

# Geología Ambiental y Aplicada

Clase Auxiliar – GL31A

# ¿Geología ambiental o aplicada?

- Tradicionalmente se ha utilizado el término geología aplicada.
- Geología ambiental generalmente se ha entendido relacionada a la contaminación.
- Ambas “líneas” necesariamente implican relación con otras disciplinas (ingenierías, urbanismo, políticas, económicas, etc.)
- Definiciones abiertas... por el momento.

# Geología Aplicada.

- Geología aplicada se entiende generalmente como un proceso de ingeniería, con resultados cuantificables.
- Reconocimiento y cuantificación de los factores geológicos que afecten, tanto en forma negativa como positiva, a un proyecto con respecto a su ubicación, diseño, construcción, operación y mantenimiento.

# Geología ambiental.

- “ Estudia la interacción entre el Hombre y el medio ambiente geológico ” (Bennett & Doyle, 1997)

Este “medio” puede restringirse a:

- Los constituyentes físicos de la Tierra, como las rocas, minerales, sedimentos, suelo y agua,
- Las formas de su superficie y los procesos que la modifican.

La geología ambiental se preocupa de dar respuesta a dos preguntas:

¿Cómo el Hombre puede afectar al medio ambiente?

- Los potenciales impactos que puede causar.
- uso sustentable de los recursos geológicos: agua subterránea, minerales y energía.

¿Cómo el medio ambiente puede afectar al Hombre?

- Peligros geológicos: volcánicos, sísmicos, remociones en masa, inundaciones.

# Conceptos Básicos:

• **Peligro o amenaza:** Evento físico potencialmente catastrófico, de origen natural o antrópico

• Un peligro natural es un proceso.

• Los niveles de peligrosidad son independientes de la presencia del hombre/ del desarrollo.

• La mayoría de los peligros naturales no se pueden evitar.

• Se caracterizan por el tipo, localización, distribución, magnitud o intensidad y probabilidad.

• Tradicionalmente se les ha asignado una probabilidad de ocurrencia.

(ISDR- *International Strategy for Disaster Reduction*)

## ... y más definiciones ...

- **Susceptibilidad:** Capacidad o potencialidad de una unidad geológica o geomorfológica de sufrir un proceso geológico determinado.
- **Vulnerabilidad:** Un conjunto de condiciones y procesos provenientes de factores físicos, sociales, económicos y ambientales, que aumentan la susceptibilidad de una comunidad a los peligros. (*Living With Risk*, 2002). Es comparable a la razón pérdida/ destrucción que resulta de un tipo y grado de peligro

... y más ...

- **Riesgo:** Probabilidad de daños o pérdidas previstas (vidas humanas, heridos, interrupción de la actividad económica o perjuicio al ambiente) que resultan de las interacciones entre peligro y vulnerabilidad

El riesgo se representa por la ecuación:

$$\text{RIESGO} = \text{PELIGRO} \times \text{VULNERABILIDAD}$$

# ... las últimas.

- **Capacidad:** Factores positivos, que incrementan la habilidad de las personas y de la sociedad donde viven, para afrontar los peligros con eficacia, aumentando su resistencia o reduciendo de alguna manera su susceptibilidad.
- **Catástrofe:** Es una repentina y violenta perturbación de la naturaleza, atribuida a causas naturales excepcionales, que afecta las condiciones físicas de la superficie terrestre.
- **Desastre:** interrupción grave en el funcionamiento de una comunidad; puede causar pérdidas masivas de vidas humanas, materiales, económicas y medio-ambientales, que excedan la capacidad de la comunidad afectada para hacer frente con sus propios recursos (*Living With Risk, 2002*).

# Peligros Geológicos

## • Sísmicos

- Suelos de Fundación
- Fallas Activas
- Tsunamis

## • Remociones en Masa

- Flujos Detritos
- Deslizamientos
- Desprendimientos
- Subsistencia

## • Volcánicos

- Lavas
- Laháres
- Caída de Cenizas
- Flujos Piroclástos

## • Inundaciones

- Desborde Cauces
- Afloramiento Agua Subterránea

# Peligro sísmico.

- En la mayor parte de Chile se asume un alto peligro sísmico.
- Debido a sus características tectónicas.
- Los sismos se caracterizan por:

**Magnitud:** Medida de la energía liberada.

**Intensidad:** Medida de los efectos producidos por el sismo.

“Un sismo posee solamente una medida de magnitud y varias observaciones de intensidad”.



# Zonas sismogénicas:

En Chile se reconocen principalmente tres tipos de sismos:

a. **De subducción** de mayor importancia

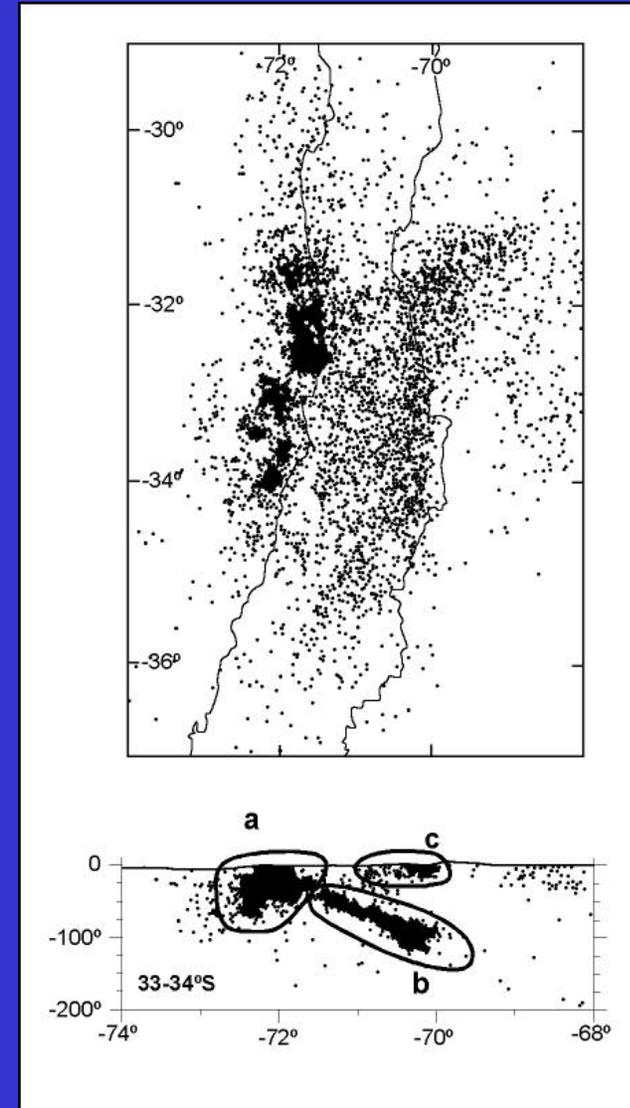
Ej: Valparaíso 1985

b. **Intraplaca** de prof. Intermedia (prof. >50 km)

Ej: Chillán 1939 y Calama 1950

c. **Corticales** (prof. <20 km)

Ej: Las Melosas 1958, Talca 2004



# Peligro sísmico

- Depende de:

**Características del subsuelo y la respuesta de éstos al paso de los trenes de ondas sísmicas** (Litología de rocas y sedimentos no consolidados, Espesor de unidades litológicas, Presencia de fallas activas, Efectos topográficos, **Efectos secundarios**)



**Parámetros del sismo.**  
(Magnitud, ubicación, duración, etc)

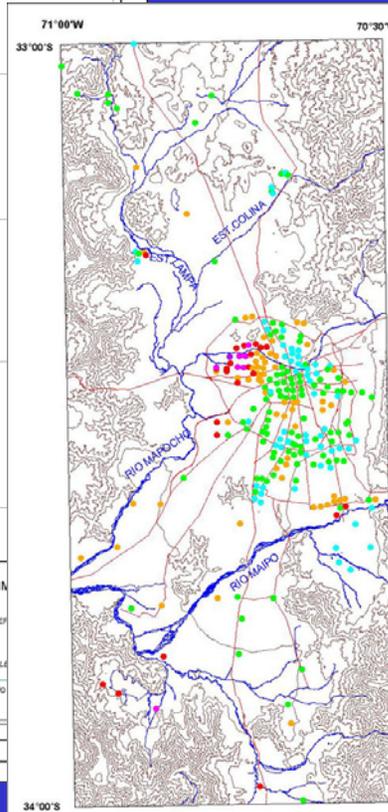
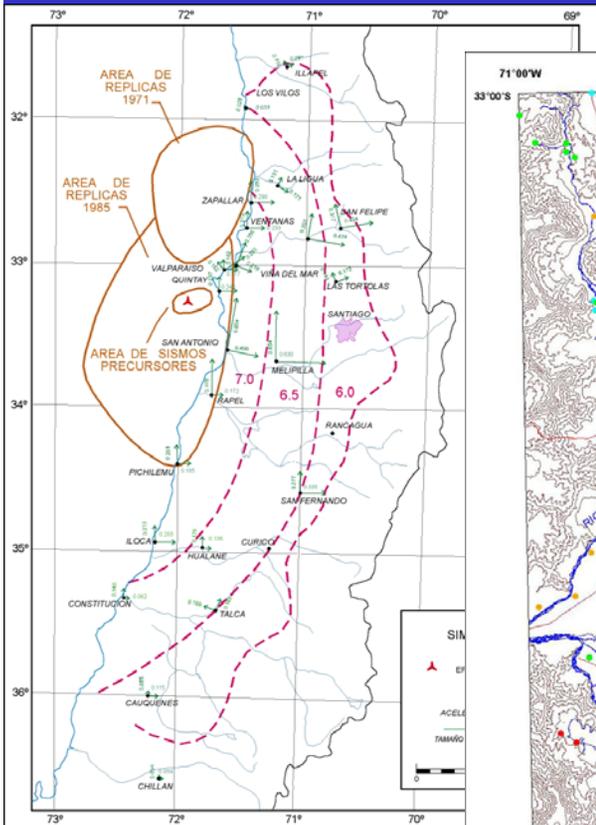
# Fallas activas.



