiene que L = 822.83 m

APPENDIX 13 Values of the error of x [$\text{erf}(x)$] and the complementary error function of x [$\text{erfc}(x)$]. Note that $\text{erfc}(x) = 1 - \text{erf}(x)$.

x	$\text{erf}(x)$	$\text{erfc}(x)$
0	0	1.0
0.05	0.056372	0.943628
0.1	0.112463	0.887537
0.15	0.167996	0.832004
0.2	0.222703	0.777297
0.25	0.276326	0.723674
0.3	0.328627	0.671373
0.35	0.379382	0.620618
0.4	0.428392	0.571608
0.45	0.475482	0.524518
0.5	0.520500	0.479500
0.55	0.563323	0.436677
0.6	0.603856	0.396144
0.65	0.642029	0.357971
0.7	0.677801	0.322199
0.75	0.711156	0.288844
0.8	0.742101	0.257899
0.85	0.770668	0.229332
0.9	0.796908	0.203092
0.95	0.820891	0.179109
1.0	0.842701	0.157299
1.1	0.880205	0.119795
1.2	0.910314	0.089686
1.3	0.934008	0.065992
1.4	0.952285	0.047715
1.5	0.966105	0.033895
1.6	0.976348	0.023652
1.7	0.983790	0.016210
1.8	0.989091	0.010909
1.9	0.992790	0.007210
2.0	0.995322	0.004678
2.1	0.997021	0.002979
2.2	0.998137	0.001863
2.3	0.998857	0.001143
2.4	0.999311	0.000689
2.5	0.999593	0.000407
2.6	0.999764	0.000236
2.7	0.999866	0.000134
2.8	0.999925	0.000075
2.9	0.999959	0.000041
3.0	1.999978	0.000022
∞	1.00000	0.00000

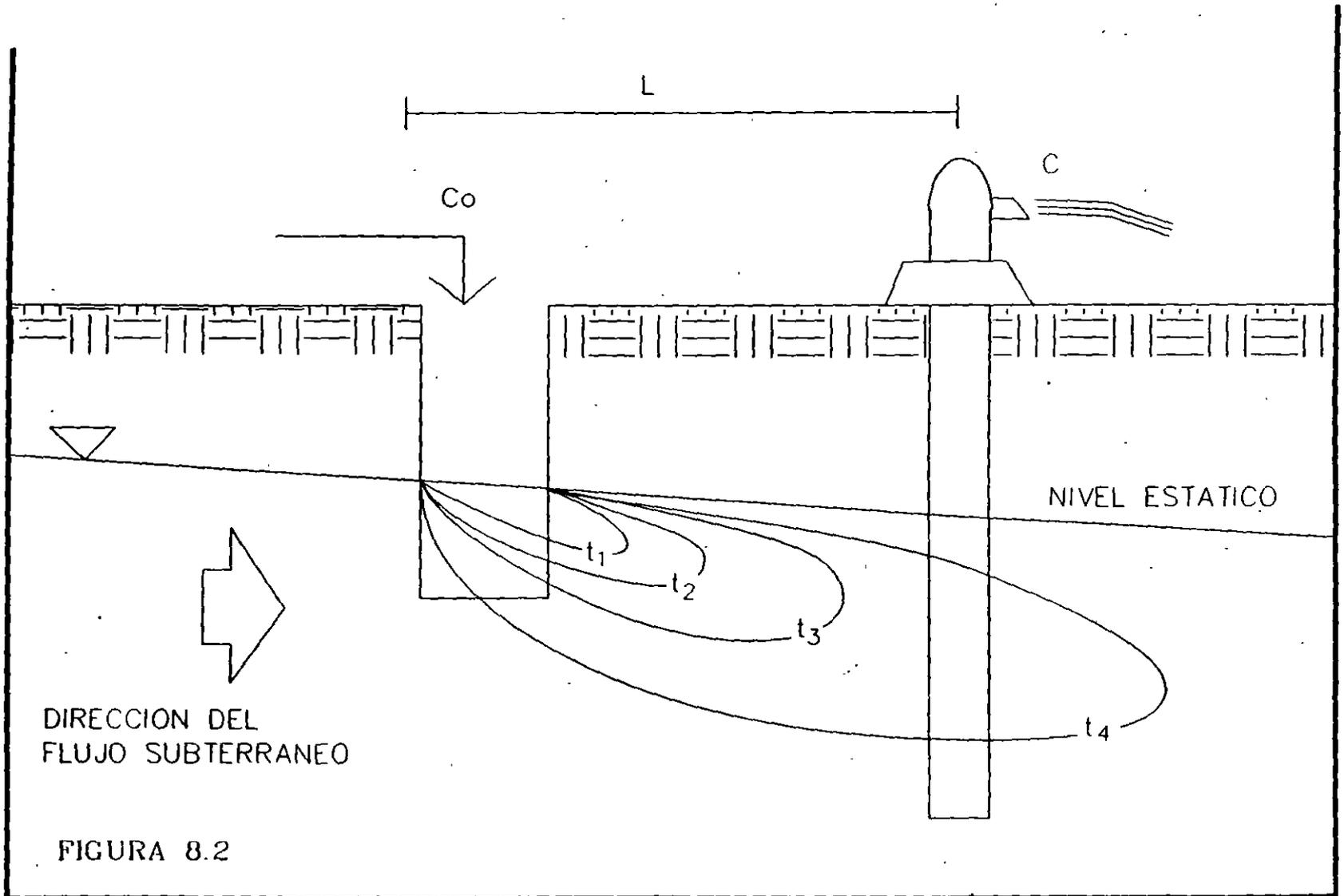


FIGURA 8.2

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).

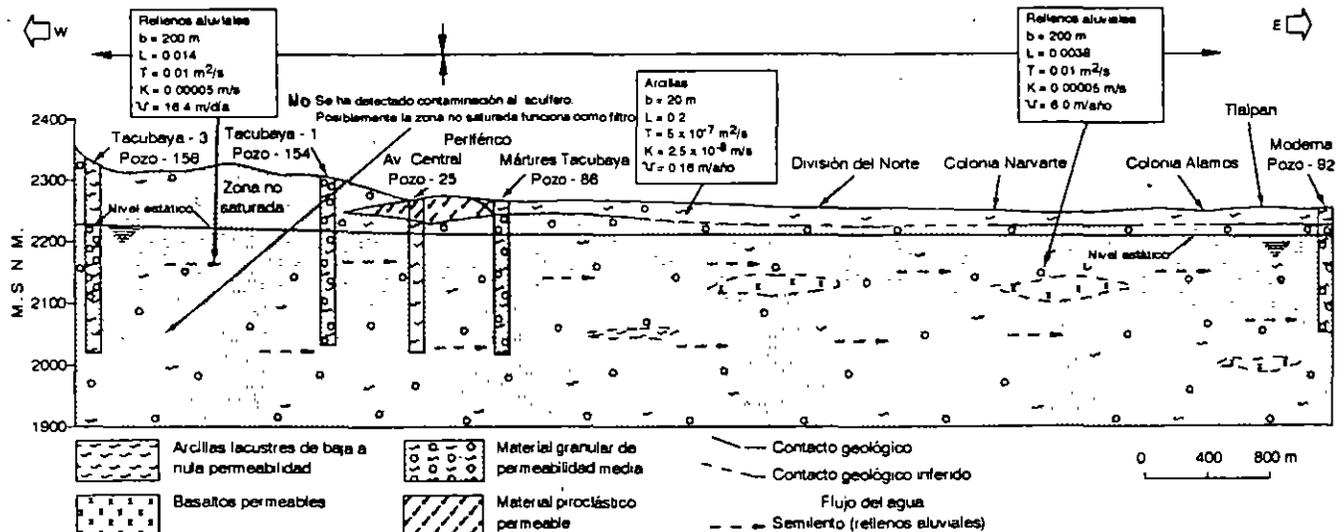
Arcillas lacustres

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 infiltra agua al acuífero a partir de la superficie.

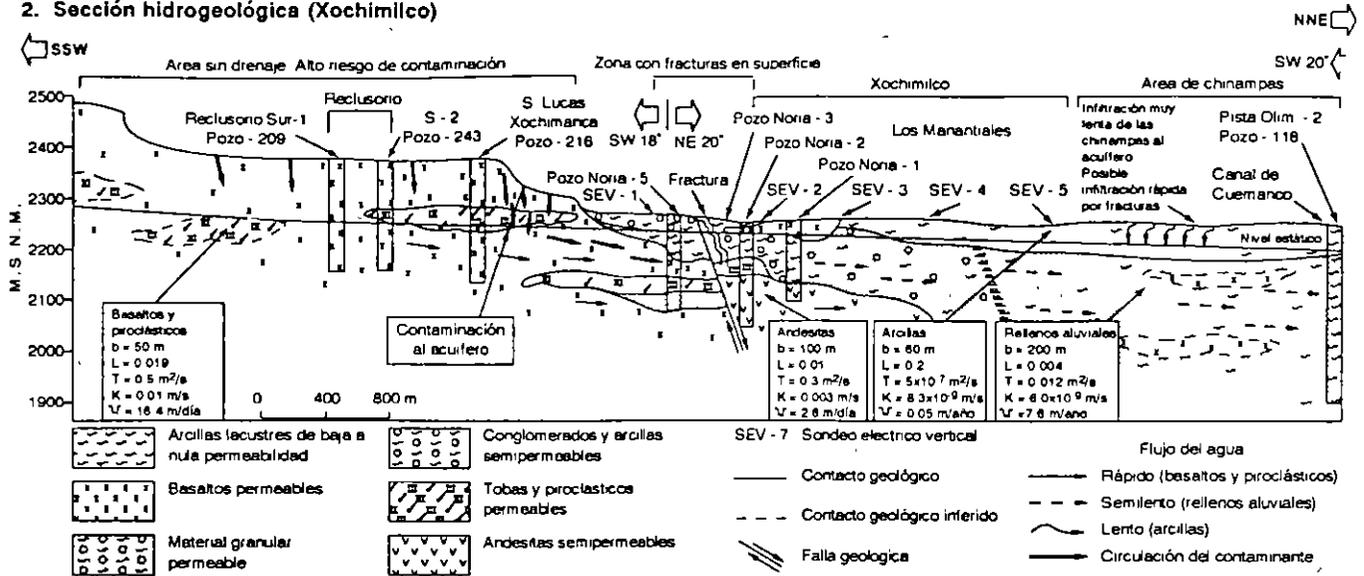
Rellenos aluviales

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 m²/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 m²/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 estribación 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

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 Vs y un rendimiento específico de 333 Vs 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 m²/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

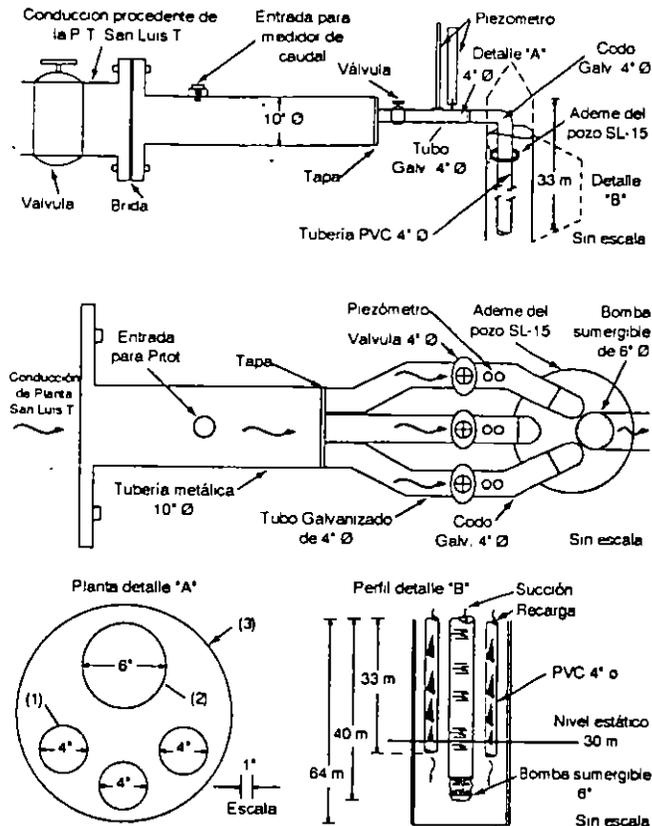
Parametro	Norma del efluente
Físicos	
pH	6.5
Color	60
Conductividad (mmhos/cm)	200
Sólidos totales	3000.0
SIF	1500.0
STV	1000.0
SDI	500.0
SDF	1000.0
SDV	500.0
SSI	500.0
SSF	500.0
SSV	15.0
Sólidos sedimentales (mL/l)	1.0
Químicos orgánicos	
Alcalinidad total	500.0
Alcalinidad a la fenofaleína	100.0
Carbonatos	100.0
Dureza total	
Bicarbonatos	0.0
Cloruros	500.0
Nitrógeno amoniacal	5.0
Nitrógeno total	10.0
Fósforo total	50.0
Fosfatos totales	
Boro	2.0
Químicos orgánicos	
DBD soluble	200.0
DQO soluble	400.0
Grasas y aceites	500.0
S.A.A.M.	1.0
Biológicos	
Coliformes totales col/100 ml	4000.0
Metales	
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 sin 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.

(infiltración) de 76.7 Mm³/año. En Chalco, la entrada por flujo subterráneo fue de 135.7 Mm³/año; la extracción por bombeo de 168.57 y el cambio de almacenamiento de -6.47 Mm³/año, por lo que la infiltración (drenado de las arcillas) resultó de 26.4 Mm³/año.

La sobreexplotación, en este caso, corresponde al volumen de agua que perdió el acuífero el cual está representado por el cambio de almacenamiento; más el volumen drenado verticalmente del acuitardo, que es también un volumen de agua perdido por el subsuelo. La relación de estos parámetros con la entrada por flujo subterráneo indica el porcentaje de sobreexplotación, Este, ascendió a 35% en la Ciudad de México, a 65% en el área de Texcoco y a 24% en el valle de Chalco.

La recarga artificial al acuífero se dividió de acuerdo al tipo de agua disponible en: recarga con agua residual tratada y recarga con agua pluvial.

Inicialmente, se consideró el volumen de agua residual tratada disponible. Existen 23 plantas de tratamiento en el Distrito Federal de las cuales 13 se encuentran ubicadas en sitios donde se puede realizar la recarga al acuífero a través de pozos. El proyecto aquí presentado incluye un caudal de inyección de 1057 lps a través de 37 pozos.

CONCLUSIONES

La zona estudiada abarca alrededor de 2000 kilómetros cuadrados, incluyó a la Ciudad de México, y se extendió hacia el este hasta Chalco y Texcoco, y al norte hasta Chiconautla.

Se utilizó la información de 1489 pozos, de los cuales 677 son pozos municipales y particulares ubicados en la propiamente Ciudad de México; más 406 pozos del Valle de Texcoco que son utilizados principalmente en la agricultura; 47 pozos al norte del área de Chiconautla, utilizados principalmente en agua potable y 64 pozos al poniente del Caracol de Texcoco. En la porción noroccidental se obtuvieron también datos de 10 pozos de agua potable. Adicionalmente, en el área de Chalco se obtuvo información de 285 pozos que incluyen municipales y particulares.

La extracción de agua del acuífero provoca abatimientos en el nivel tanto estático como dinámico.

La zona con mayor afectación por abatimientos de la superficie piezométrica corresponde a la porción suroccidental, que va del Cerro de la Estrella a Tlalpan.

En los últimos 2 años se observó una recuperación de niveles en la zona poniente de la Ciudad de México.

Se obtuvieron los gastos para cada uno de los pozos, obteniéndose una extracción total en el área estudiada de 864.66 Mm³/año, que equivalen a un caudal instantáneo de 27.42 m³/seg.

La extracción en el subsistema acuífero Ciudad de México, fue de 390.75 Mm³/año; en Texcoco de 286.54 Mm³/año y en Chalco de 187.37 Mm³/año, equivalentes a 12.39, 9.09 y 5.94 m³/seg respectivamente.

La evolución o cambio de almacenamiento anual fue de -12.82 Mm³/año para la Ciudad de México; -23.00 Mm³/año en Texcoco y; de -6.47 Mm³/año para Chalco, correspondientes a -0.41, -0.73 y -0.21 m³/seg respectivamente.

La entrada por flujo subterráneo a la Ciudad de México ascendió a 257 Mm³/año equivalente a 8.15 m³/seg; en el área de Texcoco, ésta fue de 154.3 Mm³/año equivalente a 4.89 m³/seg y; por lo que se refiere a Chalco, ésta ascendió a 135.7 Mm³/año que equivale a 4.30 m³/seg.

Utilizando los datos de entrada por flujo subterráneo, extracción y cambio de almacenamiento mencionados en incisos, se dedujo la recarga por drenado de las arcillas, la cual resultó para la Ciudad de México de 78.18 Mm³/año; para Texcoco de 76.7 Mm³/año y; para Chalco de 26.4 Mm³/año, que equivalen a 2.48, 2.43 y 0.84 m³/seg respectivamente.

La sobreexplotación en la Ciudad de México fue del 35%, en Texcoco del 65% y en Chalco del 24%.

Para efectuar la recarga artificial al acuífero es necesario que se cumplan las dos condiciones siguientes: La existencia de sitios y zonas permeables y, la existencia de volúmenes de agua susceptibles de destinarse para la recarga.

La infiltración puede realizarse a través de pozos o de estanques.

Los volúmenes de agua disponibles para recarga corresponderán a aguas residuales renovadas, provenientes de futuras ampliaciones a planta de tratamiento o bien a eficientización de las mismas.

Otra fuente de agua para recarga es la lluvia, utilizando dispositivos de captación en cuencas sobre áreas tales como estacionamientos o techos de centros comerciales u otros, de tal manera que permitan su captación y tratamiento previamente a su inyección al subsuelo.

La capacidad del acuífero para recarga es muy grande, por lo que ésta se deberá medir en base a la disponibilidad de aguas para recarga.

En una alternativa preliminar se obtuvo la posibilidad de recargar 1057 lps a través de 37 pozos, 12 de los cuales ya se encuentran perforados.

La recarga de agua tratada a través de estanques, actualmente se realiza con un caudal de 600 lps y se tiene en proyecto la ampliación a 1000 lps, la cual será suministrada a partir de ampliaciones de la planta de tratamiento Cerro de la Estrella.

Con agua de lluvia se seleccionaron 6 sitios al pie de la Sierra Nevada, donde podrían perforarse 6 pozos de recarga a través de los cuales se podrían inyectar 20 lps por pozo durante 6 meses del año, lo que da un caudal continuo de 60 lps.

RECOMENDACIONES

Se hace notar que los datos arrojados en la cuantificación del acuífero pueden variar de un año a otro, de acuerdo tanto a la extracción por bombeo como al cambio de almacenamiento, los cuales son variables. Por ello, se recomienda efectuar balances geohidrológicos para los 10 años anteriores, utilizando una metodología consistente que permita comparar la forma como ha evolucionado el deficit del acuífero y poder simular su comportamiento a futuro.

En caso de que el suministro de agua a la ciudad lo permita, disminuir la extracción de agua en el área entre Tlalpan y Xochimilco, zona donde se ha venido incrementando en los últimos años el abatimiento de los niveles.

Aplicar un modelo matemático del acuífero, actualizando los datos de extracción, recarga y niveles, a fin de realizar una calibración adecuada y simular el comportamiento futuro bajo diferentes políticas de extracción.

Continuar con la medición piezométrica en pozos piloto cuando menos una vez por año.

Realizar estudios detallados de sitios para recarga artificial. Programas de recarga y diseños ejecutivos.

Sanear los flancos de las sierras que borden a la zona metropolitana, para procurar la recarga artificial con agua de lluvia, antes de que ésta se contamine a lo largo de los cauces actualmente contaminados.

Monitorear el acuífero para conocer los efectos de la actual recarga artificial a través del estanque de Santa Catarina.

Efectuar estudio de detalle para incrementar la infiltración de agua sobre los flancos de las sierras, mediante reforestación y construcción de presas de gaviones.

