

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

CURSOS ABIERTOS

GEOLOGÍA AMBIENTAL

TEMAS:

PRESENTACIÓN

**ING. JUAN SÁNCHEZ PÉREZ
PALACIO DE MINERÍA
ABRIL 2000**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
Palacio de Minería, México, D. F.

G E O L O G Í A

A M B I E N T A L

2 0 0 0

Profesores :

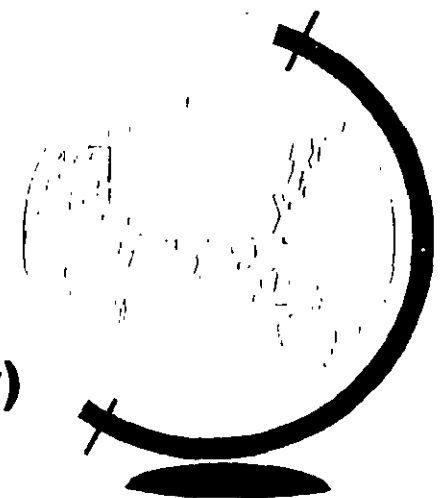
Dr. Jaime Rueda Gaxiola

M.C. Luis Antonio Aguilar P.

Ing. Juan Manuel Nieto Calleja

Fis. Alfonso Gutiérrez A.

Ing. Juan Sánchez Pérez (Coordinador)



GEOLOGÍA AMBIENTAL

2000

CONTENIDO

PRESENTACIÓN

1) GENERALIDADES

- 1.1 Introducción
- 1.2 Historia y definición
- 1.3 Aspectos filosóficos
- 1.4 Conceptos fundamentales
- 1.5 El ambiente y el cambio global
- 1.6 ¿Que es la Geología Ambiental?

2) PROCESOS Y RECURSOS

- 2.1 Ciclo geológico
- 2.2 Ciclo hidrológico
- 2.3 Ciclos bioquímicos
- 2.4 Recursos materiales
- 2.5 Los suelos y el ambiente

3) EL HOMBRE Y EL MEDIO EN QUE HABITA

- 3.1 Riesgos geológicos como control de los asentamientos humanos
- 3.2 Contaminación de agua y suelo

4) PROCESOS TERRESTRES PELIGROSOS

- 4.1 Inundaciones
- 4.2 Deslizamientos
- 4.3 Hundimientos
- 4.4 Terremotos y fenómenos asociados
- 4.5 Riesgo volcánico

5) CARTOGRAFÍA GEOLÓGICO-AMBIENTAL

- 5.1 Cartografía regional básica
- 5.2 Cartas geológico-ambientales
- 5.3 Leyenda de una carta para la disposición de desechos municipales
- 5.4 Percepción remota aplicada

6) GEOLOGÍA AMBIENTAL EN LA MINERÍA Y EN LA INGENIERÍA CIVIL

- 6.1 Selección de sitios para: A) Rellenos sanitarios
- B) Plantas de tratamiento de aguas negras
- C) Explotación minera y su impacto
- D) Localización de presas de jales

7) USO DEL SUELO Y TOMA DE DECISIONES

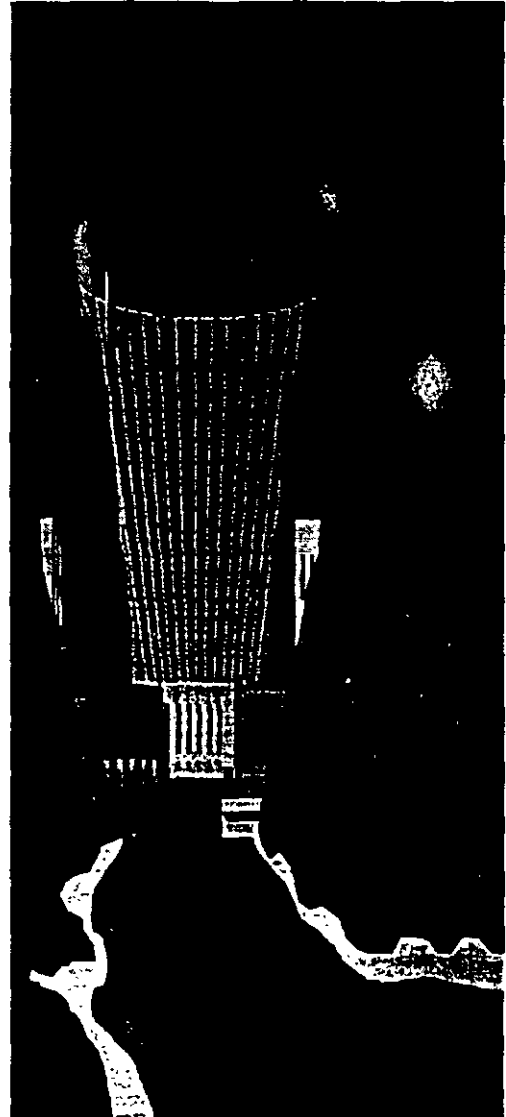
- 7.1 Evaluación del relieve

8) LEGISLACIÓN AMBIENTAL

9) EJEMPLOS DEL PAÍS Y DEL MUNDO

CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA-SELECTA



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

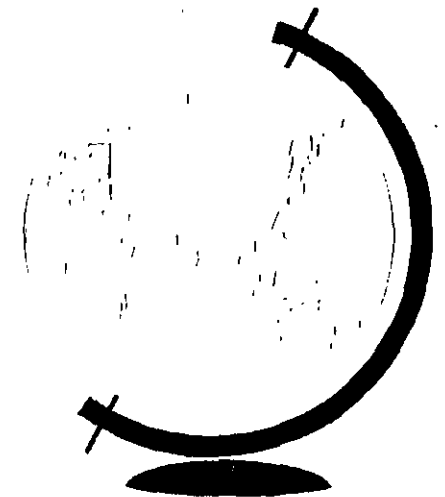
Palacio de Minería, México, D. F.

ABRIL DE 2000

**GEOLOGÍA AMBIENTAL
2000**

PRESENTACIÓN

**AUTORIDADES - DEC
Ing. Juan Sánchez P.**



PRESENTACIÓN

CONTENIDO DEL CURSO

El material que se expone en estas notas se estructuró considerando los comentarios y sugerencias de varios profesionistas relacionados con la materia, así como nuestra experiencia en la impartición del curso.

Se expondrán casos históricos y temas de importancia general para profesionistas y estudiantes de diversas ramas de la ciencia, tales como: ingenieros (geólogos, civiles, químicos, en planeación, municipales, ambientales, etc.), arquitectos, economistas, geógrafos, químicos, biólogos, ecólogos y geólogos, entre otros, así como en todos aquellos interesados en la protección al ambiente.

A continuación se menciona brevemente el contenido de los diferentes capítulos.

CAPÍTULO 1.- Contiene algunos antecedentes históricos, el significado del término Geología Ambiental, los principales aspectos filosóficos y los conceptos fundamentales referentes al tema, así como información general respecto al cambio climático global, por su relación que tienen con los riesgos geológicos, que son parte del tema.

CAPÍTULO 2.- En forma general se trata el Ciclo Geológico, los subciclos que lo componen, con atención especial a los ciclos hidrológico y bioquímico, así como su relación con los ecosistemas humanos. También se aborda el tema de los suelos y su importancia; se comentan los principales recursos geológicos y la importancia que tiene el utilizarlos racionalmente.

CAPÍTULO 3.- En la primera parte se aborda el tema de la interacción del hombre con el ambiente, con énfasis en los riesgos geológicos y su importancia como control de los asentamientos humanos. En la segunda parte, se trata lo referente a la contaminación del suelo y agua, los métodos para determinarla y algunas medidas tendientes a la remediación de zonas contaminadas; como parte de este subcapítulo se aborda el tema de la legislación ambiental en México, EUA y Canadá.

CAPÍTULO 4.- Trata el tema de los riesgos geológicos, desde el punto de vista ingenieril y se ilustran con ejemplos de inundaciones, deslizamientos y procesos costeros ocurridos en la península de Baja California, así como hundimientos y terremotos ocurridos en la Ciudad de México. Con relación a los riesgos volcánicos se mencionan algunas de las manifestaciones más recientes de México y el Mundo, como las de los volcanes El Chichonal, Chiapas (1982), de Fuego (1992) de Colima, Popocatepetl (1994-96), Santa Helena, EUA, Etna, Italia, Mayón, Filipinas y Negro, Nicaragua, con particular atención a los tres primeros.

CAPÍTULO 5.- Proporciona información respecto a las *cartas* denominadas *Geológico Ambientales*, así como de sus aplicaciones más directas; como subcapítulo se incluye uno referente a los *Sensores Remotos* y la utilidad de los mismos para la elaboración de este tipo de cartografía.

CAPÍTULO 6.- Contiene información de la metodología para la Evaluación del Impacto Ambiental, y de los estudios de Geología Ambiental aplicados a la Minería y a la Ingeniería Civil. Con relación a la minería, se menciona el impacto al ambiente de las obras mineras y algunas medidas para mitigarlo, así como la localización de presas de jales dentro de las cuencas hidrológicas; respecto a las obras de ingeniería civil, se indica el impacto producido por grandes obras (presa, canalización de ríos, carreteras), así como la metodología para la selección o construcción de sitios para Rellenos Sanitarios o Plantas de Tratamiento de Aguas Negras y las recomendaciones para reducir su impacto.

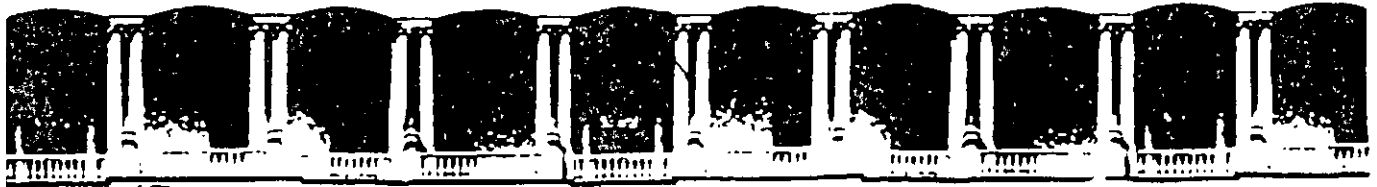
CAPÍTULO 7.- Se comenta la importancia que tienen los estudios geológicos, para la toma de decisiones al programar el uso del suelo. Como soporte a este tema, se utiliza parte de la información del Capítulo 5.

CAPÍTULO 8.- En forma general se analizan algunos de los aspectos legales que hay que tomar en cuenta al realizar trabajos de modificar al medio en que vivimos. Se aborda el tema de la Legislación Ambiental en México, con énfasis en leyes, reglamentos, normas, procedimientos, acuerdos y convenios relacionados con los estudios de Ciencias de la Tierra, que se deben considerar para la exploración, explotación, extracción, producción, distribución, almacenamiento y localización de sitios para el depósito de desechos, así como para reducir las posibles fuentes de contaminación.

CAPÍTULO 9.- En los últimos años, en México se han tenido varios eventos relacionados con la Geología Ambiental, entre los que destacan los organizados por el Colegio de Ingenieros Geólogos de México, el IPN, la UNAM, el INE y la PROFEPA, entre otros. En esta sección, se mencionan parte de los temas ahí tratados y algunos de los trabajos emprendidos por los gobiernos municipales, estatales o federales, tendientes a la localización de sitios para la disposición de desechos o a la mitigación de impactos ambientales producidos por grandes obras de ingeniería.

Al final del curso se comentarán los temas estudiados y se emitirán las conclusiones más importantes, además se harán algunas recomendaciones que se consideren apropiadas para los diferentes profesionistas participantes.

La bibliografía proporcionada como soporte, constituye una parte importante del curso ya que permitirá, al estudiante o interesado en el tema, profundizar en los temas de su predilección o campo profesional.



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

CURSOS ABIERTOS

GEOLOGÍA AMBIENTAL

TEMA:

GENERALIDADES

**ING. JUAN SÁNCHEZ PÉREZ
PALACIO DE MINERÍA
ABRIL 2000**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
Palacio de Minería, Ciudad de México
ABRIL

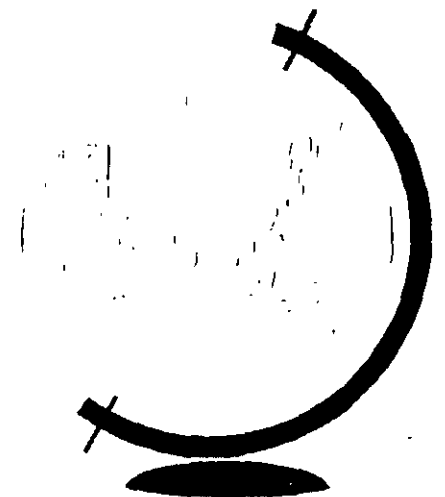
GEOLOGÍA AMBIENTAL

2000

Capítulo I

GENERALIDADES

Profesor :
Ing. Juan Sánchez P.



1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

Todo tiene un principio y un fin. Nuestra tierra nació hace 4 500 millones de años, como producto del gran colapso de una nube de gas interestelar, conocida como **nebulosa solar**, formando protoestrellas y sistemas planetarios. La vida en la tierra comenzó hace unos 3000 millones de años, o más - de acuerdo con nuevos estudios en la materia - y desde entonces gran cantidad de diversos organismos han emergido, evolucionado y muerto, dejando únicamente sus fósiles como mudo testigo del lugar que ocuparon en la historia de la tierra. Hace apenas unos cuantos millones de años, nuestros ancestros marcaron la pauta para el actual predominio de la especie humana, pero todo tiene un fin y así como se sabe que nuestro sol perecerá, nosotros también desapareceremos de nuestro planeta y del universo.

Desde el punto de vista del **tiempo geológico**, nuestro paso en la historia de la tierra puede ser insignificante, pero para los que vivimos actualmente en ella, así como para nuestros hijos, nuestros nietos y las generaciones posteriores, el **impacto** que hagamos en el ambiente será realmente significativo.

1.2 HISTORIA Y DEFINICIÓN

Los antecedentes históricos de la Geología Ambiental se pueden remontar a épocas muy remotas, desde las cuales los seres humanos empezaron a tomar conciencia de los problemas ambientales que podían solucionarse o mitigarse mediante estudios geológicos y la correcta disposición de sus desechos. Así tenemos, por ejemplo, que nuestros antepasados los aztecas realizaban obras hidráulicas que les permitían separar las aguas salobres de las aguas potables, o que elegían sitios para el depósito de sus desechos fuera de su zona habitacional, entre otras actividades que les permitían evitar la contaminación del ambiente. En Europa se tienen muchos casos de geólogos e ingenieros que ante problemas de contaminación del agua, que azotaron regiones con grandes epidemias, llevaron a cabo obras de gran magnitud, que aún hoy en día son funcionales y resultan de gran admiración para los visitantes.

Considerando que el número de antecedentes de este tipo es muy grande, a continuación sólo se mencionan algunos de los más recientes; en particular, los relacionados con el origen del término Geología Ambiental.

Se considera a **James** (1962) como la primera persona que utilizó esta denominación, ya que, ese año, en uno de sus textos mencionó:

"El término Geología Ambiental fue iniciado por mí, para identificar una nueva orientación al estudio y uso de la geología de una manera coordinada e integrada".

Ese mismo año, el término se aplicó a varios programas de estudio conducidos por la *Illinois Geological Survey*, de los Estados Unidos de América.

Como una denominación ya aceptada, James la empleó en una conferencia titulada **Geología del agua y el futuro** (*Water Geology and the future*), llevada a cabo en la Universidad de Indiana, en abril de 1964; dicha conferencia fue publicada hasta 1967.

En 1969, **Haynes** mencionó: *"la Geología Ambiental es un concepto nuevo, de tal manera que el diccionario aún no lo incluye"*, y define al ambiente como: *el complejo climático, edafológico y los factores bióticos que actúan sobre un organismo o una comunidad ecológica...*; y considera a la Geología como: **"La ciencia que trata con la historia de la Tierra, especialmente con la vida registrada en las rocas"**.

De acuerdo con **Rhodes** (1971) el concepto de ambiente, comúnmente empleado en nuestros días, *"es esencialmente un aspecto del sistema biológico y geológico global, o sea el habitat físico-ecológico del HOMBRE"*; en este sentido excluye al ambiente social y cultural.

En 1971 **Legget** observa que: *"Ambiente se convirtió en una de las palabras del año, ya que es un término espléndido para utilizarse en conexión con el trabajo"*

interdisciplinario aplicado a la protección y conservación de los recursos naturales renovables”.

Desde el punto de vista de **Reiske** (1968), especialista en suelos, *“el ambiente es el suelo del paisaje, el cual resulta de la interacción del clima, relieve, materiales orgánicos (vegetación) y materiales parentales (geológicos), sobre un periodo de tiempo, en el cual existen muchas variaciones de climas, relieves, vegetación y materiales geológicos, por lo que muchos cambios en el ambiente se manifiestan en la tierra”*; también dijo que: *“El suelo del paisaje, es un segmento tridimensional de la tierra que tiene material parental similar, perfil, posición, grado de inclinación, y patrones de drenaje; la vegetación se incluye como una parte del suelo en el paisaje”*.

Generalmente las definiciones mantienen a un lado los factores ecológicos, sociales y culturales y se examina la influencia humana como un AGENTE GEOLÓGICO.

Estos ejemplos bastan para indicar la diversidad de opiniones que existían sobre la definición de AMBIENTE. En la actualidad, existe una gran variedad de definiciones, las cuales provienen de biólogos, químicos, oceanólogos, científicos sociales y representantes de muchos otros campos.

El término Geología Ambiental se ha utilizado ampliamente por los geólogos de las últimas décadas y actualmente su uso ha aumentado notablemente.

La **GEOLOGÍA AMBIENTAL** es parte de la Geología Aplicada y como tal considera todos los aspectos posibles entre la gente y el ambiente físico.

Al abordar el tema de la interacción del hombre con el ambiente, es necesario poner énfasis en la contaminación del suelo y del agua, así como sus implicaciones para la salud pública. En particular, se debe mencionar lo relacionado con la Hidrogeología y el uso del agua, los depósitos de desechos sólidos y líquidos, así como los aspectos geológicos de la salud ambiental.

1.3 ASPECTOS FILOSÓFICOS

Las categorías funcionales de la sociedad, importantes en los estudios ambientales, y que constituyen las bases culturales para la degradación del ambiente son: éticas, económicas, políticas, estéticas y, tal vez, religiosas.

Nuestro marco ético parece que se está expandiendo lentamente y eventualmente incluirá todo el ambiente dentro de una Tierra ética. Este aspecto ético confirma el derecho de todos los recursos, tales como plantas, animales y recursos materiales de continuar existiendo y por lo menos en ciertos lugares se mantendrán en su estado natural.

Se puede considerar que las causas inmediatas de la degradación ambiental son: sobrepoblación, urbanización e industrialización, combinadas con la poca consideración ética que se tiene por nuestra Tierra y por las instituciones inadecuadas para manejar la "tensión ambiental". Estos problemas no son exclusivos de un sistema político en particular y, en consecuencia, podemos concluir que la salvación de las comunidades en las diferentes regiones del planeta necesita, por fuerza, un cambio social, económico y ético, que trasciendan los diferentes sistemas políticos nacionales y mundiales.

Actualmente, en algunos países, los factores estéticos se están tomando en cuenta al planear el uso del suelo, tanto a nivel local (municipal), regional (estatal) y nacional (federal), de modo que el panorama se considera como un recurso natural. El problema central que se tiene es que no se cuenta con un método apropiado para realizar este tipo de evaluaciones, que sea realmente cuantitativo, creíble, predecible y que, a la vez, sea fácil de entender. De manera que, hasta que no contemos con una metodología satisfactoria, será difícil realizar un balance apropiado entre lo estético, los costos económicos y los beneficios que se obtengan.

El papel de la religión, causando, perpetuando o condenando la degradación ambiental sigue siendo algo muy discutido. Algunos autores argumentan que la herencia **judeo-cristiana**, es responsable de la actitud actual del hombre occidental en su comportamiento respecto al ambiente. El argumento principal se basa en que la enseñanzas y prácticas judeo - cristianas destruyeron el "**animismo pagano**" (*pagan animism*) que anteriormente tendía a unir la humanidad con la naturaleza y, en consecuencia, ocasionaron que los seres humanos degradaran el ambiente con gran indiferencia. Este punto de vista no puede ser defendido rigurosamente ya que tanto el hombre prehistórico como el actual, que cree en religiones orientales u occidentales, han explotado y alterado la tierra en que viven, en mayor o menor grado. En consecuencia se puede concluir que las instituciones religiosas han sido responsables de algunos problemas ambientales, pero que la tendencia general hacia la degradación del ambiente es por un problema más universal, que trasciende las enseñanzas religiosas.

I.4 - CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Al abordar el tema de la interacción del hombre con el ambiente, es necesario poner énfasis en la contaminación del suelo y del agua, así como sus implicaciones para la salud pública. En particular se debe mencionar lo relacionado con la Hidrogeología y el uso del agua, los depósitos de desechos sólidos y líquidos y los aspectos geológicos de la salud ambiental.

OBJETIVO : Introducir al estudiante con algunos conceptos básicos para el estudio y la comprensión de la Geología Ambiental.

CONCEPTOS	DEFINICIÓN
-----------	------------

- 1 La Tierra es esencialmente un Sistema Cerrado.
- 2 La Tierra es el único habitat apropiado que tenemos y sus recursos son limitados.
- 3 Los procesos físicos actuales continúan modificando el relieve (nuestro panorama) y lo cual han realizado durante gran parte del tiempo geológico; sin embargo, la magnitud y frecuencia de estos procesos están sujetas a cambios naturales o artificiales (inducidos por el hombre).
- 4 Siempre han existido procesos terrestres que son peligrosos para el ser humano. Estos riesgos naturales deben ser reconocidos, evitados cuando sea posible, y sus efectos sobre las vidas humanas o sus propiedades deben ser reducidos al máximo.
- 5 La planeación del uso del suelo y del agua, deben buscar siempre un balance entre las consideraciones económicas y las variables menos tangibles, como las estéticas.
- 6 El efecto del uso del suelo tiende a ser acumulativo y en consecuencia tenemos obligaciones con las personas que vivirán después en la región donde nosotros habitamos actualmente.
- 7 El componente fundamental del ambiente de cada persona es el factor geológico y para poderlo entender, se requiere de una comprensión amplia de las Ciencias de la Tierra, así como de otras disciplinas relacionadas.

NOTA : Aunque los conceptos indicados en esta tabla no constituyen una lista completa para poder investigar y discutir todos los aspectos de la Geología Ambiental, se pretende proporcionar con ellos, un marco filosófico básico para el entendimiento y manejo apropiado de este apasionante tema.

I.5 - EL AMBIENTE Y EL CAMBIO GLOBAL

La tierra es un sistema dinámico que produce cambios constantes en el ambiente. Algunos cambios son muy rápidos (temblores, actividad volcánica e inundaciones) y tienen efectos catastróficos en la sociedad; en contraste, otros cambios son tan lentos, con respecto a los estándares humanos, que apenas son notorios. Quizá se siente una cierta sensación de seguridad (confort) al darnos cuenta que la mayoría de los procesos geológicos son de poca preocupación para nosotros como individuos.

Aún así, la historia ha registrado la cumbre y la caída de comunidades, grandes culturas y civilizaciones, en las cuales el ambiente y los recursos naturales jugaron un papel importante. Un ejemplo es la caída de Mesopotamia, hace 1500 años. Conforme la gente empezó a irrigar sus tierras, la sal empezó a concentrarse en el suelo, afectando drásticamente la producción agrícola. Esto condujo a la caída de su civilización. Actualmente, muchos países con poco desarrollo tecnológico tienen su propia crisis de energía; una crisis originada por varias razones: falta de leña, la sobrepoblación y el resultante consumo masivo de los bosques para tener combustible, son los principales factores que han originado la falta de recursos alimenticios en países como Haití y Etiopía. La tala inmoderada destruye los sistemas que crean las raíces y que soportan el suelo; ya que la erosión se acelera y dentro de una década o dos, la capa superficial del suelo, vegetal o mineral, se destruye y la producción agrícola decrece rápidamente.

¿Cuál será el destino de nuestra civilización?. ¿Cambiarán su curso actual ríos tan caudalosos como el Mississippi, para drenar sobre su "planicie" deltáica y abandonará Nueva Orleans?. ¿Se llenarán totalmente los vasos de almacenamiento de las presas del mundo?, convirtiéndolas en algo inútil para la irrigación o generación de energía eléctrica. La mayoría de nuestros recursos son finitos y no renovables. Durante los próximos 10 años, utilizaremos más petróleo, gas, acero y otros recursos minerales que los consumidos a través de toda la historia.

Por medio de imágenes de satélite hoy en día se puede tener un buen control de los cambios que se producen en el ambiente, como ejemplo de ello se tiene el de Rondonia, un estado localizado en el occidente de Brasil, donde con imágenes Landsat se han podido observar continuos cambios, ya que en 1973 el bosque tropical estaba prácticamente virgen ; en 1987 se abrieron muchas parcelas en la selva. Este cambio abrupto en el ambiente y el panorama fue el resultado de los esfuerzos del gobierno por hacer que miles de brasileños pobres se asentaran en el interior. En los 80's una quinta parte del bosque fue completamente arrancado, pero el suelo tropical fue improductivo, de manera que la mayoría de los granjeros tuvieron que dejar la zona después de unas cuantos años, debido a su improductividad agrícola. Cuando el ser humano altera el ambiente, descompone el balance de los sistemas naturales, que fueron establecidos lentamente durante

miles de años, y los ajustes que se producirán, debido a los cambios que realizamos no siempre pueden anticiparse.

Ejemplos similares a los mencionados existen en México; en particular, en lo referente al gran deterioro que están sufriendo nuestros bosques, como en la **Selva Lacandona**, Chiapas, que aunque no ha tenido un impacto tan notorio a nivel mundial, como el de otras regiones, si es de relevancia para las condiciones locales del suelo y del ambiente.

También es de importancia, a nivel mundial y nacional, la contaminación generada por el desarrollo industrial, que cada vez produce mayor cantidad de desechos tóxicos.

Tradicionalmente se ha utilizado el agua para remover y diluir los desechos sólidos y líquidos que se depositan en los suelos, lo cual ha traído como consecuencia la contaminación de superficies de terreno más grandes y de las aguas subterráneas, que de una forma u otra sirven como receptáculo para las sustancias tóxicas. En ocasiones los sistemas naturales se saturan de sustancias nocivas para la salud y crean condiciones ambientales insalubres para una determinada región.

Los estudios geológicos tienen mucho que ver con la disposición de los desechos sólidos y líquidos. Por ejemplo, respecto a la basura, se pueden considerar dos aspectos básicos: 1) si se entierra, se pone en peligro la calidad del agua del subsuelo; 2) si se arroja sin control alguno, es arrastrada hacia los arroyos y ríos y éstos la conducen hacia las playas y el agua del mar, para contaminarlas. De modo que es muy conveniente considerar soluciones para este tipo de problemas y evitarlos en la medida de lo posible; para ello, es muy importante conocer el marco geológico del sitio o los sitios de interés para la disposición de los desechos, ya que con ello será posible alterar en una forma menos dramática las condiciones geológicas y biológicas.

Para el caso de sitios contaminados y los programas de remediación que se emprendan, es aún más necesario conocer las condiciones geológicas, ya que éstas constituyen uno de los antecedentes más importantes para tratar de entender que tanto se han extendido las sustancias contaminantes y en que forma se pueden planear los trabajos de remediación, de ahí la importancia de realizar cursos, como éste.

1.6 - ¿ QUE ES LA GEOLOGÍA AMBIENTAL ?

La GEOLOGÍA AMBIENTAL es Geología aplicada. De manera más específica, es el uso de la información geológica para ayudarnos a resolver conflictos en el uso del suelo, para minimizar la degradación ambiental y para maximizar los resultados benéficos de utilizar nuestro ambiente natural o modificado.

La aplicación de los estudios geológicos para estos problemas incluye el estudio de:

- 1) **Riesgos naturales** (inundaciones, deslizamientos, temblores y actividad volcánica), para reducir al máximo la pérdida de vidas humanas y propiedades.
- 2) **Análisis del terreno** (paisaje), para seleccionar sitios adecuados para la construcción de obras de ingeniería civil, incluyendo desarrollos habitacionales, estudios de planeación del uso del suelo y análisis del impacto ambiental.
- 3) **La explotación y uso de los materiales terrestres**, tales como minerales, rocas y suelos, para determinar su uso potencial como recurso o como lugar para la disposición de desechos y su efecto en la salud de los seres humanos.
- 4) **Procesos hidrológicos**, de las aguas del subsuelo y superficiales, para la evaluación de dicho recurso y los problemas de la contaminación de los mismos por causas naturales o inducidas.
- 5) **Procesos geológicos naturales**, tales como el depósito de sedimentos en los fondos oceánicos, la formación de montañas, el movimiento del agua en y debajo de la superficie de la tierra, para evaluar los cambios locales, regionales y globales.

Considerando lo amplio de sus aplicaciones, podemos definir la Geología Ambiental como la rama de las Ciencias de la Tierra que estudia todo el espectro de las interacciones humanas con el ambiente físico.

Debido a la frecuencia con que estaremos haciendo uso de la palabra AMBIENTE, es conveniente dar una descripción de ella, con el propósito de uniformizar los criterios respecto a su definición y manejo.

AMBIENTE.- Es el conjunto de circunstancias que rodean a un individuo o comunidad. Esto incluye todas las condiciones físicas (aire, agua, gases atmosféricos e inducidos y formas del relieve), que afectan el crecimiento y desarrollo de un individuo o una comunidad; también incluye las condiciones sociales y culturales que se encuentran en su entorno, tales como las éticas, económicas y estéticas.

Considerando lo anterior, la introducción a la Geología Ambiental debe tomar en cuenta no sólo los procesos terrestres y los recursos materiales, sino también los aspectos sociales y culturales que afectan nuestra percepción y reacción al entorno físico en que vivimos.

BIBLIOGRAFÍA

COATES, D. R. (1983). Environmental Geology - A Perspective, State University of New York at Binghamton, Northeastern Science, Vol. 2, pp. 57-66.

CARGO, D. N. (1977). Environmental Geology, Philippines, Second Edition, Wesley Publishing Company, Inc.

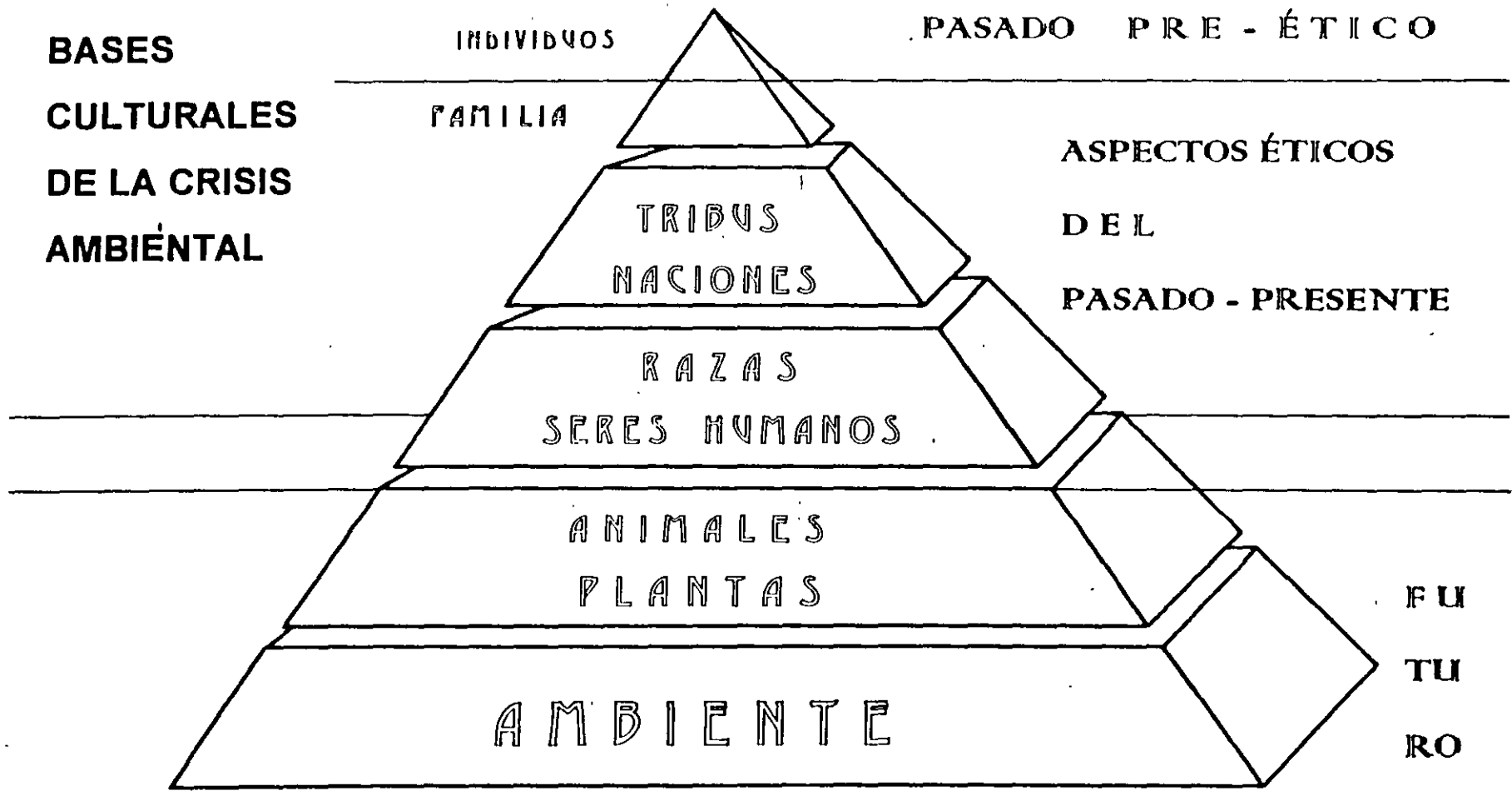
CARGO, D. (1977). Man and his Geologic Environment, Addison-Wesley Publishing Company, Second Edition, Missouri State University.

LEGGET, R. (1973). Cities and Geology, McGraw-Hill Inc., New York.

La Greca, M. (1994). Hazardous Waste Management, McGraw-Hill Inc., New York.

KELLER, E. (1992). Environmental Geology, University of California, Santa Barbara, Sixth Edition.

BETZ, F. (1975). Environmental Geology, Papers in Geology. Hutchinson and Ross, Inc., Pennsylvania; Penn.



MODIFICADO DE RODERICK NASH - *DO ROCKS HAVE RIGHTS ?*

THE CENTER MAGAZINE (NOV. - DEC., 1977)

FIGURA 1.1 - LA EVOLUCIÓN DE LA ÉTICA

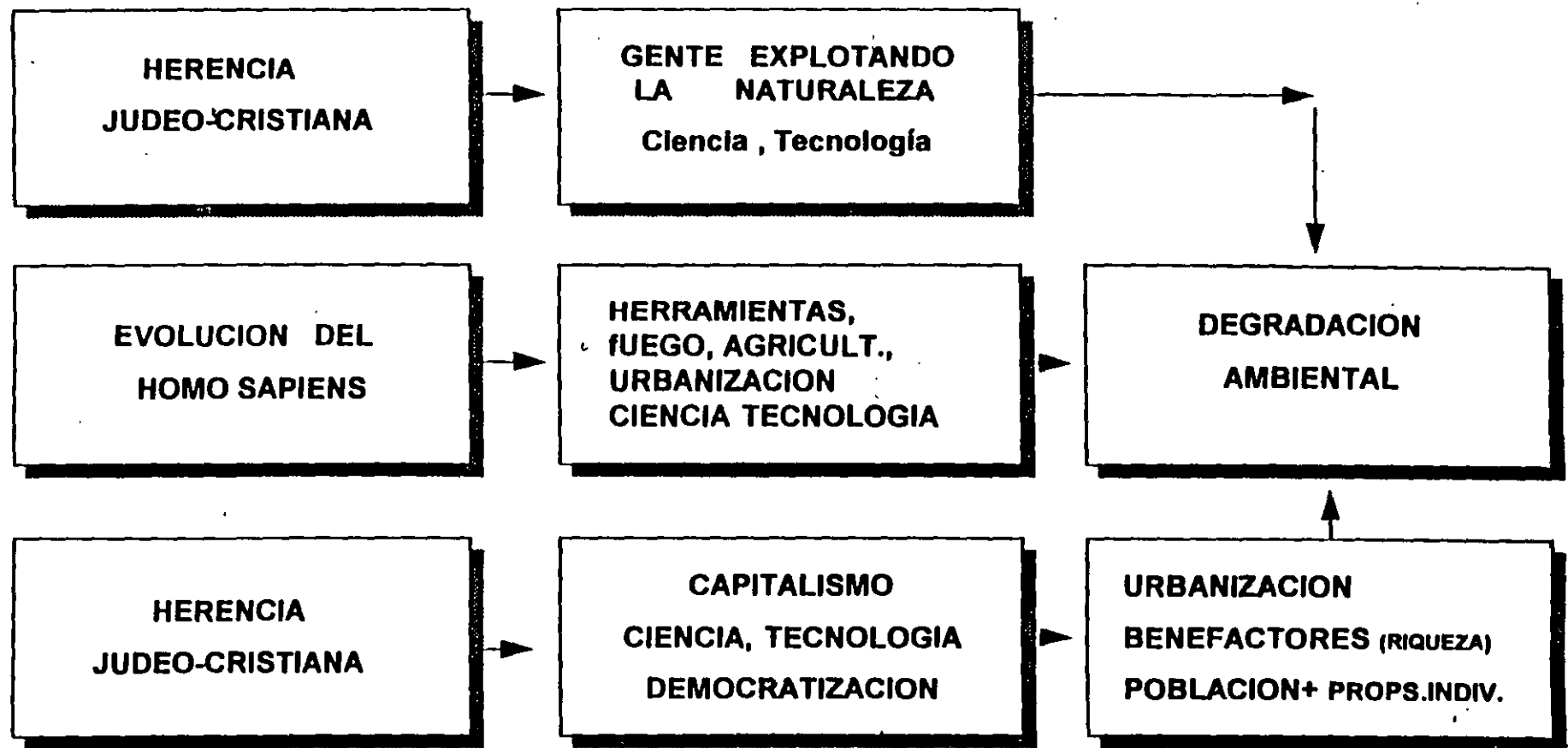


FIGURA 2 - MODELOS QUE MUESTRAN LOS POSIBLES CAMINOS DE LA DEGRADACIÓN AMBIENTAL según Keller (1981)



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

CURSOS ABIERTOS

GEOLOGÍA AMBIENTAL

TEMAS:

EL HOMBRE Y EL AMBIENTE

**DR. JAIME RUEDA GAXIOLA
PALACIO DE MINERÍA
ABRIL 2000**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
Palacio de Minería, México, D. F.

GEOLÓGÍA AMBIENTAL 2000

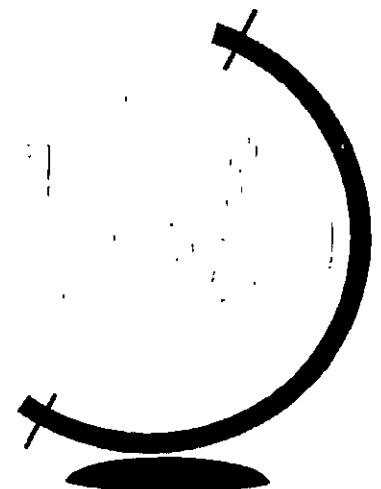
Capítulo II

PROCESOS Y RECURSOS GEOLÓGICOS

Profesores:

Dr. Jaime Rueda Gaxiola

Ing. Juan Sánchez Pérez



2 PROCESOS Y RECURSOS GEOLÓGICOS

2.1 CICLO GEOLÓGICO

En los 4 500 millones de años de la historia de la Tierra los materiales que se encuentran en o cerca de su superficie se han estado creando, conservando o destruyendo, por numerosos procesos físicos, químicos y biológicos. La continua actividad de estos procesos da origen a los materiales que encontramos en la tierra, agua o atmósfera

Los procesos que crean, mantienen, cambian y destruyen los materiales de la tierra (agua, minerales, rocas, suelos, etc.) se encuentran dentro del **CICLO GEOLÓGICO** (Figura 2.1), el cual está integrado por varios subciclos, denominados: **tectónico, hidrológico, de las rocas** (Figura 2.2) y **bioquímico**. En muchas de sus actividades el ser humano utiliza los recursos naturales que se encuentran en diferentes etapas de estos ciclos. y éstos son necesarios para su sobrevivencia.

Con el propósito de repasar los principios básicos del Ciclo Geológico, se mencionará en clase y a continuación únicamente se describen, en forma breve, los subciclos hidrológico y bioquímico.

2.1 CICLO HIDROLÓGICO

Ciclo Hidrológico es un término descriptivo, aplicable a la circulación general del agua en la tierra.

DEFINICIÓN .- Es una sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la atmósfera a la tierra y en volver a la atmósfera: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación acumulación en el suelo, cuerpos de agua y reevaporación.

En el Ciclo Hidrológico se involucra un proceso de transporte recirculatorio continuo, ese movimiento permanente se debe fundamentalmente a dos causas:

- 1) El Sol - que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); y
- 2) La gravedad terrestre - que hace que el agua condensada descienda por medio de la precipitación y el escurrimiento.

El agua, tanto superficial como subterránea, tiene como origen las precipitaciones atmosféricas. A partir de la precipitación se produce un volumen de agua, que desde que entra en contacto con la superficie del terreno puede considerarse dividida en cuatro partes (Figura 2.3) :

- 1) **ESCURRIMIENTO** .- Se desliza superficialmente, se concentra en los arroyos y continúa por los ríos hacia los océanos, donde termina su ciclo de circulación.
- 2) **INFILTRACIÓN** .- Penetra en el subsuelo y alimenta los receptáculos internos, formando lo que se conoce como aguas subterráneas.
- 3) **EVAPORACIÓN** .- Vuelve a la atmósfera sin haber completado su ciclo de circulación.
- 4) **ABSORCIÓN** .- El agua es absorbida por las plantas y animales.

En relación a lo anterior, cabe mencionar que si el agua infiltrada es abundante, una parte desciende hasta recargar el agua subterránea, pero cuando es escasa, queda retenida en la zona no saturada (**húmedad del suelo**), de donde vuelve a la atmósfera por evaporación o por la transpiración de las plantas; como prácticamente no es fácil separar ambos fenómenos, se suelen englobar en el término **EVAPOTRANSPIRACIÓN**. Debido a la influencia de la gravedad, tanto el escurrimiento superficial como el agua subterránea se mueven hacia las zonas bajas y con el tiempo integran el escurrimiento total de un río para fluir hacia los océanos, donde " terminan " su ciclo de circulación.

En los terrenos poco consolidados se forman capas de aguas freáticas, sin presión y condiciones necesarias para juzgarlas como aguas ascendentes o artesianas y alcanzan profundidades que varían de acuerdo con las desigualdades del relieve topográfico.

La fórmula de la precipitación del agua puede resumirse en la forma siguiente:

$$P = E_s + I_n + T_r + E_v$$

donde : E_s = Escurrimiento; I_n = Infiltración; T_r = Transporte; E_v = Evaporación

El agua profunda que proviene de la precipitación se llama **agua meteórica**; también se consideran como fuente de origen del agua profunda, las **aguas congénitas** (agua marina atrapada entre los poros y fracturas de las rocas que se originaron en mares someros del pasado geológico), y **aguas juveniles** (provienen principalmente de emanaciones volcánicas en forma de vapor); ninguna de ellas tiene un predominio notorio como para explicar por sí sola, el volumen de agua dulce subterránea.

Para comprender las condiciones en que se encuentra el agua subterránea en el

subsuelo, es conveniente analizar las zonas atravesadas durante la perforación de un pozo, a través de un material homogéneo e isotrópico (en todas direcciones, como las arenas). Desde unos cuantos decímetros de la superficie el suelo puede estar ligeramente húmedo, dependiendo de que tan reciente haya sido la última lluvia. Bajo esa faja intermedia y un poco más a profundidad la arena puede encontrarse muy empapada, en donde el agua está retenida debido a la atracción molecular de esa franja capilar. Estas tres fajas comprenden lo que se denomina zona de aereación o vadosa (Figura 2.4).

La perforación puede penetrar en la arena cuyos intersticios se encuentran saturados por el agua; esta es la zona de saturación o capa freática, y la superficie ondulante que separa la zona vadosa de la capa freática es el manto de agua. Los manantiales o fuentes son lugares por donde brota el agua del depósito subterráneo y se incorpora al sistema de drenaje superficial. Se presentan, por lo general, a lo largo de las paredes de los valles, en donde las corrientes que erosionan y llegan a cortar a los estratos que se encuentran abajo de la superficie freática. De acuerdo a lo anterior un manantial se puede definir como una manifestación de agua a lo largo del contacto de una roca permeable (una arenisca, por ejemplo) y otra poco permeable o impermeable (como una lutita), o bien a través de fracturas en rocas densas como las ígneas.

Como el manto acuífero tiene puntos altos y bajos, no se halla en equilibrio, sin embargo, para tender a éste, el agua se desplaza desde los puntos elevados hasta los más bajos. La razón por la que se verifica ese movimiento depende de dos factores.

1. La permeabilidad del medio para transmitir el agua,
2. El gradiente hidráulico, expresado generalmente como la razón entre la diferencia en elevación de dos puntos del manto acuífero.

La facultad que tiene una roca o un sedimento no consolidado para transmitir agua subterránea es su permeabilidad; ésta no debe confundirse con la porosidad, ya que ésta sólo es una expresión referente a la cantidad de huecos que hay en una roca, expresada en %.

2.1.2) CICLOS BIOQUÍMICOS

Un ciclo bioquímico es la transferencia o ciclo de un elemento o elementos a través de la atmósfera (capa de gases que rodean la tierra), la litósfera (rocas de la capa externa de la tierra), la hidrósfera (océanos, lagos, ríos y agua subterránea) y la biósfera (capa de la tierra donde existe vida). De acuerdo con esta definición, los ciclos bioquímicos están íntimamente relacionados con los ciclos tectónico, de las rocas e hidrológico.

El ciclo tectónico proporciona agua del proceso volcánico, así como el calor y la energía requeridos para formar y cambiar las materias terrestres en ciclos bioquímicos

El ciclo de las rocas y el hidrológico están involucrados en muchos procesos de transferencia y almacenamiento de elementos químicos en el agua, suelo y en las mismas rocas.

Los ciclos bioquímicos pueden ser más fácilmente descritos como la transferencia de elementos químicos a través de una serie de compartimentos de almacenamiento o receptáculos, tales como aire, suelo, agua subterránea, y vegetación, entre otros.

Cuando un ciclo bioquímico es bien entendido, los rangos de transferencia o flujo entre todos los compartimentos se conocen; sin embargo, determinar tales rasgos en una base global es una tarea bastante difícil.

Las cantidades de elementos tan importantes como carbón, nitrógeno y fósforo en cada compartimento y sus rangos de transferencia entre compartimentos, sólo se conocen en forma aproximada.

Para entender de forma más apropiada los ciclos bioquímicos se mencionará el ciclo global del carbón (Figura 2.5).

El Carbono (C) en forma pura se encuentra en algunos minerales como el Grafito y los diamantes, así como en algunas moléculas exóticas (recientemente descubiertas) compuestas de 60 átomos de carbono cada una y conocidas como "Bucky balls".

Para nosotros, son más importantes la gran cantidad de moléculas de C, que existen de la combinación con otros elementos. El C es el block básico de la construcción de la vida, debido a que se combina rápidamente con otros átomos de C, oxígeno e hidrógeno (H), para formar compuestos biológicos. Como resultado, el ciclo bioquímico del C está íntimamente relacionado con los ciclos del O y del H. Bajo consideraciones ordinarias algunos compuestos del C son gases, de los cuales el más importante es el CO₂, que se encuentra en la atmósfera, el suelo y otras partes del ambiente. El CO₂ en la atmósfera o en el suelo rápidamente se disuelve con el agua, formando un ácido débil conocido como ácido carbónico (H₂CO₃), el cual es muy importante en la alteración de las Rx en o cerca de la superficie de la tierra.

La Figura 2.5 muestra las cantidades de C en varios compartimentos de almacenamiento, así como rasgos de transferencia entre compartimentos en base anual (Lambert, 1987). Se puede apreciar que casi todo el C en la tierra está almacenado en sedimentos marinos y rocas sedimentarias. Este compartimento de almacenaje hace que los otros parezcan insignificantes, ya que aún juntándolos suman sólo un 0.05% del total; sin embargo, el C almacenado en la atmósfera y transferido de ahí al suelo y los océanos es de particular importancia ambiental. Conforme las

concentraciones del CO_2 aumentan en la atmósfera debido a cambios naturales o la combustión de combustibles fósiles, el clima global también cambia.

La Figura 2.5 muestra una contradicción aparente ya que el **C** almacenado en la atmósfera incluye 3 toneladas métricas de la combustión de combustibles fósiles, pero la cantidad de **C** que entra a la atmósfera como producto de la combustión de combustibles fósiles es 6 000 millones de toneladas métricas por año. ¿Dónde quedaron o que se hicieron las otras 3 000 toneladas?. Este es un tema importante por investigar, y aunque existen algunos trabajos al respecto, aún sigue sin ser aclarado. Para tratar de explicarlo se infiere que esa diferencia se han depositado en a los grandes compartimentos de almacenamiento, tales como las aguas poco profundas del océano, los suelos o las plantas terrestres.

Debido a que la atmósfera es un ambiente dinámico y la rápida transferencia de **C** se lleva a cabo entre ésta y las plantas terrestres o acuáticas. El tiempo promedio de residencia del **C** en la atmósfera es corto.

Los ciclos bioquímicos que no tienen fase gaseosa, tales como el ciclo del fósforo (**P**) son muy diferentes. El ciclo del fósforo es inicialmente muy lento, tomando cientos de miles a millones de años. en llevarse a cabo. La transferencia del fósforo de la tierra a los océanos se inicia por medio de la erosión de las rocas ricas en **P**, el cual se encuentra en los huesos y dientes de pescados y otros animales en la roca. El **P** regresa a la tierra por medio del ciclo de las rocas y el tectónico; este último, levanta las rocas hasta donde pueden ser expuestas nuevamente a la erosión. De forma menos abundante, el **P** regresa a la tierra como **guano** (excremento de aves y murciélagos), el cual se explota y utiliza como fertilizante.

2.1.3) RECURSOS MATERIALES

Los recursos naturales se pueden encontrar en forma concentrada o en estado puro, pero después de varios procesos artificiales son regresados a la tierra en forma dispersa o contaminando otras partes de los ciclos geológicos. Una vez dispersos o alterados, estos materiales ya no pueden ser concentrados o utilizados por los seres humanos en ningún período de tiempo razonable.

La aplicación de la información geológica a los problemas ambientales, requiere de un entendimiento de las propiedades geológicas e ingenieriles de los materiales terrestres. Las diferentes rocas y suelos se comportan de una manera más o menos predecible, pero su comportamiento difiere según el usos que se les de. Por ejemplo, los suelos arcillosos y las arcillas compactadas presentan condiciones pobres para la cimentación de grandes obras de ingeniería civil; en cambio, los granitos poco

fracturados son apropiados para cimentar construcciones y para otros propósitos.

Los esfuerzos de las rocas están muy influenciados por sistemas de fallas o fracturas activas o por fracturas antiguas que actualmente se encuentran intemperizadas y alteradas.

La mayor parte de las geoformas continentales son el resultado de los escurrimientos de agua, de manera que el entendimiento de los procesos hidrológicos superficiales y subterráneos es necesario para poder resolver apropiadamente muchos problemas de tipo ambiental.

Los escurrimientos superficiales y subterráneos son básicamente sistemas abiertos, en los cuales se establece un equilibrio dinámico entre varias partes del sistema. Cualquier cambio, artificial o natural, ocasionará que las otras partes se reajusten para compensar y dar origen a un nuevo equilibrio.

Las tormentas de arena, arcilla y polvo, pueden cubrir muchos miles de kilómetros cuadrados. Los principales depósitos de arena se concentran a lo largo de la costa o en algunas áreas continentales interiores; por otra parte, las arcillas eólicas y los depósitos de tipo loess se encuentran concentrados a lo largo de los principales ríos que acarrearán agua del deshielo de glaciares continentales que existieron durante el Pleistoceno.

Los problemas, originados por la migración de las dunas de arena, requieren de soluciones ingenieriles, tales como la construcción de carreteras con diseños especiales, muros de contención, estructuras hidráulicas (puentes, trampas de arena, etc.) y mantenimientos caros.

Los depósitos poco consolidados (tipo loess) representan lugares peligrosos para efectuar la cimentación de grandes obras de ingeniería civil, ya que si se humedecen pueden asentarse considerablemente, a menos que sean compactados en forma apropiada.

Las glaciaciones continentales recientes originaron diferentes tipos de materiales, tales como tillitas, suelos altamente orgánicos y sedimentos transportados por agua, los cuales pueden encontrarse en grandes áreas, como al pie de los grandes volcanes de México y algunas zonas del norte en los EUA. (el Estado de Minnessota, por ejemplo); este tipo de depósitos deben evaluarse cuidadosamente en superficie y en el subsuelo, antes de programar, diseñar y construir alguna estructura sobre ellos. Para los suelos de la Cuenca de México también es necesario realizar estudios exhaustivos antes de construir sobre ellos. Actualmente las tierras congeladas cubren aproximadamente un 20% del planeta, lo cual ocasiona que se tengan ambientes frágiles y sensibles. Para reducir los efectos adversos de este tipo de terrenos, se requiere de procedimientos ingenieriles especiales, tales como extraer materiales finos, poco drenables, de las tierras congeladas.

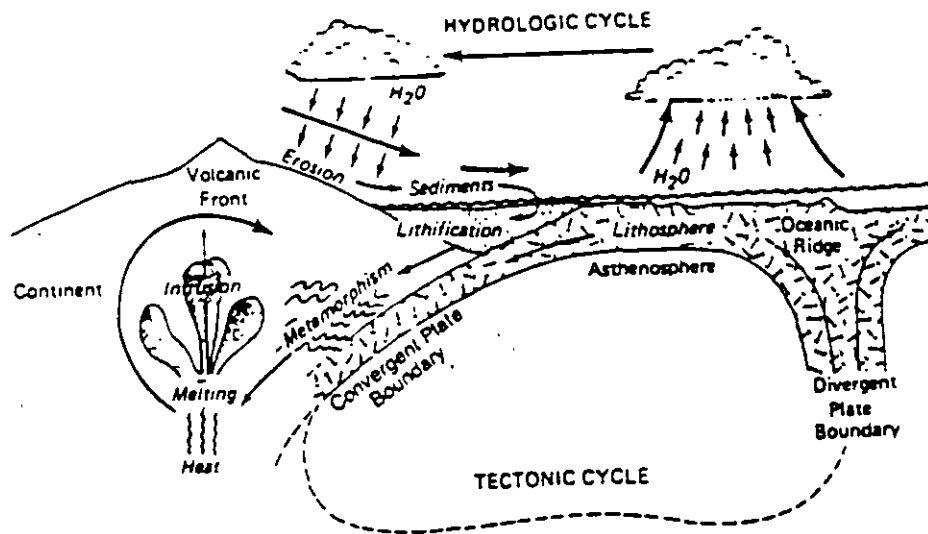


Figura 2.1 - EL CICLO GEOLOGICO
 Compuesto de los subciclos: hidrológico, de las rocas, tectónico y bioquímico

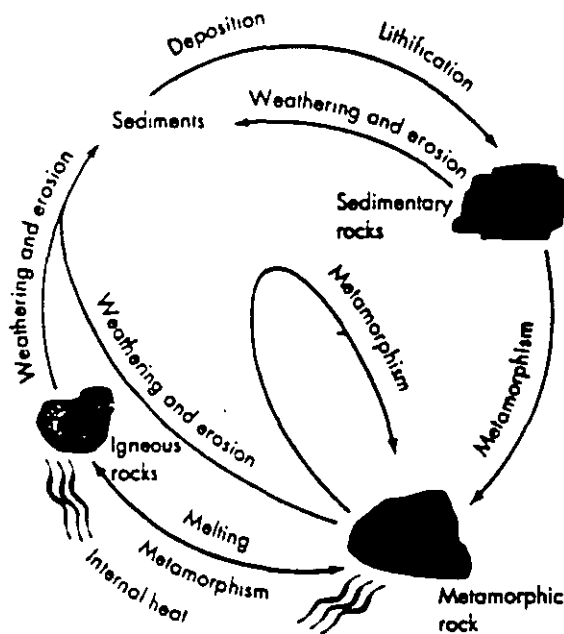


Figura 2.2 - CICLO DE LAS ROCAS

PRINCIPALES PROCESOS DEL CICLO HIDROLÓGICO

PROCESO	DEFINICIÓN
INFILTRACIÓN	Paso del agua por la superficie del suelo
PERCOLACIÓN	Movimiento del agua a través del perfil del suelo
EVAPORACIÓN	Vapor de agua que retorna al aire debido al calentamiento de la lluvia por la radiación solar
TRANSPIRACIÓN	Vapor de agua que retorna al aire a partir de la superficie de las plantas

Palabras clave :

ESCURRIMIENTO (Runoff)
VELOCIDAD DE ESCURRIMIENTO
PENDIENTE (Slope)
RUGOSIDAD (Roughness)

Conceptos clave :

1) La lluvia escurrirá sobre la superficie del terreno a una velocidad determinada por la pendiente y limitada por la rugosidad de la superficie.