Se consideran fallas activas aquellas que han tenido actividad durante el Holoceno

Falla Potencialmente Activa, aquella que ha tenido actividad durante el Pleistoceno.

# RESPUESTA SISMICA



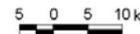
## INTENSIDADES SISMICAS PARA EL TERREMOTO DE 1985

Grados de intensidad (MKS)

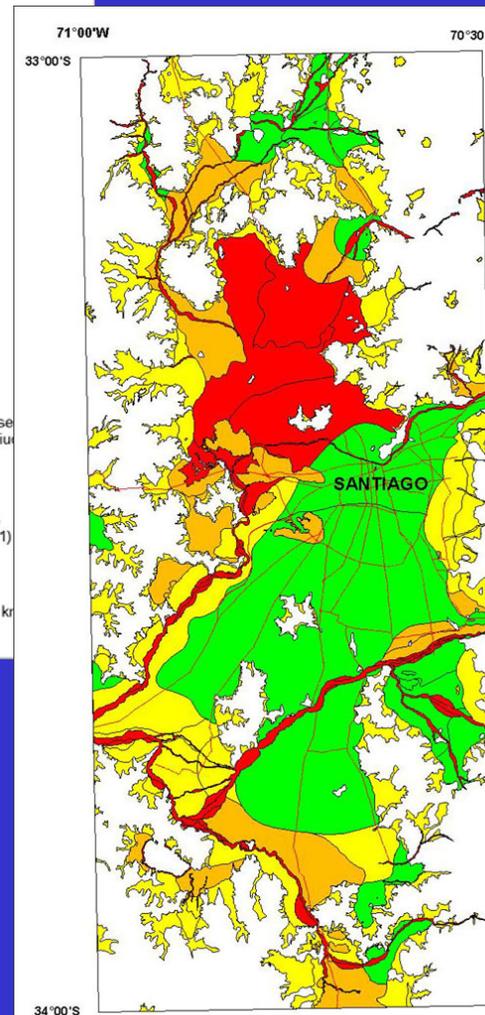


\* Cada punto representa área de 1 km<sup>2</sup> en ciudades y pueblos

\* Datos recopilados por Menéndez (1991)



## RESPUESTA SISMICA DE LA CUENCA DE SANTIAGO



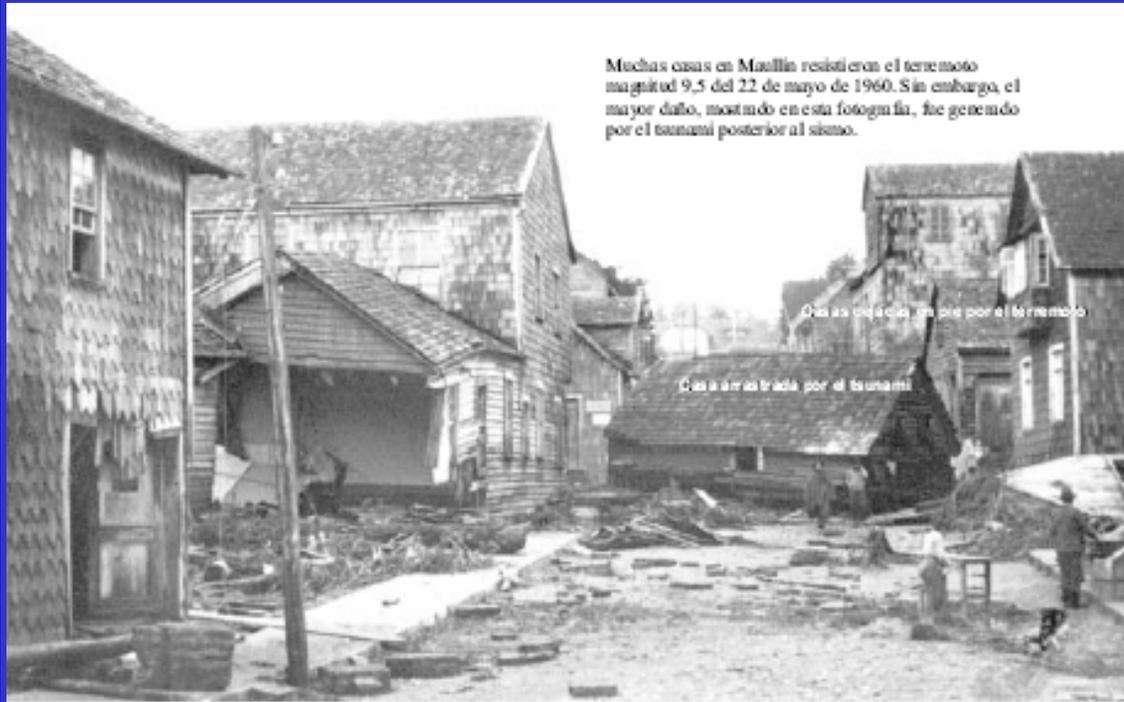
\* Intensidad sísmica asociada al terremoto de marzo de 1985.



+ TERREMOTOS HISTÓRICOS  
+ INTENSIDADES O GRADO DE DAÑOS  
+ LITOLOGÍAS

➔ **RESPUESTA SÍSMICA ESTIMADA**

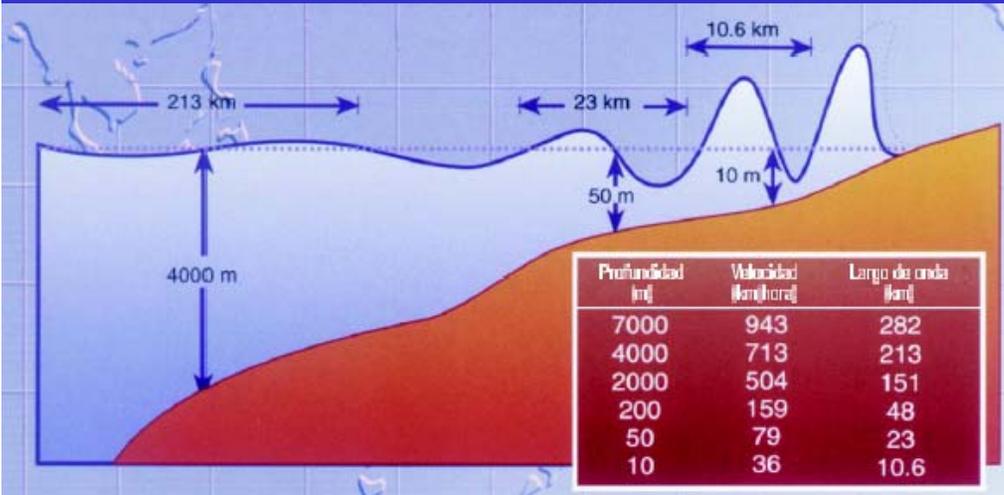
# Tsunamis



- Los tsunamis son procesos que se generan en respuesta a perturbaciones intensas y de corta duración en masas de agua.
- Costa chilena afectada frecuentemente por tsunamis generados por sismos de subducción.

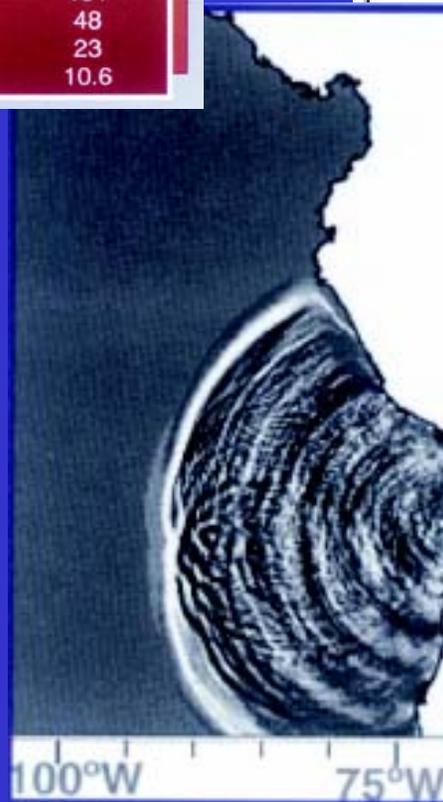


# Tsunamis



• Los Tsunamis tienen otras causas:

Por ejemplo : Erupciones volcánicas o remociones en masa.



# Remociones en masa

- Proceso de movilización lenta o rápida de un determinado volumen de suelo, roca, o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores.
- Su origen se asocia, intrínsecamente, a procesos gravitacionales, en los que una porción del terreno se desplaza hasta una cota o nivel inferior a la original.

