

*División de Educación Continua*  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
*Palacio de Minería*

**GEOLÓGIA**

**AMBIENTAL**

**1997**

*Coordinador Académico: Juan Sánchez P.*

*Profesores:*

*Dr. Jaime Rueda Gaxiola, M.C. Luis Antonio Aguilar P.*

*Ings. Juan Nieto Calleja, Jorge I. Navarro Candelas y J. Sánchez P.*



# ÍNDICE DE FIGURAS

Número	DESCRIPCIÓN	Página
1.1	La evolución de la ética	
1.2	Modelos de los posibles caminos de la degradación ambiental	
2.1	Ciclo Geológico	
2.1	Ciclo de las Rocas	
2.3	Ciclo Hidrológico	
2.4	Diferentes zonas del agua subterránea	
2.5	Ciclo idealizado del Carbón	
2.6	Relación entre las partículas de agua, aire y sólidos en un suelo parcialmente saturado	
2.7	Arcilla expansiva y muros fracturados debido a la expansión de suelos arcillosos	
4.1	Curva de frecuencia de la descarga de un río	
4.2	Diagrama idealizado ilustrando una inundación en la porción superior (A) e inferior (B) de una cuenca hidrológica	
4.3	Diagrama idealizado de una cuenca de drenaje	
4.4	Deslizamientos	
4.5	Causas de los deslizamientos	
4.6	Las erupciones del volcán St. Helens (Santa Elena), 1980	
4.7	Daños ocasionados en la Cd. de México por el temblor de 1985.	

## **CONTENIDO DEL CURSO DE GEOLOGÍA AMBIENTAL**

El material que se exponen en este curso se estructuró considerando los comentarios y sugerencias de varios profesionistas relacionados con la materia, así como nuestras experiencias previas en su impartición.

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

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

**CAPÍTULO 1** - Contiene algunos antecedentes históricos, y el significado del término Geología Ambiental así como los principales aspectos filosóficos y los principios fundamentales concernientes al tema; también se introduce al estudiante con algunos de los conceptos geológicos más importantes, así como con la terminología básica para entender esta rama de las Ciencias de la Tierra.

**CAPÍTULO 2** - En forma muy general se mencionan el ciclo geológico y los subciclos que lo componen, con especial atención a los ciclos hidrológico y bioquímicos, mencionando la relación tan importante que tienen con los ecosistemas humanos; también 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 del agua, así como los métodos para determinar la contaminación del suelo y algunas medidas tendientes a la remediación de zonas contaminadas. Como parte de este subcapítulo se aborda el tema de la Legislación Ambiental, tanto en México como en EUA, con énfasis en las leyes, reglamentos, normas, procedimientos, acuerdos y convenios relacionados con los estudios geológico-ambientales y de Ciencias de la Tierra, que se deben considerar para la exploración, extracción, producción, distribución, almacenamiento y localización de sitios para el depósito de desechos, así como para reducir las posibles fuentes de contaminación.

**CAPÍTULO 4** - Se trata el asunto de los riesgos geológicos mencionando algunas inundaciones, deslizamientos y procesos costeros observados en la península de Baja California, así como los hundimientos y terremotos ocurrido en la Cd. de México.

En relación a los riesgos volcánicos se mencionan algunas de las manifestaciones más recientes, a nivel mundial y nacional, como las de los volcanes **Santa Elena, EUA (1980)**, **El Chichonal (1982)**, **Fuego de Colima (1992)** y **Popocatépetl (1994-95 y 96)**

en México; **Etna**, Italia (1992), **Mayón** (1993), Filipinas y **Negro** (1994), Nicaragua, con particular atención en los tres primeros. Los estudios realizados recientemente en el tema han permitido enriquecer el conocimiento respecto a los riesgos inducidos por este tipo de actividad.

En relación a los terremotos y fenómenos asociados en clase se comentarán los que afectaron a las ciudades de México (1985), Los Angeles, EUA (1992) y Cove, Japón (1995), entre otras, así como algunas de las medidas implementadas para prevenir o mitigar sus efectos en el futuro.

**CAPÍTULO 5** - Proporciona información general de la cartografía geológico-ambiental, mencionando la utilidad de los sensores remotos para su elaboración; se comentan las diferentes cartas de este tipos que existen y sus aplicaciones más directas.

**CAPÍTULO 6** - Trata, en forma general, la metodología para evaluar el impacto ambiental y menciona la relación estrecha entre Geología Ambiental e Ingeniería Civil. La información proporcionada incluye los aspectos básicos del impacto ambiental producido por la construcción de grandes obras (presas, canalización de ríos y sitios para el depósito de desechos municipales, por ejemplo), mismos que pueden ser reducidos mediante estudios geológicos realizados con oportunidad.

**CAPÍTULO 7** - Se comenta la importancia que tienen los estudios geológico-ambientales, para la toma de decisiones, en la programación del uso del suelo. Para dar soporte a este tema se utiliza parte de la información mencionada en el capítulo 5.

Al final del curso se comentarán los temas estudiados y se emitirán las conclusiones y recomendaciones, que se consideren apropiadas para los diferentes profesionistas involucrados.

Las referencias bibliográficas proporcionadas como soporte, constituyen una parte importante del curso, ya que permiten al estudiante profundizar en los temas de su interés particular.



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

**CURSOS ABIERTOS**

**GEOLOGÍA AMBIENTAL**

**Del 17 al 19 de marzo de 1997**

**TEMA : GENERALIDADES**

**EXPOSITOR: Ing. Juan Sánchez Pérez**

***CURSO DE GEOLOGÍA AMBIENTAL 1997***

# ***CAPÍTULO 1***

## ***GENERALIDADES***

***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 de su ambiente. En Europa se tienen muchos casos de geólogos e ingenieros que ante problemas de contaminación del agua, que asotaron en grandes epidemias, realizaron obras de gran magnitud que aún hoy en día son funcionales y resultan de gran admiración.

Considerando que el número de antecedentes de este tipo es muy grande, a continuación sólo se mencionaran algunos de los antecedentes más recientes, y en particular, los referentes a la composición del término Geología Ambiental.

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

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*". En ese mismo año el término se aplicó a varios programas de estudio conducidos por la *Illinois Geological Survey*.

Como una denominación ya aceptada, James la emplea 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 y publicada en 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, edáfico y los factores bióticos que actúan sobre un organismo o una comunidad ecológica...*", considerando 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, comunmente empleado en nuestros días, " es esencialmente un aspecto del sistema biológico y geológico global, 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 período 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 " y también dijo: " El suelo del paisaje, es un segmento tridimensional de la tierra teniendo material parental similar, perfil del suelo, posición, grado de inclinación, y patrones de drenaje. La vegetación se incluye como parte del suelo del paisaje ".

Generalmente las definiciones mantienen a un lado los factores ecológicos, sociales 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 del ambiente. En la actualidad, existe una gama diferente de definiciones provenientes de químicos, oceanógrafos, científicos sociales y representantes de muchos otros campos.

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 medio 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.

### **1.3 - ¿ 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 la geología 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 su contaminación por causas naturales o inducidas.
- 5) **Procesos geológicos naturales**, tales como la depositación de sedimentos en los fondos oceánicos, la formación de montañas y el movimiento del agua en y debajo de la superficie de la tierra, para evaluar los cambios locales, regionales y globales.

Considerando la amplitud 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, 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.

## 1.4 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 medio ambiente dentro de una tierra ética. Esta ética confirma el derecho de todos los recursos, tales como plantas, animales y también los 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, 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 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 medio 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 medio ambiente con gran indiferencia. Este punto de vista no puede ser defendido rigurosamente. 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 medio ambiente es por un problema más universal, que trasciende las enseñanzas religiosas.

## **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.**

**LaGreca, 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.**

## 1.5 - CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Al abordar el tema de la interacción del hombre con el medio 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 GEOLOGIA AMBIENTAL

CONCEPTOS	DEFINICION
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 esto lo 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.

**N O T A :** 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.

## 1.6 - 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.

**BASES  
CULTURALES  
DE LA CRISIS  
AMBIENTAL**

INDIVIDUOS

PASADO PRE - ÉTICO

FAMILIA

ASPECTOS ÉTICOS

TRIBUS  
NACIONES

DEL

PASADO - PRESENTE

RAZAS  
SERES HUMANOS

ANIMALES  
PLANTAS

AMBIENTE

FU  
TU  
RO

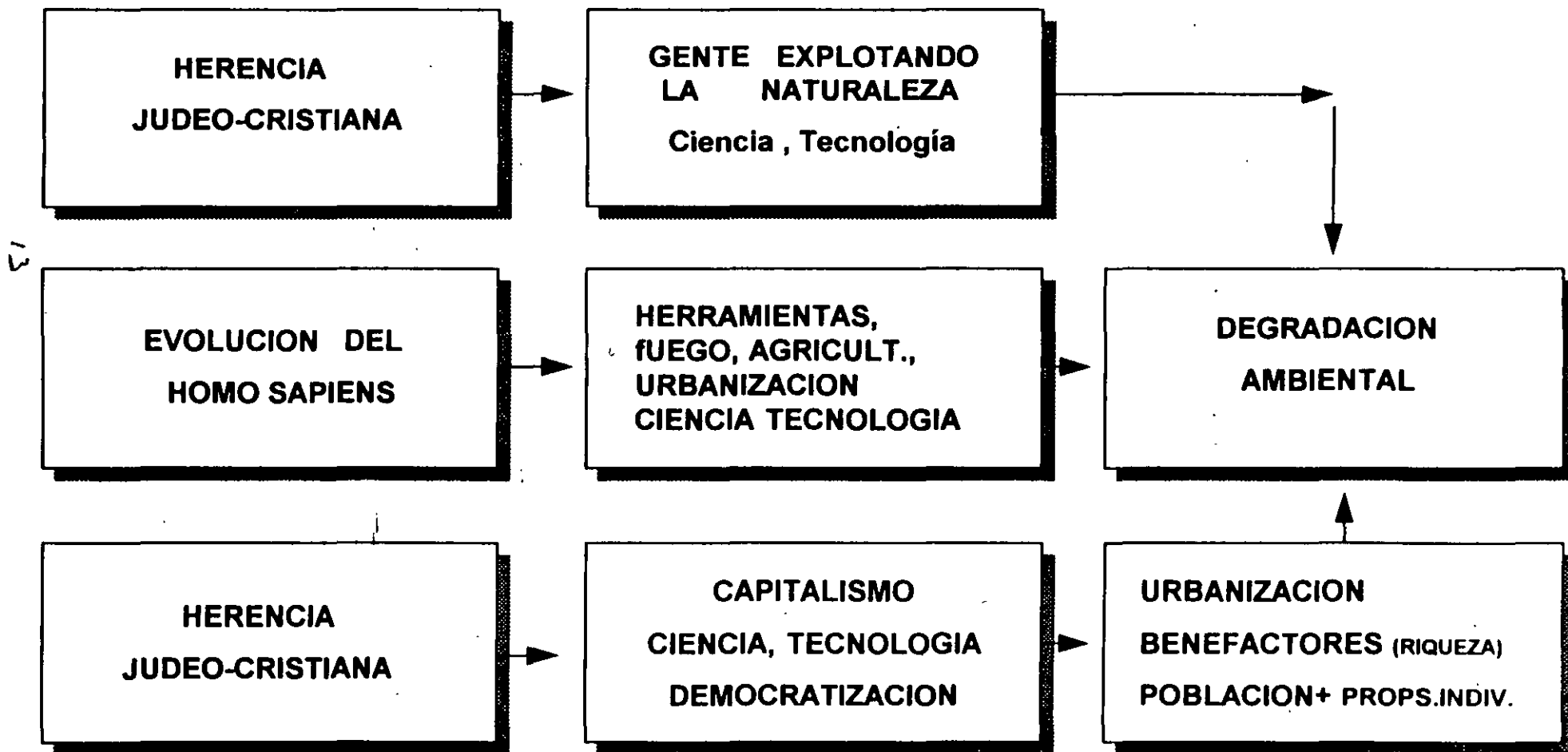
MODIFICADO DE RODERICK NASH - *DO ROCKS HAVE RIGHTS ?*

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

**FIGURA 1.1 - LA EVOLUCIÓN DE LA ÉTICA**

NUM.	NOTAS - GeoAmb'97
1	
2	
3	
4	
5	
6	

**figura 2 - MODELOS QUE MUESTRAN LOS CAMINOS  
POSIBLES DE LA DEGRADACION AMBIENTAL  
Segùn KELLER (1981)**





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

**CURSOS ABIERTOS**

**GEOLOGÍA AMBIENTAL**

**Del 17 al 19 de marzo de 1997**

**TEMA : RECURSOS GEOLÓGICOS**

**EXPOSITOR: Dr. Jaime Rueda Gaxiola**

## 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<sub>s</sub>** = Escurrimiento; **I<sub>n</sub>** = Infiltración; **T<sub>r</sub>** = Transporte; **E<sub>v</sub>** = 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

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 carbono, 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 carbono (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 CO<sub>2</sub>, que se encuentra en la atmósfera, el suelo y otras partes del ambiente. El CO<sub>2</sub> en la atmósfera o en el suelo rápidamente se disuelve con el agua, formando un ácido débil conocido como ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), 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 la

concentraciones del  $\text{CO}_2$  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 geofomas 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 volcánes de México y algunas zonas del norte en los EUA. (el Estado de Minnēssota, 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.

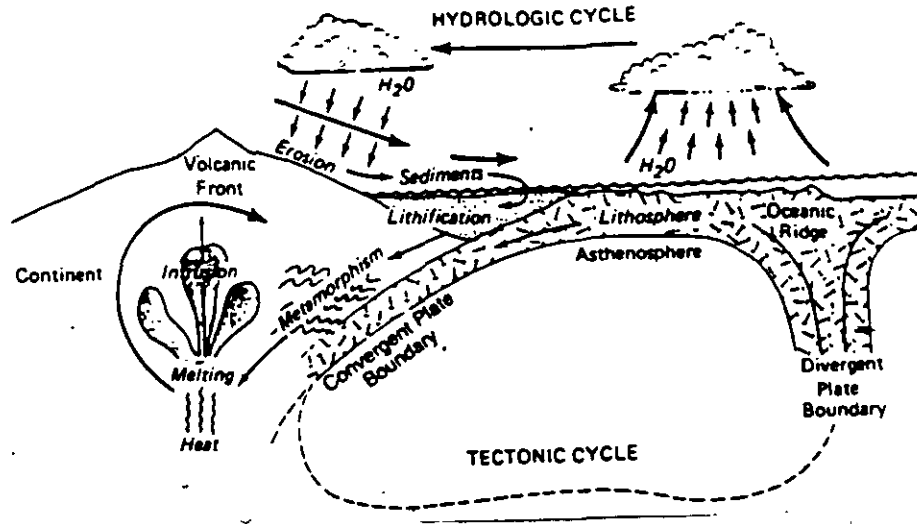


Figura 2.1 - EL CICLO GEOLÓGICO  
 Compuesto de los subciclos: hidrológico, de las rocas, tectónico y bioquímico

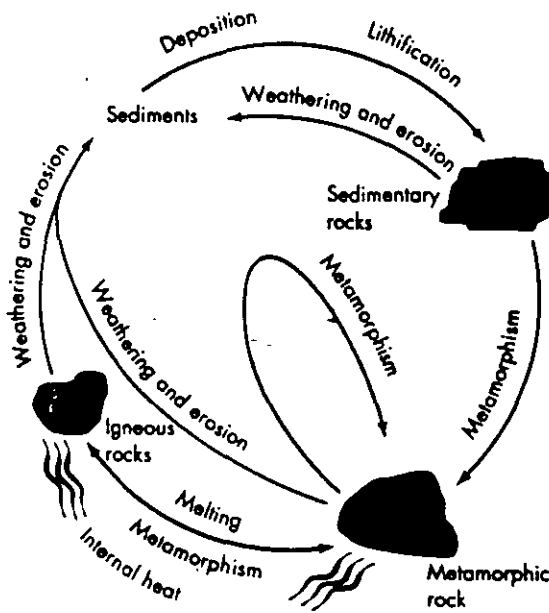


Figura 2.2 - CICLO DE LAS ROCAS

## 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 Esgurrimientos, debido a que las partículas del suelo pueden ser erosionadas si la pendiente es muy empinada o si el suelo es fácilmente erosionable.