ELEVACION DEL NIVEL ESTATICO
1995

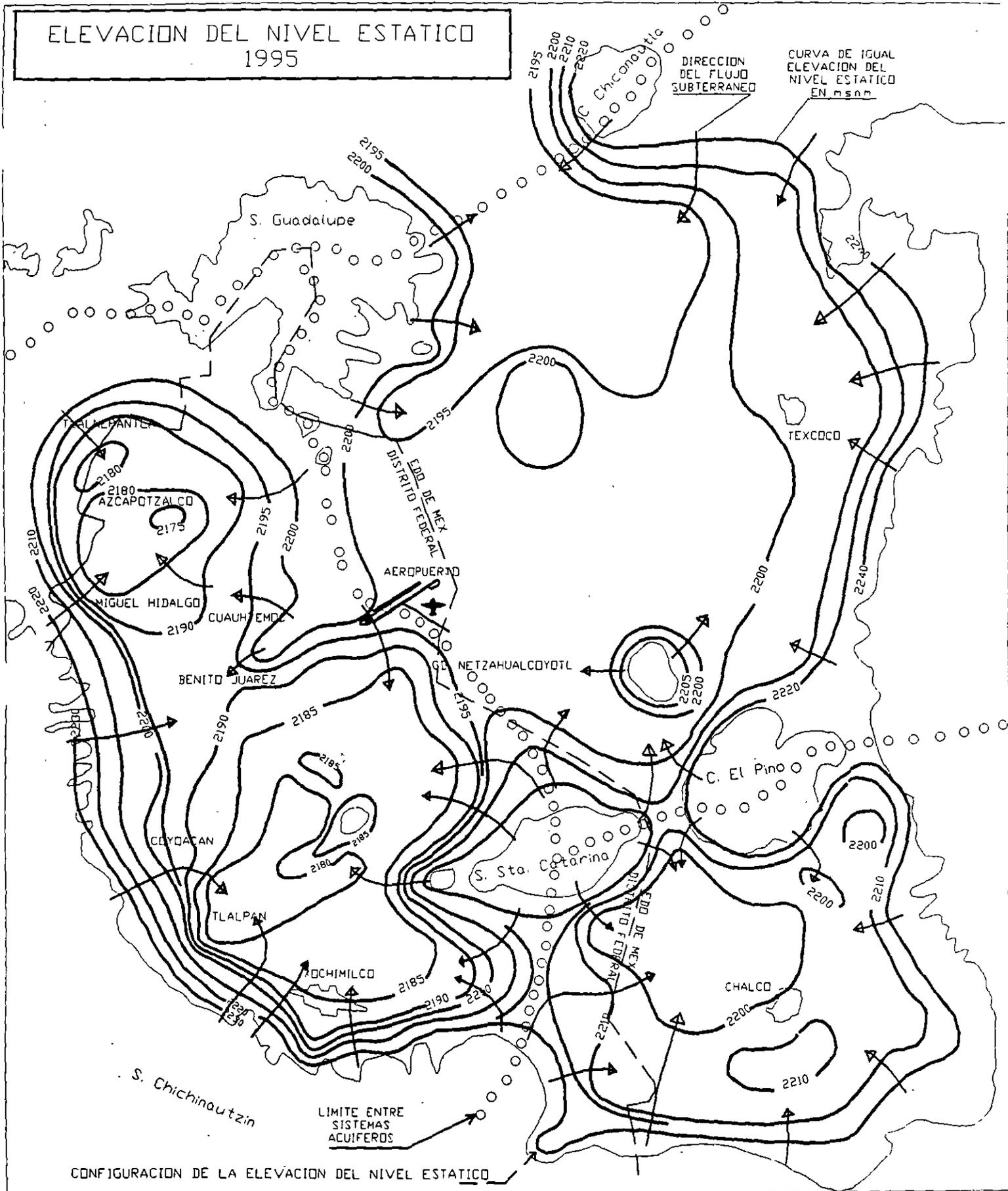


FIGURA 3.2

PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTÁTICO
1995

CURVA DE IGUAL
PROFUNDIDAD AL
NIVEL ESTÁTICO
EN METROS

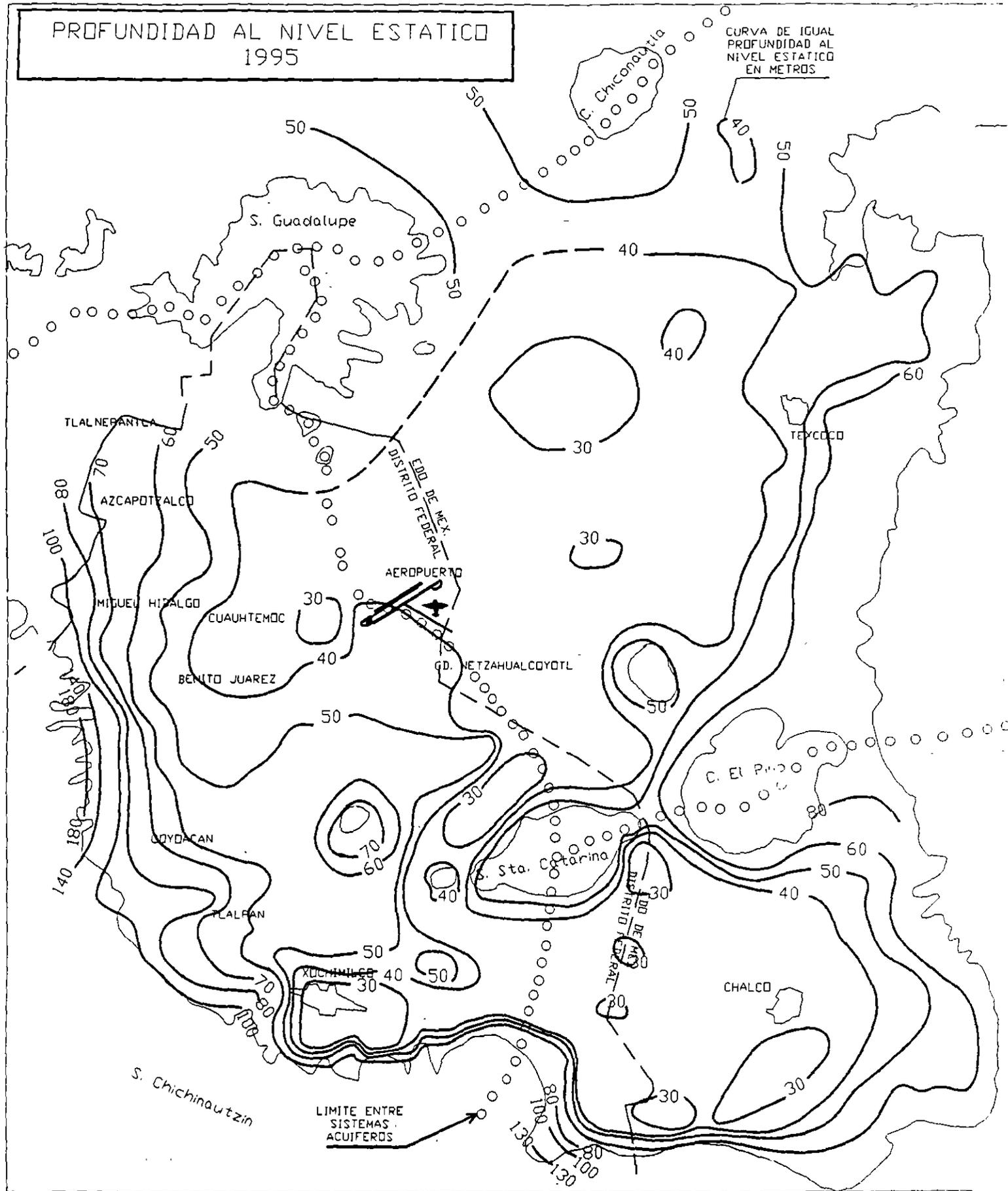


FIGURA 3.1

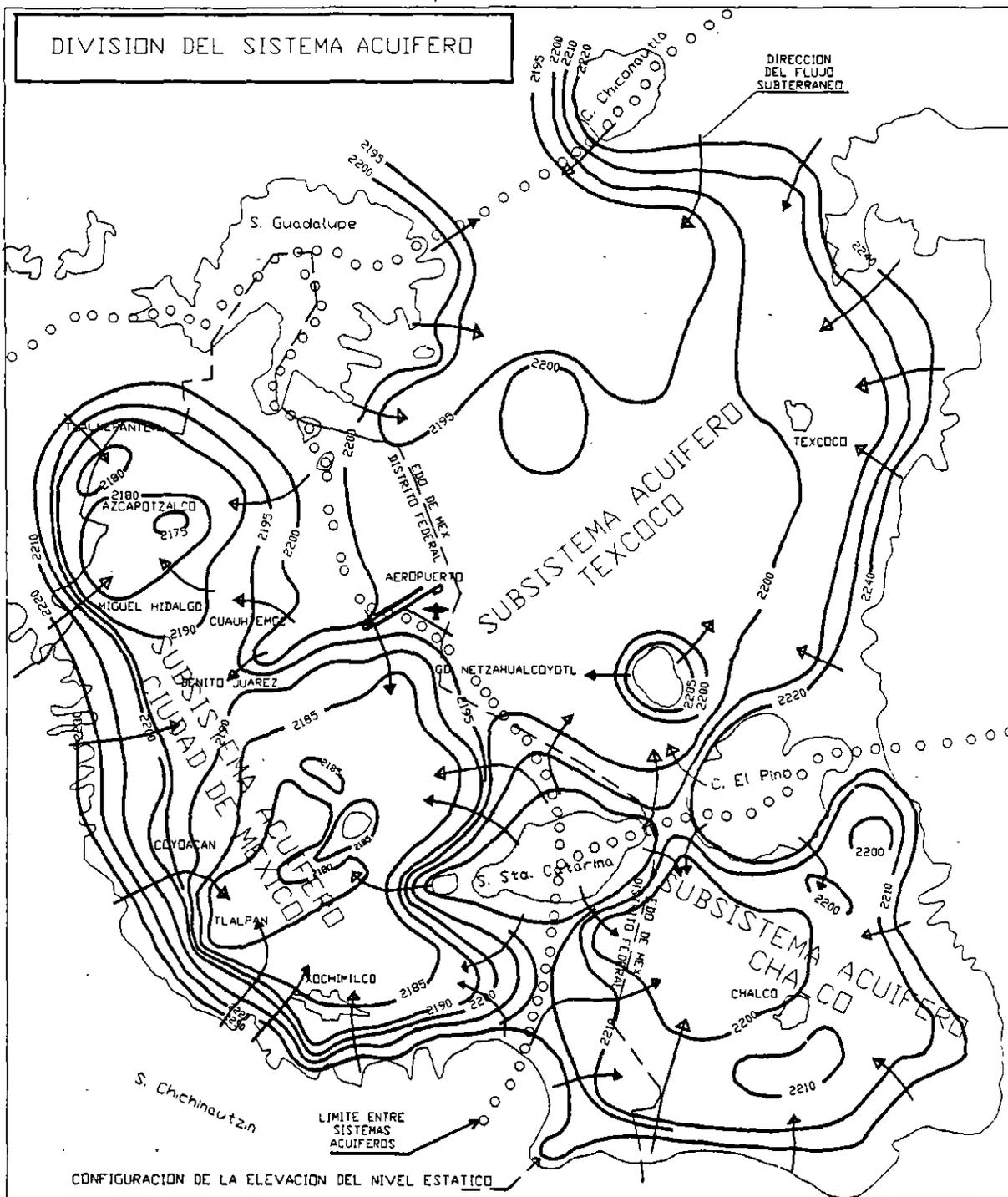


FIGURA 4.2

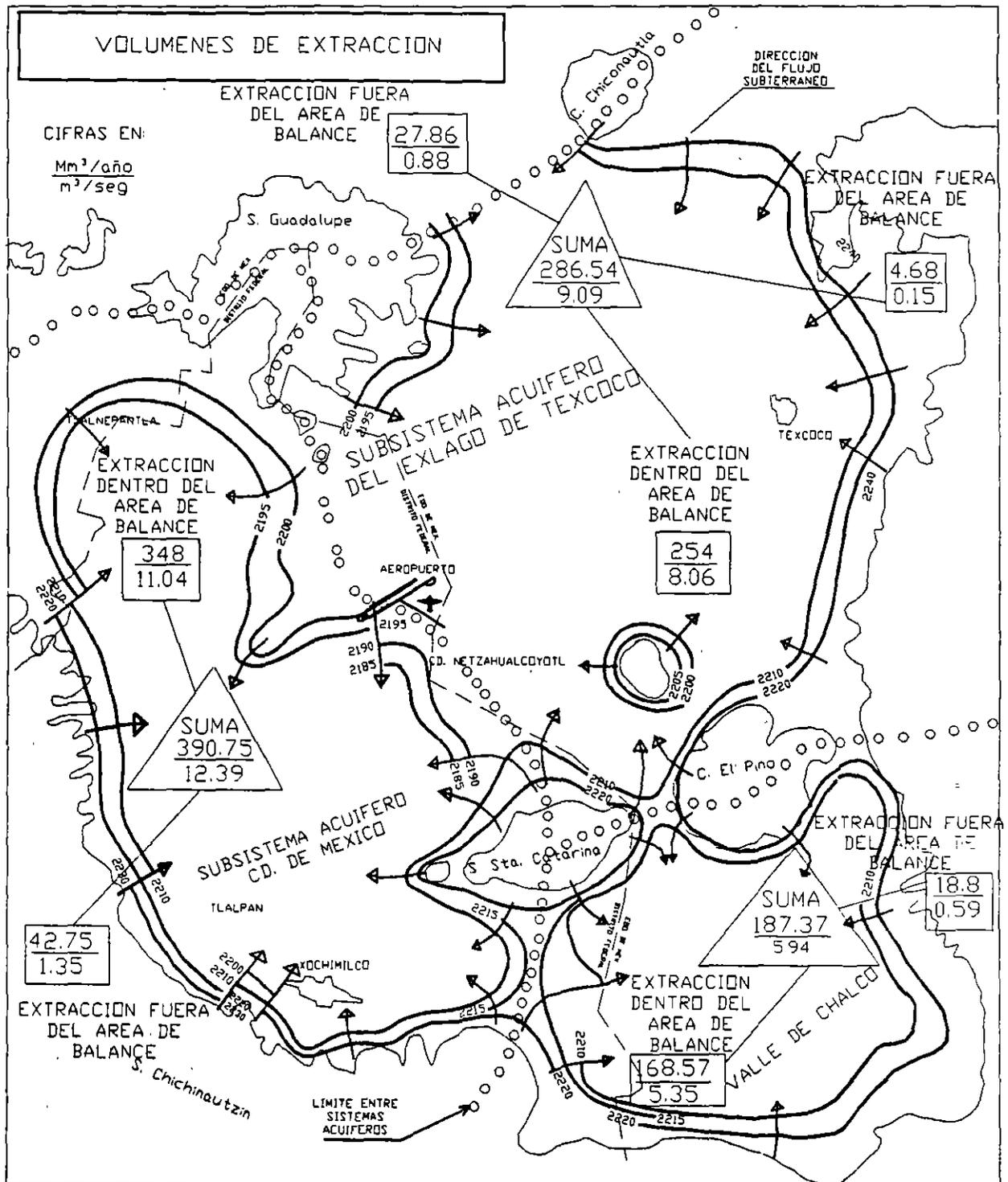


FIGURA 4.3

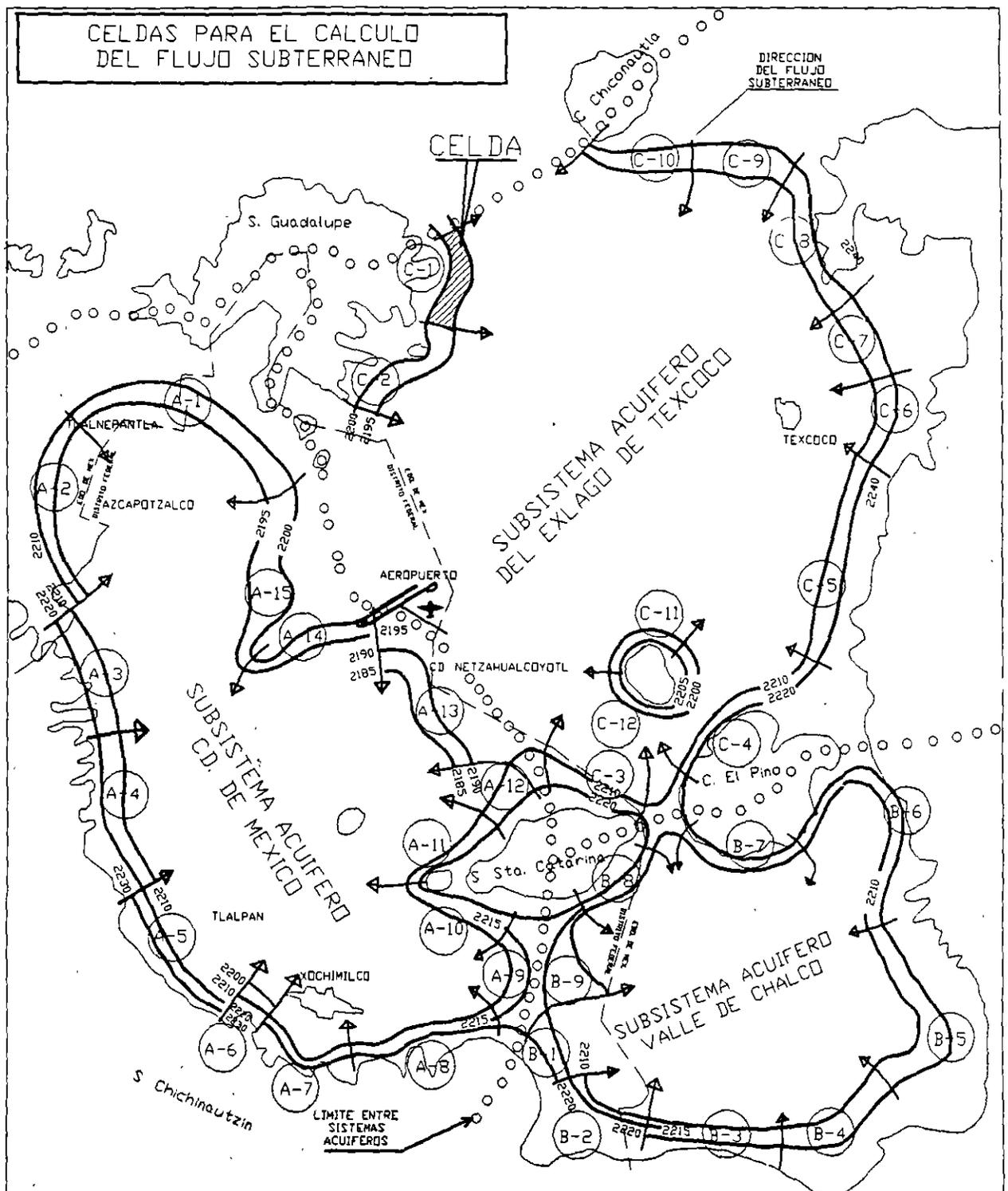


FIGURA 4.5

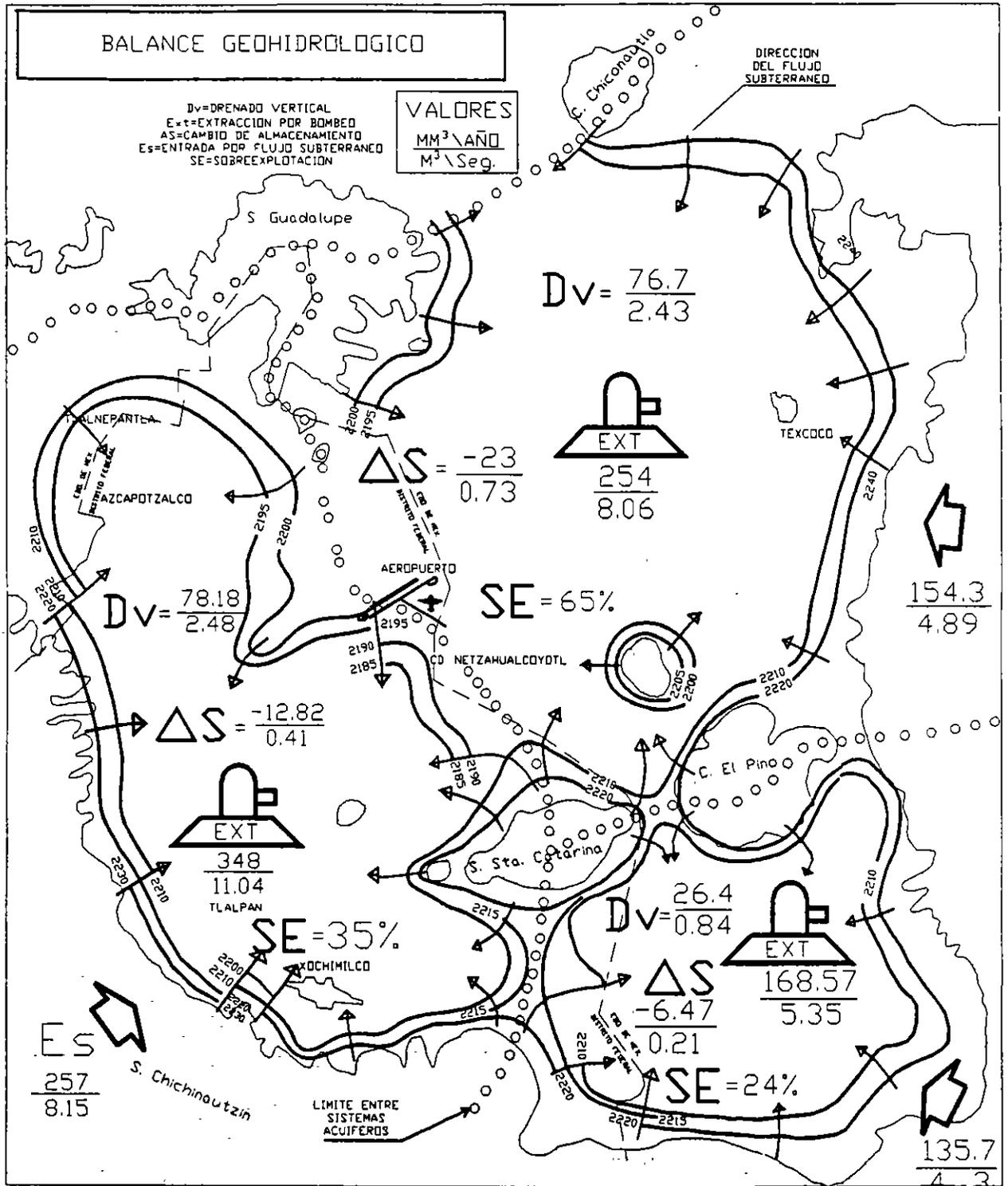


FIGURA 4 6

Aspectos geohidrológicos de la ciudad de México¹

Juan Manuel Lesser Illades
Felipe Sánchez Díaz
David González Posadas

Lesser y Asociados

Bajo el Valle de México se encuentra uno de los acuíferos más importantes del país, tanto por su magnitud como por el destino de sus aguas. De él se extraen alrededor de 500 millones de m³ anuales de agua mediante más de 100 pozos, tanto particulares como municipales. De acuerdo con su constitución y su funcionamiento hidrológico, el valle se divide en tres subsistemas acuíferos: el granular de la zona metropolitana de la ciudad, que incluye la Formación Tarango de las lomas del poniente y los materiales granulares permeables del valle; el localizado en el área de Xochimilco-Tláhuac-Chalco, que incluye un paquete acuífero de basaltos y aluviones en su parte central, y de basaltos y piroclásticos en las sierras de Santa Catarina y Chichinautzin; y el correspondiente al Lago de Texcoco donde se cuenta con escasa información; aparentemente, el agua se encuentra estática o con movimiento muy reducido hacia el oeste. La cuantificación del acuífero actualizada hasta octubre de 1987 arrojó los datos siguientes (expresados en millones de metros cúbicos por año): la entrada por flujo subterráneo fue de 384, la infiltración de 83, la salida subterránea por flujo hacia Azcapotzalco ascendió a 24, la extracción por bombeo fue de 476 y el cambio de almacenamiento fue negativo y llegó hasta 33. El abatimiento anual de los niveles estáticos varía de 0 a 3 m y los mayores se localizan en Azcapotzalco y Tlalpan, donde se han formado conos piezométricos. La sobreexplotación de los acuíferos ha ocasionado la deshidratación y compactación de las arcillas que cubren el valle y el asentamiento o hundimiento del terreno, que en ocasiones alcanza hasta 50 centímetros anuales.

Geohidrología de la ciudad de México

La ciudad de México está emplazada dentro de una antigua cuenca lacustre cerrada en la que actualmente el drenaje se lleva a cabo en forma artificial hacia el norte. Los materiales que constituyen el subsuelo corresponden a depósitos de aluviones y sedimentos lacustres. Los primeros provenían de las laderas y fueron transportados hacia el centro de la zona por corrientes fluviales; los segundos a veces sobreyacen a los aluviones y se interdigitan con ellos a profundidad. En los flancos del valle y limitándolo, principalmente hacia el sur, oriente y poniente, se encuentran elevaciones topográficas constituidas por rocas volcánicas que en su mayor parte se comportan como permeables. Por su posición topográfica, estas rocas funcionan como zona de recarga natural del acuífero.

En las estribaciones de la Sierra de Las Cruces hay una serie de antiguos depósitos volcánicos y fluviales conocida como Formación Tarango, que constituye las lomas del poniente, donde primordialmente se encuentran arenas, conglomerados, cenizas volcánicas, piroclásticos y aglomerados de mediana a baja permeabilidad. Los materiales volcánicos, en especial las lavas y los piroclásticos de tipo basáltico, forman la parte sur de la zona, y hacia sus estribaciones están interdigitados con los materiales aluviales y lacustres.

Funcionamiento del acuífero

El acuífero de la ciudad de México se recarga básicamente a partir de la infiltración de agua de lluvia que se precipita sobre los flancos de las sierras del poniente, sur y oriente, de donde fluye hacia

el centro. En los flancos de la Sierra de Santa Catarina, ubicada en la porción central sur del Distrito Federal, también existe una recarga hacia el valle. De acuerdo con la constitución del subsuelo y con el funcionamiento geohidrológico, el valle se puede dividir en tres subsistemas acuíferos.

El primero de ubica en la zona metropolitana. En general, está constituido por materiales granulares de permeabilidad media y baja, y es recargado principalmente por la sierra del poniente y por los alrededores de la Delegación de Tlalpan. En el oriente, a la altura del aeropuerto, hay un flujo subterráneo que corre en dirección este-oeste, hacia el centro de la zona metropolitana. En la parte central de la ciudad existen un cono y un domo piezométrico; el primero corresponde a una salida de agua hacia el área de Azcapotzalco, provocada por la intensa explotación que se hace del acuífero en esa zona; el segundo, se localiza entre las delegaciones Venustiano Carranza y Cuauhtémoc, y aparentemente es el resultado de varios factores como el tipo y la distribución de materiales que constituyen el subsuelo; la extracción diferencial de agua subterránea; las fugas en las redes de distribución de agua potable y la presencia de grietas que facilitan el paso del agua al acuífero.

El segundo subsistema corresponde a la zona sur del Valle de México, entre Xochimilco, Tláhuac y Chalco. Es recargado por la infiltración del agua de lluvia en las estribaciones de las sierras de Santa Catarina y Chichinautzin, mismas que lo limitan al norte y al sur. El flujo subterráneo se establece hacia el centro de los valles de Xochimilco y Chalco, donde antiguamente ocasionaba un nivel freático somero. En la actualidad, el agua se extrae a través de pozos y el nivel ha ido descendiendo.

El último subsistema acuífero corresponde al área del Lago de Texcoco, donde la información geohidrológica es escasa. Existe una recarga procedente de la sierra del oriente, la cual fluye en dirección al vaso del Lago de Texcoco. No hay datos sobre el movimiento del lago, pero aparentemente el agua se encuentra estática. Los materiales que constituyen esta zona son de baja permeabilidad; no existen extracciones considerables y el gradiente es casi nulo. En la porción occidental del vaso, a la altura del Aeropuerto Benito Juárez, se vuelve a detectar el flujo subterráneo en dirección este-oeste, se incrementa el gradiente y se pasa al primero de los subsistemas comentados.

Profundidad del nivel estático

Con los valores de profundidad del nivel estático

en 209 pozos particulares registrados en la zona metropolitana, así como en 249 del Departamento del Distrito Federal y en 242 pozos agrícolas de la porción oriental, se trazó una configuración de la profundidad del nivel estático para septiembre de 1987 (véase ilustración 1). En el poniente de la zona, la profundidad se incrementa hacia la sierra y se detectan valores entre 70 y 180 m. Hacia la parte central de la ciudad, el gradiente es muy suave; la profundidad varía de 20 m en el Aeropuerto Benito Juárez a 50 m en el flanco poniente de la ciudad.

En la porción suroccidental, entre Coyoacán y el Cerro de La Estrella, la profundidad del nivel del agua permanece muy similar, entre 40 y 50 metros.

En la zona sur, entre Xochimilco y Chalco, los niveles son someros; se encuentran profundidades de 10 m al suroeste de Chalco que llegan hasta 40 m en toda la parte plana y baja de la zona. Hacia las sierras, la profundidad al nivel del agua tiende a incrementarse y se registran valores de hasta 70 metros.

En los alrededores del Vaso de Texcoco, el nivel estático está muy cercano a la superficie, 5 m aproximados en la parte central del lago; se profundiza desde la parte central de dicho vaso hasta el aeropuerto, incluyendo ciudad Nezahualcóyotl, con profundidades someras de entre 5 y 20 metros.

Elevación del nivel estático

Actualmente, se cuenta con una red de observaciones piezométricas para la ciudad de México que incluye 320 aprovechamientos; las configuraciones de la elevación del nivel estático abarcan de 1983 a 1987. Con objeto de mostrar la distribución de la superficie piezométrica y comparar su evolución respecto al tiempo, se presentan las configuraciones de octubre de 1985 y marzo de 1987 (véanse ilustraciones 2 y 3).

Zona metropolitana

En la ciudad de México, el acuífero se recarga por el poniente, el sur y el oriente y presenta un flujo radial que, en forma general, tiende a circular hacia el valle. En la parte central norte de la ciudad destacan un cono y un domo piezométrico y en la porción suroccidental, un cono. El cono del norte se ha formado por la extracción de agua que se realiza en esa zona, donde existen numerosas industrias, entre otras, las instalaciones de la Refinería Azcapotzalco de Petróleos Mexicanos, que cuenta con varios pozos que extraen aproximadamente 300 Vs.

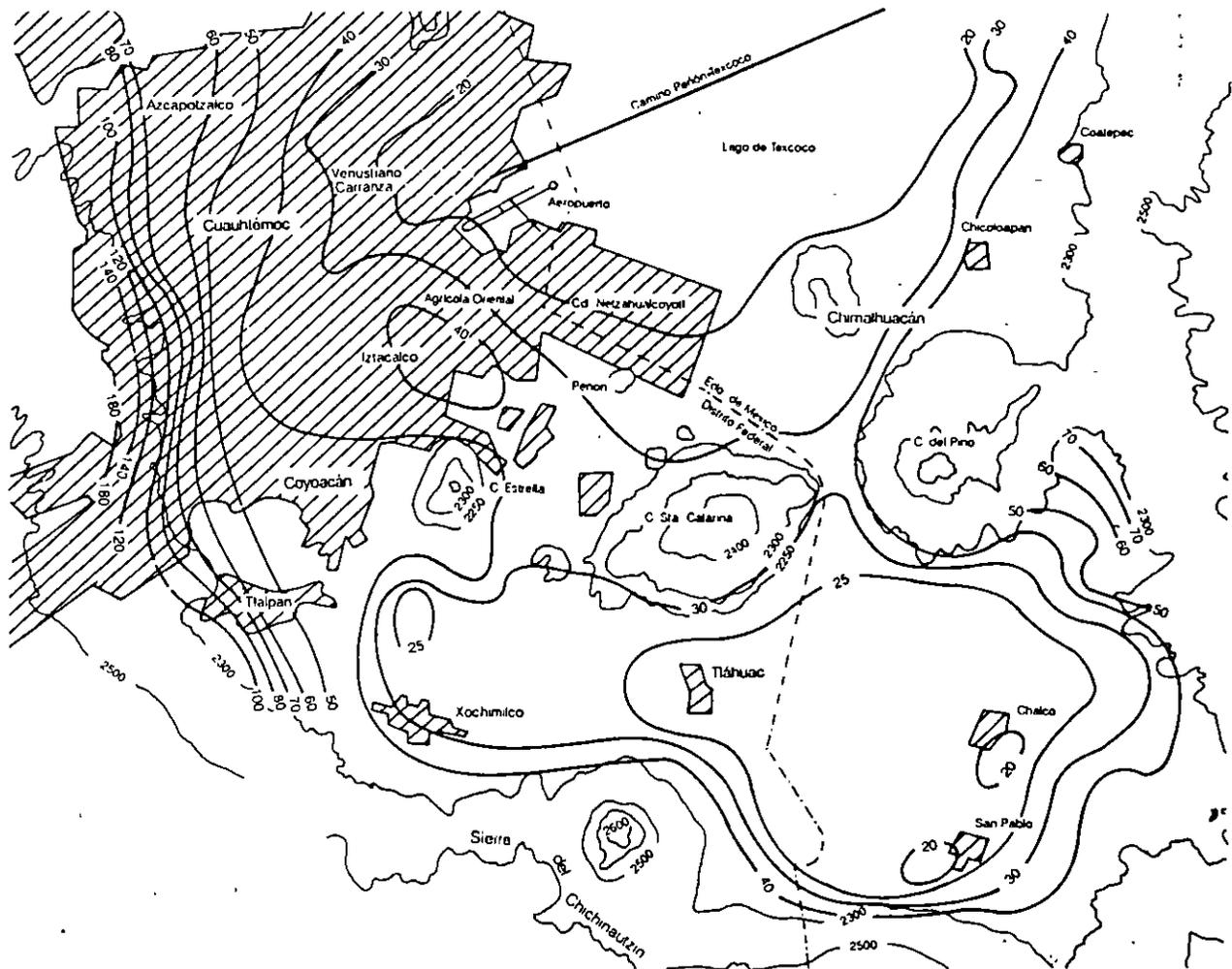
Los principales cambios en las configuraciones, de agosto de 1985 a marzo de 1987, se detectaron en el área de Tlalpan-Xotepingo, donde se observa la aparición de un nuevo cono piezométrico ocasionado por la extracción de agua subterránea en volúmenes mayores a la alimentación natural que recibe el acuífero. Esta área tiene las siguientes características geohidrológicas e hidrogeoquímicas (véase ilustración 4) que incluye la sección oeste-este a lo largo del cono y del domo piezométrico. En la parte A se muestran las características geohidrológicas del subsuelo, observándose que en la porción superior se encuentran arcillas lacustres de reducida permeabilidad, las que funcionan como un acuitardo. Debajo de las arcillas, hay materiales granulares de permeabilidad media, en los cuales se aloja el acuífero que es explotado por medio de pozos para el abastecimiento de la ciudad de

México. El espesor de las arcillas no se conoce con exactitud en toda su extensión, pero fluctúa entre 30 y 70 m. La posición de las superficies piezométricas del acuitardo y acuífero y el espesor de las arcillas pueden tener variaciones.

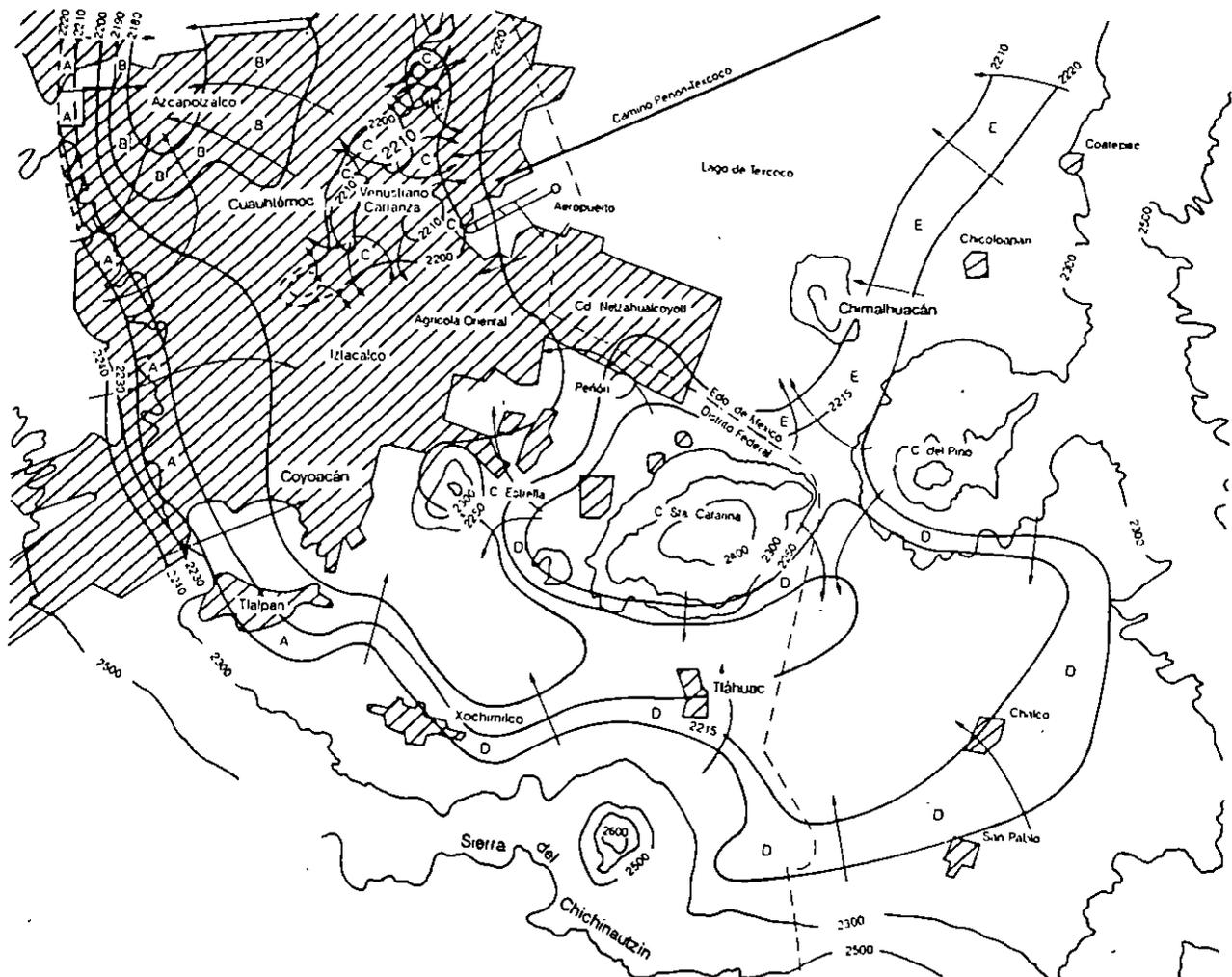
En la parte B, hacia la zona del cono piezométrico, el acuífero está sujeto a una fuerte extracción de agua subterránea; el abatimiento anual de la superficie piezométrica es de hasta 4 m y los asentamientos del terreno son moderados. Hacia la zona donde se ha detectado el domo piezométrico, la extracción es reducida; el abatimiento anual de la superficie piezométrica varía de 2 a 4 m; los asentamientos del terreno son muy reducidos. La transmisibilidad de las arcillas lacustres es de $1 \times 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$, mientras que la de los materiales granulares es de $6 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$.

En la parte C, se observan otros aspectos sobre el funcionamiento geohidrológico y geoquímico de la

1. Profundidad al nivel estático en metros (1987)



2. Elevación del nivel estático en metros (octubre-1985)



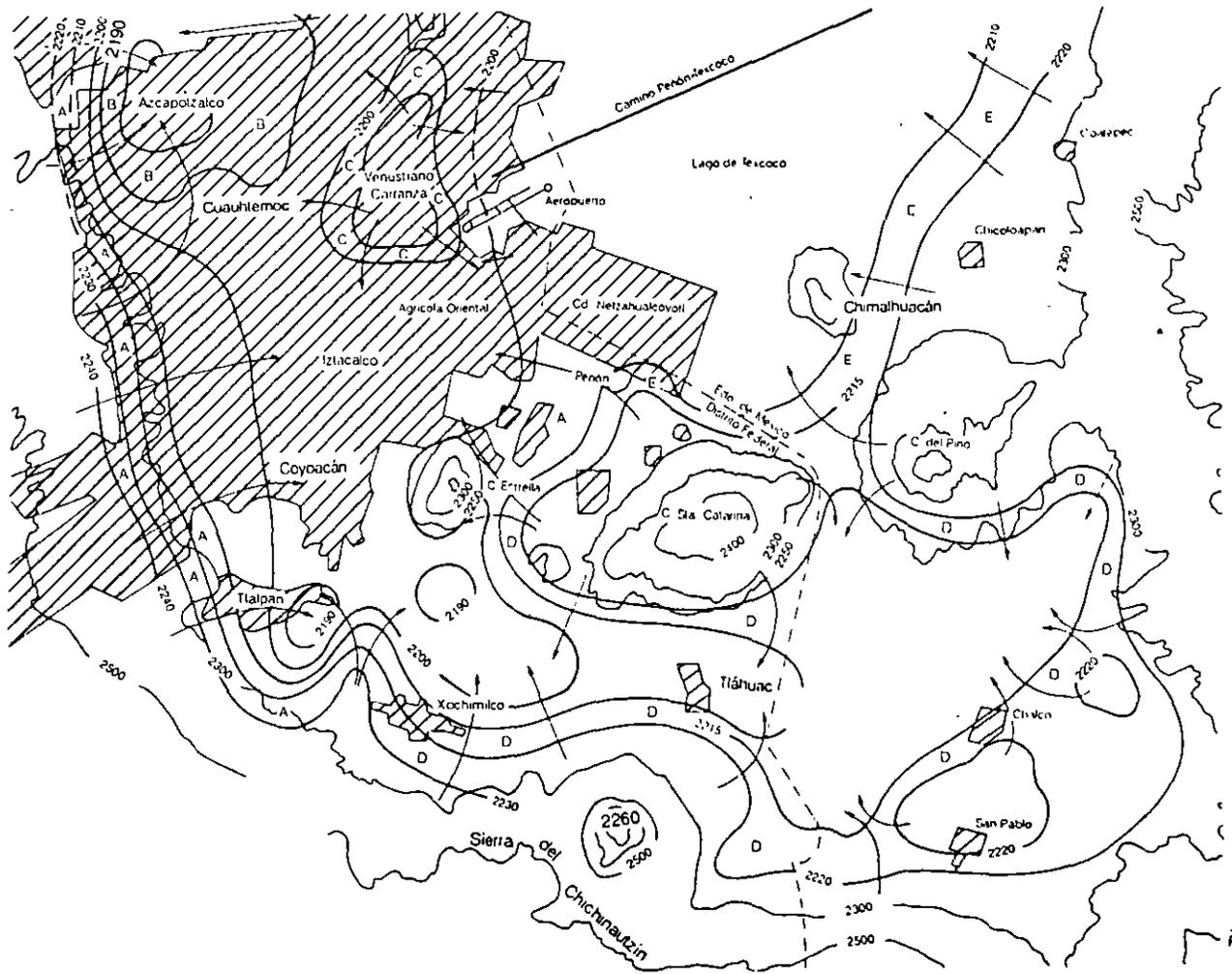
sección a lo largo del cono y el domo piezométrico. Se marcó el probable nivel freático de las arcillas (acuitardo) y la zona saturada dentro de ésta, que aportan agua al acuífero en forma de goteo.

Conforme a los datos sobre la química del agua, los análisis efectuados de 1955 a 1987 indican un incremento salino del poniente al oriente, o sea, hacia el cono piezométrico y, posteriormente, una disminución de la salinidad hacia la zona donde se ubica el domo piezométrico. La única posibilidad para lograr una disminución salina a lo largo de un flujo subterráneo es mediante la dilución o mezcla con otro tipo de agua. Si la zona central del área metropolitana es recargada por el flujo proveniente del poniente, debería presentar entre 300 y 400 ppm de sales; ya que el agua aumenta su contenido salino conforme circula en el subsuelo. Sin embargo, la presencia en el domo de concentraciones salinas

bajas, menores de 200 ppm, indica la existencia de una recarga o alimentación al acuífero con agua de muy buena calidad.

Por otra parte, el análisis de la variación respecto al tiempo de los diferentes parámetros químicos, indica que éstos se han mantenido constantes desde 1955 hasta 1987, con excepción de los cloruros, los cuales en la zona del domo, presentan un incremento paulatino. Aparentemente, la formación del domo piezométrico es el resultado de varios factores como el tipo y la distribución de materiales que constituyen el subsuelo; la extracción diferencial de agua subterránea; las fugas de las redes de distribución de agua potable y la presencia de grietas que facilitan el paso del agua al acuífero. La posible existencia de material con permeabilidad menor en el área del domo y mayor hacia los flancos, podría ser una causa de la distribución de la actual superficie

3. Elevación del nivel estático en metros (septiembre-1987)



piezométrica.