# Factores.

**CONDICIONANTES:** Factores que interactúan favoreciendo la ocurrencia de fenómenos de remociones en masa. Ej:

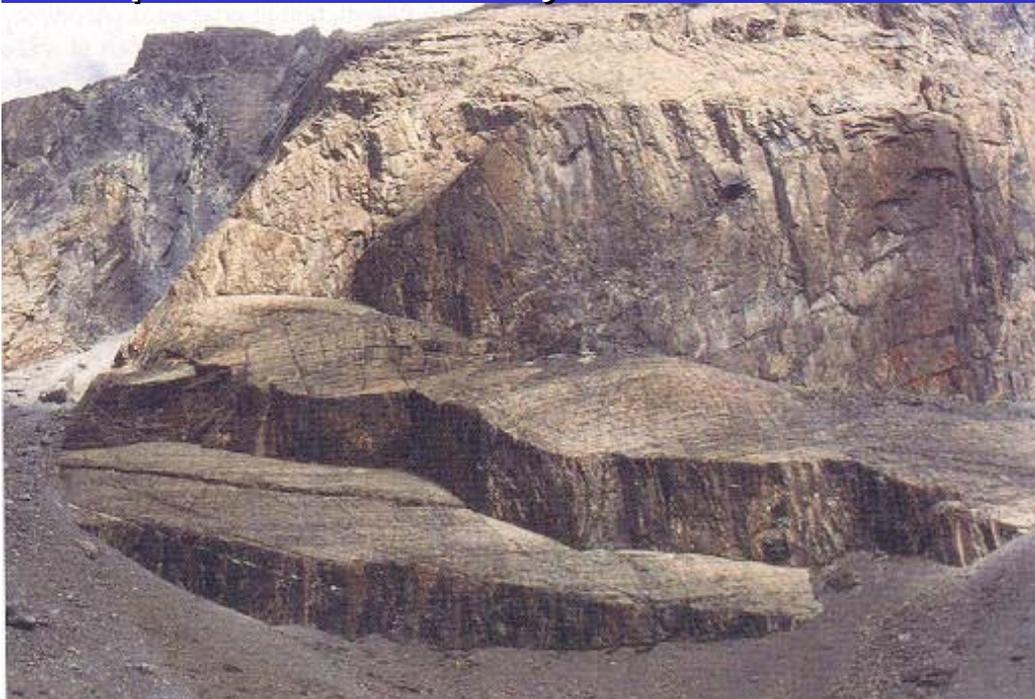
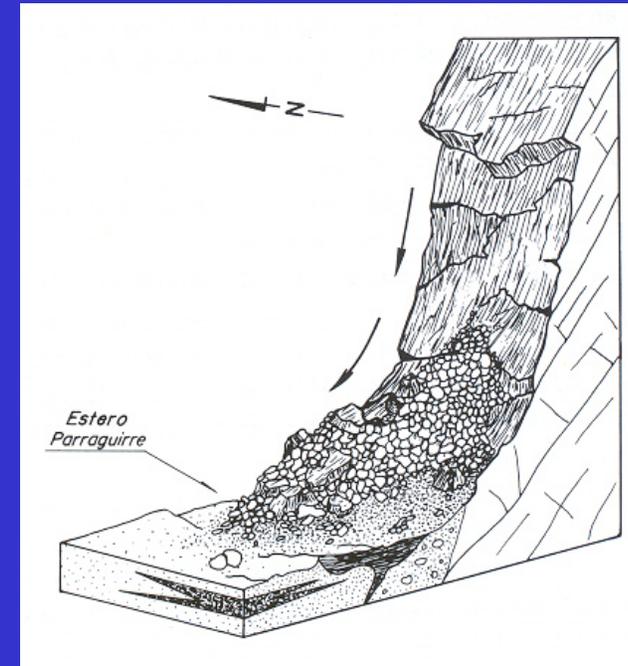
- Geología (Litología, Estructuras)
- Geomorfología (Pendiente)
- Clima (Precipitaciones)

**DESENCADENANTES (o “gatillantes”):** Factores externos que estimulan la generación casi inmediata de una remoción en masa. Ej:

- Lluvias Intensas
- Sismos

# Desprendimientos.

“Bloques de rocas o suelo se “desprenden” a partir de laderas de fuertes pendientes, como cornisas o acantilados rocosos, que luego describen una caída libre, al menos en parte de su trayectoria”



# Reptación

- Suelos residuales, rocas blandas y/o coluvios con abundante matriz arcillosa
- Deformación elasto-plástica
- Troncos inclinados
- Muros y cercos deformados
- Suelo ondulado

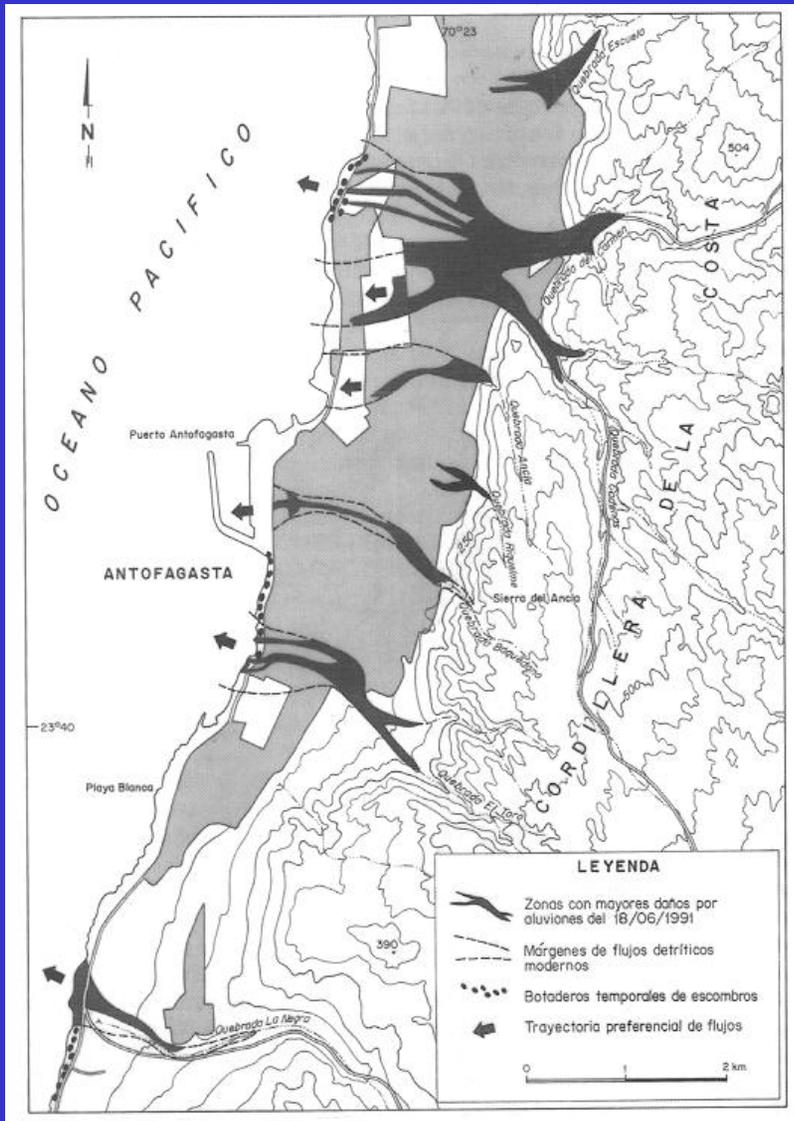


# Flujos de detritos

“Ocurren cuando una masa de sedimentos con mala clasificación, agitados y saturados con agua, se movilizan pendiente abajo como flujos viscosos de sedimentos concentrados”

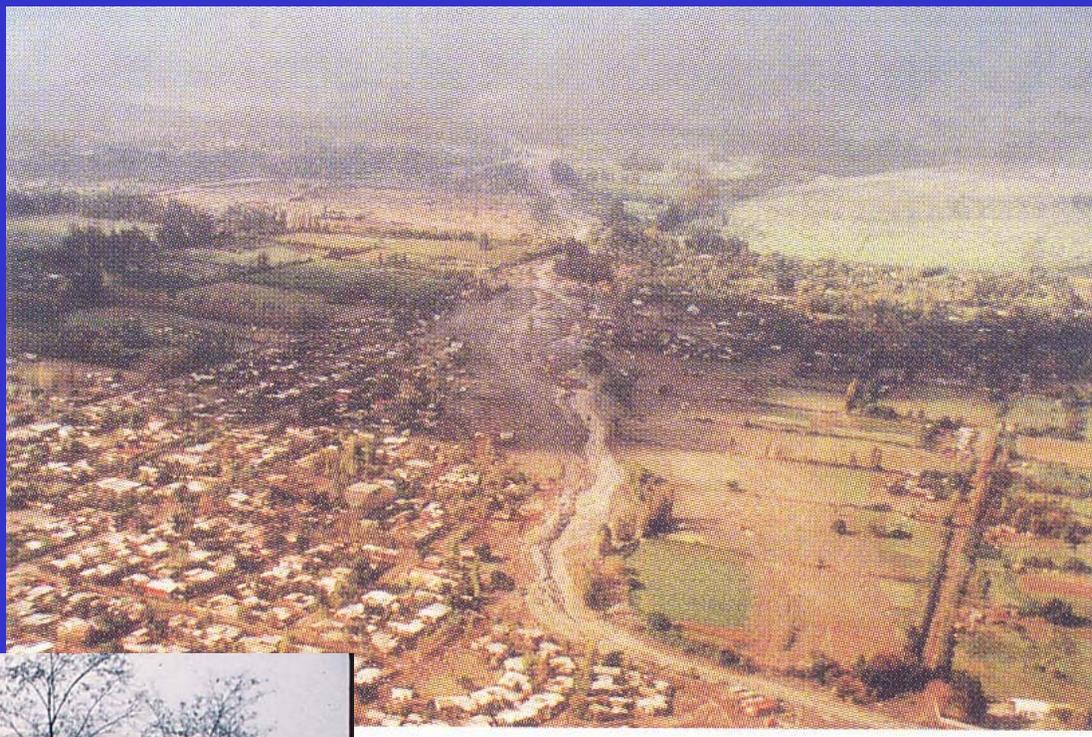


# Casos en Chile



- Antofagasta, 1991.
- 110 Víctimas fatales

- Santiago, 1993
- 35 víctimas fatales.