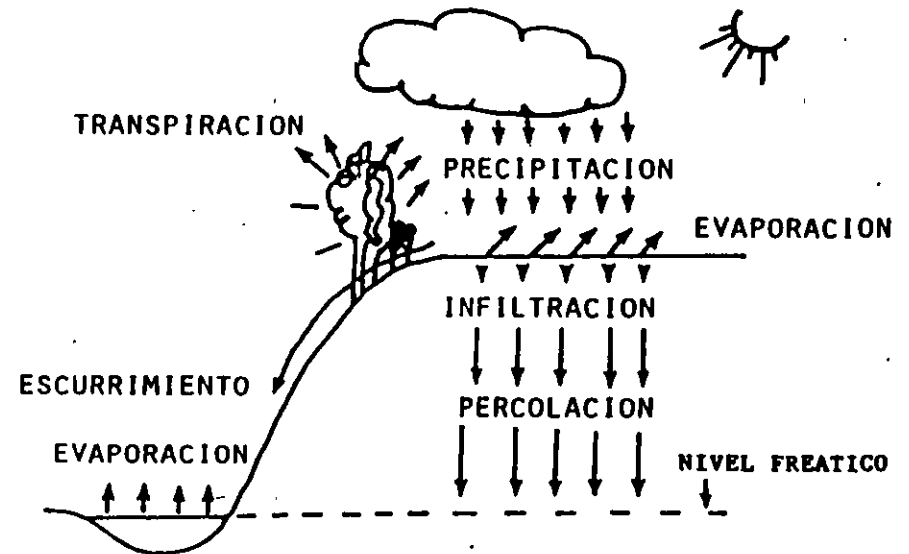


Figura 2.3 V.1 - CICLO HIDROLÓGICO

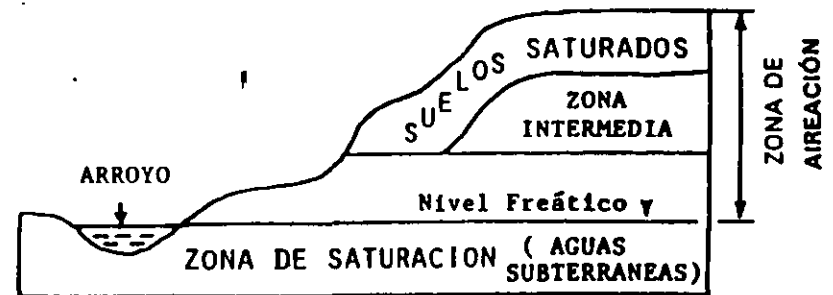


Figura 2.4 2A DIFERENTES ZONAS DEL AGUA SUBTERRÁNEA

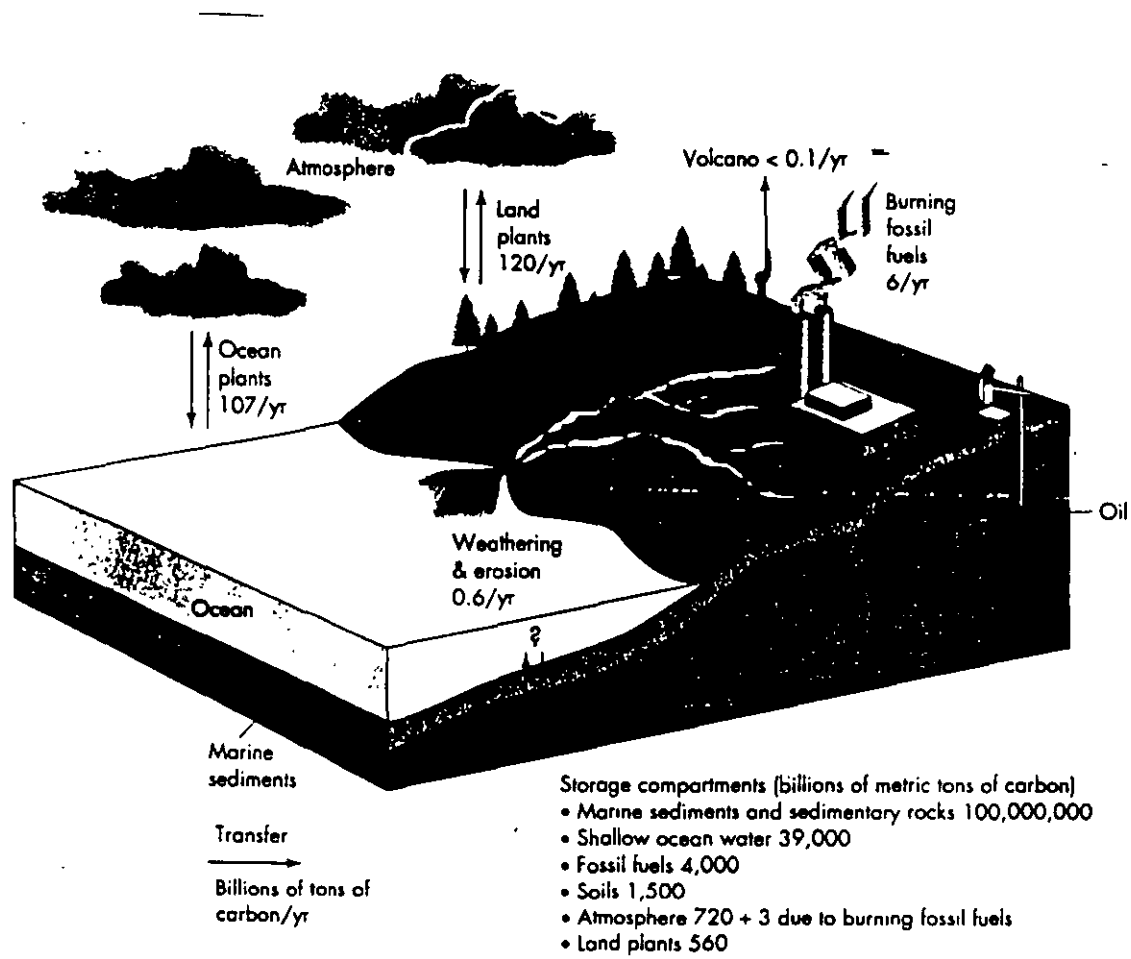
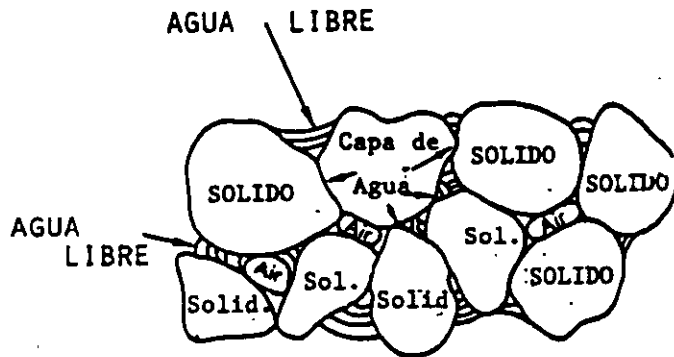


Figura 2.5

CICLO IDEALIZADO DEL CARBÓN

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

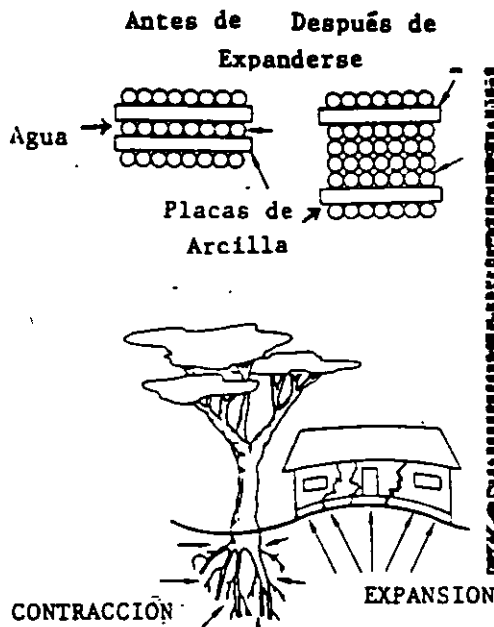
**ALGUNAS PROPIEDADES INGENIERILES DE LOS SUELOS (se comentarán en clase)**



**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 Geológicoal 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).

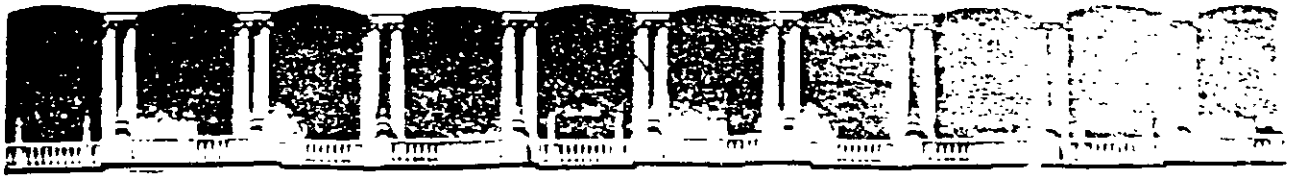
## BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA PARA EL CAPÍTULO II

### 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.



NOTA		NOTAS - GeoAmb'97
1		
2		
3		
4		
5		
6		



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

**CURSOS ABIERTOS**

**GEOLOGÍA AMBIENTAL**

**Del 17 al 19 de marzo de 1997**

**TEMA : PROCESOS TERRESTRES PELIGROSOS**

**EXPOSITOR: Dr. Jaime Rueda Gaxiola**

## ***CAPÍTULO 3***

***EL HOMBRE Y EL AMBIENTE***  
***Riesgos geológicos y control***  
***de los asentamientos humanos***

***Dr. Jaime Rueda Gaxiola***

***CONTAMINACIÓN DE AGUA Y SUELO***

***M en C. Luis Antonio Aguilar Pérez***

## ***CAPÍTULO 3***

### ***EL HOMBRE Y EL AMBIENTE***

***Riesgos geológicos y control  
de los asentamientos humanos***

***Dr. Jaime Rueda Gaxiola***

### **3. EL HOMBRE Y EL AMBIENTE**

#### **3.1. LOS RIESGOS GEOLÓGICOS COMO CONTROL DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS**

**DR. JAIME RUEDA GAXIOLA**

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

"La forma incompleta, fragmentada y políticamente 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. Montáñoso.**
- 2. Selvático.**
- 3. Pantanoso.**
- 4. Estepario.**
- 5. Desértico.**
- 6. Glacial.**

Sin embargo, el Hombre es el único organismo que ha logrado modificar 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, tornados, huracanes, erupciones volcánicas, deslizamientos de tierra, hundimientos, etc.) Muchos de estos desastres ha sido 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 ;

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, tomados** 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 tomados, 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 basar 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 saber pensando prioritariamente en los riesgos geológicos. Así los asentamientos se ha 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 tierra son aptas para el cultivo, aunque estén expuestos 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** que 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, sí 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 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 a los largo de la Historia Terrestre catástrofes naturales.**

#### **A.- AGENTES EXÓGENOS**

Como se indicó antes, tienen su origen en objetos extraterrestres que caen sobre 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, la 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 grandes 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 megatonnes. 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 d/ 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 ENDOGENOS**

Se originan por fenómenos terrestres. Son de dos tipos:

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

Estos fenómenos terrestres son los que han hecho que 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 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.- ATMOSFÉRICOS**

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. Tornados**
- 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 representa 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 u 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 Osnabrock 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. Levantamientos**

#### **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 de 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 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 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 lo de Júpiter, indicando que estos cuerpos existen 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 (3050 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 Andes. Estos fenómenos son frecuentes en esta región de los Andes 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 Tsuma hundimientos de terreno, desplazamientos de tierras y aludes. Un espectacular hundimiento de terreno se efectuó durante el sismo de Chile de 1960, cuando espectacular una zona de 30 por 500 Km. se hundió bajo las aguas hasta una profundidad de 2-3 metros de 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 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 1837 situado entre las islas de Sumatra y Java, cuya explosión fue escuchada hasta en

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 (Popocatepetl e Iztaccihuatl) 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 que 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 Popocatepetl, 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 se levantan y se 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

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 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.



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

**CURSOS ABIERTOS**

**GEOLOGÍA AMBIENTAL**

**Del 17 al 19 de marzo de 1997**

**TEMA : El hombre y el ambiente**

**CONTAMINACION DE AGUA Y SUELO**

**ESTUDIOS PARA DETERMINAR LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO**

**EXPOSITOR: M en C Luis Antonio Aguilar Pérez**

*El hombre y el ambiente*  
**CONTAMINACIÓN DE AGUA Y SUELO**  
*Estudios para determinar  
la contaminación del suelo*

*M en C. Luis Antonio Aguilar Pérez*

## **3.2 - CONTAMINACIÓN DE AGUA Y SUELO**

### **3.2.1 - ESTUDIOS PARA DETERMINAR LA CONTAMINACIÓN EN EL SUBSUELO**

#### **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 se 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 la solución de la contaminación del subsuelo.

#### **3.2.1.1 DEFINICIÓN DE CONTAMINACIÓN Y COMPUESTOS QUE LA ORIGINAN**

##### **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 sólo 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.

## **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.

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
- Fosas sépticas
- Arrastre de aguas pluviales
- Procesos en lotes de plantas industriales
- Actividades terroristas, políticas, subversivas, guerras, etc.
- Otros

## 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 dos tipos: compuestos orgánicos y compuestos inorgánicos.

### 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 aromáticos (ejemplo: gasolinas)
- Hidrocarburos alifáticos (ejemplo: etano, propano, butano)
- Hidrocarburos poliaromáticos. (ejemplo: el naftaleno)
- Bifenilos policlorados (ejemplo: los askareles)
- Solventes clorinados (ejemplo: el 1,1,1-Tricloroetano)
- Plaguicidas organoclorados y organofosforados (ejemplos: DDT y malatión, paratión)
- Fenoles y ácidos orgánicos (ejemplos: ácido benzoico, pentaclorofenol, etc.)
- Nitroaromáticos y quetonas cíclicas (ejemplo: nitrobenceno, dinitrobenceno, etc.)
- Compuestos orgánicos halogenados y no-halogenados (ejemplo: cloroform)



etanol)

- Ftalatos (ejemplo: ftalato dimetílico)

### **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**

### 3.2.1.2 CONTAMINACIÓN DEL SUBSUELO Y SU RELACIÓN CON LA GEOLOGÍA AMBIENTAL

Tradicionalmente en los programas escolares, sobre todo en EUA, 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** (*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:

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

### 3.2.1.3 MARCO LEGAL EN MÉXICO Y EN E.U.A.

#### 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 1° 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 c

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.

### **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.

En Diciembre de 1980 el Congreso 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.

### **3.2.1.4 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.**
5. **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).**
6. **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.**
7. **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.**
8. **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.**
9. **Remediar o sanear el sitio en cuestión.**
10. **Monitoreo del sitio en cuestión.**

### **3.2.1.5 ¿ COMO REMEDIAR LAS ZONAS CONTAMINADAS ?**

Afortunadamente desde el punto de vista de 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.

Las dudas más frecuentes que tienen los industriales o personas afectadas cuando se detecta contaminación en el subsuelo en o cerca de sus instalaciones son las siguientes:

- ¿Se pueden remediar las zonas contaminadas?;
- ¿Es necesario remediarlas?;
- ¿Hasta que límites de limpieza puedo o debo remediar?;
- ¿Cuanto tiempo llevará y cuanto dinero me va a costar?;
- ¿Yo soy el único culpable?;
- ¿Se puede garantizar la seguridad física de mis trabajadores, vecinos y de mis instalaciones?; y
- Otras, más inverosímiles

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 (*slurry walls*)

A.2 Muros de láminas de acero (*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 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 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

**3.2.1.6 CASOS ESTUDIO EN MÉXICO Y EN NORTEAMÉRICA**

Dependiendo del tiempo disponible se presentarán varios casos estudio que ilustren los conceptos establecidos en estas notas a juicio del expositor. Algunos de estos casos estudio son confidenciales por lo que no se ofrecen notas escritas al respecto, sin embargo, en clase se utilizará material visual (acetatos, fotografías, etc.) pero no se pueden otorgar ni los resultados más importantes del estudio, localización exacta del estudio, nombre de los clientes o nombre de la compañía consultora. Únicamente se presentará la metodología para la remediación y se harán algunos comentarios verbales en clase.

**3.2.7 CONCLUSIONES**

Las conclusiones serán proporcionadas por los alumnos como una medida de lo aprendido en esta clase.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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 1º 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-O-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.

## **BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA PARA EL CURSO**

- 1.- **COATES, D. R. (1971). Geomorphology and Engineering.** Dowden, Hutchinson and Ross Inc., Stroudsburg, Pennsylvania, 360 p.
- 2.- **COOKE, R. U. And DOORNKAMP, J.C. (1977). Geomorphology in Environmental Management - An Introduction.** Clarendon Press, Oxford, Great Britain, 413 p.
- 3.- **KELLER, E. A. (1996). Environmental Geology.** 7th. Ed., Charles E. Merrill, Publishing Company, a Bell and Howell Co., Columbus.
- 4.- **MONTCRIEF, L. W. (1970). The Cultural Basis for our Environmental Crisis.** Science 170, pp. 508-512, U.S.A.
- 5.- **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.
- 6.- **FLAWN, P.T. (1970). Environmental Geology.** New York, Harper and Row.
- 7.- **JESSUP, W. E. (1964). Baldwin Hills dam failure.** Civil Engineering 34: 62 -
- 8.- **LANGER, M. (1995). Special purpose mapping. In Engineering Geology and Waste Disposal.** Scientific Report and Recommendations of the IAEG; Commission No. 14. Bull. Of the IAEG, Paris 51, Avril.
- 9.- **LUGO-HUBP, J. (1988). Elementos de Geomorfología Aplicada (Métodos Cartográficos).** Instituto de Geografía - UNAM, México, D. F.; 128 p.
- 10.- **SEP-SEDUE-SSA (1987) Introducción a la Educación Ambiental y la Salud Ambiental.** Programa Nacional de Educación Ambiental. Com. Nal. de Libros de Texto gratuitos, Mex., D.F.
- 11.- **WELSCH DENNIS, G. And PÉWÉ, TROY, L. (1979). ENVIRONMENTAL GEOLOGY of the Mc Dowell Mountain Area, Maricopa County, Arizona (Geological Hazards Map).** Geol. Inv. Series, MAP GI-1-G, State of Arizona, Bureau of Geol. And Min. Tech. - U. Of Az., Tucson.



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

**CURSOS ABIERTOS**

**GEOLOGÍA AMBIENTAL**

**Del 17 al 19 de marzo de 1997**

**TEMA : PROCESOS TERRESTRES PELIGROSOS**

**EXPOSITOR: Ing. Juan Sánchez Pérez**

**CURSO DE GEOLOGÍA AMBIENTAL 1997**

# **CAPÍTULO 4**

## **PROCESOS TERRESTRES**

### **PELIGROSOS**

*Ing. Juan Sánchez P.*

## **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 xcon 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 cde 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.**

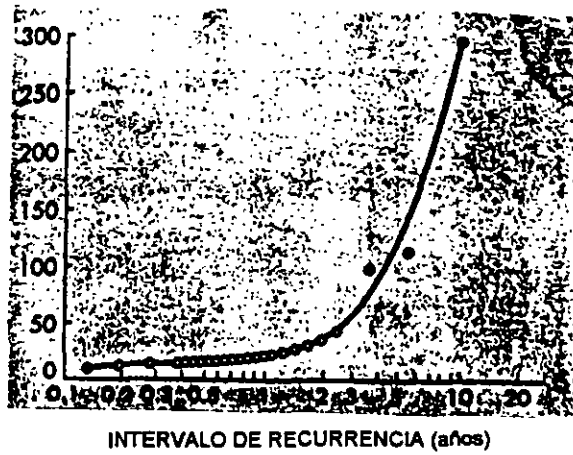
Entre los factores que controlan los daños causados por los grandes flujos se tienen:

- 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.

Desde un punto de vista ambiental, la mejor solución para reducir los daños debidos a grandes flujos es controlar o regular el uso de las planicies de inundación, sin embargo, en áreas urbanas grandes será necesario, además de lo anterior, utilizar barreras físicas, construir depósitos para agua y construir canales para proteger las construcciones existentes.