2) Es importante determinar la Velocidad de los Escurrimientos, debido a que las partículas del suelo pueden ser erosionadas si la pendiente es muy empinada o si el suelo es fácilmente erosionable.

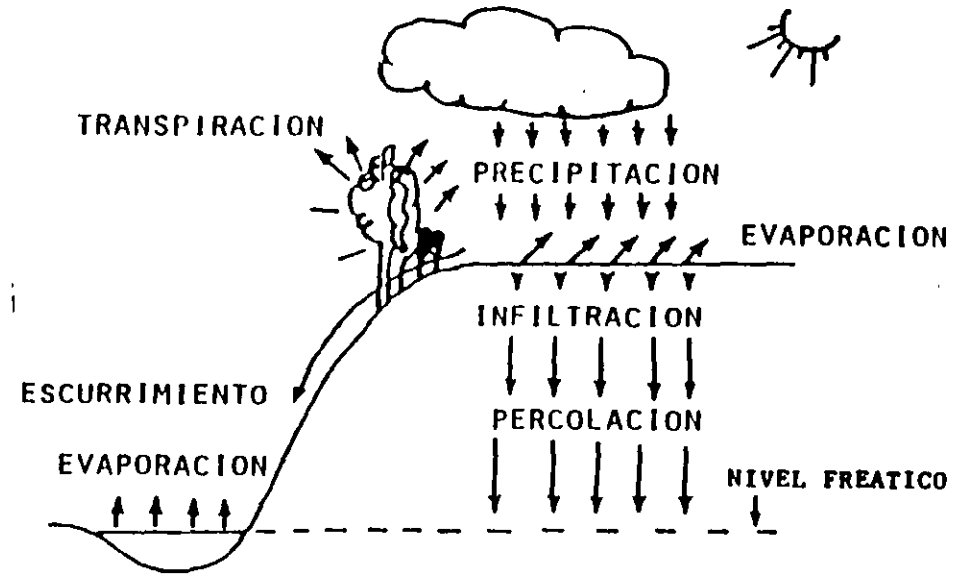


Figura 2.3 - CICLO HIDROLÓGICO

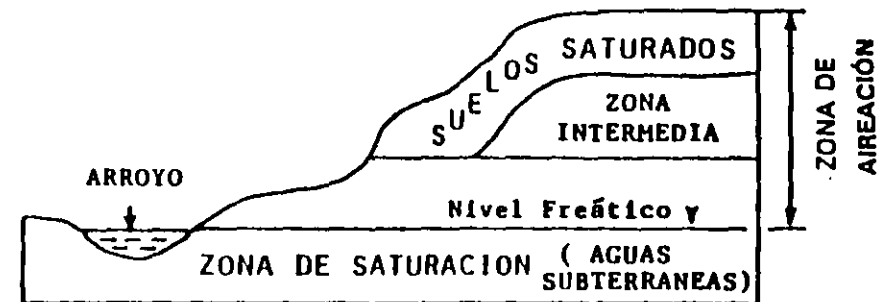


Figura 2.4 DIFERENTES ZONAS DEL AGUA SUBTERRÁNEA

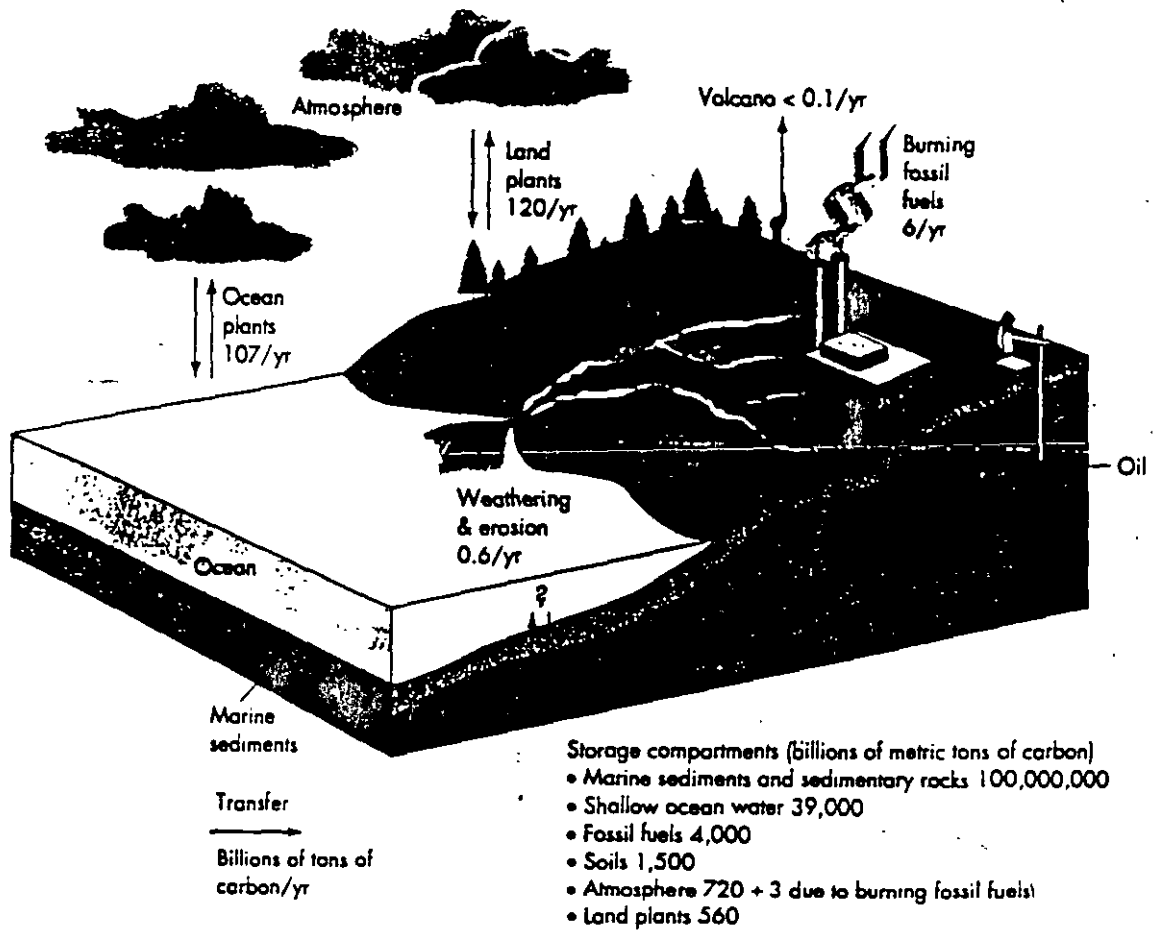


Figura 2.5

CICLO IDEALIZADO DEL CARBÓN

(Tomado de Lambert, 1987; La gas carbonique dans l'atmosphere, *La Recherche*)

ALGUNAS PROPIEDADES INGENIERILES DE LOS SUELOS (se comentarán en clase)

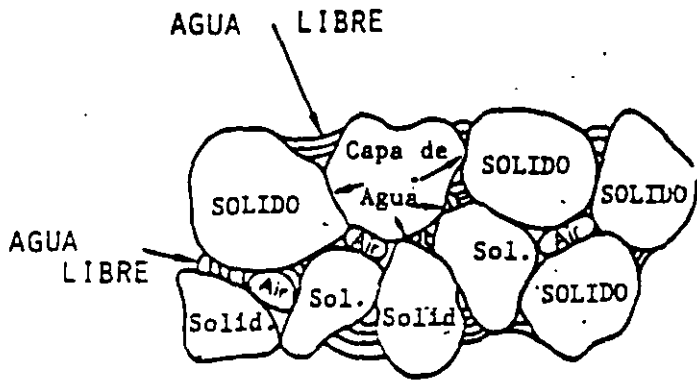


Figura 2.6

Suelo parcialmente saturado mostrando la relación entre las partículas, agua y aire. La atracción (cohesión aparente) entre el agua y las partículas del suelo (superficies de tensión) desarrollan un esfuerzo, que obligan a los granos a permanecer unidos

La cohesión desaparece si el suelo se seca, o si se satura completamente. (Tomado de R. Perstrong, SLOP STABILITY, American Geológica Institute, 1974).

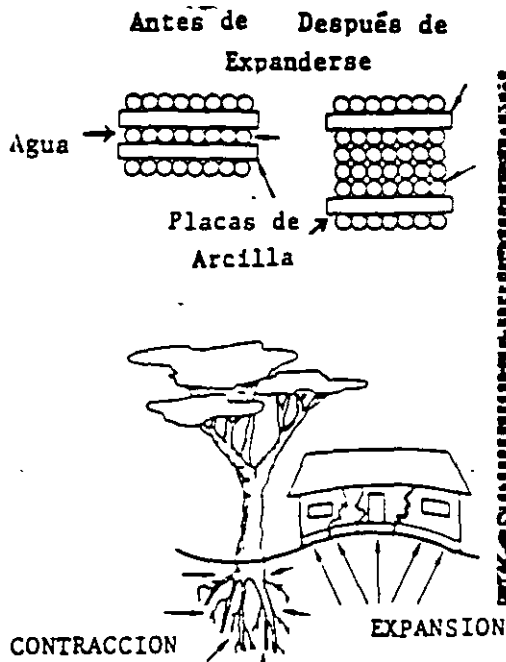


Figura 2.7

Suelos expansivos; diagrama idealizado que muestra una arcilla expansiva (montmorillonita), así como capas de moléculas de agua intercaladas entre las placas de arcilla (A), y efectos del suelo al comprimirse y al expandirse, sobre una casa habitación (B). Muros fracturados, debido a la expansión de suelos arcillosos por debajo de los cimientos (C). Modificado de Mathewson and Castleberry, SUELOS EXPANSIVOS: SU INGENIERÍA GEOLÓGICA (en Ingles); Texas A & M University).

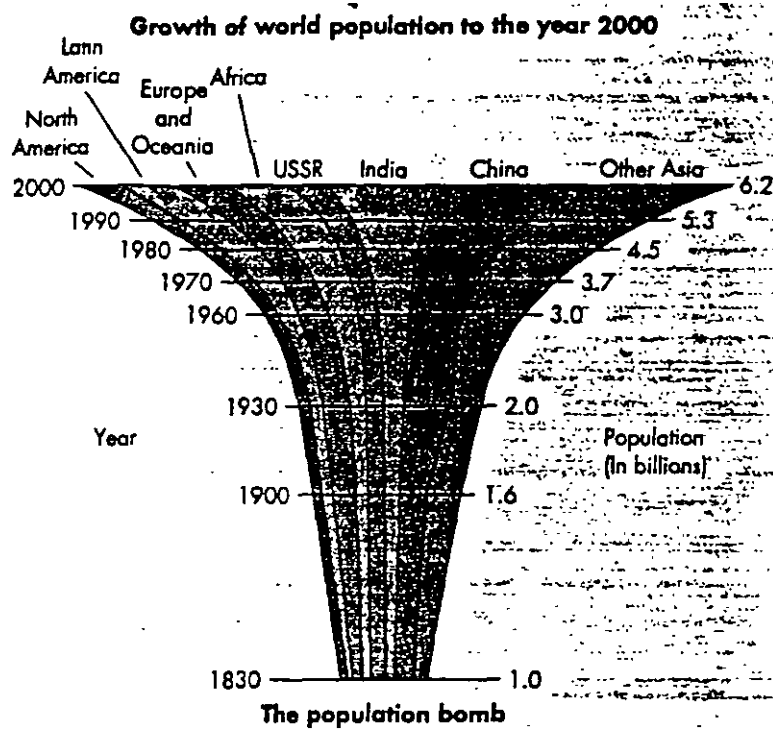


Figura 3
LA EXPLOSIÓN DEMOGRÁFICA
 Modificado de: U S Department of State

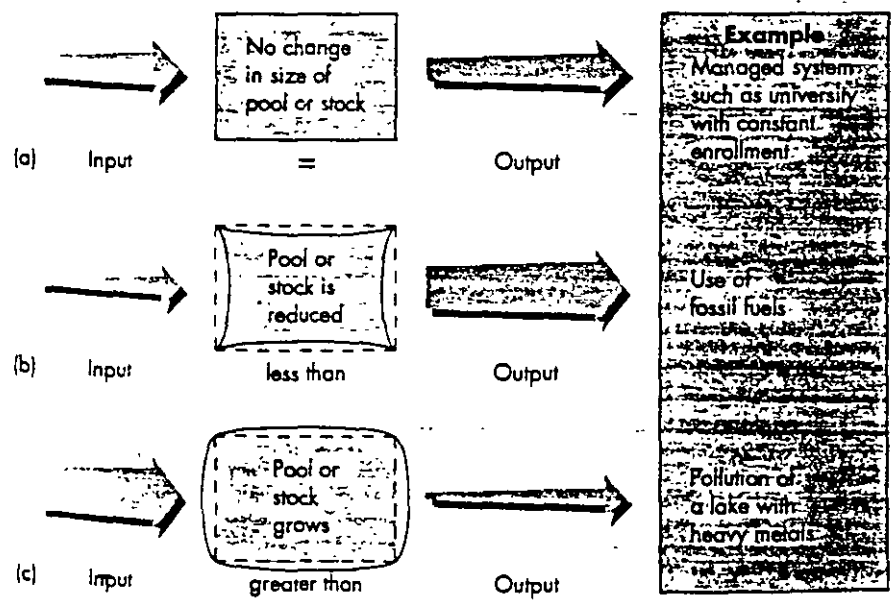


Figura 4
PRINCIPALES CAMINOS POR LOS CUALES LAS CANTIDADES DE UN MATERIAL PUEDEN CAMBIAR
 Modificado de P.R. Ehrlich, A. H., A. H. Ehrlich y J. P. Holdren
 Ecoscience: *Population, resources, environment*, 3era. Ed., W.H. Freeman, 1977



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

CURSOS ABIERTOS

GEOLOGÍA AMBIENTAL

TEMA:

EL HOMBRE Y EL AMBIENTE PARTE II

**DR. JAIME RUEDA GAXIOLA
PALACIO DE MINERÍA
ABRIL 2000**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
Palacio de Minería, México, D. F.

GEOLOGÍA AMBIENTAL
2000

Capítulo III-A

El hombre y el Ambiente

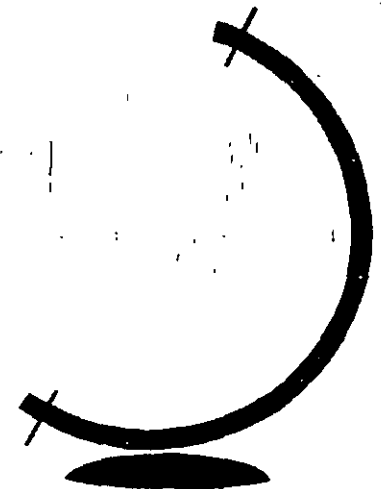
RIESGOS GEOLÓGICOS

como control de los

ASENTAMIENTOS HUMANOS

Profesor :

Dr. Jaime Rueda Gaxiola



3. EL HOMBRE Y EL AMBIENTE

3.1 LOS RIESGOS GEOLÓGICOS COMO CONTROL DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS

Por: Dr. Jaime Rueda Gaxiola

Modificado de su versión inicial
presentada en el Instituto Politécnico Nacional

"La forma incompleta, fragmentada y manipulada en que el Hombre hace frente actualmente a las catástrofes naturales, es uno de los más claros exponentes de la estupidez colectiva de la humanidad"

Basil Booth y Frank Fitch. 1986

INTRODUCCIÓN

A) ADAPTARSE O MORIR

Para sobrevivir, el Hombre ha tenido que adaptar su modo de vida a las condiciones del medio que lo rodea. Los cambios evolutivos de los organismos son resultado de los cambios evolutivos de nuestro planeta. El Hombre no es la excepción; su evolución es el resultado de su poder de adaptación a las variaciones del medio ambiente. Como es un organismo cosmopolita, su alto poder de adaptación le ha permitido vivir en los medios más variados:

- 1.- Montañoso
- 2.- Selvático
- 3.- Pantanoso
- 4.- Estepario
- 5.- Desértico
- 6.- Glacial

Sin embargo, el Hombre es el único organismo que ha logrado modificar el medio ambiente buscando su beneficio. ¿ Hasta donde, la búsqueda de su bienestar, le permitirá vivir en armonía con la naturaleza ?

LOS RIESGOS GEOLÓGICOS Y LA GEOLOGÍA AMBIENTAL

Los desastres de origen geológico siempre han existido desde que el hombre está en la Tierra (terremotos, maremotos, inundaciones, tomados, huracanes, erupciones volcánicas, deslizamientos de tierra, hundimientos, etc.) Muchos de estos desastres han sido favorecidos por el mismo Hombre. Millones de personas han perecido por causa de estos fenómenos naturales, se han tenido grandes pérdidas económicas y se han originado perturbaciones sociales.

Las pérdidas por desastres naturales son cada vez mayores porque:

1. El crecimiento demográfico aumenta la cantidad de personas expuestas,
2. La urbanización incrementa las posibilidades de pérdidas mayores de vidas y de bienes en un determinado lugar y,
3. El desarrollo económico aumenta el volumen y valor de los bienes que pueden destruirse.

La Geología es la ciencia que estudia la Tierra y la Geología Ambiental es una de las partes de la Geología que relaciona a esta ciencia con las actividades humanas, de tal manera que, para su estudio, requiere de una gran cantidad de conocimientos propios de otras disciplinas científicas y técnicas y del comportamiento social, cultural y humano (Biología, Meteorología, Oceanografía, Ingeniería Civil, Arquitectura, Historia, Economía, Sociología, Psicología, Administración, etc.) El Objetivo de la Geología Ambiental es entender y encontrar soluciones a problemas ambientales naturales o resultado de la actividad humana, pues la civilización depende de los recursos naturales y de la energía derivada de la tierra y del agua. Así, la Geología Ambiental es la aplicación práctica de las Ciencias Geológicas al Servicio de la Sociedad. Como consecuencia, toda programación relacionada con la planificación de la ubicación de los centros del desarrollo urbano o rural debe considerar los resultados de los estudios de la Geología Ambiental, con el objetivo de prever y solucionar problemas que afecten o afectarán los asentamiento humanos. En esta disciplina, como en las ciencias sociales, también es aplicable el concepto de que quien no conoce o no entiende la historia está destinado a cometer sus errores. Así, la degradación del medio ambiente no es sólo producto del Hombre Moderno, pues la humanidad siempre ha cambiado su hábitat; por lo que es importante ahora tomar conciencia de los hechos históricos y tomar las medidas necesarias para evitar catástrofes. Los planes, programas, políticas y decisiones que se tomen dentro de la planificación urbana y rural, deben de considerar las catástrofes históricas para evitar que puedan suceder otras por

fenómenos geológicos semejantes. De ahí se derivan la importancia de saber cómo, cuándo y dónde se efectúan esos fenómenos para evaluar los **riesgos geológicos** a los que está sometida la población de una determinada región de la Tierra.

De manera convencional, entendemos por **RIESGO** al conjunto de variables interdependientes que consignan conceptos tales como: peligrosidad, vulnerabilidad, costo económico, es decir:

RIESGO = peligrosidad + vulnerabilidad + costo económico

Los medios de comunicación masiva (periódicos, televisión, radio) informan todos los días que muere gente a causa de **desastres naturales**. Estos originan la muerte anual de al menos 20 000 personas. Más de 160 000 muertos en 1991 (140 000 personas ahogadas en abril, a causa de un ciclón en Bangladesh). Algunas de estas catástrofes naturales han alcanzado proporciones gigantescas. En los últimos años han sobresalido las noticias de desastres debido a **sismos** en E.U.A., Yugoslavia, Alaska, Argelia, Colombia, Japón, Guatemala, Nicaragua, Chile, Perú, Italia, Turquía, México, El Salvador, U.R.S.S., China; debidos a **maremotos** en Japón, Francia, Nicaragua; debidos a **inundaciones, huracanes, tornados** en el Caribe, E.U.A., Argentina, Filipinas, Brasil, México; rupturas de presas en Italia y la India, etc. Entonces, la Geología Ambiental requiere del conocimiento específico de disciplinas geológicas relacionadas con los orígenes de estos desastres, convirtiéndose en una rama interdisciplinaria de la Geología relacionada con las ciencias económicas y sociales.

Con base en la **catástrofe de origen volcánico** en 1982 (Volcán Chichón) y **sísmico** en 1985 (Cuenca de México), el Gobierno y el Pueblo de México pudimos apreciar los efectos de los fenómenos geológicos y nos hicimos partícipes de las necesidades impostergables de tomar medidas para evitarlas, a pesar de saber que nuestro país, desde hace siglos, ha sido considerado como básicamente volcánico y sísmico. Estas catástrofes son sólo dos ejemplos de los riesgos geológicos más importantes del país, sin menospreciar las inundaciones, los derrumbes y otros fenómenos originados por agentes hidrometeorológicos que, año tras año, afectan a la ciudad de México y las demás regiones pobladas de la Cuenca de México. A nivel nacional, los fenómenos geológicos afectan de diferente manera en las regiones del territorio, dependiendo de sus características geológicas y geográficas; así, existen algunos de alto riesgo sísmico, otros de alto riesgo volcánico, otras con alto riesgo debido a los efectos de inundaciones, de huracanes, de tornados, de derrumbes, de tsunamis, de avance de dunas, etc. Por lo tanto, es necesario que a nivel nacional y regional se cuente con **mapas de riesgo** que permitan a la población saber donde asentarse con el menor

riesgo geológico. Por lo tanto, la debida y adecuada **utilización de suelo** debe basarse en estudios de Geología Ambiental.

La **Geología ambiental** se aplica de manera general en:

1. La **adecuada explotación de los recursos naturales** para evitar efectos secundarios en el medio ambiente (hundimientos, deslizamientos de tierras),
2. La **evaluación de los cambios físicos en el ecosistema tierra - agua**, cuando el Hombre,
3. La **evaluación de los fenómenos geológicos** que pueden ser de riesgo para la salud y la seguridad del Hombre en sus asentamientos,
4. La **ubicación de sistemas energéticos** para su uso y almacenamiento,
5. La **de ubicación de los lugares más adecuados para la eliminación y/o almacenamiento** de los productos de desecho de la actividad humana,
6. La **conservación de materiales y procesos** que favorecen la buena utilización de los suelos,
7. La **ayuda en estudios y en la toma de decisiones** para minimizar el impacto humano en el ambiente y
8. La **ubicación adecuada de los asentamientos humanos.**

La Humanidad, históricamente, ha construido sus casas o edificios sin haber pensando prioritariamente en los riesgos geológicos. Así los asentamientos se han efectuado en lugares en donde ha habido material disponible o en lugares donde han encontrado protección. En otros casos, ha tomado el riesgo de asentarse en lugares obviamente peligrosos, pensando en que la catástrofe puede presentarse a lo largo plazo o bien considerando la conveniencia económica. Por esta razón se tienen asentamientos humanos en las faldas de los volcanes, ya que el suelo es muy fértil, en las llanuras aluviales donde la pendiente es suave, los costos de construcción son bajos y las tierras son aptas para el cultivo, aunque estén expuestas a inundaciones; otros se han asentado en lugares de frecuente actividad sísmica o en zonas de frecuentes derrumbes y deslizamientos de tierras porque la vista es bella, etc. Sin embargo, una de las funciones de las autoridades de un país es impedir que se efectúen asentamientos en los lugares de alto riesgo geológico, demostrando a la gente las razones por las que el lugar es inseguro y evitando, de esta manera, la inestabilidad social que redundaría en una paz precaria, no sólo para las personas de esa región en particular, sino también para toda la población circundante cuando los fenómenos geológicos producen catástrofes.

LOS RIESGOS GEOLÓGICOS

En cualquier lugar en que se asiente, el Hombre está sujeto a riesgos que tienen origen en fenómenos:

- 1. Exógenos**
- 2. Endógenos**
- 3. Antropógenos**

Los agentes exógenos son el resultado de fenómenos extraterrestres que afectan las condiciones del medio ambiente. Los agentes endógenos son el resultado de fenómenos originados en la Tierra misma; incluyen los originados en la atmósfera (hidrometeorológicos) y los originados en la corteza terrestre (corticales). Los agentes antropógenos tienen su origen en la actividad humana (químicos, incendios, explosiones, sanitarios). Los dos primeros originan los **RIESGOS GEOLÓGICOS** los cuales constituyen el tema principal de esta publicación que tiene como objetivo explicar brevemente, cómo, cuándo y dónde se originan los fenómenos geológicos que pueden producir desastres naturales y hacer conciencia de su impacto social para que se puedan predecir, evaluar, controlar y mitigar sus efectos en las diferentes regiones de asentamientos humanos dependiendo del tipo y grado de riesgo geológico. El hombre no puede evitar o dominar completamente los fenómenos que originan las catástrofes naturales; sin embargo, si puede tratar de evitarlas preparando a la gente para que seleccione los lugares de menor riesgo geológico para asentarse, para que construya en los lugares más adecuados con los materiales y las técnicas que les proporcionen mayor seguridad.

La República Mexicana se encuentra situada geográficamente en condiciones muy particulares que permiten que los agentes endógenos y exógenos actúen muy frecuentemente sobre ella, alterando constantemente las condiciones del medio ambiente, por lo que debe de considerarse como una región de alto riesgo geológico. Sin embargo, la evaluación del factor de riesgo, deriva del conocimiento científico de los procesos naturales que han producido catástrofes naturales a lo largo de la Historia Terrestre.

A.- AGENTES EXÓGENOS

Como se indicó antes, tienen su origen en objetos extraterrestres que caen sobre la Tierra:

- 1. Meteoritos**
- 2. Cometas**

Todos los días caen sobre la Tierra meteoritos inofensivos de tamaño muy pequeño. Sin embargo, también todos los días estamos expuestos a morir por causa del choque de un cuerpo extraterrestre de grandes dimensiones sobre la Tierra.

Evidencias directas de que este fenómeno ha sucedido en muchas ocasiones, las tenemos registradas en la Historia de la Tierra por medio de los astroblemas (como el de Vredefort, en Sudáfrica, de 80 km de diámetro, formado hace 2 100 m.a.) que son estructura dejadas en la corteza por antiguos impactos de meteoritos de muy grand dimensiones. La caída de cuerpos tan grandes sobre la Tierra deben haber causado enormes catástrofes, que posiblemente sean las causas de grandes transformaciones de la atmósfera y de la corteza terrestre que ocasionaron extinciones masivas de organismos; tales es el caso del Cráter Meteorico de Chicxulub, Yucatán, que se considera originado hace 64.5 millones de años por el impacto de un meteorito de 10 km de diámetro cuyos efectos motivaron la extinción de los dinosaurios. También existen cráteres originados por el impacto reciente de meteoritos más pequeños, como el de 180 metros de profundidad y 1 200 de diámetro que produjo al chocar en Arizona, hace 25 000 años, uno pequeño que se ha calculado que pesa 1 500 000 toneladas. Se considera que nuestro planeta está expuesto al choque de meteoritos de kilómetros de diámetro al menos una vez cada 50 millones de años. Otros cuerpos celestes que pueden chocar sobre la Tierra son los cometas, tal como se ha supuesto que sucedió a principios de este siglo (1908) en la Región de Tunguska, en la anterior U.R.S.S., cuando al chocar produjo una explosión equivalente a la de una bomba atómica de 30 megatones. Los espectaculares efectos del choque de 21 fragmentos del Cometa Shoemaker-Levy, durante la semana del 16 al 22 de julio de 1994, sobre la superficie de Júpiter, son un ejemplo de lo que puede suceder en la Tierra por fenómeno semejante. Recordemos simplemente de la atmósfera de Júpiter con un diámetro de dos veces el de la Tierra.

El 28 de Enero de 1996, surcó el cielo de varios estados (Michoacán, Guerrero. Morelos, Estado de México) de la República Mexicana un meteorito que causó gran expectación de los habitantes de la Cuenca de México. No se sabe con precisión donde cayeron los fragmentos ya que las personas que los vieron han citado que algunos lugares de impacto fueron Tláhuac, Juchitepec, Amecameca y Ocotitlán en el Estado de México, y otras a tres zonas del Estado de Morelos, aunque, por la trayectoria, se considera que estalló en el aire cerca de Estado de Veracruz.

B.- AGENTES ENDÓGENOS

Se originan por fenómenos terrestres. Son de dos tipos:

- 1. Atmosféricos (hidrometeorológicos)**
- 2. Corticales**

Estos fenómenos terrestres son los que han hecho que la imagen de la Tierra nunca se repita y que muestre que es un planeta vivo, un planeta cambiante. Son el resultado de procesos geológicos que cambian la faz de la Tierra, a veces rápidamente (procesos sísmicos, volcánicos), aunque la mayoría de las veces muy lentamente pues no son susceptibles de reconocer a la escala de años, sino de millones de años (formación de montañas, desgastes de las mismas).

1.- ATMÓSFERICOS

Estos agentes son el resultado de fenómenos originados en la atmósfera que actúan directamente sobre la superficie terrestre o bien de fenómenos originados indirectamente como resultado de los anteriores. Así, pueden ser originados por fenómenos:

DIRECTOS

- 1. Tormentas**
- 2. Tormentas eléctricas**
- 3. Granizadas y nevadas**
- 4. Tonados**
- 5. Ciclones**
- 6. Sequías y glaciaciones**
- 7. Avance de dunas**

INDIRECTOS

- 1. Inundaciones**
- 2. Aludes**
- 3. Deslizamientos**
- 4. Derrumbes**

Los fenómenos atmosféricos tienen su origen en la transferencia de calor entre las masas de aire a diferentes latitudes y altitudes; son los causantes de la alteración de las rocas superficiales, de la formación, transporte y depósito de los sedimentos que representan la erosión de las regiones expuestas.

Año tras año, nuestro país es sometido a la acción de estos fenómenos que originan las mayores calamidades. De 1950 a 1988 fueron registradas más de 100

inundaciones. Sólo en 1986 las inundaciones provocaron daños por más de 150 000 millones de pesos y afectaron a cerca de 57 000 personas. Otras consecuencias de estos fenómenos son los derrumbes de casas y edificios, así como los frecuentes aludes y deslizamientos de tierras que han destruido y sepultado habitaciones y habitantes de regiones de topografía abrupta.

Las tormentas o trombas de poca intensidad pueden ser sumamente dañinas si se efectúan sobre regiones muy pobladas de topografía muy abrupta que favorece la formación de aludes, deslizamientos de tierras y derrumbes. Tal fue el caso de la tormenta que en junio de 1987 se abatió sobre Cerro del Chiquihuite, al Norte de la Ciudad de México, originando derrumbes de bloques de rocas y aludes que derrumbaron y afectaron muchas viviendas. Al año siguiente, una tromba en Acapulco originó aludes que llevaron automóviles, estacionados en las partes altas, hasta las playas.

Los huracanes o ciclones son los fenómenos más destructivos anualmente. Todavía son patentes los fenómenos del Ciclón Gilberto de septiembre de 1988 sobre la Península de Yucatán, que causó un oleaje tan fuerte que llevó a un barco cubano sobre la playa de Cozumel y causó una gran destrucción en Nicaragua. Los tornados son fenómenos que desarrollan una grande y frecuente destrucción. Los tornados de Kansas, en 1974 (con vientos de 159 millas /hora) y de Osabrock del Norte de E.U.A son ejemplos de esta alta destrucción.

Los vientos dominantes sobre regiones terrestres de cierta latitudes originan la formación de medios desérticos en donde se forman dunas de arena que migran lenta pero constantemente en una dirección preferencial. Estas dunas migrantes han sepultado y están sepultando asentamientos humanos en regiones desérticas de nuestro país y de otras partes del mundo. Recientemente se han descubierto restos arqueológicos sepultados en el Norte de África desde el Siglo XIV antes de Cristo y de la Ciudad de Ubar en el Sur de Omán, por medio de imágenes especiales.

2. CORTICALES

El calor interno de la Tierra es el causante de fenómenos geológicos que afectan la corteza de manera directa o indirecta. Estos fenómenos son:

DIRECTOS

1. Volcánicos
2. Sísmicos

3. Hundimientos
4. Levantamiento

INDIRECTOS

1. Aludes
2. Deslizamientos
3. Tsunamis
4. Formación de acantilados
5. Degradación costera
6. Colapso de suelos y agrietamientos

El calor interno de la Tierra es el origen de procesos que se agrupan dentro de la Teoría de la Tectónica de Placas que es de una gran simplicidad y que permite saber cómo y dónde se generan los sismos, los volcanes y otros fenómenos asociados, así como deducir los registros geológicos derivados. Esta teoría se basa en que el fondo oceánico no es estático sino móvil, con procesos de generación y expansión permanente en lugares denominados dorsales oceánicas. La movilidad involucra toda la corteza oceánica que es desplazada por corrientes de convección que actúan bajo ella. Al desplazarse, la corteza oceánica desciende bajo la corteza continental de menor densidad, originando el proceso de subducción en los bordes continentales donde se encuentran las fosas oceánicas. Las zonas de las dorsales y las de subducción del mundo presentan una gran actividad sísmica y volcánica que han permitido dividir la corteza terrestre en placas denominadas tectónicas, que se desplazan originando choques entre ellas, uniéndose para formar placas más grandes o bien originando su rompimiento. Los procesos de choque de placas dan origen a las grandes cadenas montañosas de la Tierra que actualmente están en formación y levantamientos como Los Himalayas, Los Alpes, Los Sagros, asociadas a una gran actividad tectónica. **El volcanismo no es un fenómeno exclusivo de la Tierra, sino común en el Sistema Solar** ya que se ha detectado en Mercurio, Venus y Marte, así como en el satélite Io de Júpiter, indicando que en estos cuerpos existe y/o existió energía calorífica interna.

Los sismos matan y destruyen muy rápidamente. Históricamente, los terremotos han ocasionado la muerte de millones de personas, originándose varios de ellos, de gran magnitud, cada año. Los sismos más catastróficos mundialmente conocidos son los de Hsian, China, en 1556 (83 000 muertos); de Lisboa en 1775 (45 000 muertos); de San Francisco en 1906 (700 víctimas); de Yungai, Perú, en 1971 (50 000); el de la Ciudad de México; en 1985 (3 050 muertos). La muerte de las 50 000 personas de Yungai no fue debida directamente al fenómeno sísmico, sino a un enorme alud de hielo y rocas que se desprendió del volcán Huascarán que se encuentra en la cordillera de los Andes. Estos fenómenos son frecuentes en esta región de los Andes, donde en 1962 y en 1941 murieron 4 000 y 5 000 personas respectivamente a causa de aludes de nieve

(avalanchas). A causa del sismo de 1964 en Alaska, se originaron un Tsunami, hundimientos de terreno, desplazamientos de tierras y aludes. Un espectacular hundimiento de terreno se efectuó durante el sismo de Chile de 1960, cuando una zona de 30 por 500 km se hundió bajo las aguas hasta una profundidad de 2-3 metros en 10 segundos; este fenómeno fue acompañado por derrumbes, corrimientos de tierra aludes de origen sísmico.

Los recientes sismos efectuados en el Estado de California, E.U.A. durante 1994 y en Kobe, Japón en 1995, han demostrado que las catástrofes también se presentan en los países desarrollados aún en donde se han tomado las mayores precauciones para evitarlas. Estas catástrofes permiten saber que es necesario seguir investigando e implantando normas de seguridad que permitan minimizar los riesgos al máximo. Además, el sismo de Hyderabad, India, en Octubre de 1993, nos demuestra que aún las regiones consideradas como asísmicas y, como consecuencia de muy bajo riesgo, se pueden convertir en regiones de alto riesgo donde pueden perecer 30 000 personas en unos cuantos minutos. Lo anterior debe de advertirnos de que no existe en nuestro país ningún lugar estrictamente asísmico pues, en septiembre de 1995, tembló en la región entre Zacatecas y Durango considerada como de bajo riesgo sísmico.

En nuestro país la sismicidad y el volcanismo adquiere gran importancia ya que la constitución geológica del territorio nacional lo hace vulnerable a estos fenómenos geológicos. Los sismos más destructivos de este siglo, registrados en los estados de México, Puebla, Veracruz, Jalisco, Colima, Oaxaca, Michoacán, Guerrero, Morelos y en el Distrito Federal han dejado cerca de 5 000 muertos, sin contar los 3 050 reportados oficialmente para el Sismo del 1985 en la Zona Conurbada de la Cuenca de México.

Las erupciones volcánicas han sido contempladas con admiración, con superstición y miedo, aunque de los fenómenos endógenos sean posiblemente los más benéficos, al dar origen a los suelos de cultivo más fértiles. El volcanismo más frecuente se efectúa en los fondos oceánicos; sin embargo, el conocido normalmente es el continental que ha afectado a los asentamientos humanos desde hace miles de años y de los antecesores del hombre desde hace aproximadamente 3.5 millones de años en Tanzania. Ha habido erupciones que han hecho desaparecer civilizaciones. Tal es el caso de la erupción de la isla griega de Santorini, aproximadamente en el año 1500 antes de Cristo, que hizo desaparecer la Civilización Minoica, relacionada directamente con la Leyenda de la Atlántida. Otras erupciones, famosas por la cantidad de víctimas y por la destrucción que han efectuado son las de los volcanes: Vesubio en el año 79 de nuestra Era, que sepultó las ciudades italianas de Pompeya y Herculano y causó la muerte bajo sus cenizas de 2 000 personas; Etna en 1669, en la isla de Sicilia, que originó la muerte de 100 000 personas (en sus múltiples erupciones desde el año 500 antes de Cristo ha causado entre 1 y 2 millones de víctimas); Krakatoa en 1833, situado entre las islas de Sumatra y Java, cuya explosión fue escuchada hasta en el

Noroeste de Australia; Mont Pelée en 1902, en la Martinica, que causó la destrucción de la Ciudad de San Pièrre y 30 000 muertos y las erupciones recientes del Monte Santa Helena en 1980 en el estado de Washington, E.U.A. y el Nevado de Ruiz en 1985, que originó un alud de lodo y detritos rocosos que sepultó a la Ciudad de Armero en Colombia, matando a 23 000 residentes.

La Catástrofe de Armero debe citarse con mayor amplitud, ya que ejemplifica lo que puede suceder en regiones circundantes a la Sierra Nevada (Popocatépetl e Iztaccíhuatl) si no se toman medidas para controlar los asentamientos humanos en la Cuenca de México. El día 13 de noviembre de 1985, 23000 personas de las 25000 de la ciudad de Armero perecieron en unos cuantos minutos. Las 2000 personas restantes se salvaron porque evacuaron sus casas a tiempo, o vivían en las partes altas de la ciudad o fueron rescatadas.

La catástrofe fue originada por la actividad volcánica del Nevado del Ruiz, un volcán de 5 389 m de altura considerado como extinguido ya que había tenido alta actividad en 1595 y a principios del Siglo XIX. La actividad que originó la catástrofe se inició desde 1984 con sismos de baja intensidad que se incrementaron en frecuencia y en intensidad durante 1985, hasta que el volcanismo se hizo presente el 11 de Septiembre con una explosión y fumarolas que produjeron azufre. El 13 de Noviembre se efectuó una explosión a las 15 horas una fuerte erupción de piedra pómez y cenizas volcánicas que poco a poco licuaron las nieves y los hielos del volcán, formando un flujo de agua, con cenizas y detritos rocosos que descendió 4 000 m en 60 Km de distancia hacia el valle del río Magdalena, encañonándose antes en la Ciudad de Armero a la que cubrió en oleadas de 30 m. de espesor, depositando un volumen de lodo frío, primero, caliente, después, de 47 000 metros cúbicos por segundo (aproximadamente 1/5 del flujo del Río Amazonas). La ciudad quedó sepultada por 11.5 m de espesor de lodo que se extendió en 33 km cuadrados y que contenía bloques de roca de hasta 10 metros cúbicos. Este ejemplo nos indica que deben de reglamentarse los asentamientos humanos en las regiones circundantes a la Sierra Nevada, ya que se trata de zonas de alto riesgo volcánico, para evitar catástrofes semejantes o peores aún si el volcanismo alcanza proporciones mayores a las del Nevado del Ruiz

El volcanismo no ha causado en México tantas muertes como la sismicidad; sin embargo, nuestro país es característicamente volcánico y cuenta con algunos de los volcanes activos de alto riesgo a nivel mundial, así como regiones volcánicas de alto riesgo. El volcanismo ha originado en este siglo más de 2 000 víctimas, incluyendo los 1 770 muertos reportados oficialmente durante la erupción del Volcán El Chichón en 1982. Afortunadamente, las manifestaciones eruptivas del volcán Popocatépetl, desde finales de 1994 hasta principios de 1996, no han sido de gran magnitud, ya que sólo se limitaron a escasas efusiones de materiales piroclásticos que fueron dispersadas por

los vientos predominantemente hacia los estados de Puebla y Tlaxcala; sin embargo, son una advertencia de que este volcán es activo y que debe ser objeto de una permanente vigilancia que permita evitar catástrofes.

La sismicidad y el volcanismo son las manifestaciones más rápidas de la liberación de la energía interna de la tierra, manifestada por medio de vibraciones o de calor. Sin embargo, existen otras manifestaciones mucho más lentas que a veces pasan desapercibidas por la gente pero que a largo plazo modifican la topografía de regiones muy grandes. Así, se detectan hundimientos o levantamientos de zonas de la corteza, manifestados por el descubrimiento de ciudades sumergidas bajo el mar o por la presencia de acantilados o terrazas marinas por arriba del nivel del mar. Cerca de Pozzuoli, en la bahía de Nápoles, se descubrió en 1830 que la plataforma del Templo de Júpiter había estado bajo el nivel del mar, ya que las columnas están perforadas por organismos marinos hasta una altura de 7 m. Como actualmente se encuentra sobre el nivel del mar, se deduce que esta región ha estado sujeta a hundimientos y levantamientos lentos debidos a la actividad del volcán Vesubio. Otra región mediterránea que ha sufrido hundimiento es la de Cesárea Marítima, en la costa de Israel, donde se ha descubierto la ciudad romana bajo el mar, correspondiente al puerto de Julius. del tiempo del Emperador Claudius (año 10 antes de Cristo a 54 después de Cristo).

Los hundimientos paulatinos originados por efectos de calentamiento de la corteza terrestre, así como los originados por otros procesos geológicos, pueden modificar los sistemas hidrológicos superficiales, transformando áreas secas en áreas húmedas y de pantanos que pueden o no favorecer a los asentamientos humanos. Por el contrario, los levantamientos de zonas costeras originan que el oleaje marino erosione progresivamente las rocas, y formen acantilados que avanzan hacia el continente donde se encuentren asentamientos humanos.

Consecuencia de la sismicidad y del volcanismo son los fenómenos catastróficos que han ocasionado miles de muertos a causa de aludes y deslizamientos de tierras. También los tsunamis o maremotos son producto de esos fenómenos y han destruido regiones costeras y causado la muerte de miles de personas. En la Mitología Griega se reportan grandes inundaciones y en la Biblia el Diluvio que probablemente corresponden a maremotos que afectaron la región del Mar Mediterráneo. Uno de origen volcánico es el que debió producir la erupción del Volcán de la Isla de Santorini, hace 34 siglos, que se considera produjo olas más altas que las del Tsunami originado por la erupción del Volcán Krakatoa, en 1883, que alcanzaron 310 m. Otro, de origen sísmico, fue el que destruyó al puerto de Alejandría en el año 365 de nuestra Era. Uno de los más recientes fue el originado por el sismo de Alaska en 1964, cuyas olas, en el lugar de origen fueron de más de 8 metros, recorrieron todo el Océano Pacífico.

Otro fenómeno cortical importante, en regiones donde las rocas de la corteza son calcáreas, es el relacionado con la formación de **cavernas** por efecto de la disolución del carbonato de calcio por las aguas meteóricas. Esta disolución subterránea origina cavidades que pueden ser de kilómetros de longitud y de decenas a cientos de metros de altura que, cuando la cubierta se adelgaza demasiado, pierden por colapso los techos y se originan depresiones superficiales de grandes dimensiones. La construcción de casas, edificios y obras civiles sobre superficies aparentemente sólidas pero con cavernas incrementa el proceso de colapso que destruye las construcciones.

RESUMEN FENÓMENO	ORIGEN		CATÁSTRO FES		
	EXÓGENO	ENDOGENO ATM.	CORT	LENTAS	RÁPIDAS REPENTINAS
METEORITOS	X				X
COMETAS	X				X
TORMENTAS		X		X	
HURACANES		X		X	
TORNADOS		X		X	
GRANIZADAS		X		X	
SISMOS			X		X
VOLCANES			X	X	
HUNDIMIENTOS			X	X	X
LEVANTAMIENTOS			X	X	X
ALUDES		X	X		X
DESGLIZAMIENTOS		X	X	X	X
TSUNAMIS			X	X	X
SEQUIAS		X	X		
AVANCE DE DUNAS		X		X	

Con la excepción de los fenómenos de origen extraterrestre, los demás fenómenos no se distribuyen en la tierra al azar. Como consecuencia, es posible establecer mapas de distribución de las Zonas Sísmicas, de las Zonas Volcánicas, de las Zonas de Huracanes, de las Zona de Aludes, Zonas de Cavernas, etc. y determinar las **Regiones de Mayor o Menor Riesgo**. Estos mapas deben de ser accesibles para el público con el objetivo de que los asentamientos humanos se efectúen tomando como base la información acerca del riesgo existente. Debemos tomar en consideración que el riesgo depende de la frecuencia de repetición del fenómeno, de la cercanía a su lugar de origen, de la cantidad de gente en la región y de la vulnerabilidad de la población y de las construcciones a los efectos del fenómeno en cuestión.

C.- AGENTES ANTROPOGENOS

Las etapas del desarrollo de la Humanidades han determinado con base en la utilización de los recursos naturales como **satisfactores de las necesidades primarias y secundarias del Hombre**. Así, se relacionan las etapas Paleolítica y Neolítica, de nómadas recolectores y de sedentarios agricultores, con la utilización del Fuego y que dan paso a las etapas del uso del Cobre, del Bronce, de Hierro, etc. que llevan en su evolución a las etapas modernas de la utilización de la energía nuclear.

La explotación de los **recursos naturales, minerales y orgánicos**, como satisfactores de las necesidades crecientes de la Humanidad, ha originado un desequilibrio en la Naturaleza que se manifiesta de diferentes maneras dentro del sistema ecológico.

Las necesidades de Energía calorífica y la utilización de la madera con objetivos diferentes a su uso como energético ha originado una creciente e irracional utilización de los recursos forestales que ha incrementado las regiones desforestadas y las zonas desérticas, al modificarse las condiciones de evapotranspiración de las regiones originalmente cubiertas por árboles. Un ejemplo notable de esta situación es la desforestación gradual de las sierras circundantes a la Cuenca de México desde tiempos precolombinos cuando, inicialmente, con el objetivo de efectuar los asentamientos humanos dentro del lago se utilizó el sistema de pilotear, usando troncos de árboles que se clavaban en los sedimentos marginales y que permitían asentar las viviendas en medios lodosos. Por otra parte, la necesidad de contar con terrenos para asentamientos humanos o con tierras de cultivo y de agostadero ha motivado la desforestación de grandes extensiones de terreno en todos los continentes, alterando las condiciones naturales y favoreciendo los procesos de intemperismo y erosión de las zonas desforestadas, sobretodo aquellas de topografía más abrupta.

La explotación de los **recursos minerales metálicos y no metálicos** utilizando como satisfactores de la necesidad de vivienda y de materia prima para los procesos industriales ha originado la alteración de las condiciones superficiales y del subsuelo en la corteza terrestre. En efecto, la explotación superficial y subterránea de los yacimientos origina la formación de enormes cavidades que modifican las condiciones naturales las condiciones naturales de la corteza. Las cavidades superficiales cambian el paisaje y modifican las condiciones naturales de escurrimiento e infiltración de aguas meteóricas. Las cavidades subterráneas debilitan la corteza y frecuentemente llevan al colapso de sus techos que se manifiesta como zonas de hundimiento superficial que convierten las regiones otrora firmes en regiones inestables que impiden la

cimentación adecuada de viviendas, cotidianos de esa inestabilidad los tenemos en Pachuca, en Taxco y otras regiones mineras del país, así como en las zonas minadas de la Cuenca de México. Además, en el ^{caso} de las zonas mineras, las regiones de depósito de los residuos de los procesos de beneficio de los metales, se han convertido en zonas de contaminación de aguas superficiales que, al escurrir o infiltrarse, concentran sustancias tóxicas que las convierten en aguas no potables. -

Las necesidades crecientes de energía han motivado la explotación de los recursos de **carbón, de petróleo, gas** y de minerales de **uranio** de manera creciente desde el siglo XIX. Su explotación ha motivado alteraciones de la corteza como las citadas en el párrafo anterior. Sin embargo, posiblemente ha afectado más a las condiciones ecológicas relacionadas con la atmósfera que con las de la corteza. En efecto, la combustión del carbón y del petróleo origina productos que contaminan la atmósfera y que, al reaccionar con sus componentes, producen sustancias que favorecen la formación de lluvia ácida que tiene efectos muy dañinos sobre los organismos y los materiales inorgánicos de suelos, de rocas y otros materiales de construcción. Además, son fuente de la generación del ozono superficial al reaccionar con la luz del sol. La utilización de la energía nuclear para la generación de energía eléctrica se ha incrementado en los últimos años, como fuente energética alterna más limpia que el carbón y el petróleo. Sin embargo, si la contaminación atmosférica no es visible, las plantas nucleoelectricas producen sustancias de desecho que son altamente radiactivas que son muy dañinas a los seres vivos y que, por lo tanto, deben ser colocadas en recintos que impidan que la radiactividad afecte al Hombre. Los sitios de estos recintos deben ser establecidos en lugares de la corteza terrestre donde las condiciones geológicas sean las adecuadas.

Las necesidades crecientes de agua para producir corriente eléctrica o agua potable para satisfacer las necesidades de riego agrícola o de la industria han hecho necesario crear obras civiles (presas, canales, acueductos, etc.) que modifican drásticamente las condiciones ecológicas y geológicas regionales. Estas modificaciones son fuente de sismos, de hundimientos de terremotos que, aunados a las posibles rupturas de las cortinas y de otras obras civiles, hacen que se incremente el riesgo para los asentamientos humanos.

Las **obras civiles** construidas para satisfacer las necesidades de transporte son también causa de la alteración de los sistemas ecológicos que propicia la generación de zonas de derrumbes, aludes y deslizamientos de suelos al modificarse las condiciones de flujo e infiltración de las aguas superficiales.

La basura industrial y la producida por las comunidades urbanas representa un serio riesgo de contaminación atmosférica y de contaminación del agua superficial, del subsuelo y de los asentamientos humanos. Las zonas de disposición de la basura deben ser perfectamente bien seleccionadas desde el punto de vista de las condiciones geológicas superficiales y del subsuelo, con el objetivo de eliminar cualquier riesgo de contaminación de las aguas citadas y de la atmósfera que puedan ser focos de enfermedades para la población.

CONCLUSIÓN

Si queremos dejar a nuestras próximas generaciones un mundo adecuado para su subsistencia, es necesario que conozcamos, desde ahora, la realidad tal cual es, procurando que el punto de vista oficial no minimice las consecuencias de la falta de previsión de problemas que el mismo Gobierno tiene y debe de resolver para salvaguardar la salud y la paz sociales. En muchos casos, se llega al extremo de considerar que se vive una situación de estabilidad política y de paz social, cuando las fuentes de la violencia se han originado dentro de las mismas políticas gubernamentales, al confundirlas con los objetivos de los planes de desarrollo nacional. Es más, como indica Samuel Saynes Puente, al referirse en 1987 a la responsabilidad de los funcionarios, el mejor problema es el ignorado y la mejor solución es dar largas hasta triunfar por agotamiento y negligencia, a sabiendas que los mejores funcionarios son los que adoban bien su porvenir y no incomodan al Sistema, porque no afrontan los conflictos y no defienden con hombría el cumplimiento de las leyes y reglamentos.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

- BOOTH, B., & FITCH, F. (1986). *La inestable Tierra*. Salvat Editores, S. A.
- SAGAN, C. (1980). *Cosmos*. Random House, Inc..
- CARTWRIGHT, M. & DOWLEY, T. (1980). *Spaceship Earth*. Diagram Visual Information, Ltd.
- RUDOFISKY, B. (1964). *Architecture without Architects*. Doubleday & Co., Inc.
- MELHAM, T. (1978). *Earthquakes* (in Powers of Nature). National Geographic Society: 6-47.
- BALLARD, R.D. (1983). *Exploring our living Planet*. National Geographic Society.
- COATES, D.R. (1981). *Environmental Geology*. John Wiley and Sons, Inc.
- OAKESHOTT, G.B. (1976). *Volcanoes and Earthquakes. Geological Violence*. McGraw Hill Book Co.
- SULLIVAN, W. (1974). *Continents in motion. The new Earth debate*. McGraw Hill Book Co.

- GALLANOPOULOS, A.G. & BACON, E. (1969). *Atlantis*. The Bobbs Merrill Co.
- SCHILLER, R. (1972). La explosión que transformó un mundo (in Maravillas y Misterios del Mundo que nos rodea). Selecciones del Reader's Digest: 64-68.
- BOLT, H. & McDONALD, S. (1977). *Geological Hazards*. Springer-Verlag.
- The DAILY NEWS & The JOURNAL AMERICAN (1980). *Volcano. The Eruption of Mount St. Helens*. Longview Publishing Co.
- DE FRANCISCIS, A. (1974). *The Buried Cities, Pompeii & Herculaneum*. Crescent Books.
- SIMKIN, T. & FISKE, R.S. (1983). *KRAKATOA - The 1983 Eruption and its effects*. Smithsonian Institution Press.
- ALATORRE, S.; GIAMBRUNO, S.; LÓPEZ ANDRADE, J., MENDOZA DELGADO, M., PAIZ, I. y RAMOS PLUMA, A. (1990). **GRANDES DESASTRES**. *Historias verídicas protagonizadas por la naturaleza*. Selecciones del Reader's Digest.
- KELLER, E. A. (1992). *Environmental Geology*. Macmillan Publishing Company.
- MONTGOMERY, A. W. (1992). *Environmental Geology*. Wm. C. Brown Publishers.
- ANDREWS, M. (1992). *El Nacimiento de Europa*. RTVE y Editorial Planeta, S.A.
- ERICKSON, J. (1992). *Objetivo, La Tierra*. Colisiones con Asteroides: Pasado y Futuro. Serie McGraw Hill de Divulgación Científica.
- ALATORRE, S.; GIAMBRUNO, S.; LÓPEZ ANDRADE, J., MENDOZA DELGADO, M., PAIZ, I.; RAMOS PLUMA, A.; RUDROY, M. y VÁZQUEZ I. (1992). **MARAVILLAS Y MISTERIOS DEL MUNDO QUE NOS RODEA**. Selecciones del Reader's Digest.
- MARTÍN, L.G.; CASTRO, I.; LUCIA, L. y ELMSON, D. (1993). *La formación de la Tierra*. Vol. I. Debate. Ediciones del Prado.
- ROBINSON, A. (1993). *Earth Shock. Climate, Complexity and the Forces of Nature*. Thames and Hudson Ltd. London.
- PIPKIN, B.W. (1994). *Geology and the Environment*. West Publishing Company.

REVISTAS

NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY: Marzo 1981, Febrero -1982, 1986, 1987 Abril 1988; Mayo-1984, 1986; Junio-1982, 1987; Julio, 1988; Agosto 1985; Septiembre 1983; Octubre, 1988; Noviembre 1982.

SIEMPRE: Junio 1987.

PARIS-MATCH: Noviembre 1985.

LIFE: Enero 1988, Febrero 1989.

TIME: Octubre 1989.

INFORMACIÓN (CONACYT), Julio 1985.

LA RECHERCHE, Mayo 1989.

GACETA IMP: Octubre 1985.

MUY INTERESANTE: Febrero 1989.

SCIENTIFIC AMERICAN: Noviembre 1976, Abril 1977, Marzo 1981.

PERIÓDICOS: La Prensa, Excelsior, Uno más Uno.

ENCYCLOPEDIA BRITANNICA: *Book of the Year - 1985*.