Frente de un Flujo de Detritos, Suiza, 1987

Gentileza J. Hanisch



## Venezuela 2000

(courtesy: Lopez et al. 2003)



**Venezuela 2001**  
(after Lopez et al. 2003)





**Venezuela 2001**  
(after Lopez et al. 2003)





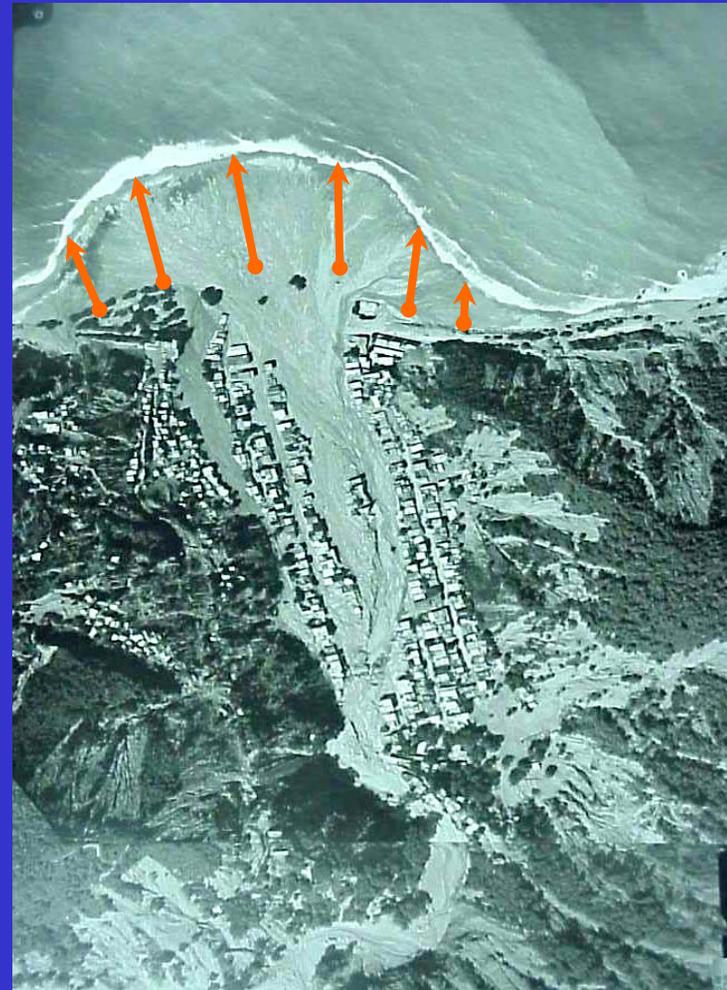




# Carmen de Uria, Venezuela



**March 1999**

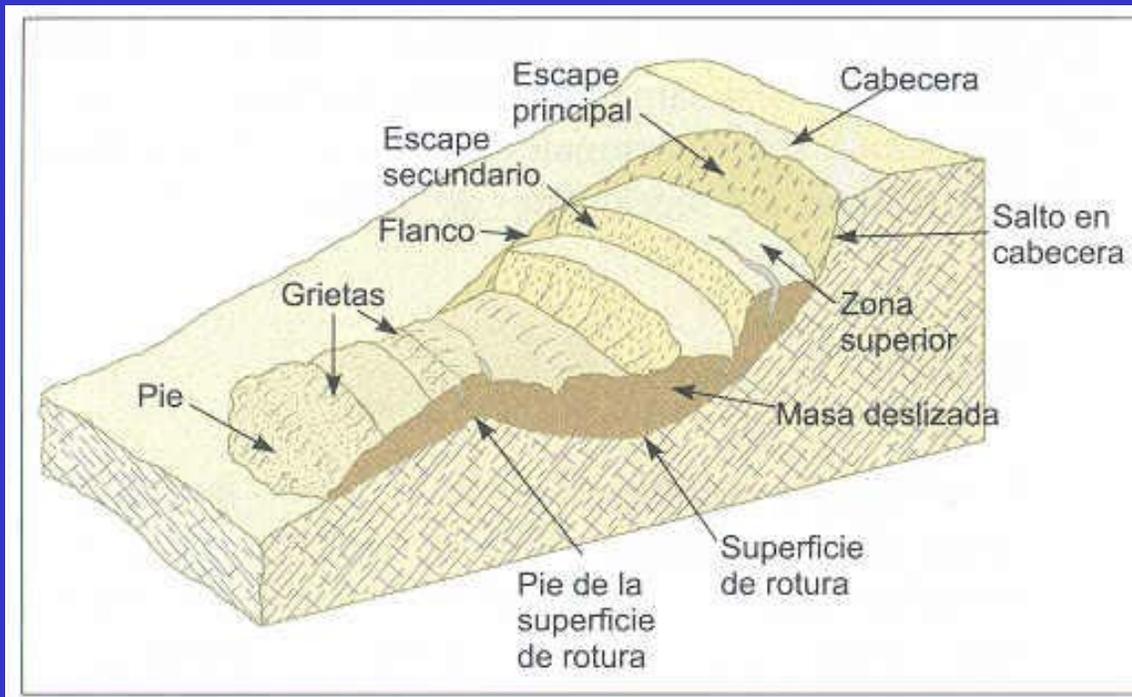


**December 1999**

(after Lopez et al. 2003)

# Deslizamientos

“Las masas de suelo o roca se deslizan principalmente a lo largo de superficies de ruptura, al superarse la resistencia al corte, generándose el movimiento del material en su conjunto ”



## Tipos de rotura

- Plana o Laminar
- Curva
- Curva profunda
- Poligonal



Obstrucción río San Pedro y ascenso lago Riñihue, 22 de mayo de 1960.

**Multirrotacional**



Deslizamiento laminar en Aysén

# Subsidencia o Hundimiento

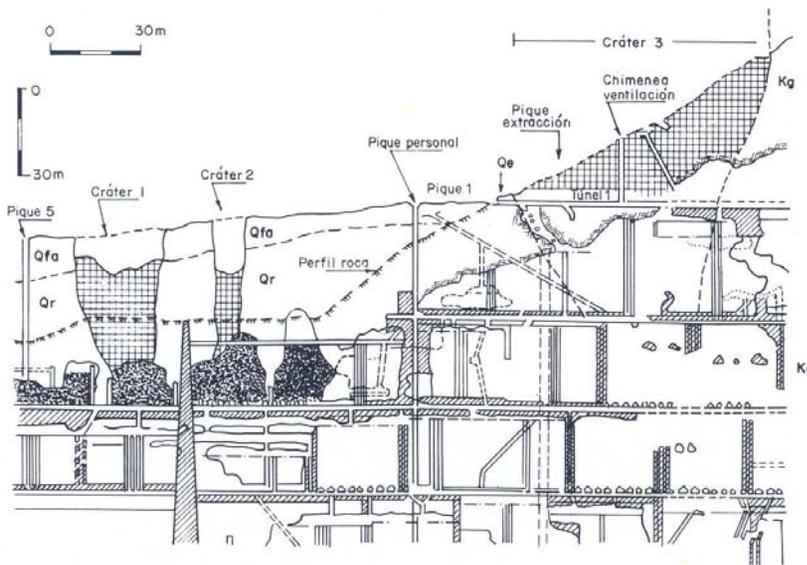
“Movimiento brusco en la vertical, más o menos puntual, de una porción del terreno”

**DISOLUCION DE YESO**



(Hauser, 1993)

(Hauser, 1993)



**LABORES MINERAS**

# Artificial



Flujos por colapso de tranques de relave  
Mina Cerro Negro, sismo 1985

## ***Peligros Volcánicos***

### ***Erupciones más fatales desde 1500 DC***

<i><b>Volcán</b></i>	<i><b>Año</b></i>	<i><b>IEV</b></i>	<i><b>Pérdidas (causas)</b></i>
Nevado del Ruíz, Colombia	1985	3	<b>25,000</b> (flujo de detritos, lahar)
Mont Pelee, Martinica	1902	4	<b>40,000</b> (flujo piroclástico 29,000)
Santa María, Guatemala	1902	5	<b>6,000</b> (flujo piroclástico)
Krakatoa, Indonesia	1883	6	<b>36,000</b> (tsunami)
Tambora, Indonesia	1815	7	<b>92,000</b> (flujo piroclástico 12,000; hambruna 80,000)
Unzen, Japón	1792	3	<b>15,000</b> (tsunami)
Lakagigar (Laki), Islandia	1783	4	<b>9,000</b> (hambruna)
Kelut, Indonesia	1586	4	<b>10,000</b> (flujo de detritos, lahar)

**Fuente: Tilling 1989; EM-DAT (OFDA/CRED International Disaster Database)**

# Peligros Volcánicos mas frecuentes en los Andes del Sur.

1. Caída de piroclastos
2. Corrientes laháricas
3. Corrientes de lava
4. Gases volcánicos tóxicos
5. Flujos de piroclastos

# Caída de piroclastos



# Lahares.

Producidos por fusión violenta de nieve y hielo.

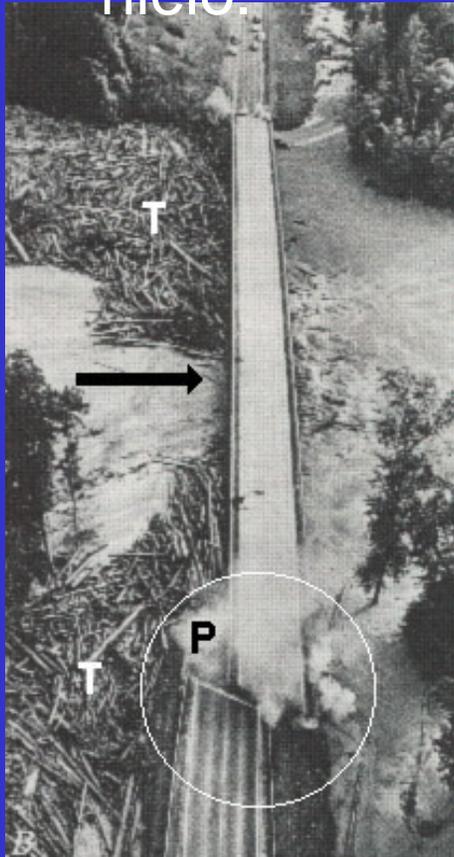


Figura 30. Destrucción casi total del pueblo de Coñaripe el día 3 de Marzo de 1964 por lahares (Foto: Diario Austral).