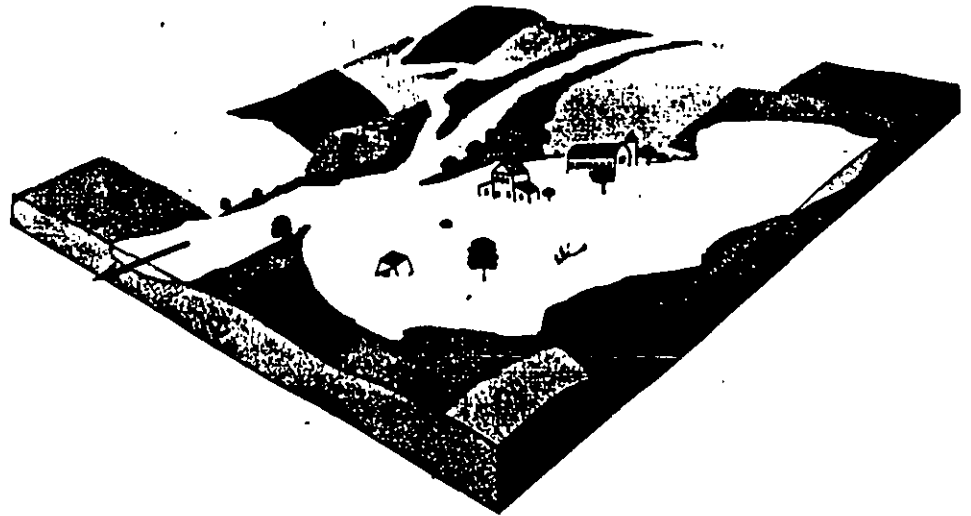
Las soluciones que puede dar resultados reales para minimizar los daños de los grandes flujos, involucran una combinación de la regulación del uso del suelo de las planicies de inundación y las técnicas ingenieriles para el control de escurrimientos.

Por lo general, en muchos países existe una conciencia apropiada, a nivel institucional, respecto a los problemas que pueden causar los grandes flujos, sin embargo, desde un punto de vista individual no es así y se requiere una gran cantidad de programas educativos para concientizar a la persona o personas que pueden estar en peligro por vivir en zonas susceptibles de ser inundadas.

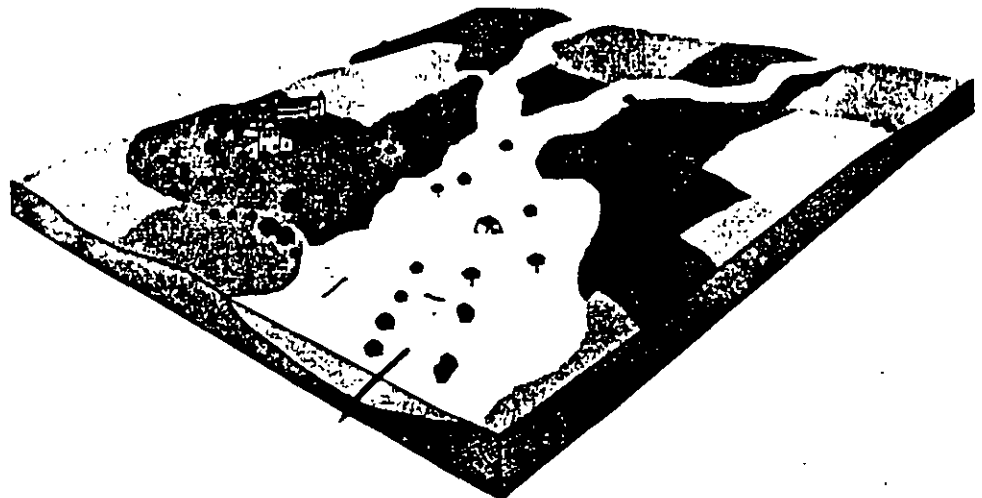


**Figura 4.1**

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).



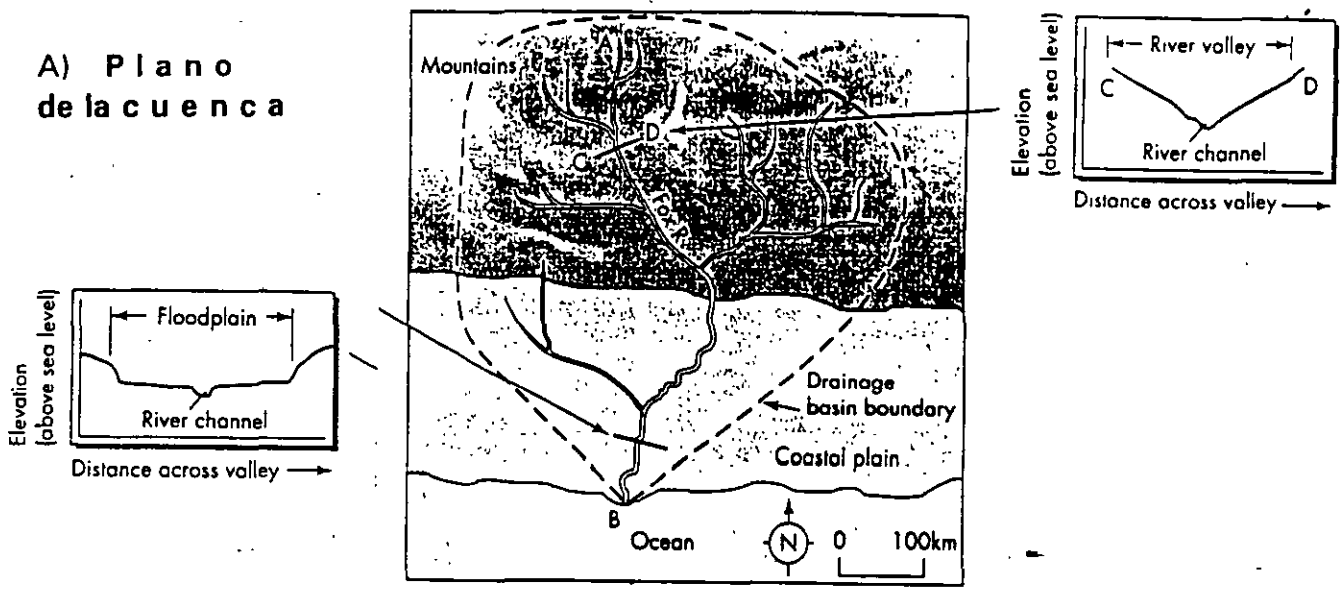
(a)



**Figura 4.2**

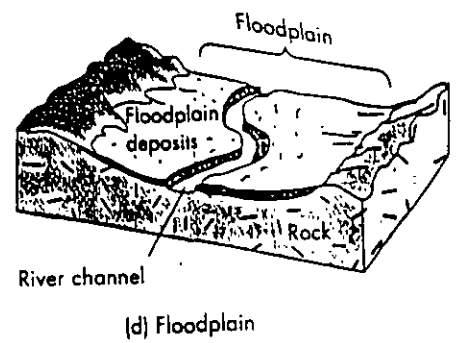
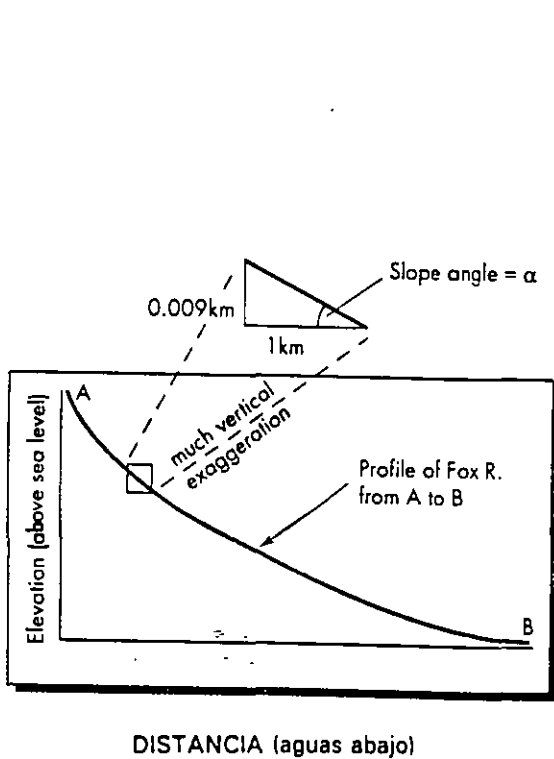
Diagrama idealizado que compara una inundación producida en (A) la parte superior de la cuenca (aguas arriba) y (B) otra producida en la porción inferior. Las inundaciones producidas aguas arriba generalmente cubren áreas relativamente pequeñas y son causadas por tormentas locales intensas, mientras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





**SECCIONES PERPENDICULARES AL VALLE DEL RÍO BALSAS**

**B) Cerca de la parte superior de la cuenca C) Cerca del nivel base de erosión**



$$\text{Pendiente} = \frac{0,009 \text{ km}}{1 \text{ km}} = 0,009$$

$$\text{Tan } \beta = \frac{\text{cat. opuesto}}{\text{cat. adyacente}}$$

$$\text{Tan } \beta = \frac{0,009}{1} = 0,009$$

$$\beta = 0,5^\circ$$

**E) Perfil longitudinal**

**Figura 4.1.- DIAGRAMA IDEALIZADO DE UNA CUENCA DE DRENAJE (A); B y C) SECCIONES TRANSVERSAL DE UN VALLE, CERCA DE LA PORCIÓN SUPERIOR Y CERCA DEL NIVEL BASE DE EROSIÓN; D) PLANICIE DE INUNDACIÓN Y E) PERFIL LONGITUDINAL.**

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

Las geformas 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.

La extracción de fluidos (como petróleo y agua) o de minerales (sal, carbón, etc.) han incrementado el riesgo de que se presenten subsidencias. En el caso de la extracción de fluidos, la causa de la subsidencia es la reducción de la presión de los fluidos que soportaban las capas de material sobreyacente.

Para reducir el peligro de los deslizamientos es necesario identificar las zonas donde probablemente se produzcan, prevenirlos y realizar procedimientos correctivos. El monitoreo y las técnicas de mapeo facilitan la identificación. La prevención de grandes deslizamientos naturales, es casi imposible, pero con buenos trabajos ingenieriles se puede hacer mucho para reducir el peligro que representan. Para corregir el peligro, creado al inducir la formación de un deslizamiento; se debe planear como contrarrestar o reducir el proceso que lo generará.

Para la mayor parte de la gente es poco fácil inferir la futura formación de una avalancha, a menos que tenga experiencias previas; sin embargo, se ha observado que las personas que habitan en zonas aledañas a las colinas, o en las planicies de inundación, no son fácilmente impresionados con la información técnica que se les da a conocer, respecto al peligro potencial en que se encuentran, de manera que el studioso de las ciencias de la tierra debe realizar campañas intensas de concientización.

## IV. Deslizamientos en masa

### IV.1 Características del terreno

La superficie del terreno de las lutitas y areniscas, que es en donde se presentan los deslizamientos, muestra ciertas características típicas, como son:

1. Presencia de un suelo sobresaturado. Esta característica es bien clara en la época en que aumenta la precipitación en la zona, la cual en promedio es de 2000 mm, calculado en base a datos de 24 años.
2. Bajo el suelo, una capa de lutita y arenisca intemperizada, caótica y de comportamiento viscoso cuando está saturada, a la que también se llama regolita.
3. Existencia de lagunas o charcos de extensiones reducidas, cercanas a los arroyos y en las trazas de los deslizamientos originados por niveles freáticos colgados, indicativos de drenaje deficiente.
4. Terrazas angostas y escalonadas como las que se ilustran en la figura siguiente:

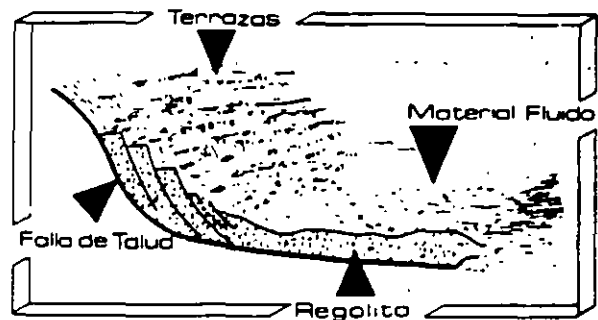
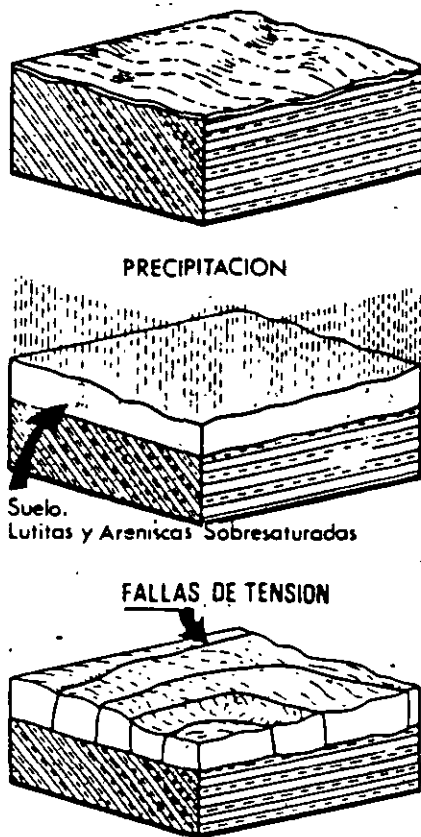


Fig. IV.1 Deslizamientos

5. En los arroyos, material fluido y viscoso color gris claro, producto de la alteración y transporte de las lutitas y areniscas.
6. La superficie de las áreas en movimiento se encuentra fracturada, rugosa y en ocasiones hay amontonamientos de ésta en forma de bordos.
7. La vegetación presente en esta superficie es abundante y de raíces cortas, lo que contribuye a incrementar la infiltración del agua pluvial.
8. El drenaje es abundante, de tipo dendrítico, predominando los arroyos temporales, que aparecen con las lluvias, el cual se encuentra roto por los mismos deslizamientos, provocando acentuación en las infiltraciones.

## IV.2 Causas de los deslizamientos

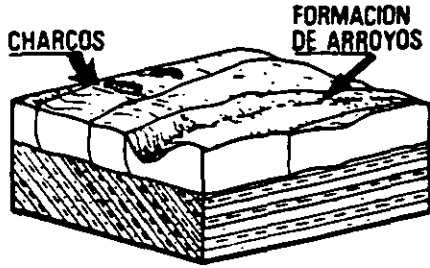


En general los movimientos en masa se originan al tener un terreno con drenaje deficiente, que al recibir lluvias (torrenciales) sobresaturan el material\*, en este caso, lutitas y areniscas que provocan expansión en las arcillas con la constante hidratación y deshidratación de las mismas, lo que da lugar a las fallas de tensión (grietas o surcos) que con el tiempo se convierten en arroyos (Fig. IV.2).

Con base en estudios de laboratorio practicados en California, en los Estados Unidos de Norteamérica se ha visto que, al excederse el coeficiente e infiltración, disminuye la resistencia al corte de la roca. Cuando el peso propio de los materiales sobresaturados ha llegado a generar 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 des-

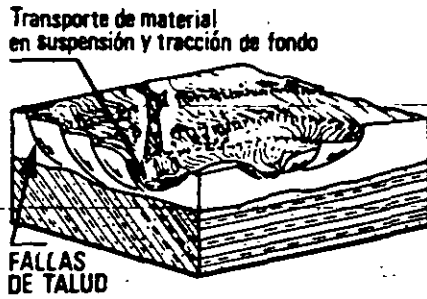
Fig. IV.2 - Causas de los deslizamientos

\*Cabe señalar que los movimientos también se pueden verificar cuando hay ausencia de agua (Legget/Karrow)



lizando atrás, estableciéndose 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 movimientos depende de la viscosidad de los sedimentos y sobre todo de la pendiente del terreno.



Cabe hacer notar que cuando el movimiento ya está establecido, las mismas grietas formadas en la superficie ayudan a la infiltración del agua de lluvia o de los charcos, lo cual hace que el deslizamiento sea continuo, lento cuando las lluvias son escasas y más rápido cuando la precipitación es intensa.

Fig. IV.2 Causas de los deslizamientos (Cont.)

### IV.3 Resultados de la exploración directa

En las torres 107 y 109 se perforaron dos barrenos con objetivos geológicos y geotécnicos (Fig. 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 (Fig. IV.3), 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.

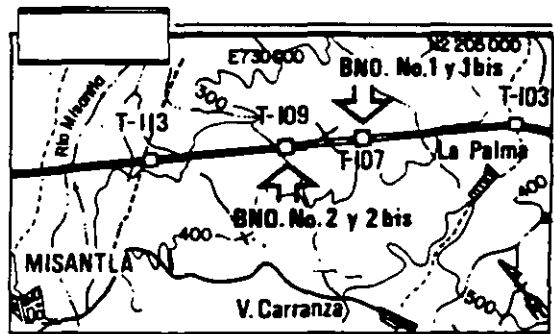


Fig. IV.3 Localización torres 107 y 109

## 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.

## **DEFINICIONES BÁSICAS**

**MAGMA** .- Roca fundida, producida en una cámara magmática que tiene una parte importante de fase líquida.

**LAVA**.- Es el magma que sale de un volcán.

**PIROCLÁSTOS** .- Productos producidos por la actividad piroclástica.

**ACTIVIDAD PIROCLÁSTICA** .- Actividad volcánica que tiene fases eruptivas y efusivas, en la cual todos los productos que se forman, desde ceniza hasta bloques, son expulsados del cuerpo principal del volcán por medio de una fuerte explosión

## **GASES Y VAPORES DE AGUA**

Existen muchas más definiciones relacionadas con el tema, motivo por el cual se recomienda consultar un libro especializado (Araña, 1972).