ATLAS OF NORTH-AMERICA



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

CURSOS ABIERTOS

GEOLOGÍA AMBIENTAL

**TEMA:
EL SUELO
FUNCIONES DE LOS SUELOS**

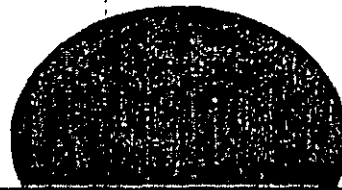
**ING. JUAN SÁNCHEZ PÉREZ
PALACIO DE MINERÍA
ABRIL 2000**

EL SUELOS

FUNCIONES DE LOS SUELOS

por

Juan Sánchez Pérez



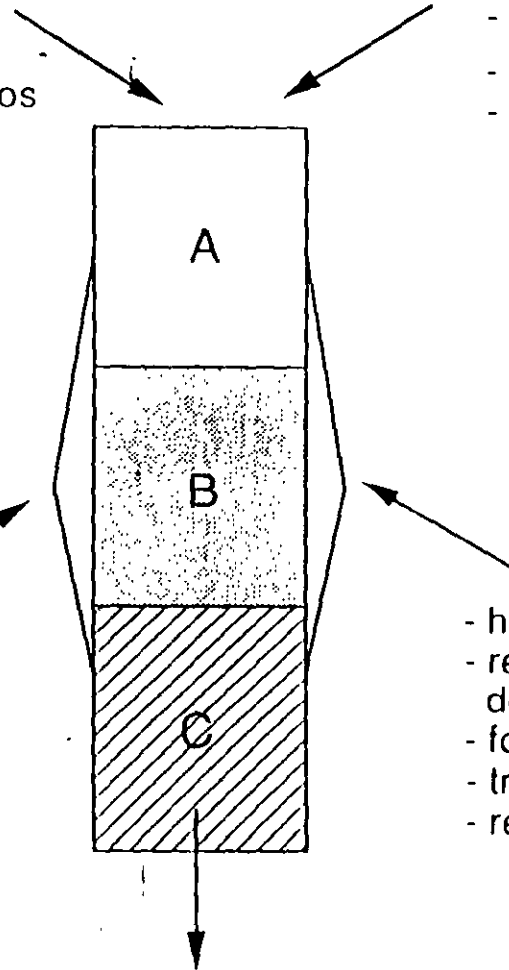
- ADICIONES**
- agua: pp, condensación
escorrentía
 - O₂ y CO₂
 - N, Cl y S
 - M.O.
 - materiales como sedimentos
 - energía del sol

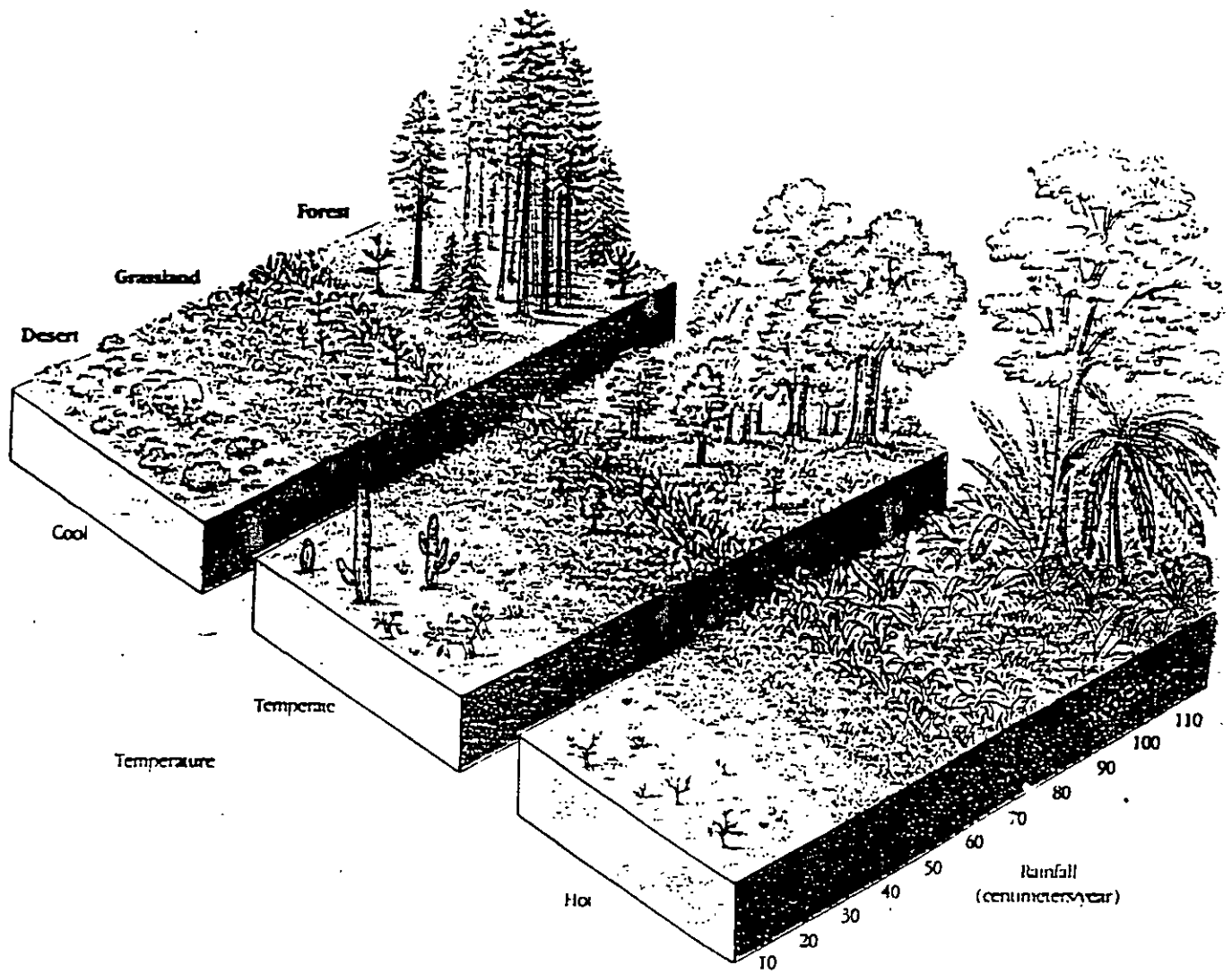
- PÉRDIDAS**
- agua: evapotranspiración
 - N: denitrificación
 - C: oxidación de la M.O. (CO₂)
 - sedimentos: erosión
 - energía por radiación

- TRANSLOCACIONES**
- arcilla, M.O, óxidos
 - circulación de nutrientes
 - sales solubles

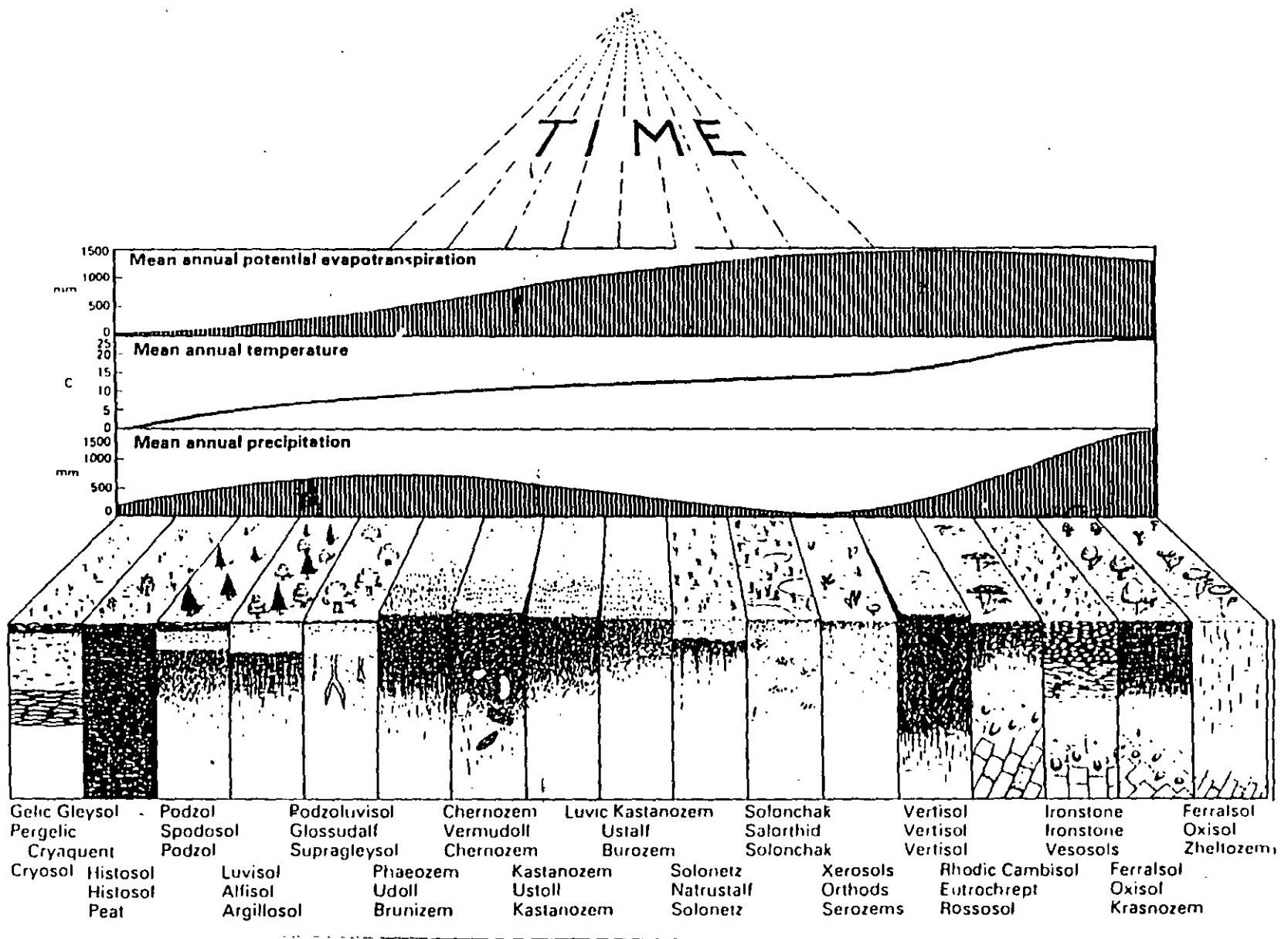
- TRANSFORMACIONES**
- humificación de la M.O.
 - reducción del tamaño
de partícula por intemperismo
 - formación de estructura y concreciones
 - transformación mineral
 - reacciones con arcillas y M.O.

- PÉRDIDAS**
- agua y materiales
en solución o suspensión

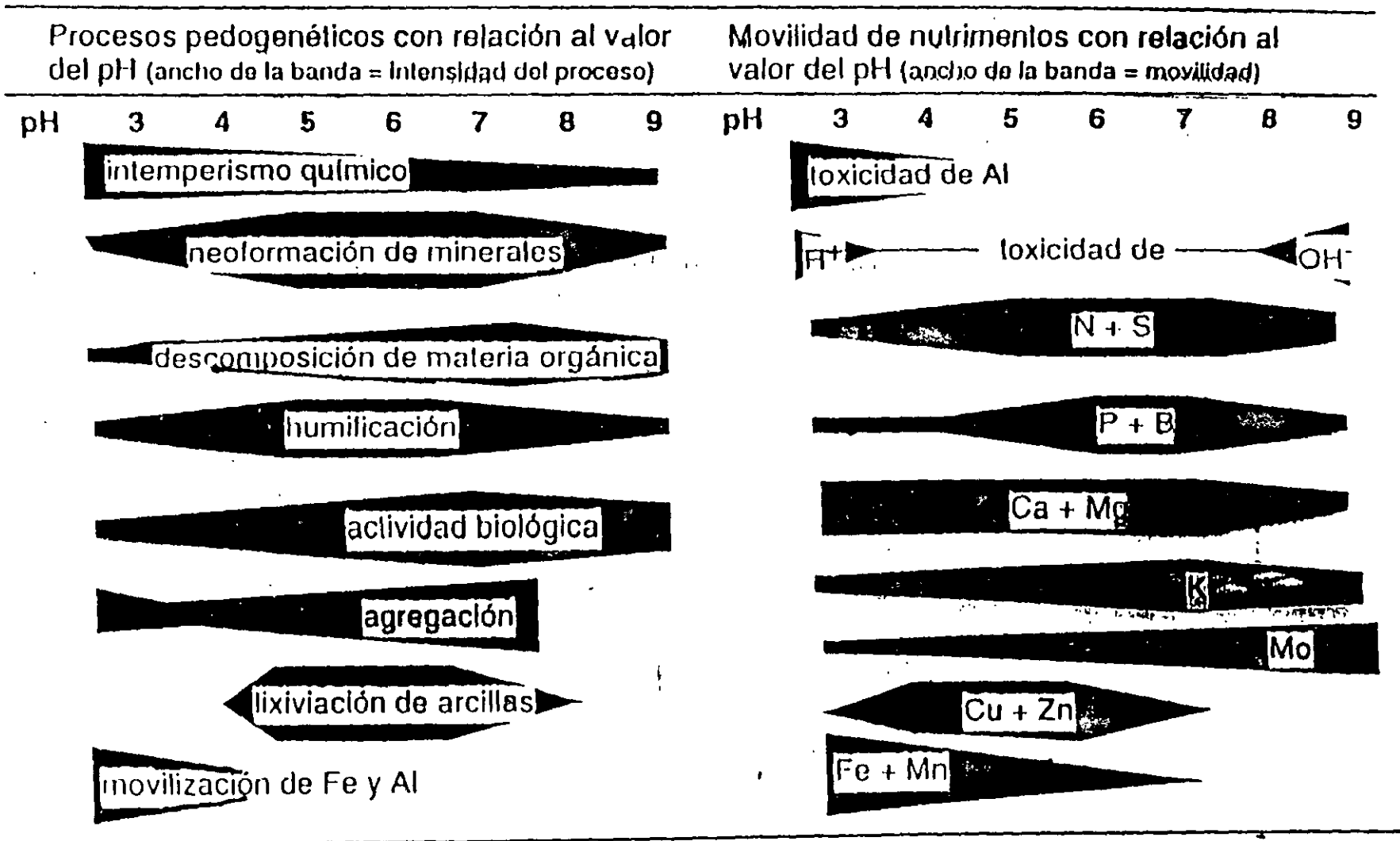




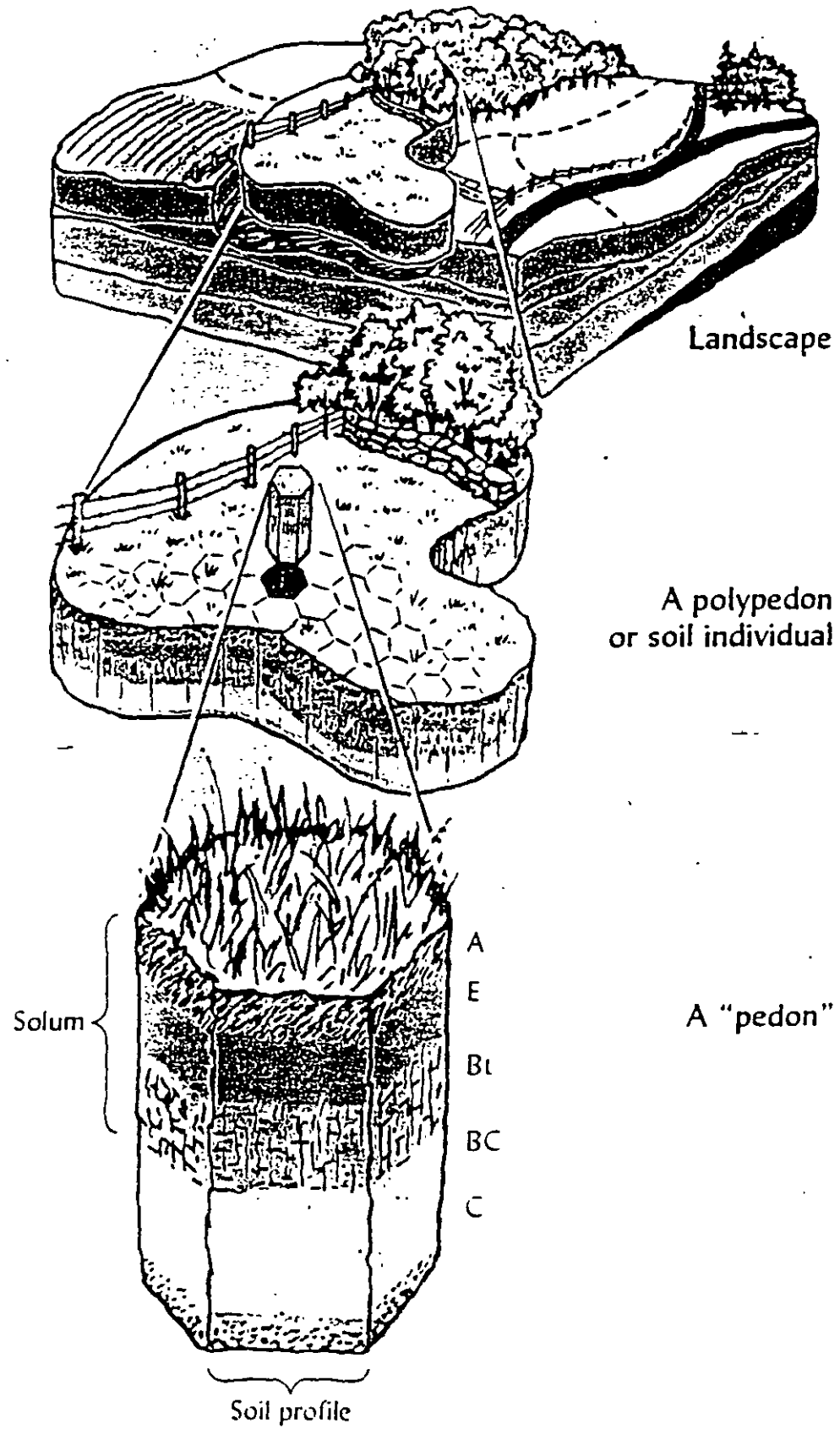
The relationship between rainfall, temperature, and vegetation. Rainfall determines the basic type of vegetation, and temperature is responsible for alterations in this basic type.



Fitzpatrick 1980



(fuente: Schroeder, 1969)



Landscape

A polypedon
or soil individual

A "pedon"

Solum

A
E
Bt
BC
C

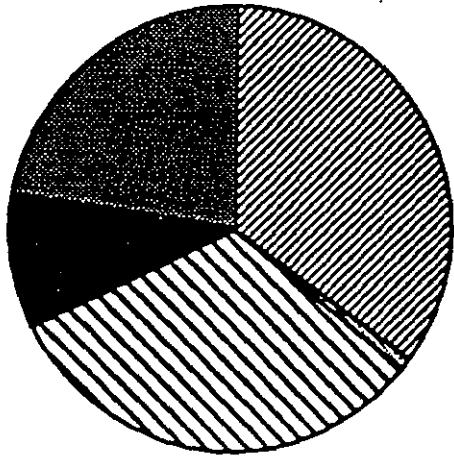
Soil profile

Función del suelo	Importancia de protegerlo	Indicador
Cuerpo natural	Documento histórico del paisaje	Perfil del suelo
	Habitat de los organismos	Variedad, abundancia y desarrollo de especies
Representa el espacio dónde crecen las raíces de las plantas (sosten y fuente de nutrimentos)	Base para el desarrollo de la vegetación natural	Producción de biomasa y diversidad
	Base de la producción agrícola	Rendimiento y calidad de los cultivos
Por sus propiedades, es un filtro y un amortiguador de contaminantes.	Protección de aguas superficiales y profundas	Calidad del agua

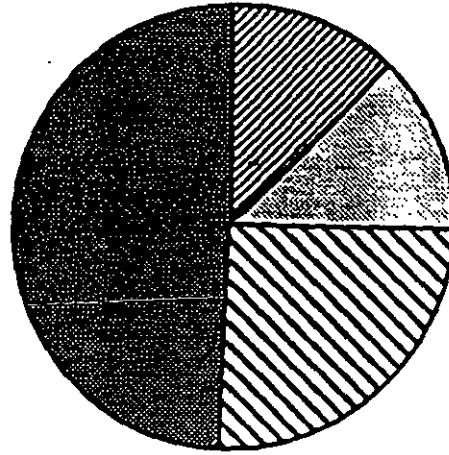
Procesos de degradación en suelos

<p>F I S I C O S</p>	<ul style="list-style-type: none"> - remoción - erosión por agua por viento - sellamiento - drenado - encostramiento - compactación 	<p>minería</p> <p>deforestación</p> <p>construcción</p> <p>manejo del suelo</p> <p>inundación</p> <p>maquinaria</p>
<p>Q U I M I C O S</p>	<ul style="list-style-type: none"> - acidificación y aluminización - ensalitramiento - alcalinización - contaminación polvos metales orgánicos gases ácidos 	<p>precipitación ácida</p> <p>fertilización, riego</p> <p>deposición de residuos, polvos</p> <p>industria, tráfico, deposición de residuos, plaguicidas.</p>
<p>B I O L O G I C O S</p>	<ul style="list-style-type: none"> - disminución de la actividad biológica - remoción de la materia orgánica 	<p>agricultura,</p> <p>ganadería</p>

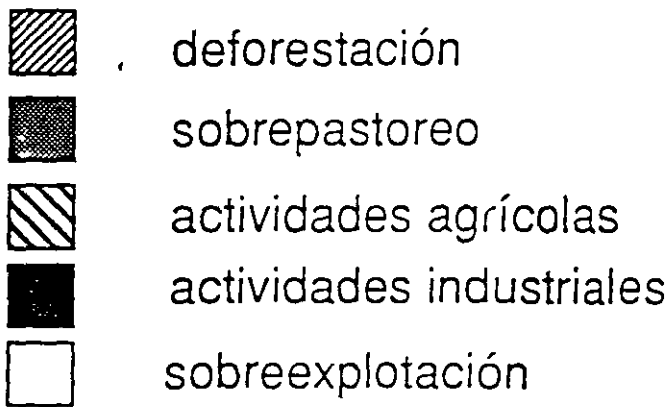
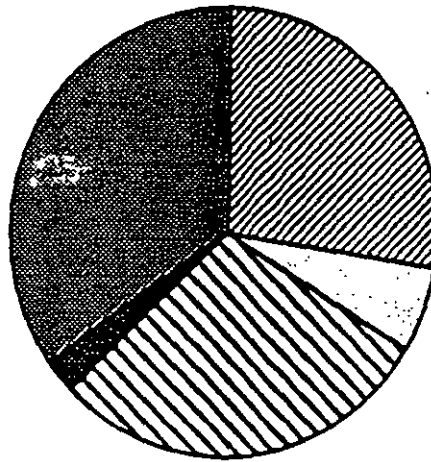
EUROPA



AFRICA



MUNDO



CAUSAS DE LA DEGRADACIÓN DEL SUELO

Noroeste de Australia; Mont Pelée en 1902, en la Martinica, que causó la destrucción de la Ciudad de San Pierre y 30 000 muertos y las erupciones recientes del Monte Santa Helena en 1980 en el estado de Washington, E.U.A. y el Nevado de Ruiz en 1985, que originó un alud de lodo y detritos rocosos que sepultó a la Ciudad de Armero en Colombia, matando a 23 000 residentes.

La Catástrofe de Armero debe citarse con mayor amplitud, ya que ejemplifica lo que puede suceder en regiones circundantes a la Sierra Nevada (Popocatépetl e Iztaccíhuatl) si no se toman medidas para controlar los asentamientos humanos en la Cuenca de México. El día 13 de noviembre de 1985, 23000 personas de las 25000 de la ciudad de Armero perecieron en unos cuantos minutos. Las 2000 personas restantes se salvaron porque evacuaron sus casas a tiempo, o vivían en las partes altas de la ciudad o fueron rescatadas.

La catástrofe fue originada por la actividad volcánica del Nevado del Ruiz, un volcán de 5 389 m de altura considerado como extinguido ya que había tenido alta actividad en 1595 y a principios del Siglo XIX. La actividad que originó la catástrofe se inició desde 1984 con sismos de baja intensidad que se incrementaron en frecuencia y en intensidad durante 1985, hasta que el volcanismo se hizo presente el 11 de Septiembre con una explosión y fumarolas que produjeron azufre. El 13 de Noviembre se efectuó una explosión a las 15 horas una fuerte erupción de piedra pómez y cenizas volcánicas que poco a poco licuaron las nieves y los hielos del volcán, formando un flujo de agua, con cenizas y detritos rocosos que descendió 4 000 m en 60 Km de distancia hacia el valle del río Magdalena, encañonándose antes en la Ciudad de Armero a la que cubrió en oleadas de 30 m. de espesor, depositando un volumen de lodo frío, primero, caliente, después, de 47 000 metros cúbicos por segundo (aproximadamente 1/5 del flujo del Río Amazonas). La ciudad quedó sepultada por 11.5 m de espesor de lodo que se extendió en 33 km cuadrados y que contenía bloques de roca de hasta 10 metros cúbicos. Este ejemplo nos indica que deben de reglamentarse los asentamientos humanos en las regiones circundantes a la Sierra Nevada, ya que se trata de zonas de alto riesgo volcánico, para evitar catástrofes semejantes o peores aún si el volcanismo alcanza proporciones mayores a las del Nevado del Ruiz

El volcanismo no ha causado en México tantas muertes como la sismicidad; sin embargo, nuestro país es característicamente volcánico y cuenta con algunos de los volcanes activos de alto riesgo a nivel mundial, así como regiones volcánicas de alto riesgo. El volcanismo ha originado en este siglo más de 2 000 víctimas, incluyendo los 1 770 muertos reportados oficialmente durante la erupción del Volcán El Chichón en 1982. Afortunadamente, las manifestaciones eruptivas del volcán Popocatépetl, desde finales de 1994 hasta principios de 1996, no han sido de gran magnitud, ya que sólo se limitaron a escasas efusiones de materiales piroclásicos que fueron dispersadas por

los vientos predominantemente hacia los estados de Puebla y Tlaxcala; sin embargo, son una advertencia de que este volcán es activo y que debe ser objeto de una permanente vigilancia que permita evitar catástrofes.

La sismicidad y el volcanismo son las manifestaciones más rápidas de la liberación de la energía interna de la tierra, manifestada por medio de vibraciones o de calor. Sin embargo, existen otras manifestaciones mucho más lentas que a veces pasan desapercibidas por la gente pero que a largo plazo modifican la topografía de regiones muy grandes. Así, se detectan **hundimientos o levantamientos** de zonas de la corteza, manifestados por el descubrimiento de ciudades sumergidas bajo el mar o por la presencia de acantilados o terrazas marinas por arriba del nivel del mar. Cerca de Pozzuoli, en la bahía de Nápoles, se descubrió en 1830 que la plataforma del Templo de Júpiter había estado bajo el nivel del mar, ya que las columnas están perforadas por organismos marinos hasta una altura de 7 m. Como actualmente se encuentra sobre el nivel del mar, se deduce que esta región ha estado sujeta a hundimientos y levantamientos lentos debidos a la actividad del volcán Vesubio. Otra región mediterránea que ha sufrido hundimiento es la de Cesárea Marítima, en la costa de Israel, donde se ha descubierto la ciudad romana bajo el mar, correspondiente al puerto de Julius, del tiempo del Emperador Claudius (año 10 antes de Cristo a 54 después de Cristo).

Los hundimientos paulatinos originados por efectos de calentamiento de la corteza terrestre, así como los originados por otros procesos geológicos, pueden modificar los sistemas hidrológicos superficiales, transformando áreas secas en áreas húmedas y de pantanos que pueden o no favorecer a los asentamientos humanos. Por el contrario, los levantamientos de zonas costeras originan que el oleaje marino erosione progresivamente las rocas, y formen **acantilados** que avanzan hacia el continente donde se encuentren asentamientos humanos.

Consecuencia de la sismicidad y del volcanismo son los fenómenos catastróficos que han ocasionado miles de muertos a causa de **aludes y deslizamientos de tierras**. También los **tsunamis o maremotos** son producto de esos fenómenos y han destruido regiones costeras y causado la muerte de miles de personas. En la Mitología Griega se reportan grandes inundaciones y en la Biblia el Diluvio que probablemente corresponden a maremotos que afectaron la región del Mar Mediterráneo. Uno de origen volcánico es el que debió producir la erupción del Volcán de la Isla de Santorini, hace 34 siglos, que se considera produjo olas más altas que las del Tsunami originado por la erupción del Volcán Krakatoa, en 1883, que alcanzaron 310 m. Otro, de origen sísmico, fue el que destruyó al puerto de Alejandría en el año 365 de nuestra Era. Uno de los más recientes fue el originado por el sismo de Alaska en 1964, cuyas olas, en el lugar de origen fueron de más de 8 metros, recorrieron todo el Océano Pacífico.

Otro fenómeno cortical importante, en regiones donde las rocas de la corteza son calcáreas, es el relacionado con la formación de **cavernas** por efecto de la disolución del carbonato de calcio por las aguas meteóricas. Esta disolución subterránea origina cavidades que pueden ser de kilómetros de longitud y de decenas a cientos de metros de altura que, cuando la cubierta se adelgaza demasiado, pierden por colapso los techos y se originan depresiones superficiales de grandes dimensiones. La construcción de casas, edificios y obras civiles sobre superficies aparentemente sólidas pero con cavernas incrementa el proceso de colapso que destruye las construcciones.

RESUMEN FENÓMENO	ORIGEN			CATÁSTRO FES		
	EXÓGENO	ENDOGENO ATM.	CORT	LENTAS	RÁPIDAS	REPENTINAS
METEORITOS	X					X
COMETAS	X					X
TORMENTAS		X			X	
HURACANES		X			X	
TORNADOS		X			X	
GRANIZADAS		X			X	
SISMOS			X			X
VOLCANES			X	X		
HUNDIMIENTOS			X	X	X	
LEVANTAMIENTOS			X	X	X	
ALUDES		X	X		X	
DESLIZAMIENTOS		X	X	X	X	
TSUNAMIS			X	X	X	
SEQUIAS		X	X			
AVANCE DE DUNAS		X		X		

Con la excepción de los fenómenos de origen extraterrestre, los demás fenómenos no se distribuyen en la tierra al azar. Como consecuencia, es posible establecer **mapas de distribución** de las Zonas Sísmicas, de las Zonas Volcánicas, de las Zonas de Huracanes, de las Zona de Aludes, Zonas de Cavernas, etc. y determinar las **Regiones de Mayor o Menor Riesgo**. Estos mapas deben de ser accesibles para el público con el objetivo de que los asentamientos humanos se efectúen tomando como base la información acerca del riesgo existente. Debemos tomar en consideración que el riesgo depende de la frecuencia de repetición del fenómeno, de la cercanía a su lugar de origen, de la cantidad de gente en la región y de la vulnerabilidad de la población y de las construcciones a los efectos del fenómeno en cuestión.

C.- AGENTES ANTROPOGENOS

Las etapas del desarrollo de la Humanidades han determinado con base en la utilización de los recursos naturales como **satisfactores de las necesidades primarias y secundarias del Hombre**. Así, se relacionan las etapas Paleolítica y Neolítica, de nómadas recolectores y de sedentarios agricultores, con la utilización del Fuego y que dan paso a las etapas del uso del Cobre, del Bronce, de Hierro, etc. que llevan en su evolución a las etapas modernas de la utilización de la energía nuclear.

La explotación de los **recursos naturales, minerales y orgánicos**, como satisfactores de las necesidades crecientes de la Humanidad, ha originado un desequilibrio en la Naturaleza que se manifiesta de diferentes maneras dentro del sistema ecológico.

Las necesidades de Energía calorífica y la utilización de la madera con objetivos diferentes a su uso como energético ha originado una creciente e irracional utilización de los recursos forestales que ha incrementado las regiones desforestadas y las zonas desérticas, al modificarse las condiciones de evapotranspiración de las regiones originalmente cubiertas por árboles. Un ejemplo notable de esta situación es la desforestación gradual de las sierras circundantes a la Cuenca de México desde tiempos precolombinos cuando, inicialmente, con el objetivo de efectuar los asentamientos humanos dentro del lago se utilizó el sistema de pilotear, usando troncos de árboles que se clavaban en los sedimentos marginales y que permitían asentar las viviendas en medios lodosos. Por otra parte, la necesidad de contar con terrenos para asentamientos humanos o con tierras de cultivo y de agostadero ha motivado la desforestación de grandes extensiones de terreno en todos los continentes, alterando las condiciones naturales y favoreciendo los procesos de intemperismo y erosión de las zonas desforestadas, sobretodo aquellas de topografía más abrupta.

La explotación de los **recursos minerales metálicos y no metálicos** utilizando como satisfactores de la necesidad de vivienda y de materia prima para los procesos industriales ha originado la alteración de las condiciones superficiales y del subsuelo en la corteza terrestre. En efecto, la explotación superficial y subterránea de los yacimientos origina la formación de enormes cavidades que modifican las condiciones naturales las condiciones naturales de la corteza. Las cavidades superficiales cambian el paisaje y modifican las condiciones naturales de escurrimiento e infiltración de aguas meteóricas. Las cavidades subterráneas debilitan la corteza y frecuentemente llevan al colapso de sus techos que se manifiesta como zonas de hundimiento superficial que convierten las regiones otrora firmes en regiones inestables que impiden la

cimentación adecuada de viviendas, cotidianos de esa inestabilidad los tenemos en Pachuca, en Taxco y otras regiones mineras del país, así como en las zonas minadas de la Cuenca de México. Además, en el ^{caso} de las zonas mineras, las regiones de depósito de los residuos de los procesos de beneficio de los metales, se han convertido en zonas de contaminación de aguas superficiales que, al escurrir o infiltrarse, concentran sustancias tóxicas que las convierten en aguas no potables.

Las necesidades crecientes de energía han motivado la explotación de los recursos de **carbón, de petróleo, gas y de minerales de uranio** de manera creciente desde el siglo XIX. Su explotación ha motivado alteraciones de la corteza como las citadas en el párrafo anterior. Sin embargo, posiblemente ha afectado más a las condiciones ecológicas relacionadas con la atmósfera que con las de la corteza. En efecto, la combustión del carbón y del petróleo origina productos que contaminan la atmósfera y que, al reaccionar con sus componentes, producen sustancias que favorecen la formación de lluvia ácida que tiene efectos muy dañinos sobre los organismos y los materiales inorgánicos de suelos, de rocas y otros materiales de construcción. Además, son fuente de la generación del ozono superficial al reaccionar con la luz del sol. La utilización de la energía nuclear para la generación de energía eléctrica se ha incrementado en los últimos años, como fuente energética alterna más limpia que el carbón y el petróleo. Sin embargo, si la contaminación atmosférica no es visible, las plantas nucleoelectricas producen sustancias de desecho que son altamente radiactivas que son muy dañinas a los seres vivos y que, por lo tanto, deben ser colocadas en recintos que impidan que la radiactividad afecte al Hombre. Los sitios de estos recintos deben ser establecidos en lugares de la corteza terrestre donde las condiciones geológicas sean las adecuadas.

Las necesidades crecientes de **agua** para producir corriente eléctrica o agua potable para satisfacer las necesidades de riego agrícola o de la industria han hecho necesario crear obras civiles (presas, canales, acueductos, etc.) que modifican drásticamente las condiciones ecológicas y geológicas regionales. Estas modificaciones son fuente de sismos, de hundimientos de terremotos que, aunados a las posibles rupturas de las cortinas y de otras obras civiles, hacen que se incremente el riesgo para los asentamientos humanos.

Las **obras civiles** construidas para satisfacer las necesidades de transporte son también causa de la alteración de los sistemas ecológicos que propicia la generación de zonas de derrumbes, aludes y deslizamientos de suelos al modificarse las condiciones de flujo e infiltración de las aguas superficiales.

La basura industrial y la producida por las comunidades urbanas representa un serio riesgo de contaminación atmosférica y de contaminación del agua superficial, de subsuelo y de los asentamientos humanos. Las zonas de disposición de la basura deben ser perfectamente bien seleccionadas desde el punto de vista de las condiciones geológicas superficiales y del subsuelo, con el objetivo de eliminar cualquier riesgo de contaminación de las aguas citadas y de la atmósfera que puedan ser focos de enfermedades para la población.

CONCLUSIÓN

Si queremos dejar a nuestras próximas generaciones un mundo adecuado para su subsistencia, es necesario que conozcamos, desde ahora, la realidad tal cual es, procurando que el punto de vista oficial no minimice las consecuencias de la falta de previsión de problemas que el mismo Gobierno tiene y debe de resolver para salvaguardar la salud y la paz sociales. En muchos casos, se llega al extremo de considerar que se vive una situación de estabilidad política y de paz social, cuando las fuentes de la violencia se han originado dentro de las mismas políticas gubernamentales, al confundirlas con los objetivos de los planes de desarrollo nacional. Es más, como indica Samuel Saynes Puente, al referirse en 1987 a la responsabilidad de los funcionarios, el mejor problema es el ignorado y la mejor solución es dar largas hasta triunfar por agotamiento y negligencia, a sabiendas que los mejores funcionarios son los que adoban bien su porvenir y no incomodan al Sistema, porque no afrontan los conflictos y no defienden con hombría el cumplimiento de las leyes y reglamentos.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

- BOOTH, B., & FITCH, F. (1986). *La inestable Tierra*. Salvat Editores, S. A.
- SAGAN, C. (1980). *Cosmos*. Random House, Inc..
- CARTWRIGHT, M. & DOWLEY, T. (1980). *Spaceship Earth*. Diagram Visual Information, Ltd.
- RUDOFISKY, B. (1964). *Architecture without Architects*. Doubleday & Co., Inc.
- MELHAM, T. (1978). *Earthquakes* (in Powers of Nature). National Geographic Society: 6-47.
- BALLARD, R.D. (1983). *Exploring our living Planet*. National Geographic Society.
- COATES, D.R. (1981). *Environmental Geology*. John Wiley and Sons, Inc.
- OAKESHOTT, G.B. (1976). *Volcanoes and Earthquakes. Geological Violence*. McGraw Hill Book Co.
- SULLIVAN, W. (1974). *Continents in motion. The new Earth debate*. McGraw Hill Book Co.

GALLANOPOULOS, A.G. & BACON, E. (1969). *Atlantis*. The Bobbs Merrill Co.

SCHILLER, R. (1972). La explosión que transformó un mundo (*in* Maravillas y Misterios del Mundo que nos rodea). Selecciones del Reader's Digest: 64-68.

BOLT, H. & McDONALD, S. (1977). *Geological Hazards*. Springer-Verlag.

The DAILY NEWS & The JOURNAL AMERICAN (1980). *Volcano. The Eruption of Mount St. Helens*. Longview Publishing Co.

DE FRANCISCIS, A. (1974). *The Buried Cities, Pompeii & Herculaneum*. Crescent Books.

SIMKIN, T. & FISKE, R.S. (1983). *KRAKATOA - The 1983 Eruption and its effects*. Smithsonian Institution Press.

ALATORRE, S.; GIAMBRUNO, S.; LÓPEZ ANDRADE, J., MENDOZA DELGADO, M., PAIZ, I. y RAMOS PLUMA, A. (1990). **GRANDES DESASTRES**. *Historias verídicas protagonizadas por la naturaleza*. Selecciones del Reader's Digest.

KELLER, E. A. (1992). *Environmental Geology*. Macmillan Publishing Company.

MONTGOMERY, A. W. (1992). *Environmental Geology*. Wm. C. Brown Publishers.

ANDREWS, M. (1992). El Nacimiento de Europa. RTVE y Editorial Planeta, S.A.

ERICKSON, J. (1992). Objetivo, La Tierra. Colisiones con Asteroides: Pasado y Futuro. Serie McGraw Hill de Divulgación Científica.

ALATORRE, S.; GIAMBRUNO, S.; LÓPEZ ANDRADE, J., MENDOZA DELGADO, M., PAIZ, I.; RAMOS PLUMA, A.; RUDROY, M. y VÁZQUEZ I. (1992). **MARAVILLAS Y MISTERIOS DEL MUNDO QUE NOS RODEA**. Selecciones del Reader's Digest.

MARTÍN, L.G.; CASTRO, I.; LUCIA, L. y ELMSON, D. (1993). La formación de la Tierra. Vol. I. Debate. Ediciones del Prado.

ROBINSON, A. (1993). *Earth Shock. Climate, Complexity and the Forces of Nature*. Thames and Hudson Ltd. London.

PIPKIN, B.W. (1994). *Geology and the Environment*. West Publishing Company.

REVISTAS

NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY: Marzo 1981, Febrero -1982, 1986, 1987 Abril 1988; Mayo-1984, 1986; Junio-1982, 1987; Julio, 1988; Agosto 1985; Septiembre 1983; Octubre, 1988; Noviembre 1982.

SIEMPRE: Junio 1987.

PARIS-MATCH: Noviembre 1985.

LIFE: Enero 1988, Febrero 1989.

TIME: Octubre 1989.

INFORMACIÓN (CONACYT), Julio 1985.

LA RECHERCHE, Mayo 1989.

GACETA IMP: Octubre 1985.

MUY INTERESANTE: Febrero 1989.

SCIENTIFIC AMERICAN: Noviembre 1976, Abril 1977, Marzo 1981.

PERIÓDICOS : La Prensa, Excelsior, Uno más Uno.

ENCYCLOPEDIA BRITANNICA: *Book of the Year - 1985*.

ATLAS OF NORTH-AMERICA

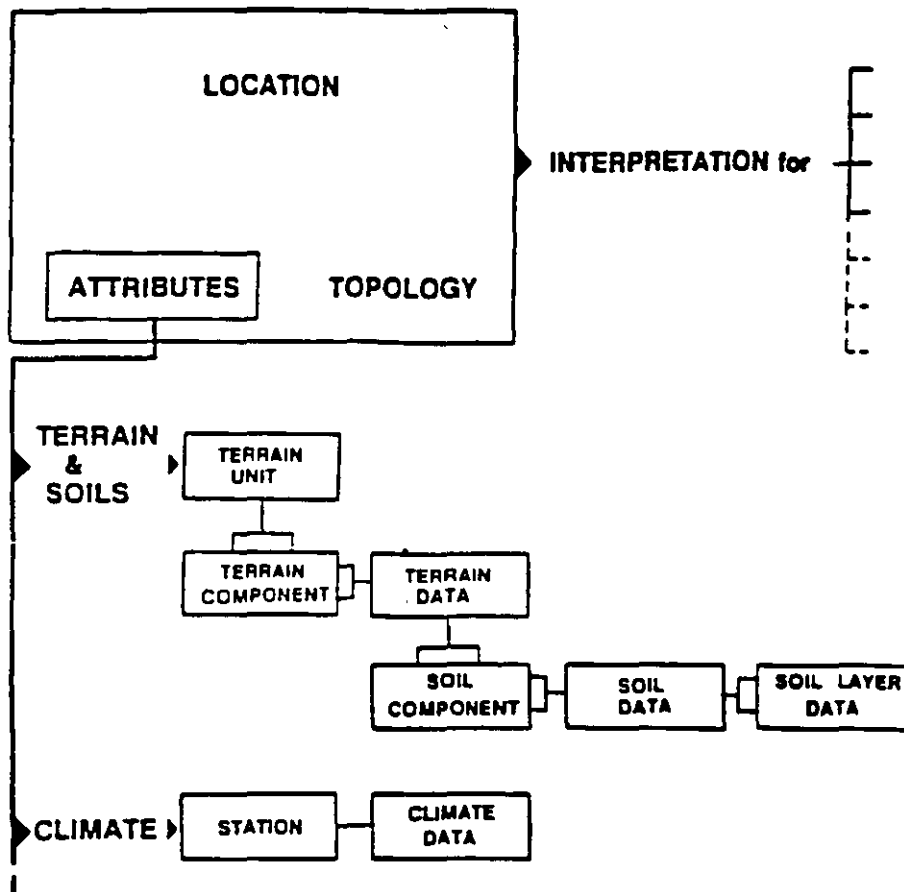


Figura VI.2 - Estructura de una base de datos de suelos y del relieve.

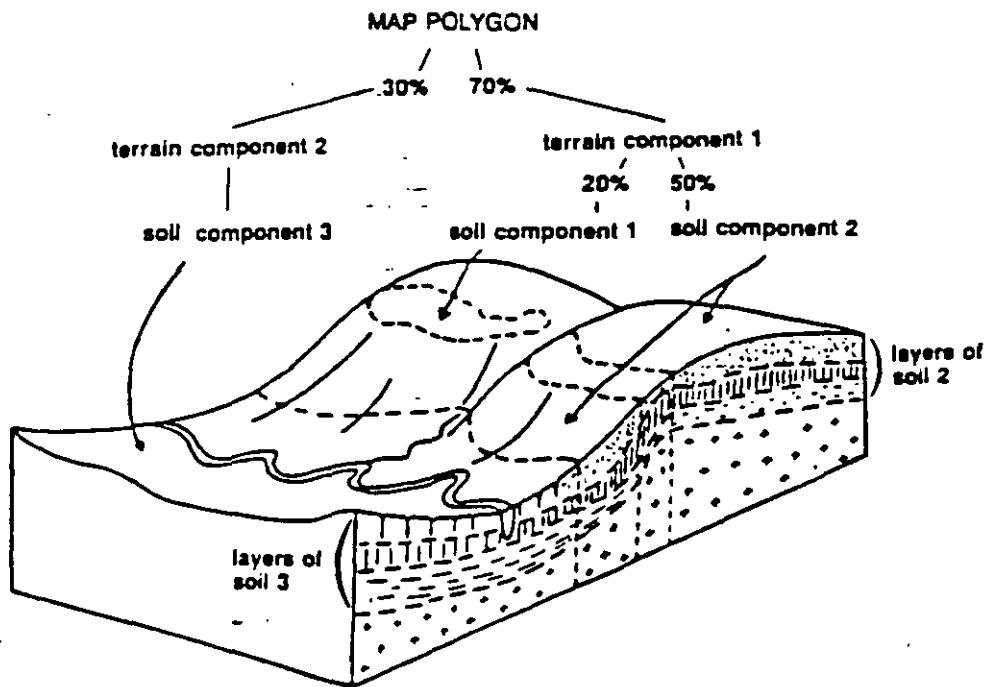


Figura VI.3 - Bloque diagramático de un polígono de suelos y del relieve.

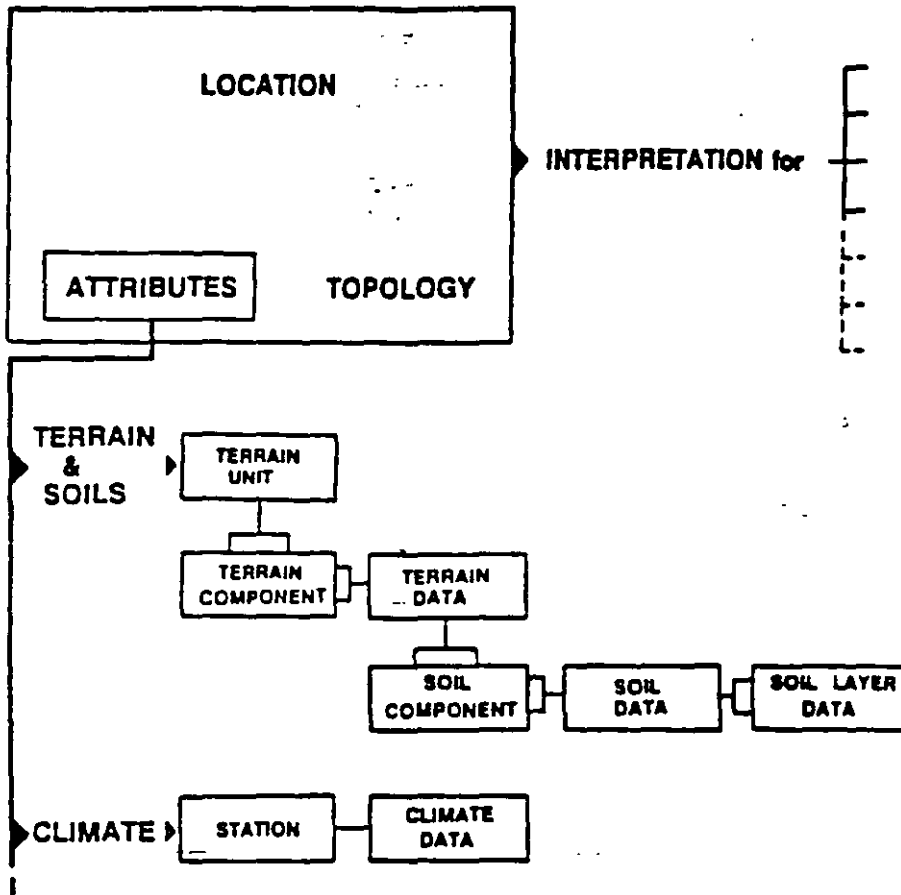


Figura VI.2 - Estructura de una base de datos de suelos y del relieve.

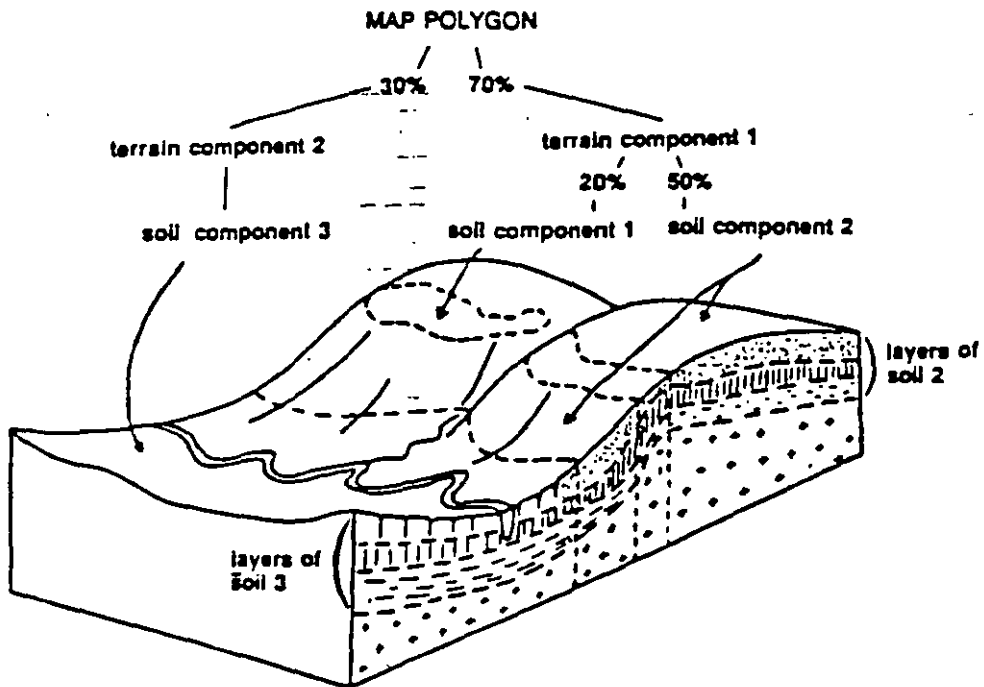
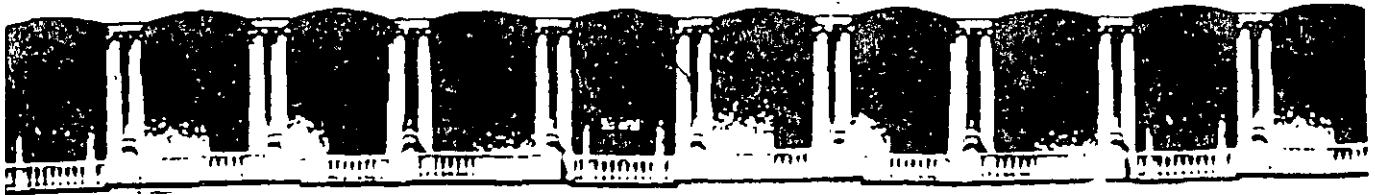


Figura VI.3.- Bloque diagramático de un polígono de suelos y del relieve.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA PARA EL CAPÍTULO II

PRINCIPALES PROCESOS Y RECURSOS GEOLÓGICOS

- 1.- **Committee on Geological Sciences.**(1972). The earth and human affairs. San Francisco: Canfield Press.
- 2.- **DASMANN, R. F.** (1972). Environmental conservation. 3rd. Ed., John Wiley and Sons, New York, N.Y.
- 3.- **DEWEY, J. F.** (1972). Plate tectonics. Scientific American 22, pp. 56-68.
- 4.- **DOLAN, R.; HOWARD, A and GALLENSON, A.** (1974). Man's impact on the Colorado River and the Grand Canyon. American Scientist, V. 62, pp. 392-401.
- 5.- **FERRIANS, O. J. Jr.; KACHADOORIAN, R. and GREENE, G. W.** (1969). Permafrost and related engineering problems in Alaska. U. S. Geological Survey, Professional Paper 678.
- 6.- **FLAWN, P.T.** (1970). Environmental Geology. New York, Harper and Row.
- 7.- **HART, S. S.** (1974). Potentially swelling soil and rock in the front Range Urban Corridor. Environmental Geology 7. Colorado Geological Survey.
- 8.- **HOLDEN, C.** (1971). Nuclear waste: Kansas riled by AEC plans for atom dump. Science 172. 249 - 250.
- 9.- **HUNT, C. B.** (1972). Geology of soils. San Francisco: W. H. Freeman.
- 10.- **ISACKS, B.; OLIVER, J. and SYKES, L.** (1968). Seimology and the new global tectonics. Journal of Geophysical Research 73: 5855 - 99.
- 11.- **JESSUP, W. E.** (1964). Baldwin Hills dam failure. Civil Engineering 34: 62 -
- 12.- **JONES, D. E. Jr. and HOLTZ, W. G.** (1973). Expansive Soils - the hidden disaster. Civil Engineering, August, 49 - 51.



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

CURSOS ABIERTOS

GEOLOGÍA AMBIENTAL

TEMA:

**ESTUDIOS PARA DETERMINAR LA CONTAMINACIÓN EN EL SUBSUELO
POR COMPUESTOS ORGÁNICOS LIGEROS.**

**M. en C. LUIS ANTONIO AGUILAR PÉREZ
PALACIO DE MINERÍA
ABRIL 2000**

CURSO DE GEOLOGÍA AMBIENTAL

ESTUDIOS PARA DETERMINAR LA CONTAMINACIÓN EN EL SUBSUELO POR COMPUESTOS ORGÁNICOS LIGEROS

Elaborado por

M. en C. Luis Antonio Aguilar Pérez

Septiembre de 1999

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

1. DEFINICIÓN DE CONTAMINACIÓN Y COMPUESTOS QUE LA ORIGINAN
2. CONTAMINACIÓN EN EL SUBSUELO Y RELACIÓN CON LA GEOLOGÍA AMBIENTAL
3. MARCO LEGAL EN MÉXICO Y EN E.U.A.
4. MÉTODOS PARA DETERMINAR LA CONTAMINACIÓN EN EL SUBSUELO
5. ¿COMO REMEDIAR LAS ZONAS CONTAMINADAS?
6. CASOS ESTUDIO EN MÉXICO Y EN NORTEAMÉRICA
7. CONCLUSIONES

REFERENCIAS

INTRODUCCIÓN

El propósito de estas notas es dar al alumno una idea de lo que significa la hidrogeología de contaminantes y del objetivo principal de esta rama de la geología, el cual es la determinación de la contaminación en el subsuelo. Los procesos que pueden originar contaminación en el subsuelo, los contaminantes que se pueden encontrar, el marco regulador ambiental al respecto tanto en México como en los Estados Unidos de América. También se ofrece un breve resumen de los métodos de remediación o saneamiento de una zona contaminada ilustrándola con casos estudio tanto en México como en Norteamérica.

Por otro lado no se pretende que los alumnos después de leer estas notas sean expertos en hidrogeología de contaminantes, pero sí que entiendan y estén conscientes de la problemática al respecto así como que ponderen la importancia que tiene para el desarrollo de un país dentro del marco de la sustentabilidad, la solución de la contaminación del subsuelo.

El inicio del uso del petróleo en México registrado históricamente, se remonta hacia el período Preclásico que abarca los años de 1500 - 200 a.c. En este período las culturas de Remojadas, Alvarado y Viejón, culturas que florecieron en el centro del Estado de Veracruz, fabricaban alfarería y figurillas de barro las cuales pintaban con chapopote (Museo Nacional de Antropología, 1998). Posteriormente en el Preclásico tardío - Clásico temprano (100 a 300 d.c.) los Huastecos utilizaron el chapopote para decorar figurillas de barro cremoso (México Desconocido, 1994) y a mediados-finales del período Clásico y principios del Postclásico aproximadamente del año 600 a 900 d.c., los Totonacas utilizaban intensamente el chapopote para diversos fines, entre estos la pintura de cerámica. Las culturas indígenas del Golfo de México y principalmente en lo que ahora es el estado de Veracruz, han utilizado una de las formas del petróleo oxidado llamada "Chapopotli" que significa "grasa que humea". esta palabra constituye un mexicanismo y en "español" se ha denominado Chapopote y las formas en que lo utilizaron son las siguientes: (México Desconocido, 1994; Chenaut, 1996; PEMEX, 1989; León-López, 1974; Museo Nacional de Antropología, 1973, 1998; Davies, 1973; Covarrubias, 1957).

- Elaboración de goma de mascar;
- Fabricación de artículos de cerámica. Como ejemplo se mencionan las figuras de cabezas humanas con adornos en forma de cresta, en las cuales la cresta y las pupilas están pintadas con chapopote (algunas de estas figuras se exhiben en el Museo de Antropología en la ciudad de México y en el Museo de Antropología de Xalapa, Figura 2.1);
- Para usos medicinales;
- Como material cementante e impermeabilizante en construcciones y embarcaciones;
- Para fines rituales como incienso;

- Como iluminante (de donde viene su nombre).

Incluso en la actualidad todavía existen asentamientos humanos en el Estado de Veracruz que llevan el nombre de chapopote tal como "Chapopote de Núñez", Chapopotillo", y "El Chapo" por mencionar algunos ejemplos. Después de que las culturas del Golfo de México iniciaron el uso del petróleo oxidado o chapopote otras culturas también lo utilizaron principalmente en la construcción de cimentaciones, como la azteca en el centro de México.

Durante la época colonial realmente no se realizó una explotación sistematizada del petróleo que afloraba en las chapopoteras, y no fue sino hasta el año de 1862 en el Cerro del Tepeyac, donde el ingeniero Antonio del Castillo de la perforación de un pozo obtuvo agua mezclada con petróleo, el cual se utilizó para iluminación. En 1881, el Sr. Arthur Autrey un estadounidense de origen irlandés nacionalizado mexicano, fue la primera persona que, en forma sistemática y con tecnologías industriales, empezó a transformar el petróleo y a comercializarlo al comprar una mina de petróleo en donde instaló una refinería llamada "La Constancia" en Cantón de Papantla, Veracruz. Posteriormente, entre 1910 y 1920, se empezaron a utilizar en México los conocimientos geológicos y geofísicos de profesionistas que aplicaron estas técnicas a la exploración petrolera en México (PEMEX, 1988a, 1988b, 1988c y 1989).

Desde principios de siglo hasta el 18 de marzo de 1938 fecha de la expropiación del petróleo por el entonces presidente Lázaro Cárdenas, inversionistas extranjeros desarrollaron y explotaron el petróleo mexicano. A partir de 1938 hasta la fecha la historia de la transformación del petróleo y del gas natural en la república Mexicana se ha caracterizado principalmente por cubrir las necesidades del mercado nacional. (PEMEX, 1988b, 1988c y 1989; León-López, 1974; IMP, 1975).

En la actualidad, México es considerado el segundo de los principales países productores de petróleo crudo en América y el séptimo a nivel mundial (PEMEX, 1996a, 1997; INEGI, 1997a, b, c). Tomando en cuenta lo expuesto anteriormente no es difícil comprender que desde tiempos prehispánicos México es considerado un país petrolero por excelencia y de que aún en la actualidad, los compuestos orgánicos derivados del petróleo son los principales compuestos orgánicos industriales producidos y manejados en México. Sin embargo, uno de los aspectos importantes que hay que considerar dentro del esquema del uso y aplicaciones de los compuestos derivados del petróleo es la generación implícita de residuos y sustancias peligrosas y su impacto al ser humano y al ambiente, especialmente en uno de los recursos más preciados en nuestro país, el agua subterránea.

Como ya fue mencionado, en México los hidrocarburos derivados del petróleo constituyen una parte esencial en la industria mexicana, especialmente los hidrocarburos aromáticos, ya que muchos de estos compuestos se usan en industrias tales como la automotriz; como solventes (tolueno, xileno y derivados bencénicos) y desengrasantes en la industria química; metalmecánica; como base de pinturas, resinas; para fabricación de gasolinas y diesel, etc. Sin embargo, desde el punto de vista impacto ambiental y al ser humano, los hidrocarburos aromáticos pueden ocasionar serios problemas ambientales e incluso al ser humano, ya que varios de ellos son cancerígenos y peligrosos (Howard y otros, 1990; Plunkett, 1979; API, 1980a, b).

Es muy importante considerar en forma apropiada el impacto al subsuelo de la contaminación por hidrocarburos derivados del petróleo ya que de lo contrario se pueden repetir sucesos como el ocurrido el 22 de abril de 1992, en la ciudad de Guadalajara, Jalisco. Este siniestro ocurrió, debido principalmente a la contaminación del subsuelo por hidrocarburos aromáticos contenidos en las gasolinas y diesel. La zona afectada abarcó un área de 13 kilómetros de largo por 100 m de ancho, en la cual la destrucción fue total, matando seres humanos y destruyendo bienes materiales como viviendas, automóviles, obras de infraestructura civil, etc. (Caldwell y otros, 1993. 1994).

1. DEFINICIÓN DE CONTAMINACIÓN Y COMPUESTOS QUE LA ORIGINAN

1.1 Definición de contaminación.

La contaminación en el subsuelo (suelo/roca y agua subterránea debajo del nivel del terreno natural) se define en la literatura como la introducción de compuestos químicos en el subsuelo como resultado de las actividades del hombre tal como la industria, agricultura, construcción, etc. En algunos casos cuando la concentración de éstos compuestos químicos alcanza valores que se consideran nocivos para la salud humana y el medio ambiente se le denomina "polución" (Freeze & Cherry, 1979).

No solo las actividades humanas causan "contaminación" en el subsuelo, también se presentan situaciones en que se introducen compuestos químicos al subsuelo en concentraciones que ponen en peligro la salud humana por fenómenos naturales tal como en el caso de formación y existencia de yacimientos minerales, actividad ígnea, formación y existencia de yacimientos petrolíferos, etc.

1.2 Fuentes y compuestos que originan contaminación en el subsuelo.

1.2.1 Fuentes que producen contaminación en el subsuelo.

Históricamente las actividades industriales, sociales, económicas y culturales realizadas por el hombre, especialmente hasta antes de la década de los sesentas no tomaban en cuenta la protección al medio ambiente en general y en particular a los recursos naturales que se encuentran en el subsuelo tal como el agua subterránea. En la década de los setentas y principalmente en los ochentas empezaron a promulgarse y aplicarse leyes, normas y guías, así como otros instrumentos de una política ambiental, para proteger el medio ambiente incluyendo los recursos subterráneos. Por otro lado en la década de los noventas nació el concepto de desarrollo sustentable o sostenible, el cual implica que para alcanzar un desarrollo industrial, social, económico y cultural que perdure a través de generaciones se debe de asumir una responsabilidad ambiental que tenga como objetivo primordial la protección al medio ambiente y para el caso que nos concierne al subsuelo, particularmente al agua subterránea.

Existen numerosas fuentes de contaminación al subsuelo como producto de las actividades del hombre las cuales se enlistan a continuación (Cherry, 1987):

- Almacenamiento y disposición de todo tipo de residuos (sólidos municipales, industriales y radiactivos).
- Generación, transporte y disposición de aguas residuales.
- Actividades agrícolas

- Fugas y derrames de compuestos orgánicos tal como hidrocarburos, solventes, etc. a partir de tanques de almacenamiento subterráneos y superficiales
- Disposición de desechos líquidos en pozos profundos
- Almacenamiento y disposición de jales provenientes de la minería.
- Fosas sépticas
- Arrastre de aguas pluviales
- Procesos en lotes de plantas industriales
- Actividades terroristas, políticas, subversivas, guerras, etc.
- Otros.

1.2.2 Compuestos que la originan.

Dependiendo de la fuente y del tipo de actividades que se realicen en un sitio en cuestión se pueden tener uno o varios compuestos químicos en el subsuelo y en diferentes fases (sólida, líquida, gaseosa o combinación de estas). En general se dividen en tres tipos: compuestos orgánicos, compuestos inorgánicos y biológico infecciosos.

Compuestos orgánicos.

El uso de los compuestos químicos orgánicos fabricados por el hombre se ha incrementado desde la segunda guerra mundial. Se conocen hasta la fecha más de 3.000.000 (tres millones) de compuestos orgánicos de los cuales alrededor de 40.000 son los más usados en la actualidad (Barker, 1989; Solomons, 1992). Desafortunadamente en muchos casos poco se conoce de la toxicidad de estos compuestos y de su comportamiento en el subsuelo. Algunos de estos compuestos orgánicos pueden ser muy nocivos a la salud humana incluso en concentraciones en el agua subterránea del orden de partes por billón o incluso menores. En la actualidad el efecto en la salud humana de muchos de estos contaminantes y su comportamiento en el subsuelo se encuentra en investigación.

En términos generales los principales compuestos orgánicos que se encuentran en el subsuelo son los siguientes:

- Hidrocarburos monoaromáticos (BTEX). Forman parte importante de las gasolinas

- Hidrocarburos alcanos. Como por ejemplo etano, propano, butano
- Hidrocarburos poliaromáticos. Como por ejemplo el naftaleno
- Bifenilos policlorados. Como por ejemplo los askareles
- Solventes clorinados. como por ejemplo el 1,1,1-Tricloroetano
- Plaguicidas (organoclorados y organofosforados). Como por ejemplo el DDT y el malatión, paratión
- Fenoles y ácidos orgánicos. Como por ejemplo el ácido benzoico, pentaclorofenol etc.
- Nitroaromáticos y quetonas cíclicas. Como por ejemplo el nitrobenceno, dinitrobenceno, etc.
- Compuestos orgánicos halogenados y no-halogenados como los alcoholes. Como por ejemplo el cloroformo y el etanol
- Ftalatos. Como por ejemplo el ftalato dimetilico

Metales

Los más comunes en el agua subterránea y los que representan un peligro a la salud humana son los siguientes:

- Antimonio
- Arsénico
- Bario
- Berilio
- Cadmio
- Cromo
- Mercurio
- Níquel
- Plata
- Plomo
- Selenio
- Vanadio

Microorganismos

Virus

Bacterias

Otros

Los hidrocarburos derivados del petróleo producidos en la República Mexicana abarcan cinco grupos principales:

i) Petróleo Crudo. Se clasifica de acuerdo a su densidad API en pesado (densidad API $\leq 27^\circ$) o ligero (densidad API $> 27^\circ$). El petróleo crudo excluye la producción de condensados y la de líquidos del gas natural obtenidos en plantas de extracción de licuables. PEMEX produce tres tipos de

petróleo crudo denominadas (PEMEX, 1996a, b):

- Maya. Crudo pesado con densidad API 22° y 3.3% de azufre en peso.
- Istmo. Crudo ligero con densidad API 33.6° y 1.3% de azufre en peso.
- Olmeca. Crudo muy ligero con densidad API 39.3° y 0.8% de azufre en peso.

ii) Petroquímicos básicos. Son los productos químicos elaborados por la nación, por conducto de Petróleos Mexicanos o de organismos o empresas subsidiarias de dicha institución o asociadas a la misma, creadas por el Estado, en las que no pueden tener participación de ninguna especie la iniciativa privada. Estos productos son ocho y comprenden los siguientes compuestos: Butano, etano, heptano, hexano, materia prima para negro de humo, naftas, pentanos y propano. (PEMEX, 1996a, b, 1997)

iii) Petroquímicos secundarios. Son los productos petroquímicos cuya elaboración requiere permiso de la Secretaría de Energía. PEMEX produce 13 compuestos petroquímicos secundarios y son los siguientes: Acetileno, amoníaco, benceno, butadieno, butilenos, etileno, metanol, n-parafinas, ortoxileno, paraxileno, propileno, tolueno y xilenos. La iniciativa privada produce más de 600 diferentes productos petroquímicos secundarios (PEMEX, 1996a, b, 1997).

iv) Petroquímicos no controlados. Estos compuestos pueden ser elaborados indistintamente por el sector público o privado sin requerir autorización alguna por parte de la Secretaría de Energía. Estos compuestos son los más numerosos. PEMEX produce 35.

v) Productos de refinación. Incluyen los siguientes productos: Gas "LPG" o licuado, gas seco, gasolinas, turbosinas y combustible para aeronaves, kerosenos, diesel, gasóleo industrial, combustóleo, asfaltos, aceites lubricantes, grasas, parafinas, otros como aeroflex 1-2, coque, gasóleo de vacío a exportación, extracto furfural y fondos de alto vacío (PEMEX, 1996a, b, 1997; INEGI, 1994a, b, 1997a, b, c).

Características físicas y químicas de los compuestos orgánicos

Como parte de los estudios para determinar el impacto al subsuelo por contaminación de productos orgánicos es muy importante conocer y determinar las propiedades físicas y químicas de los compuestos en cuestión ya que la estructura físico-química de estos compuestos determina en gran medida la naturaleza y el comportamiento de los mismos en el medio ambiente (North, 1985). Las propiedades físico-químicas más importantes para entender el comportamiento de las sustancias orgánicas en el subsuelo son las siguientes (Schwarzenbach y otros, 1993; Howard, 1990; Devitt y otros, 1987):

- Presión de vapor

- Solubilidad en agua
- Constante de Henry
- Coeficiente de distribución de carbón orgánico (K_{oc})
- Peso específico
- Viscosidad
- Constante dieléctrica
- Punto de ebullición
- Peso molecular

2. LA CONTAMINACIÓN DEL SUBSUELO Y SU RELACIÓN CON LA GEOLOGÍA AMBIENTAL

Tradicionalmente en los programas escolares sobre todo en norteamérica se ha separado el estudio de la contaminación en el subsuelo y la geología ambiental. Sin embargo, dada la importancia que implica el estudio de la contaminación en el subsuelo se ha generado una nueva rama de las ciencias de la tierra que se denomina en la actualidad **Hidrogeología de Contaminantes** (en inglés Contaminant Hydrogeology) la cual es diferente de la hidrogeología clásica (o geohidrología llamada por algunos autores), la cual se enfoca a la determinación y explotación del agua subterránea.

La hidrogeología de contaminantes es una "nueva" ciencia que aplica los conocimientos de la hidrogeología clásica, geoquímica, toxicología y ciencias básicas aplicadas (física, matemáticas, etc.) para determinar en un sitio en particular:

- Si existe contaminación.
- Los compuestos químicos que la originaron.
- La geometría de la misma
- La afectación tanto en la salud humana como en el medio ambiente y
- Los métodos para remediar el sitio.

3. MARCO LEGAL EN MÉXICO Y EN E.U.A.

3.1 Marco legal en México.

En México el 28 de enero de 1988 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). Esta Ley junto con el Reglamento para la prevención y control de la contaminación de aguas publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 29 de marzo de 1973 y la Ley de Aguas Nacionales y su reglamento publicada el día 1º de diciembre de 1992 en el Diario Oficial de la Federación, constituyen los principales instrumentos legales de política ecológica en cuanto a control de la contaminación en el subsuelo. Existen además las siguientes normas oficiales mexicanas en cuanto a ubicación de sitios para

disponer y diseñar rellenos sanitarios (NOM-083-ECOL-1994); confinamientos controlados de residuos peligrosos (NOM-055-ECOL-1993); para prevenir la contaminación de acuíferos (NOM-003-CNA-1996), así como los límites de calidad de agua para consumo humano (NOM-SSA1-127-1994). todas estas normas oficiales mexicanas de una u otra forma se relacionan con el control de la contaminación en el subsuelo.

Es importante mencionar que en México la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca no ha establecido niveles de limpieza para la remediación de sitios contaminados ya sea para suelos/roca y/o agua subterránea. Sin embargo, la tendencia del Instituto Nacional de Ecología es la determinación de dichos niveles de limpieza con base en un estudio de riesgo ambiental y a la salud humana. La SEMARNAP emitió en julio de 1996 el Protocolo de los Requisitos que deben Cumplir los Promoventes de Servicios para la Remediación de Sitios Contaminados por Residuos Peligrosos. en dicho documento se menciona, que el proponente de la remediación de un sitio contaminado debe de proponer los niveles de limpieza a alcanzar en base a un análisis de riesgo ambiental y a la salud humana.

3.2 Marco legal en los E.U.A.

A continuación se ofrece un resumen de las principales leyes y reglamentaciones en materia ambiental relacionadas con la contaminación en el subsuelo y particularmente con el agua subterránea que han sido promulgadas en los EUA.

En los Estados Unidos de América (EUA) el Congreso aprobó en octubre de 1976 el Acta de Conservación y Recuperación de los Recursos naturales (Resource Conservation and Recovery Act, RECRA). Subsecuentemente la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (United States Environmental Protection Agency, USEPA o simplemente EPA) promulgó en 1980 la primera regulación (en concordancia con lo establecido en la RECRA de 1976) para monitorear la calidad del agua subterránea en las zonas donde se producían, trataban, transportaban, almacenaban o disponían residuos industriales peligrosos lo cual incluyó cientos de miles de sitios en toda la Unión Americana. En 1986, el Congreso aprobó las Modificaciones sobre los Residuos Sólidos y Peligrosos a la versión de RECRA de 1976, la cual incluyó el monitoreo del agua subterránea en las zonas donde se encontraban los tanques de almacenamiento subterráneos de compuestos químicos que en ese entonces en los EUA eran de cientos de miles.

El Congreso en Diciembre de 1980 aprobó el Acta de Respuesta Ambiental Comprensiva, Compensación y Responsabilidad Legal (en inglés Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act, CERCLA) mejor conocida como Superfondo (en inglés superfund). Esta Acta de remediar o sanear los sitios contaminados con residuos industriales peligrosos que en ese entonces sumaban decenas de miles. En 1986 se incluyeron en la CERCLA el Acta de Reautorización y Modificación del Superfondo (Superfund Amendments and Reauthorization Act, SARA).

El Congreso de los EUA en 1976 aprobó el Acta del Control de Sustancias Tóxicas (Toxic Substances Control Act, TSCA) la cual le permitía a la EPA la autoridad de controlar los productos químicos catalogados como tóxicos para minimizar o eliminar los riesgos a la salud humana y al medio ambiente.

El Congreso de los EUA en 1972 aprobó el Acta de Agua Limpia (Clean Water Act, CWA) y en 1977 las modificaciones a la misma, con la cual se regulaban las descargas de sustancias químicas a cualquier tipo de agua navegable en los EUA.

En 1974 el Congreso de los EUA aprobó el Acta de Agua Potable Segura (Safe Drinking Water Act, SDWA) la cual estableció los límites permisibles de los compuestos químicos en el agua dedicada para el consumo humano. Esta Acta incluía el Programa de Control de Recarga de Agua al Subsuelo (Underground Injection Control Program)

El Congreso de los EUA aprobó en 1982 el Acta de Reclamación y Control de la Explotación Minera Superficial (Surface Mining Control and Reclamation Act, SMCRA). Con el objetivo de controlar la contaminación al subsuelo de las actividades mineras.

Adicionalmente cada estado que conforma la Unión Americana tiene Centros de investigación, Universidades, Institutos, Asociaciones, etc., que se dedican de una u otra forma a estudiar los efectos de la contaminación en el subsuelo. Como por ejemplo el Southwest Research Institute.

4. MÉTODOS PARA DETERMINAR LA CONTAMINACIÓN EN EL SUBSUELO

Los métodos para determinar la contaminación en el subsuelo varían de acuerdo a varios factores entre los que se encuentran el tipo de contaminantes que se espera encontrar en el subsuelo, las características geológicas, geoquímicas e hidrogeológicas del sitio en cuestión, la normatividad ambiental a cumplir y las características sociológicas, políticas y económicas del proyecto en particular. De tal manera que no existe una "receta de cocina" que nos permita resolver todos los problemas con una sola "llave maestra". Sin embargo, a juicio del autor de estas notas en base a la experiencia y conocimientos del mismo, los pasos a seguir para determinar la contaminación en el subsuelo son los siguientes:

1. Determinación del término fuente. Incluye el análisis de las materias primas, productos y subproductos así como los desechos generados durante el proceso en cuestión. Evaluar otras externas tal como instalaciones cercanas al sitio en estudio que también pueden contribuir a la contaminación en el subsuelo. Definir las características físicas, químicas y toxicológicas de los contaminantes.
2. Determinación de las características del sitio. Aplicar métodos geológicos, geofísicos, geoquímicos e hidrogeológicos.

3. Determinar el marco legal ambiental que aplica al sitio en particular. Es importante conocer el punto de vista de los reguladores ambientales sobre el proyecto en particular. revisar las leyes, reglamentos y normas o guías que apliquen, tanto en México como en el extranjero.
4. Definir el ambiente sociológico, político y económico del proyecto. Este factor es de suma importancia y desafortunadamente en México no es tan simple aplicarlo debido a nuestras características culturales y desarrollo sociopolítico.
4. Aplicación de métodos indirectos para determinar "anomalías" que nos permitan orientar los métodos directos. Pueden consistir en métodos geoquímicos (prospección de vapores del subsuelo) o métodos geofísicos (geoeléctricos por ejemplo).
5. Aplicación de métodos directos para determinar la geometría de la contaminación. Perforación e instalación de pozos de monitoreo y toma de muestras de diferentes matrices para análisis ambiental. Delineación de las concentraciones de los contaminantes en función de tiempo y espacio.
6. Definir las acciones correctivas que pueden incluir monitoreo en diferentes matrices. aplicación de medidas ingenieriles para control de la contaminación o incluso la remediación de las zonas contaminadas.
7. Definir los niveles de limpieza en base a un análisis de riesgo tanto ambiental como a la salud humana en concordancia con las autoridades ambientales y las características económicas, sociológicas, políticas y de tiempo del proyecto.
8. Remediar o sanear el sitio en cuestión.
9. Monitoreo del sitio en cuestión.

5. ¿COMO REMEDIAR LAS ZONAS CONTAMINADAS?

Afortunadamente desde el punto de vista técnico del problema, se puede remediar o sanear el sitio en muchos casos, sin embargo, en México no siempre los responsables de la contaminación en el subsuelo están conscientes de hacerlo y por otro lado la regulación ambiental al respecto esta en pañales o es confusa, sin mencionar que las compañías consultoras no siempre aplican la "mejor tecnología" ya que se deben de tomar en cuenta no solo los aspectos técnicos, sino también los aspectos políticos, sociológicos y económicos del problema en cuestión.

Los métodos para remediar o sanear un sitio contaminado con uno o más compuestos químicos más

comunes se pueden dividir en cuatro tipos a saber (Domenico & Schwartz, 1990; OTA, 1984):

- A. Contención de los contaminantes in situ
- B. Remoción de los contaminantes del lugar impactado ambientalmente
- C. Tratamiento de los contaminantes in situ
- D. Atenuación o minimización de los peligros de los contaminantes aplicando medidas o controles institucionales.

Para un sitio en particular se pueden aplicar uno o más métodos dependiendo de lo expuesto en el primer párrafo de esta sección.

A. Contención de los contaminantes in situ

A.1 Muros Impermeables de cemento-bentonita (en inglés slurry walls)

A.2 Muros de láminas de acero (en inglés sheet pile)

A.3 Inyección de cemento, bentonita, o silicatos

A.4 Utilización de geomembranas

A.5 Sellado superficial

A.6 Control ingenieril del agua superficial

A.7 Control hidrodinámico

B. Remoción de los contaminantes del lugar impactado ambientalmente

B.1 Bombeo y tratamiento

B.2 Instalación de sistemas interceptores

B.3 Venteo de suelos y/o extracción de vapores

B.4 Excavación

C. Tratamiento de los contaminantes in situ

C.1 Degradación biológica (también llamado bioremediación)

C.2 Tratamiento químico incluye oxidación térmica, pirólisis, neutralización, solidificación/estabilización, dehalogenación, vitrificación, etc.

C.3 Lavado de suelos puede incluir inyección de chorro de agua (in situ flushing) y/o inyección de aire (air sparging)

C.6 Desorción térmica

C.7 Fracturamiento neumático y/o hidráulico

D. Atenuación o minimización de los peligros de los contaminantes aplicando medidas o controles institucionales.

D.1 Limitar o prohibir el uso del agua subterránea (acuífero) contaminada

D.2 Proveer otras fuentes de abastecimiento de agua

D.3 Remoción o aislamiento de la fuente de contaminación

D.4 Implementar un programa de monitoreo ambiental

D.5 Implementar un programa de notificación y orientación a las personas que pueden ser afectadas por la contaminación.

D.6 Implementar un programa de protección civil que puede incluir evacuación de gente, etc.

D.7 "Implementar" un programa de no-acción permitiendo la atenuación natural

REFERENCIAS

Acta de Agua Limpia (Clean Water Act, CWA) 1972, y en 1977 las modificaciones a la misma.

Acta de Agua Potable Segura (Safe Drinking Water Act, SDWA). 1974. Esta Acta incluyó el Programa de Control de Recarga de Agua al Subsuelo (Underground Injection Control Program)

Acta de Conservación y Recuperación de los Recursos naturales (Resource Conservation and Recovery Act, RECRA). Octubre de 1976. En 1986, el Congreso aprobó las Modificaciones sobre

los Residuos Sólidos y Peligrosos a la versión de RECRA de 1976.

Acta del Control de Sustancias Tóxicas (Toxic Substances Control Act, TSCA). 1976.

Acta de Respuesta Ambiental Comprensiva, Compensación y Responsabilidad Legal (en inglés Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act, CERCLA). Diciembre de 1980. En 1986 se incluyeron en la CERCLA el Acta de Reautorización y Modificación del Superfondo (Superfund Amendments and Reauthorization Act, SARA).

Acta de Reclamación y Control de la Explotación Minera Superficial (Surface Mining Control and Reclamation Act, SMCRA).1982.

Barker, J.F. Organic contaminant transport processes in groundwater - our current understanding and research needs. Groundwater Research Center. University of Waterloo, Ontario Canada.

Cherry, J.A. Groundwater occurrence and contamination in Canada. Canadian aquatic resources. Ed. Michael Healy.

Domenico, P.A. and Schwartz, F. W. Physical and Chemical Hydrogeology. (1990). John Wiley & Sons.

Freeze, R. A. and Cherry, J.A. Groundwater. (1979). Prentice Hall.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988.

Ley de Aguas Nacionales y su reglamento publicada el día 1° de diciembre de 1992 en el Diario Oficial de la Federación.

NOM-083-ECOL-1994. Requisitos que deben de reunir los sitios para confinamientos de residuos sólidos municipales.

NOM-055-ECOL-1996. Que establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos y a la instalación de centros integrales para el manejo de residuos industriales.

NOM-003-CNA-1996. Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de febrero de 1997.

NOM-004-CNA-1996. Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y

rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 9 de octubre de 1996.

NOM-SSA1-127-1994. Salud ambiental. agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

Office of Technology Assessment. 1984. Protecting the Nation's groundwater from contamination. OTA-0-233: Washington, D.C.

Reglamento para la prevención y control de la contaminación de aguas publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 29 de marzo de 1973.

Solomons, T.H. G. Organic Chemistry. (1992). John Wiley and Sons. Fifth Edition.



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

CURSOS ABIERTOS

GEOLOGÍA AMBIENTAL

TEMAS:

PROCESOS TERRESTRES PELIGROSOS

**ING. JUAN SÁNCHEZ PÉREZ
PALACIO DE MINERÍA
ABRIL 2000**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
Palacio de Minería, México, D. F.

GEOLOGÍA AMBIENTAL

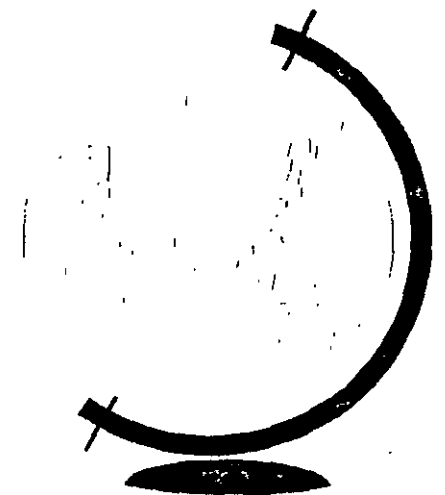
2000

Capítulo IV

PROCESOS TERRESTRES
PELIGROSOS

Profesor :

Ing. Juan Sánchez Pérez



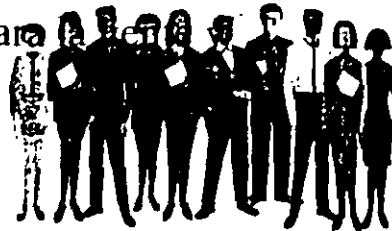
RIESGOS NATURALES

El estudio de los procesos

peligrosos constituye una de las principales actividades de la **Geología Ambiental**

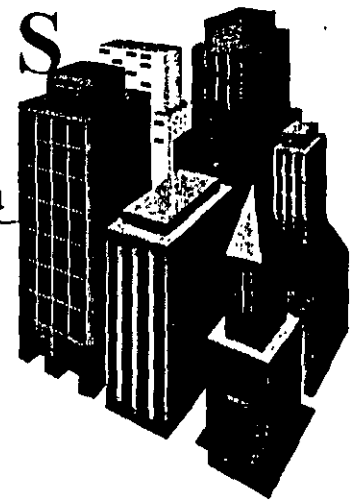
OBJETIVOS :

- Conocer las condiciones que hacen peligrosos a los procesos terrestres para las personas
- Comentar como un proceso natural que origina un desastre, puede ser benéfico para la gente y las propiedades
- Hacer una evaluación preliminar de los diferentes procesos naturales que representan un riesgo para sus propiedades



- Entender los requisitos para predecir desastres naturales
- Conocer los componentes básicos para la evaluación de riesgos debido a fenómenos naturales
- Familiarizarse con la percepción que tienen las personas respecto a los riesgos y la forma como se adaptan a ellos
- Poder discutir respecto al impacto y la forma de sobreponerse a los desastres naturales

Entender porque el incremento del número de personas, especialmente en los países en desarrollo, aumenta en forma considerable la pérdida de vidas humanas y de bienes materiales



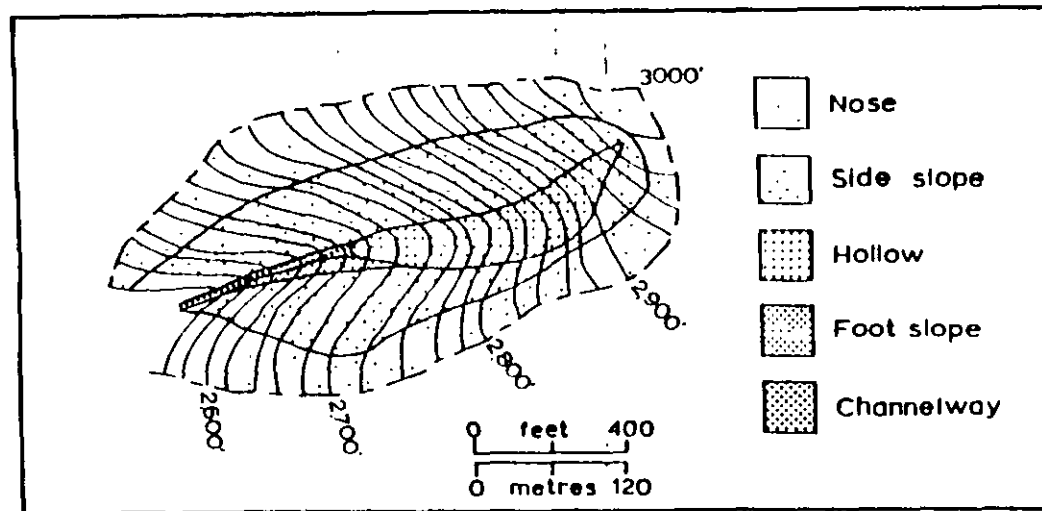


Figura 1.3

SUBDIVISIÓN DE LAS LADERAS EN UNA CUENCA HIDROLÓGICA

- 1 - Nariz;
- 2 - Laderas laterales;
- 3 - Zona que delimita la parte central del valle (depresión principal o cañon y zonas adyacentes);
- 4 - Parte inferior (pie) de las laderas laterales, casi siempre está compuesta por *regolita* más que por roca sólida;
- 5 - Canal principal del drenaje o fondo del valle, incluye la planicie de inundación.

Modificado de Hack y Goodlett (1960).

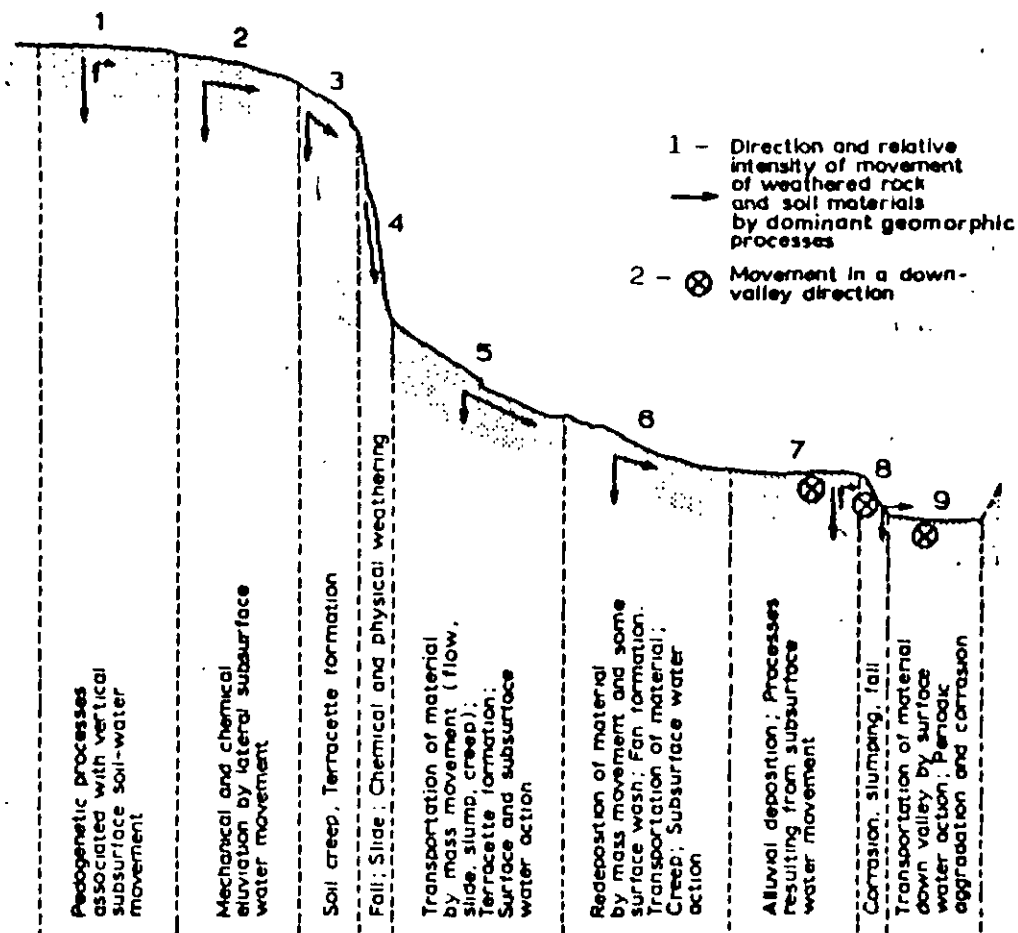


Figura 1.4

MODELO DE NUEVE ZONAS PARA LA LADERA DE UN VALLE

Combina su forma con los procesos geomorfológicos predominantes

1 - Dirección e intensidad del movimiento de la roca alterada o materiales del suelo;

2 - Movimiento hacia la porción inferior del valle.

Modificado de Dalrymple *et al.* (1968).

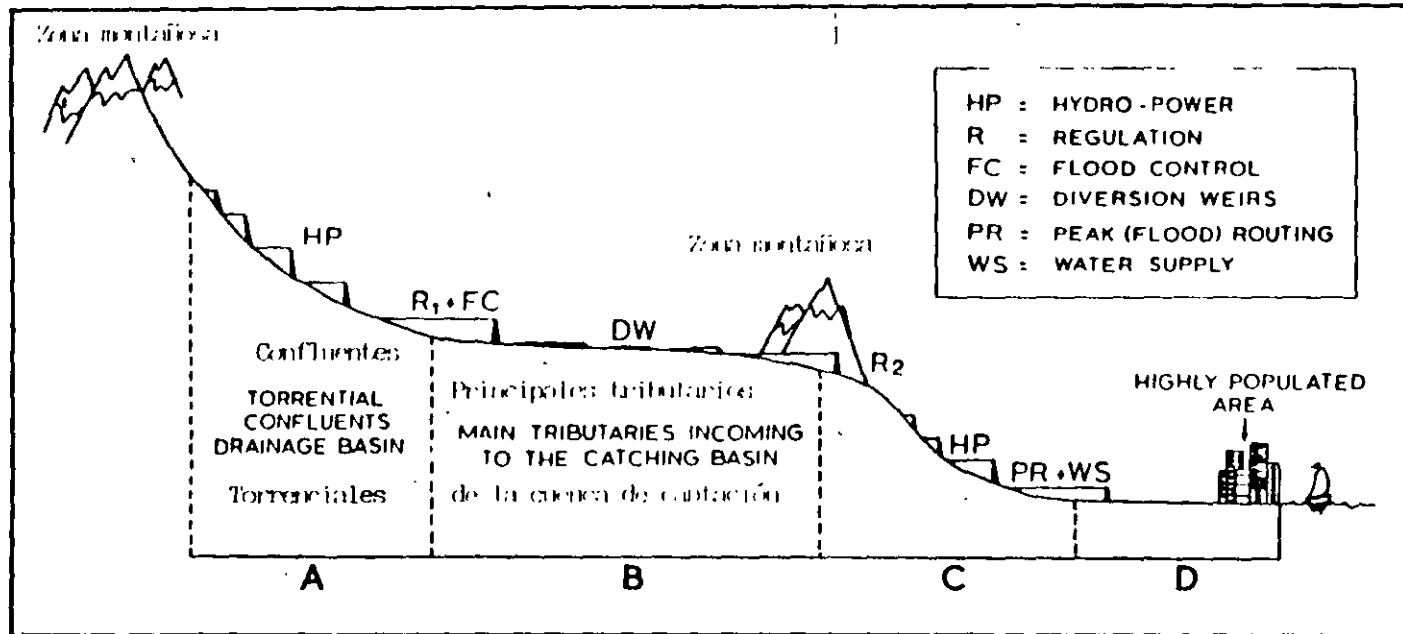


Figura 1.6

**PLANEACIÓN PARA EL USO INTEGRAL DEL AGUA
MODELO PARA DESARROLLAR UNA CUENCA HIDROLÓGICA**

HP - Plantas Hidroeléctricas; R - Regulación; FC - Control de Flujo; DW - Obras de distribución;

PR - Ruta para flujos extraordinarios; WS - Abastecimiento de agua

Esquema para España - IX Congreso Internacional de Grandes Presas, Estambul, Turquía (Olivier, 1972)

RÍOS - INUNDACIONES

Las inundaciones son un proceso natural que se convierte en peligroso cuando las personas viven o trabajan en las planicies de inundación.

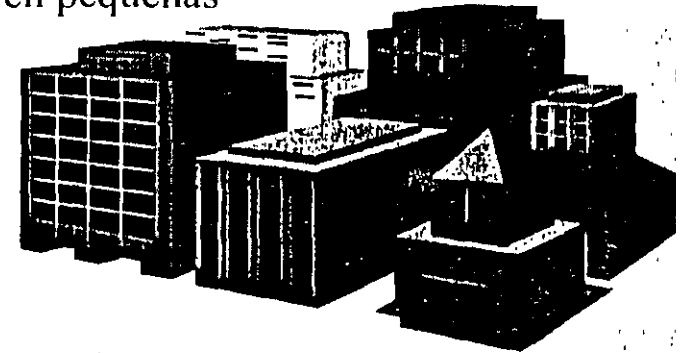


Los principales objetivos de los estudios geológico ambientales son :

- Conocer los principales procesos que se llevan a cabo en los ríos.
- Entender la naturaleza y magnitud del riesgo por inundaciones y la diferencia entre las inundaciones que ocurren aguas arriba y aguas abajo en una cuenca hidrológica

© mb'98 - JSP

- Analizar los efectos de la urbanización y como contribuyen a las inundaciones, principalmente en pequeñas cuencas hidrológicas.



- Estar enterados de las principales medidas y regulaciones que existen para prevenir inundaciones y cuales son preferibles desde un punto de vista ambiental.
- Conocer cuales efectos potenciales, (adversos al ambiente) se tienen cuando se realiza la canalización de ríos y como pueden reducirse.



CAPÍTULO 4 PROCESOS TERRESTRES PELIGROSOS

4.1.- INUNDACIONES

Los grandes escurrimientos en los ríos son el peligro natural que más se ha experimentado en muchas regiones de la tierra. La pérdida de vidas humanas, debido a las inundaciones, es relativamente baja debido al monitoreo adecuado con el que cuentan y los sistemas de alerta que tienen instalados; sin embargo, aún con esas ventajas los daños producidos en construcciones (edificios habitacionales o zonas industriales) ha sido mucho mayor, a la fecha, en las sociedades con gran desarrollo industrial, ya que éstas utilizan las terrazas de inundación como zonas de desarrollo, quedando expuestas a los fenómenos naturales.

La magnitud y frecuencia de las inundaciones están en función de la intensidad y la distribución de la precipitación, así como del rango de infiltración del agua en los suelos, el tipo de roca o la topografía.

El uso del suelo para la construcción de ciudades ha incrementado el riesgo de flujos en las pequeñas cuencas, ya que gran parte de estas son cubiertas con edificios, carreteras, estacionamientos u otro tipo de construcciones, lo cual ocasiona que el agua de las tormentas escurra superficialmente y se infiltre muy poca.

En general, se reconocen dos tipos de flujos:

1) **FLUJOS AGUAS ARRIBA (Up-stream)**, que se forman debido a lluvias intensas -de poca duración-, sobre un área relativamente pequeña.

2) **FLUJOS AGUAS ABAJO (Down-stream)** producidos por tormentas de larga duración sobre un área grande, en la cual se alcanza a saturar el suelo e induce grandes escurrimientos, debido a la gran cantidad de cuencas tributarias que se unen, trayendo como consecuencia la formación de **grandes flujos en los ríos más caudalosos.**

Entre los factores que controlan los daños causados por los grandes flujos se tienen:

- a) El uso de las planicies de inundación,
- b) La magnitud y frecuencia de los flujos,
- c) La cantidad de sedimentos depositados, y
- d) La acción efectiva de los sistemas de monitoreo y de alerta, así como de los cuerpos de emergencia con que se cuente para casos de desastres.

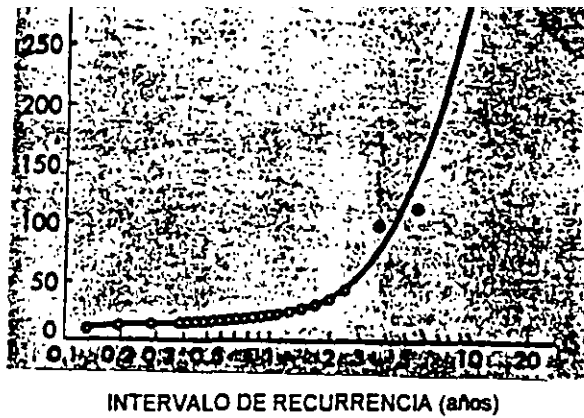


Figura 4.1

Ejemplo de una curva de frecuencia de la descarga de un río. Cada punto representa un flujo, con los intervalos de recurrencia dibujados en papel logarítmico (probabilístico).

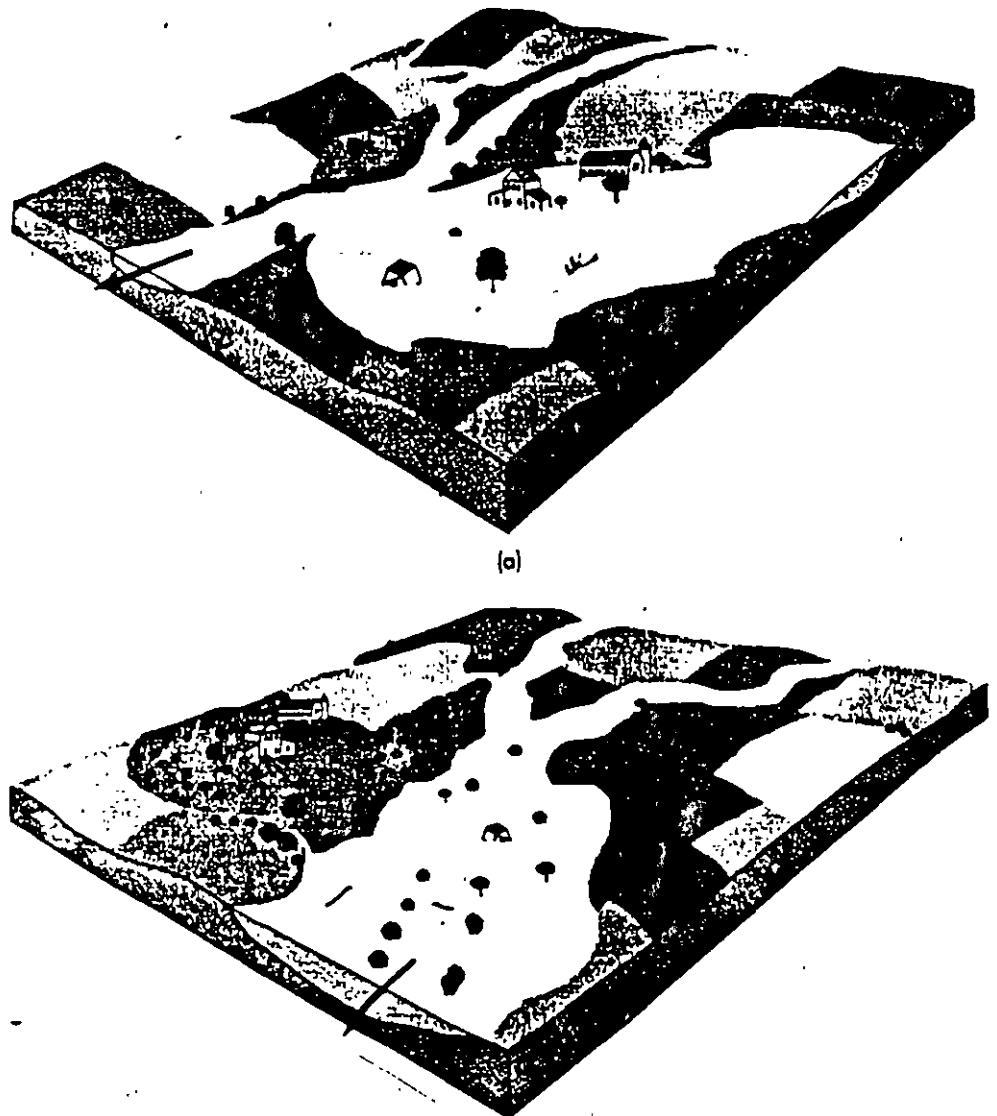


Figura 4.2

Diagrama idealizado que compara una inundación producida en (A) la parte superior de la cuenca (aguas arriba) y (B) otra producida en la porción inferior. Las inundaciones producidas aguas arriba generalmente cubren áreas relativamente pequeñas y son causadas por tormentas locales intensas, mientras que las inundaciones en la porción inferior de la cuenca son originados por tormentas regionales (modificado de Keller, 1995).

4.2 .- DESLIZAMIENTOS (DE TIERRA O ROCA) Y FENÓMENOS ASOCIADOS

Las geoformas más comunes son las laderas, que son sistemas dinámicos envolventes, en los cuales el material superficial se está moviendo constantemente ladera abajo, con rangos que varían desde los movimientos muy pequeños (*creep*) hasta grandes avalanchas.

Entre los aspectos más importantes de los deslizamientos se encuentran:

- 1) tipo de materiales que se tiene en la pendiente;
- 2) topografía, 3) clima, 4) vegetación, 5) agua y 6) tiempo.

La causa principal de la mayoría de las avalanchas se puede determinar examinando la relación entre las fuerzas que inducen el deslizamiento de los materiales, que se conocen como fuerzas activadoras (*driving forces*), y las fuerzas que se oponen al movimiento se denominan fuerzas de resistencia (*resisting forces*). La principal fuerza activadora es el peso de los materiales que se encuentran en la ladera, y la fuerza de resistencia más común es el esfuerzo cortante de los materiales (*shear strenght*).

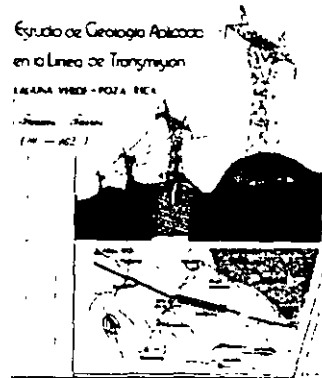
El papel que juega el agua, para que se induzcan los deslizamientos, es particularmente importante y está casi siempre involucrado, ya sea en forma directa o indirecta para que se produzcan. Por ejemplo: 1) el agua (de arroyos, lagos u océanos) erosiona la parte inferior de las laderas, aumentando las fuerzas activadoras; 2) el exceso de agua aumenta el peso de los materiales que se encuentran en la ladera, así como la presión del agua, lo cual hace decrecer las fuerzas de resistencia.

Un aumento en la presión del agua se presenta antes de que ocurran la mayor parte de los deslizamientos y la mayoría de éstos son el resultado de un aumento anormal en la presión del agua (presión de poro), dentro de los materiales que forman las pendientes.

Los efectos que producen los seres humanos a utilizar un área determinada varía de insignificante a muy significativo. En los lugares donde exista poca actividad humana que induzca deslizamientos en las laderas, necesitamos aprender, tanto como sea posible, acerca de donde; cuando y como se presentan los deslizamientos, de tal forma que este conocimiento nos sirva para evitar los desarrollos urbanos en áreas potencialmente peligrosas y de ser necesario, debemos tomar medidas preventivas. En los casos en que por el incremento de infraestructura para las actividades humanas se tenga un aumentado en el número y efecto de los deslizamientos, será necesario aprender como reconocerlos, controlarlos y minimizar su ocurrencia.

IV. DESLIZAMIENTOS DE MASAS

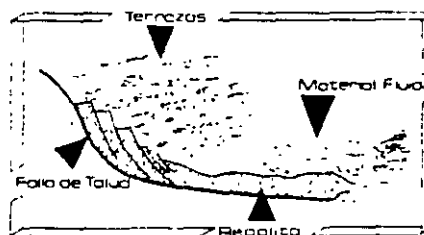
Para abordar el tema de los deslizamientos se mencionará el ejemplo observado entre las torres 80 y 162 de la línea de transmisión Laguna Verde - Poza Rica, en el Estado de Veracruz.



IV.1 Características del terreno.

La superficie del terreno esta constituido por lutitas y areniscas; muestra las siguientes características donde se presentan los deslizamientos:

1. Presencia de un suelo sobresaturado.- Esta característica se incrementa en la época en que aumenta la precipitación en la zona, la cual en promedio es de 2 000 mm. calculada con 24 años de información.
2. Bajo el suelo se tiene una capa de lutita y arenisca intemperizada (también llamada regolita), con disposición caótica y de comportamiento viscoso cuando está saturada.
3. Hay pequeñas lagunas o charcos, de extensiones reducidas, cercanas a los arroyos y en las trazas de los deslizamientos originados por niveles freáticos colgados que son indicativos de drenaje deficiente.
4. También se tienen terrazas angostas y escalonadas como las que se ilustran en la figura siguiente:

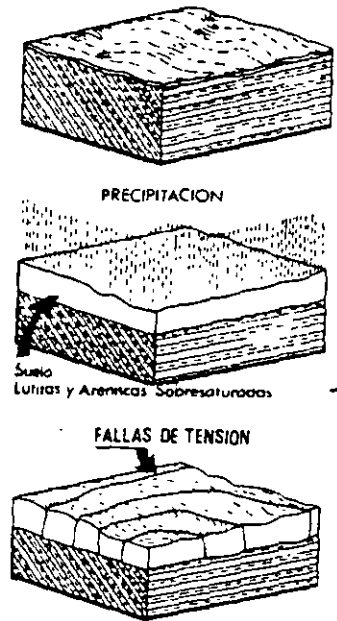


Arturo G. Brizuela M. et al. (1989): Estudio de Geología Aplicada en la línea de transmisión Laguna Verde - Poza Rica. Vol. II, torre 80 - 162. Memoria G.8. Unidad de Estudios de Ingeniería Civil. Subdirección de Construcción. CFE.

En los arroyos hay gran cantidad de material de color gris claro a gris amarillento, producto de la alteración y transporte de las lutitas- areniscas.

5. La superficie de las áreas afectadas por movimientos se encuentran fracturadas; rugosas y, en ocasiones, se observan amontonadas formando bordos irregulares.
6. La vegetación presente en esta superficie es abundante y tiene realces cortas, lo que contribuye a incrementar la infiltración del agua pluvial.
7. El drenaje es abundante, de tipo dendrítico (predominan los arroyos temporales), y por lo general se encuentra cortado por los mismos deslizamientos, lo que provoca mayores infiltraciones.

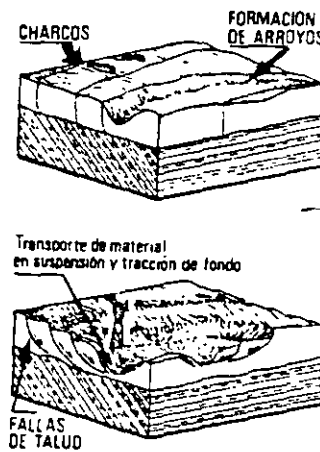
IV.2 Causas de los deslizamientos



En general los movimientos en masa se originan al tener un terreno con drenaje deficiente, que al recibir las lluvias torrenciales, sobresaturan el material (Legget y Karrow, 1986); en este caso, constituido lutitas y areniscas que provocan expansión en las arcillas debido a la constante hidratación y deshidratación de las mismas, lo que da lugar a las fallas de tensión (grietas o surcos)

que con el tiempo se convierten en el cauce de arroyos (Fig. IV.2).

En estudios de laboratorio practicados en California, en los Estados Unidos de Norteamérica se ha visto que al excederse el coeficiente de infiltración, disminuye la resistencia al corte de la roca. Cuando el peso propio de los materiales sobresaturados genera esfuerzos más allá de la resistencia al corte del suelo, comienza el deslizamiento, originándose los movimientos en masa, que se manifiestan en los arroyos, los cuales erosionan su cauce y transportan, en suspensión y tracción de fondo gran cantidad de material, el cual es sustituido por el que viene deslizándose de la parte de atrás; lo que origina un fenómeno progresivo. Lo anterior sucede debido a que las lutitas y areniscas alteradas y sobresaturadas tienen su nivel base de erosión en estos arroyos.



La rapidez del movimiento depende de la viscosidad de los sedimentos y sobre todo de la pendiente del terreno.

Cabe hacer notar que cuando el movimiento ya se inició, las mismas grietas formadas en la superficie ayudan a la infiltración del agua de lluvia o a la formación de charcos, lo cual hace que el

deslizamiento sea continuo; lento, cuando las lluvias son escasas y más rápido, cuando la precipitación es intensa.

IV.3 Resultados de la exploración directa.

En las torres 107 y 109 se perforaron dos barrenos con objetivos geológicos y geotécnicos (Figura IV.3), es decir, se pretendía conocer la litología y el espesor de la zona sobresaturada para ejecutar pruebas de mecánica de suelos mediante muestras inalteradas obtenidas y para instalar inclinómetros, todo esto para tener un conocimiento amplio de las características de las lutitas y areniscas alteradas.

Los barrenos practicados se efectuaron a diferentes profundidades,, de acuerdo con el espesor de la zona alterada; en la torre 107 fueron de 25 y 35 m y en la 109 de 45 y 50 m, como se muestra en la figura IV.4.

4.3 ACTIVIDAD VOLCÁNICA

La actividad volcánica es un fenómeno natural común en nuestro país y en muchas partes del mundo; en ocasiones su actividad es prácticamente imperceptible pero en otras su magnitud es impresionante y llega a producir afectaciones notables, como en los casos de los volcanes Santa Elena, Washington, EUA (Figura 4.4) y Chichonal, Chis., Méx., cuyos casos se expondrán en clase; además se mencionarán algunos aspectos generales del volcán Popocatépetl, Edo. Méx..

A continuación se mencionan los principales objetivos que se persiguen en este tema.

OBJETIVOS

- A) Comentar los principales tipos de volcanes, las rocas que forman y el marco tectónico en el que se encuentran.
- B) Conocer los principales efectos de la actividad volcánica, las producidas por lava, actividad piroclástica (flujos y depósitos de caída libre) y flujos de lodo asociados.
- C) Conocer los métodos para estudiar la actividad volcánica, los cuales pueden conducirnos a la predicción de erupciones, incluyendo la actividad sísmica, cambios topográficos (abombamientos), emisión de gases (con la presencia de mayor cantidad de elementos químicos) y su historia geológica.

Las principales erupciones volcánicas de la historia han ocurrido en áreas poco pobladas; sin embargo, las catástrofes registradas en regiones muy pobladas han sido notorias e impactantes a nivel mundial.

La actividad volcánica esta directamente relacionada con la tectónica de placas, como podemos apreciar en los mapas que ilustran las diferentes placas que conforman el globo terraqueo, ya que la mayoría de los volcanes se localizan en la unión de éstas. Los límites, convergentes o divergentes de las placas, son los lugares donde se produce magma, ya sea por la expansión del fondo marino o por el hundimiento de las placas litosféricas.

El Cinturón de Fuego es la región que rodea la mayor parte del Océano Pacífico, en el se encuentra el 80% de los volcanes del mundo. En México la principal acumulación de volcanes se encuentra en la Faja Neovolcánica Transmexicana y porciones adyacentes.

PRINCIPALES PARTES DE UN VOLCÁN

CONO VOLCÁNICO
CHIMENÉA
CUELLO VOLCÁNICO
CALDERA

Otras manifestaciones comunes en áreas volcánicas son: **Manantiales calientes**
Geiseres

MEDIDAS TENDIENTES A CONTROLAR LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA

Con el propósito de controlar parte de las manifestaciones volcánicas, se han aplicado varios métodos.

Entre los métodos empleados para tratar de controlar la actividad efusiva, destaca el control de los flujos de lava por medios rudimentarios como la construcción de muros de roca para detener su avance o excavar zanjas para desviar su curso; o actividades más técnicas, como utilizar métodos hidráulicos (enfriamiento con agua) o métodos más sofisticados como el bombardeo. Los resultados obtenidos con tales métodos han sido exitosos en algunos casos, pero en otros han dejado mucho que desear y necesariamente requieren de perfeccionamiento en las técnicas de ejecución.

Los riesgos por flujos piroclásticos son mucho mayores, ya que implican la caída de cenizas en muchos kilómetros a la redonda del volcán, flujos de bloques y ceniza caliente, que alcanzan velocidades de más de 100 km/h en las laderas del volcán y explosiones laterales, que pueden ser muy destructivas, como las del volcán Santa Elena (St. Helens), Washington, EUA.

Los efectos secundarios de la actividad volcánica incluyen flujos de lodo, que se pueden generar por la nieve o hielo fundido o por la presencia de precipitaciones intensas que se mezclan con la ceniza volcánica, como en el Volcán El Chichonal, Chis. Este tipo de flujos pueden destruir o afectar áreas localizadas a muchos kilómetros de distancia del volcán en erupción.

Por medio de monitoreos de tipo sismológico o microgeodésico (topográficos) y el conocimiento de la historia geológica de una región en general y de un volcán en particular, se puede intentar predecir su actividad.

Con base en la actividad sísmica, cambios topográficos (basculamientos o abombamientos) y la emisión de gases, se ha intentado predecir la erupción de un

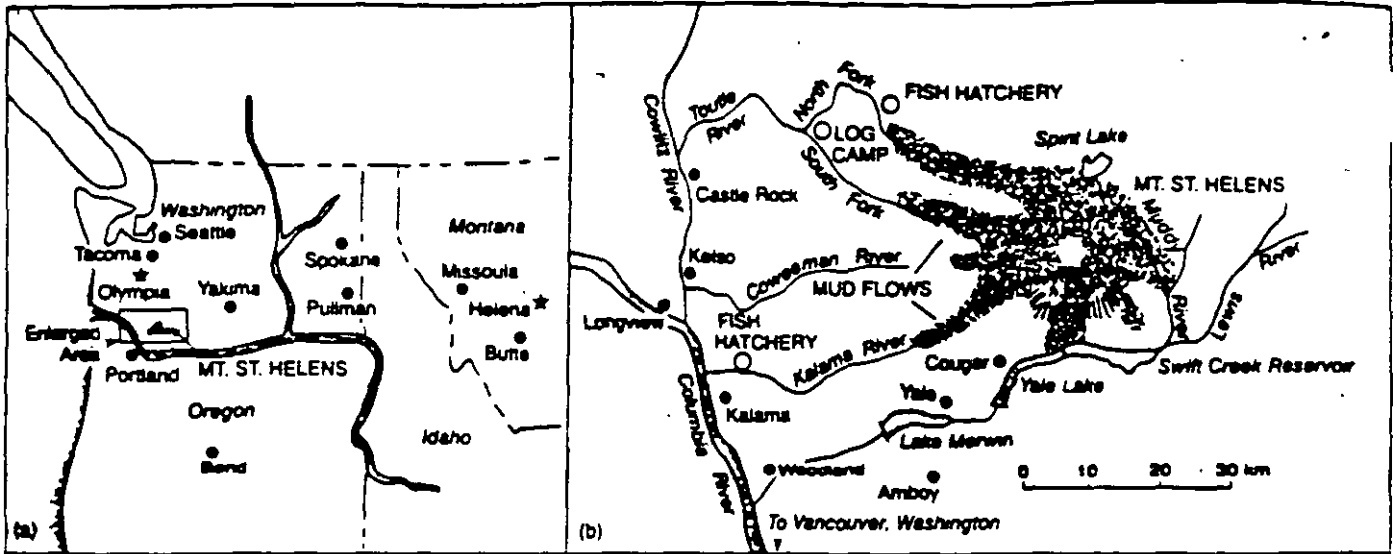
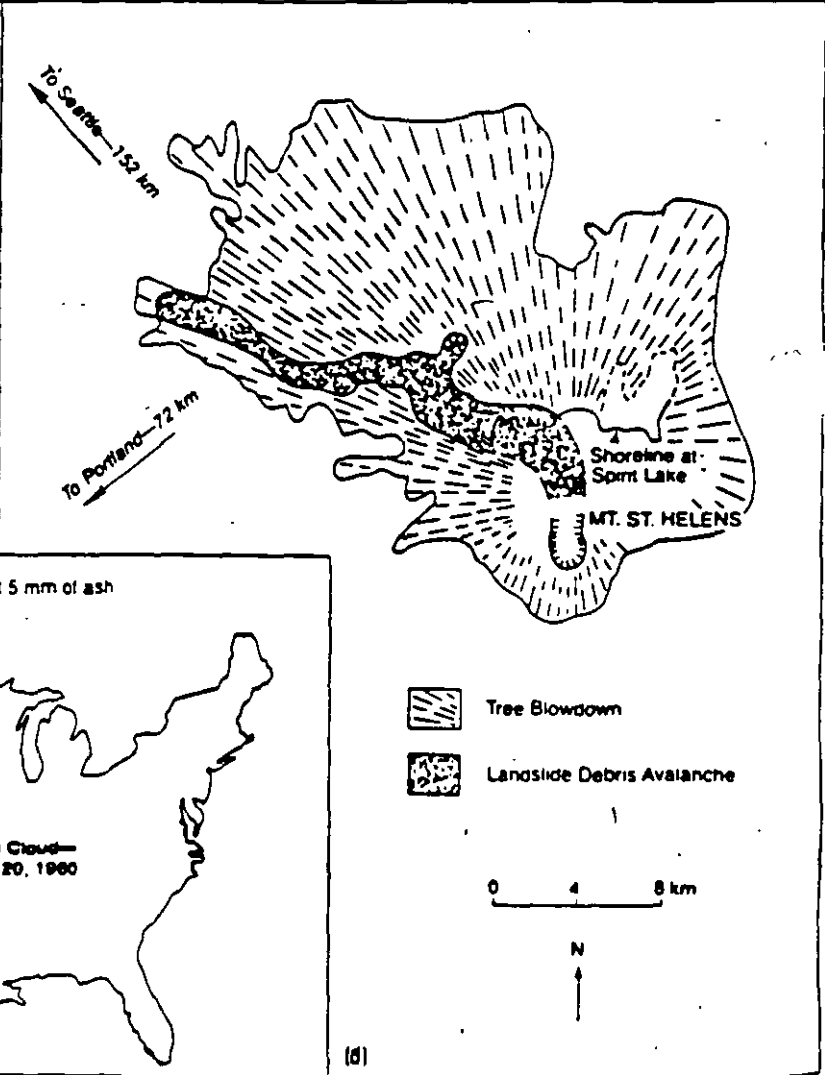


FIGURE 7.15
 Location of Mount St. Helens (a), mudflows generated by the May 18 eruption (b), tree blowdown and landslide/debris avalanche associated with the May 18 eruption (d), and the path of the ash cloud from the May 18 eruption (e). (Photograph by Austin Post, courtesy of U.S. Geological Survey. Information from various U.S. Geological Survey publications.)



a) Croquis de localización del volcán; b) Flujos de lodo generados en la erupción de Mayo 18; c) Distribución de la nube de ceniza; d) Árboles dañados y deslizamientos o avalanchas producidos.

Figura 4.6

LAS ERUPCIONES DEL VOLCÁN ST. HELENS (Santa Elena), 1980
 (Tomado de varias publicaciones U.S. Geological Paper, 1981)

no rompen la capa de suelo o depósitos que las cubren, aún cuando su movimiento produzca grandes sismos. Las fallas y zonas de falla tienen segmentos con actividad sísmica, que se rompen como una unidad. Poder entender la actividad de uno varios segmentos es esencial para evaluar riesgos sísmicos y requieren investigación especializada, así como el conocimiento de la paleosismicidad de la región (sismicidad histórica).

Para abordar este interesante tema, en clase se ilustrarán un par de ejemplos, donde se mencionarán los principales aspectos relacionados con los sismos y sus efectos.

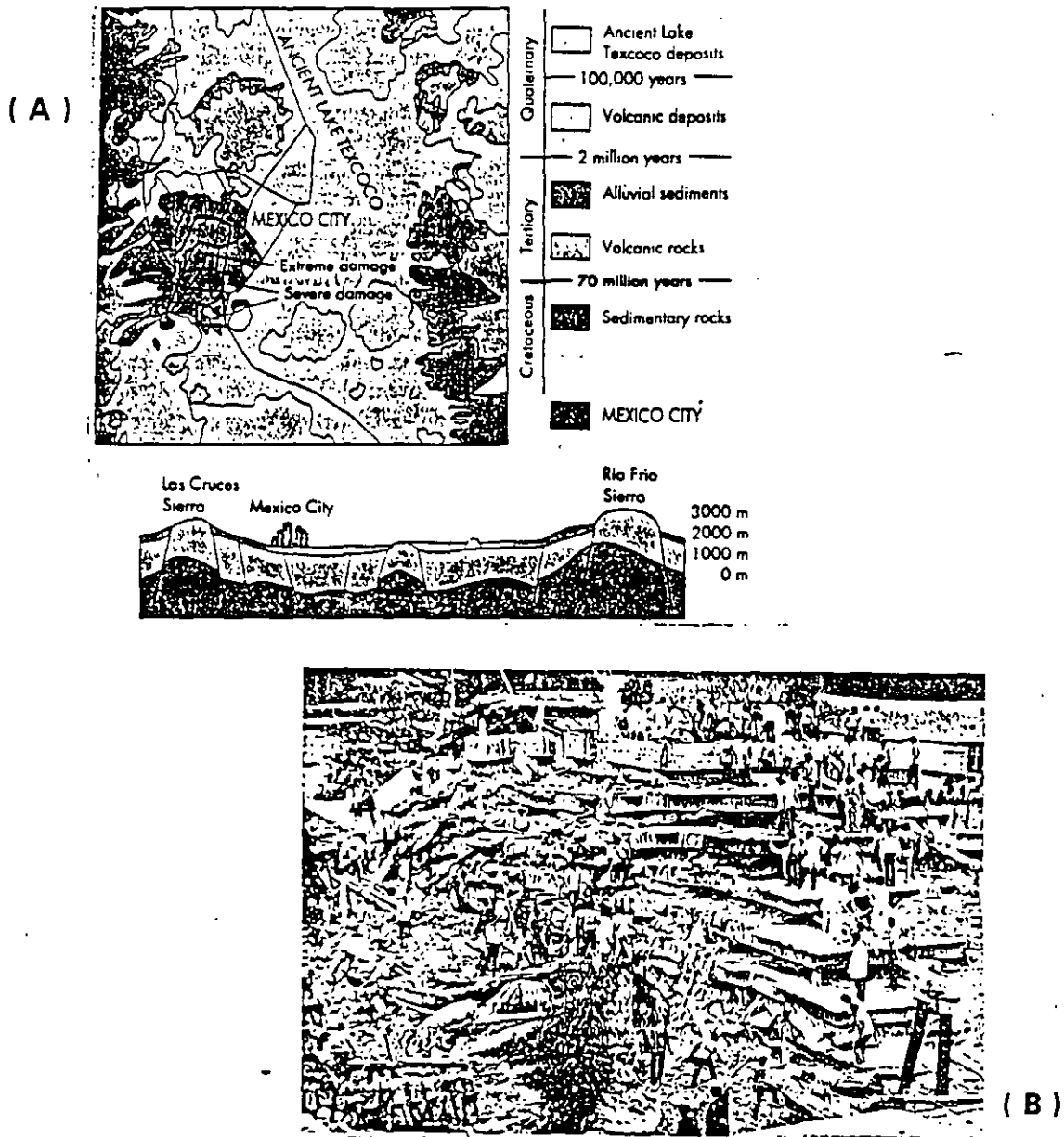


FIGURA 4.7

Plano geológico generalizado de la Cd. de México, donde se pueden apreciar los antiguos depósitos de la zona de lagos, donde se presentaron los mayores daños (A). Uno de los edificios más altos que colapsaron, derrumbándose en forma de sandwich.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

CAPÍTULO IV

TEMA: Procesos terrestres peligrosos (ACTIVIDAD VOLCÁNICA).

1. **ARAÑA, S.A. Y LÓPEZ, R.J. (1974). VULCANISMOS, DINÁMICA Y PETROLOGÍA DE SUS PRODUCTOS. DE. ISTMO, MADRID ESPAÑA. 481.P.**
2. **CRANDELL D.R. AND WALDRON, H.H. (1969). VOLCANIS HAZARDS IN THE CASCADE RANGE. IN GEOLOGIC HAZARD AND PUBLIC PROBLEMS, COFERENCE PROCEEDINGS, EDS. R. OLSEN AND M. WALLACE, PP,5-18 OFFICE OF EMERGENCY PREPARENDNESS REGION 7.**
3. **FRANCIS, S.P. (1976). VOLCANOIS. ENGLAND, PELICAN BOOKS.**
4. **GLASS, C.E. & ROTH, L.H. (1983), MOUNT ST. HELENS ASH: SUITABILITY FOR USE AS ENGINEERED FILL. BULLETIN OF THE ASSOCIATION OF ENGINEERED FILL. BULLETIN OF THE ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, VOL. XX, No. 2; PP. 151-160.**
5. **HAMMOND, P.E. (1980), MT. ST. HELEN BLAST 400 METERS OFF ITS PEAK. GEOTIMES 25: 14-15.**
6. **MASON, A.C. AND FOSTER, H.L. (1953), DIVERSION OF LAVA FLOWS AT ASHIMA, JAPAN. AMERICAN JOURNAL OF SSCIENCE 251: 249-58.**
7. **MILLER , C.D., MULLINEAUX, D.R. AND CRAUDEL D.R. (1981).- HAZARDS ASSESSMENTS AT MOUNT ST. HELENS. IN "THE 1980 ERUPTIONS OF MOUNTH ST. HELENS, WASHINGTON" EDS. PETER W. LIPMAN AND DONALD R. MULLINEAUX, 789-813.**
8. **RICHTER, D.H., EATON, J.P., MURATA, K.J., AULT, W.U. AND KRIVROY, H.L. (1970). CHRONOLOGICAL NARRATIVE OF THE 1959-60 ERUPTION OF KILAUEA VOLCANO, HAWAII, U.S., GEOLOGICAL SURVEY PROFESSIONAL PAPER 537E.**
9. **ROSSI, P.L. (1984). CONTRIBUTI AL RILEVANMENTO GEOLOGICO IN AREE VULCANICHE. PITAGORA EDITRICE, BOLOGNA, ITALIA.**
10. **UNAM (1983). EL VOLCÁN CHICHONAL. PONENCIAS PRESENTADAS EN EL SIMPOSIO SOBRE EL VOLCÁN CHICHONAL, DURANTE L VI CONVENCIÓN GEOL. NAL . DE LA S.G.M., INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM, MEXICO, D.F.**
11. **SHOREY, E.F. & ROTH, L.H. (1983), MOUNT ST. HELENS ASH: SUITABILITY FOR USE AS ENGINEERED FILL. BULLETIN OF THE ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, VOL: XX No. 2; PP. 151-160.**
12. **SWEET, H.R. & EDWARDS, J.E. (1983), MOUNT ST. HELEN ERUPTIVE IMPACT TO THE TOUTLE COMMUNITY GROUND-WATER SUPPLY, BULL. OF THE A.E.G., VOL. XX, No. 2; PP. 145-150**



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

CURSOS ABIERTOS

GEOLOGÍA AMBIENTAL

TEMA:

PERCEPCIÓN REMOTA APLICADA

**FIS. ALFONSO GUTIÉRREZ A.
PALACIO DE MINERÍA
ABRIL 2000**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
Palacio de Minería, México, D. F.

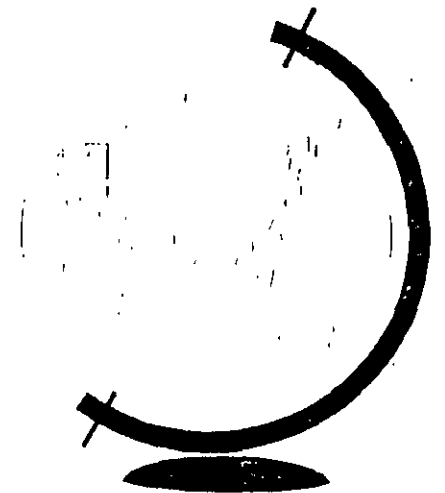
GEOLOGÍA AMBIENTAL
2000

Capítulo V.4

PERCEPCIÓN REMOTA
APLICADA

Profesor :

Fis. Aifonso Gutiérrez A.



5.4 PERCEPCIÓN REMOTA APLICADA

5.4.1 Conceptos Fundamentales de la Percepción Remota.

Se define como Percepción Remota o teledetección, a la técnica que permite obtener información sobre un objeto, área o fenómeno terrestre a través del análisis de la radiación electromagnética reflejada o emitida, adquirida por un instrumento que no está en contacto con el objeto, área o fenómeno bajo investigación, principalmente por sensores instalados en plataformas espaciales (aviones y satélites).

La Percepción Remota incluye todas las actividades de registro, procesamiento, análisis e interpretación de datos generados a través de sistemas de percepción remota.

Los elementos principales de cualquier sistema de teledetección son : sistema sensor, objeto observado y fuente de energía. Mientras que las formas de adquirir información a partir de un sensor remoto son por : Reflexión, Emisión y Emisión-Reflexión.

Fuente de energía. Supone el origen del flujo energético detectado por el sensor. Puede tratarse de un foco externo al sensor, en cuyo caso se habla de percepción remota pasiva, o de un haz energético emitido por éste (percepción activa). La fuente de energía electromagnética más importante es el Sol.

Sistema sensor. Compuesto por el sensor y la plataforma que lo sustenta. Tiene como función captar la energía procedente de las cubiertas terrestres, codificarla y grabarla o enviarla directamente al sistema de recepción.

Para que esta observación remota sea posible, es preciso que entre los objetos y el sensor exista algún tipo de interacción energética, en este caso por reflexión de la energía solar y por emisión propia. A su vez, es necesario que ese haz energético recibido por el sensor se transmita a la superficie terrestre , donde la señal detectada pueda almacenarse y ser interpretada.

Las fuentes de radiación usadas en sensores remotos son : la emisión del Sol, radiación reflejada por los objetos, radiación termal (infrarrojo) y microondas (radar).

5.4.1.1 El espectro electromagnético

El flujo energético entre la cubierta terrestre y el sensor constituye una forma de radiación electromagnética. Se puede describir cualquier tipo de energía radiante en función de su longitud de onda o su frecuencia. Aunque la sucesión de valores de longitud de onda es continua, suelen establecerse una serie de bandas en donde la radiación electromagnética manifiesta un comportamiento similar. La organización de estas longitudes de onda o frecuencia se denomina espectro electromagnético.

Para percepción remota conviene destacar una serie de bandas espectrales, que son las más frecuentemente empleadas con la tecnología actual, éstas son :

Espectro visible (0,4 a 0,7 μm) . Se denomina así por tratarse de la única radiación electromagnética que pueden percibir nuestros ojos, coincidiendo con las longitudes de onda en donde es máxima la radiación solar. Suelen distinguirse tres bandas elementales, que se denominan azul (0,4 a 0,5 μm), verde (0,5 a 0,6 μm), y rojo (0,6 a 0,7 μm), en relación con los colores elementales asociados a esas longitudes de onda.

Infrarrojo cercano (0,7 a 1,3 μm). A veces se denomina también infrarrojo reflejado o fotográfico, puesto que pueden detectarse a partir de película fotográfica dotada de emulsiones especiales. Resulta de especial importancia por su capacidad para discriminar masas vegetales y concentración de humedad

Infrarrojo medio (1,3 a 8 μm). Es donde se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre.

Infrarrojo lejano o térmico (8 a 14 μm). Incluye la porción de máxima emisión electromagnética de los cuerpos en la superficie terrestre. Es usada para identificar anomalías térmicas

5.4.1.2 Características de los diferentes materiales (coberturas)

Los objetos observados por medio de percepción remota en la superficie terrestre son principalmente las distintas masas de vegetación, suelos, rocas, agua o construcciones humanas, que reciben la señal energética del Sol y la reflejan o emiten, de acuerdo a sus características físicas.

Suelos

La reflectancia del suelo desnudo esta determinada por el contenido de humedad, la composición mineral, el contenido de materia orgánica, su textura y su rugosidad.

El suelo húmedo absorbe más radiación, particularmente cerca del infrarrojo, que los suelos secos. Un alto contenido de materia orgánica reduce la reflectancia porque esta ligado a un mayor contenido de humedad.

Los suelos con alto contenido de carbonato de calcio y sales de cuarzo, presentan una alta reflectancia en el visible y el infrarrojo mientras que los suelos con alto contenido de minerales oscuros reflejan menos radiación en el visible.

Vegetación

La porción de la radiación que es reflejada en las diferentes partes del espectro depende de la pigmentación de las hojas, la composición y la cantidad de agua libre en el tejido vegetal.

La radiación en el intervalo visible y en particular en el azul y el rojo, son fuertemente absorbidas por los pigmentos de las hojas principalmente la clorofila, para los procesos fotosintéticos. La vegetación aparece verde porque tiene una reflexión ligeramente superior en el verde y una absorción mayor en el azul y el rojo.

Las hojas jóvenes están generalmente completas y tienen una reflectancia menor que la hoja madura.

El rojo es un indicador de la cobertura vegetal, mientras que el infrarrojo cercano es un indicador de la densidad de biomasa.

Agua

El agua clara absorbe la mayor parte de la radiación en el visible y en el infrarrojo la absorción es total. Sin embargo, cuando el agua tiene un alto contenido de material suspendido tiene una mayor reflectancia en el visible especialmente en la región verde del espectro.

Las radiaciones de onda corta como el azul y el verde, pueden penetrar distancias cortas dentro de los cuerpos de agua y su reflexión proporciona información sobre objetos y condiciones prevalecientes.

Nieve y Nubes

Las coberturas de nieve, en general, tiene una fuerte reflectancia en todas las partes del espectro solar. Tan pronto como la nieve comienza a derretirse la situación cambia drásticamente, particularmente en el infrarrojo.

Las áreas con nubes se distinguen fácilmente de las coberturas de nieve porque las primeras frecuentemente se encuentran acompañadas de sombras sobre la superficie de la Tierra.

5.4.2 Tipos de Resolución

La resolución es la magnitud mínima de un parámetro que es discriminado por un sensor en una imagen.

Resolución espacial. Designa al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen. Corresponde al tamaño de la mínima unidad de información incluida en la imagen, que se denomina pixel y marca de alguna forma el nivel de detalle que se ofrece.

Resolución espectral. Es la capacidad de un sensor para captar diversas bandas o porciones del espectro electromagnético. Esta capacidad esta limitada por las zonas de absorción de la radiación electromagnética y por las características del sensor empleado. Los intervalos de resolución espectral se establecen teniendo en cuenta fundamentalmente las aplicaciones que va a tener la información obtenida.

Un sensor será tanto más idóneo cuanto mayor número de bandas proporcione, ya que facilita la separación espectral de las distintas coberturas.

Resolución radiométrica. Es la capacidad del sensor para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe, lo cual se indica por el límite máximo de niveles de gris de la imagen. Cuando mayor sea la precisión radiométrica, tanto mejor podrá interpretarse la imagen.

Resolución temporal. Se refiere a la periodicidad con que el sensor adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre. El ciclo de cobertura está en función de las características orbitales de la plataforma (altura, velocidad, inclinación).

Existen dos métodos para analizar las imágenes, visual y digital. La elección de que método utilizar estará en función de los objetivos del estudio a realizar, medios económicos y humanos disponibles, rapidez y precisión exigida, tipo y continuidad de los estudios y homogeneidad de la superficie analizada.

5.4.3.1 Visual

Una de las principales ventajas de utilizar este método, es su capacidad para incorporar a la interpretación de la imagen criterios complejos. Además de la incorporación de otros elementos como son la textura, estructura, y emplazamientos.

Tono

Con el tono se hace referencia a la intensidad de la energía recibida por el sensor para una determinada banda del espectro. En una imagen se distinguen hasta 256 niveles de intensidad o tonos de gris.

Los pixeles con tonos oscuros indican aquellas áreas sobre las que el sensor detecto una señal baja, mientras las zonas claras muestran valores altos de radiancia. En consecuencia, el tono característico de una cubierta varia con la banda del espectro considerada.

Textura

Se refiere a la aparente rugosidad o suavidad de una región de la imagen, esto es, al contraste espacial entre los elementos que la componen

La textura de la imagen proviene de la relación entre el tamaño de los objetos y la resolución del sensor.

Color

El color que aprecian nuestros sentidos es producto de la reflectividad selectiva de los objetos a distintas longitudes de onda.

Aquellas superficies con alta reflectividad en longitudes de onda cortas y baja en el resto, aparecen con color azul, mientras ofrecen un tinte rojo si absorben las longitudes cortas y reflejan las largas.

Si el sensor recoge información sobre las bandas del espectro azul, verde y rojo, puede obtenerse una composición en color natural.

Existen múltiples combinaciones de color que se emplean en el análisis visual, las cuales tienen como objetivo la discriminación de coberturas. Una de las más importantes es la denominada falso color o infrarrojo (banda 2, azul, banda 3, verde y banda 4, rojo). Esta composición facilita la distinción de masas vegetales, agua, ciudades, etc..

5.4.3.2 Digital

El sensor detecta la radiancia media equivalente al tamaño del pixel , unidad visual más pequeña que aparece en la imagen. Este valor medio se traduce por el sensor a un valor numérico, a partir del cual se realiza el análisis digital de imágenes.

Realces y mejoras de la imagen

La mayor parte de los sensores codifican la señal recibida en un intervalo de 256 niveles ; en la mayoría de las bandas el intervalo es más reducido por lo cual ofrecen bajo contraste. Las técnicas que se pueden utilizar para mejorar el contraste son : expansión lineal, ecualización de histograma y expansión especial del contraste (aplicado a un intervalo específico de los valores). Con el resultado de esta mejora se puede hacer una interpretación visual de la imagen, ya que se pueden realzar zonas o coberturas de interés y hacer una primera clasificación.

Filtros

Dependiendo del objetivo que se pretenda, se utiliza el filtro paso bajo o el paso alto. El primero sirve para suavizar los contrastes especiales presentes en la imagen, mientras que el segundo aísla la frecuencia alta, con lo cual enfatiza los rasgos lineales. Dentro de este último tipo se tienen los filtros direccionales, los cuales resaltan las líneas con determinada orientación.

Cociente de Bandas

Consiste en efectuar una división pixel a pixel entre dos o más bandas ; se usa principalmente para mejorar el contraste entre suelo y vegetación. Esta técnica es muy usada en trabajos con enfoque geológico.

Componentes principales

Sintetiza las bandas originales creando nuevas bandas, las que contienen la mayor parte de la información original. Con esto se tiene la mayor parte de los rasgos presentes en la mayoría de las bandas y aquellos que son específicos a algunas de ellas. Este método es usado en la detección de cambios entre dos o más fechas.

Transformación Tasseled Cap.

Esta transformación ofrece componentes de significado físico preciso, el primero denominado brillo, el segundo verdor y el tercero humedad. Los más utilizados son el verdor (relacionado con la vegetación) y el de humedad (se manifiestan los cuerpos de agua y zonas húmedas). Se emplea para el estudio de cultivos y predicción de cosechas.

Clasificación

En este punto se aborda el conocimiento de las categorías en que se agrupan los materiales del área de estudio; la clasificación puede ser visual o digital. La primera es la interpretación sobre reproducciones de la imagen, mientras que la segunda cuenta con la ayuda de la computadora, como resultado se obtiene la cartografía y clasificación de los materiales. En la clasificación digital se tienen dos métodos: supervisado y no supervisado.

Método supervisado

Para aplicarlo se requiere previo conocimiento de los materiales del área, ya que se indica a la computadora las categorías en las que se agrupan éstos, así como los parámetros de control. A estas áreas de una clase específica, que se indican a la computadora, se les denominan campos de entrenamiento.

Método no supervisado

Identifica las clases espectrales presentes en la imagen, no se necesita ningún conocimiento del área, por lo tanto el resultado es interpretativo. Se definen zonas con comportamiento espectral homogéneo, así como los criterios para medir la similitud entre ellos y la agrupación de casos parecidos.

5.4.3.3 Análisis Monobanda

Se debe obtener la estadística de cada banda, como es su media, desviación estándar, tendencias, etc.; con esto se obtiene la primera valoración de la homogeneidad de la imagen.

5.4.3.4 Análisis Multibanda

Consiste en la combinación de dos o más bandas para efectos de interpretación visual o clasificación digital.

5.4.3.5 Análisis Multi-temporal

Consiste en analizar cada imagen independientemente, para luego compararlas y detectar los cambios en las clasificaciones obtenidas. En general los análisis pueden ser multi-anales o multi-estacionales.

5.4.4 Resultados de la interpretación y sus aplicaciones más importantes

La manera de presentar los resultados puede ser a través de una impresora, graficador, cinta de vídeo, disco óptico, etc..

Cualquiera de estas presentaciones debe contar con la siguiente información :

El satélite correspondiente, la fecha de adquisición de la imagen, número de bandas utilizadas en el análisis, código de la escena.

En el borde inferior indicar el centro y fecha del proceso.

Breve descripción de la imagen y sus resultados.

Tipo o nivel de tratamiento. Si está o no clasificada, tipo de clasificación (supervisada o no supervisada).

Simbología.

Leyenda.

Escala gráfica.

Cuando sea posible incluir toponimia.

Invariablemente la imagen debe estar referida a un sistema de coordenadas (UTM o geográficas).

BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO 5

Barret, E. C. Introduction to Environmental Remote Sensing. Chapman and Hall. 1976.

Chuvieco Emilio. Fundamentos de Teledetección Espacial. Rialp, S. A. Madrid, España, 1990.

Drury S. A.. Image Interpretation in Geology. Allen & Unwin, London, England, 1987.

Lillesand, Thomas M.. Remote Sensing and Image Interpretation. Jhon Wilky and Son´s. 1979.

Sabins, Floyd F.. Remote Sensing : Principles and Interpretation. W. H. Freeman and Company. New York. 1987.

Earth´s Nature from Space : A Study of the Natural Resources of the Earth Using Satellite Data. A A. Balkema-Rotterdam. 1991.

IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.

Remote Sensing of Environment an Interdisciplinary Journal.

Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

CAPÍTULO - CARTOGRAFÍA GEOLÓGICO-AMBIENTAL

- Cristenson, Gary E. y Péwé, Troy L. (1979). ENVIRONMENTAL GEOLOGY OF THE MC DOWELL MOUNTAINS AREA, MARICOPA COUNTY, ARIZONA (**WASTE DISPOSAL MAP**). Geologic Investigation Series. Folio, **MAP GI-1-I**. State of Arizona - Bureau of Geology and Mineral Technology.
- Cristenson, Gary E. y Péwé, Troy L. (1979). ENVIRONMENTAL GEOLOGY OF THE MC DOWELL MOUNTAINS AREA, MARICOPA COUNTY, ARIZONA (**CONSTRUCTION CONDITIONS MAP**). Geologic Investigation Series. Folio, **MAP GI-1-J**. State of Arizona - Bureau of Geology and Mineral Technology.
- Langer, M. (1995). **Special purpose mapping. ENGINEERING GEOLOGY AND WASTE DISPOSAL**. Scientific Report and Recommendations of the **IAEG**; Commision No. 14. Bulletin of the Int. Association of Engineering Geology, Paris No. 51. Avril.
- Lugo-Hubp, J. (1988). **ELEMENTOS DE GEOMORFOLOGÍA APLICADA (MÉTODOS CARTOGRÁFICOS)**. Instituto de Geografía - UNAM, México, D. F., 128 p.
- Martín del Pozzo, A. L.; Sheridan, M; Barrera, D.; Lugo, J. y Vázquez-Selem, L. (1995). **MAPA DE PELIGROS, VOLCÁN DE COLIMA**. Escala 1:70,000. Instituto de Geofísica, UNAM. México.
- Proske V. Vlcko (1994). **ENGINEERING GEOLOGICAL MAPPING** (for waste disposal purposes). **IAEG**, Communication No. 1.
- Van der Wall, R. *et al.* (1992). **SITE SELECTION FOR DOMESTIC WASTE DISPOSAL SITES IN THE HILL SURROUNDINGS OF THE BATUJAJAR AND BANDING PLAINS**. Proj. Rep. No. 24. Dir. Environm. Geology, Bandung.
- Varios autores - - - - - (1979). Serie de cartas Geológico Ambientales de las Montañas Mc Dowell, Condado de Maricopa, Arizona.
- Welsch Dennis G. y Péwé, Troy L. (1979). ENVIRONMENTAL GEOLOGY OF THE MC DOWELL MOUNTAINS AREA, MARICOPA COUNTY, ARIZONA (**GEOLOGIC HAZARDS MAP**). Geologic Investigation Series. Folio, **MAP GI-1-G**. State of Arizona - Bureau of Geology and Mineral Technology. A Division of the U. of Az, Tucson, Arizona.



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

CURSOS ABIERTOS

GEOLOGÍA AMBIENTAL

TEMAS:

GEOLOGÍA AMBIENTAL EN LA MINERÍA Y EN LA INGENIERÍA CIVIL

**ING. JUAN M. NIETO CALLEJA
ING. JUAN SÁNCHEZ PÉREZ
PALACIO DE MINERÍA
ABRIL 2000**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
Palacio de Minería, México, D. F.

GEOLÓGIA AMBIENTAL 2000

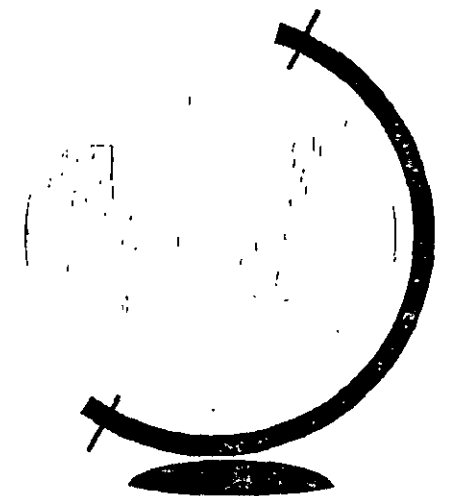
Capítulo VI

GEOLÓGIA AMBIENTAL EN LA MINERÍA Y EN LA INGENIERÍA CIVIL

Profesores: Ings.

Juan M. Nieto Calleja

Juan Sánchez Pérez



CONTENIDO PARA LA PRESENTACIÓN DEL TEMA
Evaluación del impacto ambiental y detección de hidrocarburos en el subsuelo

Por

Ing. Juan Manuel Nieto Calleja

- 1.- Metodología para la evaluación del impacto ambiental**
 - Tipos de impacto
 - Evaluación de impacto ambiental
 - Técnicas para identificación de impactos
 - Procedimiento para la manifestación del impacto ambiental

- 2.- Estudios de detección de hidrocarburos en el subsuelo**
 - Metodología de estudio
 - Equipos utilizados

- 3.- Estudios para selección de sitios de una termoeléctrica**

ESTUDIOS GEOLÓGICO AMBIENTALES Y LAS OBRAS DE INGENIERÍA CIVIL

Por

Ing. Juan Sánchez Pérez

- 1.- Impactos por el almacenamiento de presas**

- 2.- Impacto producido por la construcción de canales**
 - Derivación del Río Balsas, Gro.
 - Conducción de aguas residuales
 - Domésticas, con incidencia industrial
 - Industriales

- 3.- Impacto por la disposición de residuos sólidos**
 - Normatividad
 - Obras para la disposición segura de residuos peligrosos.
 - Disposición de residuos radiactivos de mediano y bajo nivel

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

FACTORES

CONSECUENCIAS

ECOLÓGICO

Cambios en las características estructurales del ambiente, como factor equilibrador de la estabilidad ecológica

Reducción en la capacidad productora y protectora del ecosistema

IMPACTO AMBIENTAL

Alteración estructural y funcional del medio ambiente, debido a la actividad del hombre o la naturaleza

SOCIOECONÓMICO Y CULTURAL

Reducción de la calidad de vida y desarrollo económico y cultural

TIPOS DE IMPACTOS

	TIPOS	DESCRIPCIÓN
TIPOS DE IMPACTOS	PRIMARIO	Relación directa de un proyecto específico
	SECUNDARIO	Relación indirecta de un proyecto específico
	TEMPORAL	Que puede ocurrir a corto o largo plazo
	REVERSIBLE O IRREVERSIBLE	Desestabilidad de ecosistemas
	PERSISTENTE	Perdurables aun después de la aplicación de un estímulo
	ACUMULATIVO	Conglomeración de efectos

EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)

Estimación de todos los efectos, ambientales y sociales, importantes que resultarían de cualquier proyecto.

Evaluación de las consecuencias ambientales probables derivadas de programas, proyectos y políticas.

Su aplicación inicia en 1970 en USA y en 1988 en México

METODOLOGÍA

1.- DEFINICIÓN DE OBJETIVOS

2.- IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS POTENCIALES

3.- MEDICIÓN DE CONDICIONES DE BASE Y PREDICCIÓN

- EVALUACIÓN POSTIMPACTO

- ESTIMACIÓN DE LAS POSIBLES PREDICCIONES

4.- EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.- CONSIDERACIÓN DE ACCIONES ALTERNAS

6.- TOMA DE DECISIÓN EN BASE AL MONITOREO POSTIMPACTO

TÉCNICAS PARA IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

OBJETIVO:

Predicción del estado futuro de los parámetros analizados.

INTERNACIONAL

- 1.- Juicio de los expertos
- 2.- Uso de listas
- 3.- Uso de matrices
- 4.- Uso de redes
- 5.- Uso de diagramas
- 6.- Superposición de mapas
- 7.- Modelos matemáticos

NACIONAL

- 1.- Juicio de los expertos
- 2.- Uso de listas
- 3.- Uso de Matrices
- 4.- Uso de redes
- 5.- Técnicas Ad-hoc
- 6.- Superposición de mapas
- 7.- Análisis costo beneficio
- 8.- Medición directa
- 9.- Análisis de índices e indicadores

METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO PARA LA MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (MIA)

1.- DATOS GENERALES

2.- DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

- Descripción general
- Selección del sitio
- Preparación y construcción del sitio
- Operación y mantenimiento

3.- ASPECTOS GENERALES DEL MEDIO NATURAL Y SOCIOECONÓMICO

- Rasgos físicos
Clima, suelo, agua, geología y geomorfología
- Rasgos biológicos
Flora, fauna, ecosistemas y paisajes
- Medio socioeconómico
Población, servicios, tipo de economía y cambios socioeconómicos

4.- VINCULACIÓN CON NORMAS Y REGLAMENTOS

5.- IDENTIFICACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

6.- MEDIDAS PAR MITIGACIÓN Y PREVENCIÓN DE LOS IMPACTOS

7.- RECOMENDACIONES

COSTO MARGINAL DE OPORTUNIDAD (CMO)

Costo de la mejor alternativa de uso del recurso, basado en la identificación y medición de los costos socioeconómicos del hombre, que implica la degradación o destrucción de recursos naturales.

Depende de:

- Tamaño del recurso en función de su uso
- Especulación sobre la demanda del recurso a futuro, con relación a la actual
- Sustitutos del recurso y costo a futuro
- Tasa de interés.

FI-DEC

COSTO USUARIO (CU)

Costo del uso del recurso a largo plazo, tomando en cuenta el impacto sobre el agotamiento del recurso a lo largo del tiempo

COSTO DIRECTO (CD)

Costo de los insumos (servicios, maquinaria, combustibles, mano de obra, etc.) normalmente se toma como el costo aparente del uso del recurso

COSTO EXTERNO (CE)

Costo del cambio de dotación y productividad del recurso, como resultado de la actividad proyectada (erosión, deterioro del clima, cambio en la diversidad, estabilidad, y productividad de la biota etc.)

EJEMPLO

Un recurso no renovable " X " tiene un costo actual de \$ 1.00, es decir su $CD + CE = \$ 1.00$

Si suponemos que el recurso " X " se agotara en 20 años y será sustituido por el recurso " Y " , el cual tiene un costo actual de \$ 1.90 y tendrá un costo de \$ 3.00, a una tasa promedio anual de 4 % en los 20 años, el Costo Marginal de Oportunidad se calcula de la siguiente manera.

$$CMO = 3 / (1 + 0.04)^{20} = \$ 1.37$$

Por lo que \$ 1.37 es el costo total del recurso " Y " en la actualidad, por lo que el Costo Usuario (CU) = \$ 0.37, este costo puede variar por la incertidumbre del costo del recurso en el mercado.

GRUPO MULTIDICIPLINARIO QUE DEBE PARTICIPAR

1.- Biólogos

Especialista en flora y fauna

2.- Agrónomos

3.- Meteorólogos

4.- Geólogos

5.- Geohidrólogos

6.- Economistas

PROCESO DE ESTUDIO

1.- ANTECEDENTES

-Recopilación y análisis de información

2.- TRABAJO DE CAMPO

- Muestreos, encuestas, etc.

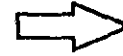
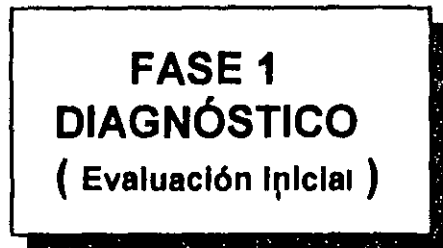
3.- ANÁLISIS DE DATOS E INTERPRETACIÓN

- Evaluación del impacto

4.- DEFINICIÓN DE LAS MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DEL IMPACTO



ETAPAS DE UN ESTUDIO DE CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS



UTILIZACIÓN DE DATOS EXISTENTES

- Reportes
- Manifiestos
- Información regional
- Fotos Aéreas
- Información de empresas públicas, privadas, universidades, etc.

DESARROLLO DEL MODELO CONCEPTUAL

DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO

DIAGNÓSTICO DEL SITIO

ESTUDIOS DEL SITIO A DETALLE

- Suelos
- Geohidrología
- Información
- Hidrología
- Geología estructural

CONFIRMACIÓN O MODIFICACIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL

- Análisis de datos
- Modelación numérica
- Más trabajo de campo, si se requiere

CARACTERIZACIÓN DEL SITIO

ENFOQUE DE LOS ESTUDIOS DEL SITIO PARA RESTAURACIÓN

APLICACIÓN DE MEDIDAS DE RESTAURACIÓN INTERMEDIAS

REALIZACIÓN DE ESTUDIO A ESCALA DE LABORATORIO Y PILOTO

EJECUCIÓN DE ESTUDIOS DE CAMPO PARA LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN

SELECCIÓN Y DISEÑO DE TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN

IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICA DE RESTAURACIÓN

MONITOREO DEL SITIO



FASE 1 DIAGNÓSTICO (Evaluación inicial)

Consiste en la utilización de la mayor cantidad de datos existentes posibles, para desarrollar el conocimiento conceptual del sitio y los procesos que intervienen en él.

Se puede incluir la información de reportes, archivos y expedientes, tales como manifiestos o inventarios químicos, entrevistas actuales o pasadas a personal de las instalaciones, planos de instalaciones, información regional geológica, ambiental y socioeconómica ; así como fotografías aéreas, entre otras. De igual manera se realiza una verificación de campo de la información recopilada.

Para delinear el modelo conceptual, esta fase desarrolla el plan de trabajo y fija alternativas de solución en caso necesario.

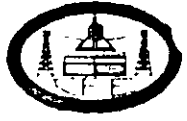


FASE 2 CARACTERIZACIÓN (Evaluación detallada)

La caracterización incluye tres etapas:

- 1.- Reconocimiento de campo para optimar las etapas más detalladas subsecuentes, así como para información adicional.
- 2.- Definición de la estrategia de monitoreo de la zona no saturada y saturada, realización de perforaciones para estudios de suelos y agua subterránea, así como la construcción de pozos de monitoreo.
- 3.- Confirmación o modificación del modelo conceptual, con base en análisis de datos, modelación numérica y trabajo de campo en caso de requerirse.

El producto final de esta fase es la caracterización del sitio, lo cual permite definir la magnitud y extensión de la contaminación, evaluando si se requiere restauración. Aporta las bases para la selección de alternativas de restauración e inicia las negociaciones con las agencias reguladoras



FASE 3 RESTAURACIÓN

Esencialmente involucra los esfuerzos de investigación y su implementación para la restauración del sitio, concertados con la agencia reguladora .

Si el impacto al suelo y agua subterránea a excedido los límites fijados a los parámetros regulados por la autoridad competente, se juzgarán peligrosos, por lo que se realizará una evaluación de riesgo, con base en la cual se diseñarán e implementarán las medidas de restauración conducentes, previa concertación con la autoridad.

Los aspectos relevantes de esta fase incluyen la apropiada selección de tecnologías de restauración, mediante el empleo de estudios de factibilidad, pruebas piloto de laboratorio y campo, aplicación de medidas de restauración intermedias y de largo plazo, monitoreo continuo durante la restauración y al término de la misma, todas las acciones serán concertadas con autoridad competente.

VI.3 SELECCIÓN DE SITIOS PARA DEPÓSITOS SANITARIOS

Con relación a los desperdicios que generamos hoy en día es conveniente recordar la expresión de Fosse y Hess (1978):

Los montones de basura son el monumento más significativo al "progreso" del hombre"

la cual, es muy clara para ilustrar este grave problema que tenemos actualmente, ya que las grandes cantidades de basura que se generan y aquella procedente de materiales nunca antes conocidos (no degradables), nos han venido a complicar notablemente la existencia. Hoy en día no es fácil deshacerse de la basura, a diferencia de lo que sucedía en épocas anteriores, cuando la mayor parte de la misma estaba compuesta por desechos orgánicos y era biodegradable.

Desde tiempos antiguos el ser humano ha tenido que buscar lugares apropiados para alojar sus desechos. Nuestros antepasados (los aztecas, por ejemplo), tenían mucho cuidado de enterrar sus desperdicios en lugares alejados de los sitios que habitaban y gracias a ello, nunca tuvieron que lamentar los efectos de materiales en descomposición o la contaminación de sus recursos naturales.

En la época moderna se han tenido diferentes estudiosos del tema, pero tal parece que es a partir de 1940, cuando empiezan los trabajos realmente serios para tratar de reducir el problema, como se indica a continuación:

Entre 1940 y 1960 se realizaron experimentos en varias partes del mundo, con el fin de crear la **composta**, la producción experimental funcionó más o menos, pero cuando se abordó más en serio este asunto se tuvo un completo fracaso y la principal razón para ello fue la notable disminución que se tuvo de materia orgánica compostable dentro de los desechos municipales.

Bellamy (1969) y **Han, et al (1969)** realizaron estudios para convertir la basura municipal en "celdas simples" de proteínas para consumo animal e incluso humano, pero sus resultados no fueron muy alentadores.

Stern (1971) analizó esquemas complejos de reciclaje y reuso, con lo cual encontró que la recolecta y concentrado de contaminantes en grandes pilas resultaba una de las mejores opciones.

Fitzpatrick (1973) al buscar usos económicos para la basura, determinó que uno de los mejores es la producción de energía.

El año de 1973 fue importante ya que la sociedad empezó a tener un poco más de conciencia respecto a los problemas derivados de la basura, a diferencia de lo

que sucedió entre 1968 y 1973, cuando existía poca conciencia ciudadana y prácticamente todo se dejaba en manos de los gobernantes, en lugar de actuar y afrontar el problema, lo cual ocasionó una pérdida notable de tiempo para tratar de encontrar soluciones.

También en 1973 en los Estados Unidos de Norteamérica se crean **Legislaciones estatales para el Control y Depósito de Desechos Sólidos**, con las cuales se pretendía dar a conocer a la ciudadanía **Que hacer y Que no hacer**, respecto a los depósitos para basura, asesorándolos por medio de equipos técnicos especializados; sin embargo, viendo el problema actual nos podemos preguntar ¿Qué sucedió? Y la respuesta obligada es: Las buenas intenciones que se tenían no se pudieron cumplir por varias razones (ilógicas en su mayoría) y continuaron operando los basureros poco planeados (*town dumps* o pueblos de desechos, como se les conoce en los Estados Unidos de Norteamérica) y los tiraderos clandestinos, tomando en cuenta muy poco los criterios que habían sido establecidos por la Asociación Americana de Trabajos Públicos, tales como:

1. Control de la construcción y del mantenimiento de los depósitos
2. Controlar la contaminación inducida por polvo, humo y malos olores
3. Evitar el riesgo de incendios.
4. Prevenir la contaminación de suelo y agua.
5. Reducción al mínimo de las incomodidades derivadas de un depósito de desechos.

El grupo de técnicos para estudiar los sitios para el depósito de desechos estaba constituido por varios profesionistas: Geólogo, Ingeniero Civil o Ingeniero Sanitario y Bioquímico; quienes trabajaron en conjunto, para lograr que el tiradero clandestino del pueblo de Derry, se convirtiera en un depósito sanitario para basura, el cual obtuvo permiso para su funcionamiento por parte del Departamento de Recursos Ambientales de Pensilvania, EUA.

El método de trincheras para la disposición de los desechos se utilizó desde principios de 1970 y continuó operando hasta el llenado de una superficie de 34 acres en 1975. Los principales aspectos técnicos involucrados en la construcción del depósito sanitario fueron mencionados por Foose en 1972, de cuyo artículo destaca lo siguiente:

- A) Los parámetros geológicos asociados con la localización del depósito sanitario
- B) La información más crítica obtenida e interpretada durante el período de 5 años (1970-75) en que funcionó el depósito de Derry.
- C) El diseño e instrumentación planeado para la ampliación del basurero y su habilitación como depósito sanitario, para el cual se obtuvo el reconocimiento del Depto. de Recursos Ambientales de Pensilvania, en Septiembre de 1975, como uno de los sitios más funcionales.

PARÁMETROS GEOLÓGICOS PARA LA LOCALIZACIÓN DE UN DEPÓSITO SANITARIO PARA BASURA. (Se comentarán en clase)

LA GEOLOGÍA EN LA SELECCIÓN DE SITIOS PARA LA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS

La disposición de residuos, reviste una importancia muy grande en la actualidad, debido a los volúmenes generados y su impacto significativo al entorno ecológico, principalmente a la afectación potencial de los recursos hídricos subterráneos, los cuales por su naturaleza, no se aprecia su deterioro inmediato, razón por la cual es necesario protegerlos de una posible migración de contaminantes.

La presente platica aplica para todos los residuos sólidos generados, tanto municipales como peligrosos, esto conforme a lo tipificado por SEDESOL.

RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

MARCO LEGAL QUE APLICA

CNA	1994	Ley de Aguas Nacionales
SEDESOL	1993	Ley General del Equilibrio Ecológico y La protección al Ambiente
SEDESOL	1993	Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana, que establece las condiciones que debe reunir el sitio destinado a relleno sanitario, para la disposición final de los residuos sólidos municipales.

OBJETIVO

Recomendar, desde el punto de vista geológico, la alternativa para la disposición de residuos sólidos, provenientes de las actividades de la sociedad. Con el fin que la obra de disposición no impacte de forma negativa a los recursos acuíferos del área seleccionada.

REQUISITOS

Es necesario que previo al inicio del estudio se cuente con la suficiente información del tipo y cantidad de residuo a depositar, restricciones generales que deben de aplicar para el manejo y disposición del residuo, área requerida y anteproyecto de obra.

SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE ESTUDIO_x(1)

Con base en la información recopilada, se seleccionan alternativas para la disposición del residuo, las cuales se jerarquizan en función de los requerimientos del estudio.

Aplicación de criterios de selección.

Los criterios de selección del sitio de disposición, son los que recomienda la SEDESOL en su anteproyecto de Norma Oficial Mexicana, referente a las condiciones que debe reunir el sitio destinado a relleno sanitario, para la disposición final de residuos sólidos municipales, los cuales son:

- 1.- Nivel estático localizado a una profundidad superior a 10 m.
- 2.- Debe estar a más de 1 km de distancia de las áreas de recarga de los acuíferos de la zona de estudio.
- 3.- Debe estar localizado a una distancia superior a 1 km de fuentes de abastecimiento de agua.
- 4.- En caso que existan fallas o fracturas geológicas importantes, éstas deben de localizarse a una distancia superior a 100 m.
- 5.- La pendiente del terreno debe ser inferior al 3%.
- 6.- El sitio debe estar localizado a una distancia superior de 500 m de la mancha urbana.
- 7.- En caso que existan oleoductos o líneas de transmisión de energía eléctrica, éstas deben de estar a una distancia superior de 150 m.
- 8.- El coeficiente de permeabilidad del suelo debe ser de 10^{-5} cm/s.
- 9.- La capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo debe ser mayor o igual a 30 meq/100 mg.
- 10.- La capacidad del sitio debe asegurar un vida útil de cuando menos 7 años.
- 11.- La distancia a los bancos de préstamo debe ser menor a 10 km.
- 12.- Estar localizado a más de 1 km, aguas arriba, de áreas inundables o cuerpos de aguas superficiales.
- 13.- Localizado a más de 70 m de vías de comunicación.

EVALUACIÓN DE CRITERIOS DE SELECCIÓN

Los sitios alternativos para disposición de residuos se evalúan conforme la aplicación de los criterios de selección, eliminando los que no reúnan los requisitos marcados por el anteproyecto de NOM. En caso que no exista alternativa que reúna todas las criterios, se realiza el informe correspondiente, en caso contrario, prosigue el estudio geohidrológico en el (los) sitio (sitios) seleccionados y se jerarquiza cada uno para sus estudios.

RESIDUOS SOLIDOS PELIGROSOS

MARCO LEGAL QUE APLICA

NOM-CRP-001-ECOL/1993	Características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
NOM-CRP-002/ECOL/1993	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-CRP-003/ECOL/1993	Procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la norma oficial CRP-001-ECOL/1993.
NOM-CRP-004-ECOL/1993	Requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos NOM-CRP-001-ECOL/1993
	Características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

OBJETIVO

Recomendar, desde el punto de vista geológico, la alternativa viable para la disposición segura de residuos sólidos peligrosos. Con la finalidad que la obra de disposición no impacte de forma negativa a los recursos acuíferos del área seleccionada.

REQUISITOS

Es necesario que previo al inicio del estudio, se cuente con la suficiente información del tipo y cantidad de residuo a depositar, restricciones generales que deben aplicar para el manejo y disposición del residuo, área requerida para la disposición y anteproyecto de obra para la disposición.

SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE ESTUDIO (2)

Con base en la información recopilada, se seleccionan los sitios potenciales para la disposición del residuo, las cuales se jerarquizan en función de los requerimientos del estudio.

APLICACIÓN DE CRITERIOS DE SELECCIÓN

Los criterios de selección del sitio de disposición, son los que recomienda la SEDESOL en la Norma Oficial Mexicana NOM-CRP-004, que establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos, excepto los radiactivos, los cuales son:

Geohidrológicos

1. Ubicarse preferentemente en zonas que no tengan conexión con acuíferos.
2. De no cumplirse la condición anterior, el acuífero subyacente debe estar a una profundidad mínima de 200 m.
3. En caso de no cumplirse las condiciones anteriores, el acuífero subyacente debe ser un acuífero confinado y las características del material entre este y la superficie, deben ser tales que cualquier elemento contaminante quede retenido en él, antes de llegar al acuífero. El tiempo de flujo de la superficie al manto freático debe ser mayor de 300 años.

Hidrológicos

1. Ubicarse fuera de llanuras de inundación, con un período de retorno de 10 000 años, delimitado con un ajuste tipo Gumbell (Springall, 1980).
2. Estar alejado en desnivel 20 m, a partir del fondo del cauce de corrientes con un escurrimiento medio anual mayor de 100 m³.
3. Estar alejado 500 m a partir del centro del cauce de cualquier corriente superficial, ya sea permanente o intermitente, sin importar su magnitud.
4. De no cumplirse la condición anterior, debe ubicarse dentro de la cuenca hidrológica, aguas abajo de asentamientos humanos mayores de 10 000 habitantes y de zonas con densidad industrial mayor de 50 industrias.

Ecológicos

1. Ubicarse fuera de zonas que comprenden el Sistema Nacional de Areas Naturales Protegidas y de las zonas del patrimonio cultural .
2. Ubicarse en áreas en donde no represente peligro para las especies protegidas o en peligro de extinción, o en aquéllas en las que el impacto ambiental sea mínimo para los recursos naturales.

Climatológicos

1. Ubicarse en zonas en donde se evite que los vientos dominantes transporten las posibles emanaciones a los centros de población y sus asentamientos humanos.
2. La porción de la lluvia promedio diaria susceptible de infiltrarse, calculada a partir del coeficiente de escurrimiento diario, debe ser menor que la capacidad de campo del terreno.
3. Evitar regiones con intensidad de precipitación media anual mayor de 2 000 mm.
4. La evaporación promedio mensual, debe ser menos del doble de la lluvia promedio mensual.

Demográficos

1. La distancia del límite del centro de población, debe ser como mínimo de 25 km, para poblaciones mayores de 10,000 habitantes con proyección al año 2010.
2. La distancia del límite del centro de población, debe ser como mínimo de 15 km, para poblaciones entre 5 000 y 10 000 habitantes, con proyección al año 2010.

Sísmicos

1. Ubicarse preferentemente en zona asísmica.
2. De no cumplirse la condición anterior, el riesgo sísmico debe de ser mínimo, por lo que no debe haberse registrado más de cuatro sismos de magnitud mayor de 7 grados en la escala de Richter en los últimos 100 años.

Topográficos

1. El camino de acceso que une al sitio con las vías principales de comunicación debe ser transitable en todo el tiempo y estar en buenas condiciones de seguridad. El sitio debe localizarse a no menos de 500 m de vías de comunicación federal o estatal.

EVALUACIÓN DE CRITERIOS DE SELECCIÓN

Los sitios alternativos para disposición de residuos peligrosos se evalúan conforme a la aplicación de los criterios de selección, eliminando los que no reúnan los requisitos marcados en la Norma Oficial Mexicana NOM-CRP-04-ECOL/1993. En caso que no exista alternativa que reúna todos los criterios, se realiza el informe correspondiente, en caso contrario se prosigue el estudio geohidrológico en el (los) sitio (s) seleccionados y se jerarquiza cada uno para su estudio.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA PARA EL CAPÍTULO VI

GEOLOGIA AMBIENTAL E INGENIERIA

- AEG (1965). **Geology and Urban Development**. Special Publication, Assoc. of Engineering Geologists, Building Codes and Related Matters Committee - Los Angeles Section. October, 1965.
- AMSCRESPAC (1990). **Los residuos sólidos y peligrosos, presente y futuro de un problema Nacional**. Memoria del Primer Simposio Nacional. Asoc. Mex. para el control de los residuos Sólidos y Peligrosos, A.C.. México, D.F..
- ASCE (1973). **Environmental Impact, Specialty Conference**. Proceedings of the ASCE Urban Transportation Division. Published by the American Society of Civil Engineers, New York, NY.
- ASCE (1980). **1980 National Conference on Environmental Engineering**. Published by the American Society of Civil Engineers, New York, NY.
- ASTM (1986). **Hazardous and Industrial Solid Waste Testing and Disposal**. Lorenzen, Conway, Jackson, Hamza, Perket y Lacy Editors. Am. Soc. of Tech. Mats., Vol. 6. Philadelphia, Pa.. 471 p.
- COATES, D. R. (1971). **Legal and Environmental Case Studies in Applied Geomorphology**. Environmental Geomorphology, State University of New York, Binghamton, N.Y., p. 223-242.
- _____ (1972). **Environmental Geomorphology and Landscape Conservation: prior to 1900**, Dowden, Hutchinson and Ross Inc., Stroudsburg, Pennsylvania, 485 p.
- _____ (1976). **Geomorphology and Engineering**. Dowden, Hutchinson and Ross Inc., Stroudsburg, Pennsylvania. 360 p.
- COOKE, R. U. and DOORNKAMP, J. C. (1977). **Geomorphology in Environmental Management, an introduction**. Clarendon Press.. Oxford, Great Britain. 413 p.
- DE LA TORRE-BORBON, E. (1980). **Estudio geológico integral de las cuencas de Tulá y Zumpango, orientado al almacenamiento de aguas negras y pluviales**. Tesis, FI - UNAM, México, D. F..

EJEMPLO: PRESA BALDWIN HILLS

RESUMEN

1. Al atarceder del 14 de Diciembre de 1963, las personas del pueblo fueron rápidamente evacuadas, ya que el agua empezó a infiltrarse por una fisura de la presa.
2. Dos horas después la presa falló, ocasionando 5 muertes y
3. \$ 11 x 10⁶ en daños
4. Dimensiones de la presa: H = 71 m; L = 198 m
- 5.- CAUSAS: Movimiento gradual, a lo largo de fallas en la zona de la boquilla. Los movimientos fracturaron la parte superior de la presa, los cimientos y la membrana asfáltica de la presa y vaso de almacenamiento
6. El vaso de almacenamiento se encuentra en el extremo de un Campo Petrolero y las extracciones realizadas entre 1923 y 1963 produjeron subsidencias de más de 1m en la zona del vaso de almacenamiento
7. Cuando el vaso se vació, se pudieron apreciar fracturas en la carpeta asfáltica (concreto asfáltico) Las fracturas se extendían a lo largo del vaso y estaban alineadas con el fondo del cañon (corte profundo).
8. Al construir la presa, en 1947, se utilizaron las últimas técnicas conocidas para la construcción (las más avanzadas).
9. La falla principal y varias más, se descubrieron durante la construcción, se examinaron y se evaluaron como NO PELIGROSAS para la estabilidad de la presa
- 10 Debido a experiencias previas, como la de la Presa San Francisco (1928) el diseño incluyó algunas medidas preventivas, debido a la presencia de las fallas, tales como el desplante de una capa protectora de arcilla compactada.
11. Además se realizaban inspecciones periódicas, para asegurarse de las condiciones de la presa.
12. En el período de tiempo entre la construcción de la presa y su caída, la falla principal se movió unos centímetros (SIN LA PRESENCIA DE TEMBLORES), lo cual ocasionó que la carpeta de arcilla se agrietara (fallara).
13. El agua del vaso fluyó hacia la presa (cortina) y la erosionó originando el desborde.
- 14.- La caída de la cortina (falla) ocurrió rápidamente.
- 15.- Afortunadamente se tuvieron varias horas para alertar a los vecinos y a las autoridades y con ello pudieron actuar rápidamente; si no, las pérdidas humanas hubieran sido muchas más.
16. Las causas del movimiento fueron controvertidas, pero la principal hipótesis liga la falla con la subsidencia ocasionada por la explotación del campo petrolero.

EJEMPLO: PRESA SAINT FRANCIS, Edo. de California, EUA

1. La noche del 12 de Marzo, 1928
2. Se perdieron 500 vidas
3. Diez millones de dolares en daños a propiedades, debidas al flujo turbulento aguas abajo del cañon San Francisquito, cerca de Sanguis, CA.
4. Dimensiones: H = 63 m; L = 214 m; Capacidad = 47×10^6 m³
5. Causas: NETAMENTE Geológicas.
6. La margen Oriental = Rocas Metamórfica con foliación paralela a la presa
7. Se tenía evidencia de inestabilidad de las laderas
8. En la margen Occidental = Rocas sedimentaras, con acantilados que sugerian que la Roca era fuerte y resistente, lo cual era cierto en condiciones semiáridas, pero húmeda se desintegraba, sin embargo, ésto no se comprobó, si no hasta que la presa falló.
9. El contacto entre ambas rocas fragmentada y alterada (con arcilla y yeso)
10. La falla estaba reportada en el plano de fallas del Estado de California, de 1922, pero no fue se ignoró su importancia para la construcción de la presa
11. El proceso combinado falla más condiciones de humedad produgeron la tragedia.
12. Este evento, atrajo, por primera vez, la atención pública respecto a la importancia de los Estudios Geológicos, para localizar y evaluar los sitio para la construcción de presas.

ACTUALMENTE LOS ESTUDIOS SON REQUERIDO POR LAS AUTORIDADES NACIONALES E INTERNACIONALES Y SE HAN ESTANDARIZADO EN GRAN MEDIDA

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA PARA EL CAPÍTULO VI

GEOLOGIA AMBIENTAL E INGENIERIA

AEG (1965). **Geology and Urban Development**. Special Publication, Assoc. of Engineering Geologists, Building Codes and Related Matters Committee - Los Angeles Section. October, 1965.

AMSCRESPAC (1990). **Los residuos sólidos y peligrosos, presente y futuro de un problema Nacional**. Memoria del Primer Simposio Nacional. Asoc. Mex. para el control de los residuos Sólidos y Peligrosos, A. C.- México, D.F..

ASCE (1973). **Environmental Impact, Specialty Conference**. Proceedings of the ASCE Urban Transportation Division. Published by the American Society of Civil Engineers, New York, NY.

ASCE (1980). **1980 National Conference on Environmental Engineering**. Published by the American Society of Civil Engineers, New York, NY.

ASTM (1986). **Hazardous and Industrial Solid Waste Testing and Disposal**. Lorenzen, Conway, Jackson, Hamza, Perket y Lacy Editors. Am. Soc. of Tech. Mats., Vol. 6. Philadelphia, Pa.. 471 p.

COATES, D. R. (1971). **Legal and Environmental Case Studies in Applied Geomorphology**. Environmental Geomorphology, State University of New York, Binghamton, N.Y., p. 223-242.

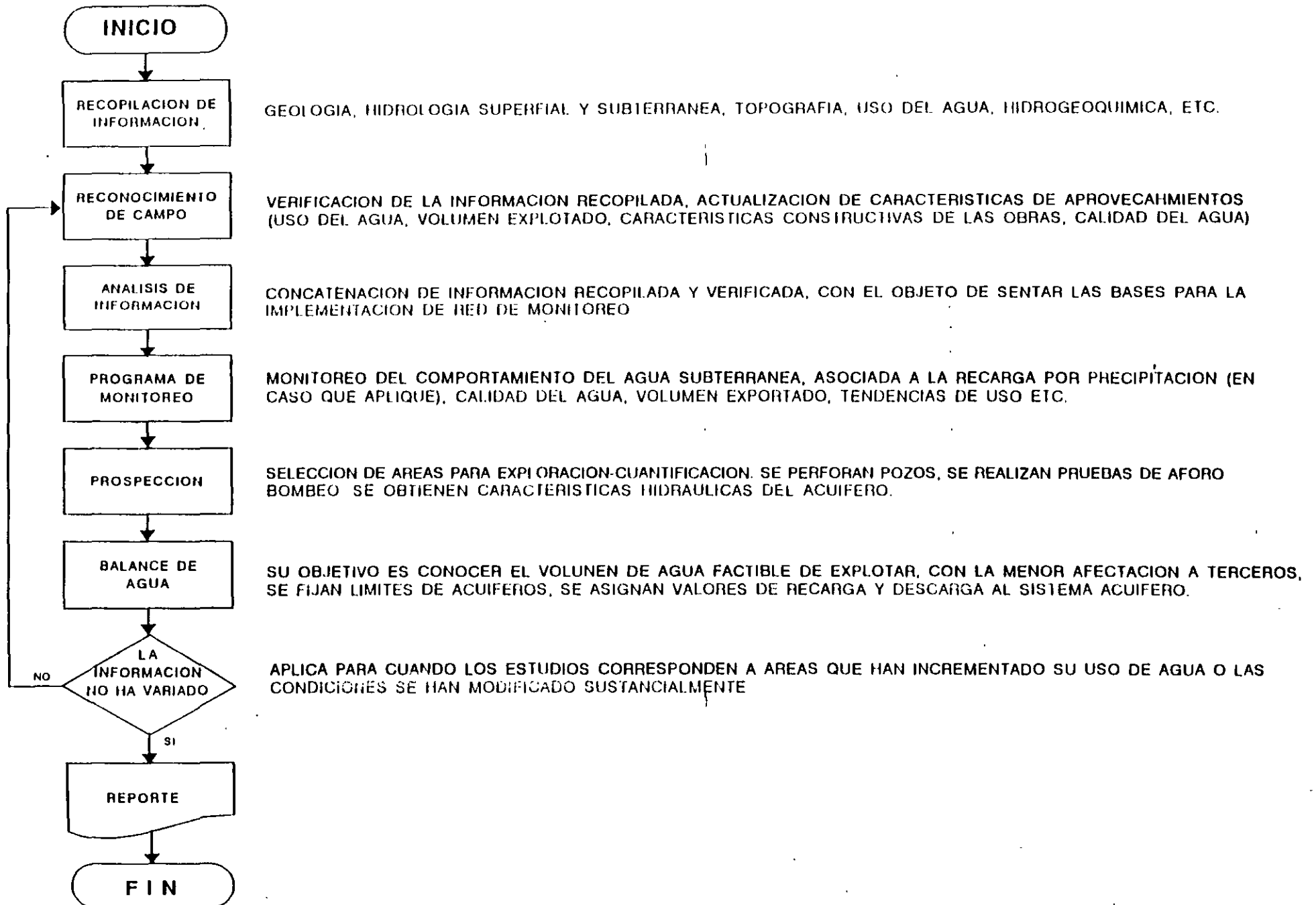
(1972). **Environmental Geomorphology and Landscape Conservation: prior to 1900**, Dowden, Hutchinson and Ross Inc., Stroudsburg, Pennsylvania, 485 p.

(1976). **Geomorphology and Engineering**. Dowden, Hutchinson and Ross Inc., Stroudsburg, Pennsylvania. 360 p.

COOKE, R. U. and DOORNKAMP, J. C. (1977). **Geomorphology in Environmental Management**, an introduction. Clarendon Press. Oxford, Great Britain. 413 p.

DE LA TORRE-BORBON, E. (1980). **Estudio geológico integral de las cuencas de Tula y Zumpango, orientado al almacenamiento de aguas negras y pluviales**. Tesis, FI - UNAM, México, D. F..

PROCEDIMIENTO GENERAL DE ESTUDIO



Special groundwater investigations

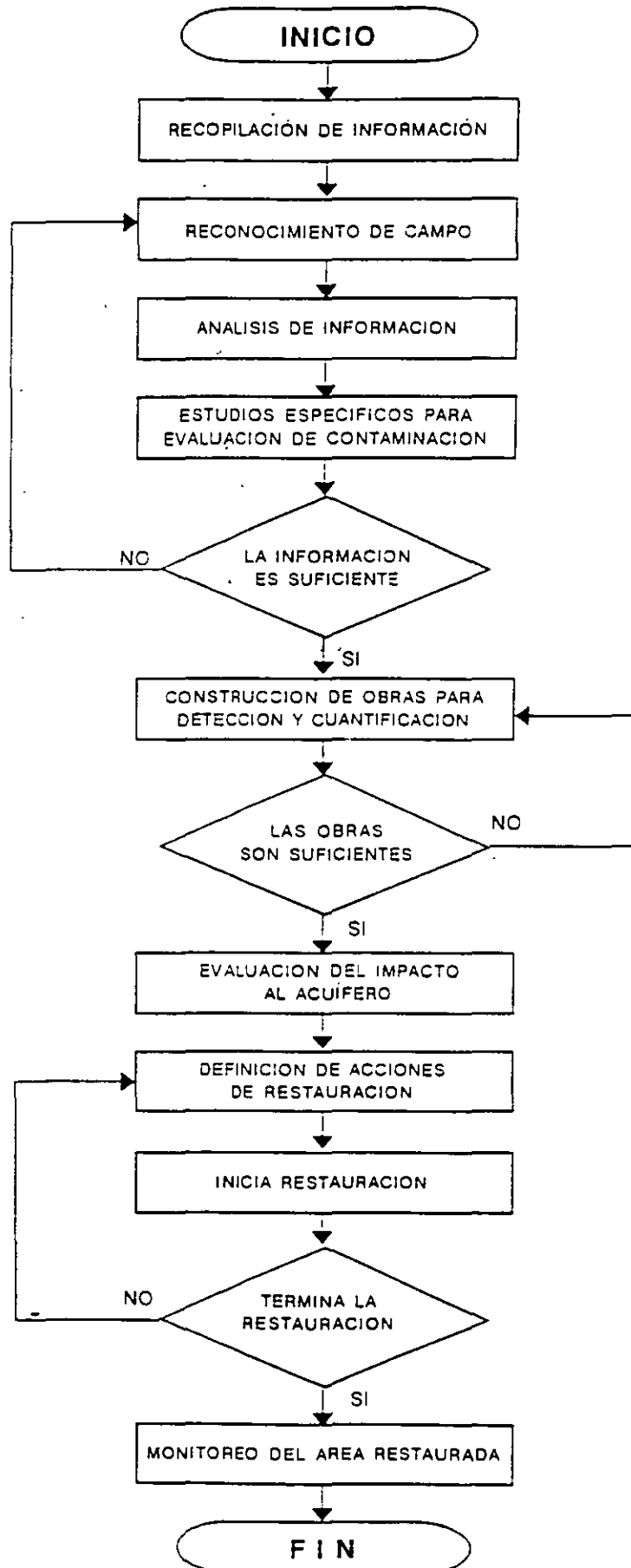
Table . Average water requirements for various domestic purposes, agricultural needs and manufacturing processes

<i>Use of product</i>	<i>Quantity of water needed*</i>
Domestic use	
Drinking (per person per day)	2–3 litres
Washing-up (per time)	2–4 litres
Flushing lavatory (per flush)	12–20 litres
Bath	130–170 litres
Shower (per minute)	20 litres
Washing-machine (per load)	130 litres
Watering garden for one hour	1300 litres
Animals – Daily requirements	
Cow (milk producer including dairy use)	150 litres
Cow	50 litres
Horse	50 litres
Pig	15 litres
Sheep	7–8 litres
Poultry (per 100 birds)	25 litres
Food growing	
1 tonne wheat	1000 m ³
1 tonne rice	4500 m ³
1 tonne sugar	1000 m ³
1 tonne potatoes	550 m ³
Manufacturing	
1 tonne beer	6–10 m ³
1 tonne bricks	1–2 m ³
1 tonne steel	250 m ³
1 tonne aluminium	1500 m ³
1 tonne fertilizer	600 m ³
1 tonne refined crude oil	15 m ³
1 tonne synthetic rubber	3000 m ³

* Note that 1 m³ (= 10³ litres) of water weighs 1 tonne.

Adapted from S238 by permission of the Open University.

ACCIONES PARA CARTERIZAR UN ACUIFERO CONTAMINADO



Surface Geophysical Methods for Evaluation of Natural Hydrogeologic Conditions.*

Method	General Application	Continuous Measurements	Depth of Penetration	Major Limitations
Radar	Profiling and mapping; Highest resolution of any method	yes	to 100 feet (typically less than 30 feet)	Penetration limited by soil conditions
EM (Frequency Domain)	Profiling and mapping; Very rapid measurements	yes (to 50 feet)	to 200 feet	Affected by cultural features (metal fences, pipes, buildings, vehicles)
EM (Time Domain)	Soundings	no	to few 1000 feet	Does not provide measurements shallower than about 150 feet.
Resistivity	Soundings or profiling and mapping	no	No limit (commonly used to a few 100 feet)	Requires good ground contact and long electrode arrays. Integrates a large volume of subsurface. Affected by cultural features (metal fences, pipes, buildings, vehicles)
Seismic Refraction	Profiling and mapping soil and rock	no	No limit (commonly used to a few 100 feet)	Requires considerable energy for deeper surveys. Sensitive to ground vibrations
Seismic Reflection	Profiling and mapping soil and rock	no	to few 1000 feet	Shallow surveys, < 100 feet are most critical. Sensitive to ground vibrations.
Micro Gravity	Profiling and mapping soil and rock	no	No limit (commonly used to a few 100 feet)	Very slow, requires extensive data reduction. Sensitive to ground vibrations
Magnetics	Profiling and mapping soil and rock	yes	No limit (commonly used to a few 100 feet)	Only applicable in certain rock environments. Limited by cultural ferrous metal features

*Applications and comments should only be used as guidelines. In some applications, an alternate method may provide better results.

Surface Geophysical Methods for Mapping of Contaminant Plumes.*

Mapping Permeable Pathways, Bedrock Channels, etc.

The fundamental approach to evaluating the direction of groundwater flow and the possible extent of a contaminant plume is by determining the hydrogeologic characteristics of the site (see Table for Evaluation of Natural Hydrogeologic Conditions)

Mapping of Inorganics or Mixed Inorganics and Organics

When inorganics are present in sufficient concentrations above background or organics are part of such a inorganic plume, they can be mapped by the electrical methods and sometimes radar. The higher specific conductance of the pore fluids acts as a tracer by which the plume can be mapped

Mapping of Hydrocarbons

When sufficient hydrocarbons have been present in the soil or floating on a shallow water table, for a sufficient period of time they may sometimes be mapped by the electrical methods or by radar. Because of their low conductivities (high resistivity) they may sometimes be detected by the electrical methods. Due to changes in dielectric constant or suppression of the capillary zone they may sometimes be mapped by radar (in some situations where degradation of hydrocarbons is occurring, conductivity may increase). These applications are limited and should be treated with caution. A more reliable approach is to map natural permeable pathways (see Table for Evaluation of Natural Hydrogeologic Conditions and Table for Mapping of Cultural Pathways).

Radar • Limited applications—may sometimes be used to detect shallow floaters (0 to 20 feet) to map hydrocarbons in soil. May detect thickness in some cases.

EM • May be applicable to detect low conductivity at some sites

Resistivity • May be applicable to detect high resistivity at some sites.

*Applications and comments should only be used as guidelines. In some applications, an alternate method may provide better results.

ACTIVIDAD POTENCIALMENTE CONTAMINADORA QUE REQUIERE CONTROL	NIVEL DE CONTROL REQUERIDO				
	AREAS ESPECIALES DE PROTECCION		RESTO DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO		
	zona interior	zona de captación	vulnerabilidad		
			alta	moderada	baja
<u>Lagunas de Infiltración</u>					
- efluente industrial	U	U	PU	PA	PA
- agua de enfriamiento	PA	A	A	A	A
- efluente municipal	U	PU	PA	A	A
<u>Disposición de Residuos Sólidos por Relleno</u>					
- industrial peligroso	U	U	U	U	PA
- otro industrial	U	PU	PU	PA	A
- doméstico municipal	U	PU	PA	PA	A
- inerte de construcción	U	PA	A	A	A
- cementos	U	PU	PA	A	A
<u>Excavación de Tierra</u>					
- minera profunda	U	U	PU	PA	A
- minera a tajo abierto y canteras	U	PU	PA	PA	A
- construcción	PU	PA	A	A	A
<u>Tanques Semicos, Pozos Negros y Letinas*</u>					
- propiedades individuales	U	PA	A	A	A
- propiedades comunales, edificios públicos, etc	U	U	PA	A	A
<u>Drenaje por Infiltración</u>					
- techos de edificios	A	A	A	A	A
- carreteras secundarias, áreas de recreación	PA	A	A	A	A
- garages, áreas de parqueo	U	PU	PA	A	A
- carreteras principales	U	PU	PA	A	A
- áreas industriales	U	PU	PU	PA	A
<u>Aplicación de Efluentes al Terreno</u>					
- industria alimenticia	U	PA	PA	A	A
- otras industrias	U	U	PU	PA	A
- aguas municipales servidas	U	PU	PA	A	A
- lodos municipales	U	PA	PA	A	A
- lodos agrícolas	U	A	A	A	A
<u>Locales Industriales</u>					
- almacenamiento de químicos líquidos	U	U	PU	PA	PA
- almacenamiento de combustible hidrocarburo	U	PU	PA	PA	A
- almacenamiento de químicos sólidos	U	PU	PA	A	A
<u>Ganadería Intensiva</u>					
- efluentes de lagunas	U	PU	PA	A	A
- excremento de corrales	U	PA	PA	A	A

U no aceptable en virtualmente todos los casos

PU probablemente no aceptable, excepto en algunos casos sujetos a una investigación detallada y a un diseño especial

PA probablemente aceptable, sujeto a investigación y diseño específicos

A aceptable, sujeto a diseño estándar

* la conexión de efluente industrial al drenaje de aguas de lluvia no es aceptable

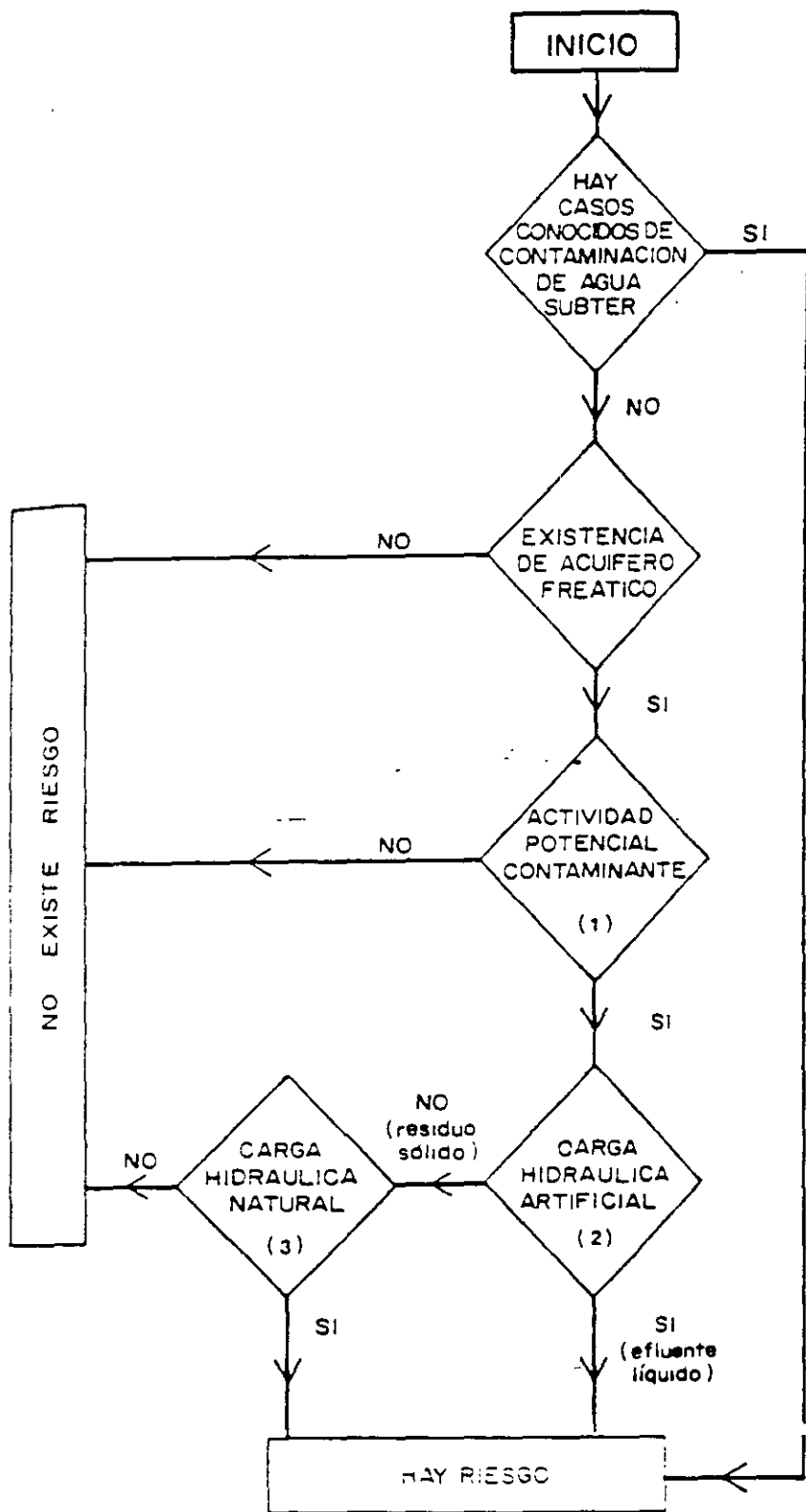
MATRIZ DE ACEPTABILIDAD DE ACTIVIDADES COMUNES DE CONTAMINACION POTENCIAL E INSTALACIONES CON RELACION A LAS ZONAS DE PROTECCION DEL AGUA SUBTERRANEA

REQUERIMIENTOS DE DATOS PARA EVALUAR LAS ACTIVIDADES CONTAMINANTES EN
 TERMINOS DE RANGO DEL PELIGRO POTENCIAL Y DE CARGA CONTAMINANTE AL SUBSUELO

(el primero será clasificado como bajo, moderado o alto de acuerdo al
 criterio de la columna de mano izquierda, pero la información adicional
 de la columna de mano derecha se requiere para estimar el segundo)

INFORMACION MINIMA PARA CALCULAR INDICE DEL PELIGRO POTENCIAL	INFORMACION ADICIONAL PARA ESTIMAR CARGA CONTAMINANTE AL SUBSUELO
(1) FUENTES DIFUSAS	
AREAS URBANO-RESIDENCIALES (3.4.1) <ul style="list-style-type: none"> . densidad de población . cubierto de alcantarillado 	<ul style="list-style-type: none"> . infiltración de precipitación . uso de agua per cápita . operación de unidades sanitarias* . inspección del almacenaje de nitrógeno carburos y químicos . industria de pequeña escala
CULTIVO AGRICOLA (3.4.2) <ul style="list-style-type: none"> . tipo de suelo y cultura . tipo de sistema de cultivo y riego 	<ul style="list-style-type: none"> . exceso de precipitación + irrigación . continuidad del cultivo . uso y control de fertilizantes y pesticidas . eficacia de la irrigación* . frecuencia de arado* . intensidad de pasteo*
(2) FUENTES PUNTUALES:	
ACTIVIDAD INDUSTRIAL (3.5.1) <ul style="list-style-type: none"> . ubicación . tipo de industria . uso del agua 	<ul style="list-style-type: none"> . almacenamiento químico: tipo, disposición y cantidad . lagunas de efluentes* . tratamiento de efluente (incl. materias primas)* . método de disposición de efluentes . método de disposición de residuos
LAGUNAS DE EFLUENTES (3.5.2) <ul style="list-style-type: none"> . ubicación y extensión . origen del efluente 	<ul style="list-style-type: none"> . detalles de construcción . régimen de operación
DISPOSICION DE RESIDUOS SOLIDOS (3.5.3) <ul style="list-style-type: none"> . ubicación . origen del residuo . precipitación e irrigación artificial 	<ul style="list-style-type: none"> . detalles de construcción . métodos operacionales
ARROYO SUPERFICIAL CONTAMINADO (3.5.4) <ul style="list-style-type: none"> . localización . clasificación de calidad 	<ul style="list-style-type: none"> . condiciones hidrogeológicas . tasa de infiltración por el cauce . origen de efluentes

* donde es aplicable



(1) estas actividades incluyen principalmente.

- urbanización con saneamiento in-situ
- industrias utilizando sustancias toxicas
- rellenos sanitarios o botaderos
- reuso de aguas servidas
- rios contaminados
- agricultura de cultivo intensivo
- actividad mineró o petrolifera

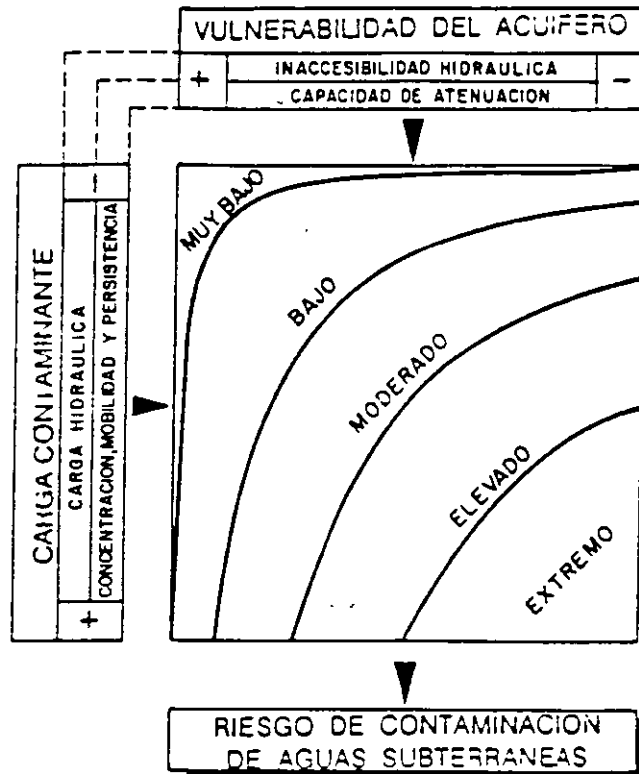
pero diversos accidentes ambientales, fugas de alcantarillado y tanques de almacenamiento, cementerios, etc., tambien pueden ocasionar un riesgo

(2) asociada con el contaminante y dirigido al subsuelo

(3) resultando en posibilidad de lixiviación de residuos sólidos

NIVEL MAS SIMPLE DE ESTIMACION DEL RIESGO DE CONTAMINACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Tal esquema podría servir para un reconocimiento preliminar, pero en la mayoría de los casos se necesitará una metodología más detallada para una mejor definición de la situación en áreas donde exista algún riesgo.



ESQUEMA CONCEPTUAL DEL RIESGO DE CONTAMINACION DE AGUAS SUBTERRANEAS
(modificada de Foster, 1987)

La interacción entre la carga contaminante y la vulnerabilidad del acuífero determina el riesgo de que la contaminación penetre al acuífero.

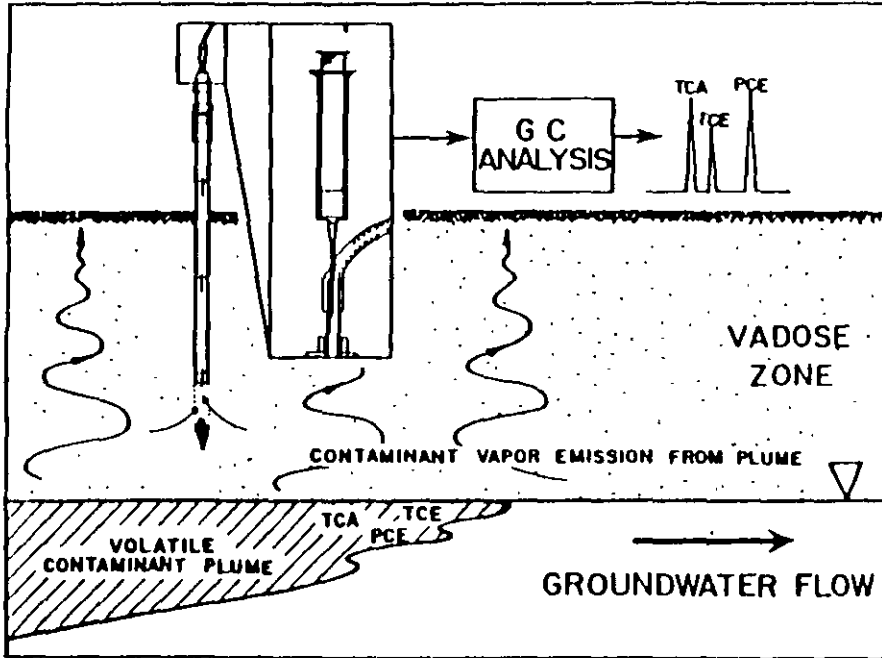
- (a) La carga contaminante que es, será, o pudiera ser aplicada al subsuelo como resultado de actividad humana.
- (b) La vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, debido a las características naturales de los substratos que se cubren y se separan de la superficie.

PRINCIPALES FACTORES QUE CONTROLAN LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO A LA CONTAMINACION

COMPONENTE DE VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO A CONTAMINACION	DATOS HIDROGEOLOGICOS	
	IDEALMENTE REQUERIDOS	NORMALMENTE DISPONIBLES
INACCESIBILIDAD HIDRAULICA	<ul style="list-style-type: none"> - grado de confinamiento del acuífero - profundidad de la napá freática o del acuífero - contenido de humedad de la zona no saturada - conductividad vertical* hidráulica de la acuíperm* o acuílard 	<ul style="list-style-type: none"> - tipo de contaminante - profundidad de la agua subterránea
CAPACIDAD DE ATENUACION	<ul style="list-style-type: none"> - distribución del tamaño del grano y fisura de la acuíperm* o acuílard - mineralogía de la acuíperm* o matriz del acuílard 	<ul style="list-style-type: none"> - grado de consolidación/fisuración de la acuíperm* o acuílard - característica litológica de la acuíperm* o acuílard

* el término acuíperm es usado aquí para estratos no saturados encima del nivel freático que permiten un libre movimiento vertical de infiltración

GROUND-WATER MONITORING



Schematic diagram of the soil gas contaminant investigation technology

Examples of Field Screening Techniques.

SOIL GAS METHODS (Volatile Compounds)

Instrument	Quantification	Limitations
OVA or HNU	- 1 ppm	- False (+) & (-) - Interferences from water vapor - High detection limits
IR Detectors (e.g., Miran)	- 1 ppm	- False (+) & (-) - Interferences - High detection limits
Field-Mounted GC (with various detectors)	Can be ppt, depending on sample size and detector	- Tentative identification - Time consuming - Interferences (Other target compounds or extraneous substances)
Field-Mounted GC/MS	Can be ppt, depending on sample size	- Operator training

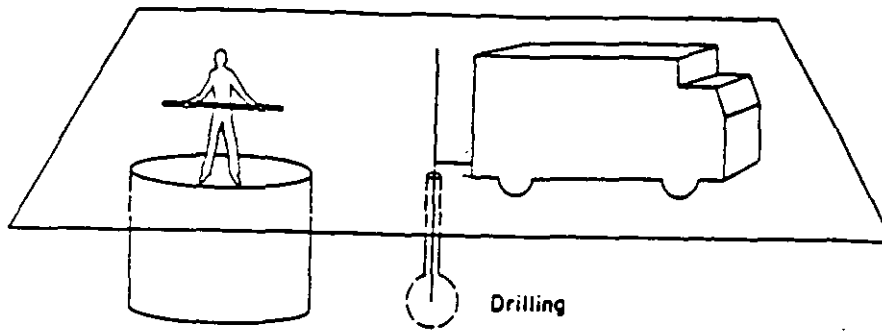
NONVOLATILE ORGANIC TECHNIQUES

Compounds	Technique
- PCBs - PNAs - Oil and grease - Petroleum Hydrocarbons	- Micro-extraction followed by UV, GC/EC, GC/PID, or GC/MS - Hanby Analytical Services Extraction/Colorimetric Technique

INORGANICS/METALS

Instrument/Method	Quantification	Limitations
Colorimetric	- 1 ppm to %	- Metal group specific - Interferences
Gravimetric	Qualitative	- Interferences
Specific Ion Probes	- 1 ppm to %	- Ion-specific - Interferences
X-ray Fluorescence	- 1 ppm; maybe lower	- EPA Region 2 exploring this technique
Hach Kits	Qualitative to semiquantitative, depending on analyte	- Interferences

Source: Adapted from Presso and Leis, 1985



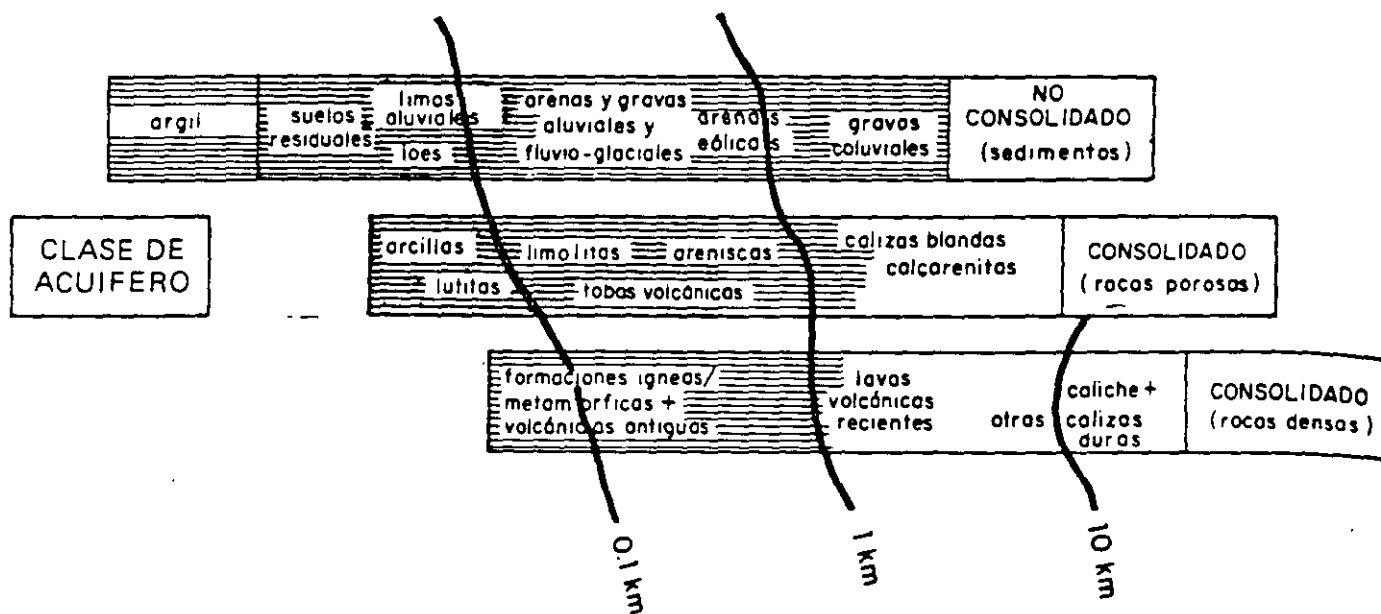
A typical geophysical measurement integrates a larger volume of soil and rock.

Volume of soil and rock sampled by drilling is relatively small

Comparison of volumes sampled by geophysical method and a borehole.
Source: Benson et al., 1982

General Characteristics and Use of Downhole Geophysical Logs.

Downhole Log	Parameter Measured (or Calculated)	Casing			Saturated	Unsaturated	Radius of Measurement	Affect of Hole Diameter, and Mud
		Uncased	PVC	Steel				
NATURAL GAMMA	Natural Gamma Radiation	yes	yes	yes	yes	yes	6-12 inches	moderate
GAMMA GAMMA	Density	yes	yes	yes	yes	yes	6 inches	significant
NEUTRON	Porosity Below Water Table— Moisture Content Above Water Table	yes	yes	yes	yes	yes	6-12 inches	moderate
INDUCTION	Electrical Conductivity	yes	yes	no	yes	yes	30 inches	negligible
RESISTIVITY	Electrical Resistivity	yes	no	no	yes	no	12 inches to 60 inches	significant to minimal depending upon probe used.
SINGLE POINT RESISTANCE	Electrical Resistance	yes	no	no	yes	no	near borehole surface	significant
SPONTANEOUS POTENTIAL (SP)	Voltage—Responds to Dissimilar Minerals and Flow	yes	no	no	yes	no	near borehole surface	significant
TEMPERATURE	Temperature	yes	no	no	yes	no	within borehole	—NA—
FLUID CONDUCTIVITY	Electrical Conductivity	yes	no	no	yes	no	within borehole	—NA—
FLOW	Fluid Flow	yes	no	no	yes	no	within borehole	—NA—
CALIPER	Hole Diameter	yes	yes	yes	yes	yes	to limit of sensor typically 2-3 feet	—NA—

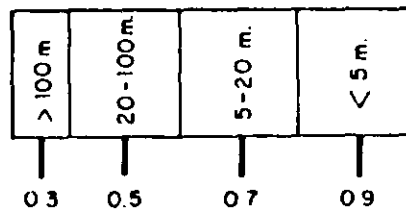


CLASIFICACION DE LOS ACUIFEROS EN TERMINOS A SU RELATIVO POTENCIAL DE DILUCION Y RETARDO DE CONTAMINANTES

La evidencia empírica sugiere que es improbable que los contaminantes sean detectados en concentraciones significativas a mayores distancias laterales que las indicadas desde su punto de penetración al acuífero.

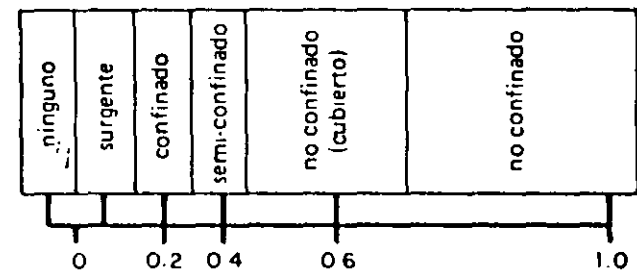
(a) DISTANCIA AL AGUA

PROFUNDIDAD DE LA NAPA
FREATICA (acuifero no confinado)
O TECHO DEL ACUIFERO
(confinado)



(b) OCURRENCIA DE AGUA SUBTERRANEA

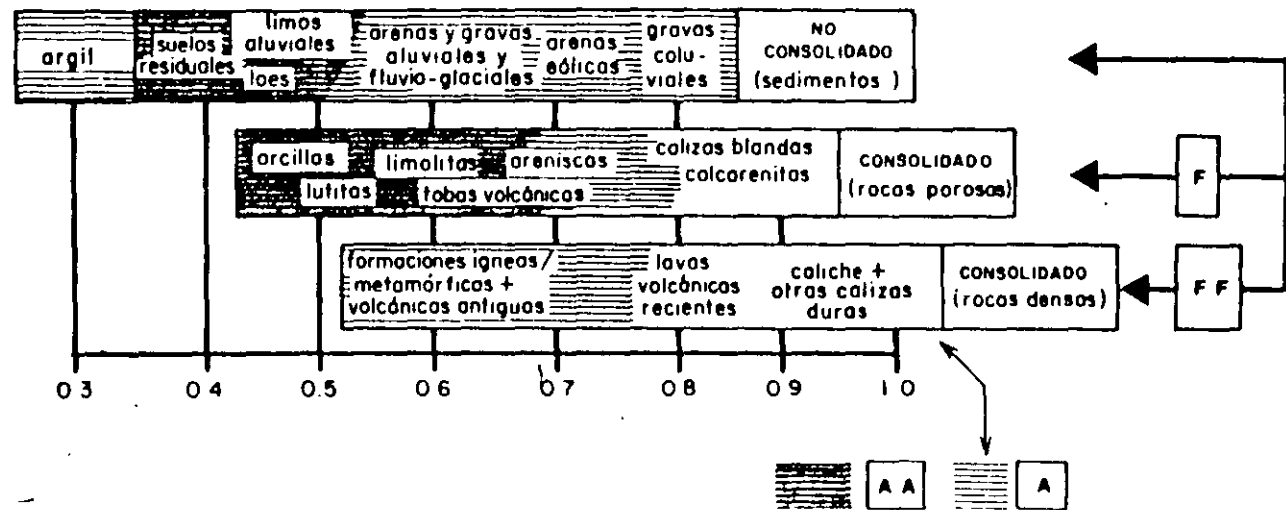
CONDICION DEL ACUIFERO.



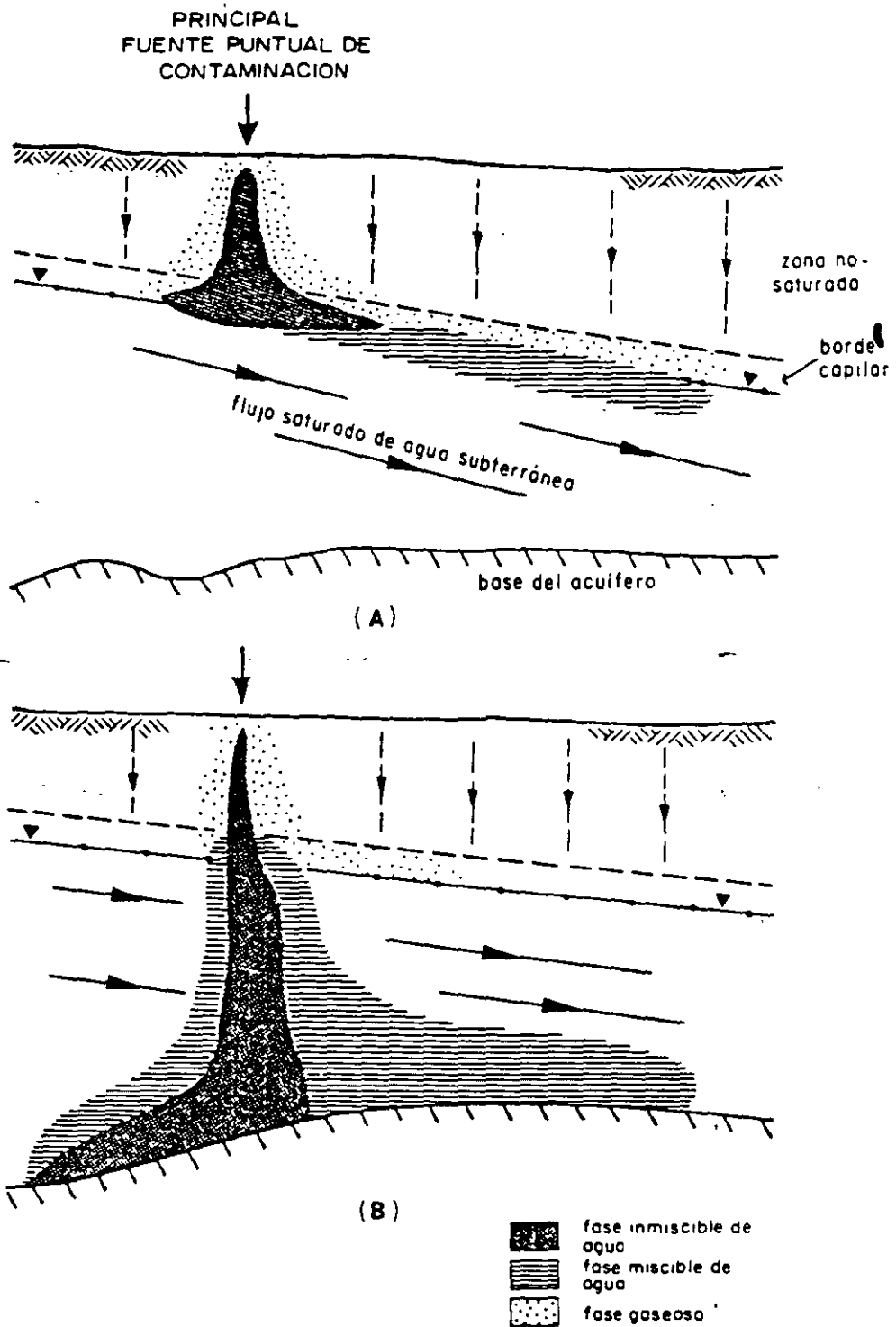
(c) SUBSTRATO LITOLOGICO

CARACTER DEL ACUIPERM O ACUITARD

- (i) GRADO DE CONSOLIDACION
- (ii) CARACTER LITOLOGICO
- F grado de fisuración
- A capacidad relativa de atenuación (contenido de arcilla)



CARACTERIZACION DE LOS COMPONENTES DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUIFERO



DISTRIBUCION SUBTERRANEA DE HIDROCARBUROS (A) AROMATICOS DE BAJA DENSIDAD Y (B) HALOGENADOS DE ALTA DENSIDAD DESPUES DE UN GRAN DERRAMAMIENTO EN LA SUPERFICIE
(después de Lawrence y Foster, 1987)

FACTORES	TIPO DE CONTAMINANTE			
	PF	N	COD	COS
TIPO DE ASENTAMIENTO				
- densidad de población	*	***	***	**
- uso de agua per cápita	*	*		
- estilo tradicional (moderno)	*			(**)
- con industria de pequeña escala			*	***
TIPO DE SANEAMIENTO				
- cobertura de redes de alcantarillado	**	***	**	*
- diseño/operación de unidades	**	**	*	*
- sobrecarga hidráulica	***		*	*
CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS				
logía superficial	**	*	**	**
- profundidad hasta el nivel freático	***		**	**
- régimen climático,	*	***		

PF patógenos fecales (y sus indicadores)

N compuestos de nitrógeno (nitrato o amonio)

COD carbón orgánico disuelto

COS compuestos orgánicos sintéticos

* } grado de dependencia del tipo de contaminante
 ** }
 *** }

FACTORES QUE AFECTAN EL RIESGO POTENCIAL DE CONTAMINACION DE LAS AGUAS
SUBTERRANEAS POR SANEAMIENTO IN-SITU

	PROCESO BASICO	METODO(S)	LIMITACION(ES) TECNICA(S)
Suelo Contaminado	remover con disposición fuera de lugar *	excavación	profundidad
	remover, tratar y reemplazar	como arriba, con agua, extracción química o a vapor, desorción térmica, extracción al vacío o incineración	profundidad, métodos simples de tratamiento no son completamente efectivos para muchos contaminantes, disposición de agua contaminada y/o vapor generado
	retención in-situ *	cubierta impermeable	puede no ser completamente efectivo, puede conducir a la formación de gas explosivo/tóxico
	tratamiento in-situ	extracción y/o inyección de vapor o bioremediación	todavía esencialmente de prueba y difícil de implementar y controlar en la práctica
Agua Subterránea Contaminada	bombeo con disposición fuera de lugar *	limpieza del pozo por bombeo	pocas veces completamente efectivo, puede ser un trabajo a largo plazo, con pérdida de recursos de agua subterránea y problemas significativos de disposición
	bombeo, tratamiento y recarga	como arriba, con separación de aire o vapor, adsorción de carbón activado, oxidación química/ultravioleta, precipitación química, intercambio iónico u ósmosis inversa	trabajo a largo plazo, procesos de tratamiento específicos a determinados grupos contaminantes y algunos causan contaminación atmosférica o crean problemas de disposición de efluentes
	retención in-situ	barreras laterales físicas	rara vez completamente efectivo, y puede ser de un costo de capital alto
	tratamiento in-situ	bioremediación	todavía esencialmente experimental y difícil para mantener condiciones bioquímicas apropiadas sobre zona/objetivo

* proceso y métodos en tipo de letra bold son los únicos de uso común

RESUMEN DE METODOS DE REHABILITACION DE SUELO Y AGUA SUBTERRANEA CONTAMINADOS CON SUS LIMITACIONES TECNICAS

FUENTE DE CONTAMINACION	CRITERIOS DE RESTRICCIÓN	POSIBLES RESTRICCIONES	INSTALACIONES ALTERNATIVAS
- Saneamiento in situ (letrinas, fosas/ tanques sépticos)	- vulnerabilidad/uso acuífero - densidad de instalación - no efluentes industriales	- elegir tanques sépticos si alto uso de agua - normas de diseño de tanques sépticos	- alcantarillado o tanques sépticos sin descarga al subsuelo
- Tanques y tuberías soterrados	- vulnerabilidad/uso acuífero - tipo sustancias manejadas	- doble revestimiento - detección de fugas	- instalar sobre tierra
- sobre tierra	- vulnerabilidad/uso acuífero	- retención de fugas	- ninguna
- Disposición de residuos sólidos doméstico	- vulnerabilidad/uso acuífero	- impermeabilización base y superficie	- incineración/ disposición remota
- doméstico industrial	- vulnerabilidad/uso acuífero - tipo sustancias enterradas	- colección reciclaje o tratamiento lixivados - monitoreo impacto	
- Lagunas de efluentes agrícolas	- vulnerabilidad/uso acuífero	- impermeabilización base	- ninguna
- municipales	- vulnerabilidad/uso acuífero	- impermeabilización base - monitoreo impacto	- planta de tratamiento
- industriales	- vulnerabilidad/uso acuífero - tipo sustancias manejadas	- impermeabilización base - monitoreo impacto	- disposición remota
- Cementerios	- vulnerabilidad/uso acuífero	- impermeabilización tumbas - drenaje superficial	- crematorios
- Pozos de inyección	- condiciones hidrogeológicas - tipo sustancias manejadas	- investigación y monitoreo - normas estrictas de diseño	- tratamiento - disposición remota
- Relaves y drenajes mineros	- condiciones hidrogeológicas	- controles operacionales - monitoreo impacto	- tratamiento (control pH)

OPCIONES PARA EL CONTROL DE POTENCIALES FUENTES PUNTUALES DE CONTAMINACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

CATEGORIA I (intencional)	CATEGORIA II (incidental)	CATEGORIA III (accidental)	CATEGORIA IV (clandestina)
sistemas diseñados para disposición y/o tratamiento con descarga al subsuelo	descarga al subsuelo no controlada por actividades planificadas	sistemas de almacenaje o transporte diseñados para no descargar al subsuelo excepto en casos de rotura o fuga	contaminación por prácticas no autorizadas
(a) tanques sépticos * fosas sépticas letrinas (b) aplicación de efluentes y residuos al suelo (c) pozos de inyección	(a) rellenos sanitarios *** (b) lagunas de efluentes *** (c) escorrentía urbano industrial *** (d) cultivo agrícola . sin riego . con riego . irrigación con aguas residuales (e) relaves mineros, drenaje de minas, canteras (f) cementerios ***	(a) tanques/almacenamiento/tuberías sobre tierra (b) tanques/almacenamiento/tuberías soterradas (c) transporte terrestre	(a) vertederos (b) basureros (c) inyección en pozos abandonados
	(g) aguas superficiales contaminadas ** (h) disposición de contaminantes atmosféricos **		(d) aguas superficiales contaminadas ** (e) disposición de contaminantes atmosféricos **

* no siempre diseñados para descarga al subsuelo

** pueden resultar en contaminación de aguas subterráneas indirectamente

*** pueden ser diseñados para no descargar al subsuelo excepto en casos de rotura

CLASIFICACION DE FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACION POR
ACTITUD FILOSOFICA DEL CONTAMINADOR

VARIABLE TYPES OF PLUME GENERATION

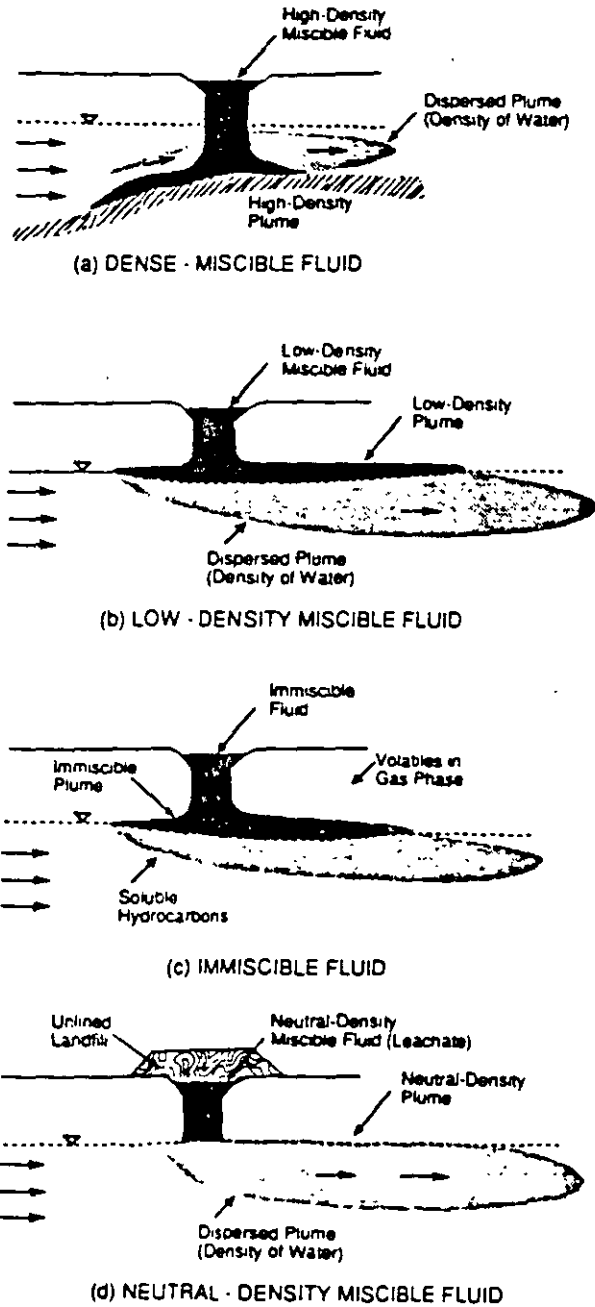
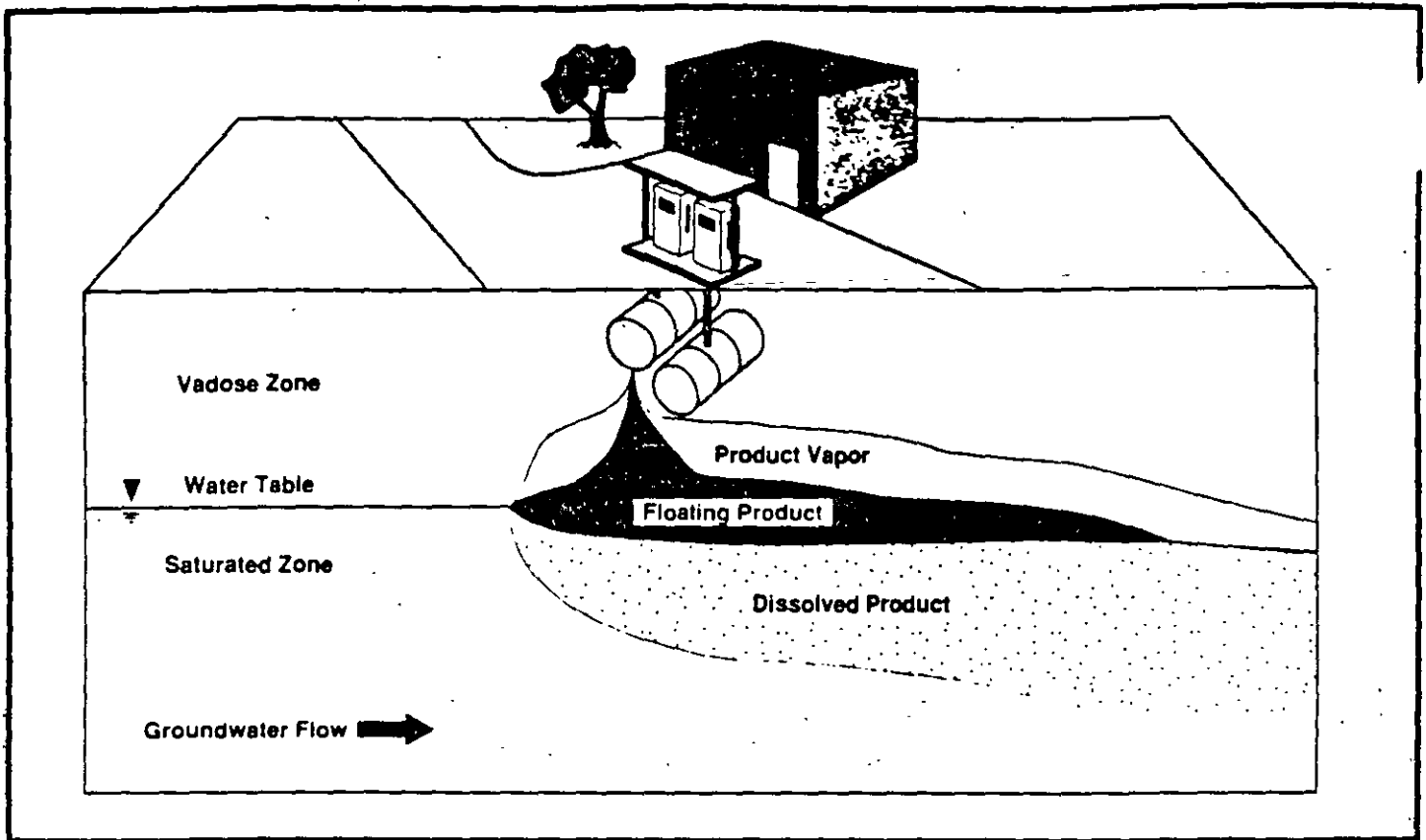
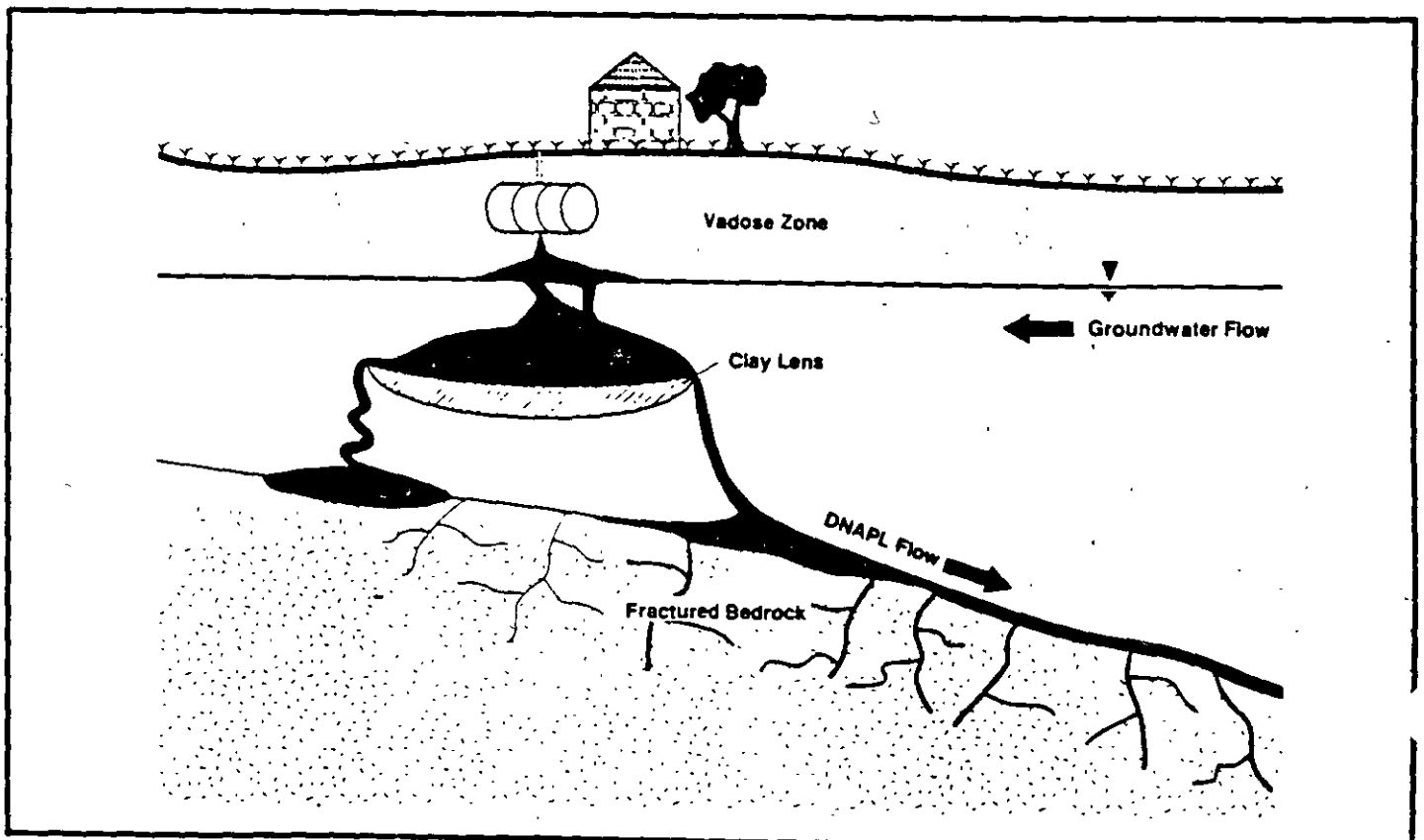


Figure a, b, c, and d. Density control plumes.



Conceptual subsurface distribution of light non-aqueous phase liquid (LNAPL).



Subsurface distribution of dense non-aqueous phase liquid (DNAPL).



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

CURSOS ABIERTOS

GEOLOGÍA AMBIENTAL

TEMA:

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICO AMBIENTAL

**ING. JUAN SÁNCHEZ PÉREZ
PALACIO DE MINERÍA
ABRIL 2000**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
Palacio de Minería, México, D. F.

GEOLOGÍA AMBIENTAL

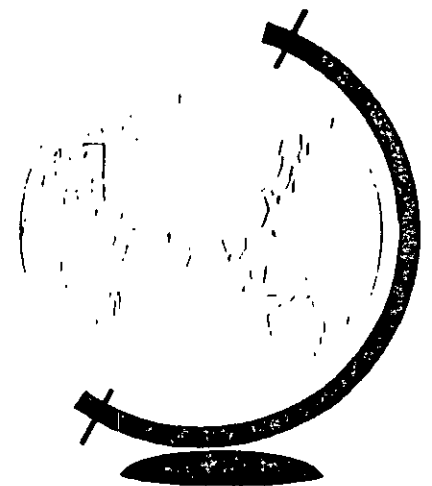
2000

Capítulo V

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICO AMBIENTAL

Profesor :

Ing. Juan Sánchez P.



5.1 CARTOGRAFÍA REGIONAL BÁSICA, NECESARIA PARA REALIZAR ESTUDIOS GEOLÓGICO-AMBIENTALES

A) RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Para realizar el estudio de una región se recomienda partir de los levantamientos geológicos regionales elaborados en mapas a escala 1:50 000 o 1:100 000, de no existir los primeros. En la mayoría de los casos es conveniente abarcar regionalmente la cuenca o cuencas hidrológicas en las que se localizan las ciudades o zonas de interés.

Los trabajos que se consulten, deben ser debidamente referenciados, para preservar los derechos de autor; ya que este tipo de datos resulta de importancia para el soporte técnico de los estudios y para reducir el costo de los proyectos geológico-ambientales que se pretenda realizar en los estados o municipios del país.

En muchas ocasiones, diversas dependencias o entidades realizan los mismos estudios en una determinada región y es común que los conserven en archivos a los que no se tiene fácil acceso.

Debido al sustancial ahorro, de tiempo y dinero, que se puede lograr al efectuar una consulta de bancos de información o archivos gubernamentales, se recomienda agotar todas las posibilidades para conseguir oficialmente, todo tipo de material cartográfico y bibliográfico existente, antes de iniciar el trabajo.

Es importante contar con una campaña inicial de recopilación y otra de elaboración de mapas geológicos regionales confiables, que aporten beneficios a los objetivos técnicos de las entidades interesadas en preservar el ambiente, y tomarlos como base para los estudios semiregionales o locales enfocados a la construcción de plantas de tratamiento de aguas (negras, grises o industriales), para el depósito de desechos sólidos y líquidos (peligrosos o no peligrosos), etc.

La creación de políticas federales, estatales y municipales apropiadas, redundará en la optimización de los recursos, para lograr una adecuada aplicación práctica y técnica de la información geológica y también servirá para reducir el capital de riesgo, al evitar los gastos generados por repetir estudios y exploraciones de algún sitio.

B) CARTOGRAFÍA REGIONAL DE APOYO

En la cartografía regional se deben resaltar los riesgos geológicos existentes, tales como:

1) Estructuras geológicas, a lo largo de las cuales se han acumulado epicentros de sismos, que puedan ser inducidos en fallas locales o por actividad tectónica regional.

2) Presencia de volcanes activos o inactivos.

3) Zonas deslizadas o potencialmente deslizables.

4) Sitios con riesgos de hundimiento, ya sea por la presencia de minas subterráneas, excavación de túneles, o por la extracción inmoderada de agua, y

5) Áreas sujetas a inundaciones.

En los estudios de riesgo sísmico, es necesario utilizar cartas regionales que contengan los rasgos estructurales mayores (fallas, fracturas, etc.) y los de orden secundario, para poder revisar o afinar las teorías tectónicas, las cuales están estrechamente relacionadas con los sismos. Actualmente en México es en los centros de investigación donde se realizan más estudios al respecto, pero están enfocados principalmente en las zonas de subducción de la mitad sureste de la costa del Pacífico y a la distensión de la zona del Golfo de California. En otras regiones no se cuenta con instrumentación suficiente y, por lo tanto, no hay estudios sismotectónicos confiables. Debido a lo anterior es conveniente analizar la posibilidad de instalar más redes de monitoreo sismológico y establecer programas de cooperación con los gobiernos de los estados vecinos, para poder estudiar una mayor superficie del país y así mejorar el conocimiento de la respuesta del terreno a la actividad sísmica, ya que con ello se podrán actualizar los reglamentos de construcción en varias entidades y aumentar la seguridad de sus habitantes.

Para los estudios de riesgo volcánico, se necesita aprovechar la infraestructura de las instituciones que cuentan con departamentos de Ciencias de la Tierra, ya que éstas cuales realizan investigaciones en varias regiones del país y tienen equipos, con los cuales se podrían realizar programas de instrumentación (como redes de monitoreo microgeodésico y sísmico, entre otros), que permitan realizar estudios más completos en las zonas volcánicas de interés.

Al estudiar los deslizamientos de ladera, que en general se consideran puntuales o ligeramente áreales, conviene tener un conocimiento confiable de la geología regional, la cual se recomienda analizar en cartas a escala 1:50 000 y enriquecerla con interpretación fotogeológica, para identificar zonas donde se produjeron antiguos deslizamientos; con dicha información se puede proceder al análisis local de este tipo de riesgo y, con base en ello, es posible recomendar medidas de protección para vías de comunicación o zonas pobladas.

C) UTILIZACIÓN DE SENSORES REMOTOS

La utilización de sensores remotos permite avanzar más rápidamente en los trabajos de cartografía, por ejemplo, al realizar interpretaciones de rasgos geológicos con falso color, se obtienen resultados rápidos en gabinete y permiten obtener mayor precisión, reduciendo el tiempo de ejecución de los trabajos regionales, en comparación con el tiempo que tomaría realizar los trabajos con los procedimientos convencionales de fotogrametría, fotointerpretación geológica, topografía y levantamientos geológicos de campo (cartografía).

Los sensores remotos resultan muy útiles en los estudios de geotecnia, ingeniería hidráulica, selección de sitios para la construcción de: carreteras, puentes, plantas de tratamiento de agua y, en general, para los estudios de infraestructura; por lo tanto, se recomienda su utilización para la obtención de mejores resultados y a más corto plazo.

D) RECURSOS DE AGUA Y CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS

Regionalmente se deben analizar en las cuencas hidrológicas las posibles fuentes de abastecimiento de agua subterránea y los escurrimientos superficiales, y con este antecedente es necesario tomar todas las medidas tendientes a su conservación y protección.

En la cartografía geológico ambiental se deben considerar todos los aspectos que pueden producir el deterioro y la contaminación de los cuerpos de agua, así como la disposición de los efluentes, que necesariamente requieren estudios técnicos de conducción o tratamiento.

Es de gran importancia establecer políticas de explotación regional, contar con controles, monitoreo y la infraestructura hidráulica adecuada para optimizar el uso, reciclaje y desecho de aguas negras e industriales. En nuestro país aún no se han tomado todas las medidas necesarias para prevenir o reducir la contaminación y los resultados alcanzados a la fecha, distan mucho de ser buenos, y se tienen serios problemas por contaminación citadina, industrial, agrícola y minera.

E) CREACIÓN DE BANCOS DE INFORMACIÓN Y BIBLIOTECAS ESPECIALIZADAS

En nuestro país se requiere actualizar los banco de información geológica en general y crear los de tipo geológico-ambientales, tanto en instituciones públicas como privadas e incrementar los centros de información.

La difusión de sus servicios debe se ágil y precisa, con el fin de reducir el tiempo de espera para la obtención de información.

Los centros de difusión con que actualmente se cuenta, no tienen capacidad para dar apoyo a nivel nacional y su capacidad para proporcionar información específica es aún más limitada.

Contar con este tipo de fuentes de información permitirá obtener todos los datos geológicos que existan previos a los estudios que se desea realizar y, con ellos se pueden programar más fácilmente los estudios necesarios para realizar trabajos específicos de geología ambiental. Al disponer de información geológica previa, se pueden realizar programas más concretos que seguramente ayudarán a evitar la cancelación de programas de estudio, por la carencia de fondos suficientes para realizarlos.

Se recomienda realizar intercambio de información con instituciones y países que estén a la vanguardia en la materia y obtener propuestas de apoyo para la organización y manejo de información, con el propósito de mejorar la infraestructura básica en los estudios geológico-ambientales.

F) PUBLICACION PERIÓDICA DE REVISTAS DE DIVULGACIÓN

Es necesario recomendar a nivel nacional, que se creen nuevas políticas para la publicación de trabajos inéditos, en particular los generados por empresas para-estatales, para que los profesionistas que ahí laboran puedan publicar con mayor entusiasmo y frecuencia los resultados de sus trabajos exploratorios, ya que estos, por lo general resultan muy interesantes para otros profesionistas de ciencias de la tierra. De lograrse lo anterior se tendrán grandes beneficios a nivel nacional.

Mantener informada a la

5. 2 CARTAS GEOLÓGICO - AMBIENTALES

Los estudios geológicos que se realicen con enfoques ambientales, deben quedar contenidos en varias cartas que sisteticen la información obtenida para su fácil consulta y aplicación; para su elaboración deben ser apoyadas con el análisis de: una buena base topográfica (en escala apropiada), imágenes de satélite, fotografías aéreas, análisis geomorfológicos y trabajos de campo de semidetalle y detalle..

Entre las principales cartas de este tipo, se encuentran las siguientes :

1) Pendientes

2) Riesgos Geológicos

- Deslizamientos y hundimientos
- Inundaciones
- Volcánico
- Sísmico

 Zoneamiento general

 Zoneamiento específico

3) Recursos Materiales

4) Condiciones del terreno para realizar excavaciones

5) Zoneamiento para la construcción

6) Capacidad del terreno para localizar sitios para el depósito de desechos municipales (sólidos o líquidos)

- No tóxicos

5.3 LEY NDA DE UNA CARTA PARA LA DISPOSICIÓN DE DESECHOS MUNICIPALES (Sólidos y Líquidos)

I. INTRODUCCIÓN

II. CONSIDERACIONES GENERALES

Capacidad del terreno para construir :

1. FOSAS SÉPTICAS

2. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

- Grises
- Negras

3. DEPÓSITOS SANITARIOS PARA BASURA

III. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IV. EXPLICACIÓN

La explicación deberá indicar desde las áreas más favorables (I) hasta las menos favorables (VII), conteniendo tantas subdivisiones como sea necesario.

A continuación se indican algunas de las divisiones usadas con más frecuencia.

UNIDAD	COLORES	GEOFORMAS	LITOLOGIA
I	Verde claro	Abanico aluvial activo	Qal - Sedimentos. finos a muy finos
II	Azul	Abanico aluvial activo o inactivo	Qal - Seds. de grano medio
III	Amarillo	Abanico. aluvial activo o inactivo	Qal - Seds. de grano gruesos o muy grueso
IV	Amarillo oscuro		
V	Rosa claro		
VI	Rosa		
VII	Café		

SUBDIVISIÓN DE LAS PENDIENTES DEL TERRENO

COLOR SUGERIDO (*)	CATEGORÍA	GEOFORMAS ASOCIADAS	RANGO	
			(%)	(°)
902	I	Relieve semiplano	0 - 2	0 - 1°09'
911	II	Taludes muy suaves sobre superficies de abanicos aluviales o frentes montañosos	2 - 5	1°09' - 2°52'
916	III	Taludes suaves a moderados que ocurren en o cerca de vértices de abanicos, comúnmente alojados en valles montañosos	5 - 10	2°52' - 5°43'
918	IV	Taludes moderados que ocurren en la base de taludes de capas rocosas y cabezas de abanicos aluviales o coluviales	10 - 15	5°43' - 8°32'
928	V	Taludes fuertes a precipicios que ocurren invariablemente en capas rocosas de montaña	> 15	> 8°32'

*Prismacolor o equivalente



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

CURSOS ABIERTOS

GEOLOGÍA AMBIENTAL

TEMAS:

LA GEOLOGÍA AMBIENTAL EN MÉXICO

**ASISTENTES AL CURSO
MODERADOR: ING. JUAN SÁNCHEZ PÉREZ
PALACIO DE MINERÍA
ABRIL 2000**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
Palacio de Minería, México, D. F.

GEOLOGÍA AMBIENTAL
2000

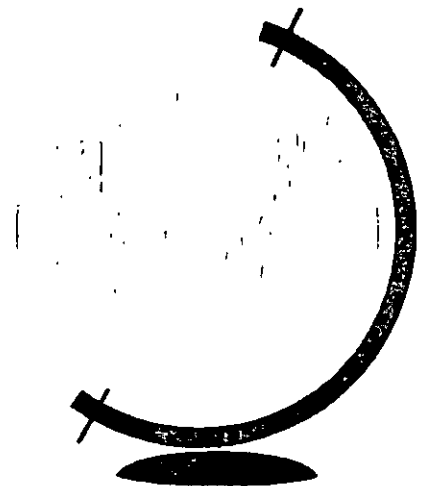
Capítulo IX

LA GEOLOGÍA AMBIENTAL
EN MÉXICO

Participantes :

ASISTENTES AL CURSO

Moderador: Ing. J. Sánchez P.



Environmental Geology

Volume 26 • Number 2 • September 1995

- C. A. Hill · Y. V. Dublyansky · R. S. Harmon · C. M. Schluter **Overview of calcite/opal deposits at or near the proposed high-level nuclear waste site, Yucca Mountain, Nevada, USA: Pedogenic, hypogene, or both? 69**
- A. G. Bobba · V. P. Singh · L. Bengtsson **Application of uncertainty analysis to groundwater pollution modeling 89**
- J. S. Hanor **Subsurface geology of Louisiana hazardous waste landfills: A case study 97**
- S. Malini · N. Nagaiah · L. Paramesh · P. Venkataramaiah **Study of the distribution of Trace elements in soils in and around Mysore city, Karnataka 107**
- B. A. Memon **Quantitative analysis of springs 111**
- G. N. Huppert **Legal protection for caves in the United States 121**
- B. E. Chenhall · J. Yassini · A. M. Depers · G. Caitcheon · B. G. Jones · G. E. Batley · G. S. Ohmsen **Anthropogenic marker evidence for accelerated sedimentation in Lake Illawarra, New South Wales, Australia 124**
- Views and news 136
- Calendar of events 138
- Indexed in Current Contents

Springer



254 EGWSEI 26 (2) 69-138 (1995)
September 1995
Printed on acid-free paper

Cover: Calcite/opal vein and slope deposits along a segment of the Paintbrush Canyon fault, west Busted Butte, Yucca Mountain.
Photo: D. E. Livingston

J. S. Hanor

Subsurface geology of Louisiana hazardous waste landfills: A case study

Received: 2 December 1994 / Accepted: 6 February 1995

Abstract Many hazardous waste sites in the south Louisiana Gulf Coast have been emplaced in sediments of Plio-Pleistocene to Recent age. Because of the fining upward nature of these regressive–transgressive fluvial–deltaic sequences and the purported confining capabilities of the shallow clay layers within them, this area would seem to be ideal for the location of surface waste landfills. However, detailed geologic mapping at a site in southeastern Louisiana documents how the three-dimensional distribution of sediment types and early diagenetic features, both of which were ultimately controlled by depositional history, can increase effective vertical permeability of fine-grained sequences. Many bodies of sand that appear to be isolated in standard geotechnical cross sections can be shown to be part of spatially complex three-dimensional distributary networks, with fine-grained sediments representing overbank and backswamp deposits. Some clay layers are actually a composite of thinner clay beds, each subjected to subaerial exposure and the development of secondary porosity related to soil formation. There has been documented leakage of wastes down through the clays, and a recent study indicates that the effective vertical hydraulic conductivity of the clay layers exceeds $10^{-5} \text{ cm s}^{-1}$, or from one to four orders of magnitude higher than values measured on samples from cores of the same sediment. An understanding of the depositional framework, facies architecture, and diagenetic history of geologic materials underlying waste disposal sites in Louisiana is required for rational development of monitoring and remediation plans.

Key words Hazardous waste landfills · Permeability architecture · Confining layers · Gulf Coast

Introduction

Large volumes of hazardous waste have been placed in numerous surface landfills in the Louisiana Gulf Coast, USA. Although man-made features such as slurry-trench cutoff walls, compacted clay liners, and synthetic liners have been installed at some sites to contain wastes, the principal factor that will determine the fate of contaminants in the event of an accidental failure of these features is the nature of the ambient geology of the site. In particular, the three-dimensional permeability architecture of the geologic materials underlying landfill cells is a primary control on the rates and directions of dispersal of contaminants. In a sedimentary setting, permeability architecture is determined by the three-dimensional distribution of various sediment types and the spatial variation and geometry of primary and secondary porosity. These features in turn are the product of the depositional and diagenetic history of the sedimentary sequence.

Sudicky and Huyakorn (1991) have noted that heterogeneity in the flow and transport properties of geologic media is one of the largest sources of uncertainty for making reliable predictions of contaminant transport and for developing strategies for remediation. The amount of data available to assess subsurface permeability architecture at a landfill is typically sparse and often limited to descriptions of sediment cores and cuttings encountered in widely spaced geotechnical boreholes. A reasonable and coherent geologic model of the depositional and diagenetic history of the sediments at the site is thus required to interpolate sediment properties between boreholes.

Although hundreds of waste disposal sites exist in Louisiana, little is known of their subsurface geology. Aside from the studies of Cramer (1988) and Lock (1993), virtually nothing has been published documenting the geology of such sites. The purpose of this paper is to elucidate, through a case study, a technique for developing a geologic model for a Louisiana Gulf Coast site from geotechnical data and to document the level of complexity

J. S. Hanor
Department of Geology and Geophysics, Louisiana State
University, Baton Rouge, Louisiana 70803, USA

and heterogeneity in subsurface geology that can exist on the site-specific scale.

Regional geologic setting

Most of the surface hazardous waste sites and landfills in south Louisiana are located in an area roughly bounded by Baton Rouge, New Orleans, and Lake Charles (Fig. 1). These sites are situated on: (1) three regional sedimentary units of Plio-Pleistocene age, which are exposed in a 160- to 200-km-wide belt parallel to the present coastline, and (2) on Recent fluvial, deltaic, and coastal sediments (Fig. 1). These units in decreasing order of age are known variously as: (1) the Upland Complex or High Terraces, (2) the Intermediate Complex or Intermediate Terraces, (3) the Prairie Complex or Prairie Terrace, and (4) the Recent Deltaic-Coastal Plain (McFarlan and LeRoy 1988; Autin and others 1991; and references therein). The use of the term "terrace" to describe the first three of these sedimentary units has its roots in past attempts to correlate and to interpret their origin on the basis of differences in surface geomorphic expression and topographic elevation. Autin and others (1991) have proposed instead calling these near-surface units complexes rather than terraces. As defined by these authors, a complex is a "... geomorphic surface or set of temporally related surfaces with an associated [that is, underlying] sedimentary sequence that may represent more than one depositional environment." In this paper the term complex will be used in a geologic rather than geomorphic sense to refer to the package of sediments bounded above and below by these correlatable surfaces.

In order to understand why complexities in facies archi-

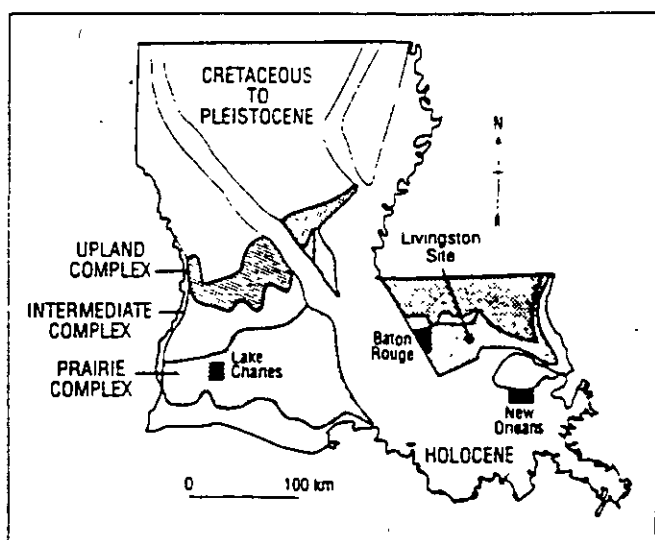


Fig. 1. Map of Louisiana showing location of the study site and the regional distribution of the outcrop areas of the Plio-Pleistocene Upland, Intermediate, and Prairie complexes; Holocene fluvial, deltaic, and coastal sediments; and undifferentiated sediments of Cretaceous to Pleistocene age. Data from Snead and McCulloh (1984)

ture can exist on a site-specific scale in the Louisiana Gulf Coast, typically an areal extent on the order of a few square kilometers or less, it is necessary first to review briefly the regional geology of south Louisiana. Much of our understanding of the depositional history of Plio-Pleistocene sediments in the Louisiana Gulf Coast has come from the study of the deeper, more distal, and more marine part of the section, where the time-stratigraphic framework is more secure because of better biostratigraphic control and oxygen-isotope stratigraphy (McFarlan and Leroy 1988). Absolute age dating and correlation within the updip, more continental portions of these sequences, where most of the hazardous waste sites are located, is difficult because of the paucity of index fossils and other geologically datable material.

Several factors have controlled the distribution of gravels, sands, silts, and clays within each of these units. On a regional scale, these include: (1) major eustatic fluctuations in sea level; (2) regional tectonic subsidence and tilting to the south; and (3) variations in sediment supply, primarily by the ancestral Mississippi River.

Eustatic fluctuations in sea level

There have been several periods of major global lowering of sea level during the last three million years as a result of the formation of large masses of continental ice (Fig. 2). During low stands of sea level, the shoreline of Louisiana migrated or regressed many tens of kilometers seaward from its present position. During such low stands, stream base level dropped, and subaerial-exposed sediments were first eroded and then typically covered by a blanket of coarse fluvial sands and gravels. As sea level rose and the shoreline migrated or transgressed back toward the continental interior, these coarse fluvial sediments were progressively covered by a sequence of fluvial-deltaic sands, silts, and clays, and finally fine-grained marine sediments. During the next fall in sea level, these most recent sediments were subsequently subaerially exposed and eroded, and the cycle began again.

Subsidence

There has been progressive subsidence and tilting of the Plio-Pleistocene to Recent sediments to the south over their several million year period of deposition and burial. The net result has been to produce a stacked series of fining-upward regressive-transgressive sequences bounded by major erosional unconformities. It is the proximal, updip portion of some of these sequences that form the near-surface sediment complexes of south Louisiana (Fig. 3). Some of the updip sands in these units are also major freshwater aquifers and the principal sources of water for municipal, industrial, and agricultural activities in much of south Louisiana (for example, Martin and Whiteman 1989; Lock 1993).

Of interest in the siting of waste landfills in south Louisiana is the fact that the uppermost part of some of these

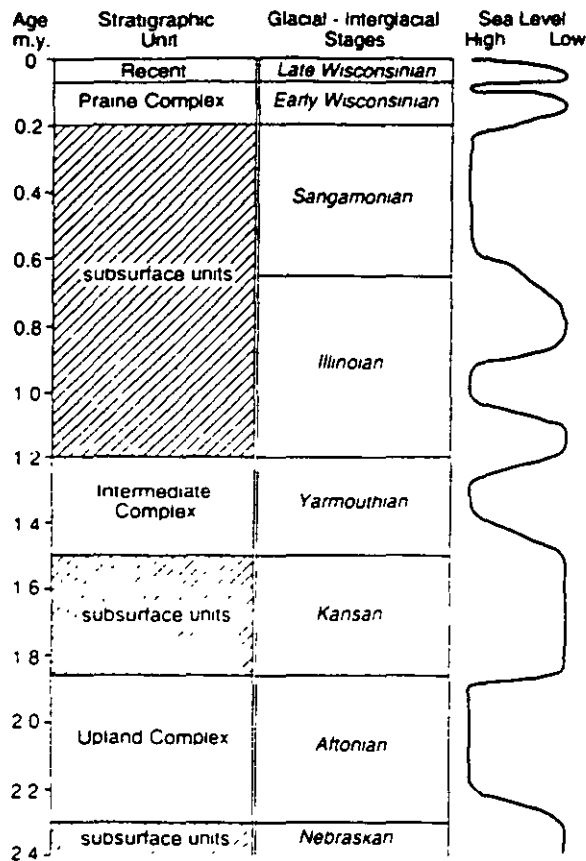


Fig. 2 Diagram showing general stratigraphic succession of Late Tertiary and Quaternary sedimentary deposits in south Louisiana, glacial and interglacial stages, generalized sea level curve, and approximate geologic age. Modified from McFarlan and LeRoy (1988)

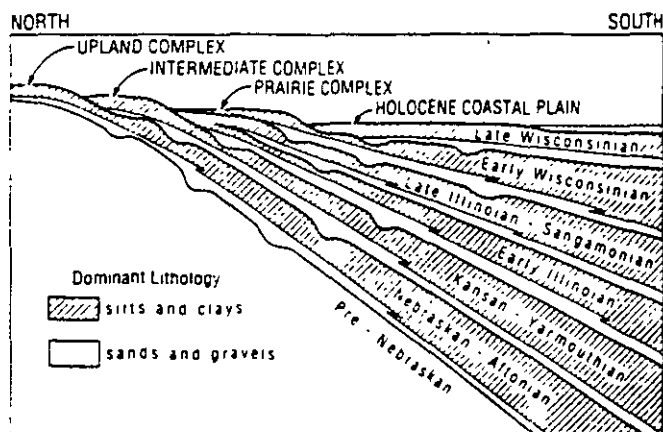


Fig. 3 Schematic north-south cross section showing stratigraphic distribution and gross lithology of Late Tertiary and Quaternary sediments in south Louisiana. Modified from McFarlan and LeRoy (1988)

sequences, and the portion generally exposed at the land surface, is often fine grained. It is perhaps this widespread distribution of shallow clay layers that has given rise to the notion that shallow confining layers of regional extent exist, which prevent or retard downward migration of wastes into underlying aquifer systems.

Lateral facies variations

The internal geometry of the Plio-Pleistocene complexes is far more heterogeneous than that pictured in the generalized cross section in Fig. 3. At any given time, multiple environments of sediment deposition were in existence, including fluvial, colluvial, estuarine, deltaic, and marine depositional settings. A wide variety of sediment types were typically deposited within each of these environments. Within a fluvial setting, for example, there may be nearly simultaneous deposition of coarse channel and pointbar sands, fine-grained natural levee silts and clays, and organic and clay-rich backswamp sediments. The spatial position of these environments of deposition can change over short intervals of geologic time in response to compaction, regional subsidence, changes in sediment supply, and eustatic changes in sea level. The effects of the complex interplay between rates of sea level rise, sediment supply, and subsidence on the distribution of sediment types in the Recent Louisiana deltaic plain and within coastal fluvial meander belts has been well documented (Penland and others 1988; Autin 1992; Jordan and Pryor 1992).

Study area

History of site development

The study area is located on a portion of the Prairie Complex in central Livingston Parish, Louisiana, 3 km south of the town of Livingston and 32 km east of the city of Baton Rouge (Figs. 1 and 4). For the purposes of this paper, the area will be designated as the Livingston site. The site is approximately 1600 m x 950 m in dimension.

According to testimony given in a 1982 public hearing, site selection was based in part on a 1976 examination of logs from four boreholes to the north, which apparently showed the presence of a continuous vertical sequence of clay to depths of 15-23 m below ground surface. However, during initial drilling on the site proper, sands were encountered at shallow depth. The first series of hazardous waste landfill cells on the site were constructed in 1977 in the central part of the property, which is described in the permit application as a "clay island." Bulk solids and liquids were simply poured into these cells and covered. The site was sold the following year to a large, nationally based company which then began development of additional cells outside this central area. These later cells were lined in various ways, and most of the waste here is stored in buried containers.

In 1985, the site operators informed the Louisiana Department of Environmental Quality (LDEQ) that chlorinated hydrocarbon contaminants had been discovered in sands below the natural clay sequence, which was presumed by them to serve as a natural confining layer. In 1987, the US Environmental Protection Agency sued the operators for a variety of violations in a case settled for

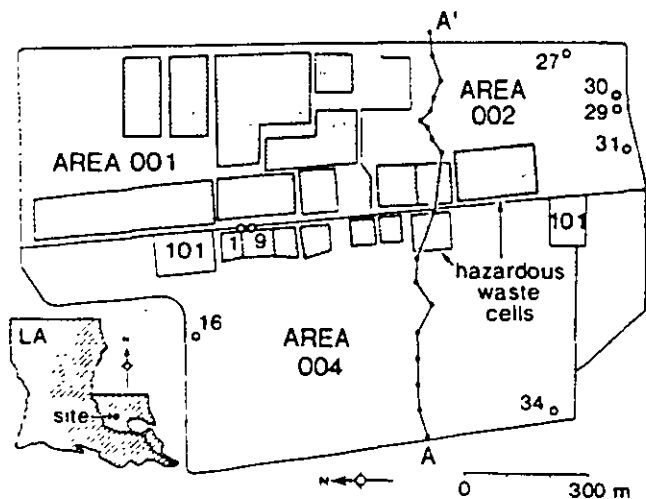


Fig. 4 Map of Louisiana showing location of Livingston site (inset). Map of site showing location of hazardous waste cells (shaded areas) and the cross section pictured in Fig. 8. Other features are described in a water balance study by Hanor (1993).

\$2.5 million. In 1990, the LDEQ ordered the site closed, a decision upheld in 1991 by the Louisiana Supreme Court.

Permit hearings

Study of the subsurface geology of this particular site was motivated by the interest of both parish and state government agencies in assessing the probable fate of hazardous materials which would be released in the event of a failure at the site. This author was asked to conduct geologic studies of this site by such agencies on two occasions. The first study was made in 1982 for a repermitting hearing, and the second was made in 1989 for a hearing conducted by LDEQ seeking to deny repermitting and to close the site. No geologic maps or cross sections of the site had been entered into the public record by the site operators prior to or during either hearing, and it was necessary to develop geologic and hydrologic interpretations from scratch.

Sources of geologic data

The only subsurface geologic information that exists for this site and for many similar sites in the region is that which can be deduced from written descriptions and tests made on sediment samples collected in the course of drilling geotechnical boreholes by contractors hired by the site operators. Typical shallow drilling and sampling techniques for such boreholes are described by Das (1990). Results of possible on-site geophysical studies, such as shallow seismic, radar, and electrical surveys, or of field hydrologic studies, such as pump tests, which would have provided information on sediment permeability, were not found in the public record for this site.

Sediments are classified into general groups on the logs available for this site according to the Unified Soil Classification System (USCS), i.e., by grain size distribution and Atterberg plastic and liquid limits (ASTM 1986; Das 1990). Some supplemental descriptive terms or modifiers are occasionally given, such as "roots," "trace of sand," and "slickensided." Many other important sediment properties useful in establishing environments of deposition are missing, such as a description of bedding and identification of fossils.

Techniques

When the author was first asked to investigate this site in 1982, there were nearly 180 borehole logs available, most shallower than 16 m. The study was constrained by the fact that only eight man-hours of time were available to examine these logs, make an interpretation, and prepare testimony and exhibits for a permit hearing. It was thus necessary to develop a fast but accurate technique for visualizing what subsequently turned out to be the highly complex three-dimensional subsurface geology of this site. The following strategy provided a simple, yet objective, way of proceeding. The number of logs selected for study was reduced from 180 to 63 spaced on an approximately 200-m \times 200-m grid. The study focused on mapping the spatial distribution of sand, which was assumed to be the most permeable component within the sedimentary sequence. The soil boring logs have depth recorded in feet, and each soil boring log was divided into sequential vertical intervals of 3.1 m, equivalent to 10 ft, below ground surface. The cumulative thickness of sand within each depth interval was then determined for each log. Values for cumulative percent sand were plotted on a map for each depth interval and then contoured to show the areal variation in cumulative thickness of sand.

Figure 5 shows an example of a map of the site based on the 1982 data set showing the cumulative thickness of sand beds (USCS soil groups SW-SC) within one of the 3.1-m-thick horizontal slices through the site. In any such slice, cumulative sand thickness may represent two or more distinct beds. In addition, a sand bed whose base may occur in one slice may extend upward into the slice above. The following divisions were used in contouring the maps: >0 (trace), 10, 50, and 100% cumulative thickness of sand. The >0 to <10% areas on the maps indicate the presence of thin sand beds and/or the presence of sandy silts or sandy clays of any thickness within the section. Datum is the ground surface, which slopes from east to west with a difference in vertical elevation of approximately 3 m over a distance of nearly 1000 m. As a further refinement, mean sea level could be used as datum.

It is clear from Fig. 5 that there is an elongate body of sand that extends from north to south across the entire eastern portion of the site at depths of from 0 to 3.1 m below the ground surface. Similar bodies of sand could be

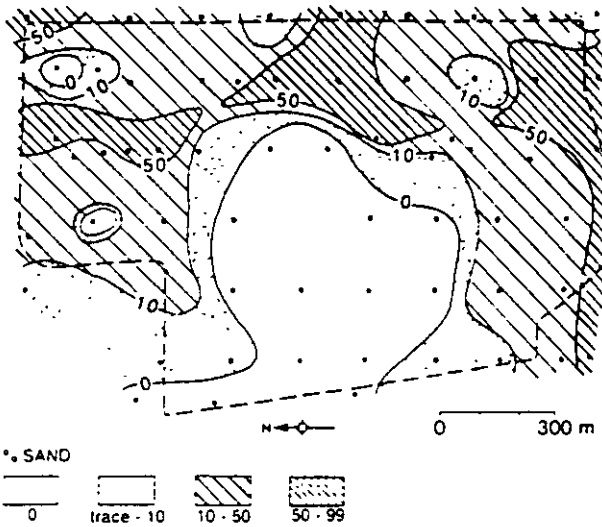


Fig. 5 Map of site showing the cumulative thickness of sand between a depth of 0 and 3.1 m below ground surface, based on data available in 1982. Cumulative thickness of sand is expressed as the percent of the total thickness of the interval which contains sand beds. Black circles show the distribution of borehole control.

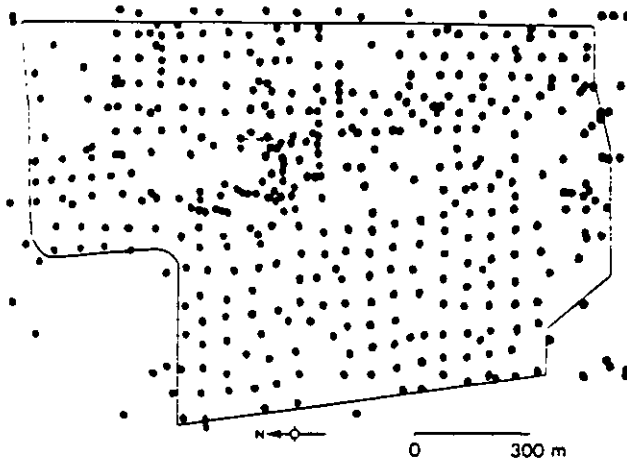


Fig. 6 Map showing areal distribution of boreholes used to construct the maps shown in Figs. 9 and 10.

discerned within all 3.1-m intervals within the site to a depth of 16 m, the limit of vertical control at that time.

At the time of the second hearing in 1989, there were 425 soil boring logs available for the site (Fig. 6), some of which were from new boreholes as much as 30 m in depth. Sufficient time was also available to use all of these logs to refine the horizontal slice maps prepared earlier and to prepare a series of detailed geologic cross sections through the site. Given the relatively high density of areal control, there was little latitude in placement of the contours of cumulative thickness. In preparing the lithologic cross sections through the site, the USCS soil groups were combined into the following three lithologies to emphasize major contrasts in sediment type: sand (USCS groups SW, SP, SM, and SC), silt (ML and MH), and clay (CL and CH).

Results

It is useful to compare two alternative approaches for describing the spatial distribution of different sediment types at this site, each based on information derived from the same geotechnical logs. The first is a top-down approach, which can be used to describe the general vertical sequence or geotechnical stratification of sediment layers likely to be encountered within a typical borehole as it is being drilled. Such an approach emphasizes the importance of the geotechnical properties of near-surface layers for problems of site engineering. The second is a bottom-up approach undertaken to establish the depositional history of the site. This approach emphasizes the geologic reasons why a particular stratigraphic succession exists at the site.

Geotechnical stratification

Consider first a top-down approach to site characterization. A random borehole at this site will encounter the following general succession of sediments from top to bottom (Figs. 7 and 8). The shallowest sediment at the site consists typically of 1–5 m of silty or sandy clay. There is next a zone of sand 0–10 m thick underlain by a zone of clay, some interbedded sand and silt, and more clay. This clay-dominated zone is typically 15 m in thickness. The lower clays are underlain by a zone of silt and clay-dominated sediment with some sand that is typically 5–8 m in thickness. These sediments in turn are underlain by a laterally continuous zone of sand-dominated sediments 5 m or less in thickness and then more clay with interbedded sand.

Figure 7 shows a top-to-bottom geotechnical section for the site based directly on exhibits submitted by the site operators in the 1989 hearing. The different zones or layers of sediment referred to in the discussion above have been labeled by the operators in sequence from top to bottom as stratum I–stratum VI. According to the site operators, strata III and IV constitute the “confining layer” at this

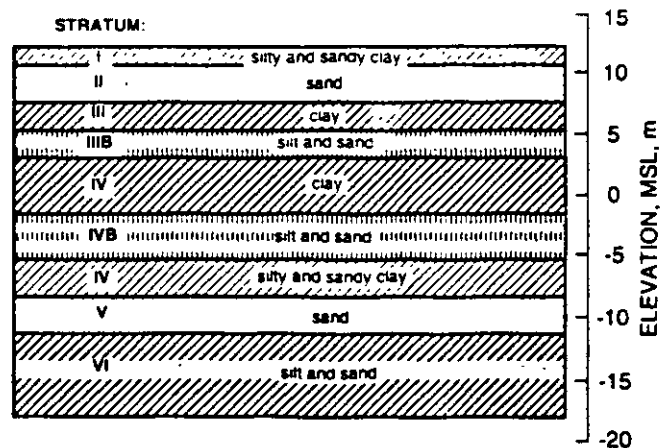


Fig. 7 Stratigraphic model for the site based on exhibits submitted by the site operator for a 1989 hearing.

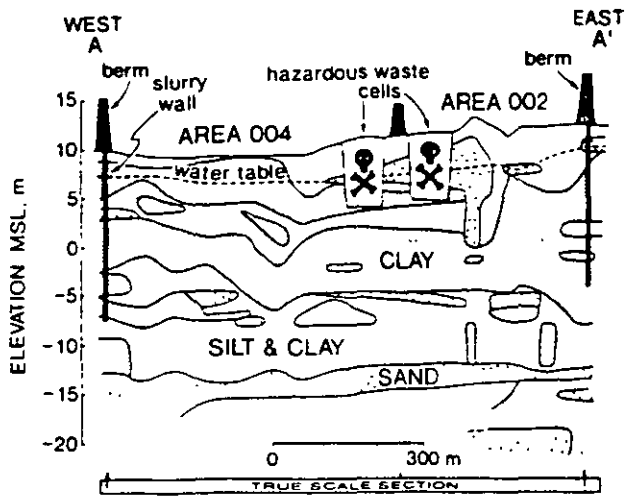


Fig. 8 Geologic cross section through the site (see Fig. 4 for location) showing stratigraphic distribution of sand, silt, and clay. Note slurry wall and berm, which completely encircle the site. Modified from Hanor (1993)

site. The horizontal boundaries in the exhibits on which Fig. 7 is based give the impression that there is lateral continuity to each of these strata across the site and no significant variation in their thickness.

An alternative interpretation of vertical stratification within the site is given in Fig. 8, which shows a representative vertical geologic cross section through the site constructed by the author from boreholes whose locations are shown on Fig. 4. The same general sequence of zones of sand, silt, and clay-dominated sediments portrayed in Fig. 7 is evident in the geologic cross section, but it is also clear that individual sand and clay bodies vary greatly in thickness and in the elevation of their upper and lower bounding surfaces. These units are not always laterally continuous across the site. In order to understand the origin of these geometric complexities and their effect on the hydrologic properties of the site, it is useful to switch to a bottom-up and more three-dimensional approach.

Depositional sequence

Figures 9 and 10 show the cumulative thickness of sand in a series of 3.1-m-thick, nearly horizontal slices through the site as based on soil boring logs available in 1989. As in Fig. 5, the following divisions were used in contouring the maps: >0 (trace), 10, 50, and 100% cumulative thickness of sand. Although some details of the distribution of sand are lost as a consequence of reduction of the size of the maps for publication, first-order features should still be

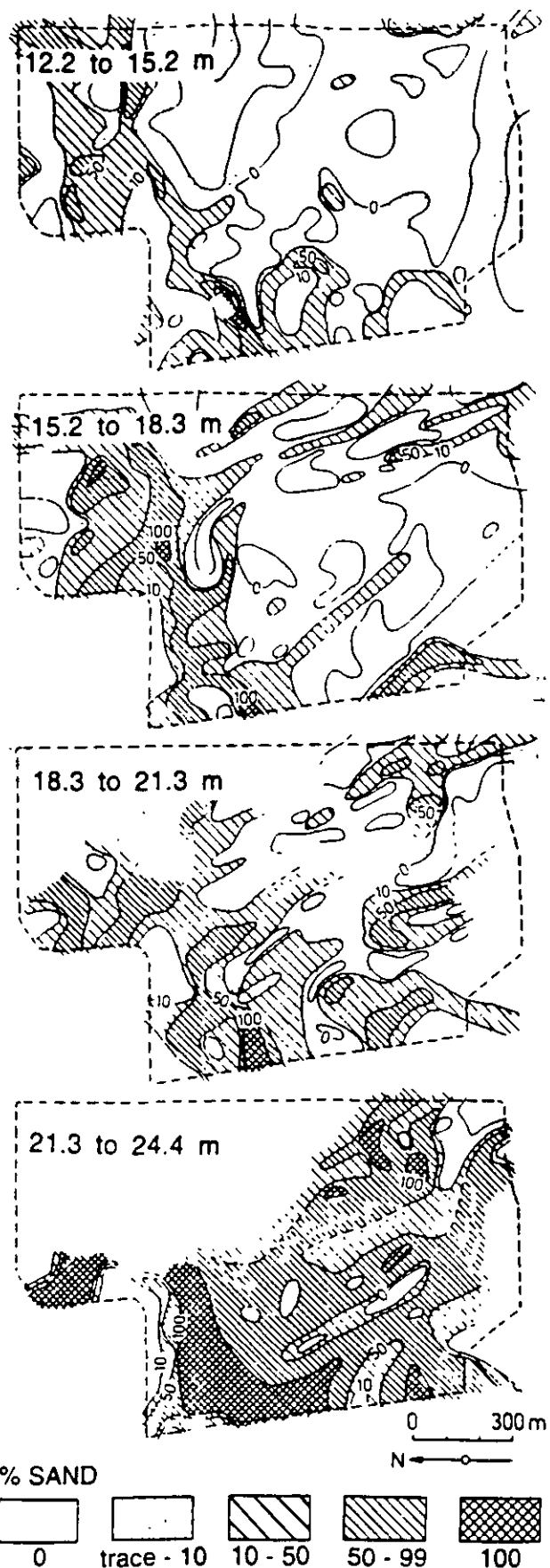


Fig. 9 Maps of site showing the cumulative thickness of sand within 3.1-m-thick, nearly horizontal slices in lower part of the section between depths of 12.2 and 24.4 m. The depth interval of each slice is given in the upper left-hand corner of each map. Progressively more densely shaded areas on the maps represent areas of progressively higher cumulative thicknesses of sand. These sediments pictured here represent part of a fining-upward transgressive sequence

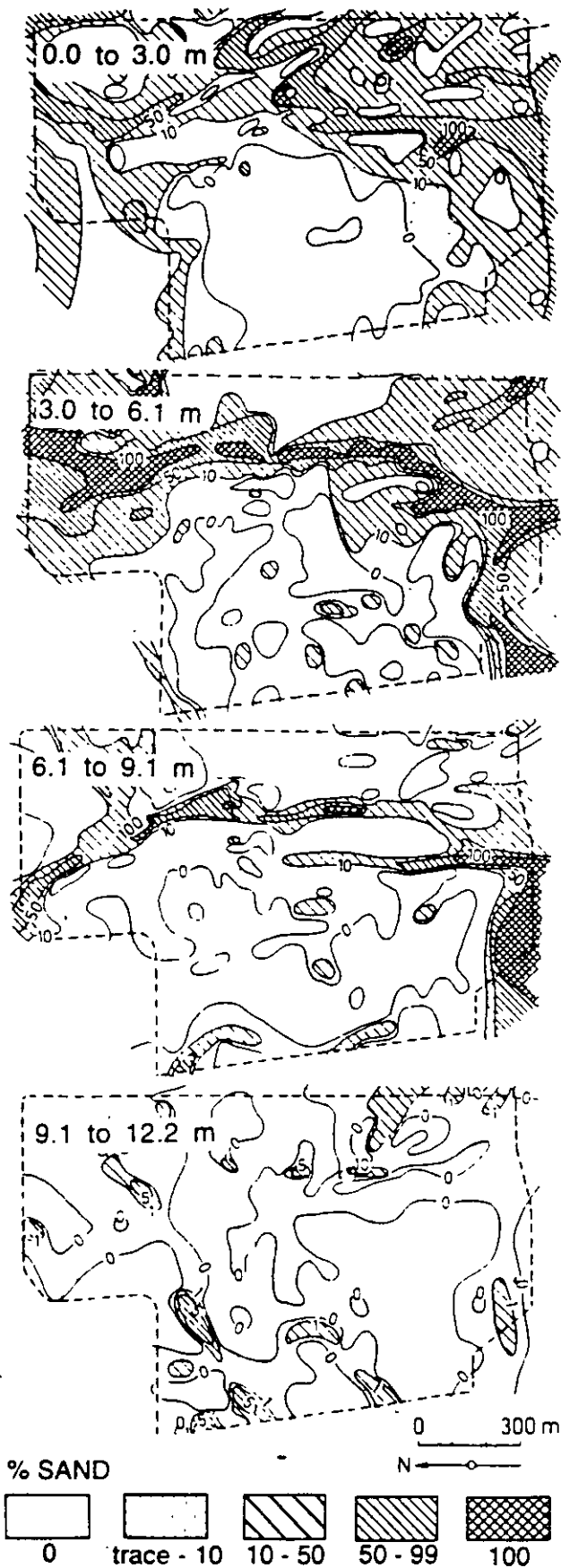


Fig. 10 Maps of site showing the cumulative thickness of sand within 3.1-m-thick, nearly horizontal slices in upper part of the section between depths of 0 and 12.2 m. The lowermost map represents the approximate top of the transgressive sequence pictured in Fig. 9. During the last low stand of sea level, the top of this sequence was eroded and younger sediments were deposited on top (upper three maps)

evident. Depths are reported relative to ground surface on the maps. The discussion will begin with the oldest sediments encountered in the boreholes and work upward through progressively younger sediments.

The sedimentary section at depths of 12–25 m below ground surface is characterized by a fining upward sequence of sands, silts, and clays (Fig. 9). Sheetlike bodies of sand with locally abundant gravel, possibly representing braided fluvial deposits, dominate the section between 21 and 24 m. There is a vertically persistent, northeast–southwest trending body of sand-dominated sediment in northern third of the site (left-hand side of the maps). There is the strong indication of the presence of point bars and meander loops within this sand body between 12 and 18 m. These meanders may have been as much as 100–200 m in radius. Lateral bodies of sand extend off this main channel to the southeast, and the locus of deposition of some of these sands migrated to the southwest during continued aggradation. Some of the soil boring logs report the presence of wood, which probably accumulated in abandoned channels, on natural levees, and in backswamps. Assemblages of calcareous fossils occur locally. These are possibly the remains of freshwater mollusks, although no identification exists on the logs. No age dates exist for any of the organic or fossil remains.

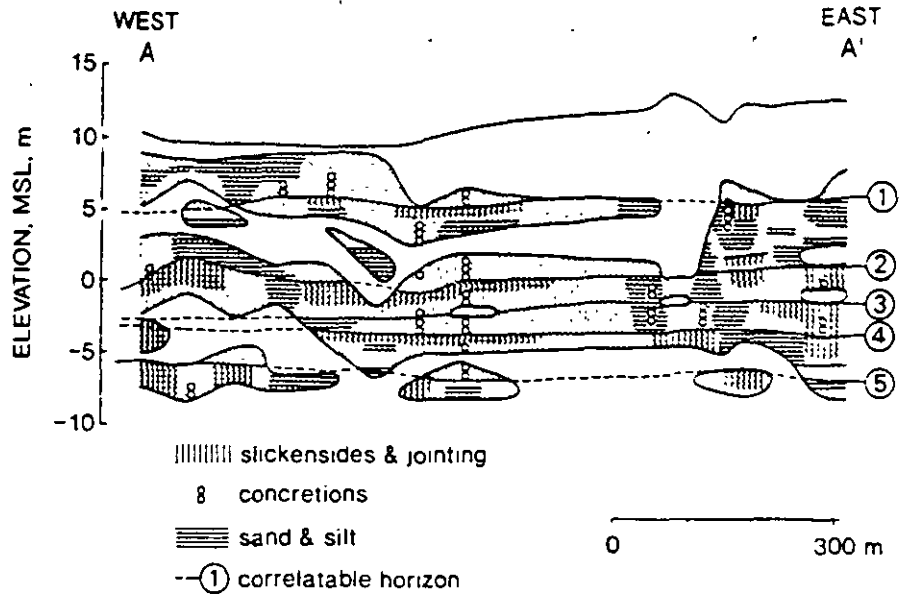
The slice between 9 and 12 m represents a transition between two major depositional systems. This is the most clay-dominated part of the section. We see within this slice the top of the persistent fluvial channel deposits represented in the slices below and the basal portion of a younger, north–south depositional system in the eastern third of the site (upper part of the maps).

The geometry of the sand bodies within the younger depositional system (Fig. 10) becomes more sharply defined in the successively more shallow slices. The base of this sedimentary sequence is dominated by a north–south trending body of sand with bodies of sand extending to the southeast off site and a vertically persistent body of sand extending across the southwest quadrant of the site.

Diagenetic alteration

Many of the soil boring logs for the clay beds at this site report the presence of diagenetic features, such as iron and calcareous concretions, joints, and slickensides. It was found during the preparation of lithologic cross sections of the site that these alteration features preferentially occurred in zones that can be laterally correlated across the entire site (Fig. 11). These zones also contain roots and other woody fragments. All of these features are character-

Fig. 11 Cross section in Figure 8 showing details of pedogenic features within clay-dominated sediments (shaded areas). Modified from Hanor (1993). These zones can be correlated laterally across the site



istic of subaerial exposure and the development of soils in the true agronomic sense. The development of joints and slickensides occurs as a result of shrinking and swelling of clay beds during episodic drying and wetting. The joints and slickensides constitute potential zones of secondary fracture porosity distinct from the primary or matrix porosity formed during deposition and subsequent mechanical compaction.

Depositional model

Although no absolute age dates are available for sediments at this site, on the basis of regional setting (McFarlan and LeRoy 1988; Autin and others 1991), it is most likely that the basal portion of the site represents a fining-upward fluvial sequence deposited during or following a eustatic rise in sea level during Early Wisconsinian time (Fig. 2). The clay beds associated with the upper part of this transgressive sequence were not deposited as a single vertically continuous unit, but during at least five distinct episodes of deposition. Each episode was punctuated by a period of subaerial exposure sufficiently long in duration to permit the formation of pedogenic features, such as roots, concretions, and slickensides. It is the tops of these pedogenic zones that represent the truly correlatable chronostratigraphic surfaces at the site, not the boundaries between lithologic units.

With the major drop in sea level that occurred during Late Wisconsinian (Fig. 2), the shoreline of Louisiana migrated 100 km or more southward toward the gulf, stream base level dropped, and one or more erosional channels up to 6 m in depth were cut into the top of the Early Wisconsinian sequence at this site. A younger sequence of fluvial sands, silts, and clays was then deposited above this erosional unconformity. The shallow linear sand bodies that were deposited during this time have a distinctly different orientation than the sand bodies below. Among the

youngest sediments at the site is silt, which may represent the Peoria Loess, a unit that has been identified elsewhere in the region by Autin and others (1991).

The general depositional history of the site is reflected in the geologic cross section in Fig. 8. The fining upward transition from sands to silts to clays in the lower portion of the sedimentary sequence is evident. Also evident is a portion of the erosional contact between the upper part of the clay-dominated sequence and the overlying silts and sand beds.

Site hydrology

The shallow sands at the site are part of the uppermost portion of the Shallow Aquifer Unit, as designated by the US Geological Survey (Tomaszewski 1988). Regional groundwater flow in the Shallow Aquifer Unit is from north to south, and the site is situated within the recharge area of this regional aquifer system.

The present water table is within a few meters of the ground surface and above the base of the landfill cells. Differences in water levels in monitoring wells screened above and below the 15-m-thick clayey portion of the section define an average vertical hydraulic gradient (dh/dz) of +0.1, where h is hydraulic head and z is elevation. The direction of fluid flow is thus down through the site into the underlying regional aquifer system.

In 1984 a subsurface slurry wall, 1-m wide and 12–15 m deep, and a surface levee were emplaced by the operators around the entire perimeter of the site (Fig. 8). Justification for the approximately \$15 million cost of this project was apparently based on the assumption that any significant migration of waste from leaking cells would occur laterally through near-horizontal sand beds rather than vertically down through the underlying clays. This engineering model is conceptually equivalent to that of constructing a

box having essentially impermeable walls on an impermeable base.

Given the substantial annual rainfall in south Louisiana, which often exceeds 1500 mm yr^{-1} , it seemed curious to this author by the time of the 1989 hearing why a permanent lake had not formed within this box. The hypothesis that significant vertical leakage had occurred down through the clay confining layer prompted an attempt to quantify the entire water budget for the site. The techniques employed in this water budget study and the results are discussed in detail by Hanor (1993) and will be summarized only briefly here.

Available climatological data permit the calculation of a complete water budget for the site, including vertical recharge, q_z , down through the clay, over a 43-month period following emplacement of the slurry walls. Vertical recharge is in excess of 280 mm yr^{-1} . The calculated vertical hydraulic conductivity, K_z , of the clay sequence from Darcy's law

$$q_z = -K_z(dh/dz) \quad (1)$$

is thus approximately $10^{-5} \text{ cm s}^{-1}$, or approximately one to four orders of magnitude higher than laboratory values for the same sediment (Hanor 1993). It is reasonable to conclude that the intercalated sands and zones of pedogenic secondary fracture porosity are thus apparently the dominant controls on vertical permeability, not the matrix properties of the clay.

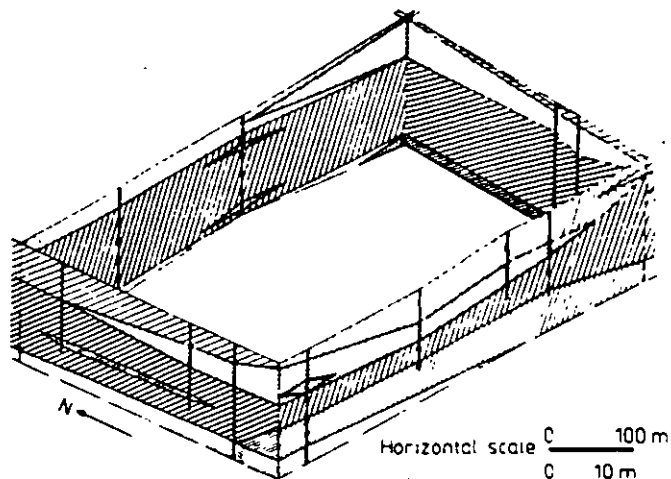
The matrix porosity, ϕ , of the clays is on the order of $0.25 \text{ m}^3 \text{ pore space m}^{-3} \text{ sediment}$, based on measurements provided by the operators. The fracture porosity is presumably much less. Depending on what value is chosen for porosity, the velocity of downward vertical flow, v_z , as calculated from the relation

$$v_z = q_z/\phi \quad (2)$$

should be in excess of a meter per year. At such velocities, wastes could migrate from the base of landfill cells through the clay-dominated portion of the sequence in less than a decade. This rough estimate is consistent with the observation that wastes were found in sands underlying the clays less than eight years after the site was opened.

Operator model for site

No geologic maps or cross sections of the site of the types presented here were entered into the public record by the site operators prior to or during either hearing. Many of the operator-generated conceptual diagrams for the subsurface distribution of sediments consist simply of cross sections, such as those portrayed in Fig. 7, subdivided into horizontal zones marked "stratum I," "stratum II," etc., with no attempt at determining what these strata actually represent. An exception to this type of representation are various geotechnical cross sections and fence diagrams entered into the public records, which show in a somewhat



Symbols	Soil Class	Description of stratum
	CL	Silty clay and sandy clay
	SP-SM	Sand intrusions
	SH, CL, ML, SP	Alternating layers of clays, silty clays, sandy clays, silts and sands
	CH	Clay
	SP to SM-SP	Sand and silty sand
	ML	Isolated intrusions of silt

Fig. 12 Portion of a geotechnical fence diagram, modified from a report submitted by site operators, showing details of their interpretation of the southwest corner of the site

more realistic way the spatial variation in sediment types in vertical planes through the site. Figure 12 shows an example for the southwest corner of the site prepared in 1985 by operator consultants. However, missing from all such diagrams for this site that the author has had the opportunity to examine are the following important features:

1. any attempt to examine or represent the three-dimensional continuity or connectivity of sand beds, which often appear as spatially isolated masses in the site cross sections;
2. any reporting of thin sand beds or sand stringers within clay beds; and
3. any reporting of pedogenic features and secondary porosity.

Geotechnical diagrams of the type portrayed in Fig. 12, which may be useful for portraying gross variations in sediment lithology, provided an inadequate basis for assessing the geology and hydrology of this site.

Discussion and conclusions

Detailed geologic mapping at the Livingston hazardous waste landfill shows how lithofacies distribution and early diagenetic processes, both of which were ultimately con-

trolled by depositional history, can influence effective vertical sediment permeability. Many bodies of sand at this site, which appear to be isolated in geotechnical cross sections, can be shown to be part of complex three-dimensional distributary networks, with the finer-grained sediments representing overbank and backswamp deposits. Some clay layers are actually a composite of numerous thinner clay beds, each subjected to subaerial exposure and the formation of secondary porosity related to pedogenesis.

The effective vertical hydraulic conductivity of the clay beds at this site is sufficiently high that these sediments will not act as an effective barrier to vertical waste migration in the event of leakage of contaminants from waste storage cells. The internal subsurface geology of this site is spatially complex, and it is likely that waste migration will occur along equally complex and tortuous routes through these sediments. The geologic properties of this site thus put a substantial burden on the quality of engineering that must be maintained indefinitely to contain the wastes presently stored there, on the development of suitable plans to monitor the site, and on the development of remediation strategies in the event of contaminant release.

Although the details of the subsurface geology reported here are unique to the Livingston site, it is reasonable to expect that similar levels of complexity and heterogeneity exist elsewhere at other sites in the Gulf Coast. Of particular importance is the realization that the presence of clay-dominated sequences within the Plio-Pleistocene and Recent coastal complexes does not guarantee the presence of sediment that can be reasonably called a "confining layer" in a hydrologic sense.

Many important and largely unanswered questions regarding site selection, development, and management remain for such sites in the Gulf Coast. These include deciding how much and what type of information is required to develop an adequate hydrogeological model for such a site. Geotechnical logs can provide useful information in this context, but only if they are approached from a geologic viewpoint. The 63 borehole logs utilized in the 1982 Livingston study were sufficient to show that elongate, continuous bodies of sand exist over the entire stratigraphic interval drilled up to that time. These same logs also record the presence of zones of secondary porosity within the clay "confining layer." The 425 logs examined in 1989, of course, permitted a much more detailed delineation of sediment heterogeneity and interpretation of depositional and diagenetic history to be made. The development of a geologic model of the site provides greater confidence in determining the connectivity of various depositional and diagenetic features. Further refinement could be made by utilizing a graphic work-station for three-dimensional visualization and interpretation.

Basic questions regarding the monitoring and remediation of this site include: where should one place monitoring wells? How many are needed and at what depths should they be screened? What is the best approach for developing a numerical solute transport and reaction model for this site, should one be deemed necessary? What

degree of geometric simplification can be assumed (see Figs. 8 and 9) and still have a numerical transport model produce useful results? What strategies would one follow for any of the above, if, like these operators, you had no geologic model for the site? In spatially complex geologic settings such as this, it is unlikely that realistic assessments regarding the effective permeability of sediments at the site and cost-effective monitoring and remediation plans can be made without some understanding of site geology.

Acknowledgments The Louisiana Department of Environmental Quality provided copies of the geological and engineering data utilized in this study. My sincere thanks to Ray Kazmann for helpful discussions and a review of an early draft of this paper and to Joe Benson for a detailed review of a later version.

References

- ASTM (1986) ASTM Book of Standards, Sec. 4. Philadelphia: American Society for Testing and Materials. Vol. 04 08
- Autin WJ (1992) Use of alloformations for definition of Holocene meander belts in the middle Amite River, southeastern Louisiana. *Geol Soc Am Bull* 104: 233-241
- Autin WJ, Burns SA, Miller BJ, Saucier RT, and Snead JI (1991) Quaternary geology of the Lower Mississippi Valley. In: Morrison RB (Ed), Quaternary non-glacial geology of the conterminous United States. Geological Society of America, *Geology of North America* Boulder, Co K-23 pp 547-582
- Cramer GH Jr (1988) A study of contamination migration at a hazardous waste facility in Louisiana. Association of Engineering Geologists Proceedings, Second International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, St. Louis, MO, 1-5 June, pp 71-73
- Das BM (1990) Principles of geotechnical engineering, 2nd ed. Boston. PWS-Kent, 665 pp
- Hanor JS (1993) Effective hydraulic conductivity of fractured clay beds at a hazardous waste landfill, Louisiana Gulf Coast. *Water Resour Res* 29: 3691-3698
- Jordan DW and Pryor WA (1992) Hierarchical levels of heterogeneity in a Mississippi River meander belt and application to reservoir systems. *Am Assoc Petrol Geol Bull* 76: 1601-1624
- Lock BE (1993) The proposed Cade II landfill site, South Louisiana: Threat to the Chicot Aquifer. *Trans Gulf Coast Assoc Geol Soc* 43: 211-217
- Martin A and Whiteman CD (1989) Geohydrology and regional ground-water flow of the Coastal Lowlands aquifer system in parts of Louisiana, Mississippi, Alabama, and Florida—a preliminary analysis. US Geological Survey Water-Resources Investigation Report 88-4100, 88 pp
- McFarlan E and LeRoy DO (1988) Subsurface geology of the Later Tertiary and Quaternary deposits, Coastal Louisiana and the adjacent continental shelf. *Trans Gulf Coast Assoc Geol Soc* 38: 421-433
- Penland S, Ramsey KE, McBride RA, Mestayer JT, and Westphal KA (1988) Relative sea level rise and delta-plain development in the Terrebonne Parish region. Baton Rouge, LA Geological Survey, Coastal Geology Technical Report 4, 121 pp
- Snead JI and McCulloh RP (1984) Geologic map of Louisiana. Baton Rouge, LA Geological Survey, 1 sheet.
- Sudicky EA and Huyakorn PS (1991) Contaminant migration in imperfectly known heterogeneous groundwater systems. *US Natl Rep Int Union Geod Geophys*, 1987-1990 29: 240-253.
- Tomaszewski DL (1988) Ground-water hydrology of Livingston, St. Helena, and parts of Ascension and Tangipahoa parishes, southeastern Louisiana. Baton Rouge, LA Department of Transportation Development and Water Resources Technical Report 43, 54 pp.



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

CURSOS ABIERTOS

GEOLOGÍA AMBIENTAL

TEMA:

**LEGISLACIÓN AMBIENTAL
M. en C. LUIS ANTONIO AGUILAR PÉREZ**

**M. en C. LUIS ANTONIO AGUILAR PÉREZ
ING. JUAN SÁNCHEZ PÉREZ
PALACIO DE MINERÍA
ABRIL 2000**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
Palacio de Minería, México, D. F.

GEOLOGÍA AMBIENTAL
2000

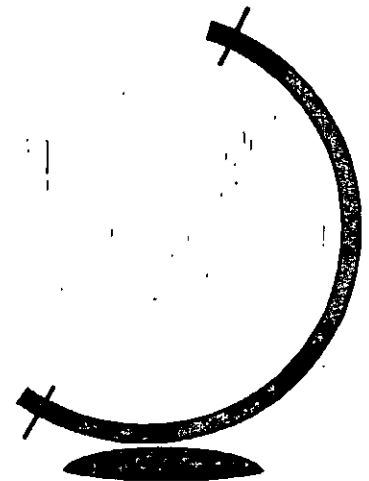
Capítulo VIII

LEGISLACIÓN
AMBIENTAL

Profesores :

M en C. Luis Antonio Aguilar P.

Ing. Juan Sánchez Pérez



CAPÍTULO VIII - LEGISLACIÓN AMBIENTAL

LEYES PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

1. CONCEPTOS GENERALES

2. DEFINICIONES

3. LEGISLACIÓN AMBIENTAL EN MÉXICO

Bases Constitucionales

Programas de la SEMARNAP

4. PRINCIPALES LEYES, REGLAMENTOS O NORMAS

Ley de Aguas Nacionales

Ley General de Equilibrio Ecológico

Prevención y control de la contaminación del suelo

Política de restauración de sitios contaminados

Prevención y control de la contaminación del agua

Política de restauración de acuíferos contaminados

Rellenos Sanitarios

Norma NOM-083-ECOL-1996

Residuos Biológico-infecciosos

Residuos Peligrosos

Residuos mineros

5. LEGISLACIÓN AMBIENTAL INTERNACIONAL

Tratados Internacionales

Responsabilidad Internacional

Tratados de Libre Comercio

Programa de acción fronteriza

Convención de Basilea

Convención de Viena y Protocolo de Montreal

Participación de la ONU

Cámara Internacional de Comercio

1. **Los procesos productivos de uso y manejo de recursos naturales.**
 - A. Prevención, estudios para la localización de fuentes de contaminación, vida útil y abandono de sitios para la disposición de desechos.
 - a) Exploración de recursos, extracción, distribución, transporte y almacenamiento, hacia su transformación manufacturera.
 - b) Procesos industriales, con o sin tecnologías contaminantes.
 - c) Producción, transporte, almacenamiento y ventas comerciales.
 - d) Desechos municipales y peligrosos.
 - B. Remediación de sitios contaminados y control de los medios físicos de dispersión de contaminantes.
 - a) Exploración.
 - b) Extracción y producción.
 - c) Distribución, transporte y almacenamiento.
 - d) Desechos concomitantes.
 - C. Transferencia tecnológica.
 - D. Procesos obsoletos y limpios.
Contaminación cero.
 - E. Costos ambientales directos e indirectos.
2. **3. Leyes, Reglamentos, Normas, Procedimientos, Acuerdos y Convenios.**
 - A. La ONU, de Estocolmo a Río. Nuestro futuro común.

Tabla 7.1 Técnicas y normatividad empleadas en el monitoreo de instalaciones para el manejo de residuos sólidos

Impactantes	Parámetros	Técnicas	Normas
Partículas aerotransportables	Partículas suspendidas totales	• Muestreo de alto volumen	Norma Oficial Mexicana NOM-CCAM-02-ECOL-93 límite máximo permisible: 275 mg/m ³
	Microorganismos en el aire	• Muestreo con impactador Andersen	No existe
Biogás	Composición (CH ₄ , CO ₂ , N ₂ y O ₂)	• Análisis por cromatografía de gases	No existe
	Explosividad, toxicidad (H ₂ S)	Lectura directa en campo	No existe
Ruido ambiental	Ruido	Lectura directa en campo	NOM-011-STPS-1993
Lixiviados	Parámetros físico-químicos		NOM-AA-4 Determinación de sólidos sedimentados
			NOM-AA-7 Determinación de la temperatura
			NOM-AA-8 Determinación del pH
			NOM-AA-12 Determinación de oxígeno disuelto
			NOM-AA-20 Determinación de sólidos totales
			NOM-AA-30 Determinación de la demanda química de oxígeno
			NOM-AA-34 Determinación de sólidos totales (totales, totales volátiles, disueltos totales y disueltos volátiles)
			NOM-AA-36 Determinación de alcalinidad total
			NOM-AA-38 Determinación de la turbiedad
		NOM-AA-72 Determinación de la dureza total	
	NOM-AA-73 Determinación de nitrógeno total		
	NOM-AA-93 Determinación de la conductividad eléctrica		
	Análisis bacteriológico	NOM-AA-42 Determinación de nmp (número más probable) de coliformes totales y fecales	
		NOM-AA-102 Determinación, detección y enumeración de organismos coliformes termotolerantes y escheriachi colpresuntivos	
	Metales pesados	NOM-AA-93 Análisis por espectrofotometría de absorción atómica	

Tabla VIII.1 - Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que aplican para la toma de muestras en instalaciones para el manejo de residuos sólidos.

Tomado de: AMCRESPAC-SETASA, 1998 (marzo)

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

- Las **inundaciones han afectado** algunas **regiones, desde tiempos históricos.**
- Aún con los esfuerzos realizados para reducir los daños, **el problema sigue siendo serio.**
- Para los estudiosos de Ciencias de la Tierra, son un **proceso natural** fundamental en la transferencia de agua y sedimentos de las **cuencas hidrológicas**, así como **para la modificación de los valles** y en la formación o transformación de los abanicos aluviales

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Es importante estudiar una gran cantidad de **variables ambientales** dentro de las **cuencas hidrológicas**.

Variables morfométricas, tales como:

Redes y Densidad del drenaje,

Geometría, Diferencias de altura, etc.

Características de los flujos:

Naturaleza, Gasto, entre otras

De interés para:

1. Planear el uso del suelo
2. Prevenir o mitigar daños

FUNDAMENTAL

- Es vital evitar **asentamientos humanos** en las **planicies de inundación**.
- El **agua** tiene **derecho de vía**.
- Las **cuencas hidrológicas**, como subdivisión básica del relieve, permiten efectuar estudios integrales para un mejor uso del suelo.
- Considerando las características de las cuencas, podemos entender o inferir mejor **la dinámica** que se presentará cuando se tengan **precipitaciones y escurrimientos extraordinarios**.

CONCLUSIONES

1. En **México** hay profesionistas capaces de planear el **uso adecuado del suelo** y construir obras de ingeniería civil apropiadas tales como:
 - Puentes bien localizados y bien cimentados
 - Carreteras bien trazadas y con obras de drenaje del tamaño necesario para resistir los **grandes flujos de agua.**

CONTRADICTORIO

En muchas regiones del país **hace falta agua** potable y de servicios, pero cuando llueve **se inundan**, con tirantes de agua impresionantes y con grandes afectaciones.

LEY GENERAL DE EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE, 1996 - LGEEPA -

Prevención y control de la contaminación del suelo

Artículo 134 de la Ley plantea que en la prevención y control de la contaminación del suelo, se considerarán los siguientes criterios:

- **Corresponde al Estado y a la sociedad prevenir la contaminación del suelo.**
- **Controlar los residuos, ya que constituyen la principal fuente de contaminación de suelos.**
- **Prevenir y reducir la generación de residuos sólidos, municipales e industriales,**
- **Incorporar técnicas y procedimientos para su reuso y reciclaje, Regular su manejo y disposición final eficientes.**

Prevención y control de la contaminación del suelo

● Artículo 135

Establece que los criterios antes planteados se considerarán en los siguientes casos:

- Ordenación y regulación del desarrollo urbano.
- Operación de los sistemas de limpia y de disposición final de residuos municipales en rellenos sanitarios.
- Generación, manejo y disposición final de residuos sólidos, industriales y peligrosos,
- así como en las autorizaciones y permisos que se otorguen.

Prevención y control de la contaminación del suelo

● Artículo 136

Indica que los residuos que se acumulen o puedan acumularse y se depositen o infiltren en los suelos deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir o evitar:

- **Contaminación del suelo.**
- **Alteraciones nocivas en el proceso biológico de los suelos.**
- **Alteraciones en el suelo que perjudiquen su aprovechamiento, uso o explotación.**
- **Riesgos y problemas de salud.**

Prevención y control de la contaminación del suelo

- **Artículo 139**

Toda **descarga, depósito o infiltración** de sustancias o materiales contaminantes en los suelos se sujetará a lo que disponga la **LEGEEPA**, la Ley de Aguas Nacionales, sus **disposiciones reglamentarias** y las **NOMs** que para tal efecto expida la **Secretaría**.

Prevención y control de la contaminación del suelo

● Artículo 140

Generación, manejo y disposición final de los residuos de lenta degradación deberá sujetarse a **lo que se establezca en las NOMs** que al respecto expida la Secretaría, en coordinación con la **SECOFI**

NOM - 083 - ECOL - 1996

**CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS SITIOS
DESTINADOS A**

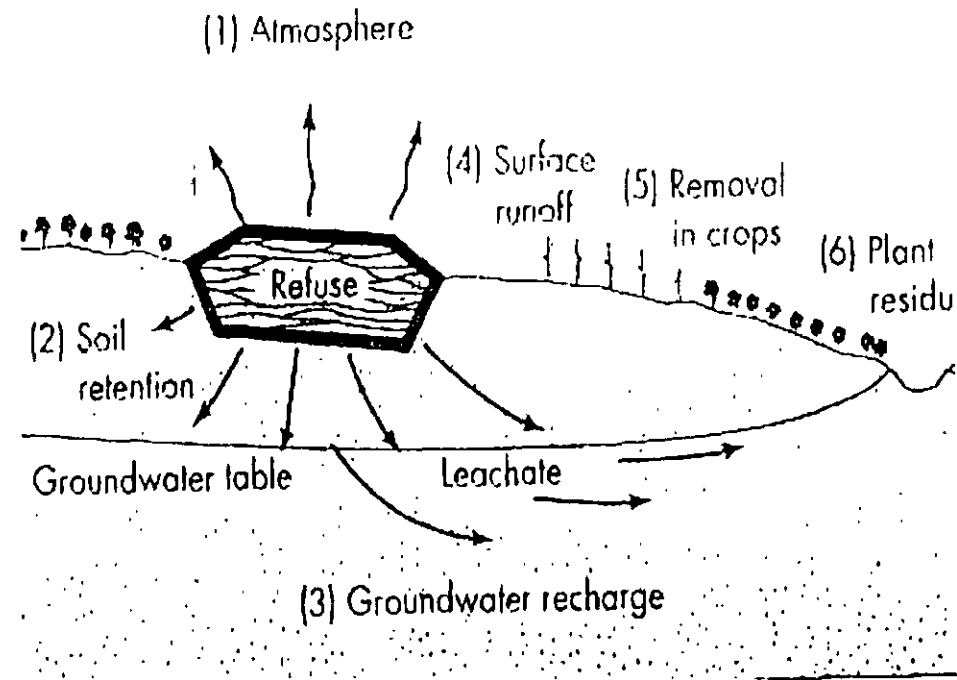
RELLENO SANITARIO

**PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS
RESIDUO SÓLIDOS MUNICIPALES**

3.2.3 Aspectos Geológicos

NORMA OFICIAL MEXICANA

NORMA OFICIAL MEXICANA
NOM - 083 - ECOL - 1996
CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS SITIOS
DESTINADOS A
RELLENO SANITARIO
PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS
RESIDUOS
SÓLIDOS MUNICIPALES

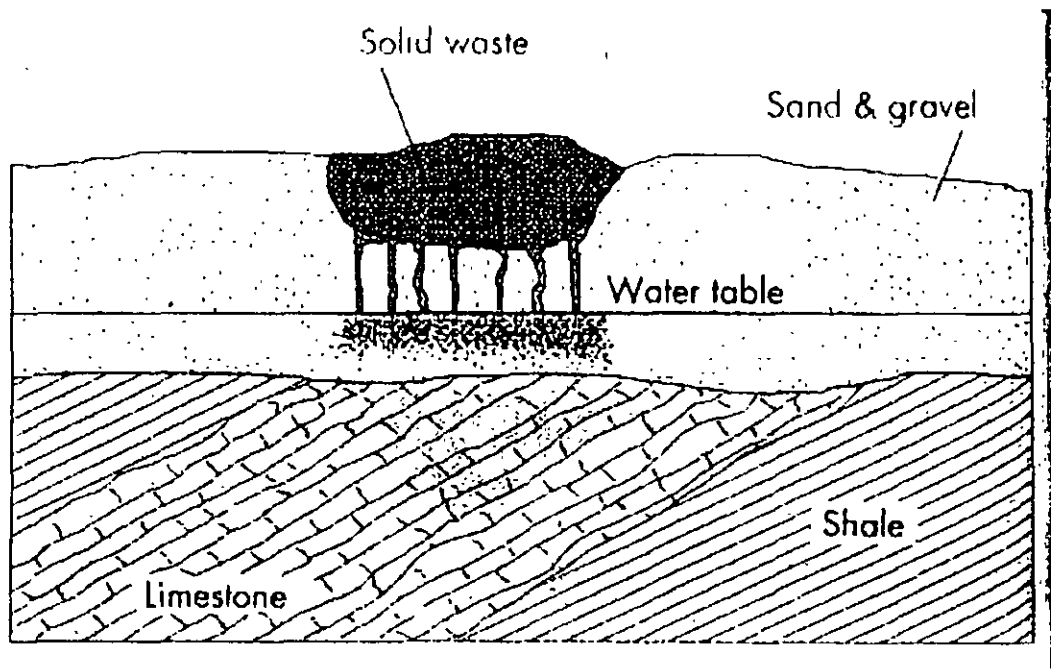


0. INTRODUCCIÓN

0.1- Los sitios de disposición final de **residuos sólidos municipales** generan lixiviados que contienen diversos contaminantes que pueden afectar los recursos naturales, en especial los acuíferos y los **cuerpos superficiales de agua**. La aplicación de esta norma permitirá **proteger el ambiente, preservar el equilibrio ecológico y minimizar los efectos contaminantes**.

NOM - 083 - ECOL - 1996
CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS SITIOS DESTINADOS A
RELLENO SANITARIO
PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN



Establece las condiciones de:

- **Ubicación**
- **Hidrológicas**
- **Geológicas**
- **Hidrogeológicas**

que deben reunir los sitios.

Observancia obligatoria para aquellos que tienen la **responsabilidad** de la **disposición final**.

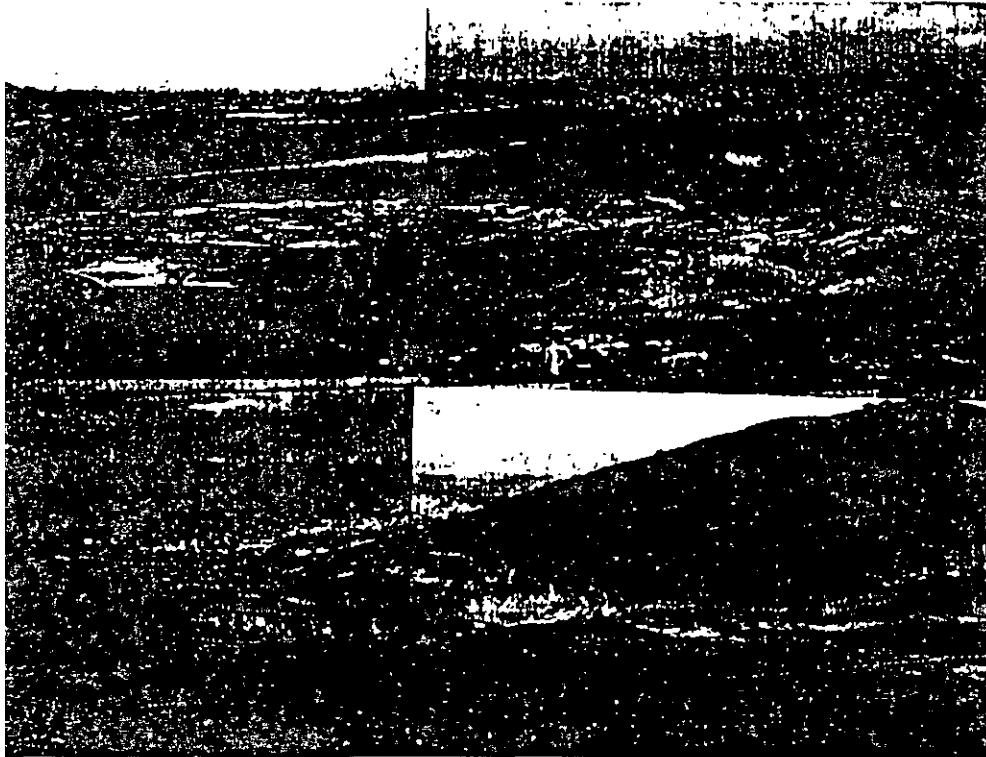
NOM - 083 - ECOL - 1996
CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS SITIOS DESTINADOS A
RELLENO SANITARIO
PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES



2. DEFINICIONES

- 2.1- Acuífero
- 2.2- A. Confinado
- 2.3.- A. Libre
- 2.4- A. Semiconfinado
- 2.5- Acuitardo
- 2.6- Agua Subterránea
- 2.7- A. Naturales Protegidas
- 2.8- Capacidad de intercambio catiónico
- 2.9- Carga Hidráulica
- 2.10- Conductividad Hidráulica
- 2.11- Contaminantes no reactivos

NOM - 083 - ECOL - 1996
CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS SITIOS DESTINADOS A
RELLENO SANITARIO
PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES



2.12- Descripción Estratigráfica

2.13- Discontinuidades

2.14- Disposición final

2.15- Falla

2.16- Falla Activa

**2.17- Fracción de Carbono
Orgánico**

2.18- Fractura

2.19- Freatofitas

2.20- GEOFÍSICA

2.21- GEOLOGÍA

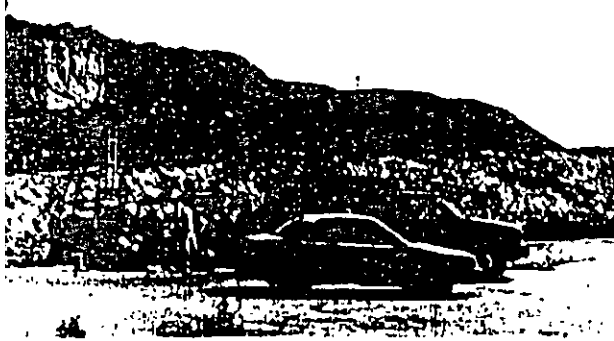
2.22- Hidrogeología

2.23- Hidrología

2.24- Infiltración

2.25- Lixiviado

NOM - 083 - ECOL - 1996
CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS SITIOS DESTINADOS A
RELLENO SANITARIO
PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES



- 2.26- Nivel Freático
- 2.27- Nivel Piezométrico
- 2.28- Parámetros Hidráulicos
- 2.29- Percolación
- 2.30- Permeabilidad
- 2.31- Porosidad Efectiva
- 2.32- Potencial de contaminación
- 2.33- Residuo Sólido Municipal
- 2.34- Sistema de flujo
- 2.35- Talud
- 2.36- Unidades litológicas
- 2.37- Volúmen de Extracción
- 2.38- Zona de aireación

NOM - 083 - ECOL - 1996
CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS SITIOS DESTINADOS A
RELLENO SANITARIO
PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

- 2.39- Zona de Descarga
- 2.40- Zona de Inundación
- 2.41- Zona de Recarga
- 2.42- Zona de Saturación
- 2.43- Zona No Saturada

3. ESPECIFICACIONES

- 3.1- Cumplir las diferentes especificaciones y facilitar la toma de decisiones en las diferentes etapas de los estudios que se describen en el Punto 4.**
- 3.2- Condiciones mínimas**



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

CURSOS ABIERTOS

GEOLOGÍA AMBIENTAL

TEMA:

USO DEL SUELO Y TOMA DE DECISIONES

**ING. JUAN SÁNCHEZ PÉREZ
PALACIO DE MINERÍA
ABRIL 2000**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
Palacio de Minería, México, D. F.

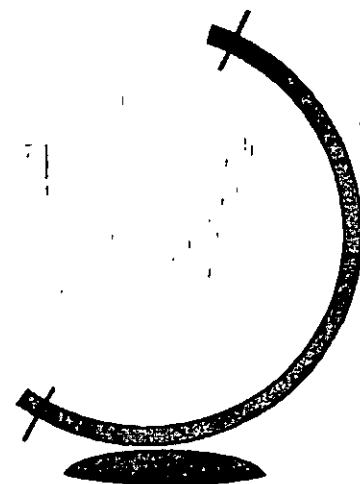
GEOLOGÍA AMBIENTAL
2000

Capítulo VII

USO DEL SUELO y
TOMA DE DECISIONES

Profesor :

Ing. Juan Sánchez Pérez



CAPÍTULO VII

EL USO DEL SUELO Y LA TOMA DE DECISIONES

VII.1 - EVALUACION DEL RELIEVE

La evaluación del relieve, incluyendo la planeación del uso del suelo, la selección de sitios (para obras de ingeniería civil), la evaluación de factores "intangibles" y los análisis de impacto ambiental, son de los aspectos más controvertidos de nuestro tiempo. Antes de que estos aspectos puedan ser resueltos satisfactoriamente, se necesita desarrollar una buena metodología que permita asegurar que los recursos como el suelo y el agua sean utilizados en forma apropiada y se conserven de manera consistente conforme a la naciente ética del uso del suelo.

El papel de los geólogos en la evaluación del relieve es el de proporcionar información geológica completa, así como su análisis apropiado, antes de proceder a la planeación, diseño y construcción de proyectos, tales como: 1) vasos de almacenamiento para agua, 2) carreteras y túneles, 3) tuberías de conducción, 4) grandes edificios, 5) desarrollos habitacionales y parques. A este respecto, es la obligación de los estudiosos de las Ciencias de la Tierra el enfatizar que no toda la tierra es igual y que existen características físicas y químicas del relieve que pueden resultar más importantes para la sociedad que su localización geográfica.

En un futuro no lejano la necesidad del uso apropiado del suelo aumentará y tendrá que incluir conceptos de uso secuencial o de uso múltiple, más que para usos exclusivos. Esto se debe a que se tiene un límite definido respecto a la disponibilidad del suelo para fines específicos y en consecuencia, debemos luchar por planear su uso, de tal manera que quede terreno disponible para que las futuras generaciones lo puedan aprovechar y disfrutar en la forma que ellos necesiten. Los elementos básicos para la planeación del uso del suelo están siendo desarrollados tomando en cuenta:

- a) objetivos,
- b) planteamientos y metas futuras,
- c) el análisis y resumen de información apropiada,
- d) planos de la clasificación del uso del suelo, y
- e) un reporte claro que describa apropiadamente todo lo estudiado.

El tipo de suelo y los trabajos de Ingeniería Geológica son significativos para determinar las posibles limitaciones que se tendrán en el desarrollo del uso del suelo.

La información que se obtenga estará mejor integrada si se presenta en una serie de planos que sinteticen los riesgos geológicos existentes, así como las limitaciones

del suelo y de los aspectos ingenieriles que se tendrán para algunos usos específicos.

La selección de sitios y su evaluación, se obtiene mediante el proceso de estudiar el ambiente físico, para determinar la capacidad que tendrá de soportar las actividades humanas y en consecuencia los posibles efectos de éstas sobre el ambiente. La filosofía que se debe considerar en la evaluación de un sitio se basa en el "determinismo fisiográfico" o en "diseñar con la naturaleza" y ha emergido como un marco filosófico que "paga" para balancear parcialmente los aspectos económicos tradicionales de la evaluación de sitios. Desde un punto de vista geológico, esta filosofía requiere esencialmente de la evaluación de la magnitud e importancia de las limitaciones geológicas, que puede tener un sitio en particular, para un uso específico del suelo.

La evaluación de un sitio para fines geológicos, tales como la construcción de:

- a) presas,
- b) autopistas,
- c) aeropuertos,
- d) túneles, y
- e) grandes edificios, entre otros,

requiere en cada caso de una evaluación geológica detallada, antes de planear y diseñar el proyecto. El papel del geólogo es el de trabajar en coordinación con los ingenieros civiles e indicarles las posibles ventajas o desventajas de las características geológicas del terreno y la forma en que estas pueden beneficiar o afectar al proyecto.

La evaluación de los recursos escénicos (visuales) y de otros aspectos ambientales (intangibles), se han convertido en factores muy importantes para la evaluación del relieve.

Lo importante está en balancear de manera apropiada los factores intangibles con los aspectos económicos, que son más fácilmente analizables, ya que con ello se logrará una evaluación ambiental apropiada.

El objetivo que debemos tener en mente es el de ser capaces de cuantificar y graduar las alternativas, tal como se hace en la evaluación de los elementos más tangibles del relieve (como la susceptibilidad de utilizar o no terrenos de relieve abrupto o plano).

Todos los métodos que intentan evaluar los factores ambientales intangibles, tales como el panorama, dependen del análisis de los factores del relieve o de sus siguientes variables:

- 1) el relieve topográfico,

- 2) presencia de cuerpos superficiales o subterráneos de agua,
- 3) cantidad de flora y fauna existente y su diversidad, etc.

De manera que, todos los métodos son subjetivos, sin embargo, la subjetividad, en este caso, no necesariamente es un mal atributo; de hecho, es probable que hoy en día no exista una técnica completamente objetiva, para este fin, dado nuestro conocimiento actual de la percepción, que en forma individual se tiene acerca del paisaje (panorama). Lo que es importante considerar es que la evaluación se efectúa por medio de juicios unipersonales en la mayoría de los casos y que de alguna manera es necesario establecer algunos aspectos que puedan ser analizados de forma común.

Actualmente, la evaluación del impacto ambiental se requiere por ley para todas las actividades federales que posiblemente puedan afectar la calidad del medio ambiente humano. El resultado de la evaluación del relieve es un dictamen de impacto ambiental que describe los propósitos y necesidades del proyecto, discute varias alternativas razonables, el medio ambiente que será afectado, las consecuencias ambientales, considera los efectos directos e indirectos, así como los requerimientos de energía y el potencial de conservación, el abatimiento de recursos, el impacto de los sistemas urbanos sociales y el posible conflicto con el Estado o con los planes locales del uso del suelo.

No existe un método único para determinar el impacto ambiental para un amplio aspecto de acciones posibles o de proyectos que puedan afectar al ambiente y además, un sólo método puede resultar inapropiado o poco práctico. El objetivo del proceso del análisis, antes de diseñar y construir, es el de reducir al máximo la posibilidad de causar una degradación ambiental externa.

En el pasado, en muchos proyectos se han tenido problemas de contaminación realmente serios, pérdida de recursos o la creación de riesgos por inestabilidad del terreno. Esto ha conducido al cierre desafortunado de industrias y ha forzado a que la gente se ajuste a ciertos riesgos y pérdidas económicas. Algunos ejemplos importantes a nivel internacional, del análisis de impacto ambiental, son el del Oleoducto (la tubería) transAlaska y el de "*Cape Hatteras National Seashore*", ya que fué muy significativa la forma en que fueron evaluados algunos de los posibles impactos y sus alternativas de solución; además, en ellos se enfatiza la importancia de los aspectos geológicos en el análisis de los proyectos. A nivel nacional, se tienen varios ejemplos, siendo los principales los referentes a la construcción de grandes presas, como las de Chicoasén y Aguamilpa, por mencionar algunas de las más recientes.

CAPÍTULO VII - EL USO DEL SUELO Y LA TOMA DE DECISIONES

EJERCICIO No. 3

OBJETIVO: Proporcionar al estudiante información referente a las diferentes profesiones que deben participar en los estudios de planeación del uso del suelo.

DESARROLLO :

1. El estudiante deberá revisar la tabla anexa, con el fin de analizar las diferentes disciplinas profesionales que intervienen en diferentes tipos de estudio, tal como lo plantea Turner y Cofman (1973).
2. Emitir comentarios por escrito respecto a la información proporcionada y explicar si las interrelaciones planteadas obedecen a las necesidades actuales de nuestro país o del extranjero (en caso de conocer información de otros países al respecto).
3. Modificar la porción izquierda de la tabla mencionada, conforme a los puntos de vista del estudiante.
 - En el caso de considerarlo necesario, se podrá modificar la porción izquierda de la tabla, añadiendo alguna profesión que usted considere necesario incluir.
 - Si alguna de las profesiones mencionadas no existe en su país de origen, se recomienda sustituirla por la de los profesionistas cuya actividad este lo más estrechamente relacionado a las indicadas en este ejercicio.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES :

A.

B.

C.

EJERCICIO 3

OBJETIVO : Proporcionar al estudiante información referente a las diferentes profesiones que deben participar en los estudios de planeación del uso del suelo.

DESARROLLO :

1. El estudiante deberá revisar la tabla anexa, con el fin de analizar las diferentes disciplinas profesionales que intervienen en diferentes tipos de estudio, tal como lo plantea Turner y Cofman (1973).
2. Emitir comentarios por escrito respecto a la información proporcionada y explicar si las interrelaciones planteadas obedecen a las necesidades actuales de nuestro país, o del extranjero.
3. Modificar la porción izquierda de la tabla mencionada, conforme a los puntos de vista del estudiante.

- En el caso de considerarlo necesario, se podrá modificar la porción izquierda de la tabla, añadiendo alguna profesión que usted juzgue conveniente incluir.




- Si alguna de las profesiones mencionadas no existe en México o en su país de origen, se recomienda sustituirla por la de aquellos profesionistas cuya actividad este lo más estrechamente relacionado a las indicadas en este ejercicio.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

A.	
B.	
C.	

INTERRELACIÓN ENTRE PROFESIONISTAS DURANTE LA PLANEACIÓN DEL USO DEL SUELO

PRINCIPALES GRUPOS DE ESTUDIOS	TEMAS TÍPICOS DE ESTUDIO	DISCIPLINAS PROFESIONALES											
ECONOMICOS REGIONALES	Base Económica												
	Recursos Potenciales												
POBLACION REGIONAL	Estudios de Población												
	Estudios Socioeconómicos												
TRANSPORTE	Facilidades												
	Transporte Público												
	Estacionamiento												
AMBIENTE NATURAL Y ES PUBLICAS	Recursos Naturales												
	Protección contra Riesgos												
	Reutilización del Terreno Publicas												
COMUNES	Escuelas, Bibliotecas												
	Policía, Bomberos												
	Parques, Centros de Recreación												
USO DE SUELO	Planeación Regional												
	Planeación Local												
	Desarrollos Comerciales												
	Desarrollos Industriales												
CASAS Y EDIFICIOS	Privados												
	Públicos												
ESTETICOS	Históricos, de Valor Cultural												
	De Beneficio Común												
	Controles Legislativos												
ADMINISTRATIVOS Y LEGALES	Legislación												
	Administrativa												
FINANCIEROS	Incremento al Capital												
	Federales- Programas de Ayuda												
OTROS ESTUDIOS DE PLANEACIÓN	Definir Metas												
	Programas de Renovación Urbana												
	Depósitos para Desechos												
	Salud Pública												
	Defensa Civil												
		GÉOLOGOS	GÉÓGRAFOS	INGS. CIVILES	INGS. SANITARIOS	ARQUITECTOS	ARQ. PAISAJISTAS	INGS. EN PLANEACIÓN	INGS. EN PLAN. RECREAT.	CONSERVACIONISTAS	ABOGADOS	ADMINIS. PÚBLICOS	SOCIOLOGOS

-  **Inter-relación Primaria**
-  **Inter-relación Secundaria**
-  **Sin Inter-relación**

Tomado de: TURNER Y COFMAN (1973)
 GEOLOGIA PARA LA PLANEACIÓN. A Review of Environmental Geology, "Quarterly of the
 Colorado School of Mines, Vol. 68, No. 3.

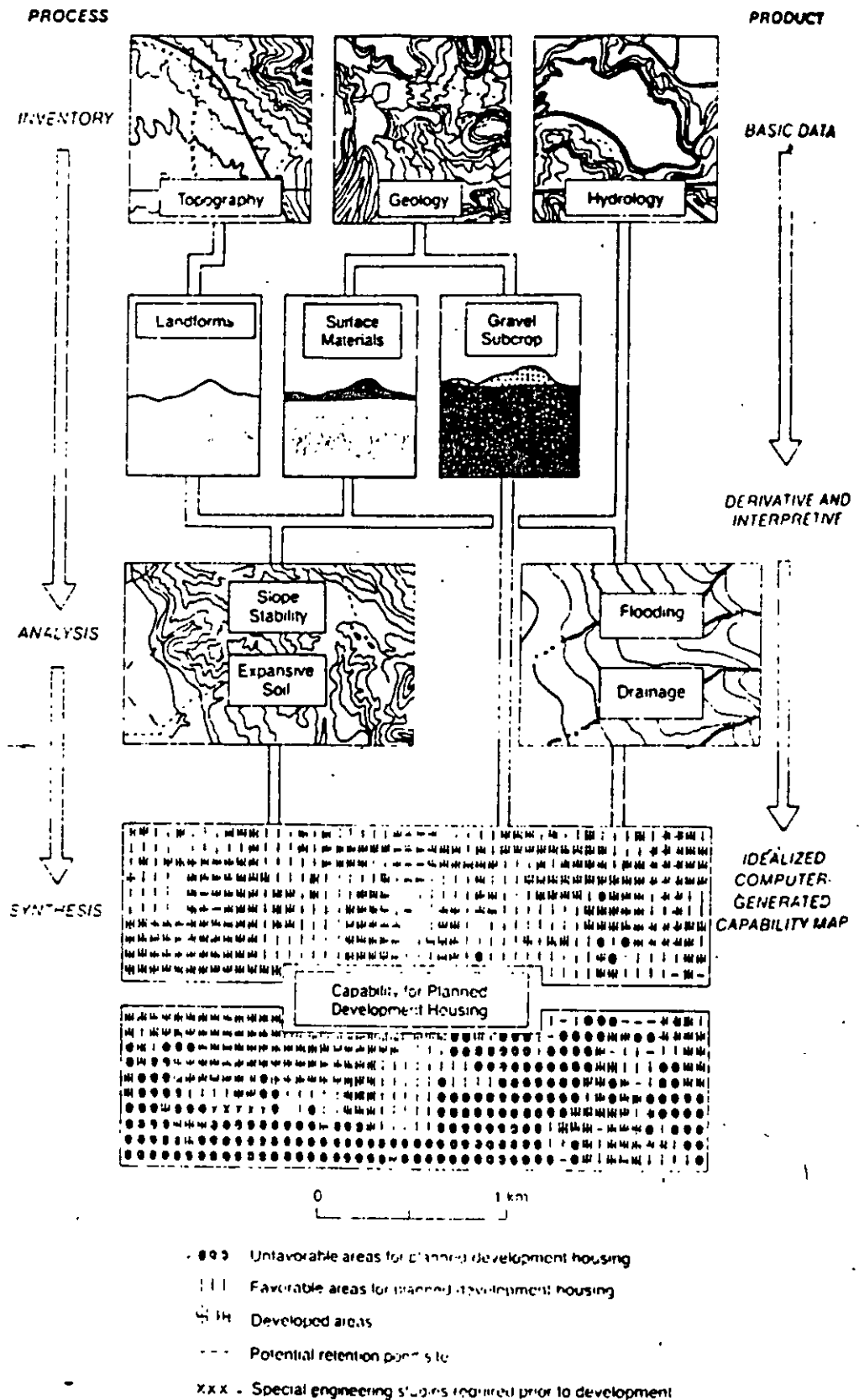
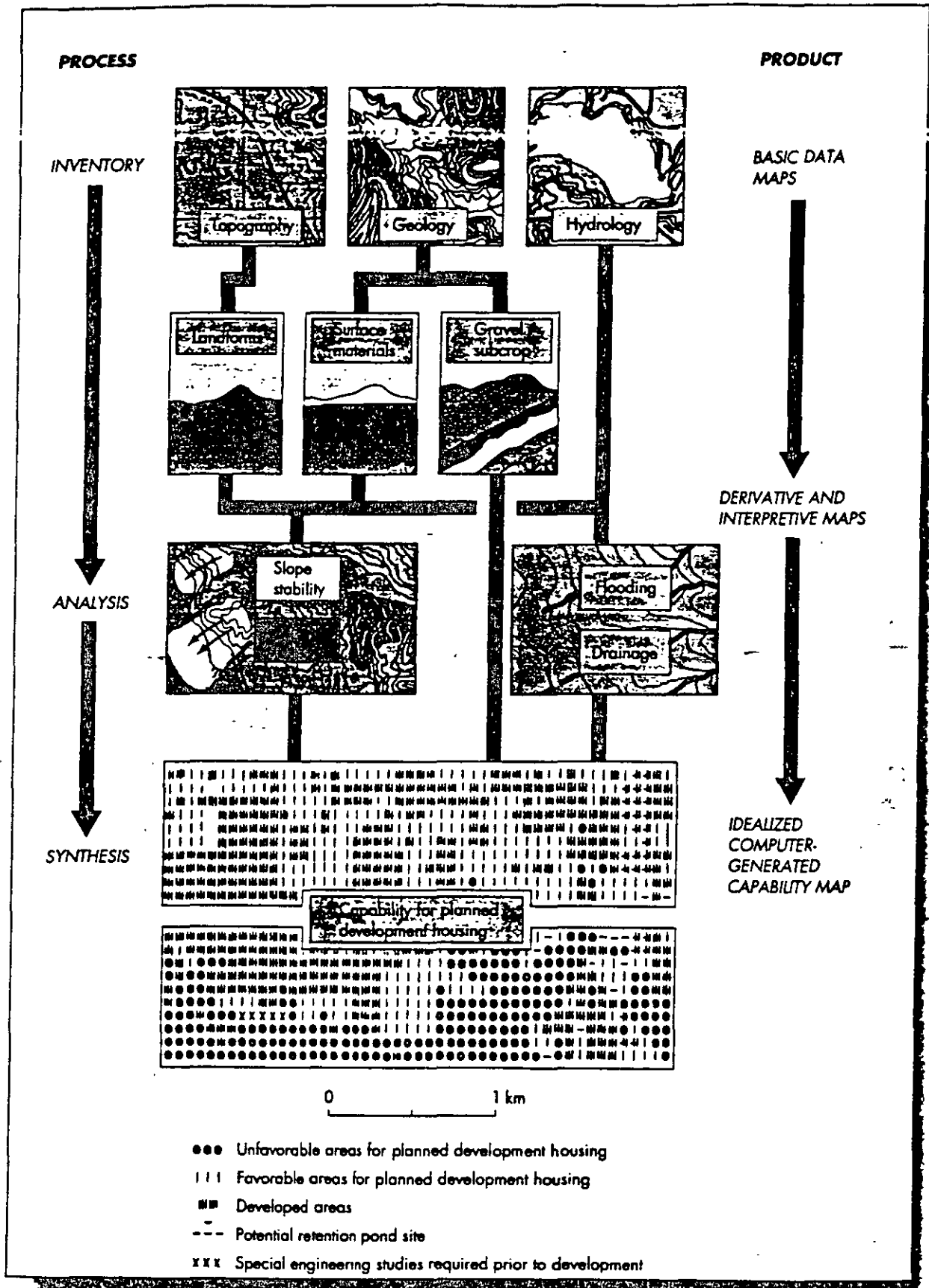


Figura VII.1

DIAGRAMA DE FLUJO QUE MUESTRA EL USO DE LA INFORMACIÓN DE LAS CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA PLANEACIÓN DEL USO DEL SUELO, PARA EL DESARROLLO DE UNA REGIÓN (Tomado de U.S. Geological Paper 950, 1978)



CARTA DE FLUJO QUE MUESTRA LA INFORMACIÓN DE LAS CIENCIAS DE LA TIERRA PARA EL USO DE SUELO PARA LA CONSTRUCCIÓN
 (Area Franconia, Virginia, EUA)

Modificado de A. J. Frolich y A. D. Garnaas; USGS - Professional Paper 950 (1978)

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA PARA EL CURSO DE GEOLOGIA AMBIENTAL

BIBLIOGRAFIA PARA EL CAPITULO VII

Tema: EL USO DEL SUELO Y LA TOMA DE DECISIONES (Evaluación del relieve)

1. BARTELLI, L.J.; KLINGEBIEL, A.A.; BAIRD, J.V.; and HEDDLESON, M.R., eds., 1966. **Soil surveys and land use planning**. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy.
2. BREW, D.A., 1974. **Environmental impact analysis: the example of the proposed Trans-Alaska Pipeline**. U.S. Geological Survey, Circular 695.
3. COUNCYL ON ENVIRONMENTAL QUALITY. 1979. **Environmental quality, Annual Report**.
4. FLAWN, P.T.. 1970. **Environmental Geology**. New York: Harper & Row.
5. GROSS, D.L.. 1970. **Geology for planning in DeKalb County, Illinois**. Environmental Geology Notes No.33, Illinois State Geological Survey.
6. HAYES, W.C., and VINEYARD, J.D.. 1969. **Environmental Geology in town and country**. Missouri Geological Survey and Water Resources, Educational Series No. 2.
7. KRYNINE, D.P. and JUDD, W.R.. 1957. **Principles of Enginneering Geology and Geotechniques**. New York: MacGraw-Hill.
8. LEOPOLD, L.B.. 1969. **Quantitative comparison of some aesthetic factors among rivers**. U.S. Geological Survey Circular 620.
9. LINTON, D.L.. 1968. **The assesment of scenary as a natural resource**. *Scottish Geographical Magazine* 84: 219-38.
10. LYNCH, K.. 1962. **Site planning**. Cambridge, Massachusetts: M.I.T. Press.
11. MELHORN, W.N.; KELLER, E.A.; and McBANE, R.A.. 1975. **Landscape aesthetics numerically defined (land system): application to fluvial environments**. Purdue University Water Resources Research Center, Technical Report No. 37.
12. MONTGOMERY, P.H., and EDMINSTER, F.C.. 1966. **Use of soil surveys in planning for recreation**. In *Soil Surveys and Land Use Planning*, eds. L.J. Bartelli et al., pp. 104-12. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy.

BIBLIOGRAFIA PARA EL CAPITULO (Continuación).

13. McHARG, I.L.. 1971. **Design with nature**. Garden City, New York: Doubleday.
14. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1972. **The earth and human affairs**. San Francisco: Canfield Press.
15. NORTH CAROLINA COASTAL RESOURCES COMMISSION. 1975. **State guidelines for local planning in the coastal area under the Coastal Area Management Act of 1974**. Raleigh, North Carolina.
16. PREST, A.R., and TURVEY, R.. 1965. Cost-benefit analysis: a survey. *The Economic Journal* 75: 683-735.
17. SCHULTZ, J.R., and CLEAVES, A.B.. 1955. **Geology in engineering**. New York: John Wiley & Sons.
18. STERLING, C.. 1971. The Aswan disaster. *National Parks and Conservation Magazine* 45: 10-13.
19. TURNER, A.K., and COFFMAN, D.M.. 1973. Geology for planning: a review of environmental geology. *Quarterly of the Colorado School of Mines* 68.
20. WHYTE, W.H.. 1968. **The last landscape**. Garden City, New York: Doubleday.
21. WILLIAM SPANGLE AND ASSOCIATED; F. BEACH LEIGHTON AND ASSOCIATES; and BAXTER, McDONALD AND COMPANY. 1976. **Earth-science information in land-use planning-guidelines for earth scientists and planners**. U.S. Geological Survey Circular 721.