Figura 31. Pobladores de Coñaripe buscando los cuerpos de las 23 víctimas fatales causadas por los



Figura 26. Destrucción del Puente Correntoso entre Villarrica y Pucón por lahares ocurrido durante la erupción de 1971.



Coñaripe, 1964 y 1971

# Corrientes de lava

- Son destructivas, pero lentas



# Gases tóxicos

Ejemplos:

- $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $\text{SO}_2$ )
- $\text{HCl}$
- $\text{HF}$

El  $\text{HF}$  precipita con las cenizas y se concentra en la vegetación. El  $\text{F}$  es altamente tóxico y letal para los animales herbívoros

# Flujos Piroclásticos

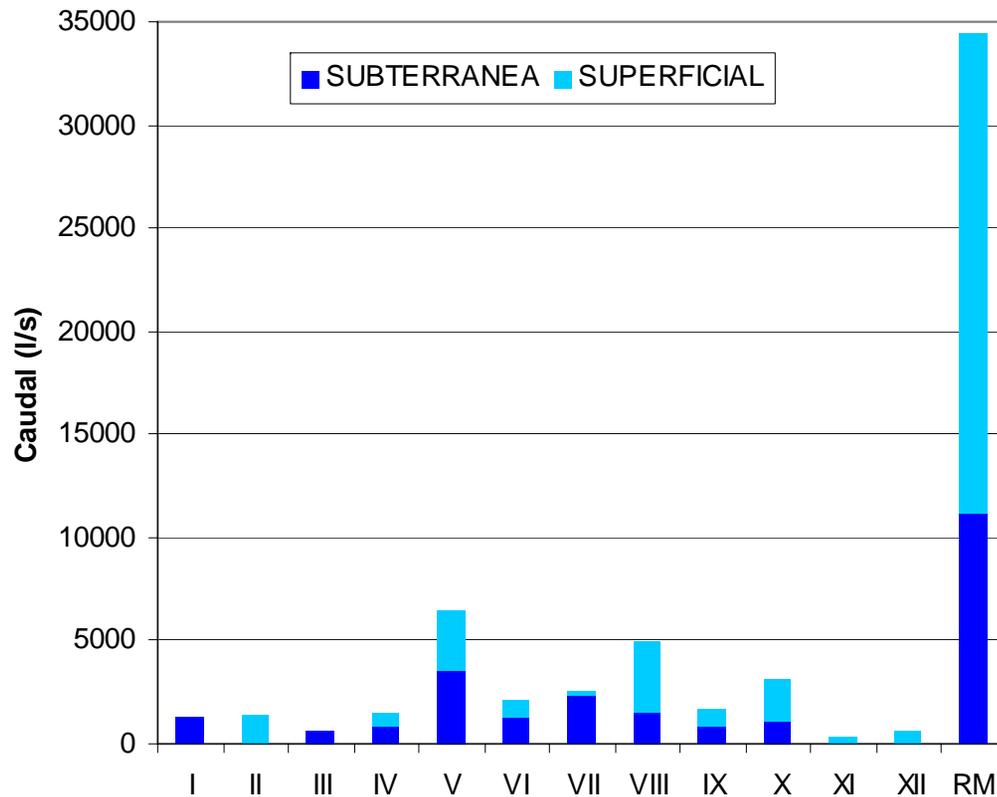
- Corresponden a los procesos más destructivos



# IMPORTANCIA DEL AGUA SUBTERRANEA

## Consumo de Agua Potable Urbana, según tipo de fuente (1995)

Fuente: Revista Vertiente N°2, 1997, ALHSUD



- Uno de los recursos naturales más importantes el desarrollo del país.
- Aguas subterráneas ~40% del agua potable urbana
- En ámbito rural más del 77% del consumo total
- Aguas superficiales ampliamente explotadas y cada vez más escasas
- Recursos hídricos subterráneos atractivos para satisfacer demanda

## SUSTENTABILIDAD DEL RECURSO HIDRICO SUBTERRANEO

**Explotación y uso** de agua subterránea de una manera tal que puede ser **mantenida por un tiempo indefinido** sin causar consecuencias inaceptables en el ambiente, la sociedad y la economía.



### **ESTRATEGIA A LARGO PLAZO**

- Pueden ser recursos renovables a no - renovables
- Recargas y flujos pueden tomar tiempos muy largos
- Los efectos de sobreexplotación o contaminación tienden a manifestarse lentamente con el tiempo

# CONCEPTOS BASICOS



RECARGA (infiltración de precipitaciones)

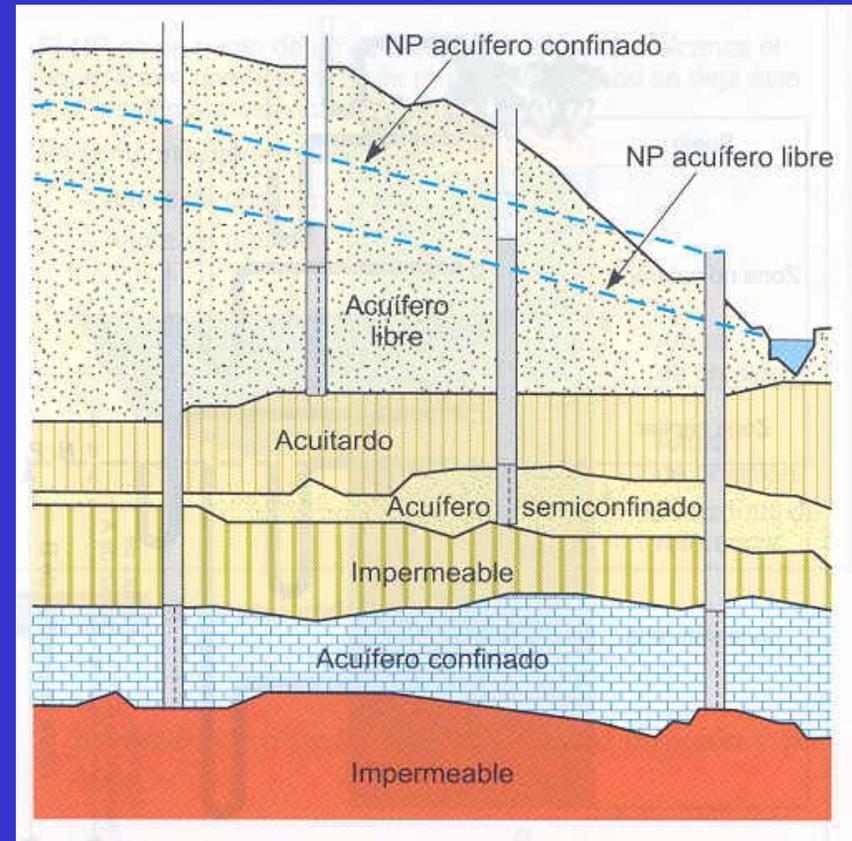
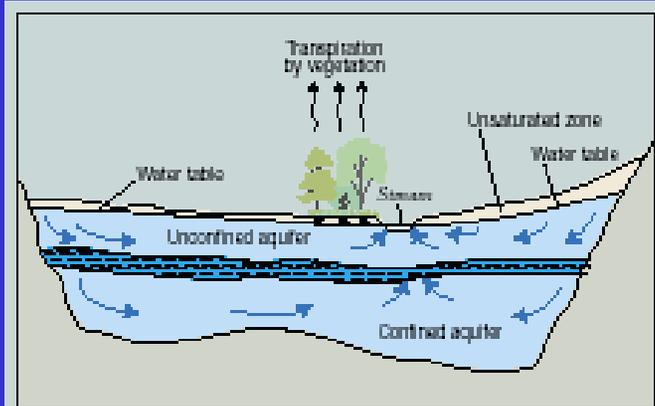
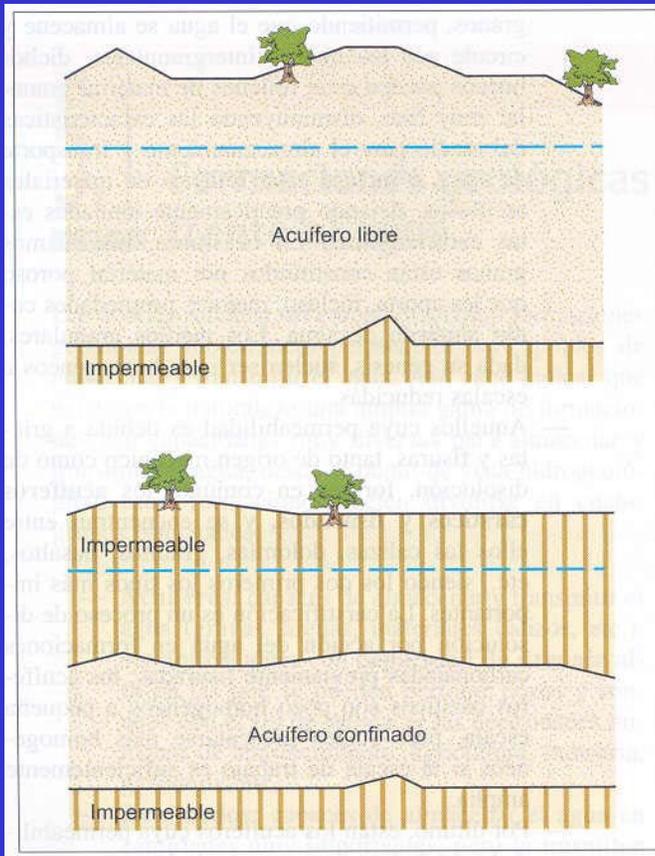
DESCARGA (evapo-transpiración, captaciones)

Ríos y otros cuerpos de agua superficial pueden ser recarga o descarga

- Los **acuíferos** se caracterizan por ser permeables al agua, es decir, por permitir el paso de ésta a través de ellos.
- Los **acuicludos** o **acuicierres** (del latín *claudere* = cerrar) son formaciones geológicas impermeables que contienen agua, pero que no la transmiten, haciendo de este modo imposible su explotación. Ej: arcillas, que a pesar de contener enormes cantidades de agua (>50% de su volumen) no la drenan ni la dejan pasar.