## **TIPOS DE VOLCANES**

La actividad de los diferentes tipos de volcanes está parcialmente determinada por el diferente contenido de sílice y la viscosidad de sus lavas. Entre los principales tipos de volcanes se tienen los siguientes:

**VOLCANES EN ESCUDO**  
**VOLCANES COMPUESTOS**  
**DOMOS VOLCÁNICOS**

De acuerdo con Rudel (1966), los volcanes también se puede clasificar como de tipo:

**HAWAIANO**  
**ESTROMBOLIANO**  
**VULCANIANO**  
**PELEANO (Figura 4.4)**

Otra clasificación, que es muy aceptada por su relación simple para los volcanes, es:

**EFUSIVOS**  
**EXPLOSIVOS, y**  
**MIXTOS**



## **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.

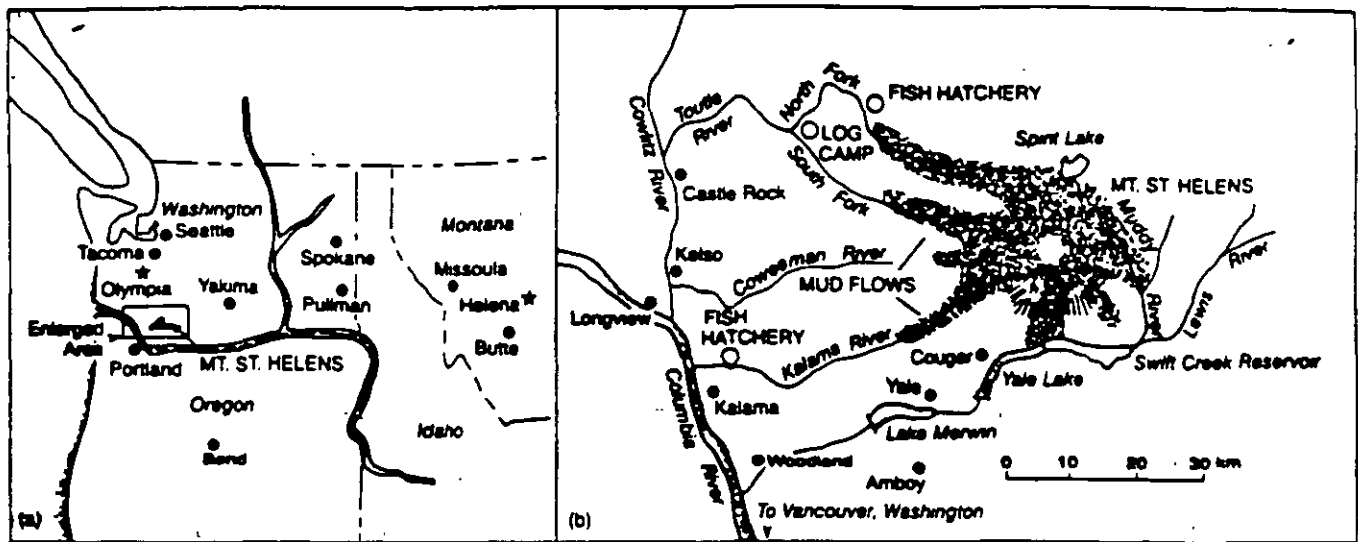
Con base en la actividad sísmica, cambios topográficos (basculamientos o abombamientos) y la emisión de gases, se ha intentado predecir la erupción de un

volcán y se han obtenido buenos resultados. Sin embargo, a escala mundial es poco probable que en un futuro cercano seamos capaces de predecir con buena precisión la actividad volcánica.

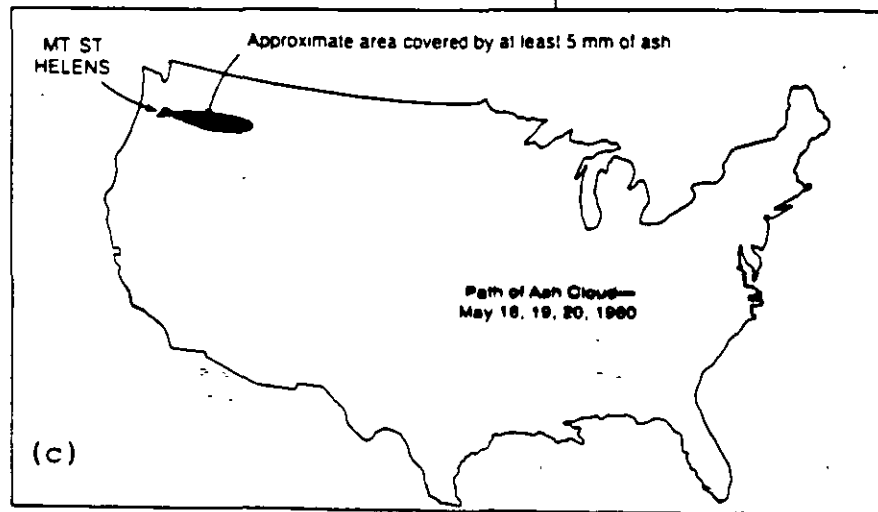
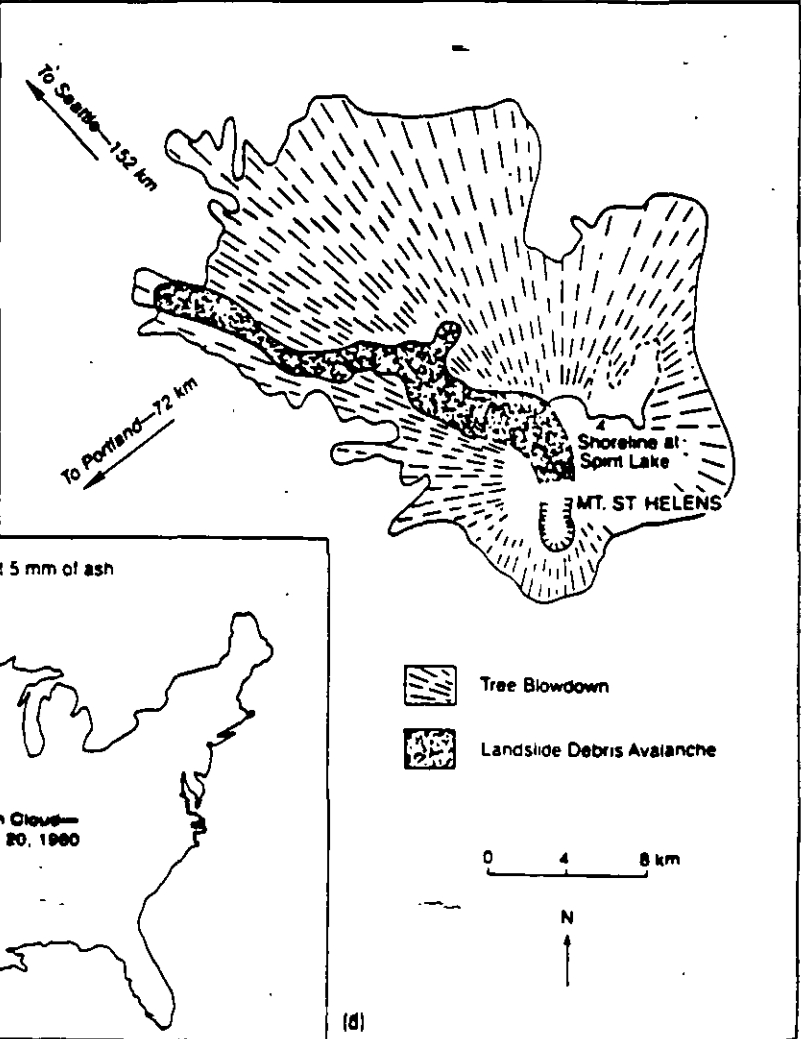
La única medida realmente segura de prevenir daños debidos a la actividad volcánica es la evacuación y para poder realizarla, entran en función muchos aspectos, entre los cuales destacan los geográficos y psicológicos.

En 1982, en México, se tuvo la valiosa experiencia del Volcán El Chichón y, de alguna forma, sirvió para tomar conciencia de la magnitud de este tipo de fenómenos y ayudó a concientizar, aunque sea parcialmente, a las comunidades que vivían en los alrededores del volcán y a las autoridades locales.

De alguna forma, esperamos que dicha experiencia no sea olvidada y que se aproveche para tomar precauciones en otras zonas volcánicas del país, como se ha hecho parcialmente para el Volcán Popocatepetl.



**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)

## 4.4 TERREMOTOS Y FENÓMENOS ASOCIADOS

### ¿ SISMO ?, ¿ TEMBLOR ? o ¿ TERREMOTO ?

La sismicidad es un fenómeno natural que ha tenido consecuencias sociales muy importantes ya que pueden ocasionar la pérdida de miles de personas en cosa de segundos. En años recientes se han tenido temblores notables, entre ellos destacan los de las ciudades: de México en 1985 (Figura 4.5), Los Angeles - EUA, 1992 y Kobe - Japón, 1995), entre otros.

### OBJETIVOS

1. Comentar la relación entre los temblores y las fallas.
2. Conocer como se determina la magnitud de un sismo.
3. Familiarizarse con el tipo de ondas que producen los temblores.
4. Conocer como se estima el riesgo sísmico.
5. Mencionar los principales efectos que producen los temblores.
6. Entender los componentes del ciclo de los sismos.
7. Comentar los métodos que se utilizan para la predicción de temblores.
8. Informar acerca de las formas utilizadas para reducir el riesgo inducido por los temblores y como la gente se acostumbra a convivir en zonas altamente sísmicas.

### PROCESO DE LOS TEMBLORES

Los grandes temblores se encuentran entre los fenómenos naturales más devastadores. La mayoría de los temblores se forman en áreas tectónicamente activas, donde las placas litosféricas interactúan a lo largo de sus bordes, aunque también se tienen temblores intraplacas.

El proceso de la ruptura de una **FALLA** puede compararse con el deslizamiento de dos superficies rugosas, una contra otra, ya que en los borde se produce fricción y parte de sus aristas se romperán y se tendrán pequeños movimientos en varias partes de las placas. Cuando un esfuerzo excede la resistencia de las rocas, éstas se rompen, dando origen a las fallas y a ondas sísmicas que mueven el suelo.

Una **falla** se puede definir como la fractura o sistema de fracturas en las rocas, a lo largo de las cuales se ha producido movimiento.

Existen varios tipos de fallas, entre las principales se encuentran las de tipo later. (derechas o izquierdas), las normales e inversas. Algunas fallas están sepultadas y

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.

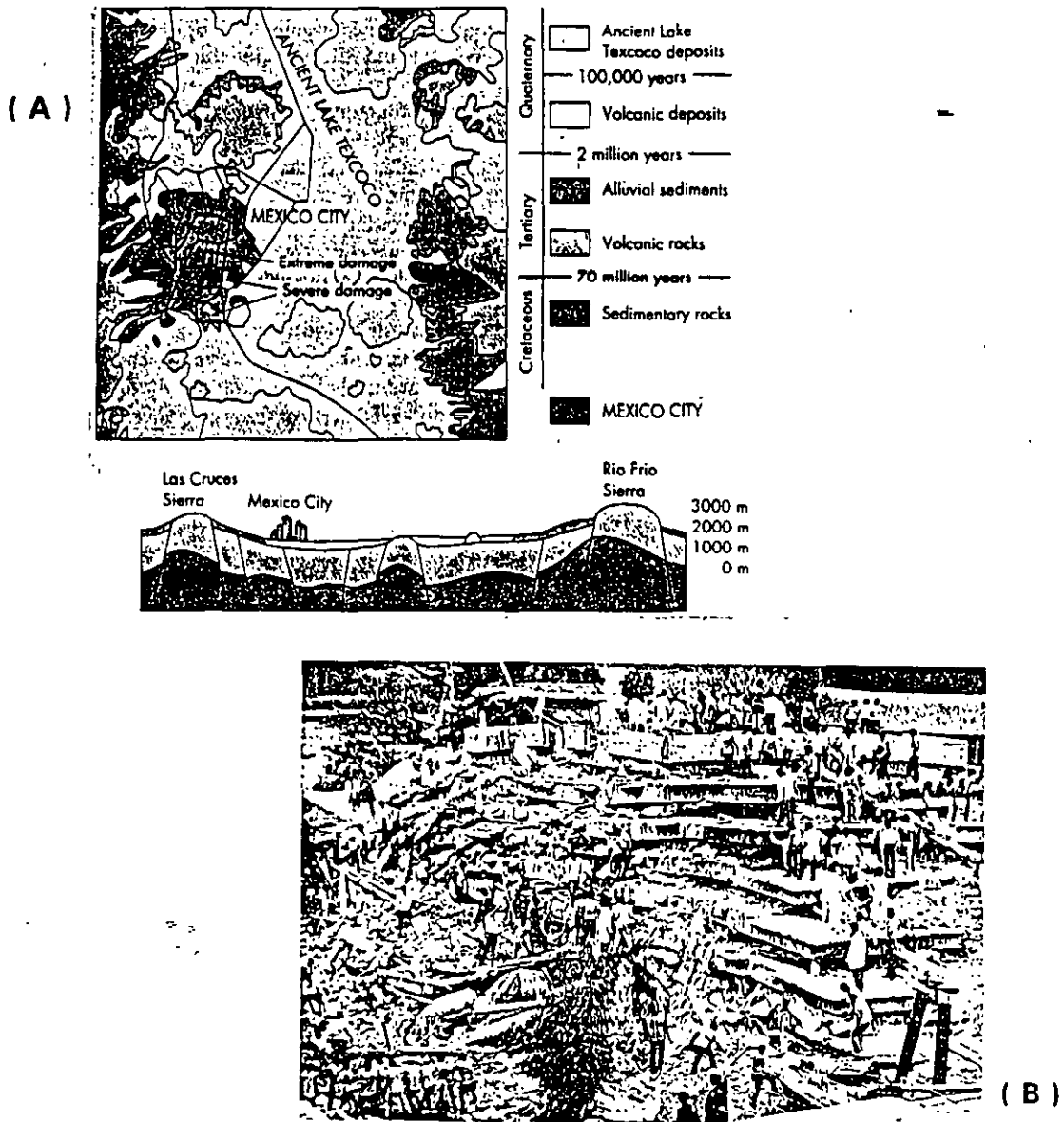


FIGURA 4.7

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.

## BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA PARA EL CURSO DE GEOLOGIA AMBIENTAL

### BIBLIOGRAFIA PARA EL CAPITULO IV

Tema: Grandes escurrimientos de agua en los ríos.

1. BAKER, V.R.. 1976. Hydrogeomorphic methods for the regional evaluation of flood hazards. **Environmental Geology** 1: 261-181.
2. BEYER, J.L., 1974. Global response to natural hazards: floods. In **Natural hazards**, ed. G.F. White, pp. 265-74. New York: Oxford University Press.
3. BRADLEY, W.C. and MEARS, A.I., 1980. Calculations of flows needed to transport coarse fraction of Boulder Creek alluvium at Boulder, Colorado. **Geol. Soc. Amer. Bull. Part II, v. 91: 1057-1090.**
4. BUE, C.D., 1967. Flood information for flood plain planning. U.S. Geological Survey Circular 539.
5. DAVIES, W.E.; BAILEY, J.F.; and KELLY, D.B., 1972. West Virginia's Buffalo Creek flood: a study of the hydrology and engineering geology. U. S. Geological Survey Circular 667.
6. DOLAN, R., HOWARD, A., and GALLENSON, A., 1974. Man's impact on the Colorado River and the Grand Canyon. **American Scientist, V. 62: 392-401.**
7. LEOPOLD, L.B., 1968. Hydrology for urban land planning. U.S. Geological Survey Circular 559.
8. -----, and MADDOCK, T., Jr., 1953. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. U. S. Geological Survey Professional Paper 252.
9. LINSLEY, R.K., Jr.; KOHLER, M.A.; and PAULHUS, J.L., 1958. Hydrology for engineers. New York: MacGraw Hill.
10. McCAIN, J.F., HOXIT, L.R., MADDOX, R.A., CHAPPELL, C.F. and CARACENA, F., 1979. Storm and flood of July 31-August 1, 1976, in the Big Thompson River and Cache la Poudre River Basin, Larimer and Weld Counties. Colorado. U. S. Geological Survey Professional Paper 1115B.
11. SEABURN, G.E., 1969. Effects of urban development on direct runoff to East Meadow Brook, Nassau County, Long Island, New York. U.S.G.S. Professional Paper 627B.

## 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 ENGINEEERED 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 KRIVVOY, 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, É.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

## **CASOS QUE SE EXPONDRÁN EN EL CAPÍTULO DE PROCESOS TERRESTRES PELIGROSOS**

1. INUNDACIONES Y DESLIZAMIENTOS EN TIJUANA, B.C. DEBIDOS A LAS LLUVIAS DE 1992 Y 1993.
2. ASPECTOS GEOLÓGICO-AMBIENTALES ENTRE TIJUANA Y ENSENADA, B.C.
  - LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS DE TIJUANA.
  - DESLIZAMIENTOS A LO LARGO DE LA CARRETERA TIJUANA-ENSENADA.
  - CONTAMINACIÓN DE LA BAHÍA DE ENSENADA Y SUS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.
3. AFECTACIONES EN EL MUNICIPIO DE ENSENADA, B.C., DEBIDOS A LAS LLUVIAS TORRENCIALES DEL INVIERNO DE 1993 (se incluye resumen, al final).
4. SISMICIDAD Y MONITOREO SISMOLÓGICO EN LA PORCIÓN NORTE DE LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA.
5. LA ERUPCIÓN DE VOLCÁN DEL CHÍCHÓN O CHICHONAL, CHIAPAS Y LAS AFECTACIONES PRODUCIDAS.

NOTA: Considerando la disponibilidad de tiempo, se eliminará alguno de los temas anteriores.





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

**CURSOS ABIERTOS**

**GEOLOGÍA AMBIENTAL**

**Del 17 al 19 de marzo de 1997**

**TEMA : CARTOGRAFÍA GEOLOGICO- AMBIENTAL**

**EXPOSITOR: Ing Juan Sánchez Pérez**



## **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 micrógeodésico 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 LEYANDA 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	<b>Qal</b> - Sedimentos. finos a muy finos
II	Azul	Abanico aluvial activo o inactivo	<b>Qal</b> - Seds. de grano medio
III	Amarillo	Abanico. aluvial activo o inactivo	<b>Qal</b> - Seds. de grano gruesos o muy grueso
IV	Amarillo oscuro		
V	Rosa claro		
VI	Rosa		
VII	Café		



## 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  $\mu\text{m}$ )** . 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  $\mu\text{m}$ ), verde (0,5 a 0,6  $\mu\text{m}$ ), y rojo (0,6 a 0,7  $\mu\text{m}$ ), en relación con los colores elementales asociados a esas longitudes de onda.

**Infrarrojo cercano (0,7 a 1,3  $\mu\text{m}$ )**. 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  $\mu\text{m}$ )**. 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  $\mu\text{m}$ )**. 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).