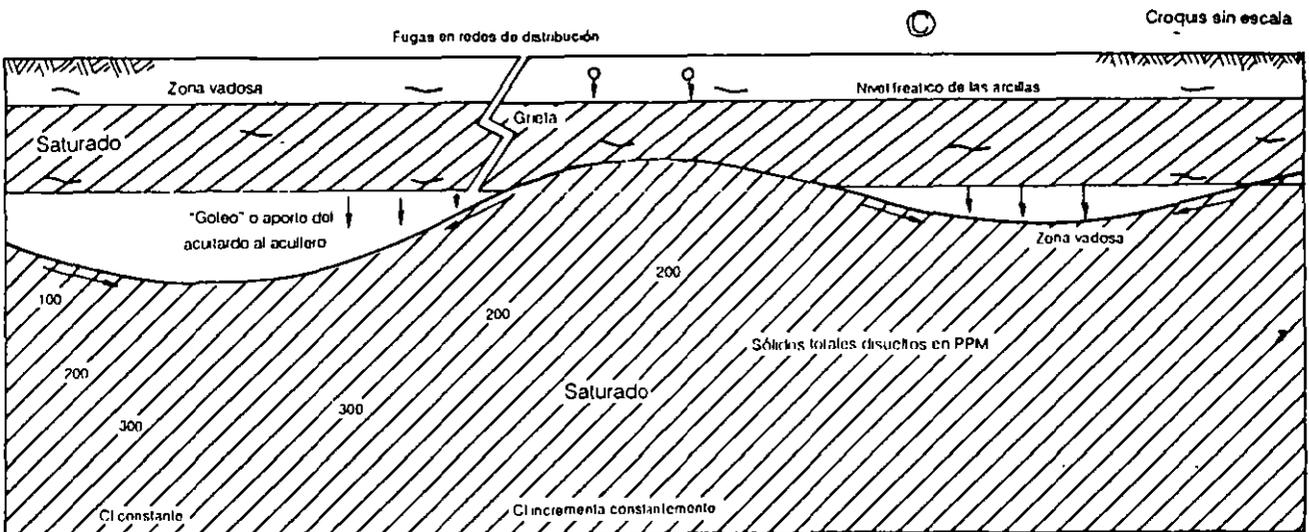
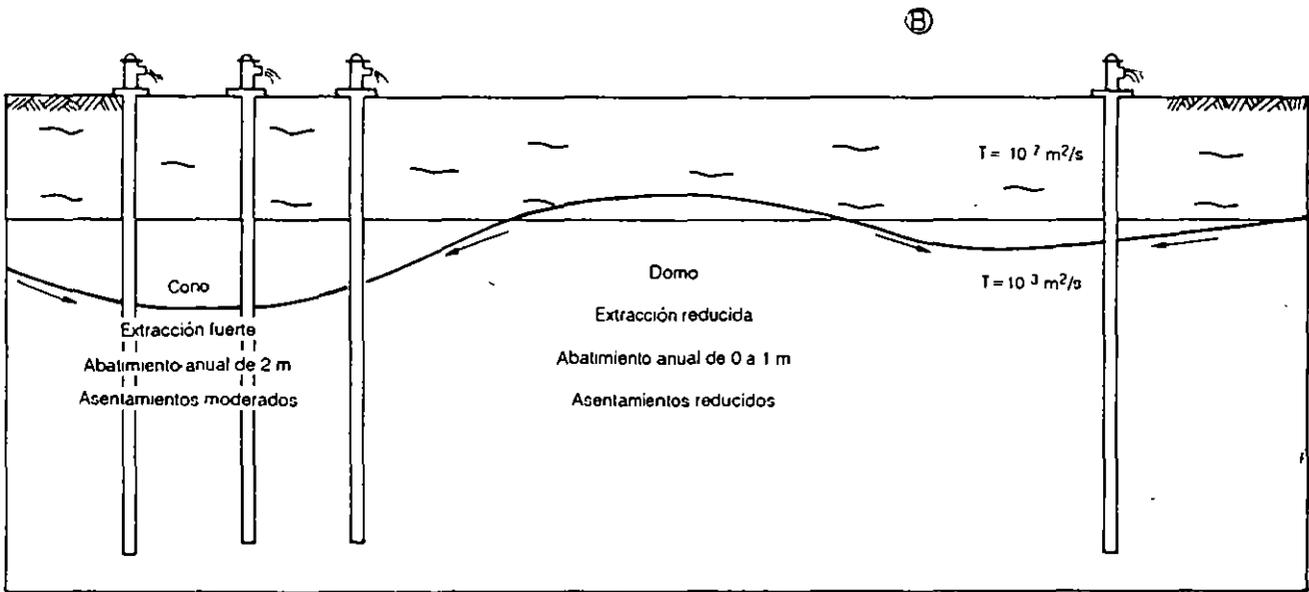
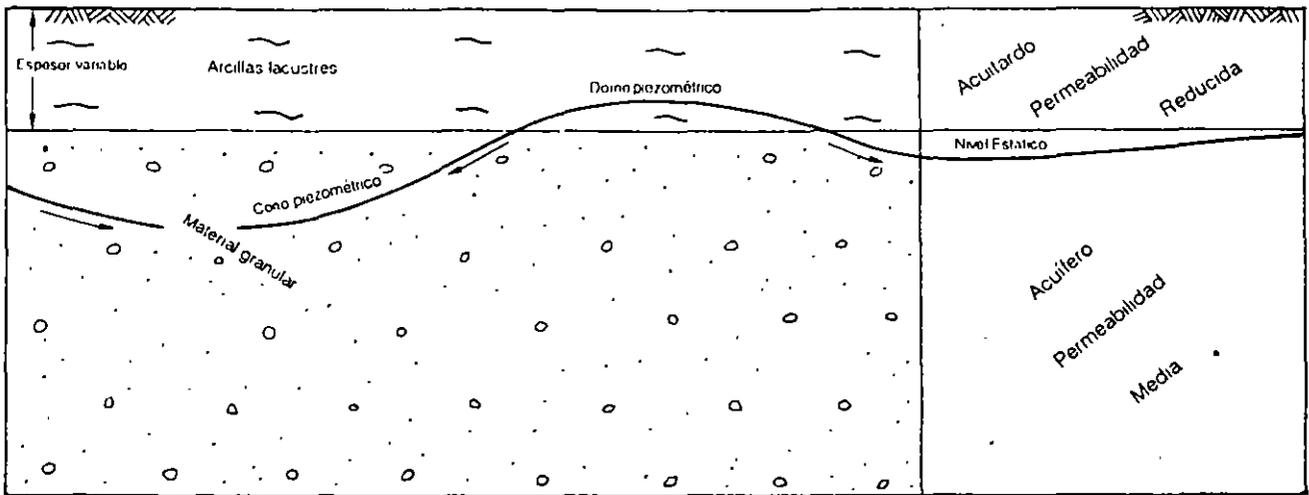
La extracción general de agua subterránea es menor en el área del domo piezométrico, aunque localmente el domo no se encuentra *circundado* por pozos con extracción fuerte. Al tratar de identificar una fuente de recarga con agua de buena calidad, surge la idea de la posible fuga de agua a partir de las redes de distribución; aunque hidráulicamente su funcionamiento no es sencillo, de plantear esto se explicaría la disminución salina. Además, es necesario determinar cuál es la fuente adicional de cloruros en el agua en la zona del domo. La única explicación que se ha podido dar es la recarga al acuífero por fugas en la red de distribución, la cual contiene el cloro que se añade al agua con objeto de desinfectarla. La constante incorporación de este elemento podría constituir la fuente adicional que se ha detectado en los análisis realizados en

los últimos 20 años. Por otro lado, se sabe de la existencia de grietas dentro de las arcillas lacustres, que se han formado por el abatimiento de los niveles piezométricos y los asentamientos del terreno. Estas grietas podrían constituir conductos preferentes de circulación de agua a través de las arcillas hacia el acuífero.

En el Valle de Xochimilco-Tláhuac-Chalco, el acuífero es recargado desde el noreste, norte y sur; su circulación es hacia el centro del valle, donde cambia su curso rumbo al poniente. Al norte de Xochimilco, este subsistema acuífero descarga hacia el subsistema de la zona metropolitana. El gradiente indica que el aporte de agua es mínimo, tal vez nulo, de un subsistema acuífero a otro.

Por lo que se refiere al subsistema acuífero del Vaso del Lago de Texcoco, se detectó un flujo piezométrico del este al oeste. Existen datos

4. Sección W-E a lo largo del cono y domo piezométrico



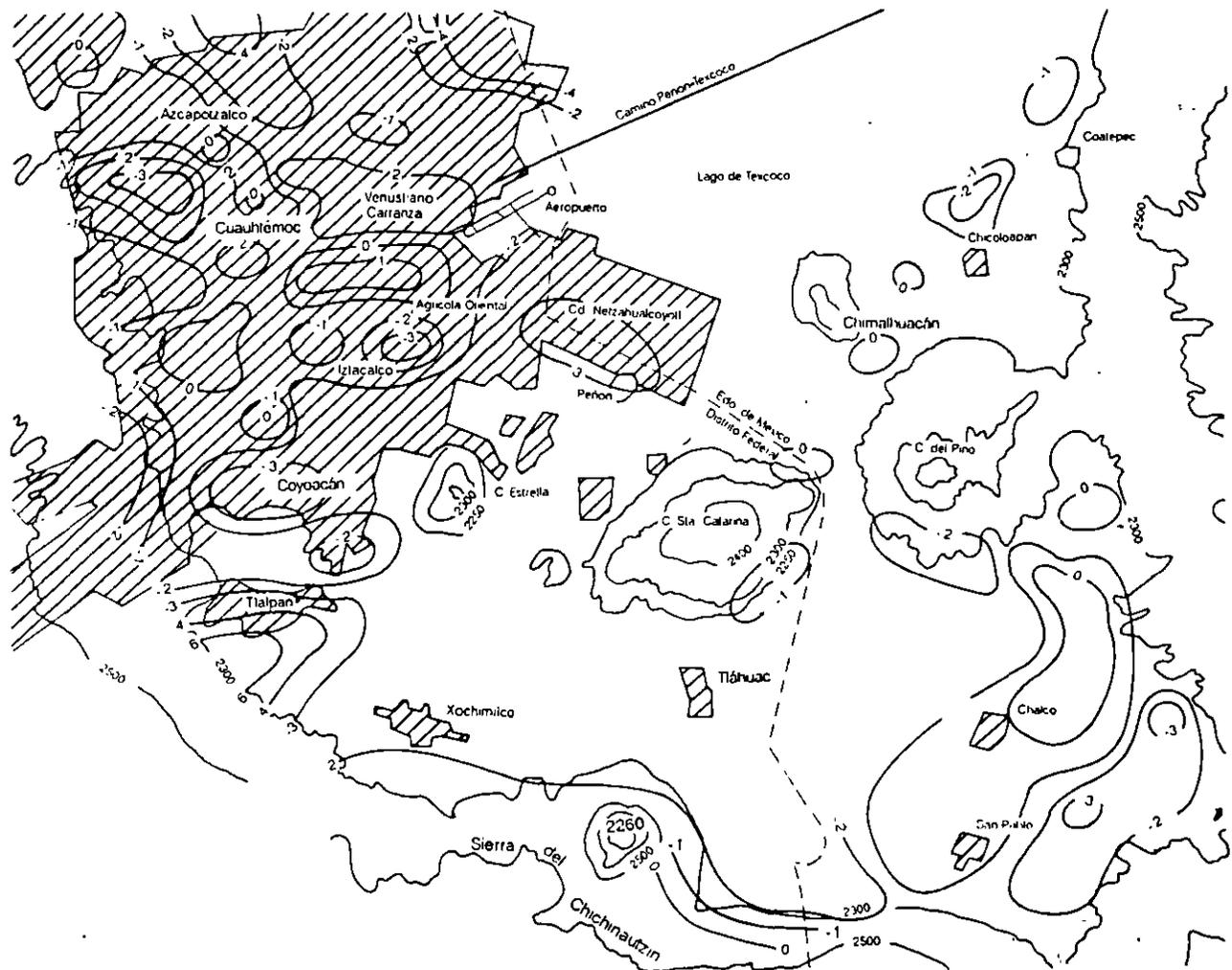
piezométricos en los alrededores de Chicoloapan; sin embargo, hacia el poniente la información geohidrológica es escasa. Se lograron detectar las curvas 2210 en la porción oriental y 2200 metros sobre el nivel del mar en la porción occidental, a la altura del Aeropuerto Internacional, o sea una variación de 10 m en una distancia de 13 km, lo que da un gradiente bajo, de 0.00076, a partir de lo cual se infiere que el agua en esta región tiene un movimiento muy reducido.

Evolución del nivel estático

Con las medidas piezométricas obtenidas en mayo de 1985 y en marzo de 1987, correspondientes a un periodo de prácticamente dos años, se dedujo la evolución del nivel estático y se configuró la evolución de la superficie piezométrica (véase ilustración 5).

En el área de Azcapotzalco, la evolución varía de cero en algunos puntos locales aislados, a menos de 4 m en la porción norte y predominan valores de alrededor de menos 2 m. Esta evolución es el reflejo de la explotación general de agua subterránea en el valle, así como de la fuerte extracción local en la zona industrial de Azcapotzalco, que incluye, entre otras, a las instalaciones de la Refinería de Pemex. En el área de la Delegación Venustiano Carranza, donde se ha formado el domo piezométrico, la evolución del nivel estático para el periodo estudiado, es ligeramente menor que en el resto de la zona metropolitana, con valores que varían de 0 a menos 2 m. En el área de Tlalpan-Xotepingo, la evolución varía de menos 2 a menos 6 m, encontrándose valores de entre menos 4 y -6 en la porción extrema sur (al sur del Anillo Periférico), lo cual ha sido ocasionado por la fuerte extracción de agua subterránea.

5. Evolución del nivel estático en metros (mayo-1984 - marzo-1987)



Extracción de agua subterránea

Se han actualizado las mediciones de las extracciones de agua subterránea que se realizan a través de los diversos pozos existentes, cuyo registro se ha efectuado por medio de tubos de Prandtl y medidores de volumen. La extracción para cada uno de los tres subsistemas acuíferos considerados es como sigue:

Subsistema acuífero	Extracción x 10 ⁶ m ³ /año
Zona metropolitana	243
Zona sur	195
Vaso del Lago de Texcoco	38

Cuantificación preliminar del agua subterránea

Se efectuó una cuantificación del flujo subterráneo, basada en la configuración de la elevación del nivel estático de septiembre de 1987 (véase ilustración 3). Sobre el plano se marcaron las celdas y se calculó la cantidad de agua subterránea que pasa a través de ellas. El cálculo se efectuó a partir de la Ley de Darcy, la cual establece que la velocidad de flujo a través de un medio poroso es proporcional a la pérdida de carga e inversamente proporcional a la longitud de la trayectoria del flujo. Matemáticamente, la Ley de Darcy se expresa de la siguiente manera:

$$V = \frac{h}{L} = Ki$$

donde, V es la velocidad media del flujo; h , la pérdida de carga en la distancia L ; i , el gradiente hidráulico y K , el coeficiente de permeabilidad. Considerando tanto la ley de continuidad como la de Darcy, se tiene que el caudal Q es igual a:

$$Q = Tbi$$

donde, T es la transmisibilidad y b , el ancho medio del flujo entre las líneas de corriente de cada celda.

La cuantificación se dividió en los tres subsistemas acuíferos. Se marcaron con la letra A las celdas correspondientes al flujo de entrada de agua subterránea procedente del poniente y surponiente, así como una celda en la parte norte del Cerro de La Estrella. Las celdas marcadas con la letra B corresponden al cono piezométrico de Azcapotzalco y las celdas C, al domo piezométrico del centro de la ciudad.

Zona metropolitana

El flujo subterráneo de entrada de las celdas A resultó de 172 millones de metros cúbicos anuales; la infiltración proveniente del domo piezométrico fue de 16 millones de m³ y la salida subterránea hacia el cono de Azcapotzalco fue de 24 millones. Con los datos anteriores se estableció la ecuación de balance donde las entradas son iguales a las salidas menos el cambio de almacenamiento.

$$E_s + I - S_s - E_x = \pm A_s \quad (1)$$

donde: E_s = Entradas subterráneas

I = Infiltración vertical

S_s = Salidas subterráneas (Hacia Azcapotzalco)

E_x = Extracción por bombeo

A_s = Cambio de almacenamiento

La infiltración vertical puede dividirse en:

- Infiltración en el área del domo a través de grietas o por el aporte por goteo del acuitardo al acuífero e
- Infiltración al acuífero en el resto de la zona metropolitana a través de las grietas

Se deduce una infiltración de 70 millones de m³ anuales de los cuales 16 corresponden a la zona del domo y 54 al resto del valle.

Zona Xochimilco-Tláhuac-Chalco

Las celdas de entrada de agua subterránea se marcaron con la letra D y arrojaron un valor de 178 millones de m³ anuales. La extracción por bombeo es de 195 millones de m³ anuales lo que da un déficit de 17 millones, el cual es equilibrado por la infiltración vertical de agua de lluvia y por el cambio de almacenamiento que es negativo.

Vaso del Lago de Texcoco

En esta porción se marcaron con la letra E cuatro celdas al pie de la sierra del noreste, las cuales dan un flujo de entrada de agua subterránea de 34 millones de m³ anuales. Por otra parte, la extracción en la franja a lo largo de la carretera a Texcoco y en El Peñón de Los Baños, es de 38 millones, de donde se deduce que esta zona se encuentra cerca del equilibrio hidrodinámico.

Conclusiones

- En la zona metropolitana, el subsuelo corresponde a material granular de permeabilidad media y baja, cuya recarga proviene de la Sierra de Las Cruces; se descarga por medio de bombeo.
- En el área de Xochimilco-Chalco predominan los materiales volcánicos, principalmente lavas y escorias basálticas que forman un acuífero de alta permeabilidad; éste se recarga en la Sierra del Chichinautzin, ubicada al sur y se descarga por el bombeo de pozos ubicados en especial al pie de la sierra.
- En el Ex-Vaso del Lago de Texcoco, la información es escasa. El flujo proviene del oriente y tiene un gradiente casi nulo, por lo que su movimiento es muy reducido.
- La cuantificación del agua subterránea en el Valle de México indica que existe sobreexplotación, aunque ésta no es de gran magnitud. Se midió un cambio de almacenamiento negativo de 33 millones de m³ anuales, con un abatimiento de la superficie piezométrica entre 1 y 3 metros.
- En el esquema del flujo subterráneo, a la altura de la Delegación Venustiano Carranza, se aprecia un domo, que se forma con niveles (no freáticos) del acuífero; se considera que es ocasionado

por la conjunción de diversos factores como: tipo y distribución de materiales en el subsuelo; extracción diferencial de agua subterránea e infiltración a partir de fugas de las redes de distribución de agua potable que se incorporan al acuífero a través de grietas.

¹ El presente trabajo es parte de las actividades geohidrológicas que la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal ha venido realizando en los últimos cinco años para el control del acuífero de la ciudad de México. Manuscrito actualizado a junio de 1988

Bibliografía

- Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal *Informes de actividades geohidrológicas en el Valle de México*, elaborados por Lesser y Asociados, 1983-1987
- Drever, J. I. *The Geochemistry of natural waters*, 2a edición, Prentice Hall, Inc., Englewoods Cliffs, N. J. 07632, EUA, 1988
- Freeze, R. A. y J. A. Cherry, *Groundwater*, Prentice Hall, Inc., Englewoods Cliffs, N. J. 07632, EUA, 1979
- Lesser, J. M., Sánchez, F., González, D. "Hidrogeoquímica del acuífero de la ciudad de México", *Revista de Ingeniería Hidráulica en México*, sept-dic, 1986

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.

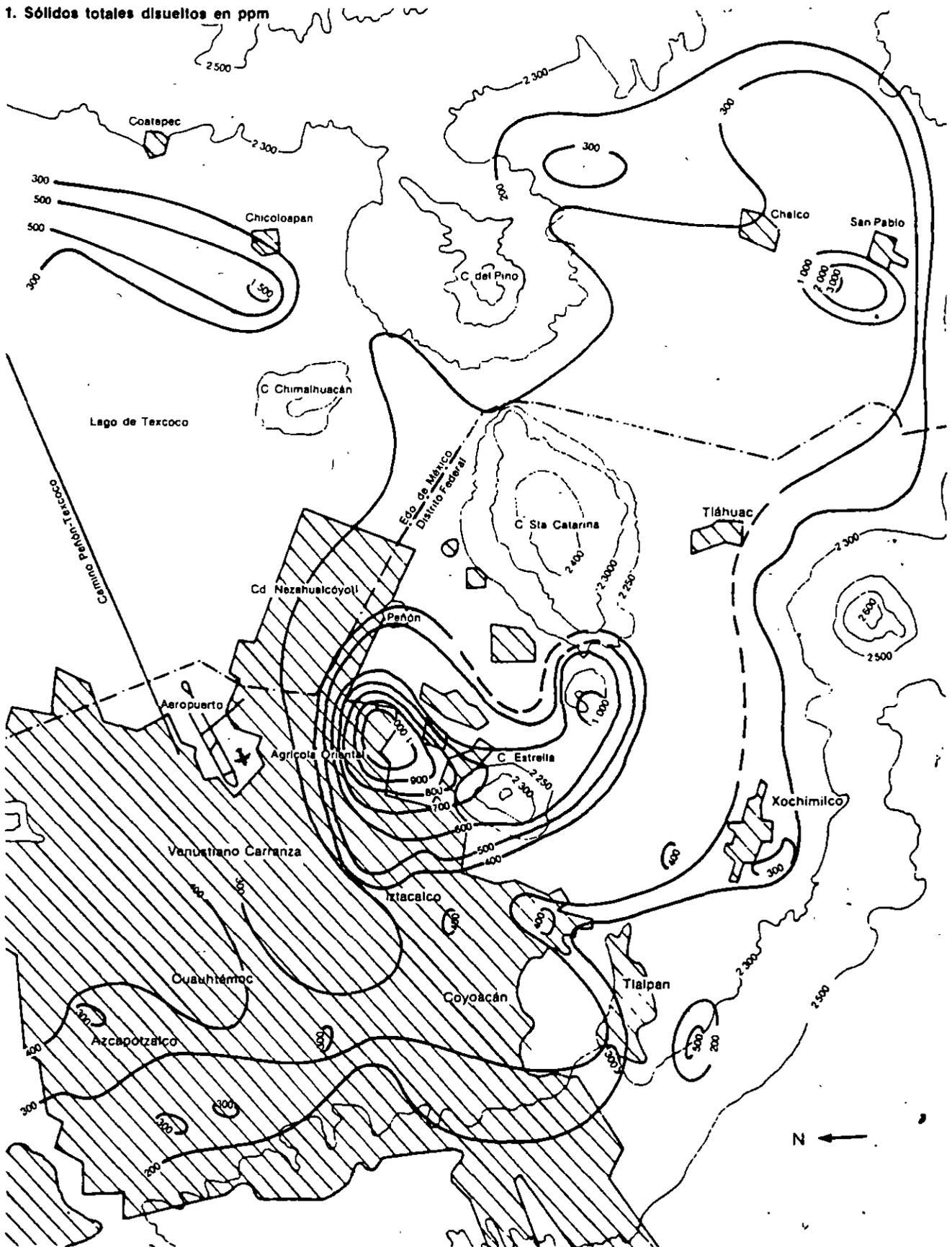
Cuando la lluvia se precipita sobre la corteza terrestre, arrastra una cierta cantidad de partículas que se encuentran suspendidas en la atmósfe-

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 demostro 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).

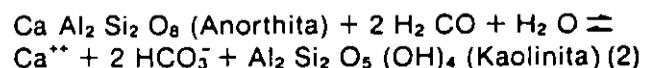
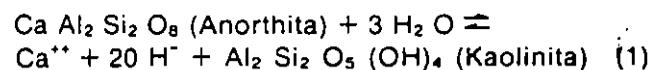
Pero, en contraste con lo anterior, el estudio demostró un incremento notable del contenido salino entre la colonia Agrícola Oriental, el Cerro de La Estrella y la Sierra de Santa Catarina; en los pozos de la colonia mencionada se detectaron hasta 1200 ppm de sales disueltas —fueron los puntos con mayor 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 1400 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 3000 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

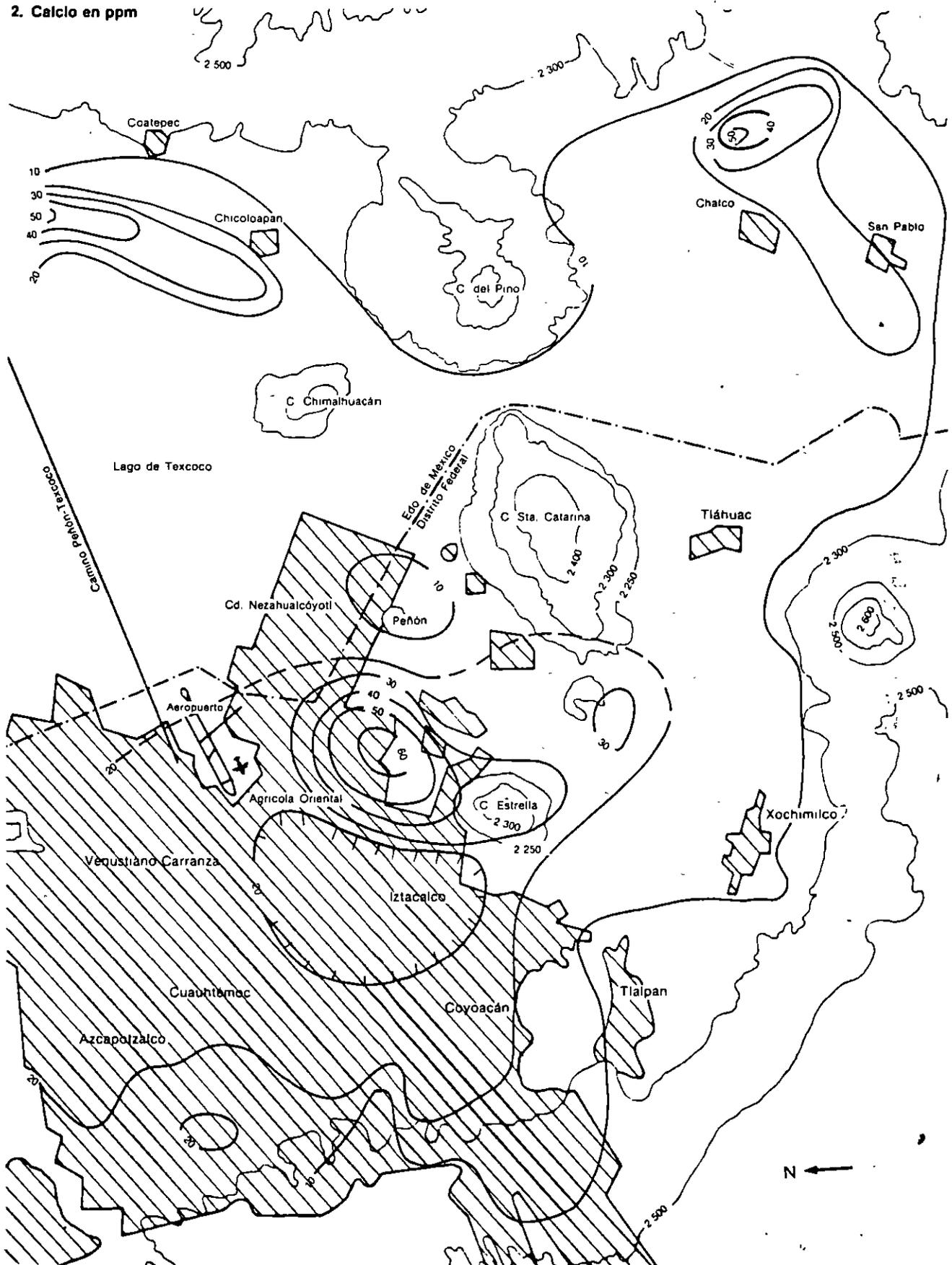
El calcio es un ión divalente de carga positiva que forma parte de la mayoría de las rocas que constituyen la corteza terrestre, por lo que es común encontrarlo disuelto en el agua. Dentro del área estudiada se considera que este elemento proviene de la disolución de los feldspatos cálcicos que conforman 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

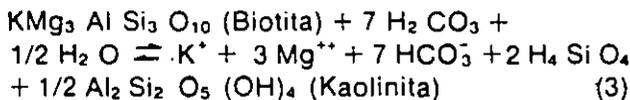


Chalco, donde existen algunos aprovechamientos que incrementan ligeramente su contenido salino a 20 ppm.

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:

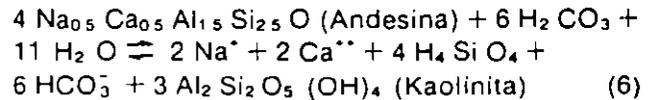
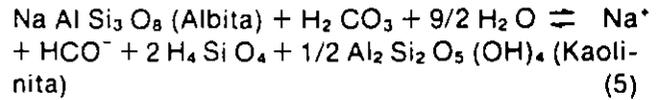
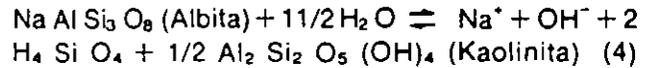


Los valores más bajos de magnesio, menores a 10 ppm, se localizan al pie de las sierras, así como en la porción nororiental del área de trabajo; esto corrobora la existencia de zonas de recarga hacia las estribaciones de las elevaciones topográficas, y se incrementan hacia la porción central, con lo 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 feldspatos sódicos, que son un constitu-

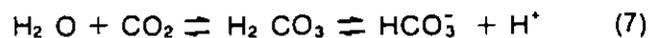
yente de las formaciones volcánicas. A continuación se muestra la reacción de la disolución de la albita y la andesina por el agua.



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 dióxido 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 estribaciones 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).

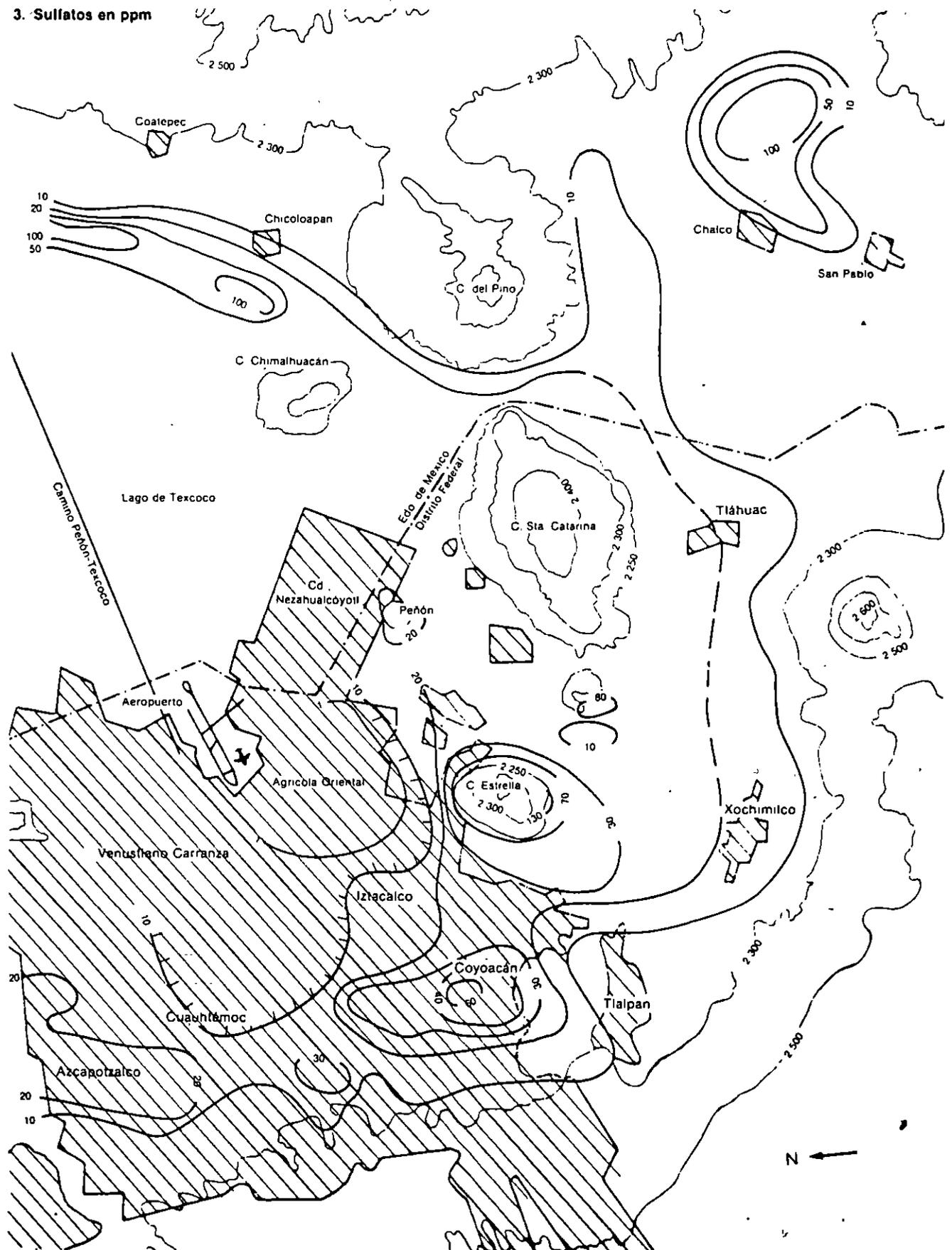
Existen otros compuestos del fierro que actúan como corrosivos incluso cuando no existe oxígeno, como en los acuíferos de cierta profundidad cuya agua ha circulado grandes distancias, como el óxido de fierro (FeO), de color amarillo y con un pH bajo.

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.

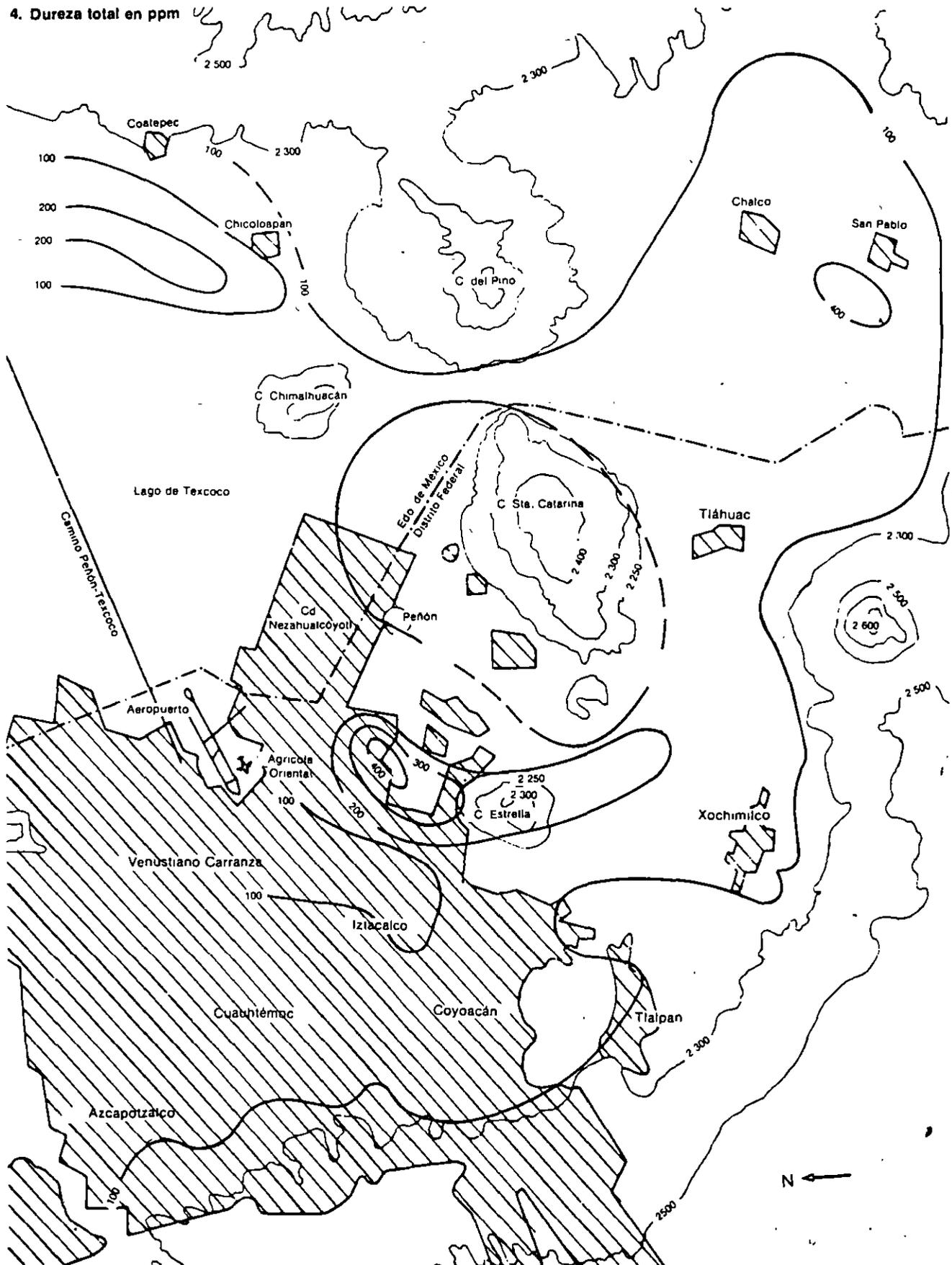
En los análisis químicos del agua se acostumbra reportar al fierro junto al manganeso por las semejanzas que hay entre ellos, pero tienen también grandes diferencias; el segundo también forma parte de rocas y suelos, pero además se encuentra en la materia orgánica ya que es uno de los nutrientes de las 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.