- Los **acuitardos** (del latín tardare = retardar) son formaciones geológicas semipermeables que, conteniendo agua en gran cantidad, la transmiten muy lentamente. Ej: Arcillas limosas y arenosas.
- Los **acuífugos** (del latín fugere = huir) son aquellas formaciones geológicas impermeables que no contienen agua ni la pueden transmitir. Ej: Macizos rocosos no alterados.

# TIPO DE ACUIFERO



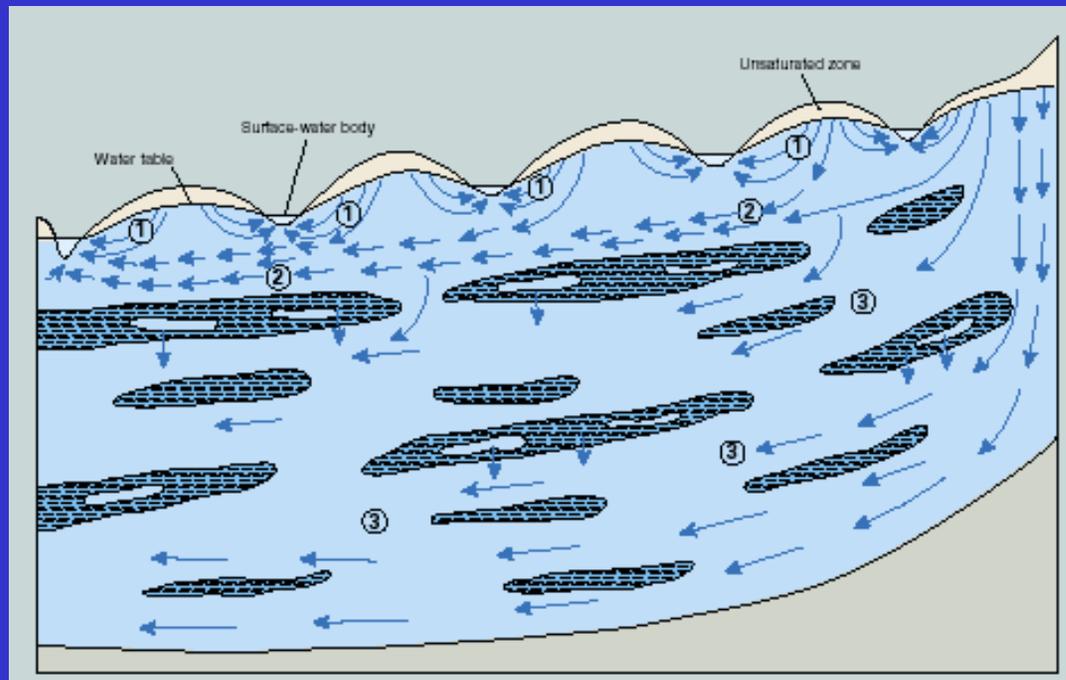
**Acuífero:** Formación geológica que contiene recursos de agua subterránea usables

- ☀ Libre
- ☀ Confinado
- ☀ Semiconfinado

# TIEMPO DE RESIDENCIA

La velocidad del agua subterránea es muy baja (1 metro por día, año o década)

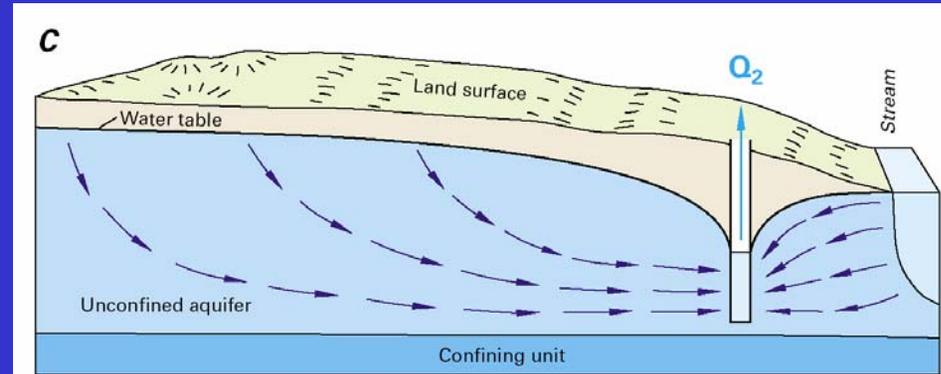
La edad (tiempo desde la recarga) del agua subterránea varía en diferentes partes del sistema de flujos



# IMPACTOS SOBRE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

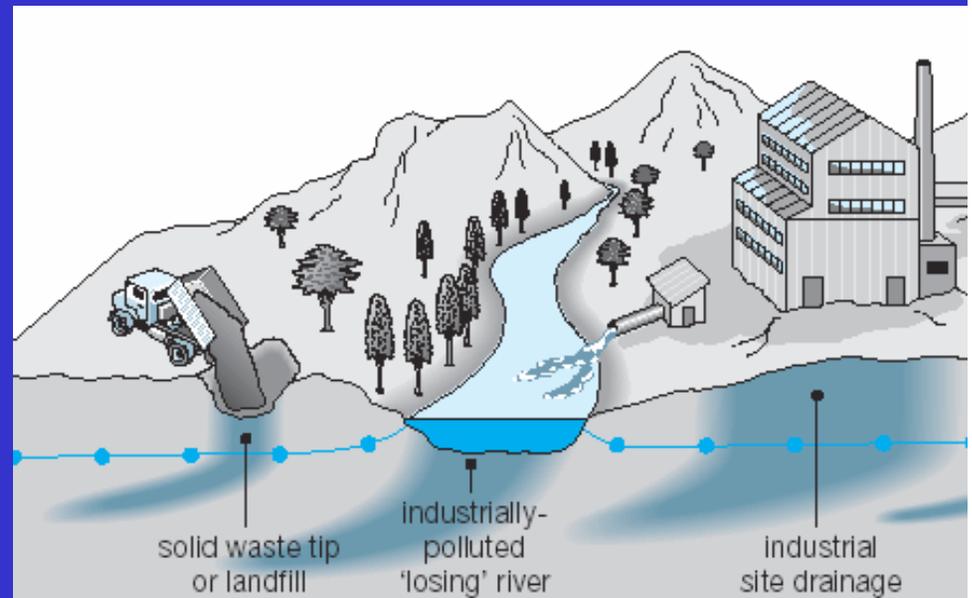
## SOBRE - EXPLOTACION

- ➡ Descenso Niveles
- ➡ Impacto sobre Humedales



## CONTAMINACION

- ➡ Natural
- ➡ Antrópica

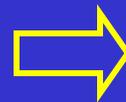


# SOBRE - EXPLOTACION



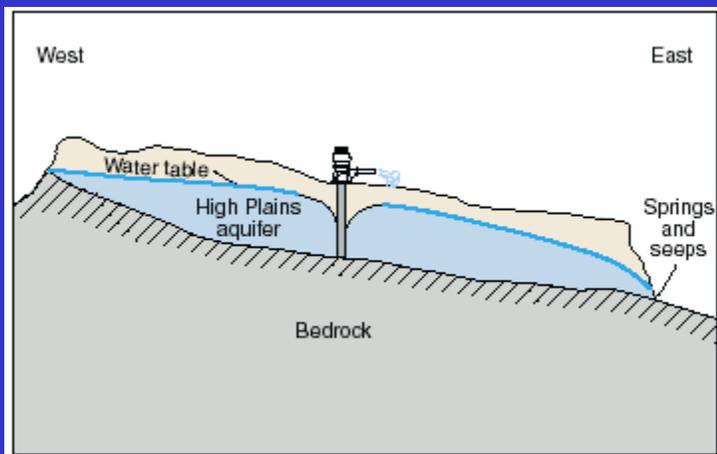
BALANCE HIDRICO  $\Rightarrow$  EQUILIBRIO