### **5.4.3 Análisis de imágenes**

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**

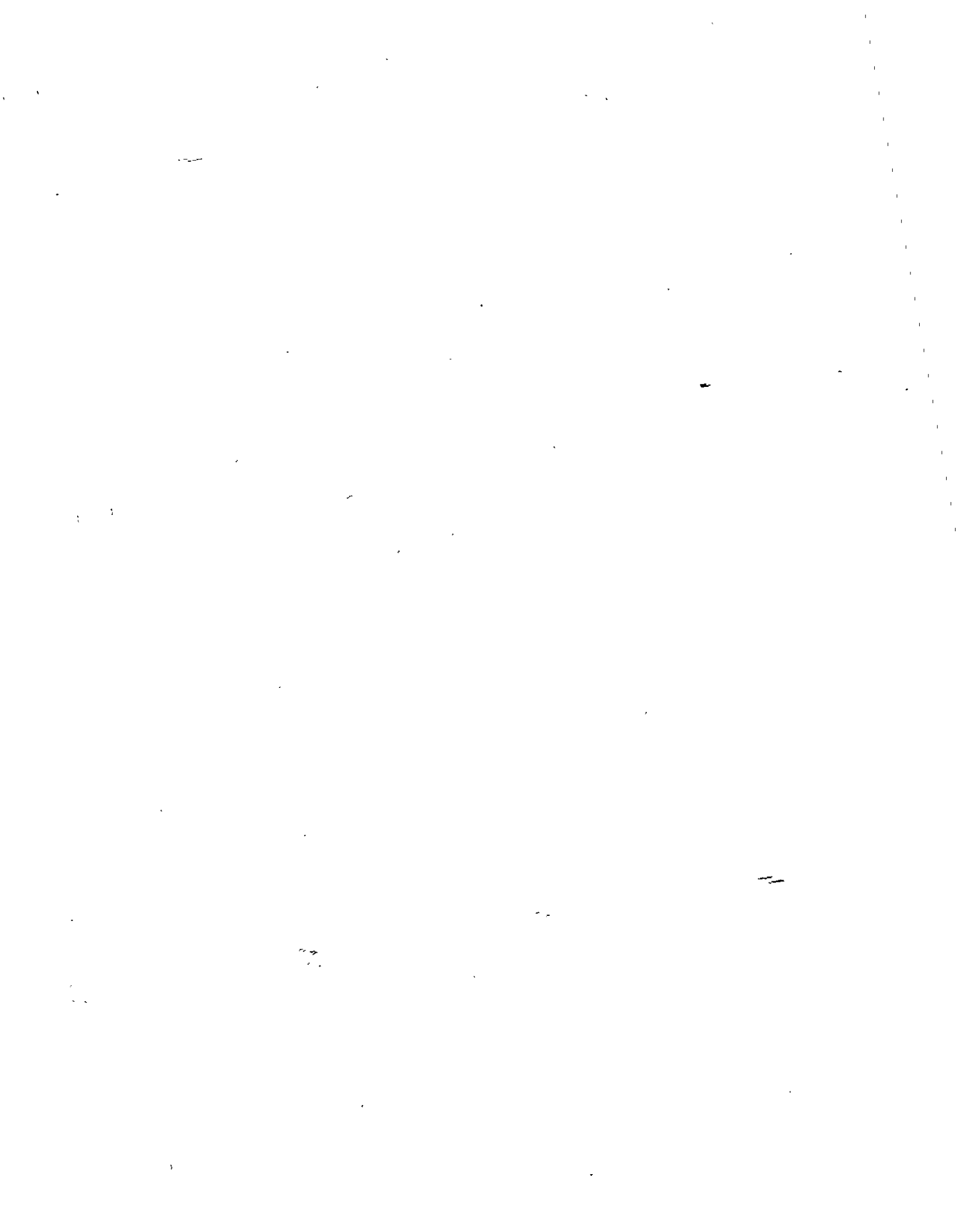
**CURSOS ABIERTOS**

**GEOLOGÍA AMBIENTAL**

**Del 17 al 19 de marzo de 1997**

**TEMA : GEOLOGÍA AMBIENTAL E INGENIERIA CIVIL**

**EXPOSITOR: Ing. Juan M. Nieto Calleja**



**CURSO DE GEOLOGÍA AMBIENTAL 1997**

# ***CAPÍTULO 6***

## ***GEOLOGÍA AMBIENTAL E INGENIERÍA CIVIL***

***Ing. Juan M. Nieto Calleja***

**CONTENIDO PARA LA PRESENTACIÓN DEL TEMA  
GEOLOGÍA AMBIENTAL E INGENIERÍA CIVIL**

**1.- Metodología para la evaluación del impacto ambiental**

- Tipos de impacto
- Evaluación de impacto ambiental
- Técnicas para identificación de impactos
- Procedimiento para la manifestación de impacto ambiental

**2.- Estudio de impacto ambiental**

- Detección de la presencia de arsénico en la subcuenca de Villa Juárez Edo. de Durango.

**3.- Impacto producido por la construcción de canales**

- Derivación del Río Balsas
- Conducción de aguas residuales
  - Domésticas, con incidencia industrial
  - Industriales

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

**5.- 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

**6.- Estudio para la selección de un sitio de disposición de residuos peligrosos**

**7.- Estudios de detección de hidrocarburos en el subsuelo**

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



# 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

**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

# 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

## **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

# **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

# **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 PARA 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.

16

## **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.

habían sido establecidos por la Asociación Americana de Trabajos Públicos, tales como:

1. Tanto la construcción como el mantenimiento del depósito deben ser controlados
2. Se debe controlar la contaminación por polvo, humo y malos olores.
3. Evitar el riesgo de incendios.
4. Prevenir la contaminación del suelo y del agua.
5. Las incomodidades deben ser reducidas al mínimo.

El grupo de técnicos para el estudio de los sitios para el depósito de desechos, estaba constituido por un geólogo, un ingeniero civil o sanitario y un biólogo-químico. Por medio de su esfuerzo conjunto, el tiradero clandestino fue convertido en un depósito sanitario para basura, con permiso de funcionamiento del Departamento de Recursos Ambientales de Pensilvania.

El método de trincheras para la disposición de los desechos se utilizó desde principios de 1970 y continuó operando hasta su llenado, de una superficie de 34 acres, en 1975. Las consideraciones técnicas involucradas en la construcción del Depósito Sanitario para basura fueron descritas por Foose (1972); parte de la información obtenida e interpretada inicialmente por el grupo que realizó los estudios en esa época se reporta en tal artículo, del cual se toma el siguiente extracto:

- 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 (del pueblo 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, en Septiembre de 1975, por parte del Departamento de Recursos Ambientales de Pensilvania, como uno de los sitios más funcionales.

#### **PARAMETROS GEOLOGICOS PARA EL DESARROLLO DE UN DEPOSITO SANITARIO PARA DESECHOS SOLIDOS**

( El tema se mencionará en clase ).

## VI.3 SELECCION DE SITIOS PARA DEPOSITOS SANITARIOS

Al tocar este tema es conveniente recordar la expresión de Fosse y Hess (1978), en relación a los desperdicios que generamos hoy en día:

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

la cual es muy significativa para ilustrar este grave problema que tenemos actualmente, ya que las cantidades de basura que se generan y aquella basura 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 basura estaba compuesta por desechos orgánicos (era biodegradable).

Desde tiempos antiguos el ser humano ha tenido que buscar un lugar apropiado para alojar sus desechos. Nuestros antepasados (los aztecas, por ejemplo), tenían mucho cuidado de enterrar sus escasos desechos en lugares alejados de los sitios que habitaban; y gracias a ello, nunca tuvieron que lamentar las consecuencias de materiales en descomposición o contaminantes de sus recursos naturales.

En la época moderna hemos 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 puede indicar a continuación:

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

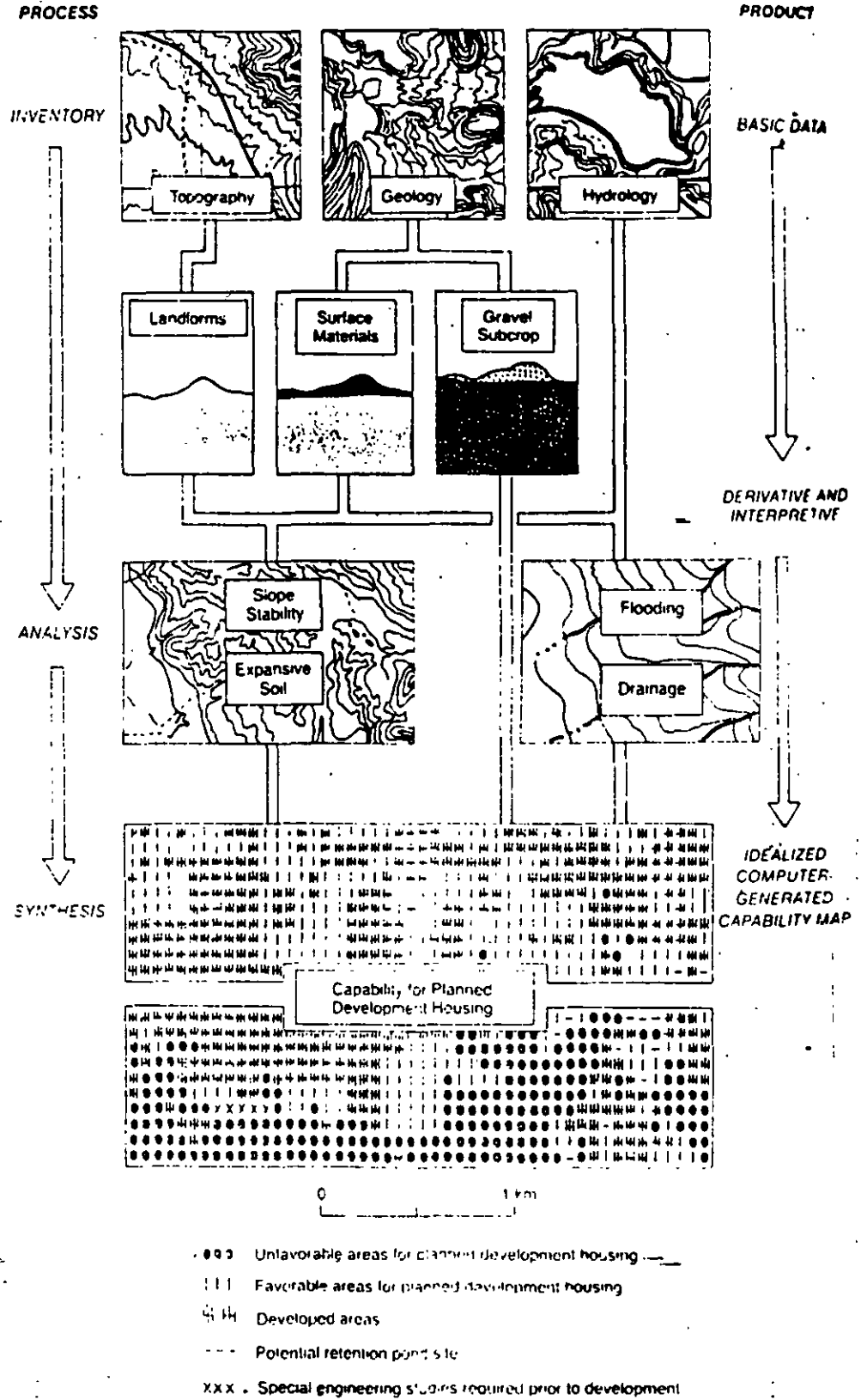
Bellamy (1969) y Han et al. (1969), realizaron estudios para convertir la basura municipal en "celdas simples" de proteínas (?), para consumo animal e inclusive humano, pero sus resultados no fueron muy alentadores.

Stern (1971) analizó esquemas complejos de reciclaje y reuso, encontrando que la colección y concentrado de contaminantes en grandes pilas era una de las mejores opciones.

Fitzpatrick (1973) trató de encontrar apovechamientos económico para la basura, determinando que uno de los mejores era la producción de energía.

El año de 1973 fue importante respecto a este aspecto, ya que se empezó a tomar un poco más de conciencia de los problemas inherentes a la basura, mientras que entre 1968 y 1973, la sociedad no se había concientizado respecto a ello y trataban de dejar todo en manos de sus gobernantes, en lugar de actuar y afrontar el problema, lo cual ocasionó una pérdida notable de tiempo. Es en estas fechas también, que en los Estados Unidos de Norteamérica se crean LEGISLACIONES ESTATALES PARA EL CONTROL Y DEPOSITO DE DESECHOS SOLIDOS, con las cuales se pretendía dar a conocer a la ciudadanía QUE HACER Y QUE NO HACER, respecto a los depósitos de basura, asesorados inclusive por equipos técnicos especializados; sin embargo, viendo el problema actual nos podemos preguntar ¿ Que sucedió ? y la respuesta es: las buenas intenciones que se tenían no se pudieron llevar a cabo por múltiples razones (ilógicas en su mayoría) y continuaron funcionando los basureros poco planeados (town dumps = pueblos de desecho, como se les conoce en los E.U. de NAm.) e inclusive tiraderos clandestinos, tomándose en cuenta muy pocos de los criterios que





Figura

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)

# 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 plática 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<sub>x</sub>(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 las 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 las 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 m<sup>3</sup>.
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 aquellas 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.

**CURSO DE GEOLOGIA AMBIENTAL**

**BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA PARA EL CAPITULO 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..**
- KOSTENKO, N. P. (1975). Geomorfología Estructural Aplicada. Inst. de Geografía - UNAM, México. 113 p.**

continua

- KRYNINE, D. P. and JUDD, W. R. (1957). **Principles of Engineering Geology and Geotechnics**. Mc-Graw-Hill Book Co., New York. 729 p.
- LUGO-HUBP, J. I. (1978). **La Geomorfología y sus Aplicaciones a la Ingeniería Civil**. FI - UNAM, Centro de Educación Continua. 19 p.
- \_\_\_\_\_ (1988). **Elementos de Geomorfología Aplicada (Métodos Cartográficos)**. Instituto de Geografía - UNAM, México D. F.. 128 p..
- NOBLE, G. P. E. (1976). **Sanitary Landfill Design Handbook - The Science and Art of Site Selection. Investigations and Design**. Technomic Publishing Co., Inc.. Westport, CT.
- PARIZEK, R. R. (1971). **Impact of Highways on the hydrogeologic environment**, in D. R. Coates Ed., **Environmental Geomorphology**. State University of New York. Binghamton, N. Y., p. 151-199.
- STRAHLER, A. N. and STRAHLER, A. H. (1973). **Environmental Geoscience: Interaction between Natural Systems and Man**. Hamilton Pub. Co., Santa Barbara, CA. 511p.





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

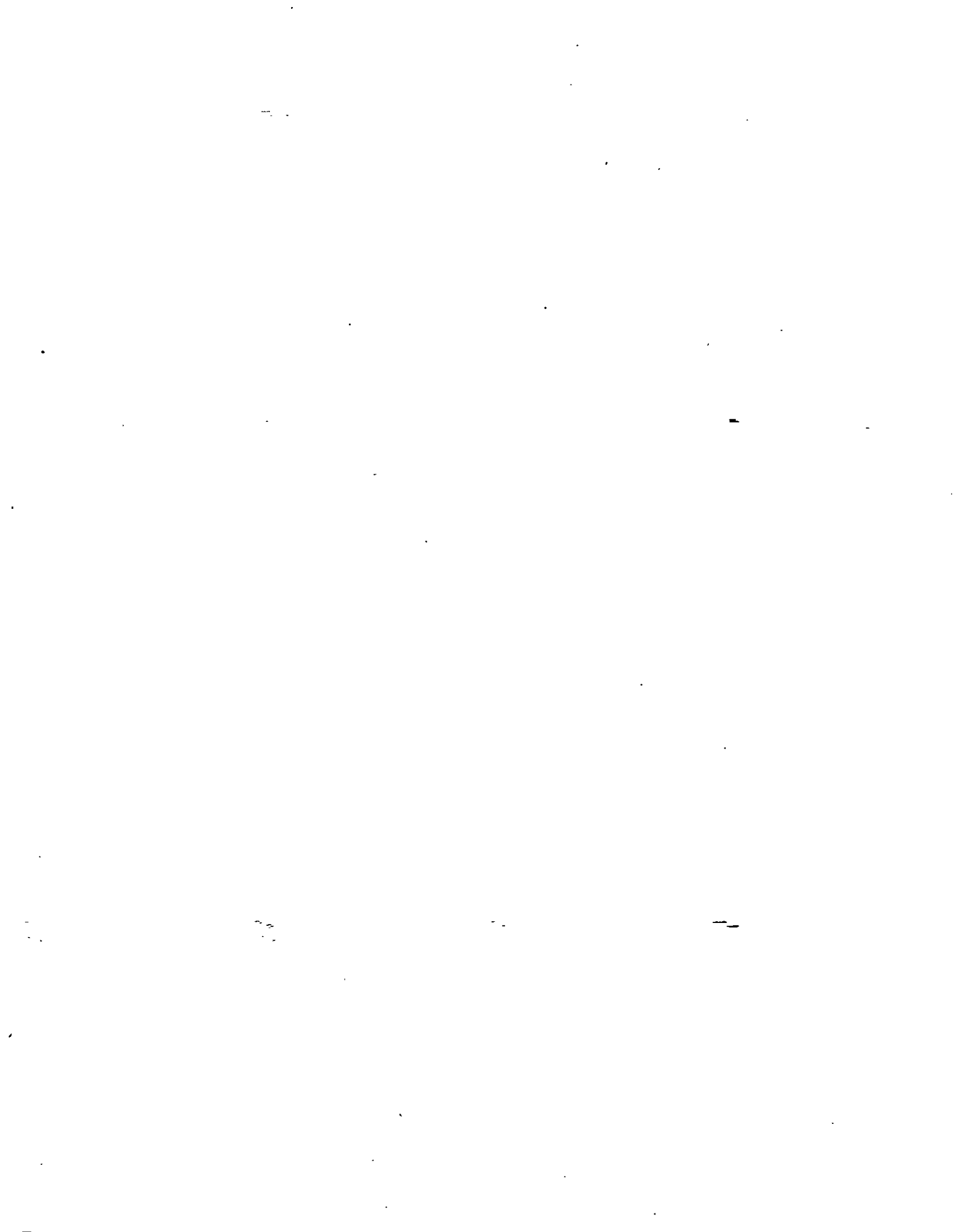
**CURSOS ABIERTOS**

**GEOLOGÍA AMBIENTAL**

**Del 17 al 19 de marzo de 1997**

**TEMA : EL USO DEL SUELO Y LA TOMA DE DECISIONES**

**EXPOSITOR: Ing Juan Sánchez Pérez**



**CURSO DE GEOLOGÍA AMBIENTAL 1997**

# ***CAPÍTULO 7***

## ***EL USO DEL SUELO Y LA TOMA DE DECISIONES***

***Ing. Juan Sánchez P.***

# CAPÍTULO 7 - EL USO DEL SUELO Y LA TOMA DE DECISIONES

## 7.1 EVALUACIÓN DEL RELIEVE

La evaluación del relieve, incluyendo la planeación del uso del suelo, la selección de sitios (para obras de ingeniería civil), la consideración de factores "intangibles" y el análisis del impacto ambiental, son de los aspectos más controvertidos de nuestro tiempo. Antes de que estos aspectos se puedan resolver satisfactoriamente, es necesario desarrollar una buena metodología que permita asegurar que los recursos (como el suelo y el agua), sean utilizados y conservados en forma apropiada, 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, etc.. A este respecto, es obligación de los especialistas de las Ciencias de la Tierra 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 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 lo 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 la información apropiada,
- d) planos con la clasificación de 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 será más útil si se presenta en una serie de planos que sinteticen los riesgos geológicos existentes, las limitaciones del uso 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, que servirá para determinar la capacidad 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 "diseñar con naturaleza" y ha emergido como un marco filosófico necesario para balancear parcialmente los aspectos económicos tradicionales de la evaluación de sitios. Desde un punto de vista ecológico, 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 consiste en trabajar coordinadamente 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.

Como objetivo, que debemos tener en mente al realizar este tipo de estudios, está 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 que tengan relieve abrupto en lugar de aquellos de relieve plano).

Todos los métodos que intentan evaluar los factores ambientales intangibles, tales como el panorama, dependen del análisis de las características del terreno o de sus siguientes variables:

- 1) el relieve topográfico,
- 2) presencia de cuerpos superficiales o subterráneos de agua,
- 3) flora y fauna existente (cantidad y diversidad, etc.).

De manera que, todos los métodos son subjetivos; sin embargo, en este caso, la subjetividad, 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 personales 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.

El resultado de la evaluación del relieve es un dictamen de impacto ambiental, que describe:

- 1) los propósitos y las necesidades del proyecto,
- 2) discute varias alternativas razonables,
- 3) describe el medio ambiente que será afectado, y
- 4) plantea las consecuencias ambientales que se producirán;

Además 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 es factible un método único para determinar el impacto ambiental para un amplio campo 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 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. Entre los ejemplos importantes a nivel internacional, del análisis de impacto ambiental, tenemos el del **Oleoducto trans-Alaska**, 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 aquellos referentes a la construcción de grandes presas, como las de Chicoasén y Aguamilpa, por mencionar algunas de las más recientes.

**CAPÍTULO : 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.

CURSO: GEOAMB./1997  
JUSP\*

## 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 FACILIDADES PUBLICAS	Recursos Naturales												
	Protección contra Riesgos												
	Reutilización del Terreno												
	Facilidades Publicas												
FACILIDADES 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												
ESTÉTICOS	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												
		GEÓLOGOS	GEÓGRAFOS	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)  
 GEOLOGÍA PARA LA PLANEACIÓN, A Review of Environmental Geology, "Quarterly of the Colorado School of Mines, Vol. 68, No. 3.



## 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 Engineering 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.**

***CURSO DE GEOLOGÍA AMBIENTAL 1997***

***CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES***

**CURSO DE GEOLOGÍA AMBIENTAL 1997**

**BIBLIOGRAFÍA  
S E L E C T A**

**NOTA:**

**Los artículos proporcionados como soporte para el curso,  
deben utilizarse únicamente con fines educativos**

**GeoAmb97**

114

**Marzo - 1997**



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

**CURSOS ABIERTOS**

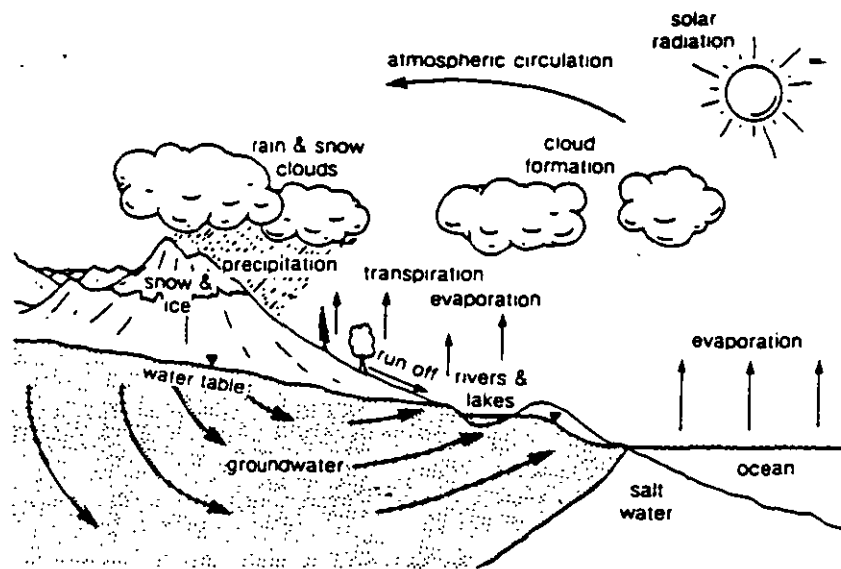
**GEOLOGÍA AMBIENTAL**

**Del 17 al 19 de marzo de 1997**

**TEMA : GEOLOGÍA-AMBIENTAL E INGENIERÍA CIVIL**

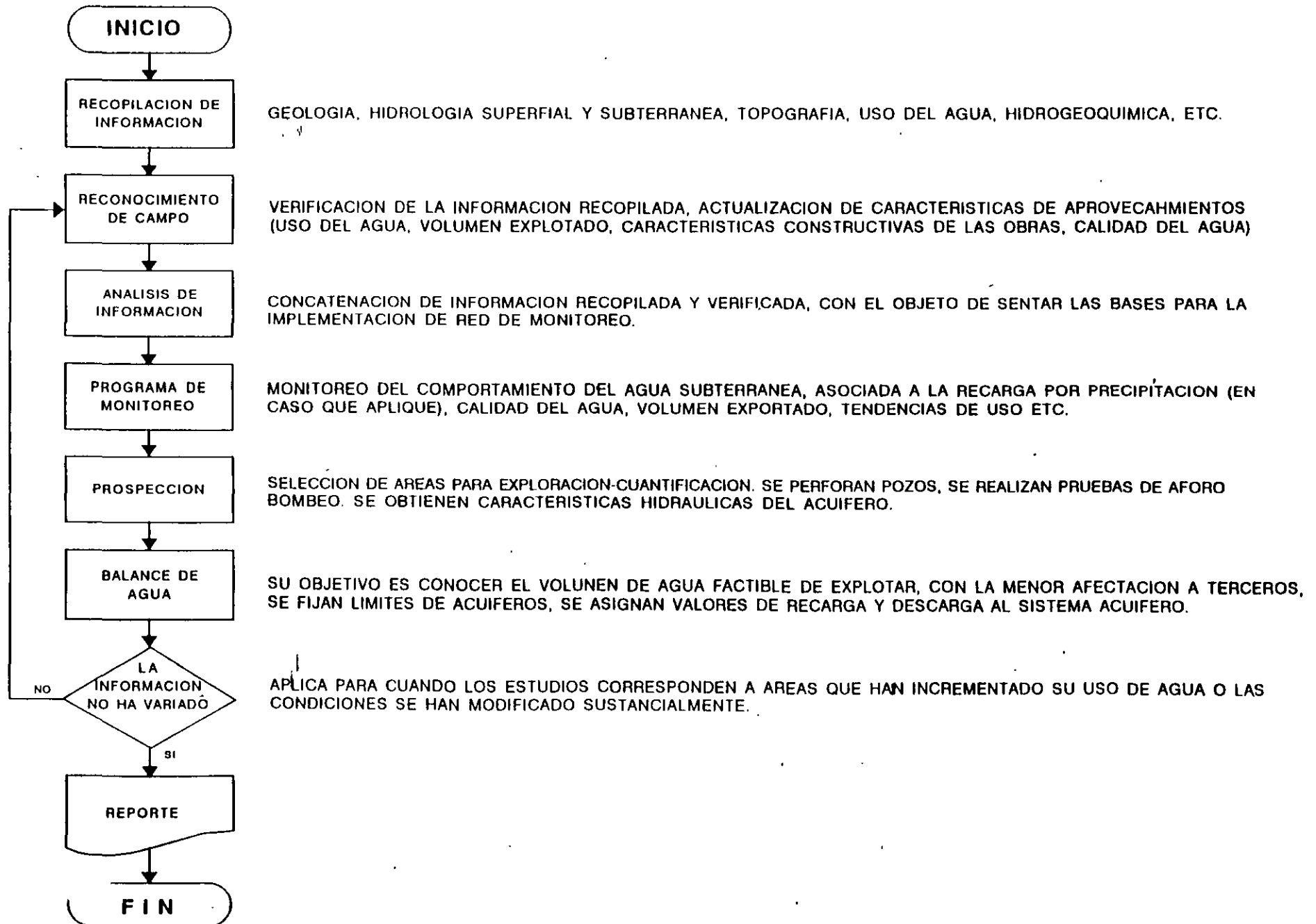
**EXPOSITOR: Ing Juan M. Nieto Calleja**



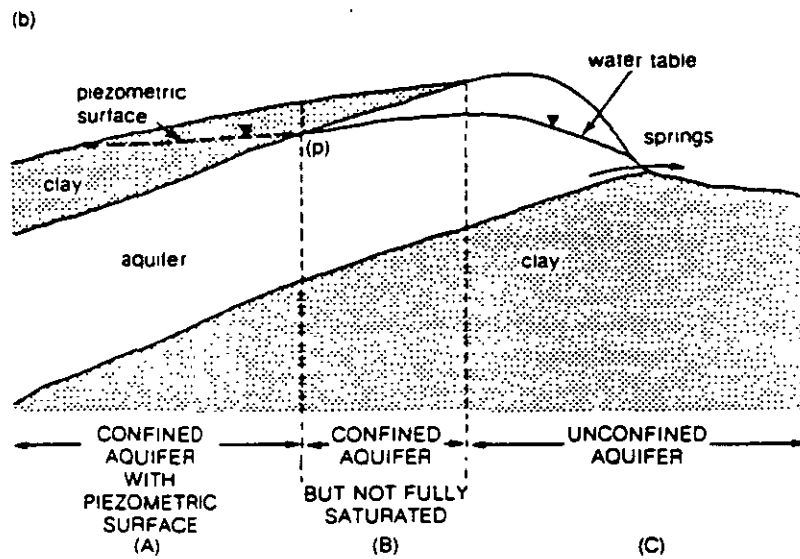
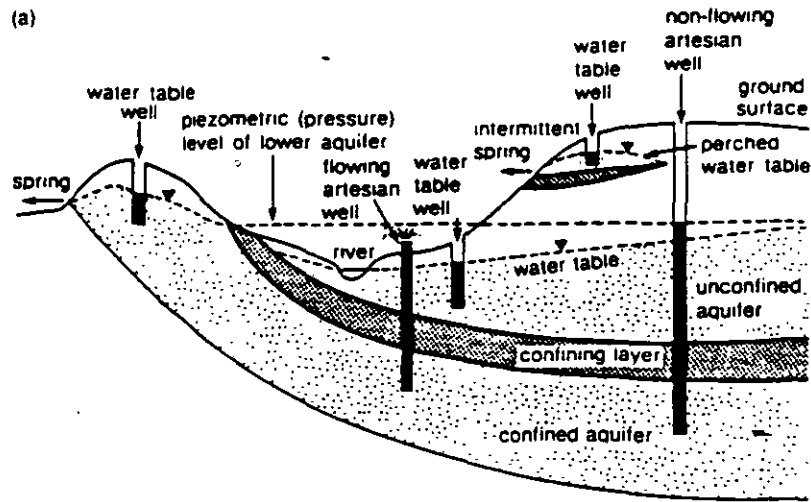


The hydrological cycle.

# PROCEDIMIENTO GENERAL DE ESTUDIO







The top diagram (a), shows two aquifers: a lower aquifer which is confined over much of the area; and an upper aquifer which is unconfined. The upper aquifer includes low-permeability material which supports a perched water table. The diagram shows the rest water levels in various wells in both aquifers. The lower diagram (b), shows how both confined and unconfined conditions can occur in the same aquifer. In zone A, the aquifer is fully confined by the overlying clay and is fully saturated. The groundwater in this part of the aquifer is at a pressure controlled by the level of water at point (p), and water in wells would rise to this level which is above the top of the aquifer. In zone B, the aquifer is overlain by the clay but is not fully saturated and the groundwater pressure is the same as that in zone C. In zone B, the overlying clay will prevent any direct recharge. The aquifer in zone C is unconfined and is that part of the aquifer which receives direct recharge. Seasonal fluctuations in the water-table levels will alter the lateral extent of zone B along the edge of the aquifer. It is likely to be at a minimum at the end of the winter and at its greatest extent in early autumn, before winter recharge causes groundwater levels to rise.

*Special groundwater investigations*

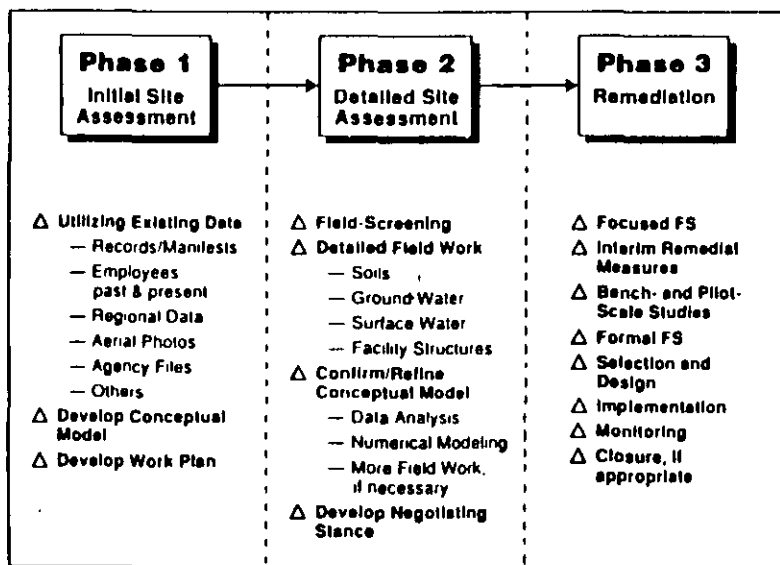
**Table . Average water requirements for various domestic purposes, agricultural needs and manufacturing processes**

<i>Use of product</i>	<i>Quantity of water needed*</i>
<b>Domestic use</b>	
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
<b>Animals – Daily requirements</b>	
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
<b>Food growing</b>	
1 tonne wheat	1000 m <sup>3</sup>
1 tonne rice	4500 m <sup>3</sup>
1 tonne sugar	1000 m <sup>3</sup>
1 tonne potatoes	550 m <sup>3</sup>
<b>Manufacturing</b>	
1 tonne beer	6–10 m <sup>3</sup>
1 tonne bricks	1–2 m <sup>3</sup>
1 tonne steel	250 m <sup>3</sup>
1 tonne aluminium	1500 m <sup>3</sup>
1 tonne fertilizer	600 m <sup>3</sup>
1 tonne refined crude oil	15 m <sup>3</sup>
1 tonne synthetic rubber	3000 m <sup>3</sup>

\* Note that 1 m<sup>3</sup> (= 10<sup>3</sup> litres) of water weighs 1 tonne.

Adapted from S238 by permission of the Open University.

PURPOSE OF SITE INVESTIGATIONS



Phased approach to site characterization and cleanup.

### Phase 1: Initial Site Assessment

Phase 1 typically consists of utilizing as much existing data as possible to develop a conceptual understanding (or model) of the site and processes. Existing data can include archived records such as manifests or chemical inventories, interviews with past or present employees, as-built drawings, regional information and aerial photographs, among others. In addition to outlining the conceptual model, Phase 1 develops the scope of work to confirm this conceptual understanding and assess whether or not remediation is necessary.

### Phase 2: Detailed Site Assessment

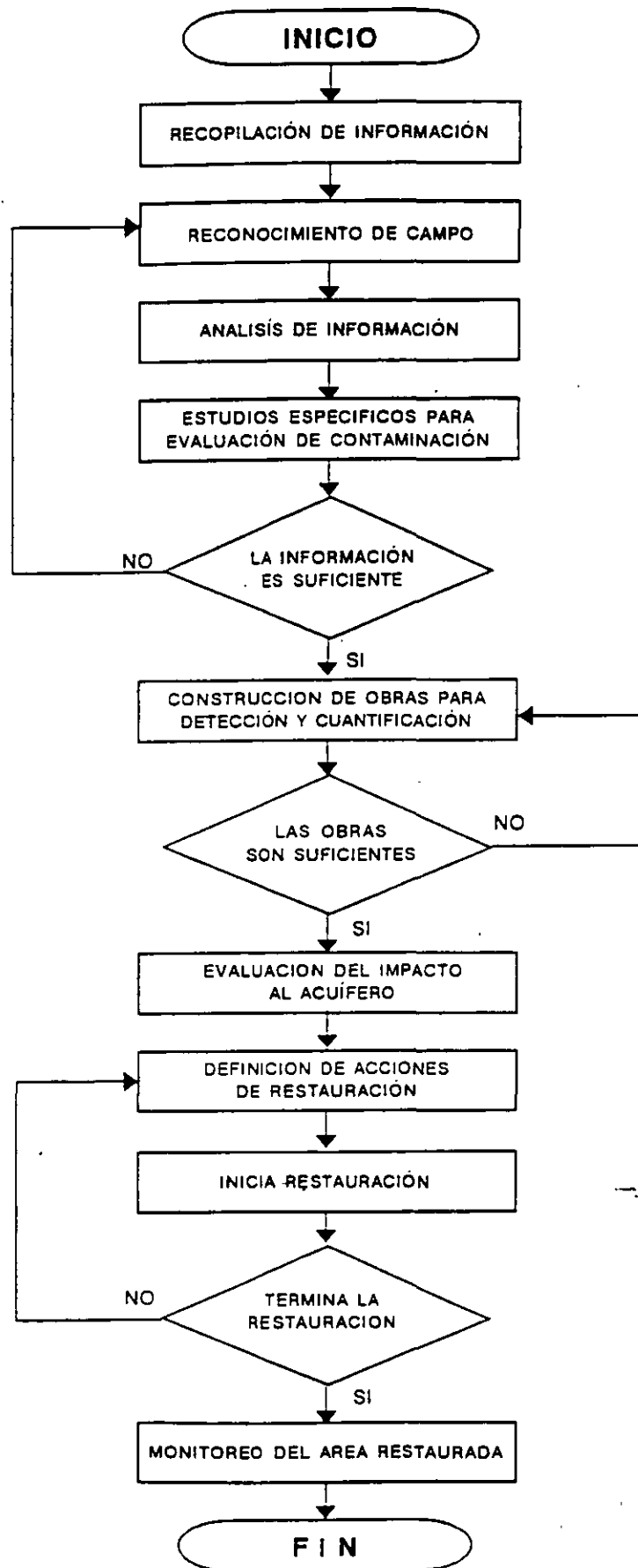
Phase 2 consists of the field work portion of the site characterization, and ideally should employ at least three stages: (1) the initial field-screening stage to optimize subsequent, more intrusive, data-gathering points; (2) the more intrusive field program typically consisting of vadose zone monitoring devices, soil borings, and monitoring wells; and (3) the confirmatory stage to refine the conceptual model with data analysis and more field work, if necessary. The end product of this Phase 2 work consists of site characterization data that are sufficient to assess the magnitude and extent of contamination, evaluate whether remediation is necessary, begin the remedial alternative selection process, and set up negotiation stances with the various regulatory agencies.

### Phase 3: Remediation

Phase 3 encompasses the remediation portion of the investigation effort and is implemented only if necessary, based on negotiations with the regulatory agencies. If impacts to soils and ground water have exceeded specified action limits or are deemed hazardous due to a risk assessment approach, then remedial measures are selected, designed, and implemented. Aspects of this phase include the selection of the appropriate technologies through a feasibility study process, bench- and pilot-scale testing if needed, interim and long-term remedial measures, subsequent monitoring, and ultimate closure.

The purpose of this chapter is to describe in detail the first two phases, their importance, standard procedures, and some selected case studies. Detailed field procedures will not be included, as other chapters of this book are devoted to this purpose. Phase 3 will be summarized briefly in order to give the reader an appreciation of the final product of site characterization and how it fits into the overall context of site cleanups.

# 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

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.

\*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				
	ÁREAS ESPECIALES DE PROTECCION		RESTO DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO		
	zona inferior	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>					
- minería profunda	U	U	PU	PA	A
- minería a tajo abierto y canchales	U	PU	PA	PA	A
- construcción	PU	PA	A	A	A
<u>Tanques Sépticos, 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
- escurrimiento 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

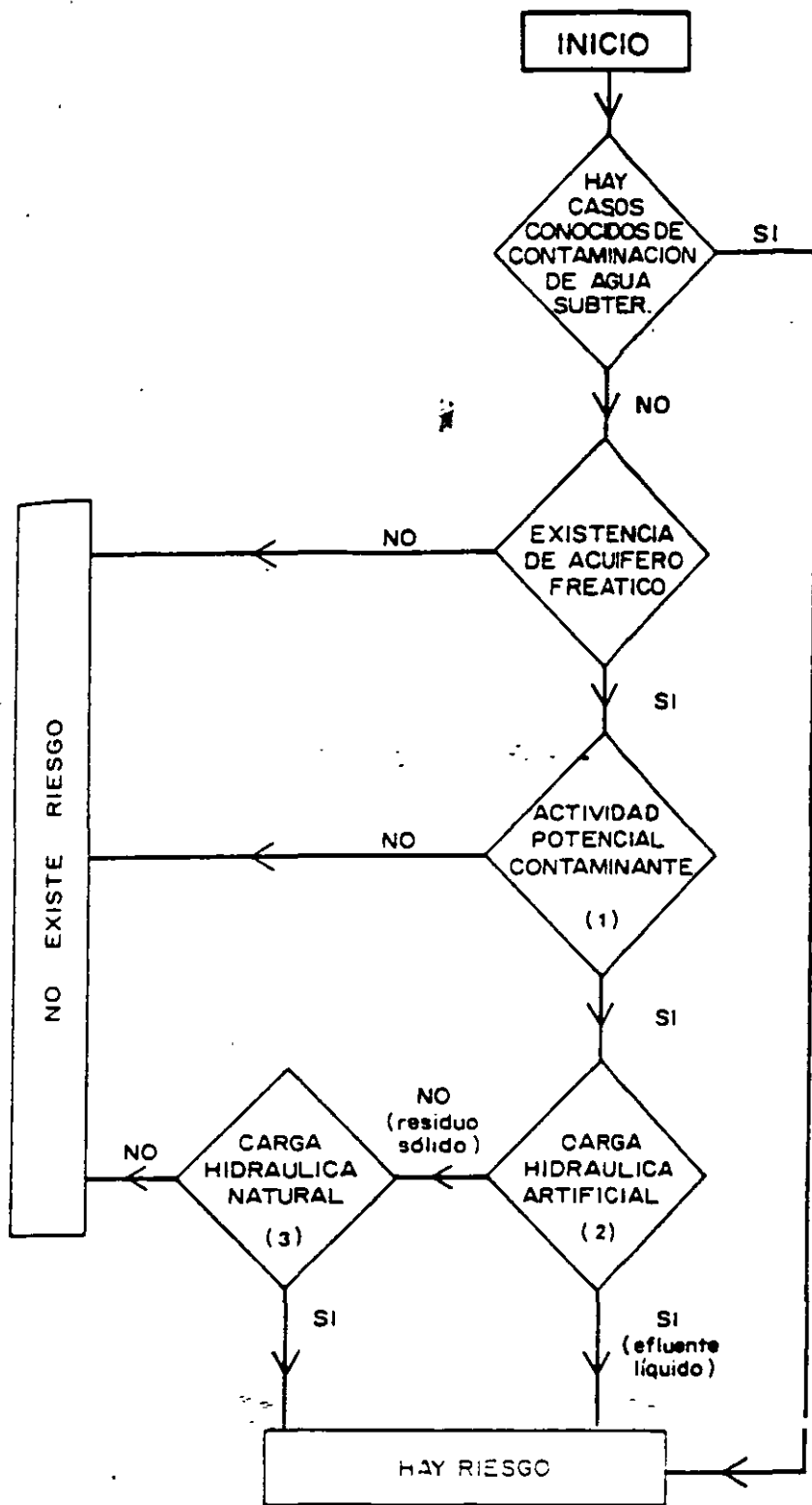
MATRIZ DE ACEPTABILIDAD DE ACTIVIDADES COMUNES DE CONTAMINACIÓN POTENCIAL E INSTALACIONES CON RELACION A LAS ZONAS DE PROTECCIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

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

\* donde es aplicable



- (1) estas actividades incluyen principalmente.
- urbanización con saneamiento in-situ
  - industrias utilizando sustancias tóxicas
  - rellenos sanitarios o botaderos
  - reuso de aguas servidas
  - ríos contaminados
  - agricultura de cultivo intensivo
  - actividad minero o petrolífera

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

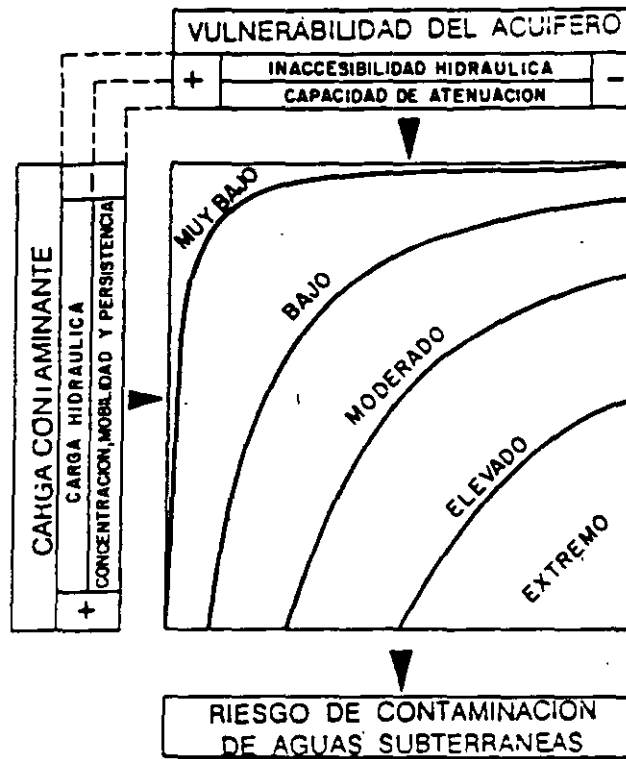
(2) asociada con el contaminante y dirigida al subsuelo

(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.

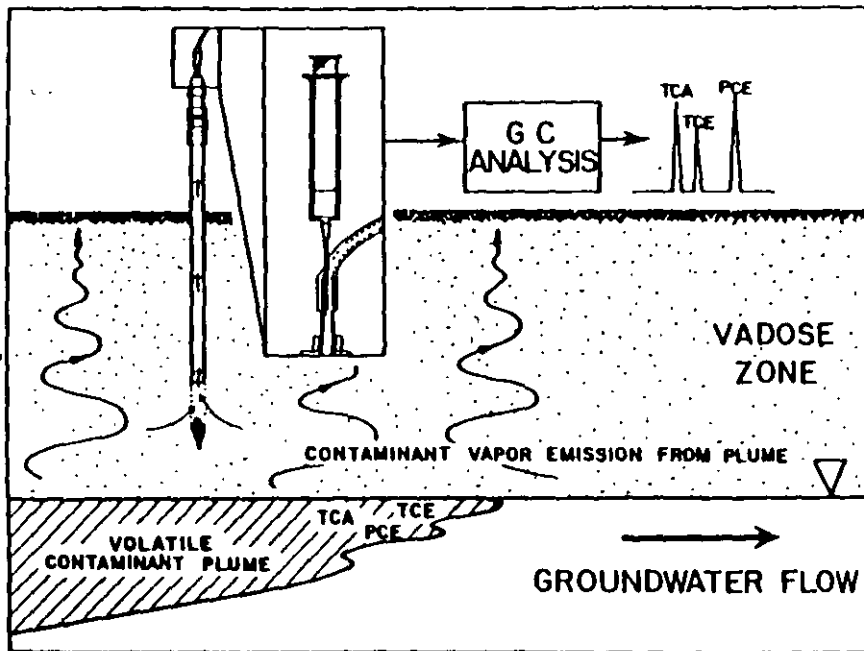
- (a) La carga contaminante que es, será, o pudiera ser aplicada al subsuelo como resultado de actividad humana.
- (b) La vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, debido a las características naturales de los substratos que se cubren y se separan de la superficie.

**PRINCIPALES FACTORES QUE CONTROLAN LA VULNERABILIDAD DEL ACUIFERO A LA CONTAMINACION**

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

\* 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

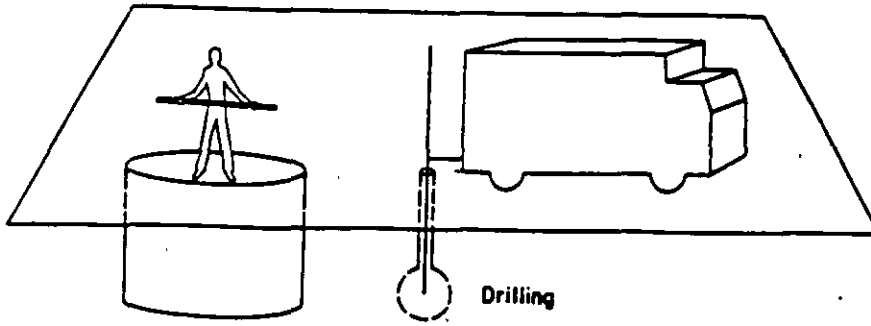


Schematic diagram of the soil gas contaminant investigation technology.

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		
Compound	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 Presto and Leis, 1985



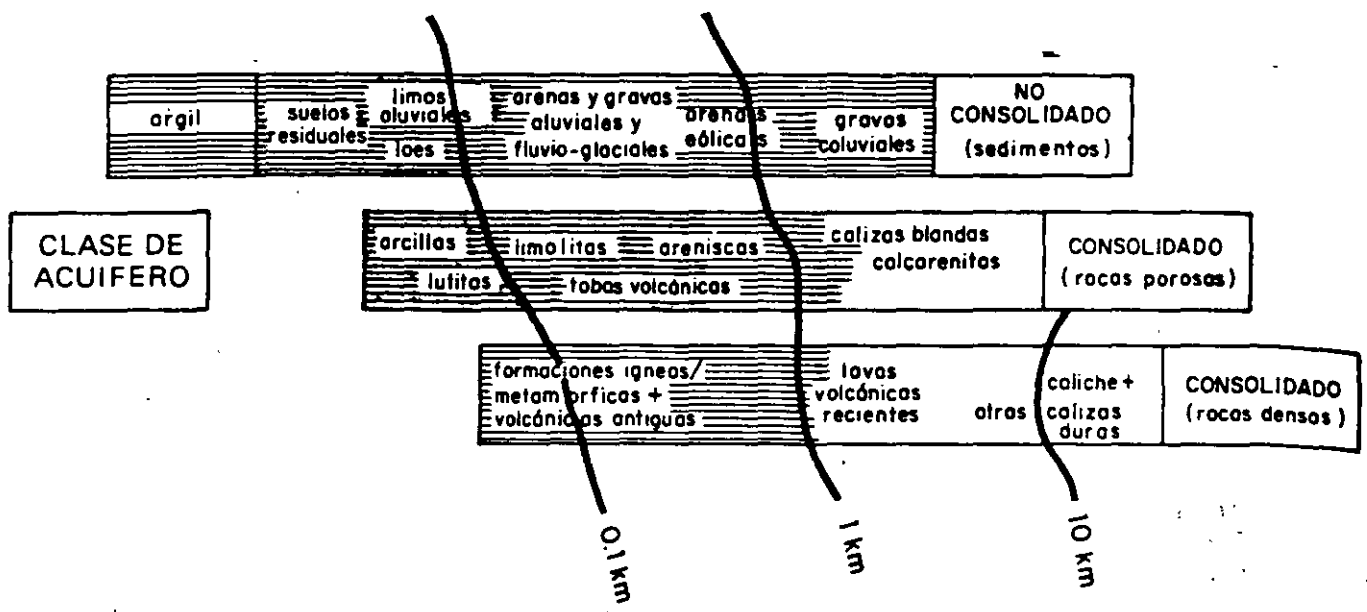
A typical geophysical measurement integrates a larger volume of soil and rock.

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 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—

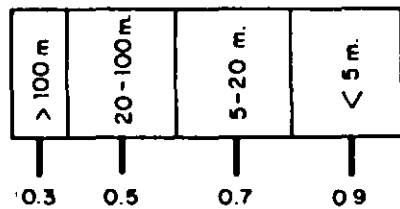


CLASIFICACION DE LOS ACUIFEROS EN TERMINOS A SU RELATIVO POTENCIAL DE DILUCION Y RETARDO DE CONTANINANTES

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.

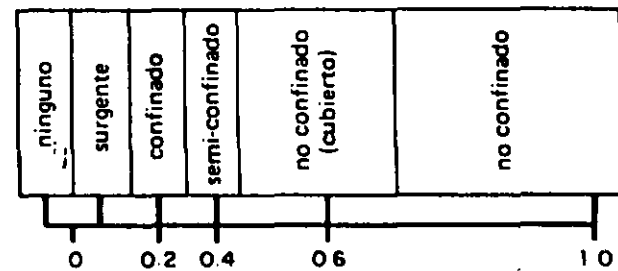
(a) DISTANCIA AL AGUA

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



(b) OCURRENCIA DE AGUA SUBTERRANEA

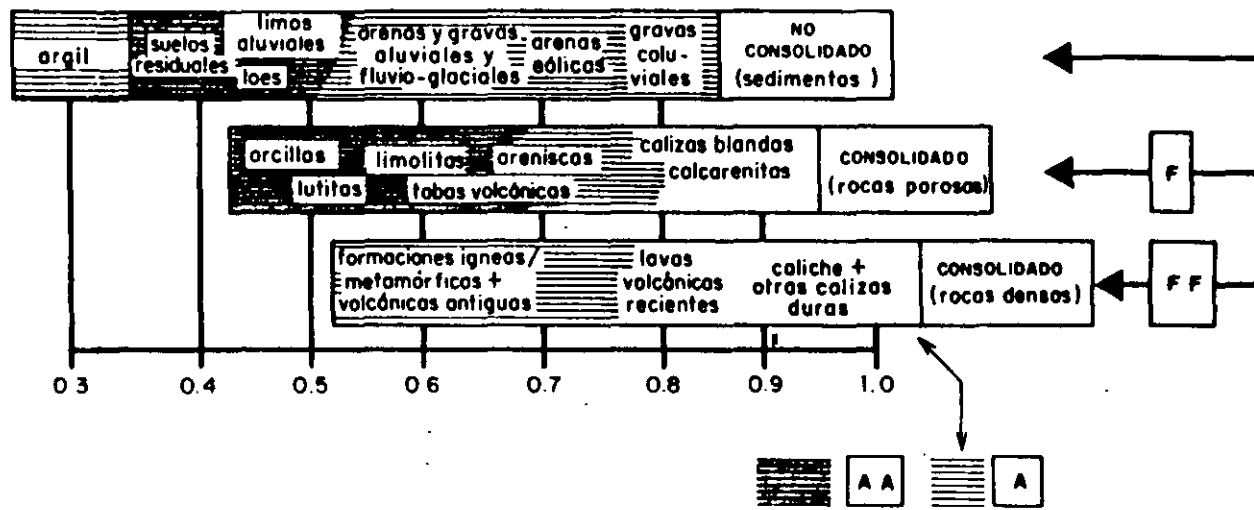
CONDICION DEL ACUIFERO



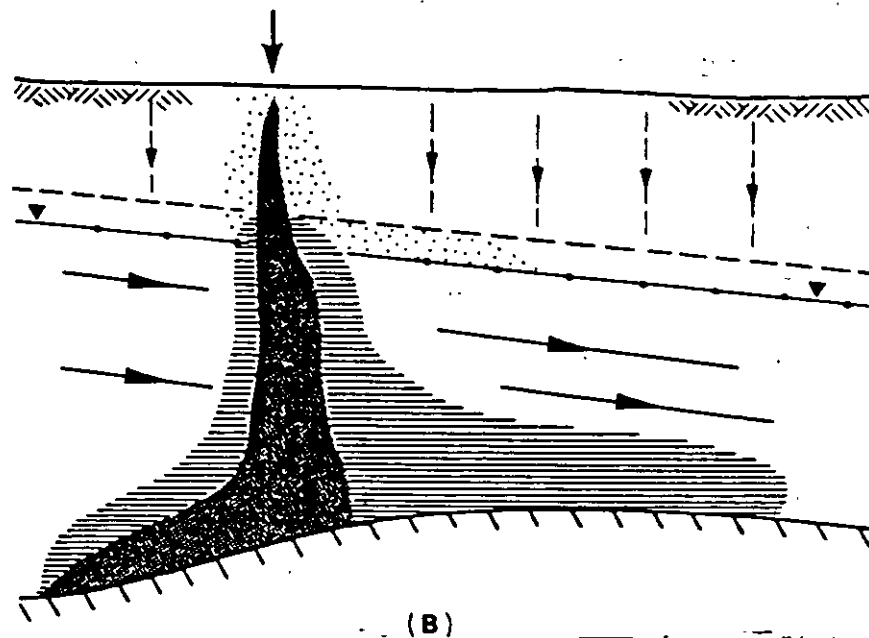
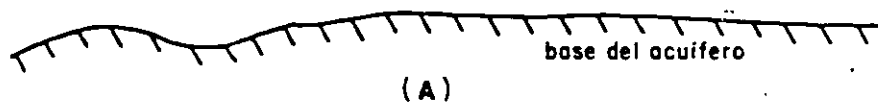
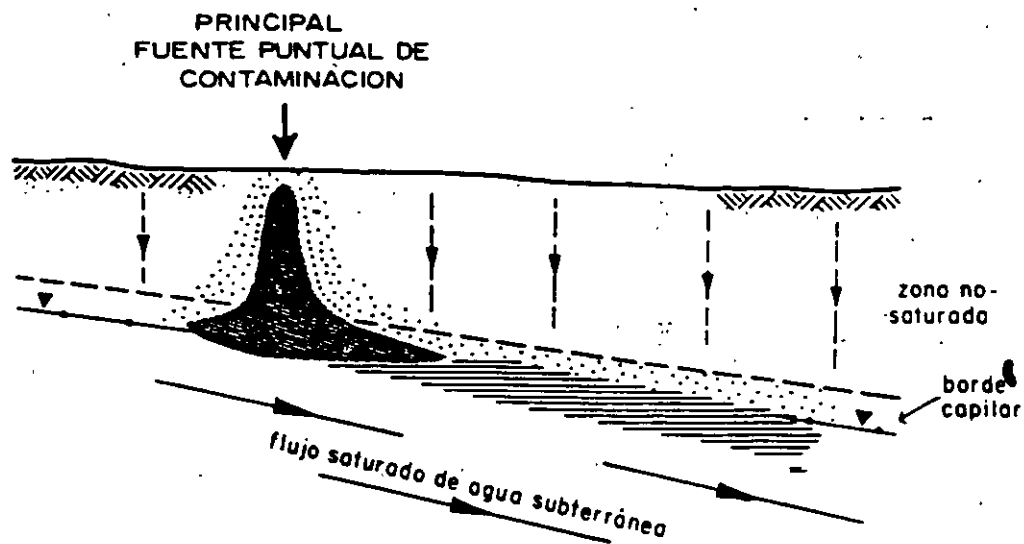
(c) SUBSTRATO LITOLOGICO




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

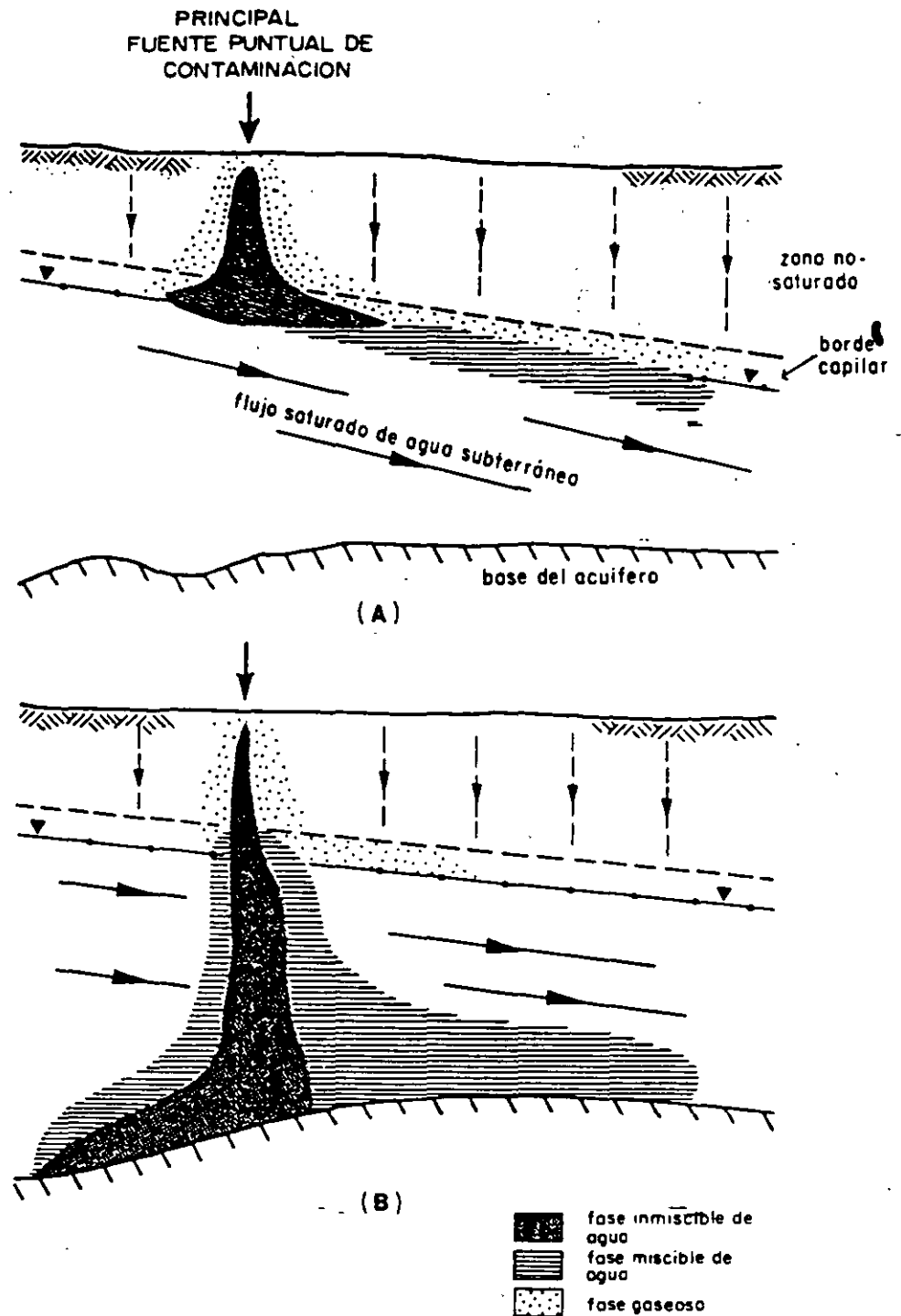


-  fase inmisible de agua
-  fase miscible de agua
-  fase gaseosa

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)







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
<b>TIPO DE ASENTAMIENTO</b>				
- densidad de población	*	***	***	**
- uso de agua per cápita	*	*		
- estilo tradicional (moderno)	*			(**)
- con industria de pequeña escala			*	***
<b>TIPO DE SANEAMIENTO</b>				
- cobertura de redes de alcantarillado	**	***	**	*
- diseño/operación de unidades	**	**	*	*
- sobrecarga hidráulica	***		*	*
<b>CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS</b>				
- geología 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	<b>remover con disposición fuera de lugar *</b>	excavación	profundidad
	<b>remover, tratar y reemplazar</b>	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
	<b>retención in-situ *</b>	cubierta impermeable	puede no ser completamente efectivo, puede conducir a la formación de gas explosivo/tóxico
	<b>tratamiento in-situ</b>	extracción y/o inyección de vapor o bioremediación	todavía esencialmente de prueba y difícil de implementar y controlar en la práctica
Agua Subterránea Contaminada	<b>bombeo con disposición fuera de lugar *</b>	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
	<b>bombeo, tratamiento y recarga</b>	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
	<b>retención in-situ</b>	barreras laterales físicas	rara vez completamente efectivo, y puede ser de un costo de capital alto
	<b>tratamiento in-situ</b>	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 RESTRICCION	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 tubería 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 lixiviados - 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 **

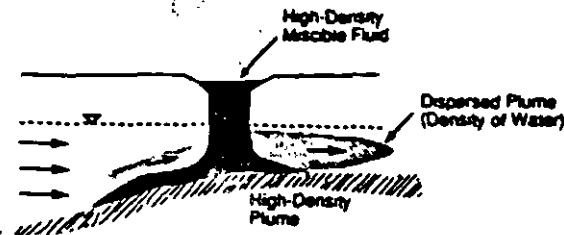
\* no siempre diseñados para descarga al subsuelo

\*\* pueden resultar en contaminación de aguas subterráneas indirectamente

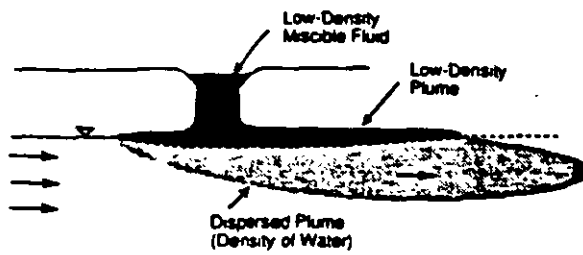
\*\*\* pueden ser diseñados para no descargar al subsuelo excepto en casos de rotura

CLASIFICACION DE FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACION POR  
ACTITUD FILOSOFICA DEL CONTAMINADOR

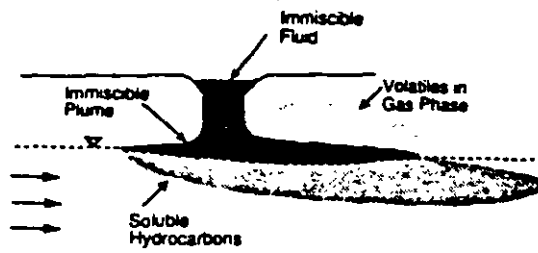
## VARIABLE TYPES OF PLUME GENERATION



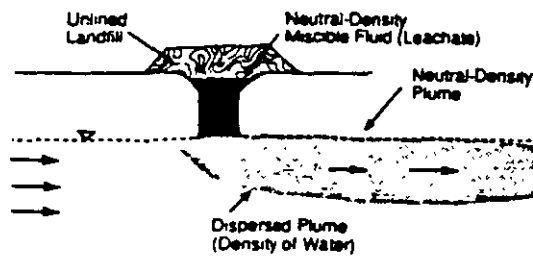
(a) DENSE - MISCIBLE FLUID



(b) LOW - DENSITY MISCIBLE FLUID

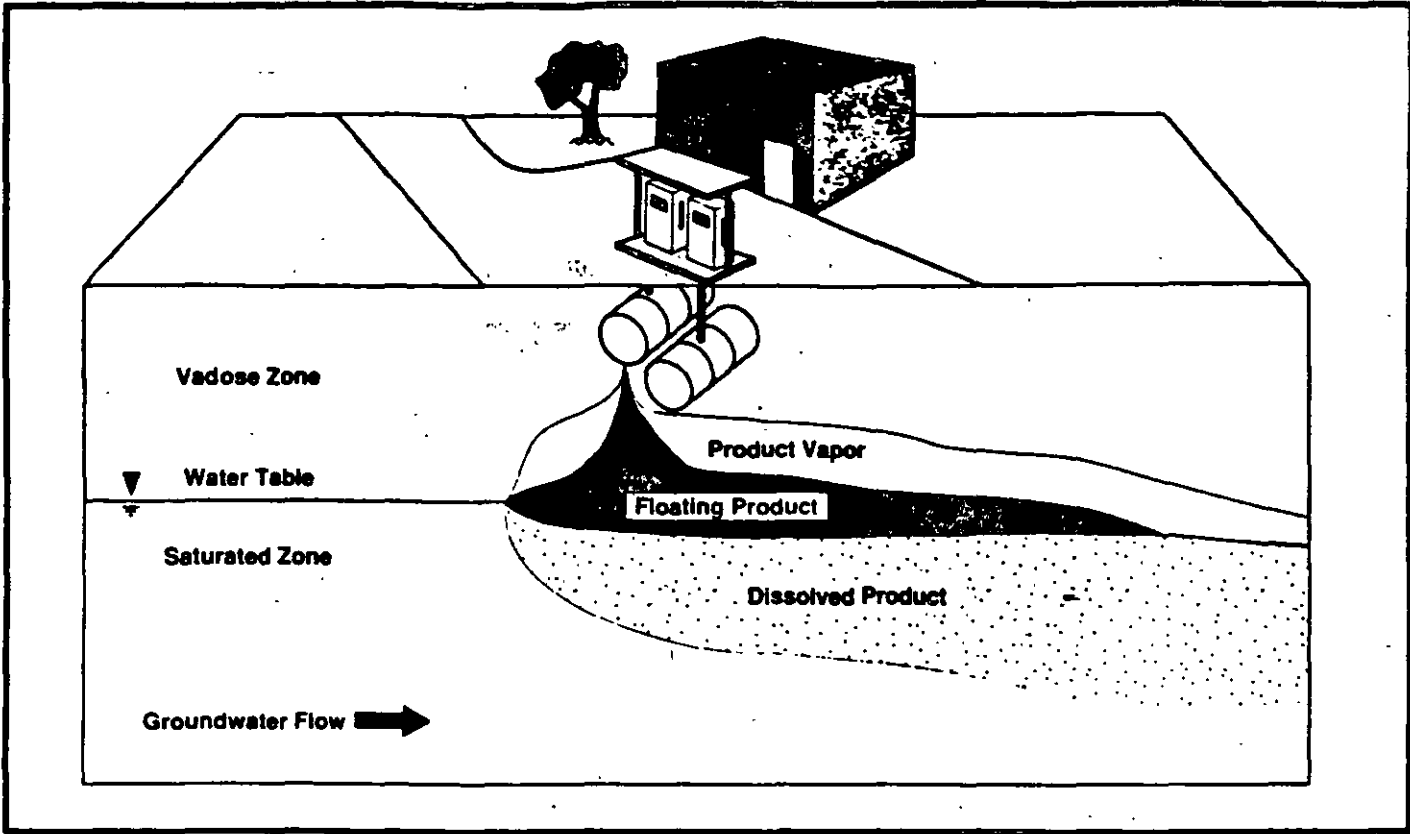


(c) IMMISCIBLE FLUID

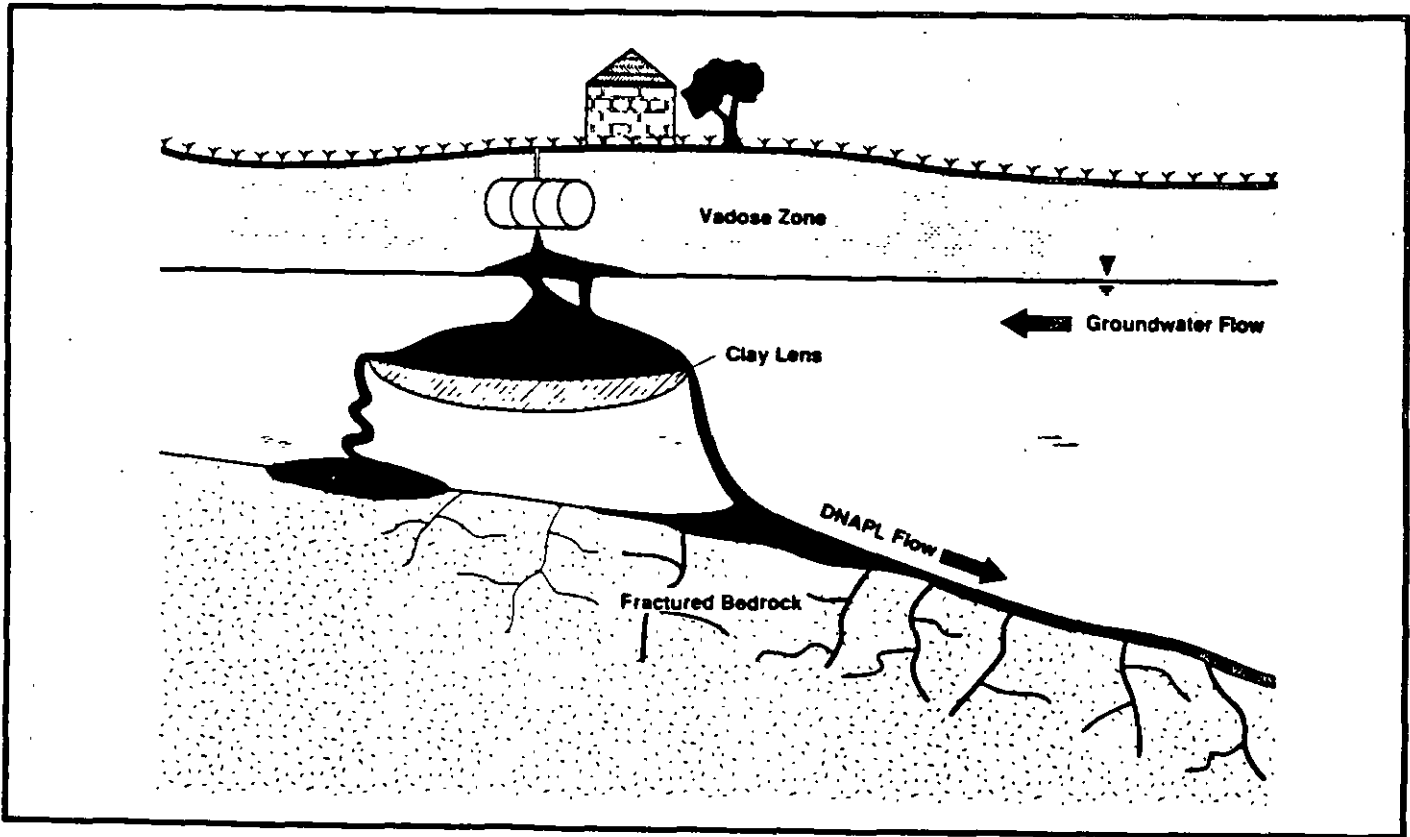


(d) NEUTRAL - DENSITY MISCIBLE FLUID

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). 23