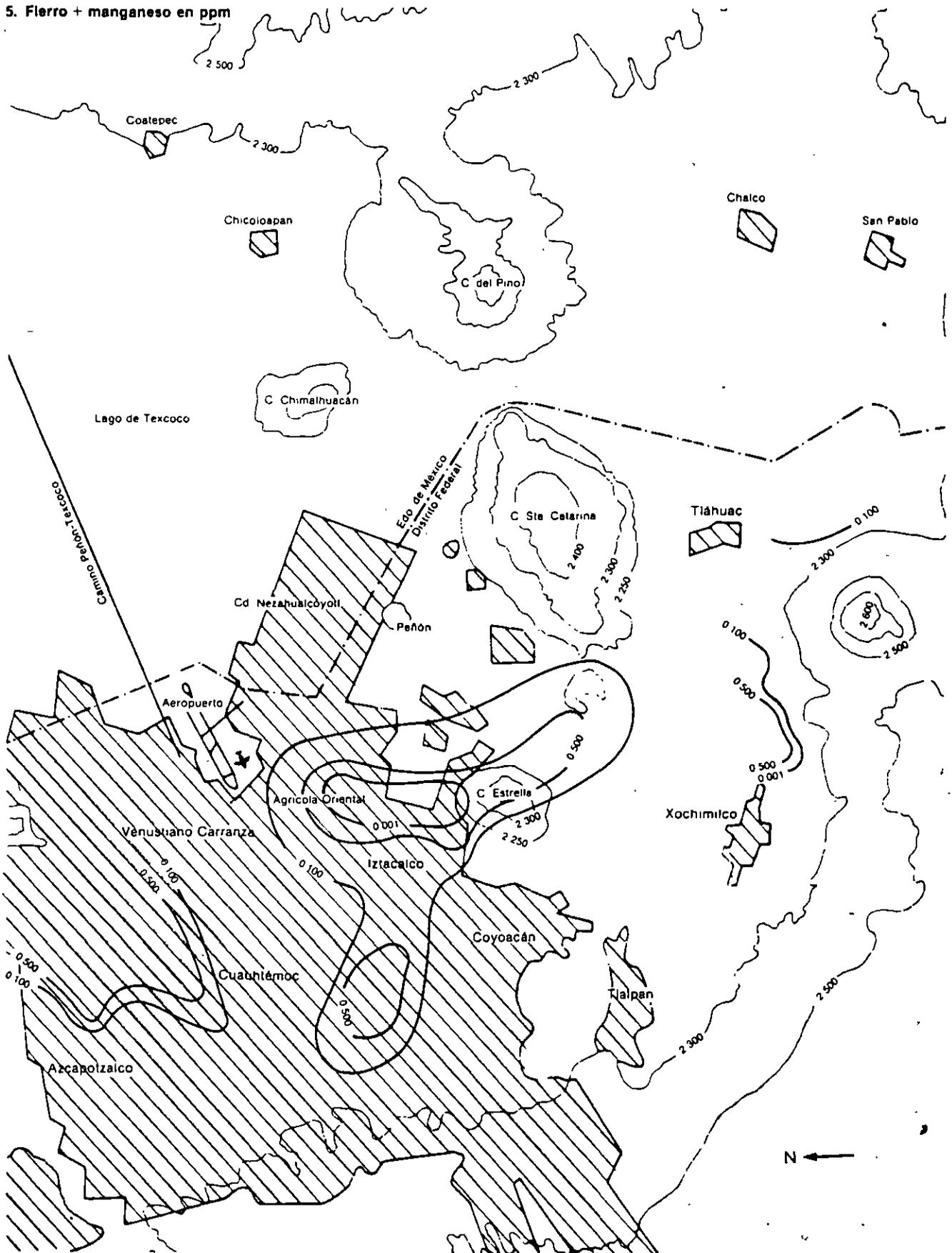
3. Sulfatos en ppm



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

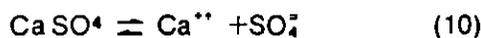
Se utilizaron aquellos recursos que sirven para evaluar las condiciones químicas del agua respecto al equilibrio químico, o sea su capacidad para precipitar o disolver una sal. El trabajo fue complejo y requirió de un largo tiempo, tanto por el índice de muestras de agua como por la cantidad de reacciones 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:

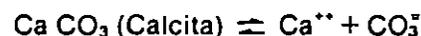
$$-\log \gamma_i = \frac{Az_i^2 \sqrt{I}}{1 + B a_i \sqrt{I}} \quad (15)$$

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 × 10⁻⁸); *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.

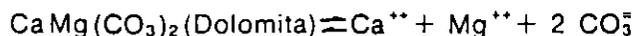
En párrafos anteriores se mostró la reacción química y la constante de actividad iónica de la anhidrita. A continuación se presentan las reacciones de disolución de la calcita, el yeso y la dolomita, por ser las que ocurren en la naturaleza con más frecuencia:



$$Kai (\text{Calcita}) = [Ca^{**}][CO_3^{--}]$$



$$\text{Kai (Yeso)} = [\text{Ca}^{++}] [\text{SO}_4^-] \quad (18)$$



$$\text{Kai (Dolomita)} = [\text{Ca}^{++}] [\text{Mg}^{++}] [\text{CO}_3^-]_2 \quad (19)$$

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 (PCO_2) en el agua que se encuentra en contacto con la atmósfera y en equilibrio es de 0.316×10^{-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 1000 milésimas (que en algunos casos llegan incluso a las 5000 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 1000 milésimas, excepto en algunas puntas locales (véase ilustración 6).

Variación de la salinidad respecto al tiempo

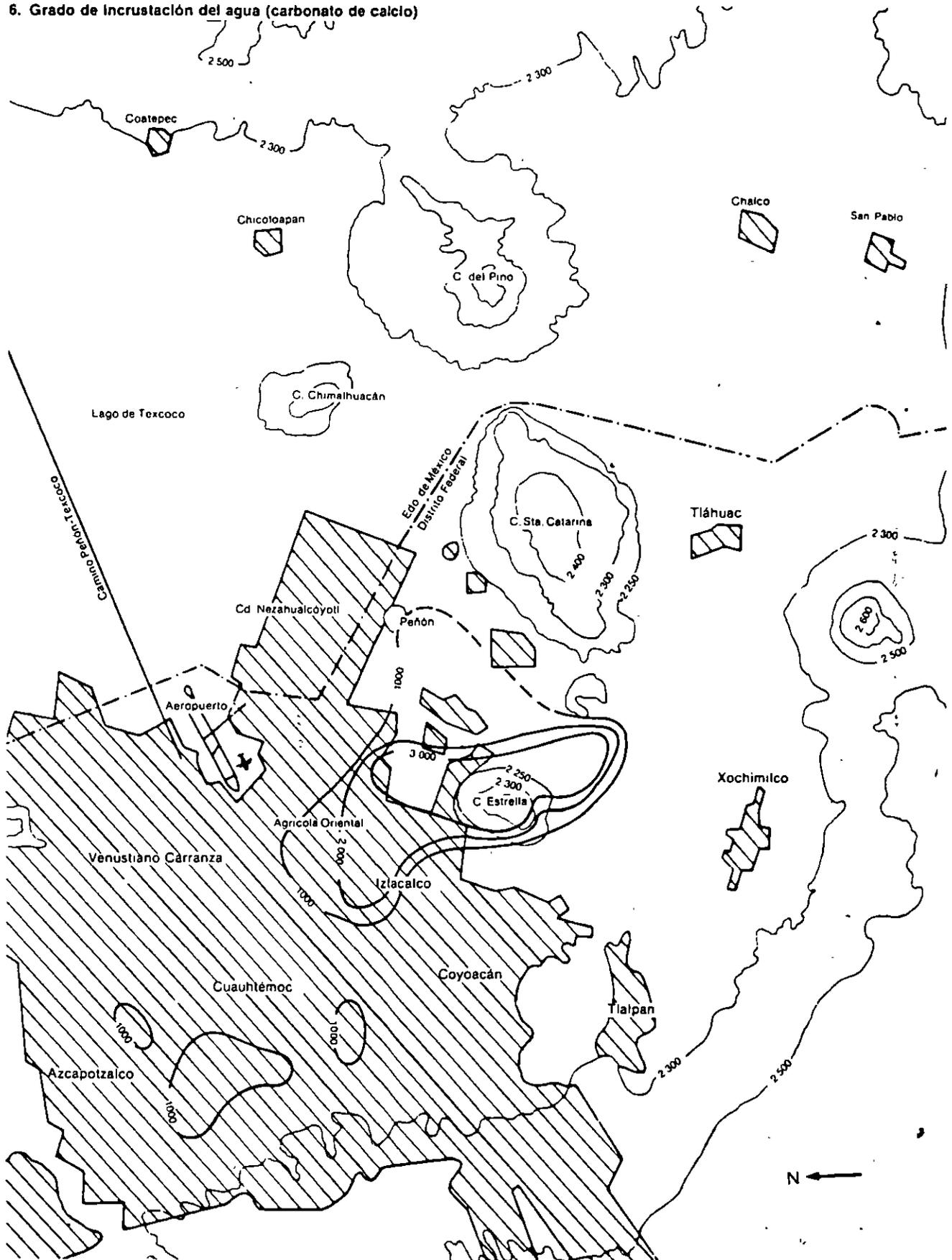
Información disponible

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.

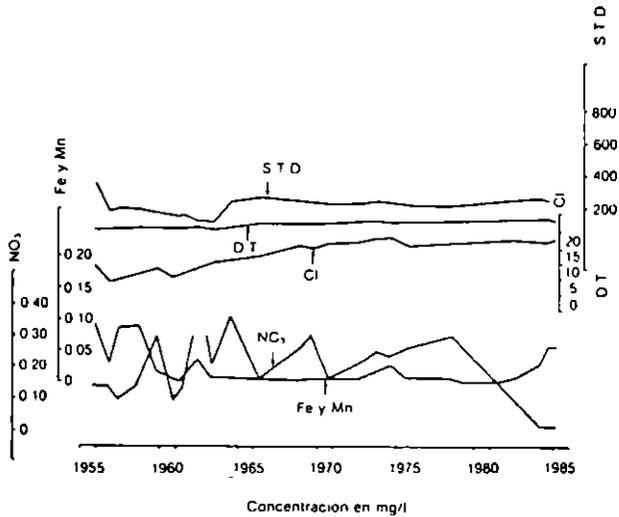
El estudio de la variación de la salinidad respecto al tiempo se efectuó en 100 pozos distribuidos en toda la zona metropolitana, de los cuales 30 no mostraron cambio alguno. A continuación se describen los principales efectos observados:

- 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).

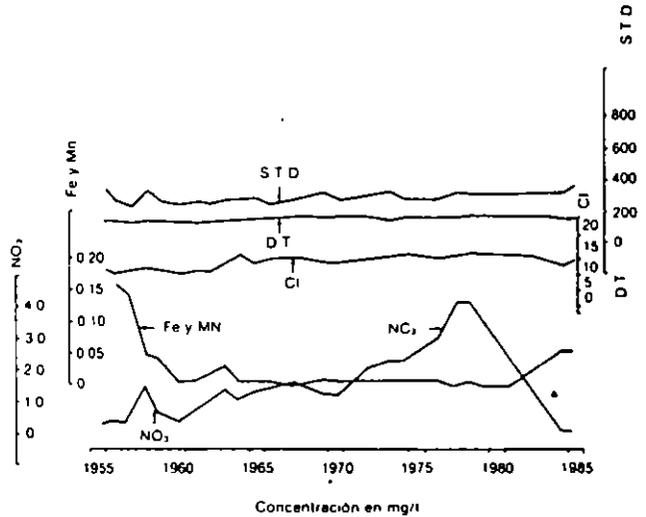
6. Grado de incrustación del agua (carbonato de calcio)



7. Pozo 15 (Albert y Berlin)



9. Pozo 26 (Axotla)



Familias de agua

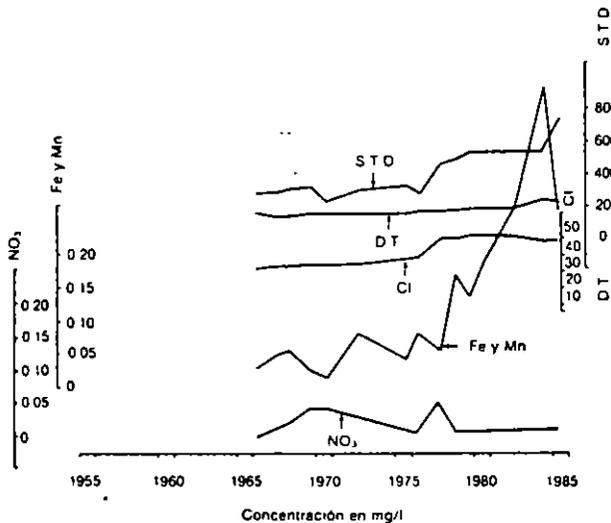
Se denomina familia de agua a la composición química representada por el principal catión y el principal anión en solución. Existen varios métodos para deducir la familia de agua a que pertenece una muestra. En este trabajo se utilizó el denominado de Piper o de Diagramas Triangulares, que consiste en 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 proclásti-

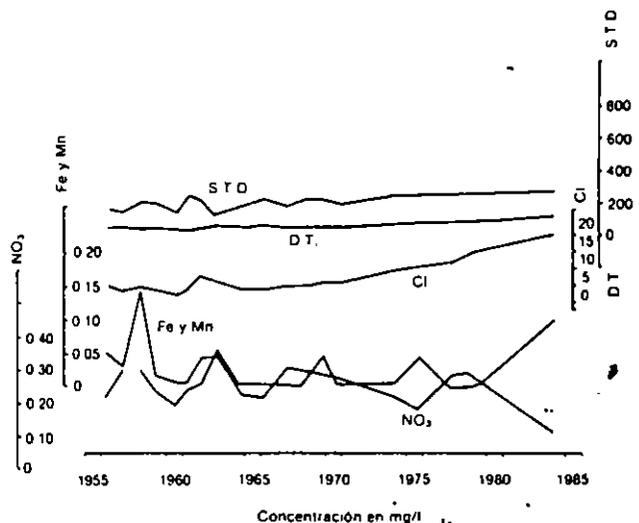
cos, que no permiten la incorporación de cantidades significativas de sales que pudieran modificar su composición química. Esta familia se encontró al poniente, tanto al pie de la Sierra de Las Cruces como en la parte baja.

- 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.

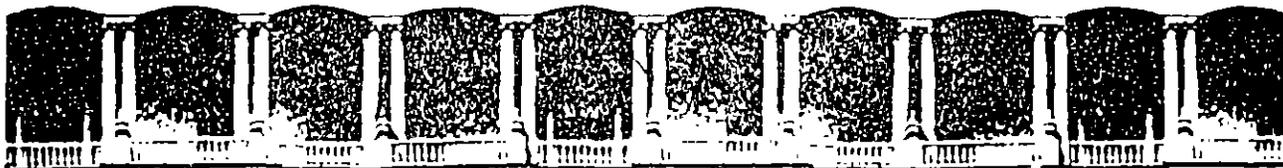
La concentración salina es baja en los alrededores del área y se incrementa hacia la parte central, en forma similar a la dirección del flujo subterráneo. Una excepción se encuentra entre las Delegaciones Benito Juárez y Venustiano Carranza, donde el agua disminuye su contenido salino por dilución con 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.

¹ 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



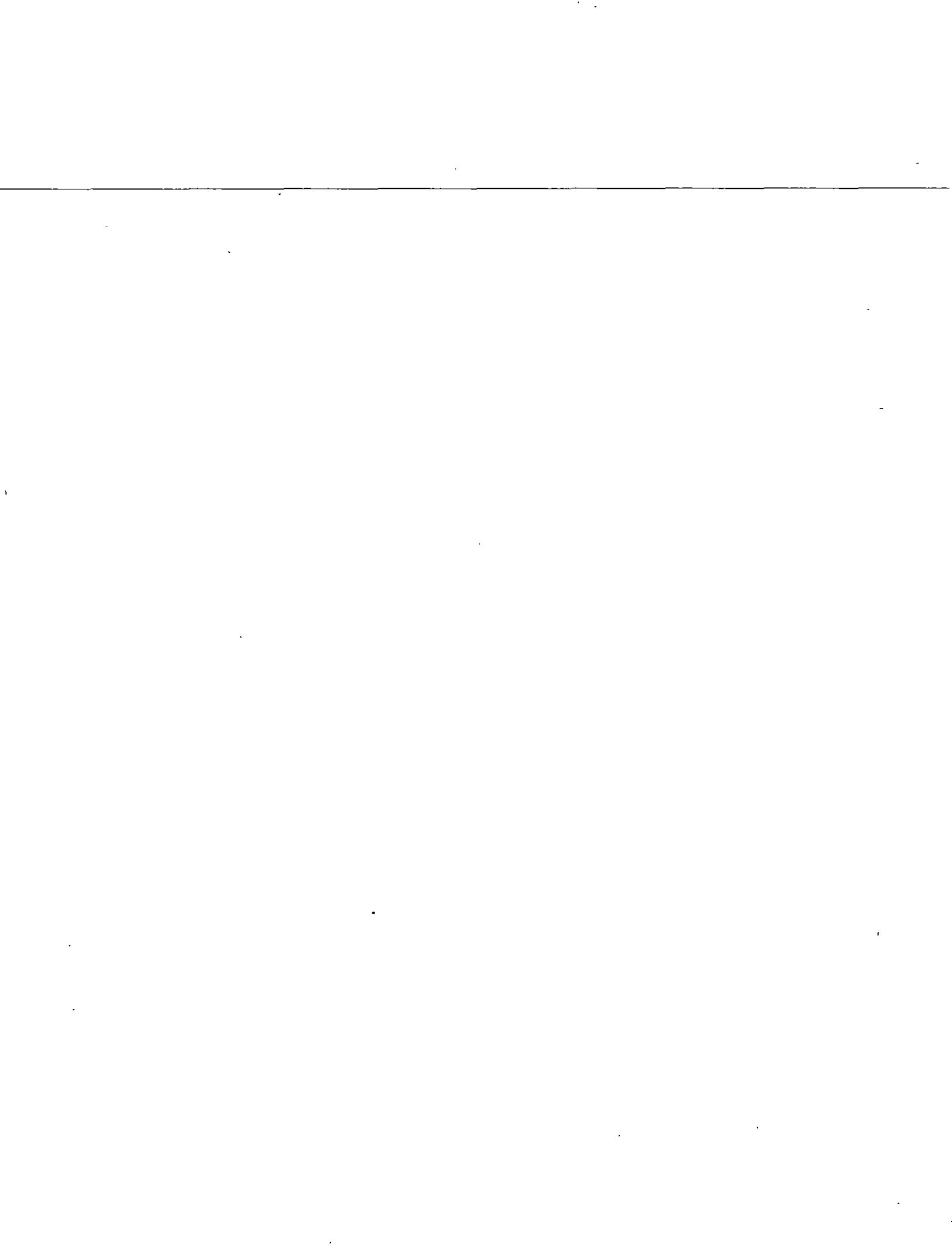
**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**VIII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE
ACUIFEROS**

MODULO II CONTAMINACION DE ACUIFEROS

**TEMA : QUIMICA DEL AGUA, CICLOS DEL FIERRO Y DEL
NITROGENO, QUIMICA ORGANICA**

**EXPOSITOR: DRA. MARIA AURORA ARMIENTA
1996**



Debye-Hückel

$$I = 1/2 \sum m_i z_i^2$$

$$\log \gamma_i = -A z_i^2 \sqrt{I} \quad I < 10^{-2.3}$$

$$\log \gamma_i = -A z_i^2 \sqrt{I} / (1 + B a_0 \sqrt{I}) \quad I < 10^{-1}$$

$$\log \gamma_i = -A z_i^2 \sqrt{I} / (1 + B a_0 \sqrt{I}) + cI$$

and earth, may be constructed on the ground surface or in excavations. In North America a large number of the older sites that receive municipal wastes are open dumps or poorly operated landfills. Newer sites are generally better situated and better operated. It is estimated that 90% of the industrial wastes that are considered to be hazardous are landfilled, primarily because it is the least expensive waste management option.

Our purpose here is to consider some of the effects that refuse disposal can have on the groundwater environment. With the exception of arid areas, buried refuse in sanitary landfills and dumps is subject to leaching by percolating water derived from rain or snowmelt. The liquid that is derived from this process is known as *leachate*. Table 9.4 indicates that leachate contains large numbers of inorganic contaminants and that the total dissolved solids can be very high. Leachate also contains many organic contaminants. For example, Robertson et al. (1974) identified more than 40 organic compounds in leachate-contaminated groundwater in a sandy aquifer in Oklahoma. These authors concluded that many of these compounds were produced by leaching of plastics and other discarded manufactured items within the refuse. Not only do the leachates emanating from

Table 9.4 Representative Ranges for Various Inorganic Constituents in Leachate From Sanitary Landfills

Parameter	Representative range (mg/l)
K ⁺	200-1000
Na ⁺	200-1200
Ca ²⁺	100-3000
Mg ⁺	100-1500
Cl ⁻	300-3000
SO ₄ ²⁻	10-1000
Alkalinity	500-10,000
Fe (total)	1-1000
Mn	0.01-100
Cu	<10
Ni	0.01-1
Zn	0.1-100
Pb	<5
Hg	<0.2
NO ₃ ⁻	0.1-10
NH ₄ ⁺	10-1000
P as PO ₄	1-100
Organic nitrogen	10-1000
Total dissolved organic carbon	200-30,000
COD (chemical oxidation demand)	1000-90,000
Total dissolved solids	5000-40,000
pH	4-8

SOURCES: Griffin et al., 1976; Leckie et al., 1975.

¿CUALES SON LAS CAUSAS DE LA CONTAMINACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS?

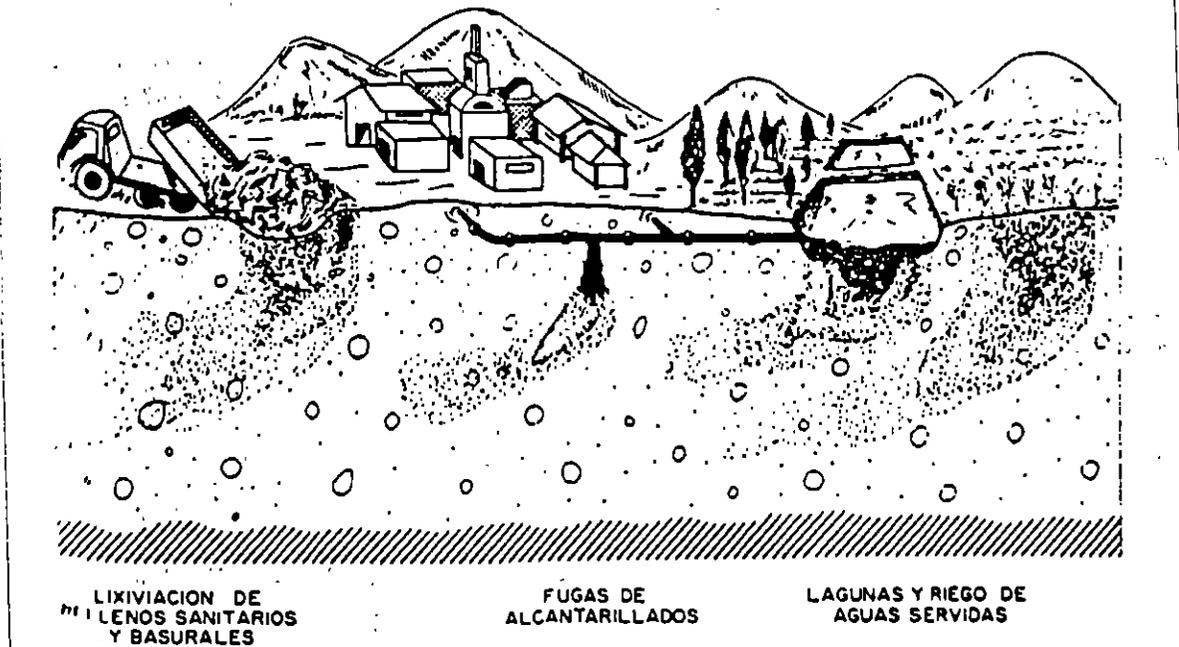
La contaminación de las aguas subterráneas normalmente es una consecuencia de las actividades del hombre en la superficie. Las causas pueden dividirse en un número de grupos distintos.

Contaminación de origen urbano

Las aguas residuales domésticas y los desechos sólidos contienen altas concentraciones de organismos fecales, de materia orgánica y de compuestos de nitrógeno. Si se descargan o se infiltran al subsuelo, el agua subterránea puede contaminarse por patógenos bacteriales y virales incluyendo aquellos que causan diarrea, tifoidea y hepatitis; y por nitratos, amonias, detergentes, desinfectantes y otras sustancias químicas. Estos pueden convertir el agua en no potable en base a su peligro sobre la salud o a su sabor desagradable.

DONDE EL AGUA VA, LA ENFERMEDAD SIGUE SUS PASOS

La mayor amenaza sobre la calidad del agua subterránea se presenta cuando se urbaniza sin alcantarillado en acuíferos vulnerables (a) con napas freáticas poco profundas, (b) con infiltración de aguas residuales y de ríos contaminados por descarga de desagües, y (c) con lixiviación de desechos domésticos en vertederos y, en menor grado, de rellenos sanitarios.



$$r = \sqrt{V/\pi b n_e} \quad (\text{Units: L})$$

where r = radial distance of waste-water front from well
 $V = Qt$ = cumulative volume of waste water injected
 b = effective aquifer thickness
 n_e = effective porosity

As an example we shall consider the planned disposal of liquid oil-field waste waters (containing NaCl with significant quantities of phenols, cyanides, sulfites and vanadates) into a deep saline sandstone formation in Western Canada. The sandstone is approximately 30 meters thick with an average effective porosity of 25. It is intended to dispose approximately 1000 m³/day over the 25 year lifetime of the operation. Therefore

$$V = Qt = (1000 \text{ m}^3/\text{day})(25 \text{ years}) = 9 \times 10^6 \text{ m}^3$$

and

$$r = \sqrt{\frac{9 \times 10^6}{(30)(\pi)(0.25)}} = 600 \text{ meters}$$

The wide variety of liquids stored in tanks and transported by road, rail or in pipelines represent, in the event of accidental spills or leakage, potential threats to ground water, particularly shallow water-table aquifers. The magnitude of such incidents may range from leakage of a few cubic metres of oil from a domestic tank, which in itself could jeopardise adjacent, shallow domestic water-supply wells, to several thousand cubic metres loss from undetected leaks in pipelines (Vanlooche et al., 1975).

Table I-1.3 Household, commercial and industrial liquid wastes

Source	Potential characteristics of leachate/effluent	Rate of leachate or effluent production
(a) Sewage		
Raw sewage (Human faeces and urine)	Suspended solids	$\sim 6 \times 10^4$ mg/l
	BOD	$\sim 5 \times 10^4$ mg/l
	Total N	$\sim 1 \times 10^4$ mg/l
	Faecal coliforms	$\sim 1 \times 10^7$ /gramme
	Faecal streptococci	$\sim 1 \times 10^6$ /gramme
Septic tanks	Suspended solids	100 - 300 mg/l
	BOD	50 - 400 mg/l
	TOC	100 - 300 mg/l
	Total solids	300 - 600 mg/l
	Ammonia	20 - 40 mg/l
	Chloride	100 - 200 mg/l
	High faecal coliforms and streptococci	
Trace organisms, grease		
Sewage, primary treatment	Suspended solids	25 - 150 mg/l
	BOD	30 - 250 mg/l
	Grease removed	

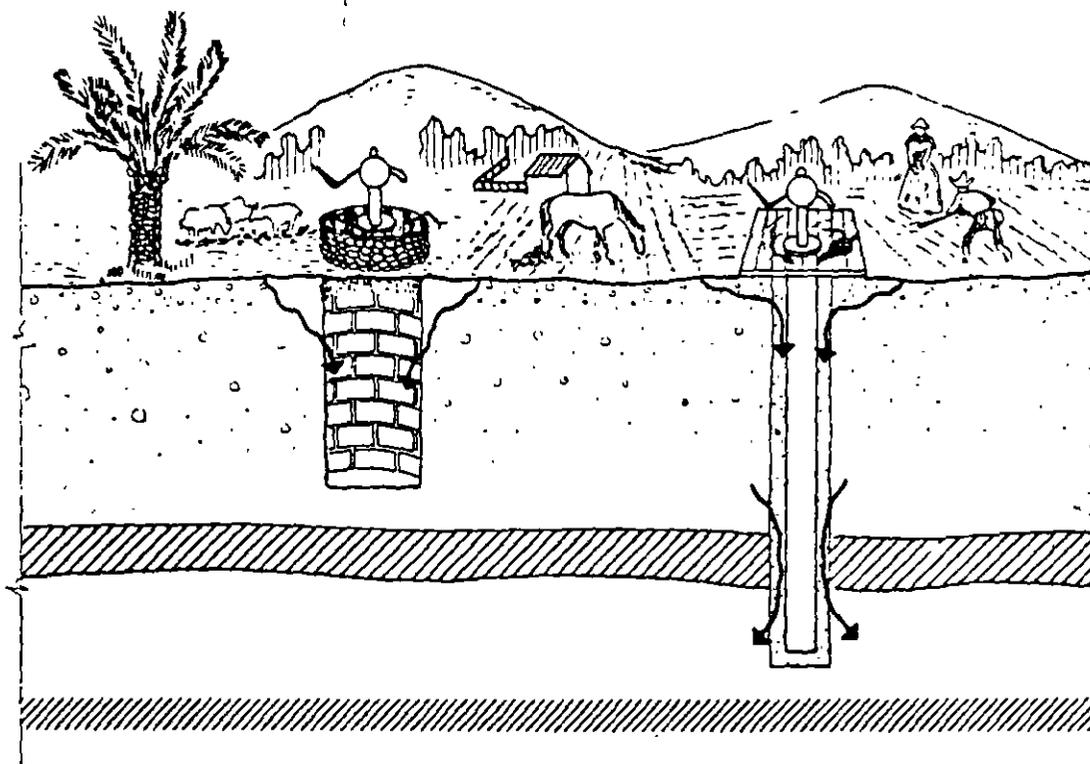
Table I-1.1 Contaminants resulting from human activities

Source	Potential characteristics of leachate/effluent	Rate of effluent production or rate of solid-waste production
(a) Agriculture		
Arable crops, fertilizers, pesticides, etc.	Increased nitrate, ammonia, sulphate, chloride and phosphate from fertilizers. Faecal bacterial contamination from organic fertilizers. Organochlorine compounds from pesticides	Rate of leachate production dependent on local climatic/irrigation regime. Applications 10 to 10 ³ kg/ha/yr. Partial uptake of fertilizer components by crops
Livestock, faeces and urine	Cattle	- 15 m ³ /yr/animal
	Suspended solids	90 000 mg/l
	BOD	10 000 mg/l
	Total N	4 000 mg/l
	Faecal coliforms	2 x 10 ⁵ /g
Pigs	Suspended solids	- 3 m ³ /yr/animal
	BOD	100 000 mg/l
	Total N	30 000 mg/l
	Faecal coliforms	5 000 mg/l
	Faecal streptococci	3 x 10 ⁶ /g
	Heavy metals, variable	8 x 10 ⁷ /g
Sheep	Similar S.S., BOD, N to cattle	- 2 m ³ /yr/animal
	Faecal coliforms	1-2 x 10 ⁷ /g
	Faecal streptococci	4 x 10 ⁷ /g
Poultry	Suspended solids	- 50 m ³ /yr/10 ³ birds
	BOD	36 000 mg/l
	Total N	36 000 mg/l
	Faecal coliforms	12 000 mg/l
	Faecal streptococci	10 ⁵ -10 ⁷ /g
		10 ⁶ -10 ⁷ /g
Intensive units, livestock yards	Effluent formed by washing down, diluting faeces and urine 3 to 10 times. Suspended solids, BOD, N reduced, Chloride 200 - 400 mg/l	Cattle units 10 ³ -10 ⁵ m ³ /yr Pig units 10 ³ -10 ⁴ m ³ /yr Poultry units 10 ⁴ -10 ⁵ m ³ /yr

Acabado sanitario inadecuado de pozos

Una causa muy frecuente de contaminación microbiológica de las aguas subterráneas es el ingreso directo de drenaje superficial contaminado en los alrededores de los pozos, especialmente donde los abastecimientos de agua no son entubados y el público y el ganado tienen acceso directo a la fuente. Esto se previene con un acabado sanitario apropiado de los pozos. Igualmente, puede ocurrir contaminación, aún en acuíferos confinados, si los pozos pasan a través de un acuífero contaminado poco profundo que no está adecuadamente sellado en la parte superior.

Aún más, los pozos fuera de uso pueden convertirse en el mayor foco de contaminación de aguas subterráneas si no están sellados adecuadamente, ya que a menudo son usados para disponer residuos. Esta es una preocupación especial en grandes ciudades, por ejemplo, Lima, Sao Paulo y México, donde, con el correr de los años, se han construido varios miles de pozos.



COLLOID PROPERTIES

When a clay particle such as a smectite is suspended in water, some of the interlayer cations pass into solution, resulting in a negatively charged silicate framework surrounded by a diffuse cloud of cations (Fig. 4-10). The charged surface and diffuse cloud of oppositely charged ions (called *counterions*) are called a *double layer*. A double layer may also consist of a positively charged surface surrounded by a cloud of anions. The stability of colloidal suspensions (see below), and the ion-exchange properties of solids are closely related to the behavior of the double layer.

In smectites, the surface charge results from substitutions in the silicate framework, so the charge is more or less independent of pH. In most other natural colloids (e.g., oxides of Si, Al, Fe, Mn; colloidal organic matter), the surface charge results from ionization of, or adsorption on, the surface of the solid. The surfaces of oxides (and the edges of clay particles) have chemical groups such as



In strongly acid solutions, these groups will accept a proton and become

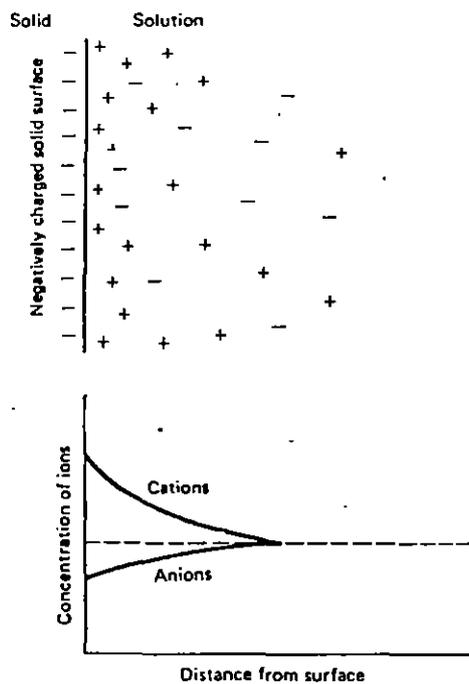


Figure 4-10 Simple picture of the electrical double layer, in which excess negative charge on a solid surface is balanced by an excess concentration of cations in solution near the solid-solution interface.

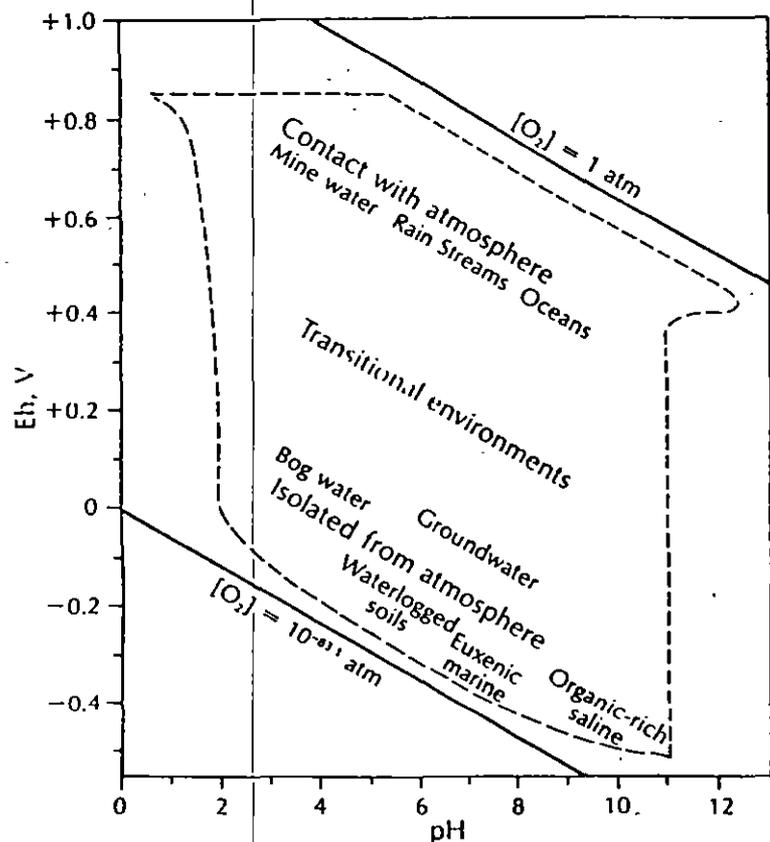


Figure 16.4 Range of Eh and pH conditions in natural environments based on data by Baas-Becking et al. (1960) and modified after Garrels and Christ (1965).

trode may disturb the environment, or because the environment is inaccessible, and for other reasons discussed by Garrels and Christ (1965) and by Stumm and Morgan (1970). Nevertheless, sufficient Eh measurements exist to characterize common geological environments in terms of the range of Eh and pH values (Baas-Becking et al., 1960). A schematic representation of these data in Figure 16.4 indicates that environments in contact with the atmosphere (rainwater, streams, oceans, and mine waters) have positive Eh values, whereas environments that are isolated from the atmosphere (waterlogged soils, euxenic marine basins, and organic-rich brines) have negative Eh values. However, many environments are transitional between these extremes and have intermediate Eh values.

16.5 Stability of Iron Compounds

The stability of solid compounds of elements having different oxidation states can be represented in terms of Eh and pH when they participate in electrode half-reactions. We therefore demonstrate the construction of such *Eh-pH stability diagrams* by using the naturally occurring compounds of Fe as an example. Such diagrams were originally adapted by Garrels (1960) from electrochemical theory used in the study of the corrosion of metals (Pourbaix, 1949). Eh-pH diagrams are widely used in geochemistry to study the formation and weathering of ore deposits (Garrels and Christ, 1965),

OXIDACION-REDUCCION

Intercambio de electrones

Oxidante + ne \rightleftharpoons Reductor

Ley de Nernst

$$E = E_o + \frac{RT}{nF} \log \frac{I_{OxI}}{I_{RedI}}$$

A 20 °C:

$$E = E_o + \frac{0.058}{n} \log \frac{I_{OxI}}{I_{RedI}}$$

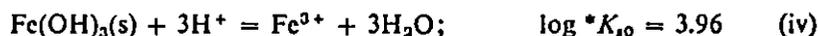
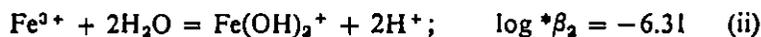
Quantitative application of known hydrolysis equilibria is illustrated in the next two examples.

Example 6-1 *The Hydrolysis of Iron(III)*. The addition of $\text{Fe}(\text{ClO}_4)_3$ to H_2O may lead to the following soluble species: Fe^{3+} , $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Fe}(\text{OH})_2^{1+}$, $\text{Fe}(\text{OH})_3^-$ and $\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}$.

Compute the equilibrium composition of:

1. A homogeneous solution to which $10^{-4} M$ ($10^{-2} M$) of iron(III) has been added and the pH adjusted within the range 1–4.5 with acid or base;
2. An iron(III) solution in equilibrium with amorphous ferric hydroxide.

The following equilibrium constants are available $I = 3(\text{NaClO}_4)$ (25°C).



1. In the *homogeneous system*, the concentration condition [(vi) or (vii)] must be fulfilled.

$$\text{Fe}_T = [\text{Fe}^{3+}] + [\text{FeOH}^{2+}] + [\text{Fe}(\text{OH})_2^{1+}] + 2[\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}] \quad (\text{vi})$$

$$\text{Fe}_T = [\text{Fe}^{3+}] \left(1 + \frac{{}^*K_1}{[\text{H}^+]} + \frac{{}^*\beta_2}{[\text{H}^+]^2} + \frac{2[\text{Fe}^{3+}]{}^*\beta_{22}}{[\text{H}^+]^2} \right) \quad (\text{vii})$$

As with other polyprotic acids we may define successive distribution coefficients: $\alpha_0 = [\text{Fe}^{3+}]/\text{Fe}_T$, $\alpha_1 = [\text{FeOH}^{2+}]/\text{Fe}_T$, $\alpha_2 = [\text{Fe}(\text{OH})_2^{1+}]/\text{Fe}_T$ and $\alpha_{22} = 2[\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}]/\text{Fe}_T$. [α_{22} gives the fraction of iron(III) present in the form of the dimer.]

Inspecting (vii) we note that the last term, proportional to the polymer concentration, is an implicit function of the concentration of iron(III). α_0 may be defined with the help of (i)–(iii) and (vii):

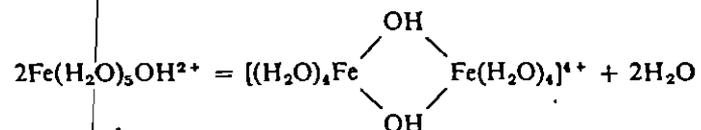
$$\alpha_0 = \left(1 + \frac{{}^*K_1}{[\text{H}^+]} + \frac{{}^*\beta_2}{[\text{H}^+]^2} + \frac{2\text{Fe}_T\alpha_0{}^*\beta_{22}}{[\text{H}^+]^2} \right)^{-1} \quad (\text{viii})$$

or

$$\frac{\alpha_0^2 2\text{Fe}_T {}^*\beta_{22}}{[\text{H}^+]^2} + \alpha_0 \left(1 + \frac{{}^*K_1}{[\text{H}^+]} + \frac{{}^*\beta_2}{[\text{H}^+]^2} \right) - 1 = 0 \quad (\text{ix})$$

In the case of Fe(III), hydrolysis can go beyond the uncharged species $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{H}_2\text{O})_3(\text{s})$ to form anions such as the ferrate(III) ion, probably $[\text{Fe}(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]^-$. All hydrated ions can, in principle, donate a larger number of protons than that corresponding to their charge and can form anionic hydroxo-metal complexes, but, because of the limited pH range of aqueous solutions, not all elements can exist as anionic hydroxo or oxo complexes.

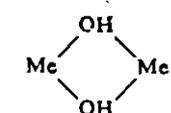
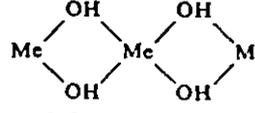
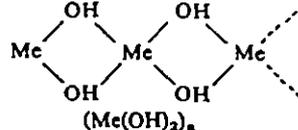
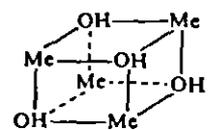
POLYNUCLEAR HYDROXO COMPLEXES. The scheme of a consecutive step-wise hydroxide binding is too simple. Although the hydrolysis products listed for hydrolysis of $\text{Fe} \cdot \text{aq}^{3+}$ are all known and identified, the intermediate steps are frequently complicated. In a few cases, the main products are monomeric. Polymeric hydrolysis species (isopolycations) have been reported for most metal ions. Thus the existence of multinuclear hydrolysis products is a rather general phenomenon. The hydrolyzed species such as $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}^{2+}$ can be considered to dimerize by a condensation process



The existence of the dimer has been corroborated experimentally by potentiometric, spectrophotometric and magnetochemical methods. The dimer may undergo additional hydrolytic reactions which could provide additional hydroxo groups which then could form more bridges. The terms "ol" and "oxo" are often used in referring to the $-\text{OH}-$ and $-\text{O}-$ bridges. A sequence of such hydrolytic and condensation reactions, sometimes called ololation and oxolation,† leads, under conditions of oversaturation with respect to the (usually very insoluble) metal hydroxide, to the formation of colloidal hydroxo polymers and ultimately to the formation of precipitates. In the pH range lower than the zero point of charge of the metal hydroxide precipitate, positively charged metal hydroxo polymers prevail. In solutions more alkaline than the zero point of charge, anionic hydroxo complexes (isopolyanions) and negatively charged colloids exist. Although multinuclear complexes have been recognized for many years for a few hydrolysis systems such as Cr(III) and Be(II) and for anions of Cr(VI), Si(IV), Mo(VI) and V(V), more recent studies have shown that multinuclear hydrolysis products of metallic cations are of almost universal occurrence in the water solvent system. Table 6-1 gives an illustration for some of the hydrolysis species

† Ololation may be followed by oxolation, a process in which the bridging OH group is converted to a bridging O group.

Table 6-1 Multinuclear, Hydroxo and Oxo Complexes†

Type‡	Metals Believed to Form Such Complexes§
A. Cationic Complexes	
$\text{Me}-\text{OH}-\text{Me}$	Be(II), Mg(II), Zn(II), Cd(II), UO_2^{2+}
	Cu(II), Fe(III), Hg(II), Sc(II), Sn(II)
	Hg(II), Sn(II), Pb(II), Sc(III)
	Sc(III), In(III)
$(\text{Me}(\text{OH})_2)_n$	
	Pb(II)
$(\text{Me}_4(\text{OH})_4)_n$	
Varied	Be ₃ (OH) ₃ ³⁺ , Bi ₆ (OH) ₁₂ ⁶⁺ , Pb ₆ (OH) ₆ ⁴⁺ , Al ₇ (OH) ₁₇ ⁴⁺ , Al ₁₃ (OH) ₃₄ ⁵⁺ , Mo ₇ O ₂₄ ⁶⁻ , V ₁₀ O ₂₈ ⁶⁻
B. Oxo Complexes of Metals, Metalloids and Nonmetals	
Type	Examples
O_2XOXO_2	Cr ₂ O ₇ ²⁻ , S ₂ O ₇ ²⁻ , P ₂ O ₇ ⁴⁻
$\text{O}_3\text{X}(\text{O}_4\text{X})\text{XO}_3$	P ₃ O ₁₀ ⁶⁻
$(\text{XO}_3)_n$	(PO ₃) _n ⁿ⁻ , (SiO ₃) _n ²ⁿ⁻ , CrO ₃ (s)
$(\text{X}_2\text{O}_5)_n$	P ₂ O ₅ (s), (Si ₂ O ₅) _n ⁿ⁻
$(\text{XO}_2)_n$	SiO ₂ (s)

† Modified from P. Schindler, personal communication, 1968.

‡ Charges are omitted; the structural arrangement given, although plausible, is hypothetical.

§ The list is not complete; many species that have been claimed by various authors are omitted. More detailed information is obtainable from L. G. Sillén and A. E. Martell, *Stability Constants of Metal-Ion Complexes*, Special Publ., No. 17, The Chemical Society, London, 1964. Many of the species given here may not be thermodynamically stable.

¶ Such a structure has been proposed by Esval and Tyree (see S. Y. Tyree, "The Nature of Inorganic Solute Species in Water," in *Equilibrium Concepts in Natural Water Systems*, Advances in Chemistry Series, No. 67, American Chemical Society, Washington, D.C., 1967, p. 183).

... of hydration, cleavage habit, and crystallinity.

The points of zero charge of salt-type minerals depends, sometimes in a complicated way, upon pH and on the concentration (activities) of all potential-determining ions. Thus, in the case of calcite, possible potential-determining species, in addition to H^+ and OH^- , are HCO_3^- , CO_2 , and Ca^{2+} ; various mechanisms of charge development are possible. When referring to a point of zero charge of such non-oxides the solution composition should be specified. In the absence of complications such as those caused by structural or adsorbed impurities, the point of zero charge of the solid should correspond to the pH of charge balance (electroneutrality) of potential-determining ions.

Table 2.2 Point of Zero Charge caused by Binding or Dissociation of Protons ^{a)}

Material	pH _{pznpc}	Material	pH _{pznpc}
α - Al_2O_3	9.1	δ - MnO_2	2.8
α - $Al(OH)_3$	5.0	β - MnO_2	7.2
γ - $AlOOH$	8.2	SiO_2	2.0
CuO	9.5	$ZrSiO_4$	5
Fe_3O_4	6.5	Feldspars	2 - 2.4
α - $FeOOH$	7.8	Kaolinite	4.6
α - Fe_2O_3	8.5	Montmorillonite	2.5
" $Fe(OH)_3$ " (amorph)	8.5	Albite	2.0
MgO	12.4	Chrysotile	>10

^{a)} The values are from different investigators who have used different methods and are not necessarily comparable. They are given here for illustration.

Table 1.1 summarizes some of the concepts of the coordination chemistry of the solid-water interface and illustrates some important applications in natural and technical systems. Some of these applications will be discussed in later chapters.

Constantes de los pares ácido-base usuales en el agua

NOMBRE DEL ÁCIDO	FÓRMULA DEL ÁCIDO	FÓRMULA DE LA BASE	pK _a
Ácido acético	CH ₃ CO ₂ H	CH ₃ CO ₂ ⁻	4,75
Ion aluminio	Al ³⁺ , H ₂ O	AlOH ²⁺	5,0
Ion amonio	NH ₄ ⁺	NH ₃	9,25
Ion anilinio	C ₆ H ₅ NH ₃ ⁺	C ₆ H ₅ NH ₂	4,6
Ácido arsenioso	H ₃ AsO ₃	H ₂ AsO ₃ ⁻	9,2
Ácido arsénico	H ₃ AsO ₄	H ₂ AsO ₄ ⁻	2,2
	H ₂ AsO ₄ ⁻	HAsO ₄ ²⁻	7,0
	HAsO ₄ ²⁻	AsO ₄ ³⁻	~11,5
Ácido benzoico	C ₆ H ₅ CO ₂ H	C ₆ H ₅ CO ₂ ⁻	4,2
Ácido bórico	HBO ₂	BO ₂ ⁻	9,2
Ácido carbónico	CO ₂ , aq	HCO ₃ ⁻	6,4
	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	10,3
Ácido crómico	H ₂ CrO ₄	HCrO ₄ ⁻	0,8
	HCrO ₄ ⁻	CrO ₄ ²⁻	6,5
Ácido cítrico	H ₃ A	H ₂ A ⁻	3,1
	H ₂ A ⁻	H ₂ A ²⁻	4,8
	H ₂ A ²⁻	HA ³⁻	6,4
	HA ³⁻	A ⁴⁻	10,0
Cupferrón	H Cup	Cup ⁻	4,2
Ácido cianhídrico	HCN	CN ⁻	9,3
Ácido dicloroacético	Cl ₂ CHCO ₂ H	Cl ₂ CHCO ₂ ⁻	1,3
2,2'-dipiridilo	HA ⁺	A	4,4
Ácido etilendiaminotetracético	H ₄ A	H ₃ A ⁻	2,0
	H ₃ A ⁻	H ₂ A ²⁻	2,7
	H ₂ A ²⁻	HA ³⁻	6,2
	HA ³⁻	A ⁴⁻	10,3
Ácido fluorhídrico	HF	F ⁻	3,2
Ácido fórmico	HCO ₂ H	HCO ₂ ⁻	3,8
Ion hexametilentetraminio	HA ⁺	A	5,1
Ion hidroxilamonio	NH ₂ OH ⁺	NH ₂ OH	6,1
Ácido hipocloroso	HClO	ClO ⁻	7,5
Ácido hipofosforoso	H ₃ PO ₂	H ₂ PO ₂ ⁻	1,0
Ácido monocloraacético	ClCH ₂ CO ₂ H	ClCH ₂ CO ₂ ⁻	2,9
Ácido nítrico	HNO ₂	NO ₂ ⁻	3,3
Ácido ortofosfórico	H ₃ PO ₄	H ₂ PO ₄ ⁻	2,2
	H ₂ PO ₄ ⁻	HPO ₄ ²⁻	7,2
	HPO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	12,3
Ácido oxálico	H ₂ C ₂ O ₄	HC ₂ O ₄ ⁻	1,25
	HC ₂ O ₄ ⁻	C ₂ O ₄ ²⁻	4,3
Ion oxinio	H ₂ Ox ⁺	HOx	5,0
Oxina	HOx	Ox ⁻	9,9
Ion fenantrolinio	HA ⁺	A	5,0
Fenol	C ₆ H ₅ OH	C ₆ H ₅ O ⁻	9,5
Ion piridinio	HC ₅ H ₅ N ⁺	C ₅ H ₅ N	5,2
Ácido pirofosfórico	H ₄ P ₂ O ₇	H ₃ P ₂ O ₇ ⁻	1,0
	H ₃ P ₂ O ₇ ⁻	M ₂ P ₂ O ₇ ²⁻	2,5
	H ₂ P ₂ O ₇ ²⁻	HP ₂ O ₇ ³⁻	6,1
	HP ₂ O ₇ ³⁻	P ₂ O ₇ ⁴⁻	8,5
Ion sulfato ácido	HSO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	1,9
Ácido sulfhídrico	H ₂ S	HS ⁻	7,0
	HS ⁻	S ²⁻	12,9
Ácido sulfuroso	H ₂ SO ₃	HSO ₃ ⁻	1,9
	HSO ₃ ⁻	SO ₃ ²⁻	7,2
Ácido tartárico	H ₂ A	HA ⁻	3,0
	HA ⁻	A ²⁻	4,4

Table 16.3 Electromotive Series Presented as Electrode Half-reactions in Order of Decreasing Strengths as Reducing Agents*

Reducing agent	Oxidizing agent	Standard electrode potential, V
Cs	→ Cs ⁺ + e ⁻	-3.03
Li	→ Li ⁺ + e ⁻	-3.04
K	→ K ⁺ + e ⁻	-2.94
Ba	→ Ba ²⁺ + 2 e ⁻	-2.91
Sr	→ Sr ²⁺ + 2 e ⁻	-2.90
Ca	→ Ca ²⁺ + 2 e ⁻	-2.87
Na	→ Na ⁺ + e ⁻	-2.71
Rb	→ Rb ⁺ + e ⁻	-2.60
Y	→ Y ³⁺ + 3 e ⁻	-2.40
Mg	→ Mg ²⁺ + 2 e ⁻	-2.36
La	→ La ³⁺ + 3 e ⁻	-2.36
Ce	→ Ce ³⁺ + 3 e ⁻	-2.32
Sc	→ Sc ³⁺ + 3 e ⁻	-2.03
Be	→ Be ²⁺ + 2 e ⁻	-1.97
Th	→ Th ⁴⁺ + 4 e ⁻	-1.83
Al	→ Al ³⁺ + 3 e ⁻	-1.70
U	→ U ⁴⁺ + 4 e ⁻	-1.38
Mn	→ Mn ²⁺ + 2 e ⁻	-1.18
Nb	→ Nb ³⁺ + 3 e ⁻	-1.10
V	→ V ³⁺ + 3 e ⁻	-0.87
Zn	→ Zn ²⁺ + 2 e ⁻	-0.76
Cr	→ Cr ³⁺ + 3 e ⁻	-0.74
S ²⁻	→ S + 2 e ⁻	-0.44
Fe	→ Fe ²⁺ + 2 e ⁻	-0.41
Cd	→ Cd ²⁺ + 2 e ⁻	-0.40
Co	→ Co ²⁺ + 2 e ⁻	-0.28
Ni	→ Ni ²⁺ + 2 e ⁻	-0.24
Mo	→ Mo ³⁺ + 3 e ⁻	-0.20
Sn	→ Sn ²⁺ + 2 e ⁻	-0.14
Pb	→ Pb ²⁺ + 2 e ⁻	-0.13
<hr/>		
H ₂	→ 2 H ⁺ + 2 e ⁻	0.00
<hr/>		
Bi	→ Bi ³⁺ + 3 e ⁻	+0.29
Cu	→ Cu ²⁺ + 2 e ⁻	+0.34
Cu	→ Cu ⁺ + e ⁻	+0.52
2 I ⁻	→ I ₂ + 2 e ⁻	+0.53
Se ²⁻	→ Se + 2 e ⁻	+0.67
Ag	→ Ag ⁺ + e ⁻	+0.80
Hg	→ Hg ²⁺ + 2 e ⁻	+0.85
Pd	→ Pd ²⁺ + 2 e ⁻	+0.92
2 Br ⁻	→ Br ₂ + 2 e ⁻	+1.08
Pt	→ Pt ²⁺ + 2 e ⁻	+1.19
2 Cl ⁻	→ Cl ₂ + 2 e ⁻	+1.36
Au	→ Au ⁺ + e ⁻	+1.69
Pt	→ Pt ⁺ + e ⁻	+2.64
2 F ⁻	→ F ₂ + 2 e ⁻	+2.88

* Based on G_f° values in the Appendix

Evidently, the *standard electrode potentials* reflect the same property of the elements as *electronegativities* (Section 6.2) and both arise from the tendencies of atoms to have completely filled orbitals either by giving up or accepting electrons.

16.3 The Emf of Electrochemical Cells

The relationship between the free energy change of a chemical reaction and the activities of the reactants and products is given by an equation derived in Section 13.8 (equation 13.73),

$$\Delta G_R - \Delta G_R^\circ = RT \ln Q \quad (16.44)$$

where ΔG_R is the free energy change of the reaction in any state, ΔG_R° is the free energy change in the standard state, R is the gas constant, T is the standard temperature in kelvins, and Q is the reaction quotient. We now convert ΔG values to emf by substituting equation 16.23 into equation 16.44. After rearranging terms and converting to logarithms to the base 10, we have

$$E = E^\circ + \frac{2.303RT}{n\mathcal{F}} \log Q \quad (16.45)$$

Since $R = 1.987 \times 10^{-3}$ kcal/deg·mol, $T = 298.15$ K, $\mathcal{F} = 23.06$ kcal/V·number of electrons transferred,

$$E = E^\circ + \frac{2.303 \times (1.987 \times 10^{-3}) \times 298.15}{n \times 23.06} \log Q \quad (16.46)$$

$$E = E^\circ + \frac{0.05916}{n} \log Q \quad (16.47)$$

Equation 16.47 provides a relationship between the activities of the reactants and products of an oxidation-reduction reaction, expressed by Q , and the emf that would be generated by the reac-

TABLE I. Acid dissociation constants of As species

Arsenic species	pK ₁	pK ₂	pK ₃
H ₃ AsO ₄ ^a	2.2	6.9	11.5
H ₃ AsO ₃ ^b	9.2	12.1	12.7
CH ₃ AsO(OH) ₂ ^a	3.6	8.2	
(CH ₃) ₂ AsO(OH) ^a	6.2		

^a From Baes and Mesmer (1976).

^b From Sadiq *et al.* (1983).

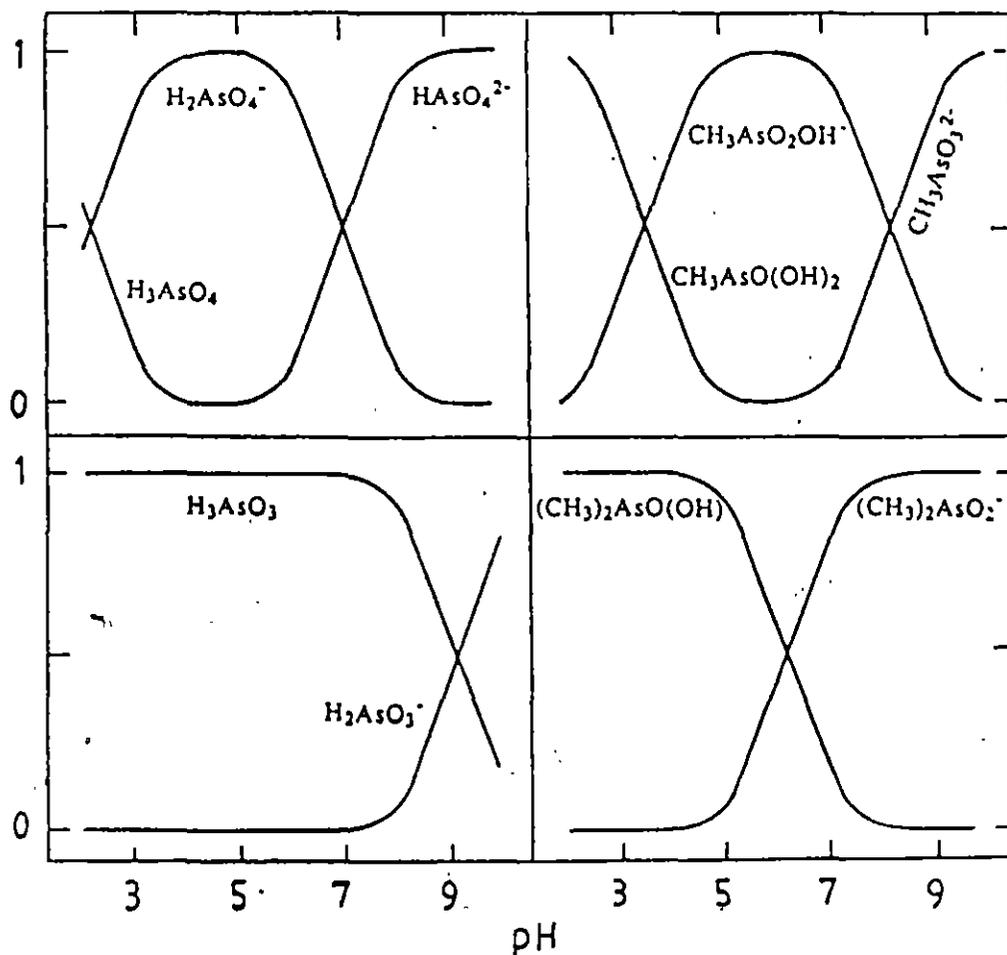


Figure 5. Distribution of As-species as a function of pH (c.f. Table I).

Obviously, H₂AsO₄⁻ and HAsO₄²⁻ are the main As(V) species in the systems studied. When pH < p*H*_{ZPC}, the surfaces are positively charged, and the adsorption of anions is favorable due to coulombic attraction. When pH > p*H*_{ZPC}, the surfaces are negatively charged and the anion adsorption is limited. Since p*H*_{ZPC} is around 6.5 to 7 for the varieties of alumina and hematite of the present study (Xu *et al.*, 1988), the surface is negatively charged at pH above this level. This could explain why the adsorption of As(V) on alumina and hematite drastically decreases at pH 6 and 7, respectively. For quartz, p*H*_{ZPC} is around 2. Hence, there is always a negative charge on the surface in the pH range studied, and the adsorption of anions is suppressed.

However, the decrease of As(V) adsorption on alumina and hematite at pH below 4 is unexpected. Based on the solubility products of Al(OH)₃ (log*K*_s = -36) and Fe(OH)₃ (log*K*_s = -38),

ADSORCION

Procesos Químicos en la Superficie del Sólido

Equilibrio Acido-Base

Enlace de Metales

Intercambio de Ligantes

Algunos potenciales normales de sistemas sencillos en disolución acuosa:

$\text{Co (CN)}_6^{3-} + e \rightleftharpoons \text{Co (CN)}_6^{4-}$	$-0^{\text{V}},8$
$\text{Cr}^{3+} + e \rightleftharpoons \text{Cr}^{2+}$	$-0^{\text{V}},41$
$\text{V}^{3+} + e \rightleftharpoons \text{V}^{2+}$	$-0^{\text{V}},26$
$2\text{H}^+ + e \rightleftharpoons \text{H}_2 \uparrow$	$0^{\text{V}},00$ para presión de $\text{H}_2 = 1$ atmósfera
$\text{Cu}^{2+} + e \rightleftharpoons \text{Cu}^+$	$+0^{\text{V}},15$
$\text{Fe (CN)}_6^{3-} + e \rightleftharpoons \text{Fe (CN)}_6^{4-}$	$0^{\text{V}},36$
$\text{MnO}_4^- + e \rightleftharpoons \text{MnO}_4^{2-}$	$0^{\text{V}},6$
$\text{I}_2 + 2e \rightleftharpoons 2\text{I}^-$	$0^{\text{V}},62$
$\text{Fe}^{3+} + e \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$	$0^{\text{V}},77$
$2\text{Hg}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Hg}_2^{2+}$	$0^{\text{V}},91$
$\text{Br}_2 + 2e \rightleftharpoons 2\text{Br}^-$	$1^{\text{V}},09$
$\text{Ti}^{3+} + 2e \rightleftharpoons \text{Ti}^+$	$1^{\text{V}},28$
$\text{Cl}_2 + 2e \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-$	$1^{\text{V}},41$
$\text{Ce}^{4+} + e \rightleftharpoons \text{Ce}^{3+}$	$1^{\text{V}},7$
$\text{Pb}^{4+} + 2e \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}$	$1^{\text{V}},8$
$\text{Co}^{3+} + e \rightleftharpoons \text{Co}^{2+}$	$1^{\text{V}},8$
$\text{Ag}^{2+} + e \rightleftharpoons \text{Ag}^+$	$2^{\text{V}},0$
$\text{F}_2 + 2e \rightleftharpoons 2\text{F}^-$	$2^{\text{V}},87$

NOTAS. — 1.º Los oxidantes se clasifican por orden de fuerza creciente y los reductores, por orden de fuerza decreciente.

Un oxidante puede reaccionar con todo reductor que se encuentre por encima de él en la tabla, a la izquierda sobre la figura.

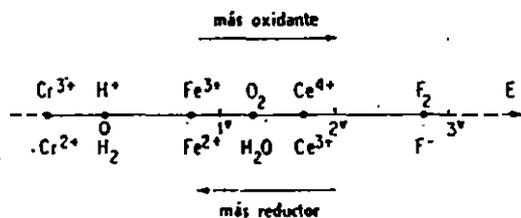
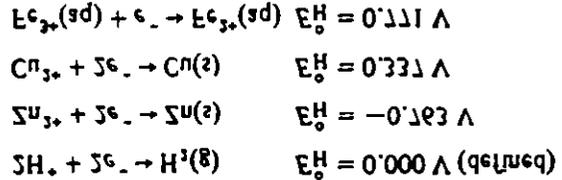


FIG. 3

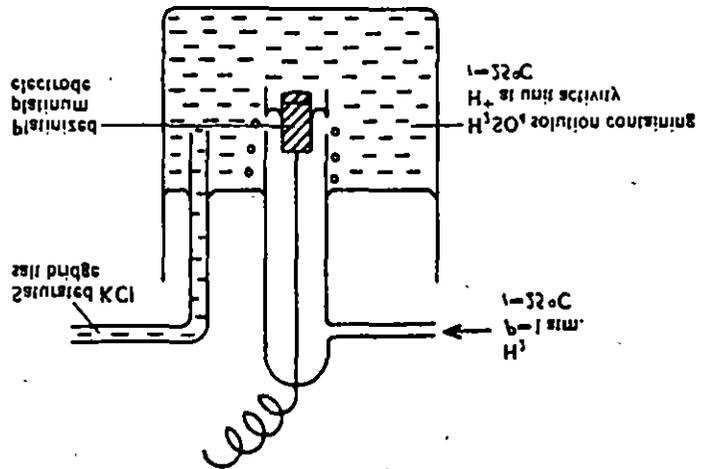
Obsérvese que en el sistema $\text{F}_2/2\text{F}^-$, F^- juega el papel de reductor. Ahora bien, F^- no puede reducir más que a los sistemas de potencial más elevado que el suyo, prácticamente a ninguno. Del mismo modo, Ce^{3+} no puede desempeñar el papel de reductor en medio ácido más que frente a oxidantes más energéticos que Ce^{4+} , o sea, en un número limitado de casos; es poco reductor. En el otro extremo de la escala

Standard electrode potentials enable the assessment of relative reducing and oxidizing power of electrode potentials is given in Appendix II.



Standard electrode potentials are defined in which the sign is reversed. Examples of connections to a standard hydrogen electrode. (Certain signs of standard electrode potentials and the sign of the potential is the sign of the electrode when used as a reference. By the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) at 25 °C and 1 atm pressure (for dissolved species, the standard state is unit activity) the E° of an electrode when all reactants are present in their standard states. A standard electrode potential can be defined for any redox half-reaction—

Fig. 3.1. Standard hydrogen electrode.



the zinc metal ions to produce hydrogen, the overall reaction being in which the zinc electrode is the hydrogen electrode where the combined reaction is the zinc electrode is the hydrogen electrode.

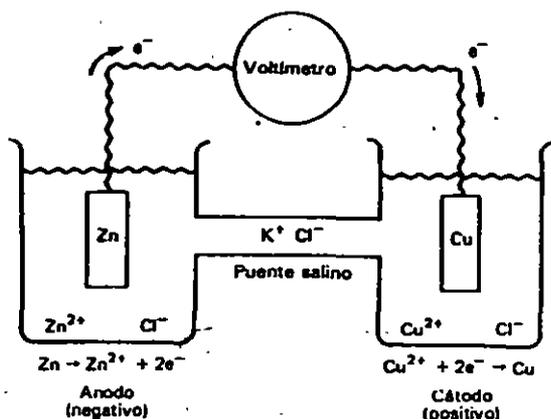
The hydrogen and zinc electrodes together form an electrochemical cell relative to the standard hydrogen electrode.

Electrode potential, denoted by $E^\circ = -0.76 \text{ V}$ (E° signifies a measured electrode potential of a given solution).

La aplicación de la ecuación de Nernst a las reacciones que se llevan a cabo en una celda electroquímica y en solución se ilustran en los ejemplos 7-6 y 7-7, respectivamente.

Ejemplo 7-6

Una celda de Daniell consta de un electrodo de zinc en una solución de cloruro de zinc conectado a un electrodo de cobre en una solución de cloruro cúprico.

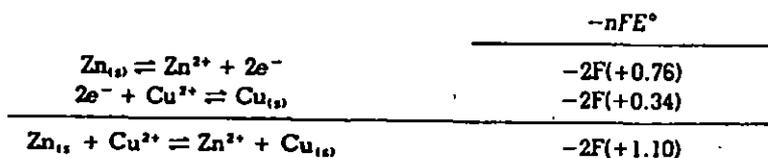


¿Cuál es la constante de equilibrio de la reacción de la celda a 25°C? De la tabla, 7-1,

$$E_{Zn^{2+}, Zn(s)}^{\circ} = -0.76 \text{ volt y } E_{Cu^{2+}, Cu(s)}^{\circ} = +0.34 \text{ volt.}$$

Solución

Suponiendo que en la celda se oxida el Zn y se reduce el Cu^{2+} , la reacción de la celda será



Así pues $E_{celda}^{\circ} = 1.10$ volt. (Nótese que si se hubiese supuesto que se oxidaba el Cu^{2+} y se reducía el Zn^{2+} , E_{celda}° tendría la misma magnitud absoluta pero su signo sería el contrario. En el equilibrio, cuando no fluye corriente por el circuito, $E = 0$ y de la ecuación 7-8 se tiene

$$E^{\circ} = +1.1 = \left(\frac{0.059}{2} \right) \log K$$

$$K = 10^{+37.2}$$

Ejemplo 7-7

La determinación de Winkler para oxígeno disuelto implica la formación de $MnO_{2(s)}$ por oxidación de Mn^{2+} con oxígeno. El $MnO_{2(s)}$ reacciona después con I^{-} para formar $I_{2(ac)}$. Determinar el valor de E en una solución que contiene 8 mg de OD/litro en un punto en que la mitad del $MnO_{2(s)}$ formado por reacción con el OD se ha reducido a Mn^{2+} por acción del I^{-} (que a su vez se ha oxidado a $I_{2(ac)}$). La concentración de H^{+} es aproximadamente 1 M. En la determinación se utilizan las siguientes concentraciones y cantidades de reactivos:

1. $MnSO_4 \cdot 2H_2O$: 2 ml de una solución con 400 g/litro por 300 ml de volumen de muestra.
2. KI: 2 ml de una solución con 150 g/litro por 300 ml de volumen de muestra.

Solución

Despreciar los cambios en volumen causados por la adición de soluciones de $MnSO_4$ y KI.

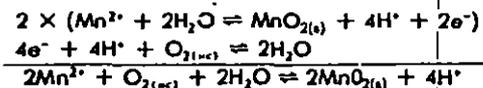
$$C_{1, Mn} = 400 \text{ g/litro } MnSO_4 \cdot 2H_2O = 2.14 \text{ mol/litro}$$

$$(2 \text{ ml}/300 \text{ ml muestra})(2.14 \text{ mol/litro}) = 143 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$C_{1, I} = 150 \text{ g/litro KI} = 0.90 \text{ mol/litro}$$

$$(2 \text{ ml}/300 \text{ ml muestra})(0.90 \text{ mol/litro}) = 6 \times 10^{-3} \text{ M}$$

El ion manganesoso reacciona con el OD para formar óxido de manganeso.



Así pues, 8 mg/litro de OD [= (8 mg/litro)(32,000 mg/mol)] = 2.5×10^{-4} mol/litro] producirán $2 \times 2.5 \times 10^{-4} = 5.0 \times 10^{-4}$ mol $MnO_{2(s)}$ /litro.

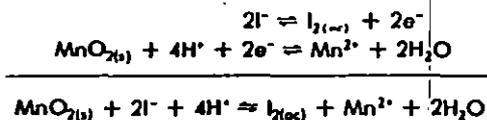
Después de la reducción de la mitad del $MnO_{2(s)}$ a Mn^{2+} con I^{-} ,

$$[Mn^{2+}] = C_{1, Mn} - \text{número de moles de } MnO_{2(s)} \text{/litro}$$

$$= 1.43 \times 10^{-2} M - 0.5(5.0 \times 10^{-4} M)$$

$$= 1.40 \times 10^{-2} M$$

La reacción de $MnO_{2(s)}$ con I^{-} produce



Entonces

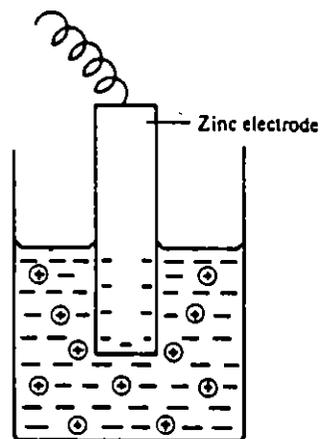
$$E_{celda}^{\circ} = E_{I_2, I^{-}}^{\circ} + E_{MnO_2, Mn^{2+}}^{\circ} = -0.62 + 1.23 = +0.61$$

The general expression for eqn (3.52) is given by

$$pe = pe^\circ + \frac{1}{n} \log \left(\frac{\Pi(\text{oxidized})}{\Pi(\text{reduced})} \right) \quad (3.54)$$

where n is the number of electrons transferred.

The transfer of electrons in redox reactions can be realized as an external electric current in an electrochemical cell. Consider a rod of zinc metal immersed in a solution containing Zn^{2+} ions at unit activity (Fig. 3.6). There is a tendency for the zinc rod to dissolve, expressed by the equilibrium



⊕ Zn^{2+} ion

Fig. 3.6. Zinc electrode.

This process contributes positive Zn^{2+} ions to the solution and leaves negative electrons in the zinc rod, as shown in Fig. 3.6, and thus produces a difference in electrical potential between the rod and the solution. Any electrode immersed in the solution will do this to a greater or lesser degree and therefore it is impossible to measure the potential difference absolutely. This problem has been resolved by defining the potential of the standard hydrogen electrode (Fig. 3.7) as zero. The reaction taking place at this electrode is



This electrode is connected to the system of interest by a salt bridge, i.e. a tube filled with saturated potassium chloride solution, whose purpose is to form an electrical connection between the two solutions without introducing further potential differences. Under these circumstances, the observed potential difference between the zinc and hydrogen electrodes is 0.763 V with the zinc

Table 3.9 Redox Half-Reactions for Many Constituents That Occur in the Groundwater Environment

(1) $\frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}^+ + e = \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	(18) $\frac{1}{8}\text{SO}_4^{2-} + \frac{9}{8}\text{H}^+ + e = \frac{1}{8}\text{HS}^- + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$
(2) $\text{H}^+ + e = \frac{1}{2}\text{H}_2(\text{g})$	(19) $\frac{1}{2}\text{S}(\text{s}) + \text{H}^+ + e = \frac{1}{2}\text{H}_2\text{S}(\text{g})$
(3) $\text{H}_2\text{O} + e = \frac{1}{2}\text{H}_2(\text{g}) + \text{OH}^-$	(20) $\text{Fe}^{3+} + e = \text{Fe}^{2+}$
(4) $\frac{1}{2}\text{NO}_3^- + \frac{5}{8}\text{H}^+ + e = \frac{1}{10}\text{N}_2(\text{g}) + \frac{3}{8}\text{H}_2\text{O}$	(21) $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s}) + \text{HCO}_3^- + 2\text{H}^+ + e = \text{Fe}(\text{CO}_3)(\text{s}) + 3\text{H}_2\text{O}$
(5) $\frac{1}{2}\text{NO}_3^- + \text{H}^+ + e = \frac{1}{2}\text{NO}_2^- + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	(22) $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s}) + 3\text{H}^+ + e = \text{Fe}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$
(6) $\frac{1}{8}\text{NO}_3^- + \frac{3}{8}\text{H}^+ + e = \frac{1}{8}\text{NH}_4^+ + \frac{3}{8}\text{H}_2\text{O}$	(23) $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s}) + \text{H}^+ + e = \text{Fe}(\text{OH})_2(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}$
(7) $\frac{1}{8}\text{NO}_2^- + \frac{3}{8}\text{H}^+ + e = \frac{1}{8}\text{NH}_4^+ + \frac{1}{8}\text{H}_2\text{O}$	(24) $\frac{1}{2}\text{FeS}_2(\text{s}) + 2\text{H}^+ + e = \frac{1}{2}\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{S}(\text{g})$
(8) $\frac{1}{4}\text{NO}_3^- + \frac{3}{4}\text{H}^+ + e = \frac{1}{8}\text{N}_2\text{O}(\text{g}) + \frac{3}{8}\text{H}_2\text{O}$	(25) $\frac{1}{2}\text{Fe}^{2+} + \text{S}(\text{s}) + e = \frac{1}{2}\text{FeS}_2(\text{s})$
(9) $\frac{1}{4}\text{NO}_2^- + \frac{3}{4}\text{H}^+ + e = \frac{1}{4}\text{N}_2\text{O}(\text{g}) + \frac{3}{4}\text{H}_2\text{O}$	(26) $\frac{1}{16}\text{Fe}^{2+} + \frac{1}{8}\text{SO}_4^{2-} + e = \frac{1}{16}\text{FeS}_2(\text{s}) + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$
(10) $\frac{1}{8}\text{N}_2(\text{g}) + \frac{3}{8}\text{H}^+ + e = \frac{1}{8}\text{NH}_4^+$	(27) $\frac{1}{14}\text{Fe}(\text{OH})_2(\text{s}) + \frac{1}{4}\text{SO}_4^{2-} + \frac{9}{4}\text{H}^+ + e = \frac{1}{14}\text{FeS}_2(\text{s}) + \frac{3}{2}\text{H}_2\text{O}$
(11) $\frac{1}{4}\text{CH}_2\text{O} + \text{H}^+ + e = \frac{1}{4}\text{CH}_4(\text{g}) + \frac{1}{4}\text{H}_2\text{O}$	(28) $\frac{1}{14}\text{Fe}(\text{CO}_3)(\text{s}) + \frac{1}{4}\text{SO}_4^{2-} + \frac{7}{4}\text{H}^+ + e = \frac{1}{14}\text{FeS}_2(\text{s}) + \frac{4}{7}\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{14}\text{HCO}_3^-$
(12) $\frac{1}{4}\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}^+ + e = \frac{1}{4}\text{CH}_2\text{O} + \frac{1}{4}\text{H}_2\text{O}$	(29) $\frac{1}{2}\text{MnO}_2(\text{s}) + \frac{1}{2}\text{HCO}_3^- + \frac{3}{2}\text{H}^+ + e = \frac{1}{2}\text{MnCO}_3(\text{s}) + \frac{3}{8}\text{H}_2\text{O}$
(13) $\frac{1}{2}\text{CH}_2\text{O} + \text{H}^+ + e = \frac{1}{2}\text{CH}_3\text{OH}$	(30) $\text{Mn}^{2+} + 2e = \text{Mn}(\text{s})$
(14) $\frac{1}{8}\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}^+ + e = \frac{1}{8}\text{CH}_4(\text{g}) + \frac{1}{4}\text{H}_2\text{O}$	(31) $\frac{1}{2}\text{MnCO}_3 + \frac{1}{2}\text{H}^+ + e = \frac{1}{2}\text{Mn}(\text{s}) + \frac{1}{2}\text{HCO}_3^-$
(15) $\frac{1}{2}\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}^+ + e = \frac{1}{2}\text{CH}_4(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	(32) $\text{MnOOH}(\text{s}) + \text{HCO}_3^- + 2\text{H}^+ + e = \text{MnCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$
(16) $\frac{1}{8}\text{SO}_4^{2-} + \frac{3}{8}\text{H}^+ + e = \frac{1}{8}\text{S}(\text{s}) + \frac{3}{8}\text{H}_2\text{O}$	(33) $\text{MnO}_2 + \text{H}^+ + e = \text{MnOOH}$
(17) $\frac{1}{8}\text{SO}_4^{2-} + \frac{3}{8}\text{H}^+ + e = \frac{1}{8}\text{H}_2\text{S}(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	

REACCIONES ACIDO-BASE



$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

$$\text{pK}_a = -\log K_a$$

Cuando $\text{pH} = \text{pK}_a$

$$[\text{HA}] = [\text{A}^-]$$

Predominio de Especies

$$K_{\text{HCO}_3^-} = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

A mass-balance expression for the carbon species, expressed in molality, is

$$\text{DIC} = (\text{H}_2\text{CO}_3) + (\text{HCO}_3^-) + (\text{CO}_3^{2-})$$

where DIC is the concentration of total dissolved inorganic carbon. If we select an arbitrary value of 1 for DIC, and then in terms of pH, HCO_3^- , $K_{\text{H}_2\text{CO}_3}$, and $K_{\text{HCO}_3^-}$, and then in terms of constants, equations for the relative concentration of each species as a function of pH are obtained. They are

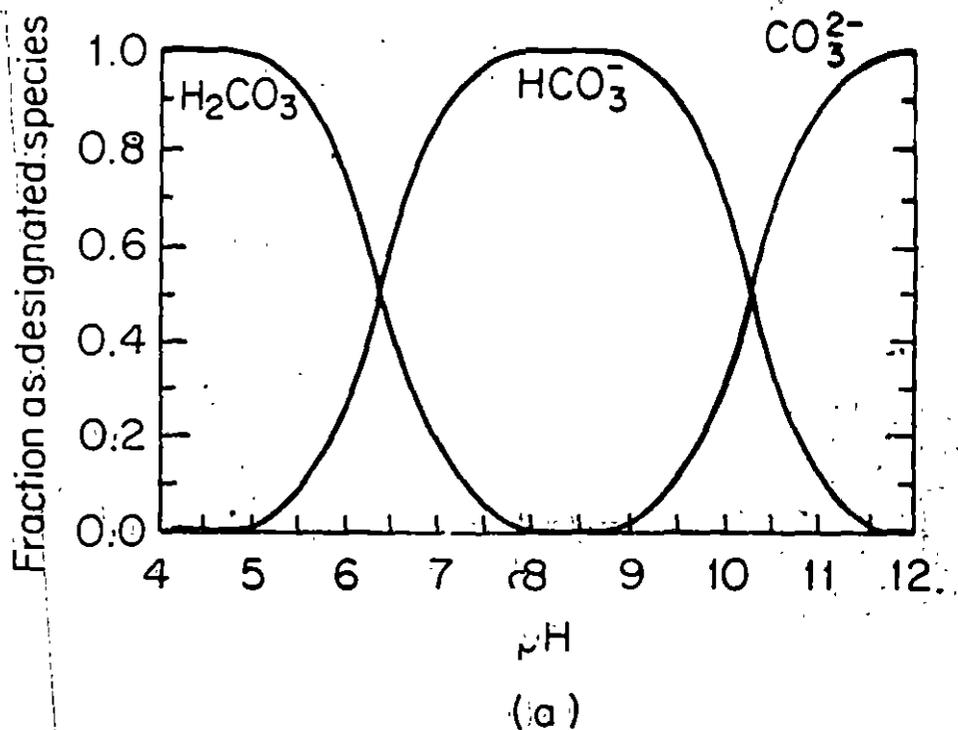


Figure 3.5 Distribution of major species and (b) inorganic phosphorus

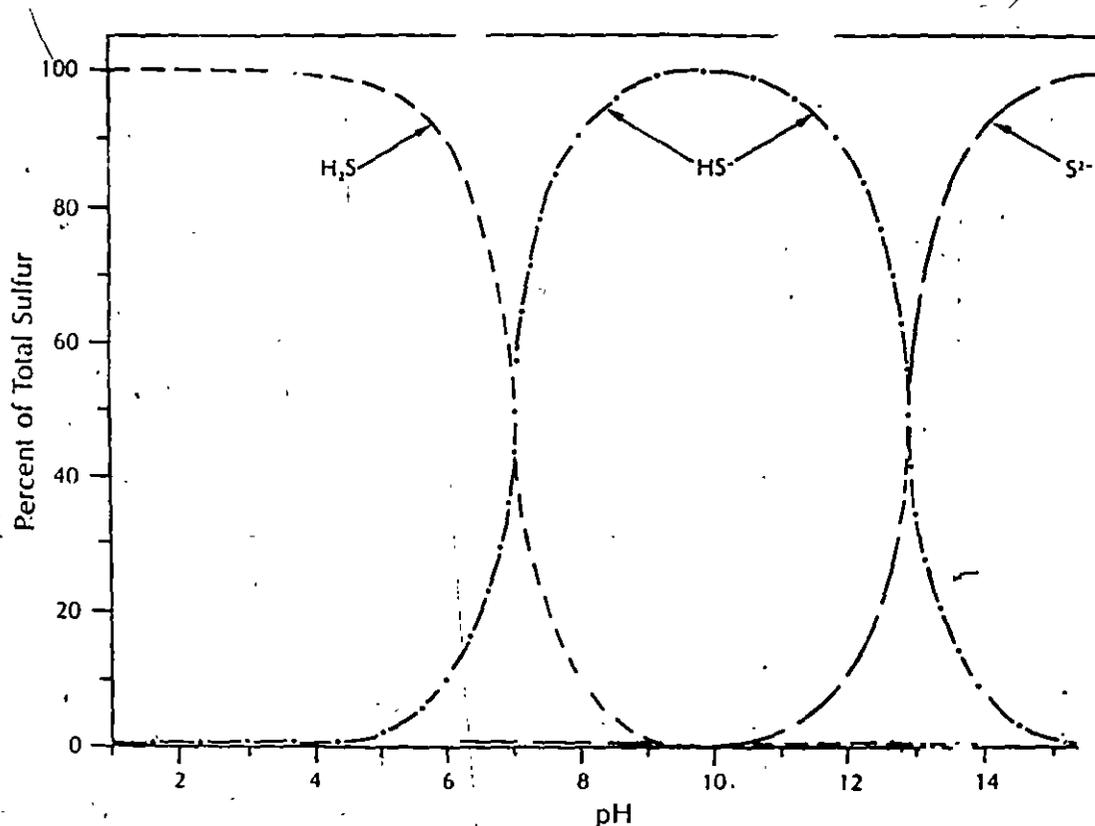


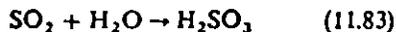
Figure 11.3 The pH dependence of the abundances of S-bearing ions and molecules in a solution of $H_2S_{(aq)}$ containing a fixed amount of S in solution (equation 11.79). Note that H_2S is dominant at $pH < 7.0$, HS^- dominates between $pH = 7.0$ and 12.9 , and that S^{2-} is dominant only at $pH > 12.9$. However, all of the ions are present at all values of the pH even though their abundances may be small compared to that of the dominant ion.

11.6 Solubility of Amorphous Silica

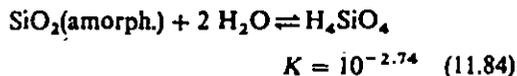
The oxides of many metals react with water to form bases and the oxides of nonmetals react with water to form acids. For example, CO_2 reacts with water to form carbonic acid,



and SO_2 forms hydrosulfurous acid,



In a very similar manner, silicon dioxide reacts with water to form silicic acid, such that at equilibrium



SiO_2 is a solid compound that can either be amorphous or assume several different polymorphic crystalline forms, including quartz, cristobalite, and tridymite. Silicic acid actually forms as a result of chemical weathering of the common rock-forming aluminosilicate minerals such as

The Double Layer

The structure of the double layer has been the subject of a great deal of study, and several mathematical models are available to describe the distribution of ions within it (Westall and Hohl 1980). In general terms, the double layer consists of ions more or less attached to the solid surface (the *fixed* or *Stern* layer), and outside that a diffuse (or *Gouy*) layer in which the ions are free to move (Fig. 4-11). In the Gouy layer, the concentration of cations not balanced by anions decreases exponentially away from the boundary with the fixed layer. The ions in the fixed layer may be held by purely electrostatic forces, or by formation of complexes with groups on the surface of the solid (see Chapter 13).

The stability of a colloidal suspension depends on the thickness of the Gouy layer, which depends on the potential at the outside of the fixed layer and, approxi-

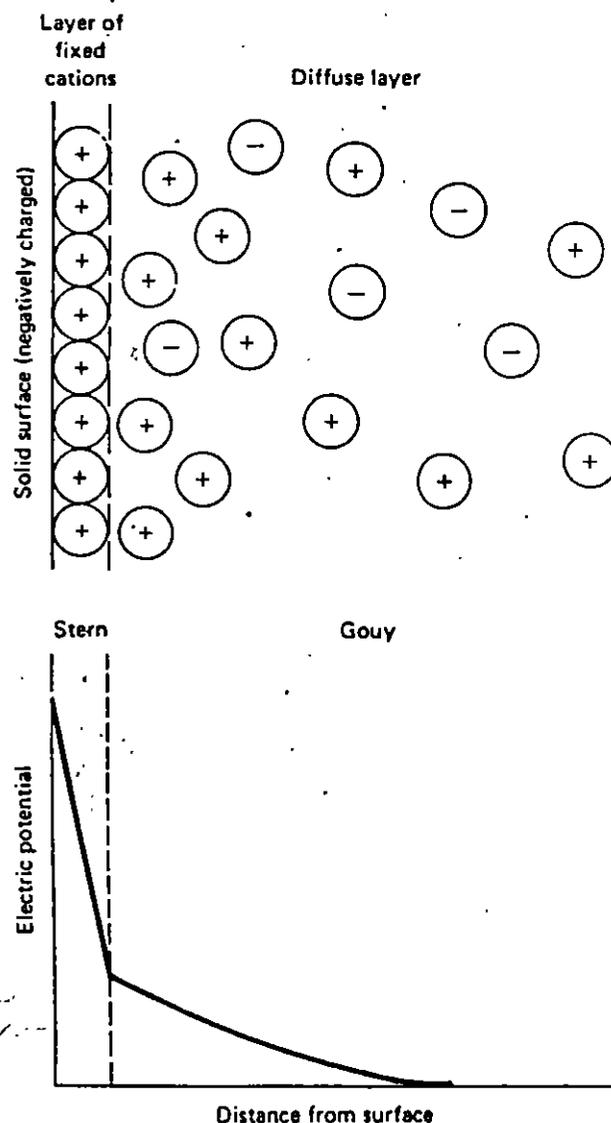


Figure 4-11 Schematic picture of the fixed (Stern) and diffuse (Gouy) layers.

spherically is a different chemical entity than if it were bound outer-spherically or present in the diffuse part of the double layer; the inner-spheric Cu(II) has chemically different properties, e.g., a different redox potential (with regard to Cu(I)), and its equatorial water are expected to exchange faster than in Cu(II). As we shall see (Chapters 5, 9), the reactivity of a surface is affected by inner-sphere complexes.

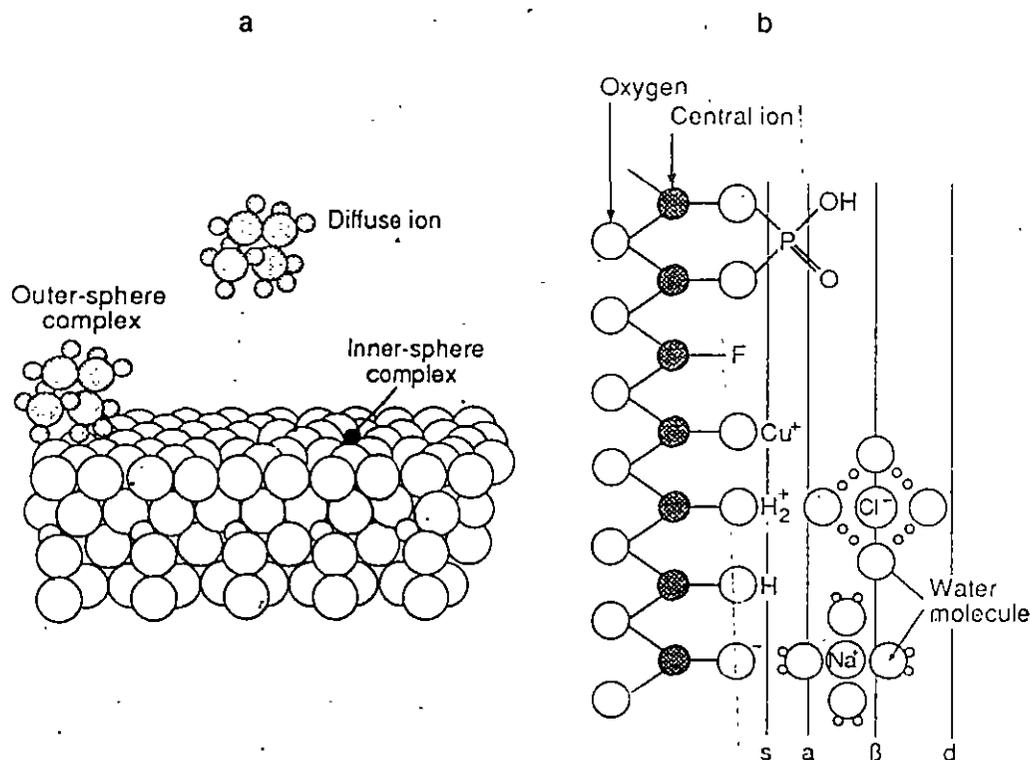


Figure 2.4

Surface complex formation of an ion (e.g., cation) on the hydrous oxide surface. The ion may form an inner-sphere complex ("chemical bond"), an outer-sphere complex (ion pair) or be in the diffuse swarm of the electric double layer. (From Sposito, 1989)

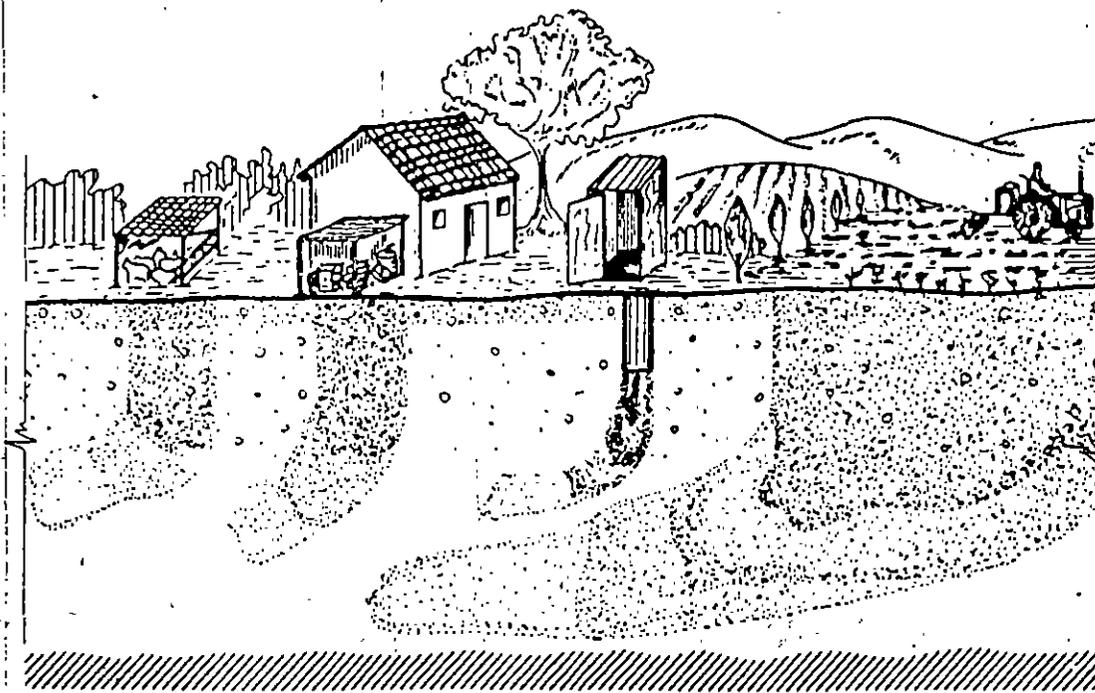
Fig. b shows a schematic portrayal of the hydrous oxide surface, showing planes associated with surface hydroxyl groups ("s"), inner-sphere complexes ("a"), outer-sphere complexes ("beta") and the diffuse ion swarm ("d"). (Modified from Sposito, 1984)

Structural Identity

Direct evidence for inner-sphere complexes comes from spectroscopic methods; unfortunately, spectroscopic methods alone are seldom sufficiently sensitive to reveal the specific structure of surface complexes. Motschi (1987) used electron

Table 2-1 Parameters for the Debye-Hückel equation at 1 atmosphere pressure (adapted from Manov et al. 1943; Klotz 1950).

$T(^{\circ}\text{C})$	A	$B(\times 10^{-8})$	$a_0(\times 10^8)$	Ion
0	0.4883	0.3241	2.5	NH_4^+
5	0.4921	0.3249	3.0	$\text{K}^+, \text{Cl}^-, \text{NO}_3^-$
10	0.4960	0.3258	3.5	$\text{OH}^-, \text{HS}^-, \text{F}^-$
15	0.5000	0.3262	4.0	$\text{SO}_4^{2-}, \text{PO}_4^{3-}, \text{HPO}_4^{2-}$
20	0.5042	0.3273	4.0-4.5	$\text{Na}^+, \text{HCO}_3^-, \text{H}_2\text{PO}_4^-$
25	0.5085	0.3281	4.5	CO_3^{2-}
30	0.5130	0.3290	5	$\text{Sr}^{2+}, \text{Ba}^{2+}, \text{S}^{2-}$
40	0.5221	0.3305	6	$\text{Ca}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+}$
50	0.5319	0.3321	8	Mg^{2+}
60	0.5425	0.3338	9	$\text{H}^+, \text{Al}^{3+}, \text{Fe}^{3+}$



CRIADEROS DE ANIMALES

DEPOSITOS DE COMBUSTIBLES Y PESTICIDAS

DESCARGAS DE LETRINAS

LIXIVIACION DE SUELOS CULTIVADOS

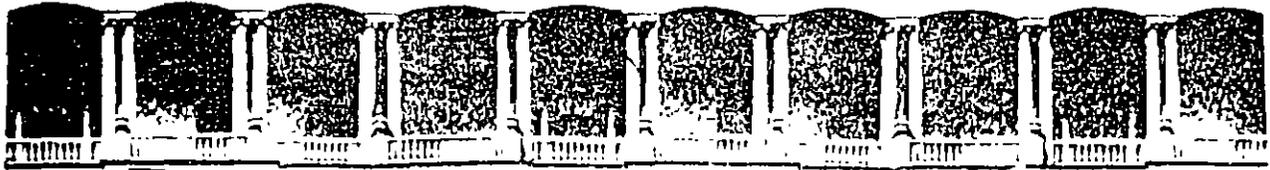
¿COMO PODEMOS EVALUAR EL RIESGO DE CONTAMINACION?

Esta es una tarea para los expertos, pero en términos conceptuales podemos decir que dependerá de dos factores:

- la vulnerabilidad natural o intrínseca del acuífero, y
- el tipo y cantidad del contaminante y la manera de depositarlo al suelo.

Vulnerabilidad de acuíferos

Se entiende por vulnerabilidad el conjunto de características del acuífero que determina cuánto podrá ser afectado por la descarga de un contaminante. Tales características que juegan un papel predominante en acuíferos libres, son la profundidad de la napa freática, el tipo de porosidad del acuífero (intergranular o fractura) y el tipo del suelo o roca que constituye el acuífero.



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

**VII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE
ACUIFEROS**

MODULO II : CONTAMINACION DE ACUIFEROS

TEMA: CALIDAD DEL AGUA
(CONTINUACION DE LA PAGINA 25 A LA 65)

DRA. BLANCA E. JIMENEZ CISNEROS
1996

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 H₂S formado por reducción de sulfatos y sulfitos.

TABLA 2.3. PRINCIPALES COMPUESTOS QUE CAUSAN MAL OLOR

COMPUESTO	FORMULA CONDENSADA	DESCRIPCION DEL OLOR
Aminas	CH ₃ NH ₂ , (CH ₃) ₃ N	Pescado
Amoníaco	NH ₃	Amoníaco
Diaminas	NH ₂ (CH ₂) ₄ NH ₂	Pescado descompuesto
Acido sulfhídrico	H ₂ S	Huevos podridos
Mercaptanos	CH ₃ SH, CH ₃ (CH ₂) ₃ SH	Zorrillo
Sulfuros Orgánicos	(CH ₃) ₂ , CH ₃ SSCH ₃	Basura podrida
Escatol	C ₈ H ₇ NHCH 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

hierro

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 (mol/m^3)

* ingenieros ambientales

mg/l

$\mu\text{m/l}$

Concentración en porcent^o

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 según 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:

proviene 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

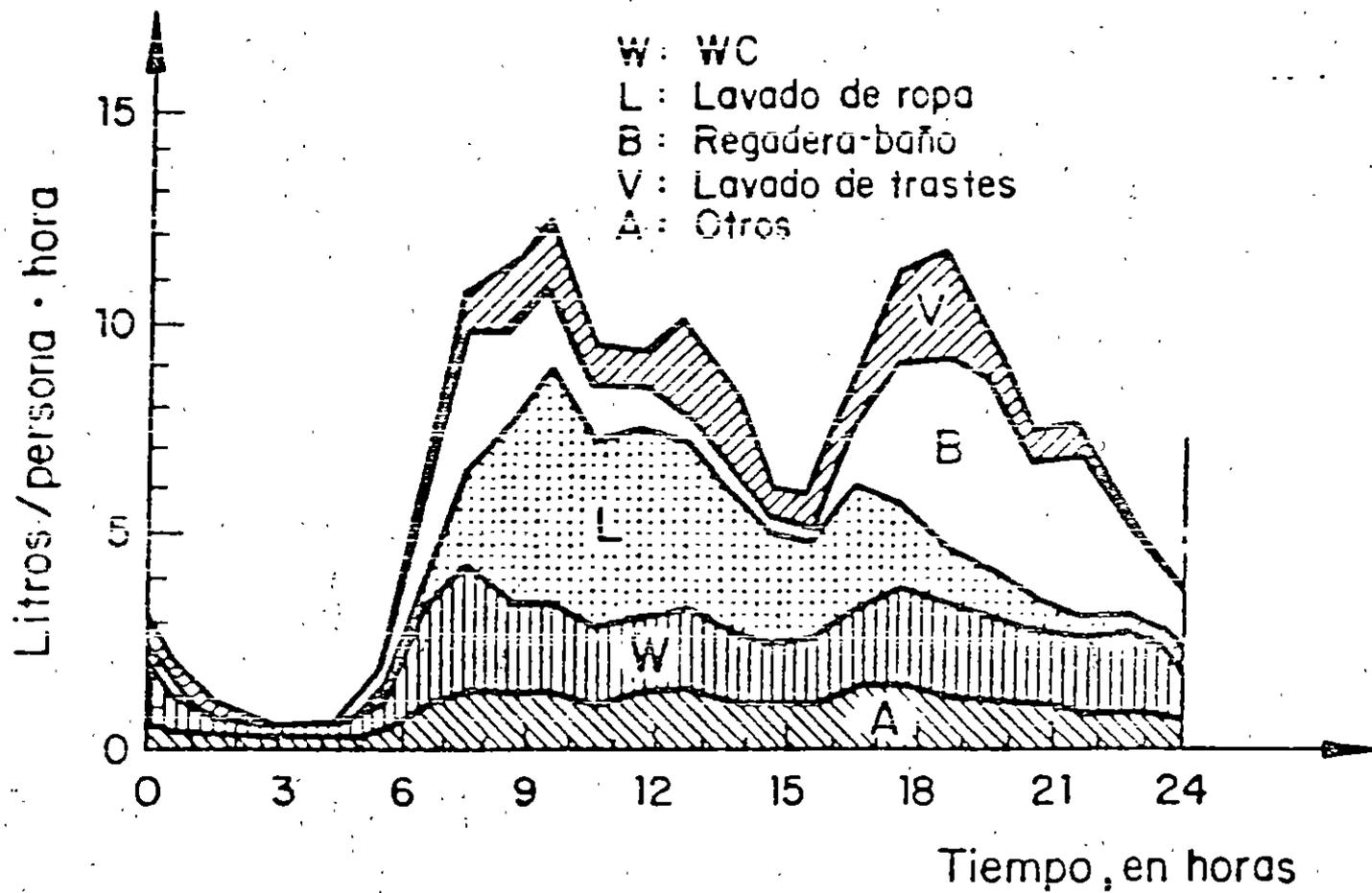
pesticidas

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 habitación.

ACUIFEROS

LIXIVIADOS DE RELLENOS SANITARIOS, BASUREROS Y CEMENTERIOS
(ORGANOCORADOS, BENECNICOS, ALIFATICOS, ACIDOS HUMICOS,
TERPENOS, TANINOS, As, Se, Ra, Cd, NITRATOS, ETC)

AGUAS SUPERFICIALES

RESIDUOS LIQUIDOS SIN TRATAR Y EFLUENTES DE PLANTA DE TRATAMIENTO
(COMPUESTOS HUMICOS DIFICILMENTE BIODEGRADABLES,)

PRECIPITACION

CONTAMINANTES DEL AIRE

(OXIDOS DE NITROGENO Y AZUFRE, Pb, POLVO, BACTERIAS, PAN, ETC)

- * LA MAYORIA SOLUBLES
- * TODOS PROHIBIDOS POR LAS NORMAS DE POTABILIZACION
- * NO SON PARAMETROS ESTANDARES DE CONTROL
- * NO SE ELIMINAN MEDIANTE METODOS TRADICIONALES

Fuentes

- ◆ desechos urbanos e industriales
 - ◆ descargas no controladas
 - ◆ campos agrícolas
 - ◆ minas
 - ◆ efluentes de plantas de tratamiento
 - ◆ drenajes rotos
 - ◆ lavado de la atmósfera
- | |
|-------|
| rios |
| mares |
| lagos |

CALIDAD

**Problemática
del
Agua
≠
a la del
aire**

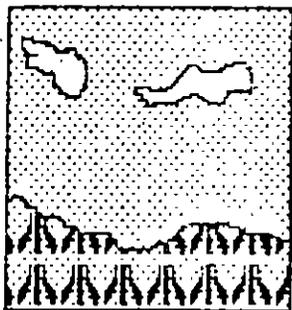
DISPONIBILIDAD

FUENTE DE
ABASTECIMIENTO

=

AGUA DE MUY ELEVADA CALIDAD

~ 1800



DIRECTO



DESINFECCION



FILTRACION



COAGULACION

TRATAMIENTO CONVENCIONAL

OBJETIVO : REMOVER PARTICULAS EN SUSPENSION

CRIBADO + COAGULACION + FILTRACION + DESINFECCION

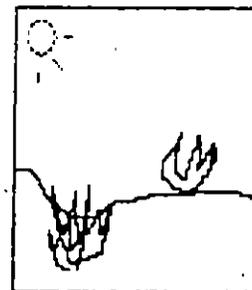
FUENTE DE
ABASTECIMIENTO

=

AGUA DISPONIBLE

TRATAMIENTO AVANZADO

OBJETIVO : REMOCION DE MATERIAL SOLUBLE



6-1009

FUENTES DE
ABASTECIMIENTO

CONVENCIONALES

SUPERFICIAL

MENOS DURAS

OD ↑

H₂S ↓

FACILMENTE CONTAMINABLES

↑ ACTIVIDAD BIOLÓGICA

COLOR Y TURBIEDAD ↔

FREATICAS

UNIFORME

NO ↓

H₂S ↑

NO CONVENCIONALES

AGUA DE MAR

\$\$\$

AGUAS NEGRAS

\$\$

????

Handwritten note:
METS
C. 2. 2. 5

Definición
de
Agua contaminada

=

f [uso,
exigencias higiénicas,
avance del conocimiento y
técnicas analíticas]

Norm - 8

EL AGUA ES EL "SOLVENTE UNIVERSAL"

DISUELVE
ARRASTRA
SUSPENDE
EMULSIONA

63 000 COMPUESTOS QUIMICOS (OMS, 1988)
+ 2000 POR AÑO

PROBLEMAS [CERTIFICACION DE POTABLE (EPA ~ 132)
TRATAMIENTO

PARAMETROS
DE CONTROL

20

CONDUCCIONES

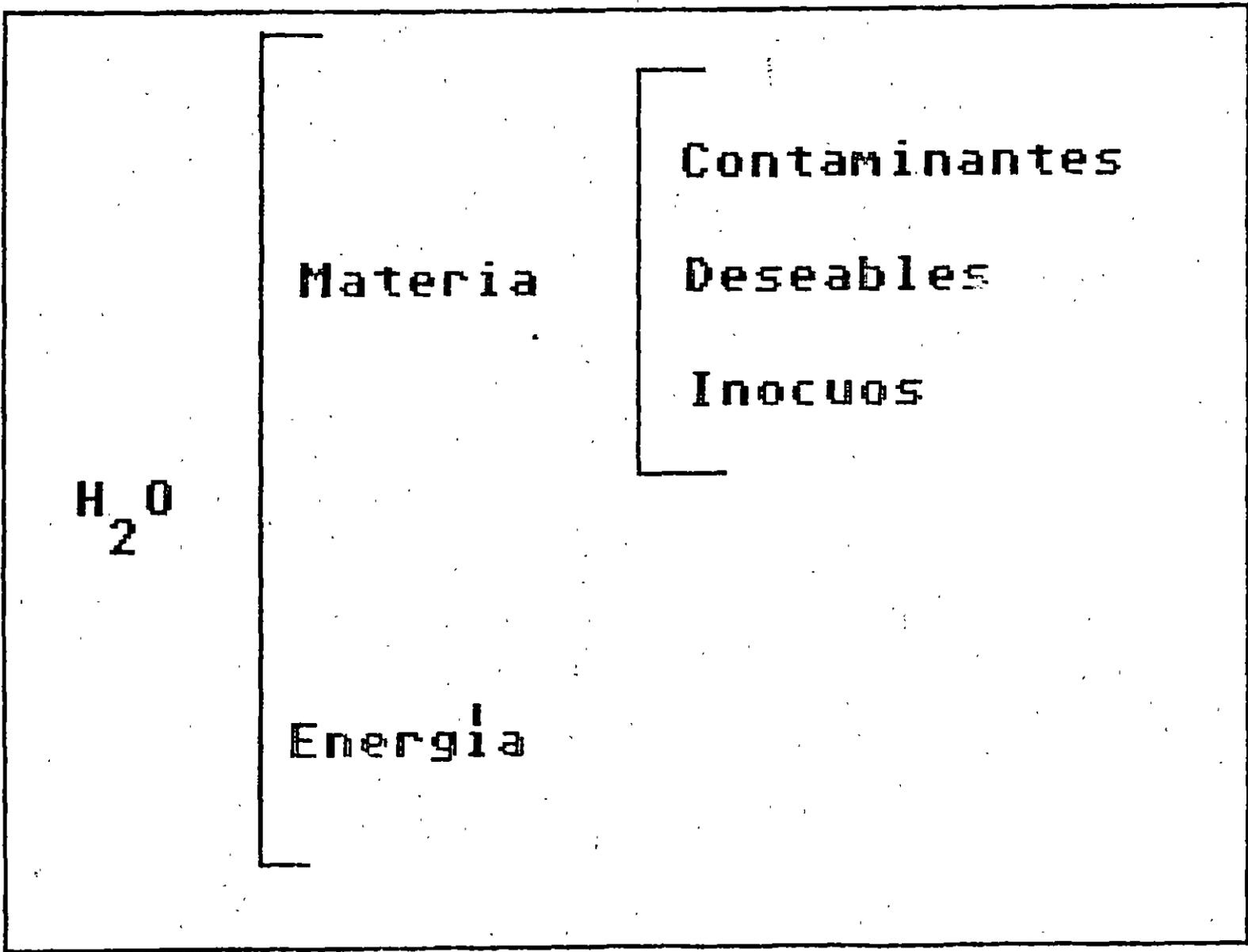
Cu, Fe
Asbesto

Infiltraciones

ALMACENAMIENTO

Virus

Bacterias



H_2O

Materia

Contaminantes

Deseables

Inocuos

Energia

Scanned

AGUA

MUNICIPAL

ABASTECIMIENTO DOMESTICO

PRODUCCION DE AGRICOLA

CONSUMO INTERNO

EXPORTACION

INDUSTRIA

ESPARCIMIENTO

1250 M³ DE AGUA DISPONIBLE/PERSONA, AÑO

Valores de uso

mem-2

TABLA 10 AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD POR EL EMPLEO DE AGUA RESIDUAL EN RIEGO EN MEXICO

CULTIVO	RENDIMIENTO EN TON/HA		% DE CAMBIO
	AGUAS NEGRAS	AGUAS BLANCAS	
Alfalfa	120	70	71
Maíz	5	2	150
Frijol	1	1.3	-23
Trigo	3	1.8	67
Cebada	4	2.0	100
Avena de forraje	22	12.0	83
Tomate	35	18.0	94
Chile	12	7.0	71

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
- * cacahuate
- * 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.

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

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.

- **COMPONENTES ORGANICOS**

- 1 ALCANOS CLORADOS*

- 2 PLAGUICIDAS*

- LOS PRODUCTOS DE LA DEGRADACION DE PLAGUICIDAS REPRESENTAR UN PROBLEMA EN EL AGUA PARA CONSUMO HUMANO.*

- NO SE TIENE GUIAS DE TOXICIDAD DE ESOS PRODUCTOS, YA QUE LOS DATOS DISPONIBLES SOBRE SU IDENTIDAD, SU PRESENCIA Y SU ACTIVIDAD BIOLOGICA 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 (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 PERIODICA.

METALES DISUELTOS

CUANDO EL ANALISIS SE AFECTUA SOBRE EL FILTRADO A 0.45 M Y SIN ACIDIFICAR, EN CASO CONTRARIO SE HABLA DE METALES SUSPENDIDOS

METALES TOTALES

LA DETECCION EN UNA MUESTRA NO FILTRADA Y SUJETA A UN DIGESTION FUERTE

METALES EXTRACTABLES EN ACIDOS

DETERMINACION EFECTUADA EN UNA MUESTRA NO FILTRADA Y TRATADA CON UN ACIDO 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/cm² 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 alquilfenoles.

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 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 mgO_2 / 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 mgO_2 / 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 fierro y aluminio.

- Cantidad importante => el agua es dura

* contiene sales incrustantes

* 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 disuélto

- 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 permanganto 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 $24^{\circ} C$.

c) Sólidos filtrables.

- Sólidos que atraviezan el filtro corresponde a las sustancias solubles.

En cada una de las porciones anteriores se realiza el análisis de volatilidad (mufla a 550° C).

- material que se pierde por ignición corresponde al contenido orgánico

- material que permanece es inorgánico.

En la FIG 2.5 se muestra la clasificación completa de los tipos de sólidos que se pueden determinar mediante el método gravimétrico.

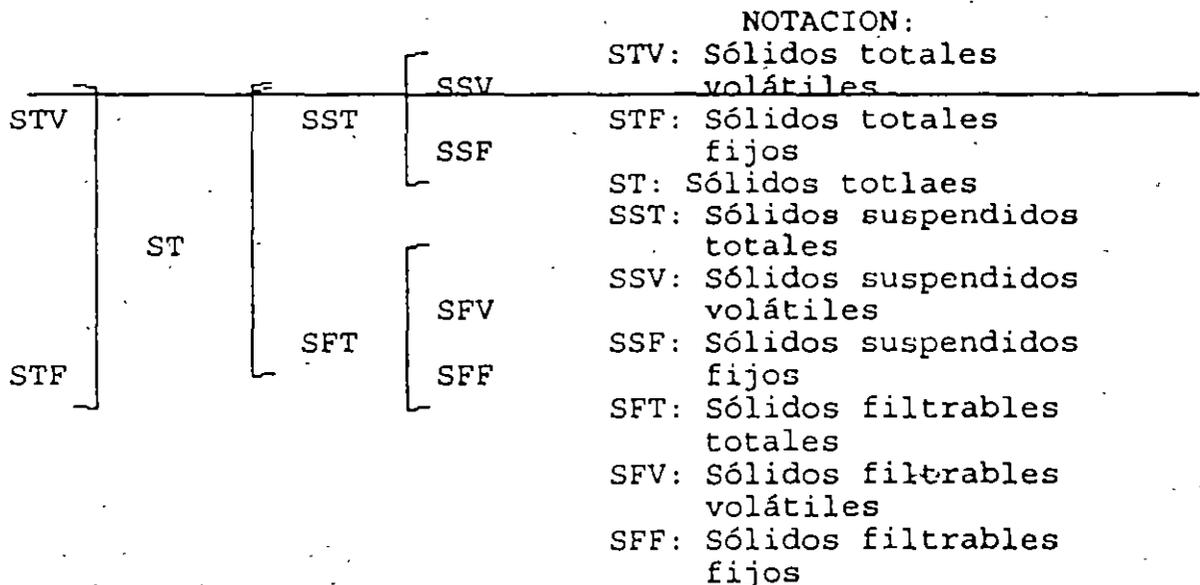


FIG. 2.5 Nueve formas en que se miden los sólidos contenidos en una agua por el método gravimétrico.

Compuestos químicos

Alcalinidad

- Hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de los iones Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ y NH_4^+

* más comunes los de calcio y magnesio

- Se determina por titulación ácido (H_2SO_4 , 0.02N)

- Resultado como CaCO_3

- Expresa la capacidad que tiene un agua para mantener su pH cuando se le añade una solución ácida o alcalina.

pH

- Se determina mediante un electrodo de vidrio.

- El cologaritmo de la concentración de los iones hidronio (H^+).

- Parámetro de operación para procesos biológicos y físico-químicos de agua potable y residual.

- Medición de sólidos por gravimetría
- Evalúa compuestos muy variados (prueba global)
 - * incluye sales inorgánicas (carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos de sodio, potasio y trazas de calcio, magnesio, fierro) y materia orgánica.
 - * mide a los responsables de la dureza, tóxicos y materiales necesarios para la vida.

a) Sólidos sedimentables.

- Volumen retenido en 45 min en cono Imhoff después de 45 min de decantación
- Representan la fracción de los contaminantes que serán fácilmente removidos por desarenación o sedimentación primaria.

FIG. Cono Imhoff

b) Sólidos suspendidos.

- Sólidos retenidos al pasar el agua a través de un filtro con apertura de poro de $0.47 \mu\text{m}$.

Turbiedad

- Sólidos en suspensión
- Los sólidos reflejan parte de la luz que incide
pérdida de luminiscencia en línea recta se le denomina turbiedad.
- Idea del contenido de materia coloidal y suspendida
- Muchas unidades (UTJ, sílice, etc.) se debe emplear UTN (Unidades técnicas de nefelometría).
- Agua potable: 5 UTN
Residual doméstica : entre 100 y 150 UTN.

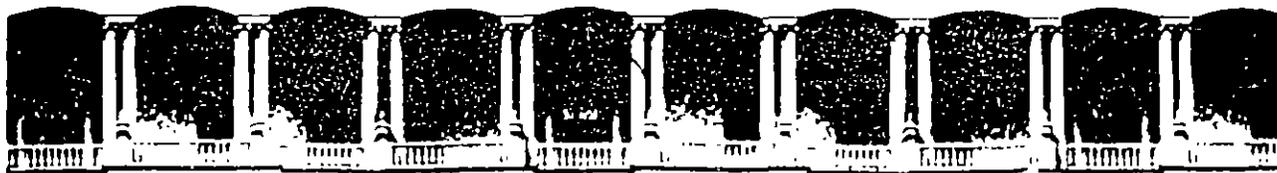
Sólidos

- 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.



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

**VIII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE
ACUIFEROS**

MODULO II: CONTAMINACION DE ACUIFEROS

**CONTAMINACION POR HIDROCARBUROS Y RELLENOS
SANITARIOS**

**ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES
1996**

GASOLINERA

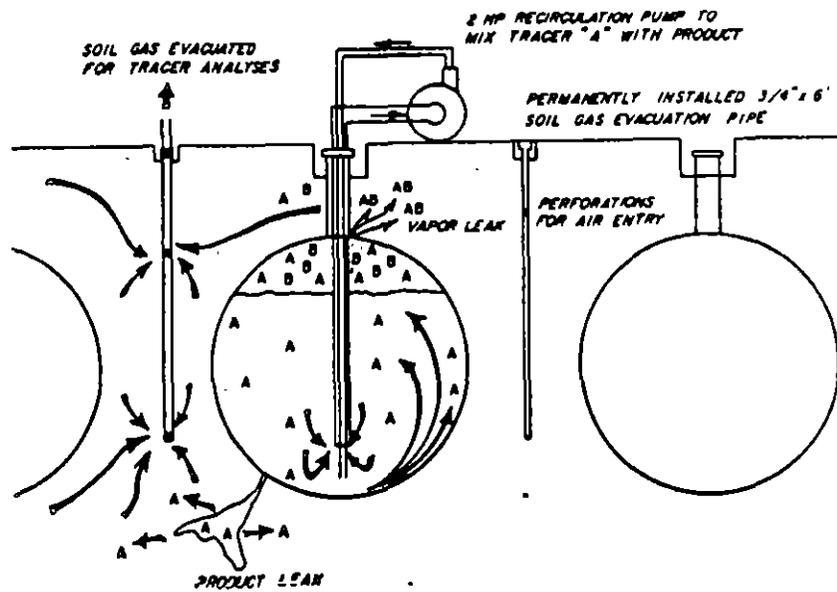
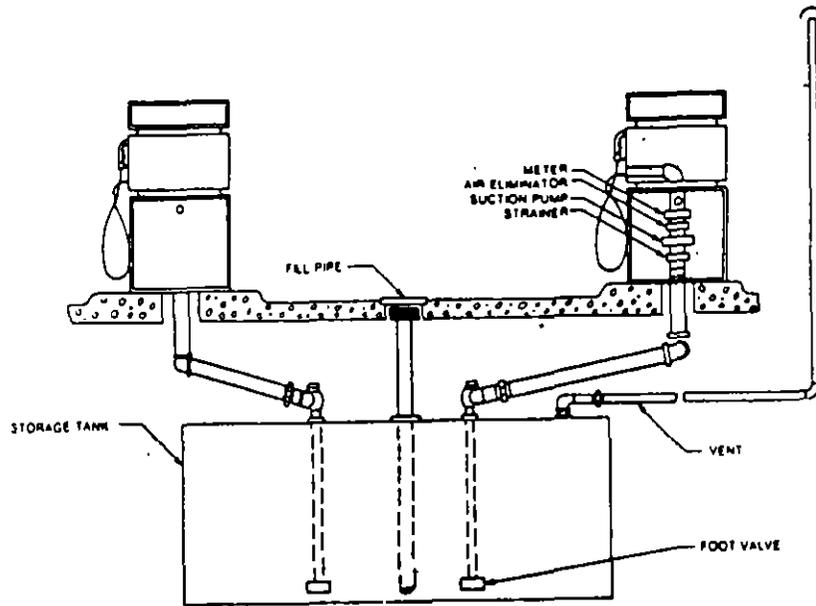
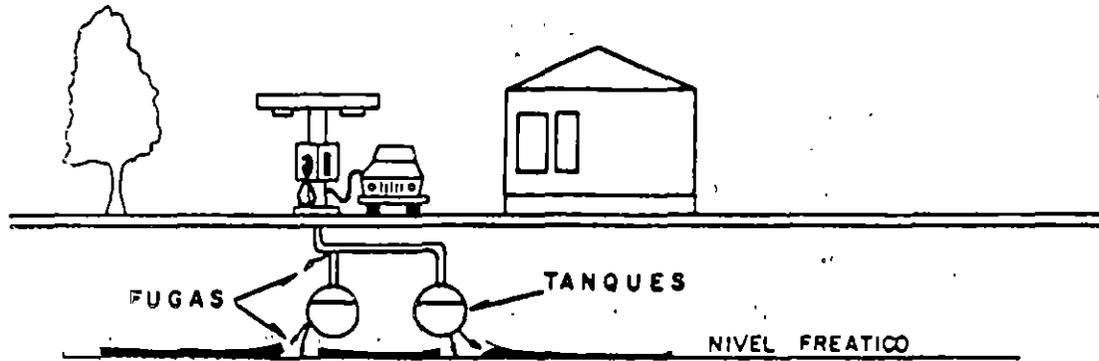
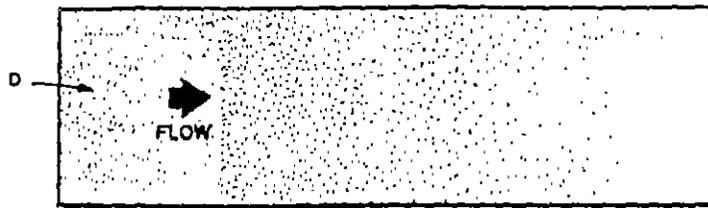
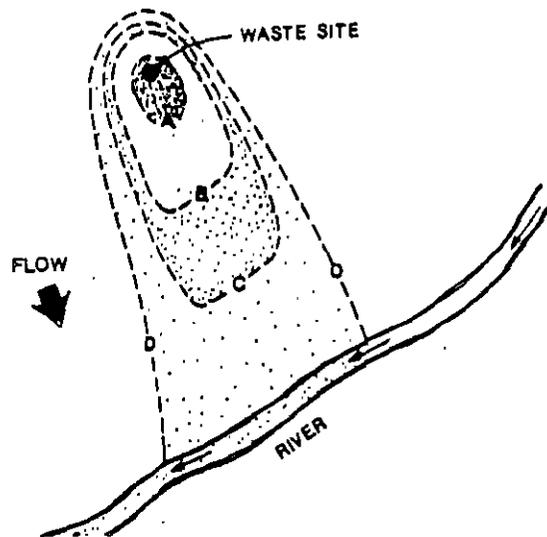
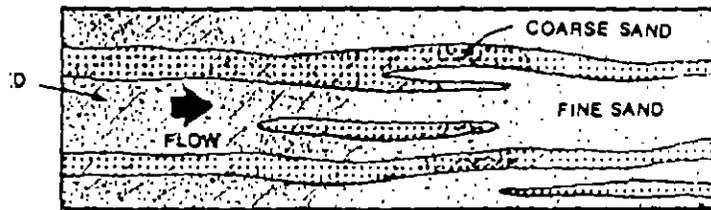
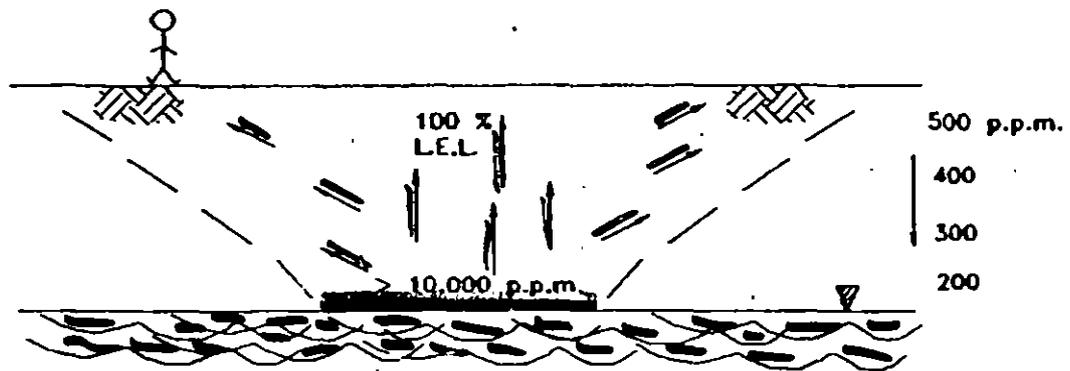
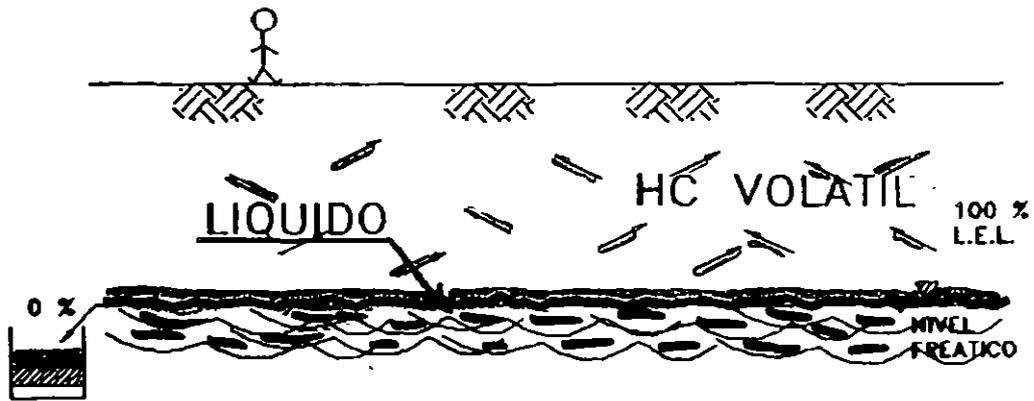


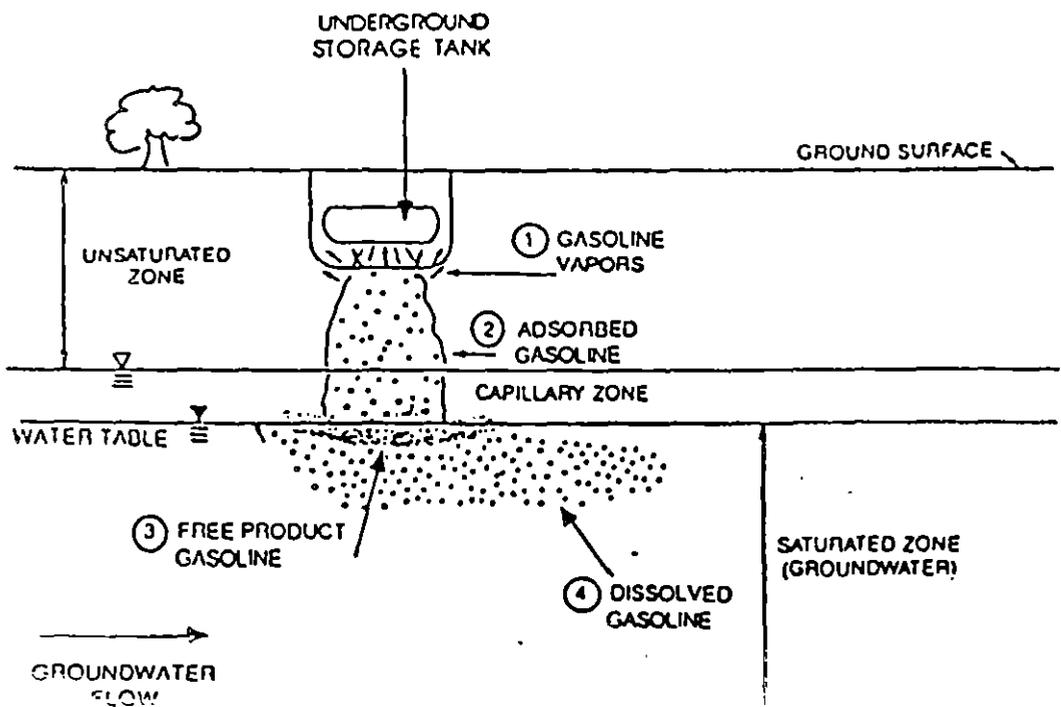
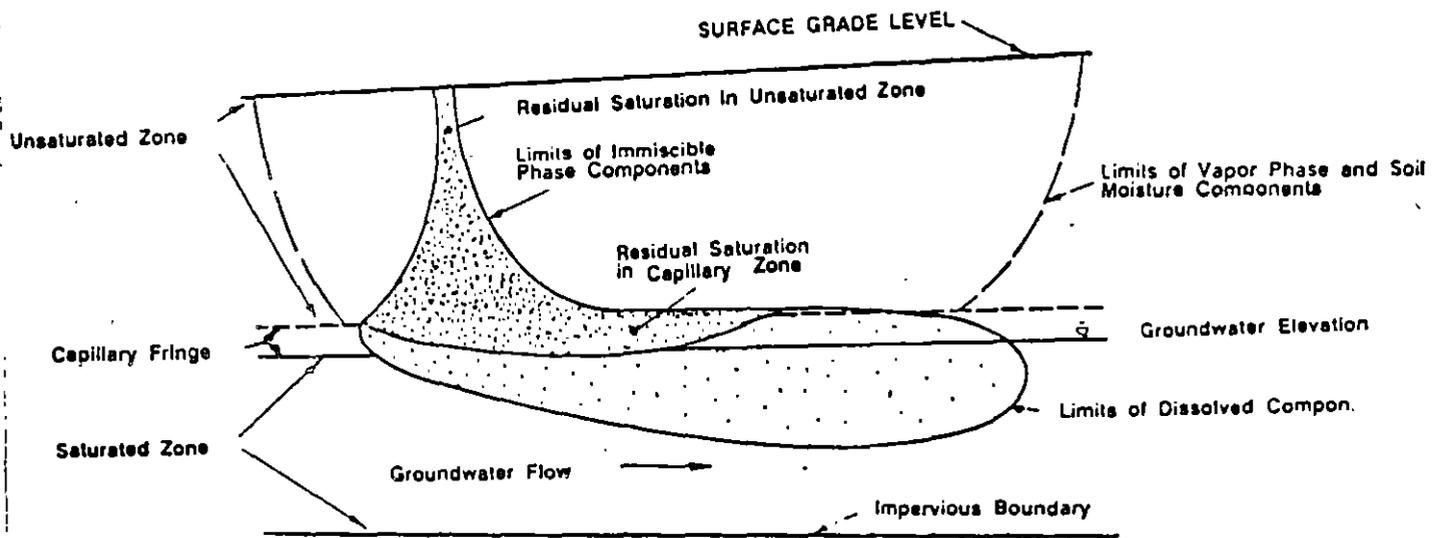
Figure 10. Dual-tracer leak detection method. (Source: Thompson, 1966)



A) HOMOGENEOUS SAND LAYER









COLONIA MODERNA
GUADALAJARA, JAL
MAYO-93

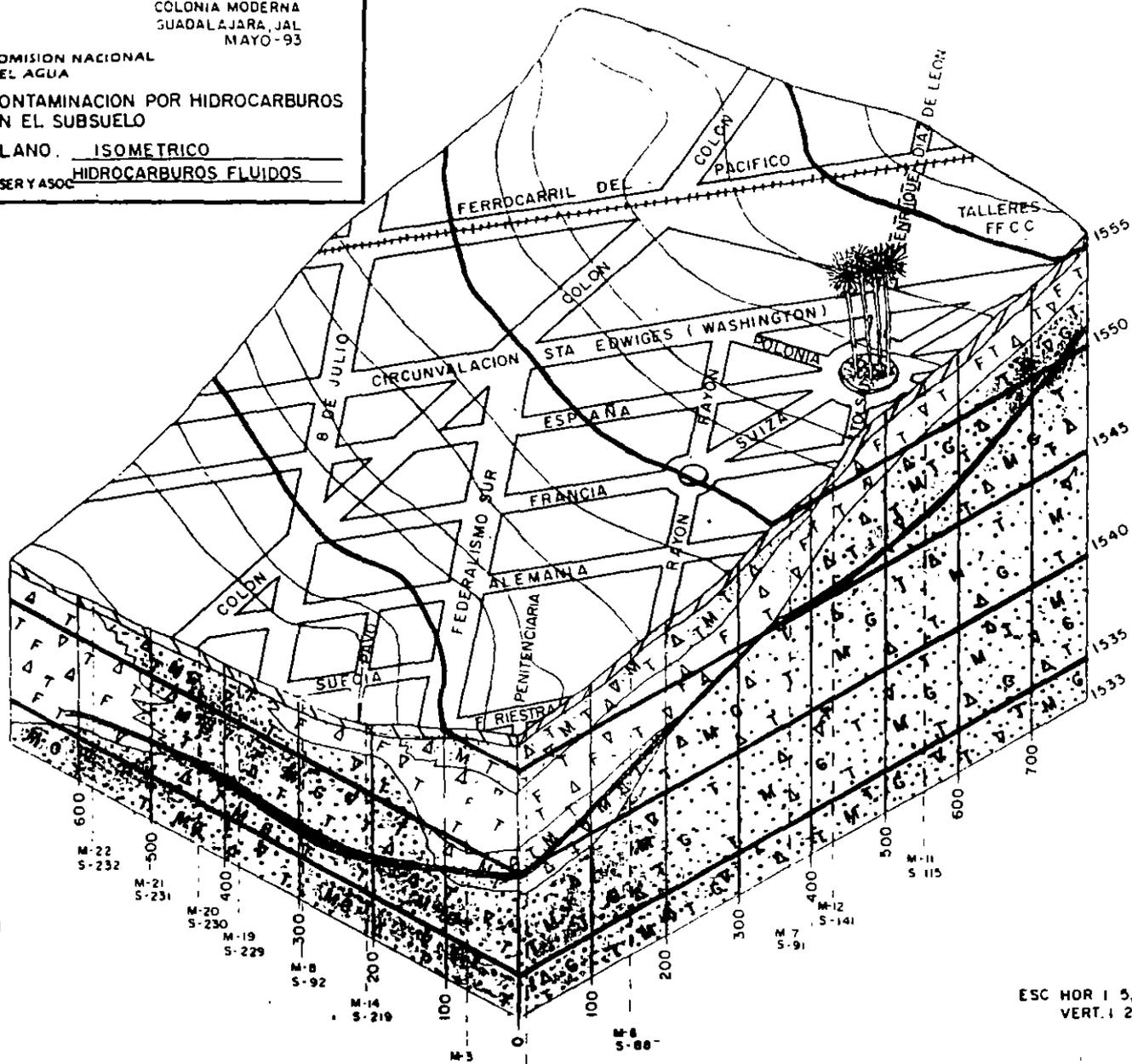
COMISION NACIONAL
DEL AGUA

CONTAMINACION POR HIDROCARBUROS
EN EL SUBSUELO

PLANO ISOMETRICO

HIDROCARBUROS FLUIDOS

FUENTE LESSERYASOC

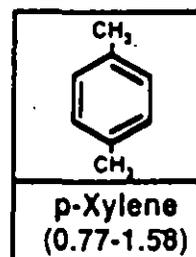
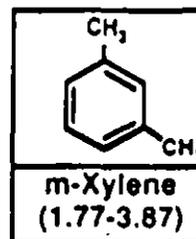
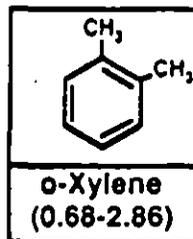
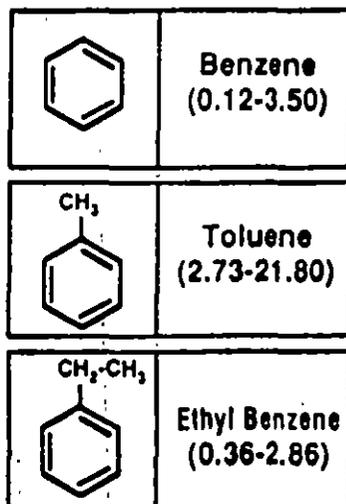


EXPLICACION

- M-4 N° DE MUESTRA
- S-8 N° DE POZO
- N F NIVEL FREATICO

- CARPETA ASFAL
- ARCILLA
- ARENA PUMITIC,
DE GRANO MEDI
- ARENA PUMITIC,
DE GRANO FINO
- ARENA PUMITIC
DE GRANO GRUE
- TOBA PUMITICA
SEMICOMPACTA
- HIDROCARBURC
FLUIDOS

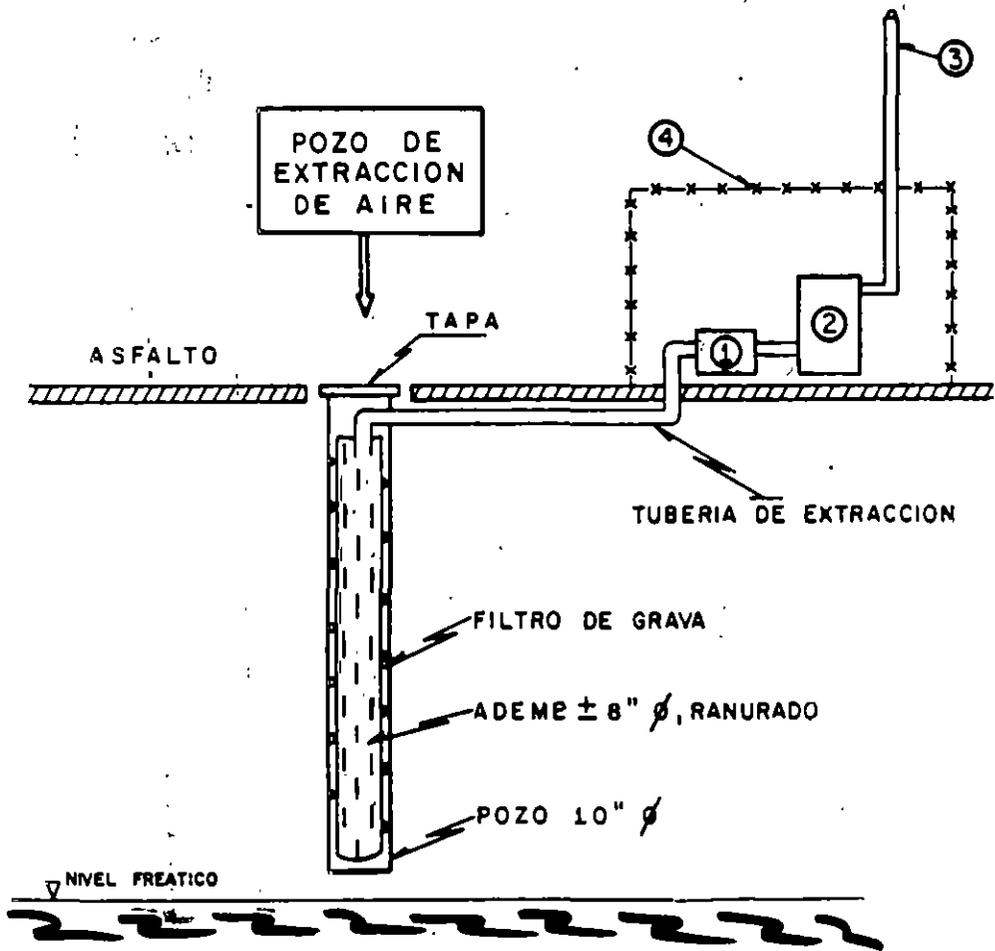
ESC HOR 1 5,000
VERT. 1 200



Lesser y Asoc. S.A. de C.V.

**B
T
E
X**

**METODO DE EXTRACCION DE VOLATILES
DEL SUBSUELO**



- ① EXTRACCION DE AIRE
- ② TRATAMIENTO DEL VOLATIL
- ③ CHIMENEA
- ④ CERCADO (MALLA O SIMILAR)

FIGURA 13.2

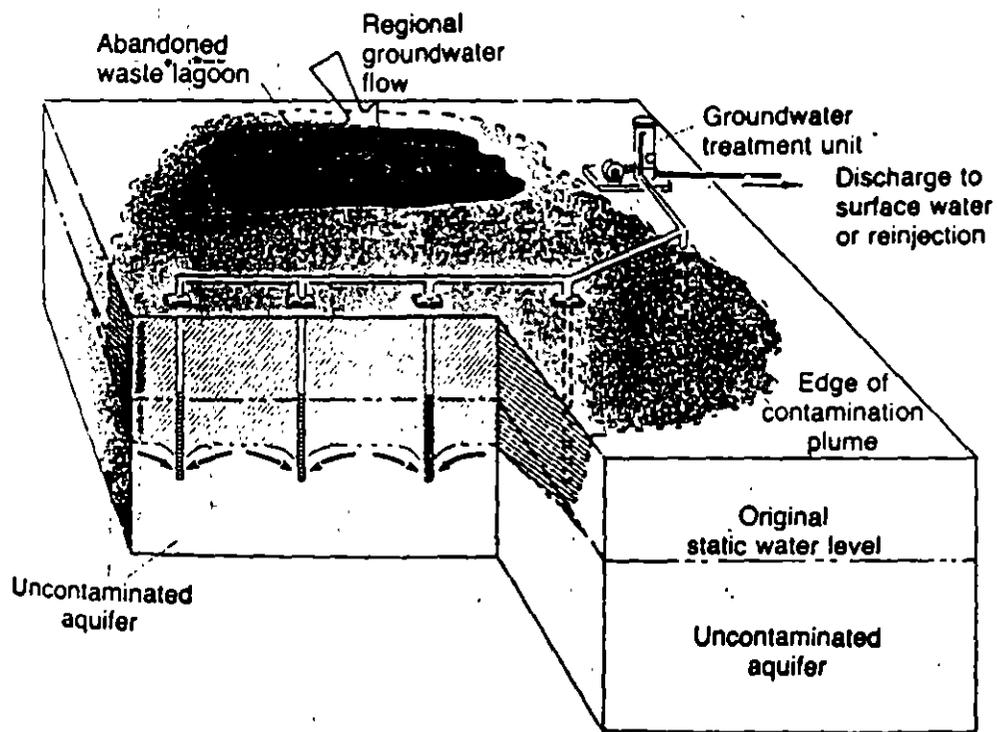
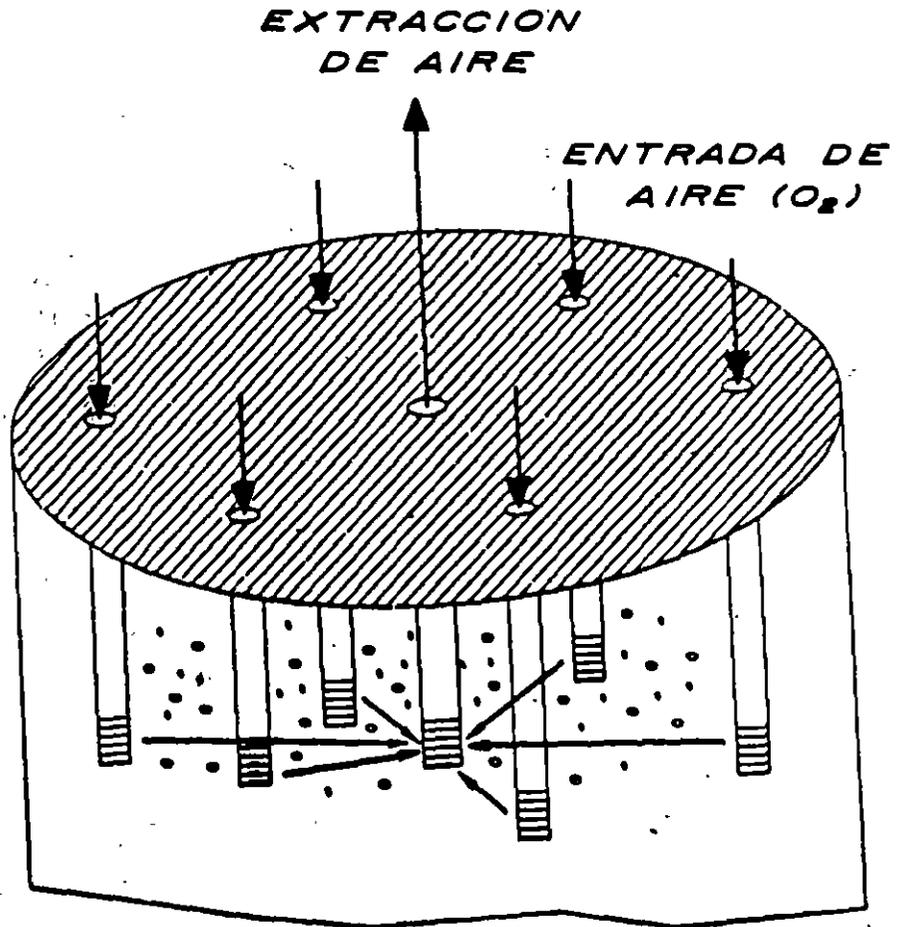


Fig. 19.1 Typical well recovery system.

SANEAMIENTO

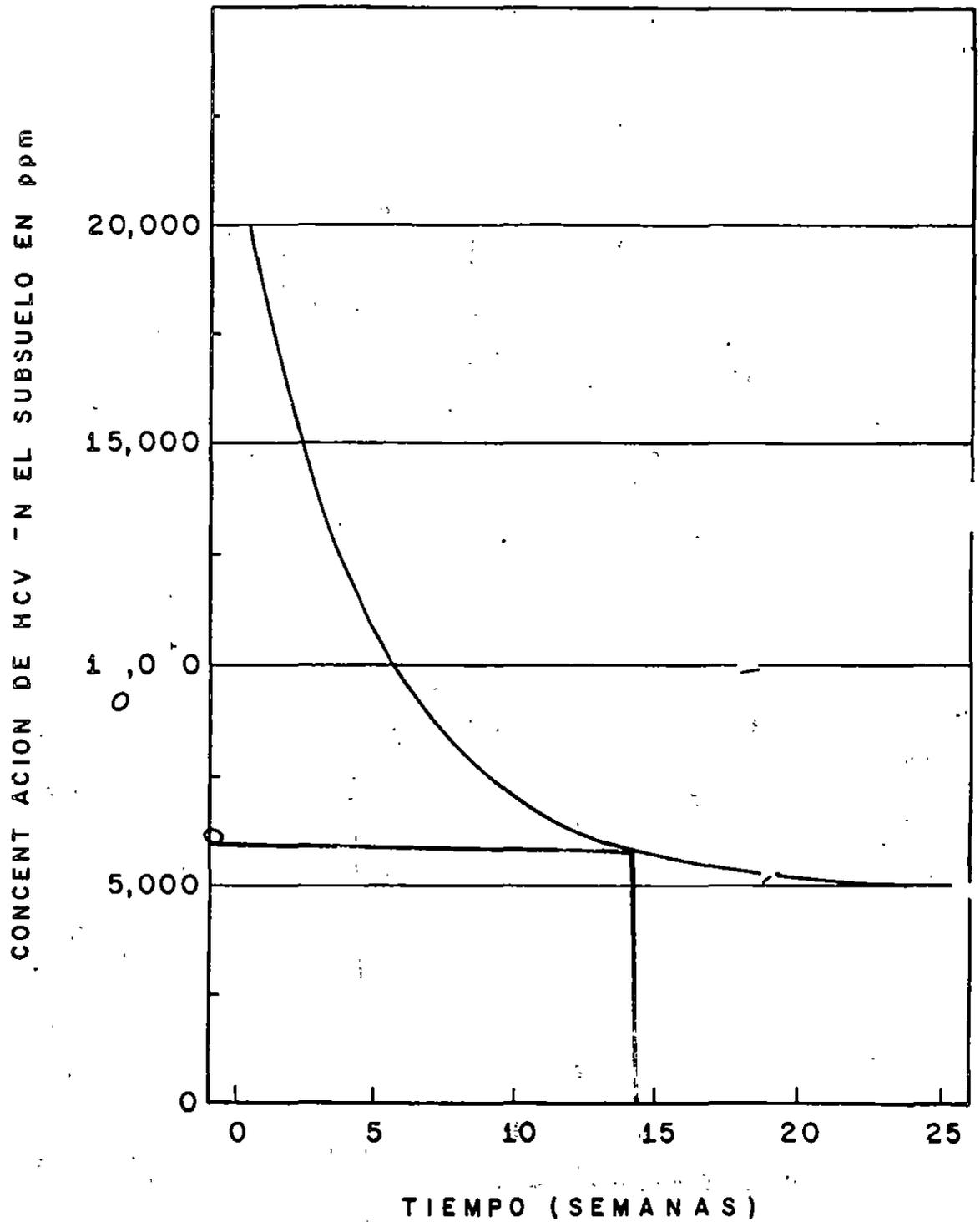
EXTRACCION DE VOLATILES

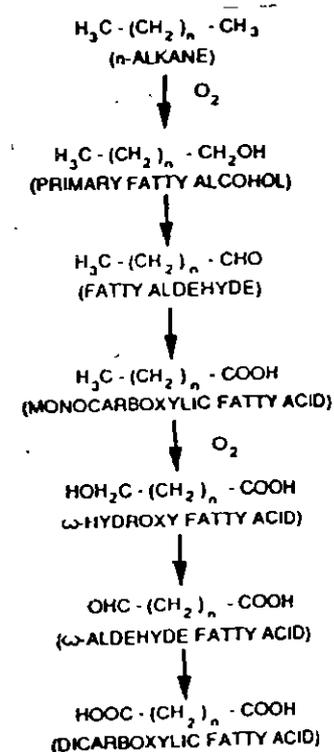
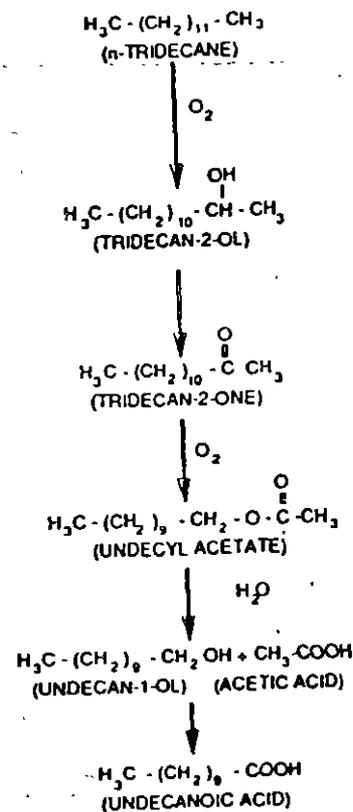
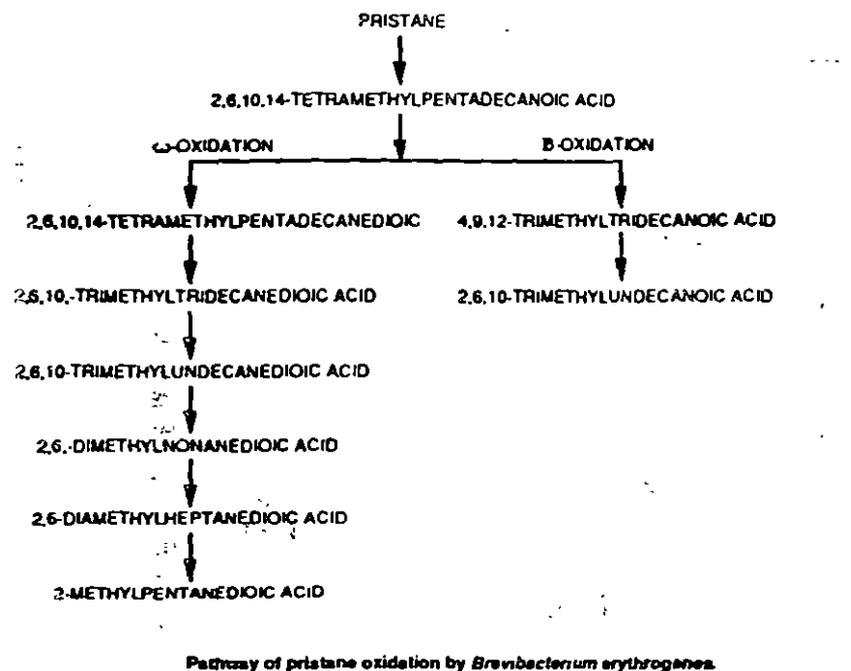


SE PRODUCE BIODEGRADACION
DEL 50 % DE LOS VOLATILES,
SE EXTRAHE EL 50 % RESTANTE



RELACION TIPICA DE VOLUMEN DE REMOSION
DE HCV RESPECTO AL TIEMPO

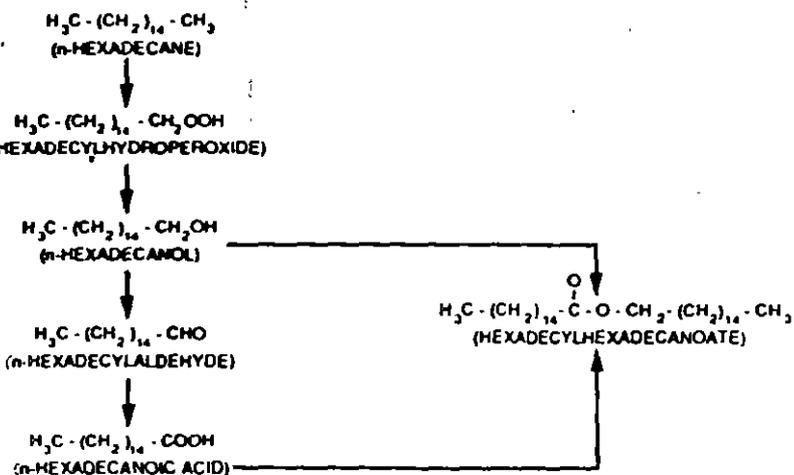




Pathway of Subterminal Alkane Oxidation in *Pseudomonas*.

Pathway of Diterminal Alkane Oxidation

Figure 11-4. (continued).



Proposed pathway of hexadecane metabolism in *Acinetobacter* sp. H01-N.

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

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

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

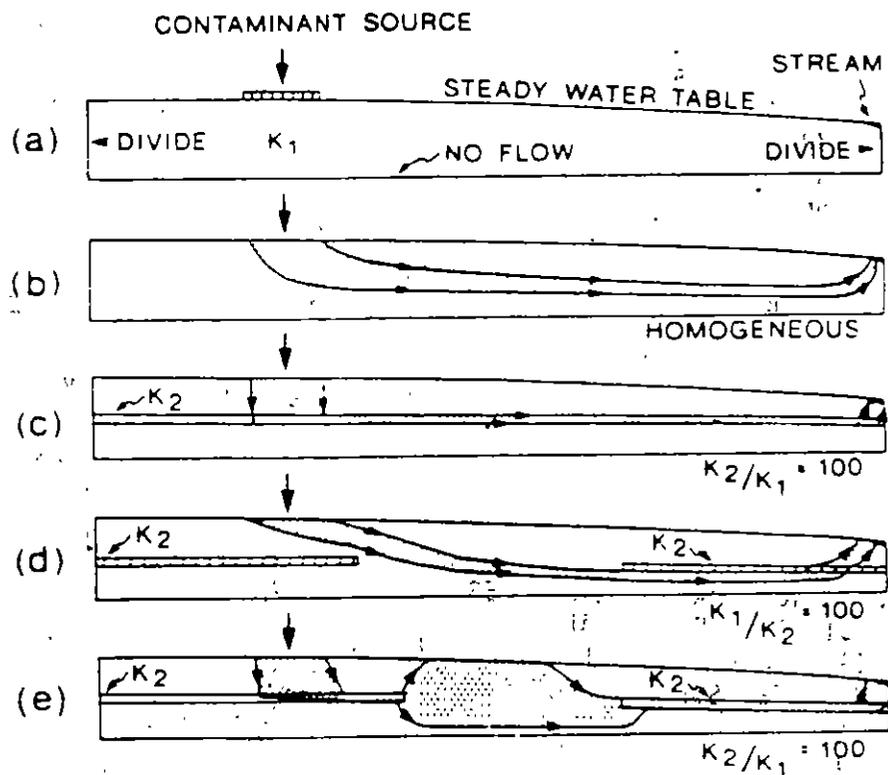


Figure 4.2 Effect of thin layers or lenses in shallow steady-state groundwater flow systems (from Freeze and Cherry 1979)



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

VIII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS
MODULO II: CONTAMINACION DE ACUIFEROS
DEL 30 DE SEPTIEMBRE AL 4 DE OCTUBRE DE 1996
DIRECTORIO DE ASISTENTES

QUIM. ARACELI GONZALEZ LOPEZ
ESPEC. EN HIDRAULICO
COMIS. NAL. DEL AGUA
AV. HIDALGO 293
LAS CAMPANAS
QUERETARO, QRO.
16-10-56

ING. EDIXON C. GUTIERREZ GONZALEZ
PROFESOR
UNIVERSIDAD DE ZULIA
FAC. DE ING. UNIV. DE ZULIA

5861-430-684

CARLOS HERRERA

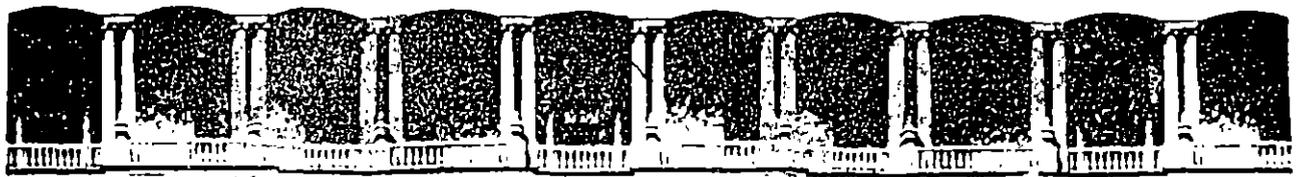
ING. JOSE ROBERTO MACIAS ALVARADO
JEFE DEPTO. DE CALID. DE AGUA
CONCESIONARIA DE AGUAS DE AGS.
ECUADOR 205
LAS AMERICAS AGUASCALIENTES
AGUASCALIENTES, AGS.
18-27-22

ING. MANUEL MARTINEZ MORALES
ESPECIALISTA EN HIDRAULICA
COMISION NAL. DEL AGUA
INSURGENTES SUR 1960 5. PISO
FLORIDA
01030 MEXICO, D. F.
663-22-12

ING. GUILLERMO MORENO HUERTA
ENCARG. DE PROY. DE INVEST.
MEXINUX, S. A. S. DE C. V.
AV. INDUSTRIAS 4100
ZONA INDUSTRIAL S.L.P.
78090 SAN LUIS POTOSI S.L.P.
(48)26-51-00 EXT. 272

ING. SERGIO MURILLO CUEVAS
JEFE DE DPTO.
COMISION NAL. DEL AGUA
CONJUNTO SEDAGRO METEPEC
52140 METEPEC
MEXICO, D. F.
91-72-32-26-36

QUIM. VICTORIA E. PACHECO SECADES
QUIMICA 5
INST. COST. DE ACUDUC. Y ALCANT.
CALLE 400 NORTE DEL PALACO MUNIC.
DE TRES RIOS
CARTAGO COSTA RICA
279-51-18



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

VIII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS
MODULO II: CONTAMINACION DE ACUIFEROS
DEL 30 DE SEPTIEMBRE AL 4 DE OCTUBRE DE 1996
DIRECTORIO DE ASISTENTES

FISICO VICTOR M. AGUILERA REYES
JEFE DE DEPTO. GEOHIDR. GEOFIS.
UNIV. AUTON. DE N.L. FAC. ING. CIV.
CD. UNIVERSITARIA

66450 SAN NIC. DE LOS GARZA N.L.
(8) 376-39-70

GEOL. HUGO JESUS CASAS CERVANTES
PROF. ESPECIALIZADO
MINIST. DEL MEDIO AMB. DE COLOM.
CALLE 16 NO. 6-66

SANTA FE DE BLA. M.M.A.
33-61166

ING. SILVIA FLORES PEREZ
TECNICO SUPERIOR
COMIS. NAL. DEL AGUA
AV. CUAUHTEMOC 2
GALEANA ZACATEPEC
62780 MORELOS
(734)305-52

ING. IVAN GAMBOA ROSAS
JEFE DE PROYECTO
COMISION NAL. DEL AGUA
CALLE 593 NO. 238 X 116
BOJORQUEZ MERIDA
91230 MERIDA, YUC.
45-07-25

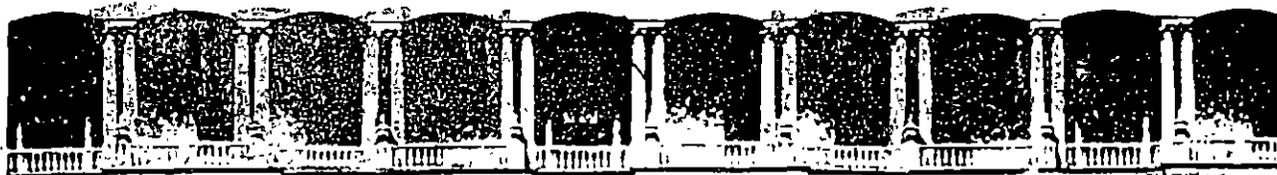
ING. TEODORO CABRERA MENDEZ
CONTRA PARTE LOCAL (DES. AGUA)
EMPRESA MUNIC. DE AGUA (GUATEM.)
7A. AV. NO. 1-20 ZONA 4
EDIF. TORRE CAFE
GUATEMALA GUA.
502-3314-038

BIOL. LAURA DELIA ESPARZA HERNANDEZ
ESPEC. EN HIDR.
COMIS. NAL. DEL AGUA
INS. SUR 1960
FLORIDA DELEG. ALVARO OBREGON
01030 MEXICO, D. F.
663-22-16

ING. DANIEL FCO. GAMBOA DE LOS SANTOS
JEFE DPTO. DE CONS. Y PROT.
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
MORANDE 59

SANTIAGO
361-2428

ING. ALFONSO GARCIA VARGAS
JEFE DE DEPTO.
D.G.C.O.H.
AV. DIVISION DEL NORTE 3330
CD. JARDIN DELEG. COYOACAN
MEXICO, D. F.
544-51-31



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

**VIII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS
MODULO II: CONTAMINACION DE ACUIFEROS
DEL 30 DE SEPTIEMBRE AL 4 DE OCTUBRE DE 1996
DIRECTORIO DE ASISTENTES**

ING. ROGELIO REYES FLORES
ING. GEOLOGO.
EXPLOR. PEMEX ACT. (JUBILADO)
EDIF. CORONA C. LOPEZ DE LARA 202 S
TAMPICO
TAMPICO, TAMPS.
91-12-12-10-45

ING. SABINO ARMANDO REYES GARCIA
JEFE DE UNIDAD
COMISION NAL. DEL AGUA
CONJUNTO CODAGEM METEPEC EDO. DE MEX
52140
METEPEC MEXICO.
32-26-36

ING. LEONIDAS RIVERA APARICIO
PROFESOR
UNIV. TECNOLOGICA DE PANAMA

PANAMA
507 264 18 32

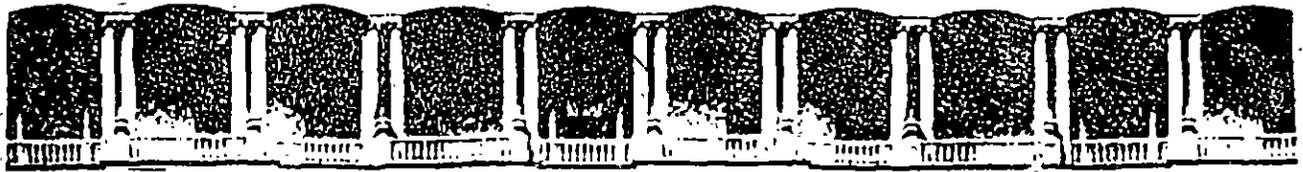
ING. JORGE SANCHEZ MANZANO
JEFE DE PROYECTO
COMISION NACIONAL DEL AGUA
INSURGENTES SUR No 1940 PISO 4
FLORIDA ALVARO OBREGON
01030 MEXICO D.F.
663 31 37 663 41 36

ING. AMALIA SANTILLAN ARIAS
JEFE DE LABORATORIO
COMISION NACIONAL DEL AGUA
JUAREZ Y REFORMA No 128
CENTRO
42700 MIXQUIAHUALA, HIDALGO
91772 504 07/ 500 90

ING. JOSE FELIX SERRANO VILLAR
ESPECIALISTA EN HIDRAULICA
COMISION NACIONAL DE AGUA
GRAL. CERECEDO ESQ. REVOLUCION
DOCTORES
PACHUCA, HIDALGO
342 99

ING. LUCIA SOLDATELLI MARIA
GEOLOGA
SRIA. DE EDO DE MEDIO AMBIENTE
AV. FREDERICO HERMANN No 350
ALTO DE ANTEIROS
SAO PAULO, BRASIL
011 30 30 66 39

ING. GRISELLE VEGA ISUHAYLAS
ESPECIALISTA EN HIDROLOGIA
PROY. ESP. JEQUETEPEQUE-ZAYA
CARRETERA A CAJAMARCA KM 33
YOMAN
CAJAMARCA, PERU
044 24 57 30



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

VIII CURSO INTERNACIONAL DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS
MODULO II: CONTAMINACION DE ACUIFEROS
DEL 30 DE SEPTIEMBRE AL 4 DE OCTUBRE DE 1996
DIRECTORIO DE ASISTENTES

ING. JUAN ADRIANO VIVAS BITS
COORDINADOR DE PROYECTO
CENTRO REGIONAL DE AGUA SUBTER
BUFANO No 153
SAN RAFAEL
5600 MENDOZA, ARGENTINA
253 59