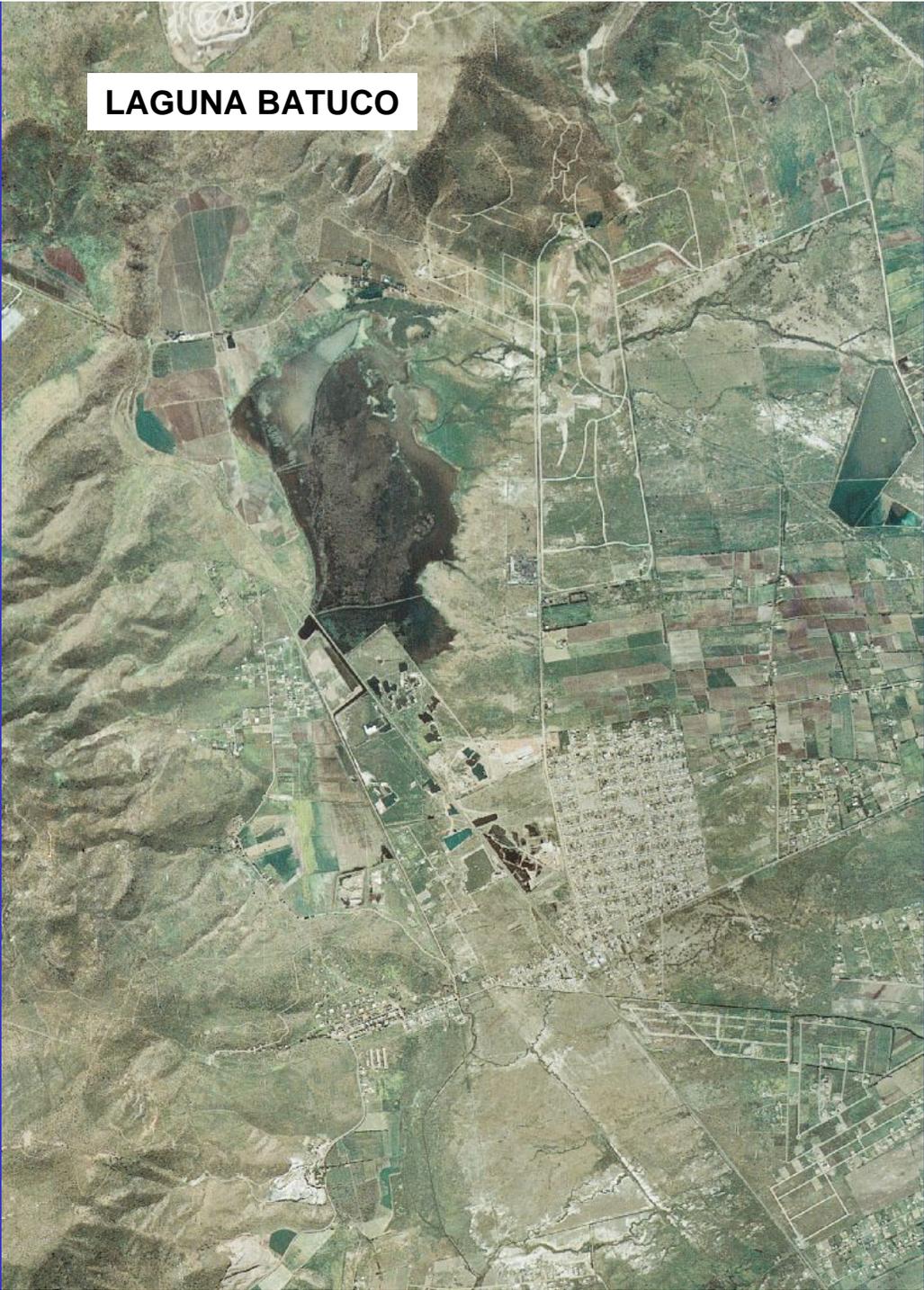
Si  $DESCARGA > RECARGA$



Al largo plazo disminuirán:

- Niveles freáticos
- Disponibilidad del recurso
- Descarga a ríos, lagos, etc
- Impacto sobre humedales





## LAGUNA BATUCO

## FACTORES ANTROPICOS QUE AFECTAN A LA LAGUNA BATUCO

- ☀️ Pozos extracción arcilla (exposición y evaporación)
- ☀️ Canales y drenes artificiales
- ☀️ Presión urbana (PRMS, Ley 3.516)

## EFFECTOS

- ➡️ Disminución nivel freático
- ➡️ Menor superficie de laguna
- ➡️ Posible desaparición (?)

“Laguna depende de las aguas subterráneas para su existencia”

## CONSIDERACIONES

- Interacción que existe entre las aguas superficiales y subterráneas implican que muchos contaminantes puedan ser transportados desde uno hasta otro sistema
- Una vez contaminadas las aguas subterráneas es muy difícil, por no decir imposible, descontaminarlas. Grandes volúmenes y altamente costoso
- Es muy difícil establecer con certeza la fuente que originó la contaminación de un pozo dado

# VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN

Depende de la sensibilidad que el sistema de agua subterránea presenta ante impactos humanos y/o naturales

**Vulnerabilidad intrínseca:** es definida como una función de factores hidrogeológicos, característicos de un acuífero y del suelo y materiales geológicos suprayacentes

**Vulnerabilidad específica (o integrada)** es cuando se agrega a las propiedades intrínsecas impactos específicos inducidos por usos del territorio o por contaminantes, los cuales pueden generar detrimento, en espacio y tiempo, a los usos presentes o futuros de los recursos de aguas subterráneas

- El método de **GOD** fue desarrollado en 1987 por Foster y trata de ser simple y sistemático. El método determina la vulnerabilidad intrínseca por lo que no toma en cuenta el tipo de contaminante.
- Los factores que considera el método son: La profundidad del nivel del agua, el tipo de substrato litológico y la ocurrencia del agua subterránea o confinamiento del acuífero. El método se basa en la asignación de índices entre 0, 1 y 3 variables que son
- las que nominan el acrónimo:

**G (ground water occurrence - tipo de acuífero)**

**O (overall aquifer class - litología de la cobertura)**

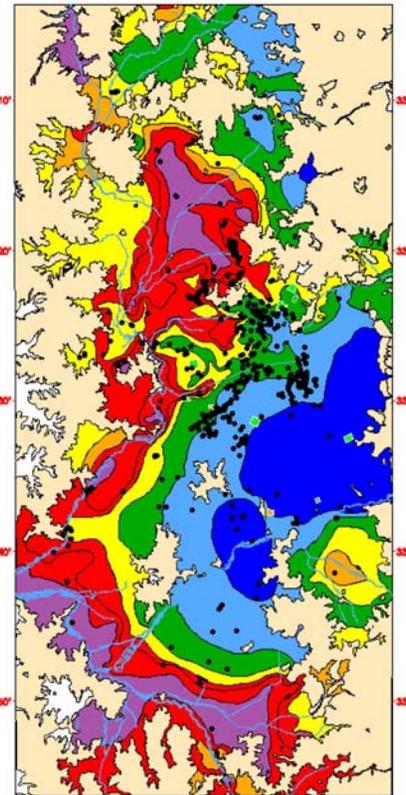
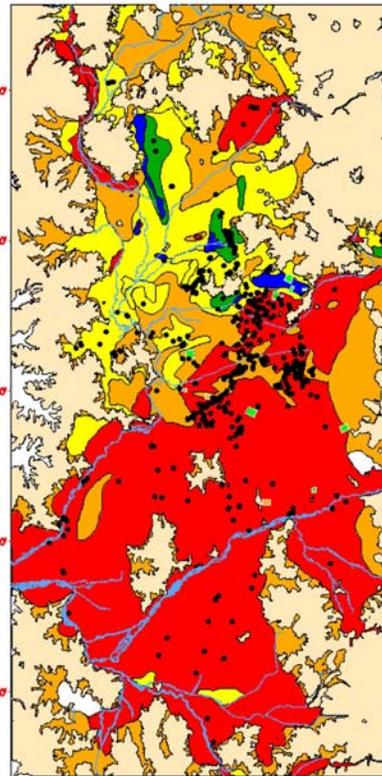
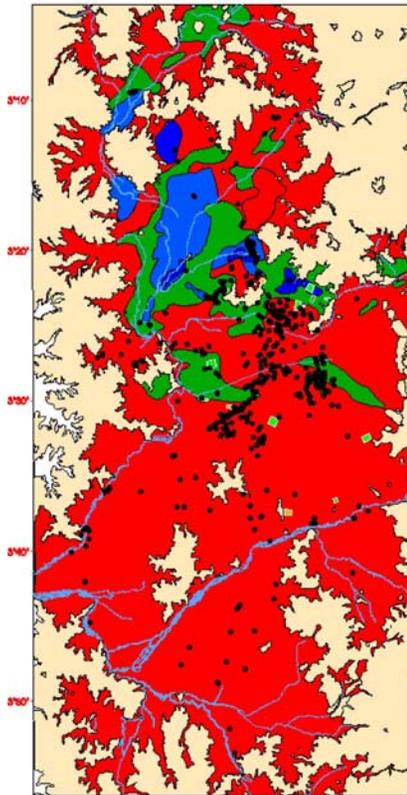
**D (depth - profundidad del agua o del acuífero)**

# CUENCA DE SANTIAGO

Parámetro G

Parámetro O

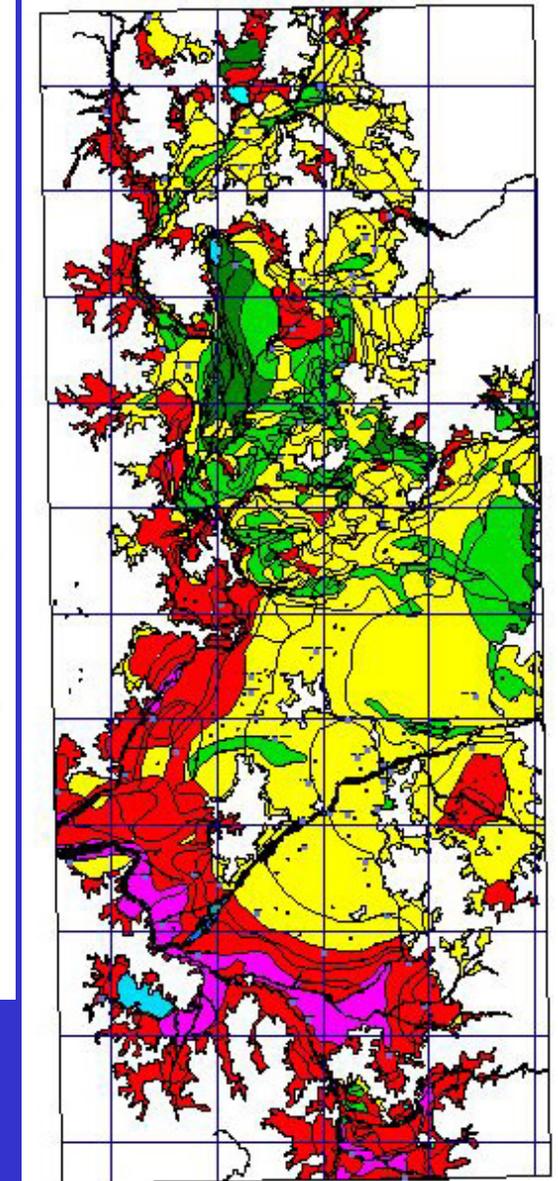
Parámetro D



- Libre
- Cubierto
- Semi Confinado
- Confinado

- Muy Grueso (Bolones, gravas y arenas)
- Grueso (Gravas y arenas con arcillas)
- Moderado (Arenas finas y limos)
- fino (Limos y limos arenoso)
- Muy fino (arcillas)

- < 2 m
- 2 - 5
- 5 - 10
- 10 - 20
- 20 - 50
- 50 - 100
- > 100



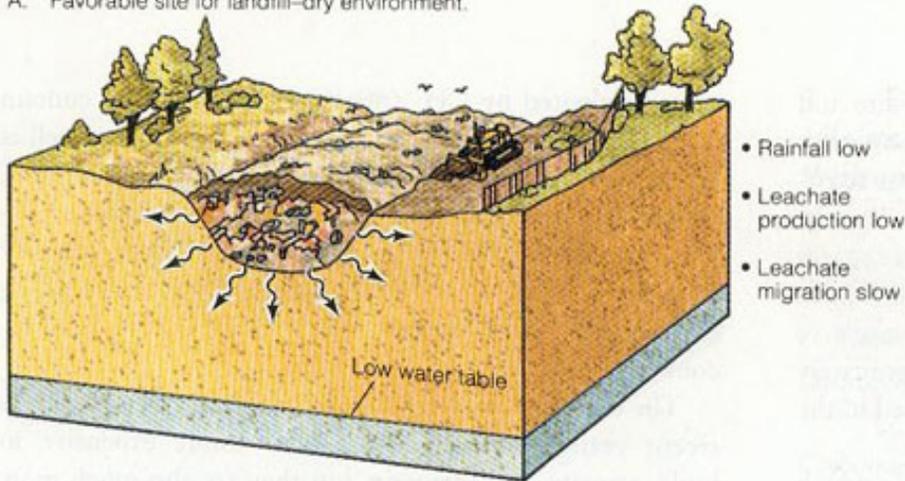
Método GOD

# SITIOS PARA RELLENOS SANITARIOS

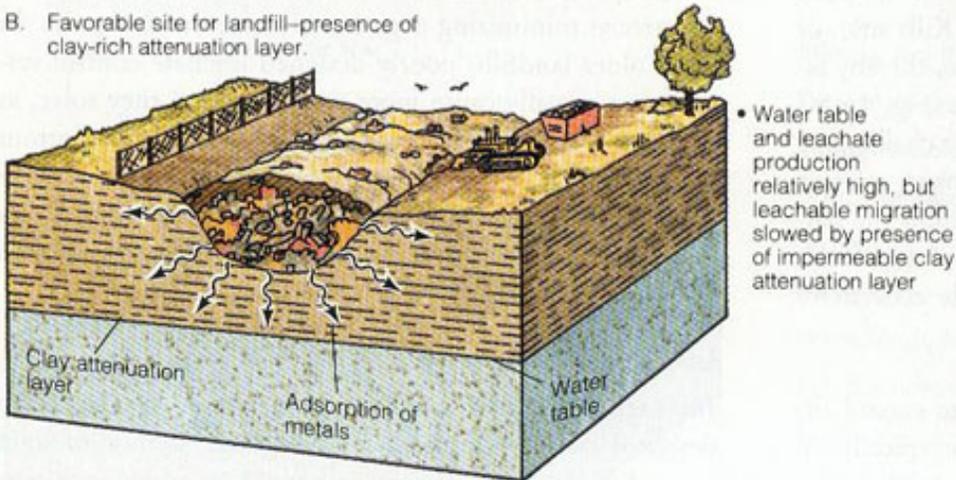
## FAVORABLE

## DESFAVORABLE

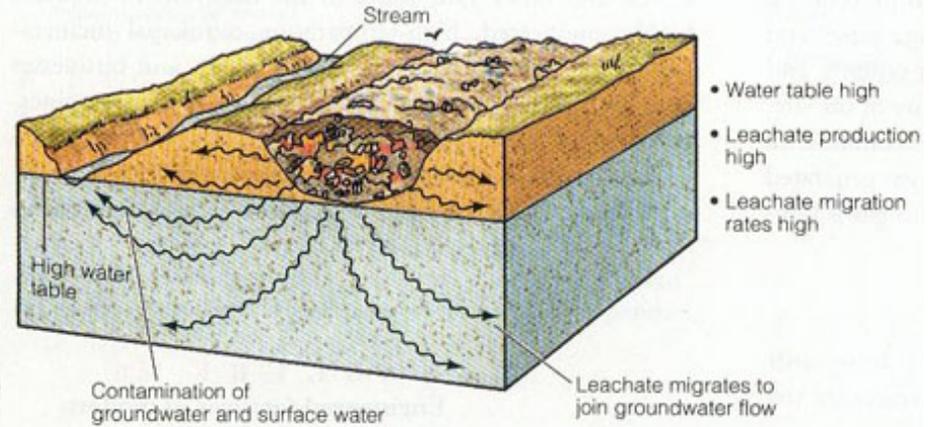
A. Favorable site for landfill—dry environment.



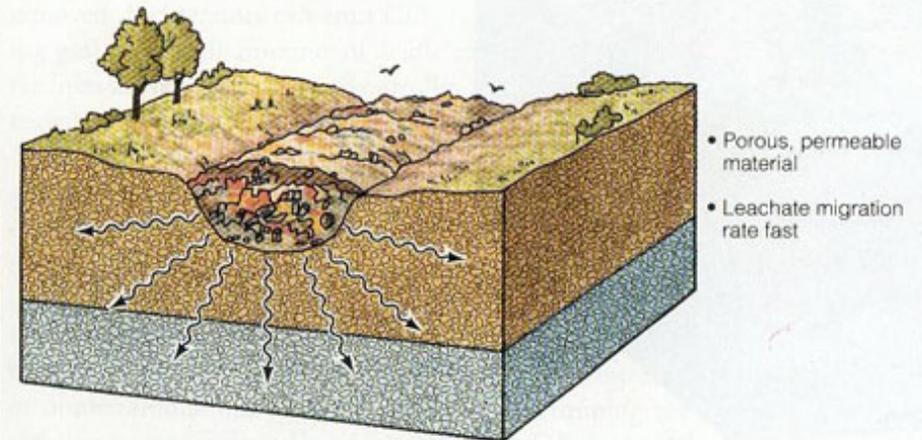
B. Favorable site for landfill—presence of clay-rich attenuation layer.



C. Unfavorable site for landfill—water table too high.



D. Unfavorable site for landfill—underlying materials too porous and permeable.



# Geología Ambiental y Aplicada son: Geologías para la Gestión Territorial

Aplicación integral de la geología en la gestión y planificación ambientalmente sustentable del territorio.

“En forma simple y comprensible por otros profesionales”





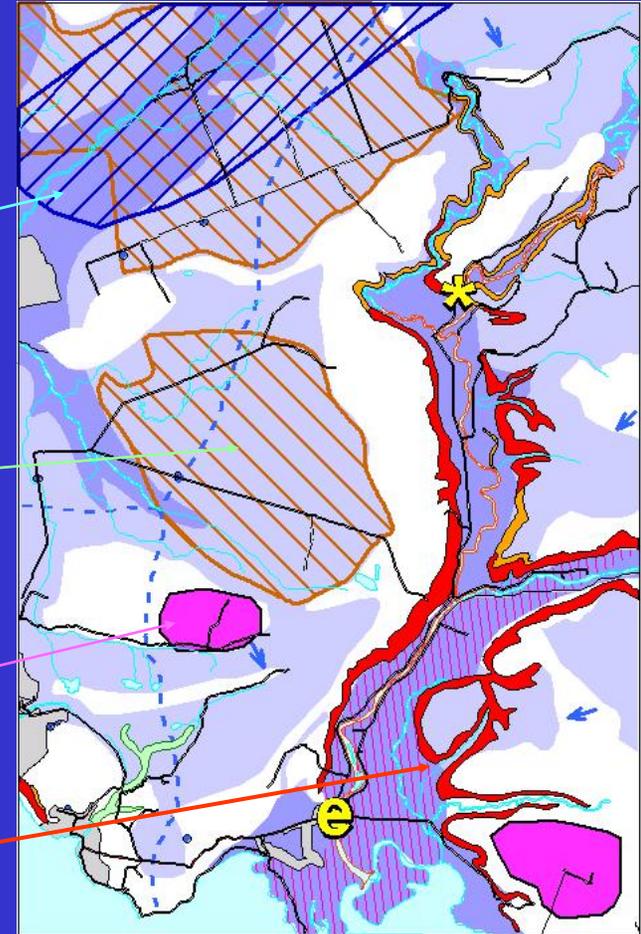
## Recomendaciones para la Planificación Territorial:

Area de protección de acuíferos

Area de protección de rec. minerales (áridos)

Area propuesta para sitio de disposición de residuos sólidos

Area de alto peligro de deslizamientos



Antinao et. al, 2000

## Legislación de importancia.

- Constitución Política del Estado (1980)

**Artículo 19.** La Constitución asegura a todas la personas:

**Inciso 8:** *El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación.*

- Ley de Bases Generales del Medio Ambiente (Ley 19.300 de 1994)

La geología no se reconoce de forma explícita en la legislación vigente.

No se olviden:

Desarrollo Sustentable es:

*“aquel desarrollo que satisface las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”*

Cumbre de la Tierra, Río de Janeiro, junio de 1992  
(Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo)