



# Simposio: Las Ciencias de la Tierra en el estudio del Agua Subterránea.



**SEMARNAT**

## El Agua Subterránea en México.

**Dr. Felipe I. Arreguín Cortés**  
**Subdirector General Técnico**

México, D.F.  
15 de febrero de 2011

# El agua subterránea es vital para el desarrollo de México

## Los acuíferos:

- ❑ Son las únicas fuentes permanentes de agua en las regiones áridas y semiáridas, que ocupan alrededor del 50% del territorio nacional.
- ❑ Sustentan el riego de unos dos millones de hectáreas (poco más de la tercera parte de la superficie total irrigada en el país) .
- ❑ Suministran cerca del 75% del volumen de agua utilizado en las ciudades, donde se concentran alrededor de 65 millones de habitantes.
- ❑ Satisfacen las demandas de agua de la gran mayoría de los desarrollos industriales, y
- ❑ Abastecen a casi toda la población rural (25 millones de habitantes) .

# Marco legal en materia hídrica

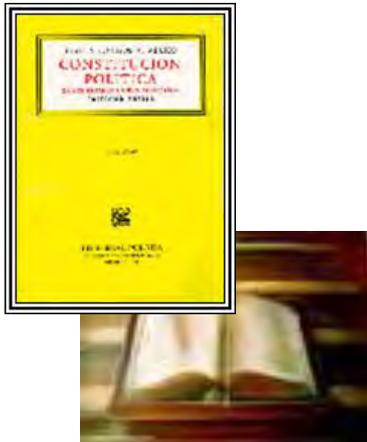


La Comisión Nacional del Agua, órgano desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, es la Autoridad en materia de aguas nacionales.



El agua subterránea es propiedad de la Nación.

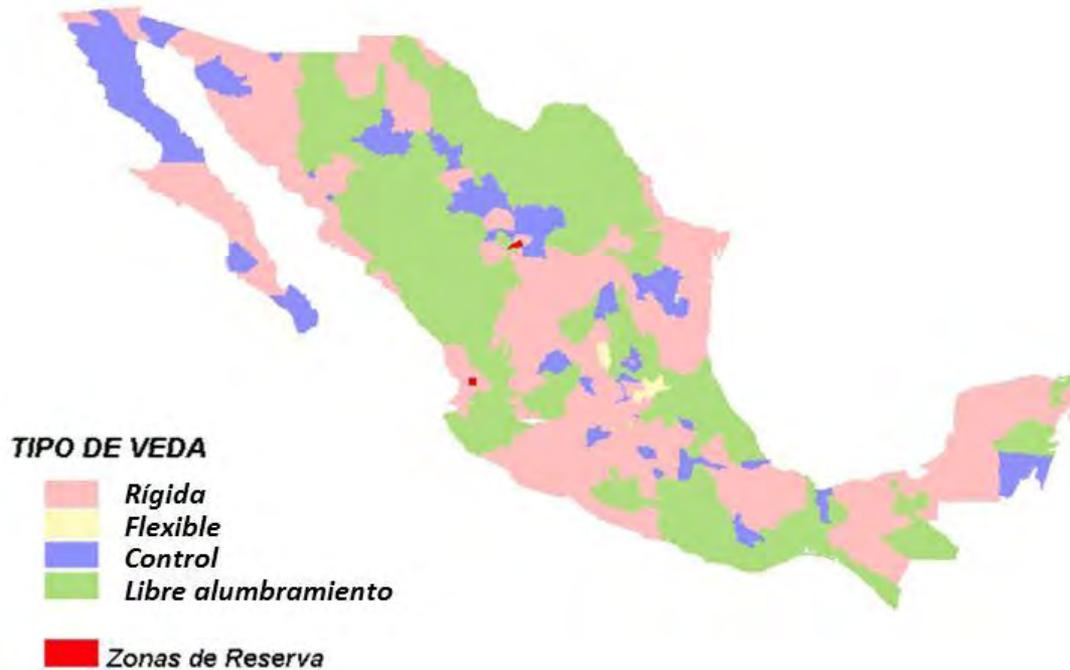
Instrumento legal que regula la administración de las aguas nacionales.



Ordenamientos complementarios:

- Plan Nacional de Desarrollo
- Programa Nacional Hídrico
- Programas Hidráulicos Regionales

# Ordenamientos legales de acuíferos



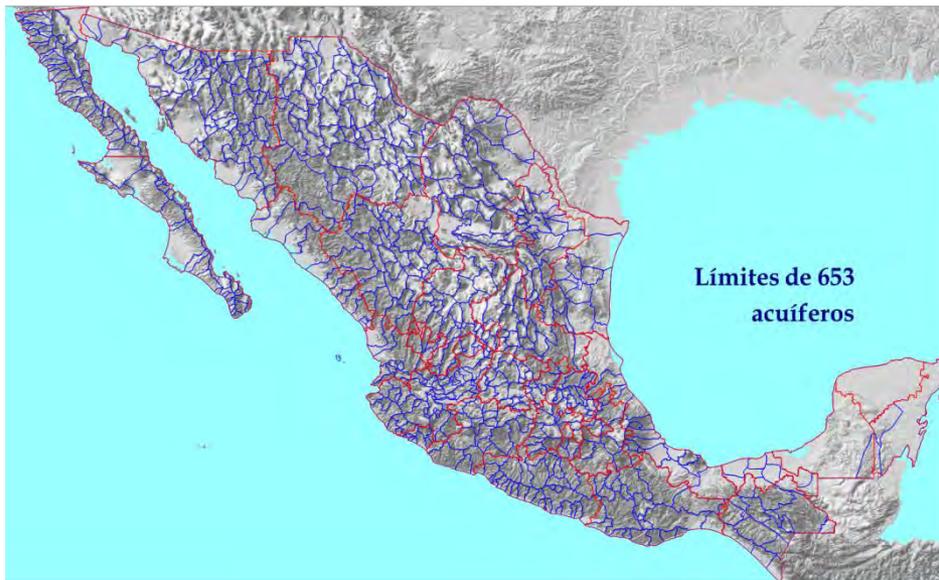
**El agua subterránea puede ser libremente alumbrada, excepto en zonas donde por causa de utilidad pública se haya establecido un ordenamiento (Reglamento, veda o reserva).**

**En esas zonas, para extraer agua del subsuelo el interesado debe contar con una concesión o asignación, otorgada por la Autoridad del Agua.**

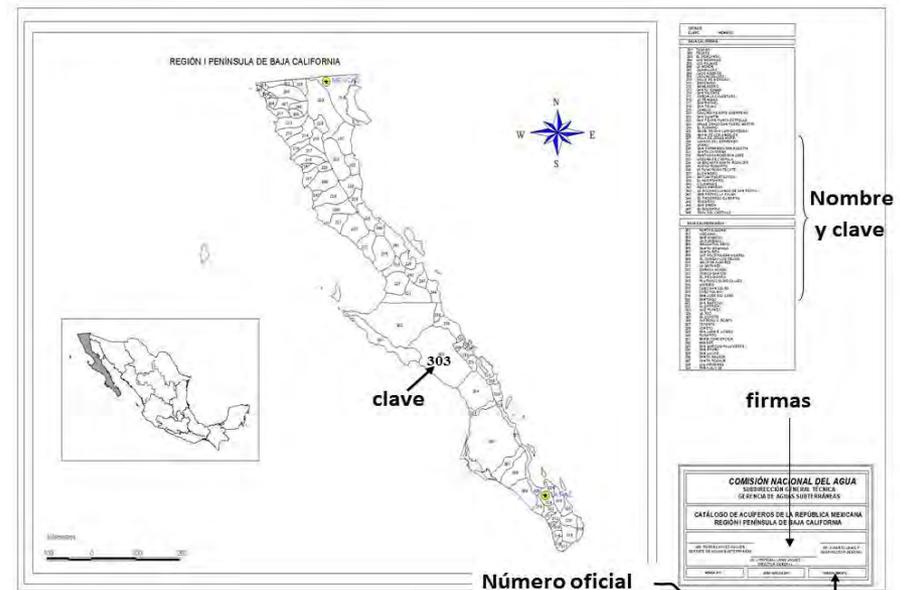
# Nombres y límites oficiales de los acuíferos

Para la administración del agua subterránea, la CONAGUA estableció un marco único de referencia mediante el “Acuerdo por el que se establece y da a conocer al público en general la denominación única de los acuíferos reconocidos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos, ... que fueron utilizados para la emisión de los títulos de concesión, asignación o permisos otorgados por este órgano desconcentrado”.

Publicado en el Diario Oficial el 5 de diciembre de 2001.



Límites de los acuíferos



Planos oficiales

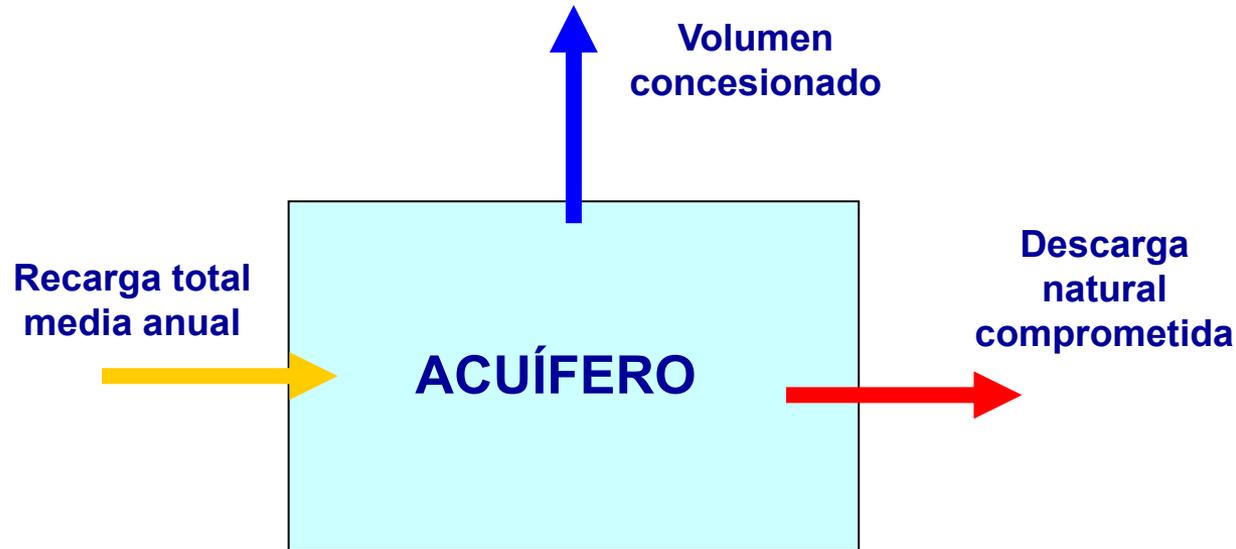
# La disponibilidad de agua subterránea

**LAN(Artículo 19 bis).- La CONAGUA tiene la atribución de realizar periódica y prioritariamente los estudios para ampliar el conocimiento de la ocurrencia del agua en el Ciclo Hidrológico.**

**LAN(Artículo 22).- “Para el otorgamiento de asignaciones y concesiones, La Comisión publicará la disponibilidad de aguas nacionales en los términos del reglamento, por cuenca, región o localidad”.**

**Para tal fin, la CONAGUA emitió la NOM-011-CNA-2000, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 17 de abril de 2002.**

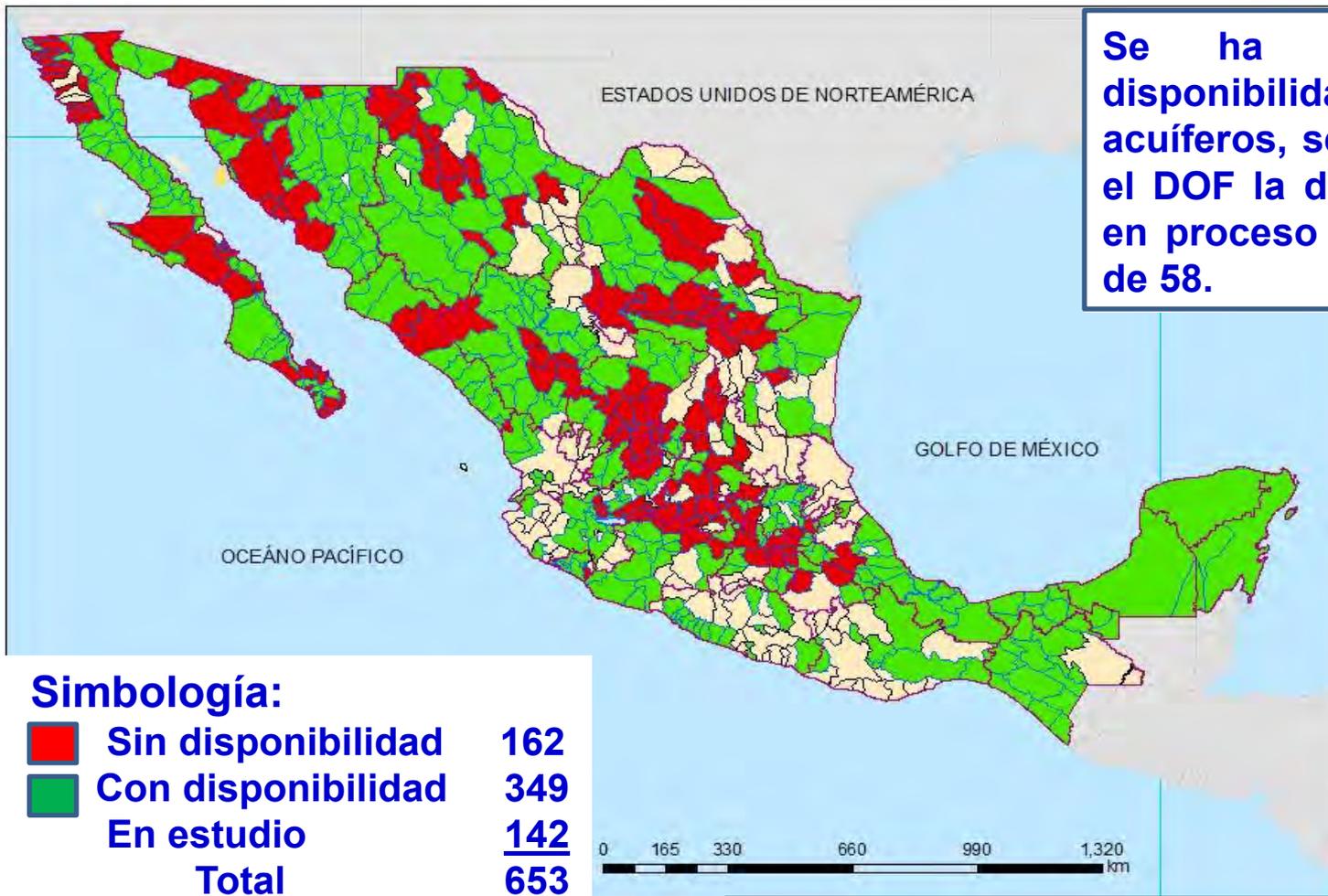
# Método para determinar la disponibilidad de aguas subterráneas



$$\text{Disponibilidad de agua subterránea} = \text{Recarga total media anual} - \text{Descarga natural comprometida} - \text{Volumen Concesionado}$$

La determinación de la disponibilidad de agua subterránea requiere de estudios interdisciplinarios que consideren la integralidad del Ciclo Hidrológico.

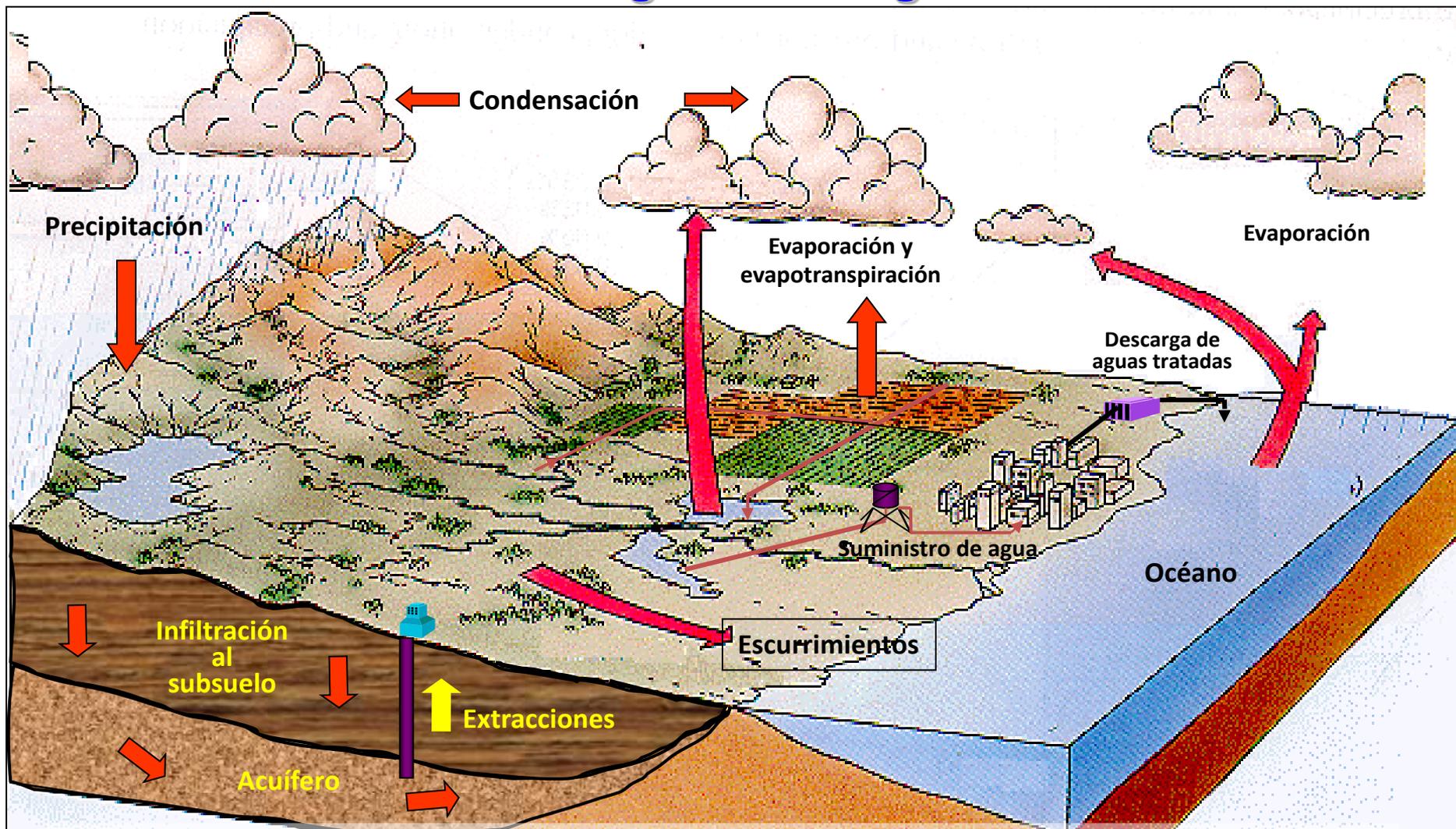
# Disponibilidad de agua subterránea



Se ha determinado la disponibilidad de agua de 511 acuíferos, se ha publicado en el DOF la de 453 y se tienen en proceso de publicación la de 58.

De los 162 acuíferos sin disponibilidad de agua, 104 están sobreexplotados y 58 tienen descargas naturales concesionadas como agua superficial o comprometidas con el medio ambiente.

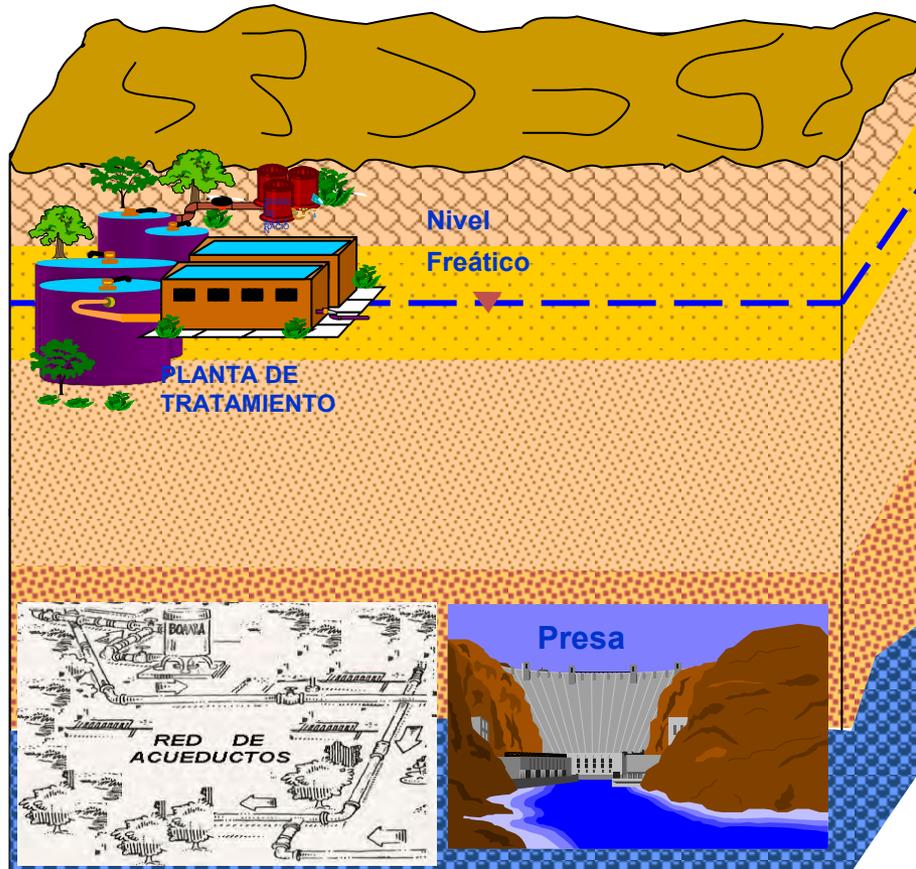
# Gestión integrada del agua



**Comprende todas las aguas del ciclo hidrológico: meteóricas, superficiales, subterráneas, residuales y marinas.**

# El subsuelo: infraestructura hidráulica natural

Los acuíferos son sistemas de infraestructura natural, que funcionan a la vez como vasos de almacenamiento y regulación, plantas de tratamiento, redes de acueductos...

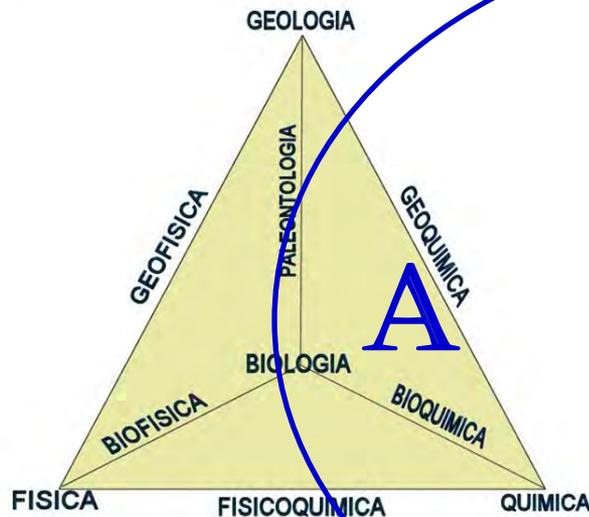


**En su caracterización, explotación y manejo intervienen en forma muy importante las Ciencias de la Tierra.**

# El agua subterránea y las Ciencias de la Tierra

## Campos o disciplinas relacionadas

La geología se relaciona con otras ciencias, tal como se puede ver en el tetraedro de la ilustración



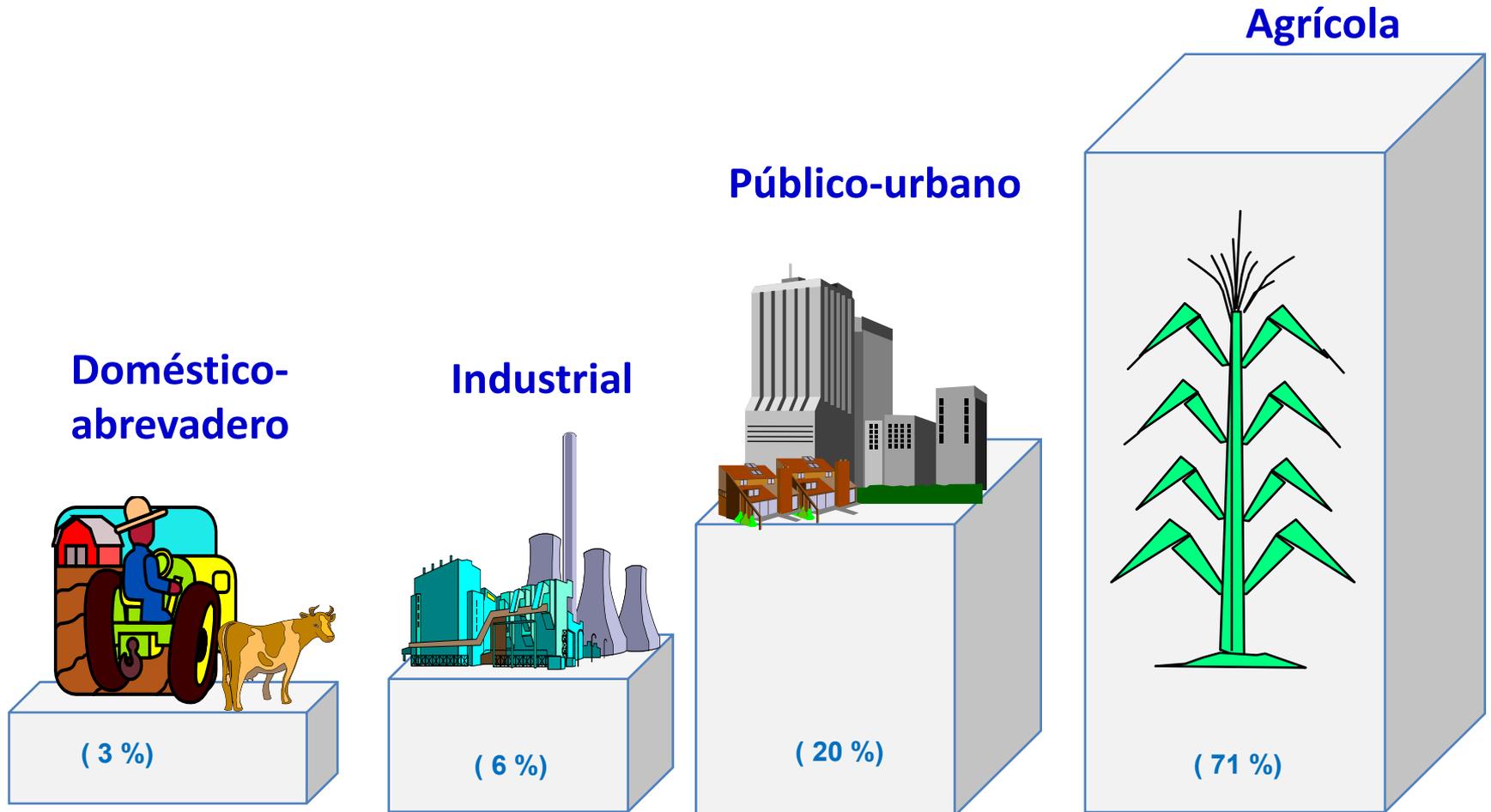
**G U A**

- Geología
- Geología económica Geología de mina
- Geología de petróleo
- Geología de ingeniería
- Geología ambiental
- Geoarchaeology
- Geoquímica Biogeoquímica
- Geoquímica del isótopo
- Geocronología
- Geodesia
- Geografía
- de modelado geológico
- Geomicrobiology
- Geomorfología
- Geomythology
- Geofísica
- Glaciology
- Geología histórica
- Hidrogeología o Geohydrology**
- Mineralogía
- Oceanografía Geología marina
- Paleoclimatología
- Paleontología Micropaleontology
- Palynology
- Petrología
- Petrophysics
- Tectónica de placa
- Sedimentología
- Sismología
- Ciencia de suelo Pedología (estudio) del suelo
- Espeleología
- Estratigrafía Biostratigraphy
- Chronostratigraphy
- Lithostratigraphy
- Geología estructural
- Vulcanología

La figura muestra una interdigitación con algunas de las ciencias básicas que le sirven de apoyo, sin que estos signifiquen un límite o un circuito cerrado.

**El agua subterránea forma parte importante del objeto de estudio de la mayoría de las Ciencias de la Tierra.**

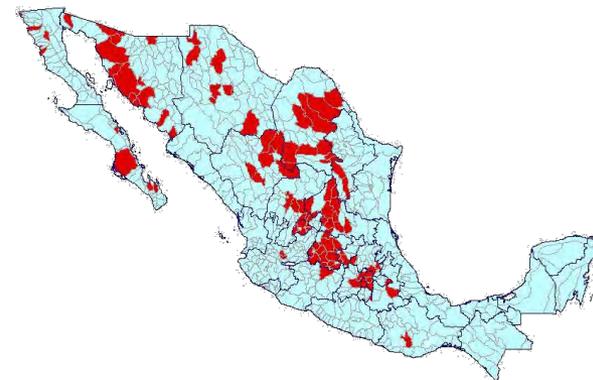
# Extracción y usos del agua subterránea en México



**Extracción total: ± 28 649 hm<sup>3</sup> (100 %)**

# Efectos e impacto ecologico del manejo no sustentable de las aguas subterráneas.

- ❑ Abatimiento de niveles del agua subterránea.
- ❑ Minado de la reserva.
- ❑ Impacto ecológico negativo: desaparición de manantiales, vegetación nativa, humedales, lagos, gasto base de ríos y ecosistemas locales.
- ❑ Disminución del gasto y rendimiento de los pozos.
- ❑ Pérdida de la rentabilidad de la actividad agrícola.
- ❑ Deterioro de la calidad del agua subterránea.
- ❑ Incremento del costo de extracción (consumo de energía eléctrica).
- ❑ Asentamiento y agrietamiento del terreno.



La reserva de agua subterránea permite regular las variaciones – estacionales, anuales y de largo plazo- de la precipitación pluvial. Pero este recurso estratégico se está minando al ritmo de 5,400 hm<sup>3</sup>/a.

# Asentamiento del terreno en el Valle de México



Nivel original del terreno



Comisión Nacional del Agua

1910

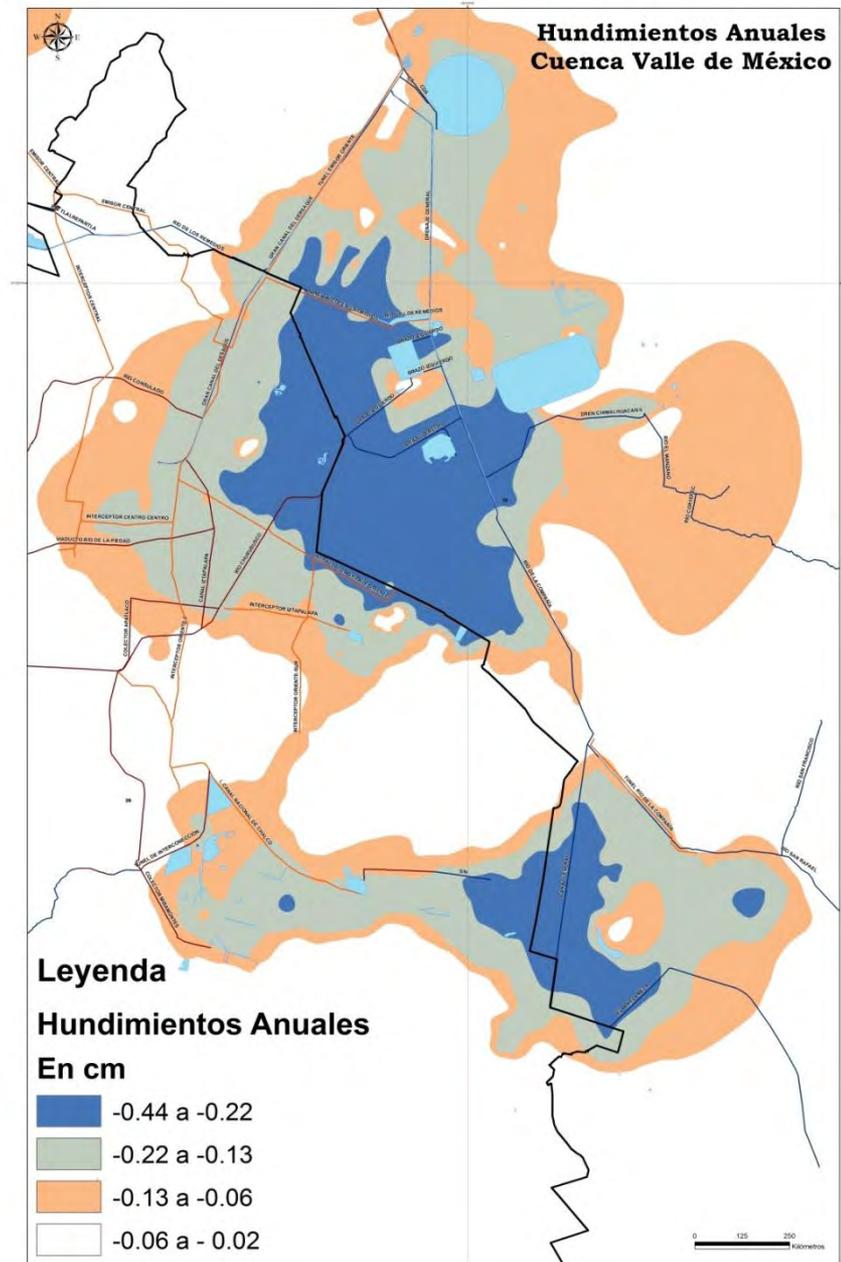


2010

# Asentamiento del terreno en el Valle de México

En el año de 1910, el terreno en el que se asienta la ciudad de México estaba 1.90 m arriba del Lago de Texcoco, ahora está 10 m abajo.

Actualmente, el ritmo de hundimiento en el valle varía entre 0.1 y 0.45 cm/a



# Asentamientos del terreno



**Ciudad de Querétaro, Qro.**

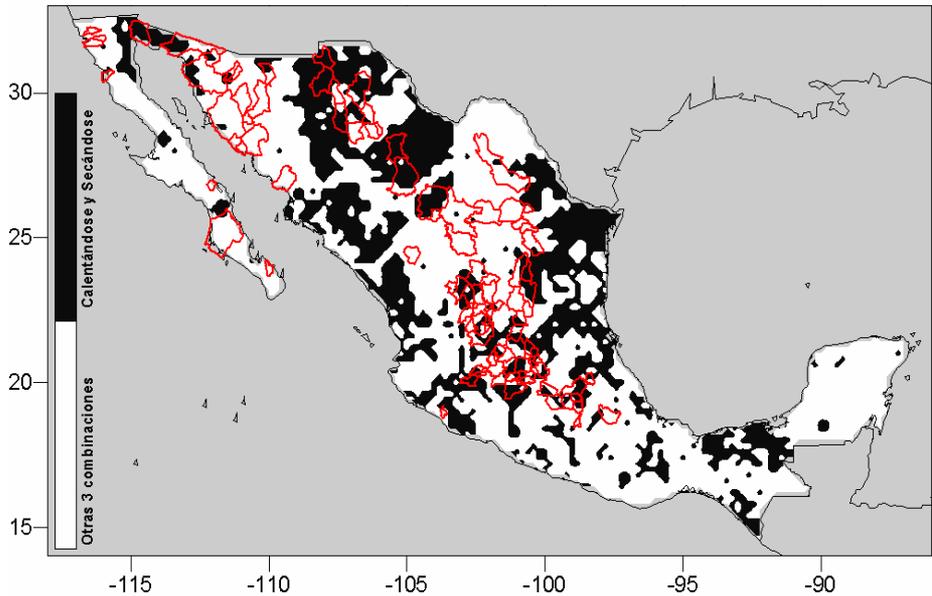


**Zona conurbada de  
Torreón, Coah.**



**Ciudad de Celaya, Gto.**

# Impacto del cambio climático sobre la disponibilidad de agua



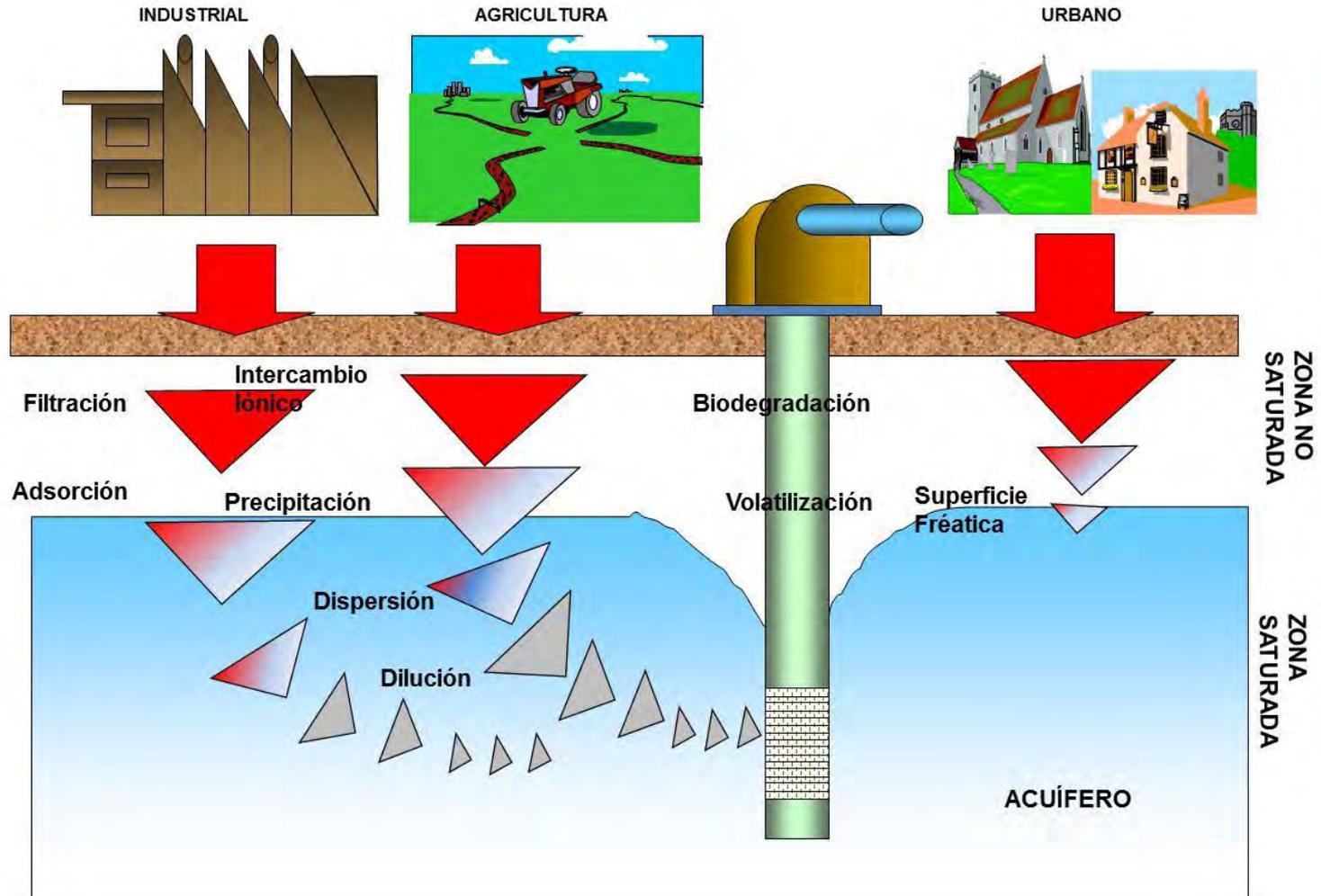
**Cambios de la precipitación pluvial y de la temperatura:**

- **Impacto positivo o negativo sobre la recarga de los acuíferos.**
- **Impacto negativo mayor donde se combine el incremento de la temperatura con el decremento de la precipitación.**

**Ascenso del nivel del mar:**

- **Afectará acuíferos costeros, inutilizando pozos cercanos a la costa y reduciendo el espesor de agua dulce.**
- **Se acentuará la intrusión salina en acuíferos sobreexplotados. Una región especialmente vulnerable es la Península de Yucatán.**
- **Pérdida de terreno continental y modificación del régimen de descarga de ríos y acuíferos al mar.**

# Vulnerabilidad a la contaminación



**El subsuelo es una planta de tratamiento natural, pero su capacidad es finita: todos los acuíferos son vulnerables al bombardeo de contaminantes originados por las actividades humanas.**

# Protección de la calidad del agua subterránea

La calidad del agua es protegida y regulada por medio de Normas Oficiales Mexicanas y otras disposiciones normativas:

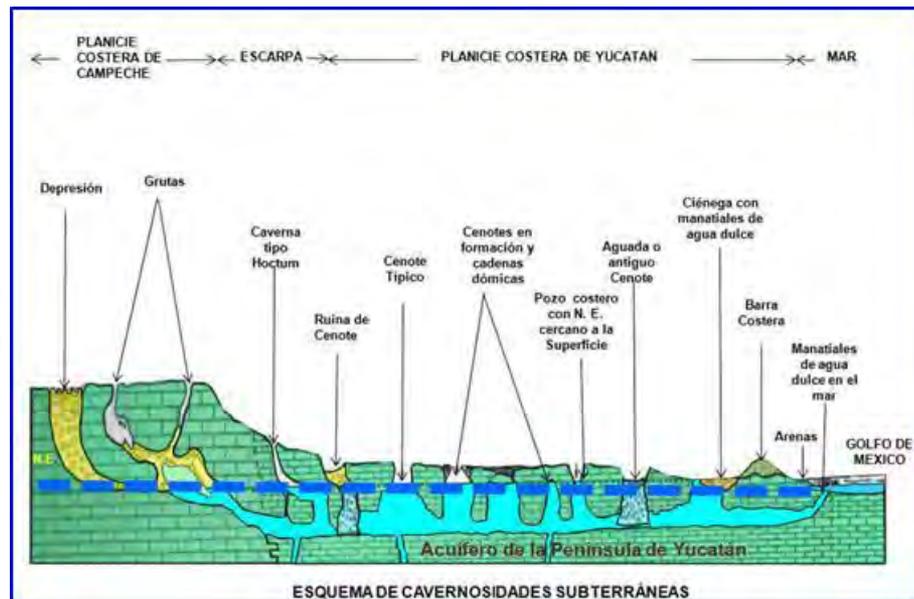
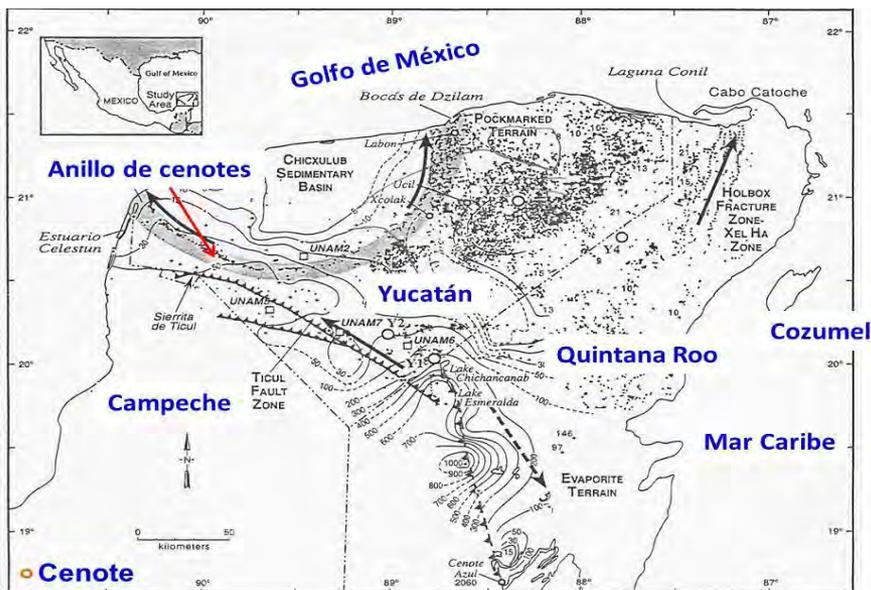
**NOM-001 (SEMARNAT):** Establece los límites máximos de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas nacionales.

**NOM-014:** Especificaciones para la recarga artificial con agua residual tratada.

**NOM-015:** Especificaciones para la disposición al subsuelo de agua de lluvia y escurrimiento.

**A pesar de estos ordenamientos, hay un amplio campo a desarrollar en materia de determinación, tratamiento, normativa y remediación de contaminantes «emergentes»: farmacéuticos (hormonas, drogas, naproxeno...), cosméticos, plaguicidas, antibacterianos...**

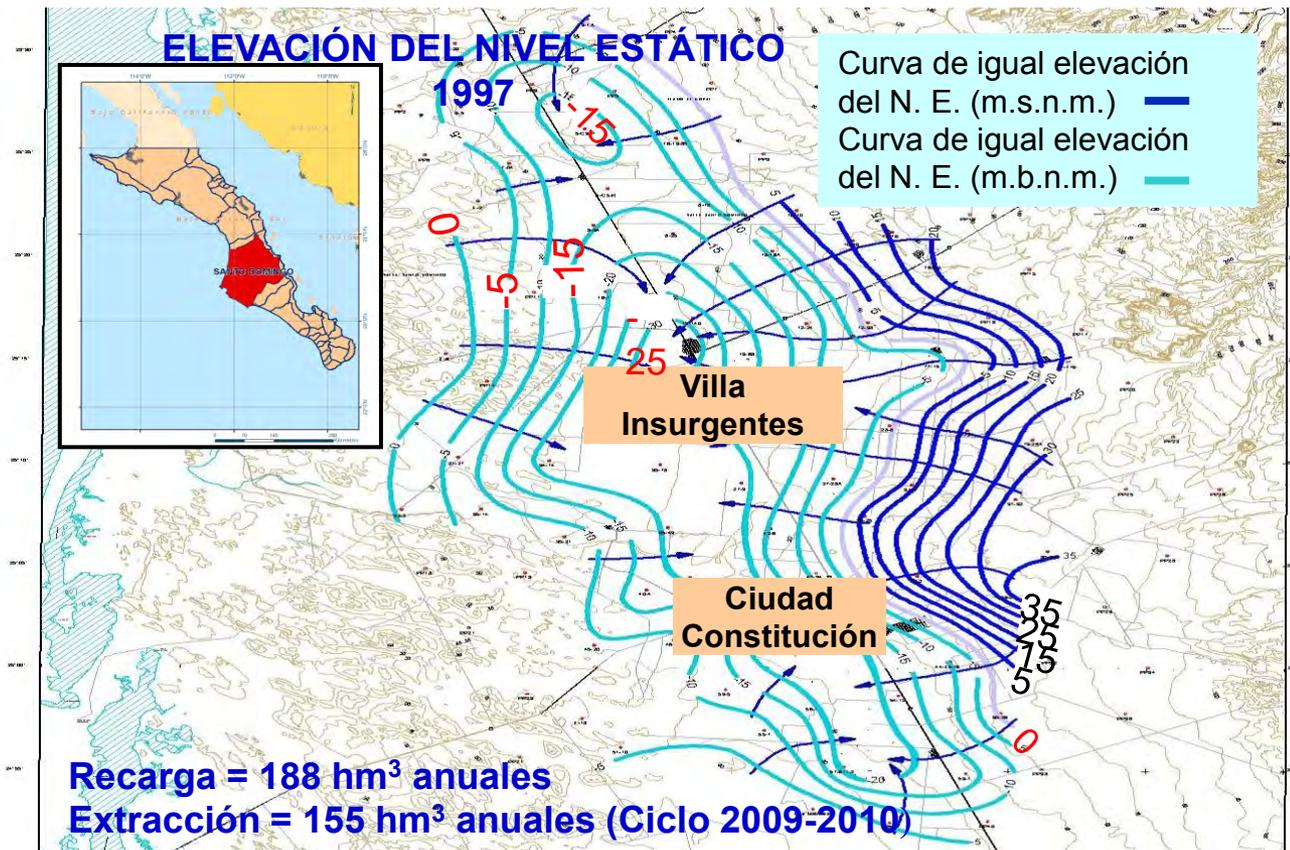
# La Península de Yucatán: un acuífero especialmente vulnerable



Por la gran capacidad de infiltración de las calizas, derivada de la acción disolvente del agua y de la ausencia de materiales granulares filtrantes, el acuífero es muy vulnerable a la contaminación y requiere de regulación especial.

# Acuífero Santo Domingo. B.C.S.

## Un caso exitoso de manejo sustentable



A fines de la década de los «80» la extracción del acuífero (453 hm<sup>3</sup>/a) era del orden de tres veces su recarga media(155 hm<sup>3</sup>/a).

La estabilización del acuífero se logró mediante un programa que incluyó: la formulación del un Reglamento del acuífero, concertado con los usuarios; la entrega del distrito de riego a los usuarios; la aplicación de programas de apoyo federales, y la aplicación de programas de uso eficiente y tecnificación del riego.

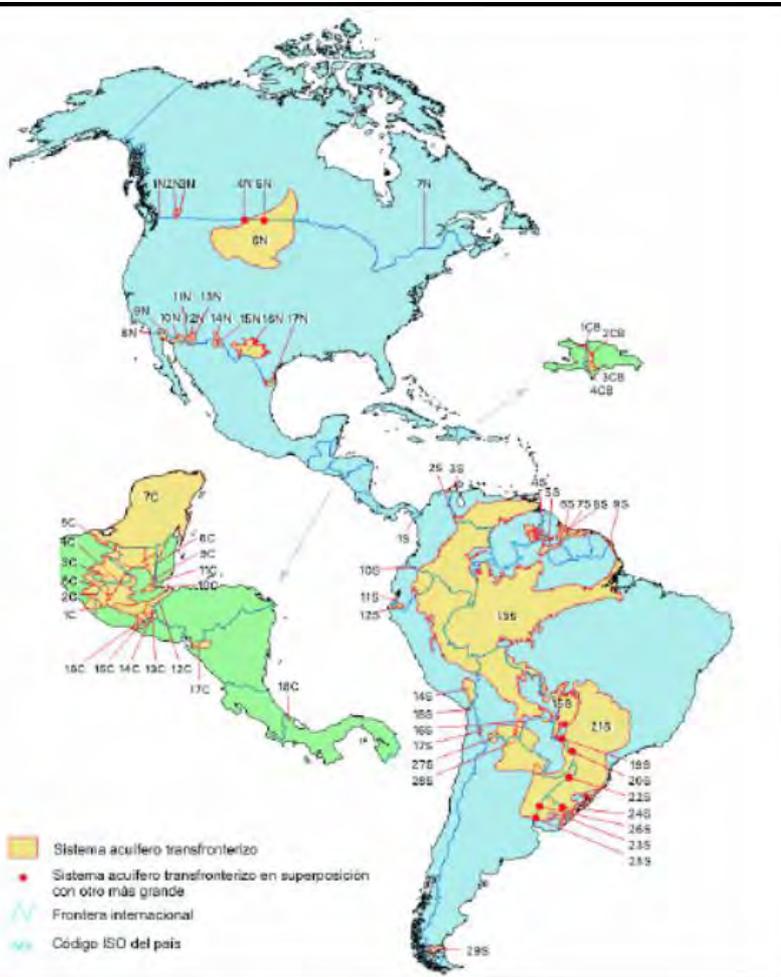
# Programa ISARM Américas

## Iniciativa PHI-UNESCO y OEA

### Objetivos:

- Mejorar el conocimiento de los Sistemas Acuíferos Transfronterizos (SAT), en los aspectos científico/técnico, ambiental e institucional.
- Prevenir y mitigar los efectos transfronterizos derivados del manejo de los SAT.

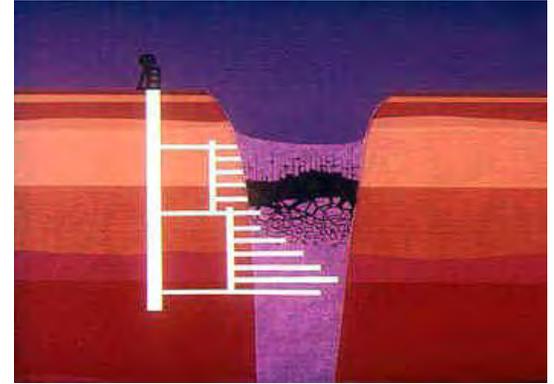
A la fecha, se han realizado ocho talleres de coordinación, con la participación de 25 países de América, y se han editado tres libros sobre diferentes aspectos del tema. Este año el IX Taller se llevará a cabo en la República Mexicana.



La frontera norte de México plantea algunos de los problemas más complicados del Continente, porque su clima seco, escasez natural de agua e importante desarrollo, dan lugar a fuerte competencia por su uso.

# **EL AGUA SUBTERRANEA EN RELACION CON OTROS SECTORES**

# El agua en la minería



Los desarrollos mineros pueden afectar al agua subterránea en su calidad y cantidad. En particular, el “achique” necesario para la explotación de un yacimiento puede afectar pozos, provocar hundimiento del terreno o alterar la vegetación en el área adyacente al yacimiento. La magnitud del impacto no sólo abarca el área minada sino que puede alcanzar un radio de varios kilómetros.

Por naturaleza, las rocas son fuente de salinidad y elementos que son nocivos para la salud en altas concentraciones: el mal manejo de los residuos puede generar contaminación de las fuentes de agua.

# Tajos de Micare, Piedras Negras, Coah.



En su mayor parte, el agua extraída en los tajos (2.2 m<sup>3</sup>/s) es reinyectada.

ACUÍFERO CONGLOMERADO SABINAS, NAVA-PIEDRAS NEGRAS, COAH

Obras de recarga

Area afectada por la extracción.

Zona de recarga

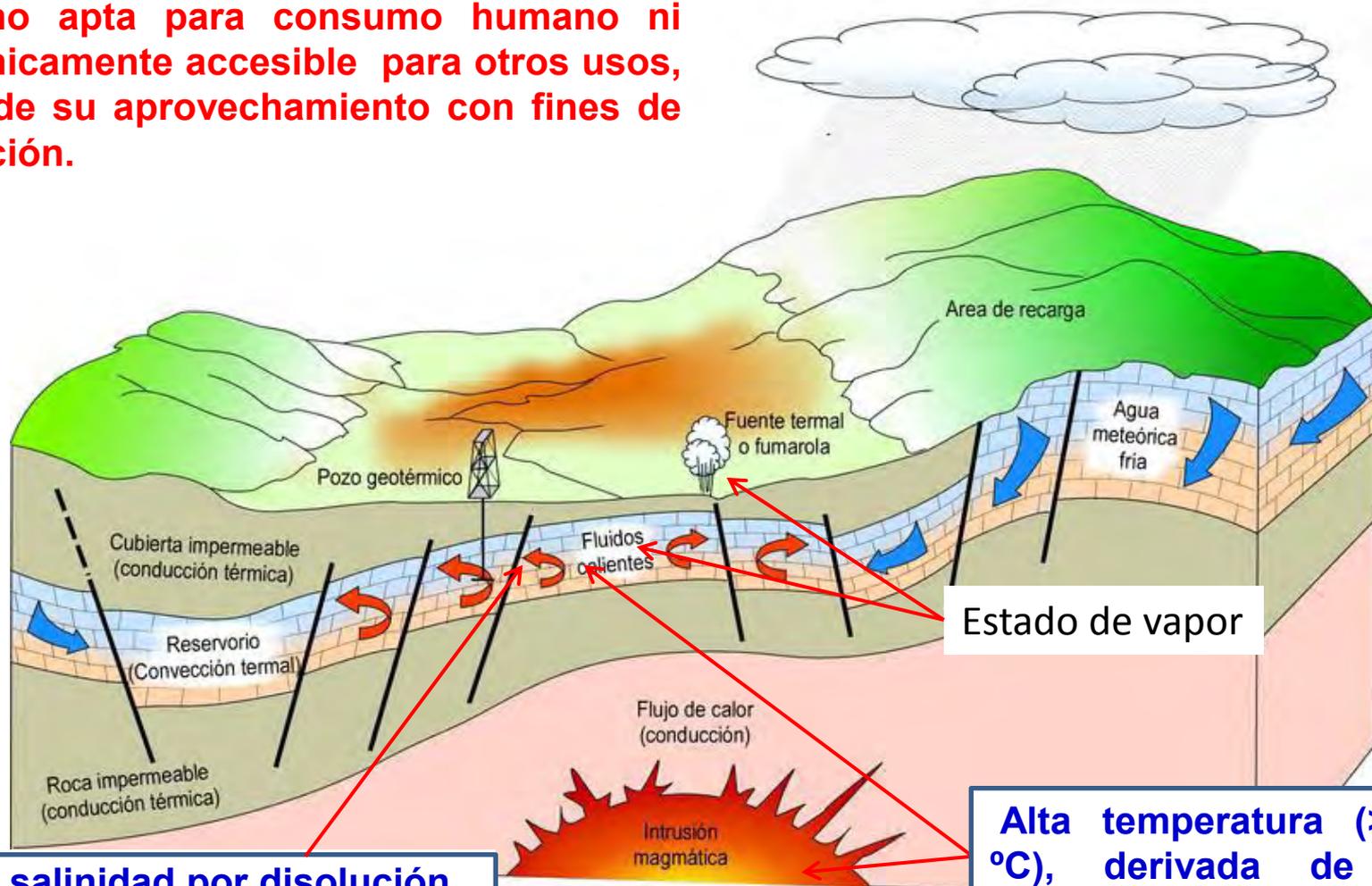


# El agua subterránea en la Geotermia



# Características del agua de los yacimientos geotérmicos

Agua no apta para consumo humano ni económicamente accesible para otros usos, aparte de su aprovechamiento con fines de generación.



**Elevada salinidad por disolución**

**Alta concentración de elementos químicos nocivos para la salud (B, As,...)**

**Alta temperatura (> 150 °C), derivada de foco magmático y/o de gradiente geotérmico.**

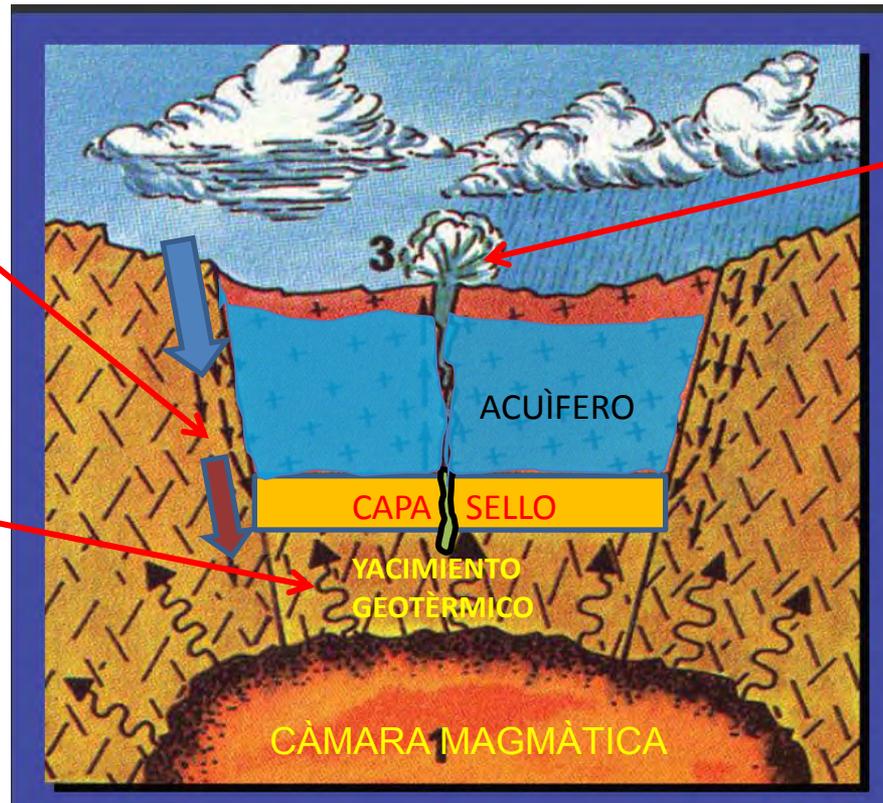
# Acuíferos y yacimientos geotérmicos

Agua infiltrada hace cientos o miles de años.

geyser

Yacimiento geotérmico:  
Alojado en estructuras geológicas a profundidades mayores de mil metros.

Renovación actual casi nula  
(agua "fósil") a escala humana .

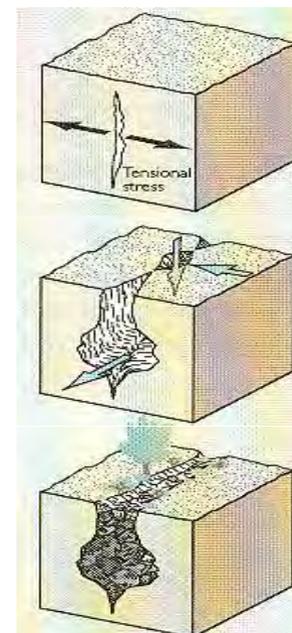
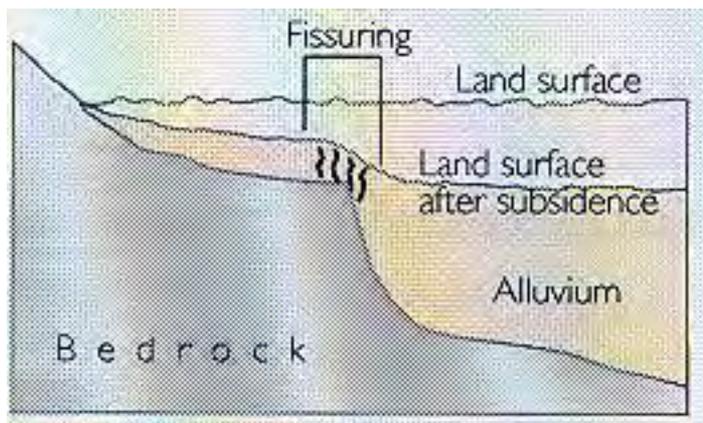


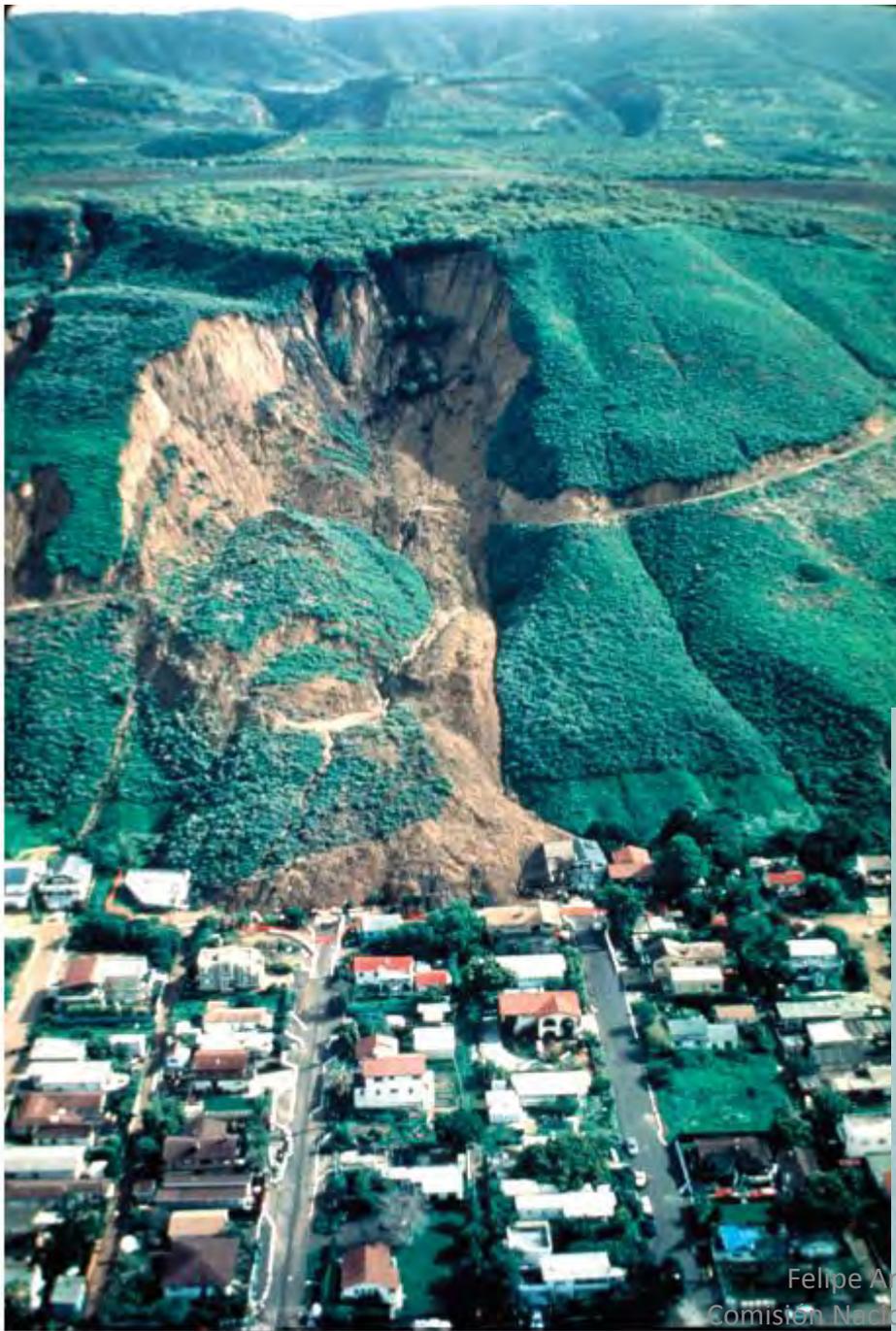
Generalmente, los yacimientos de alta energía no tienen conexión hidráulica directa con los acuíferos evaluados y administrados por la **CONAGUA**.

La concesión de agua en estado de vapor de los yacimientos, no afecta la disponibilidad de agua de los acuíferos sobreyacentes.

# El Agua en la Geotecnia

## Asentamiento y hundimiento del terreno



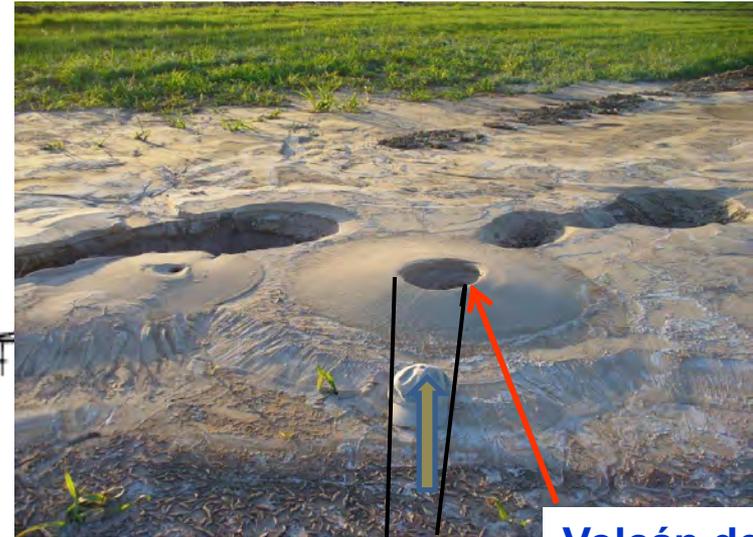


## Deslizamientos de tierra

El agua es uno de los factores principales que controlan el fenómeno.

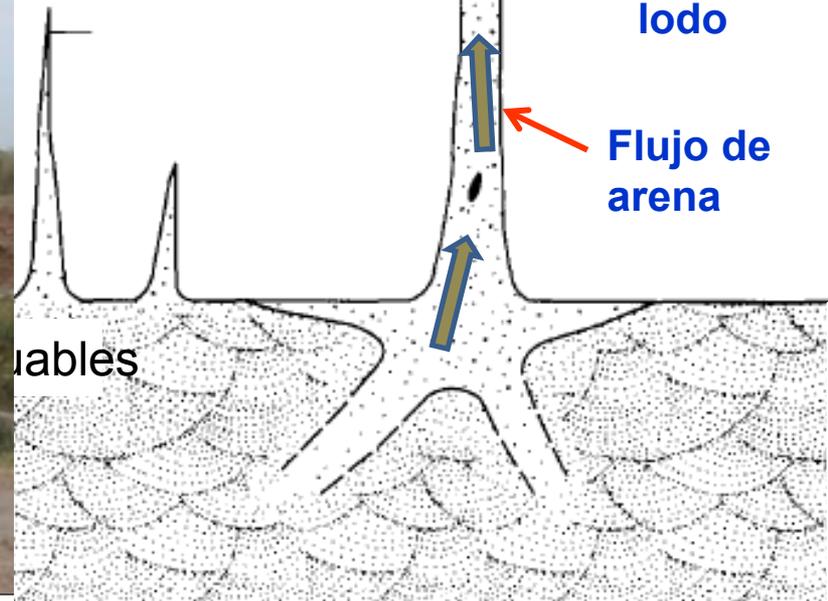


# Licuación



Volcán de lodo

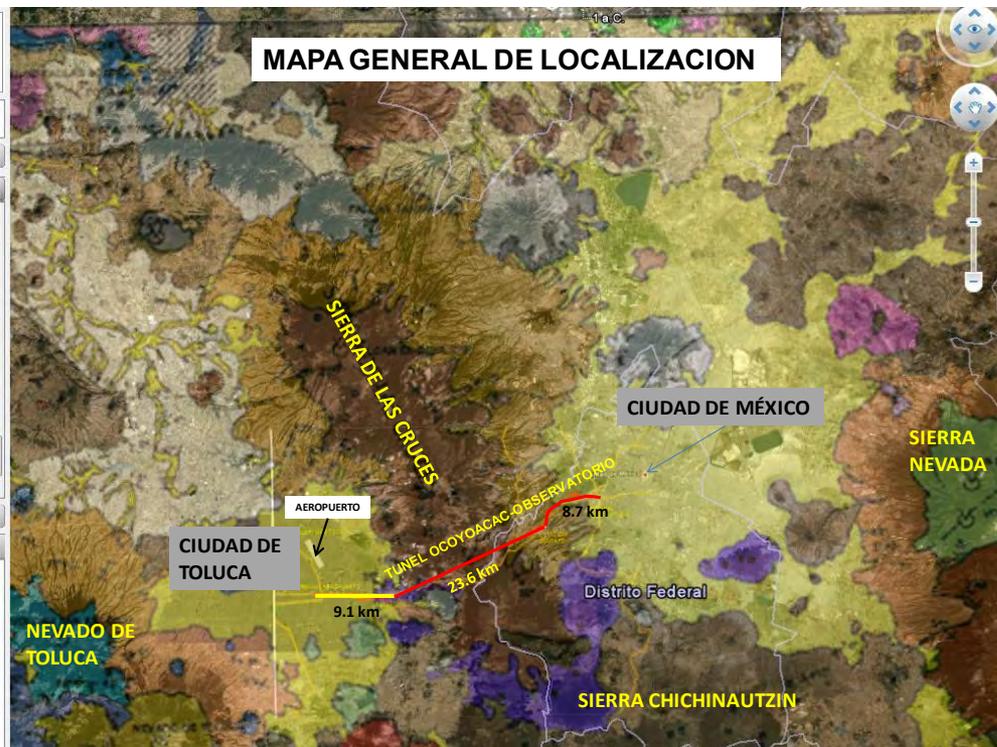
Flujo de arena



En abril del 2010 un sismo de grado 7.2 provocó la licuación de terrenos en el Valle de Méxicali, B.C., con graves daños a la infraestructura.

# El agua en las vías terrestres y obras de infraestructura hidráulica

Los proyectos de vías terrestres u obras hidráulicas que cruzan macizos montañosos, plantean complejos problemas geológicos, geotécnicos e hidrogeológicos.



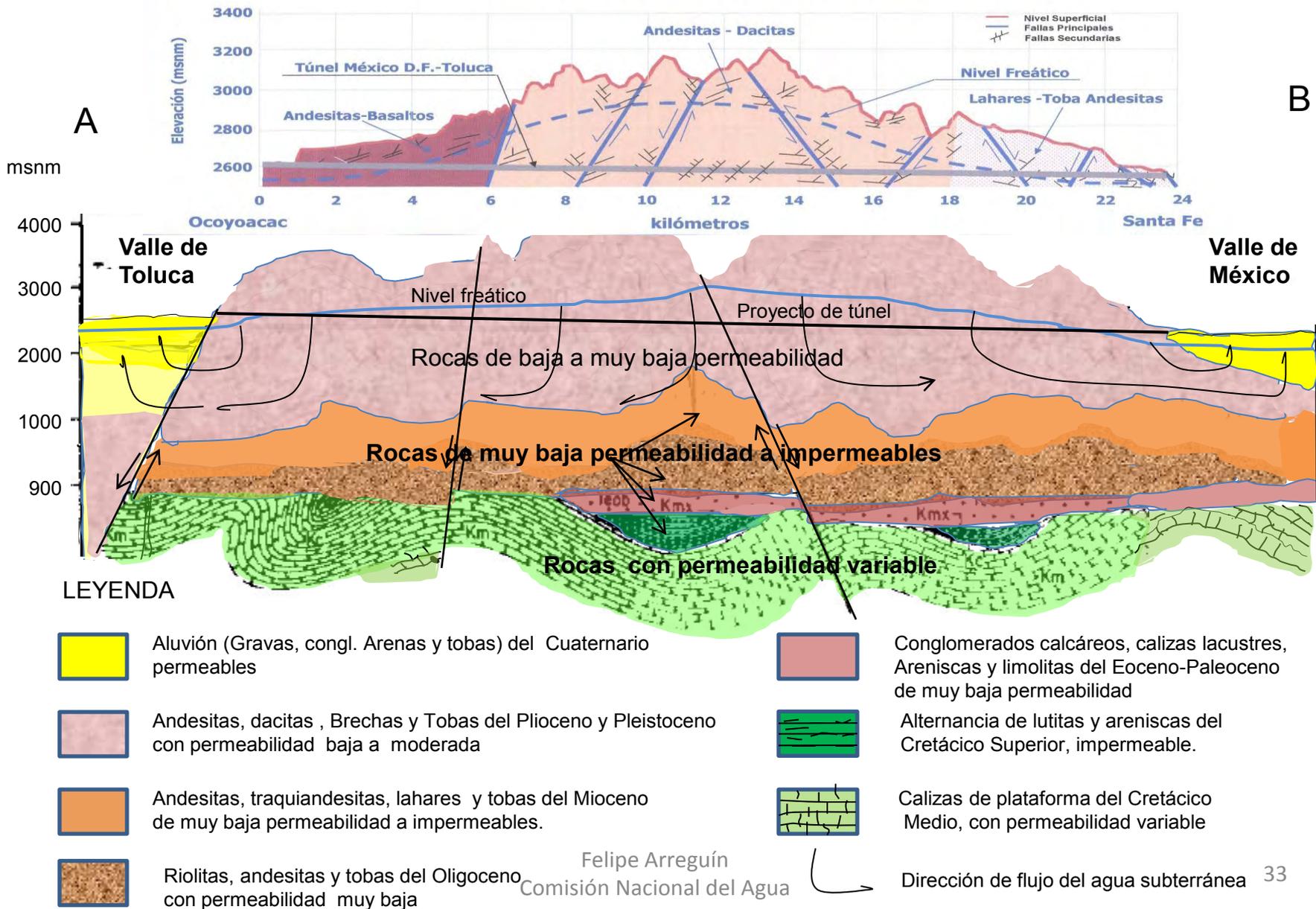
**Interrogantes:**

¿Qué volúmenes de agua se tendrían que desalojar en el proceso constructivo?

¿El agua colectada en la obra forma parte de la recarga de los valles adyacentes o tiene otro destino y puede considerarse como agua no comprometida?

# Secciones estructural e hidrogeológica de la sierra

Perfil longitudinal con fallas geológicas proyectadas  
La Sierra de las Cruces Presenta un Intenso Fracturamiento

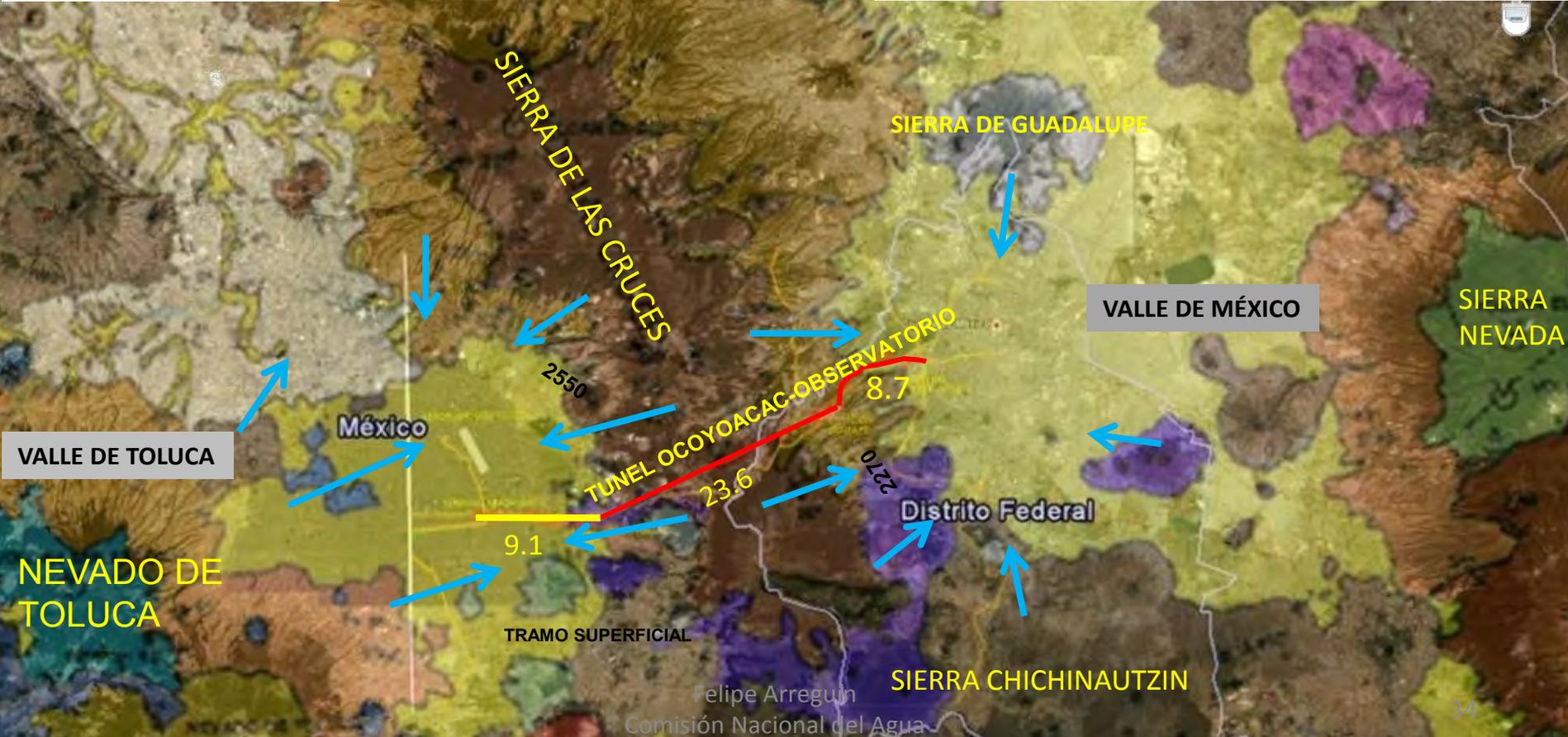


# Flujo del agua subterránea

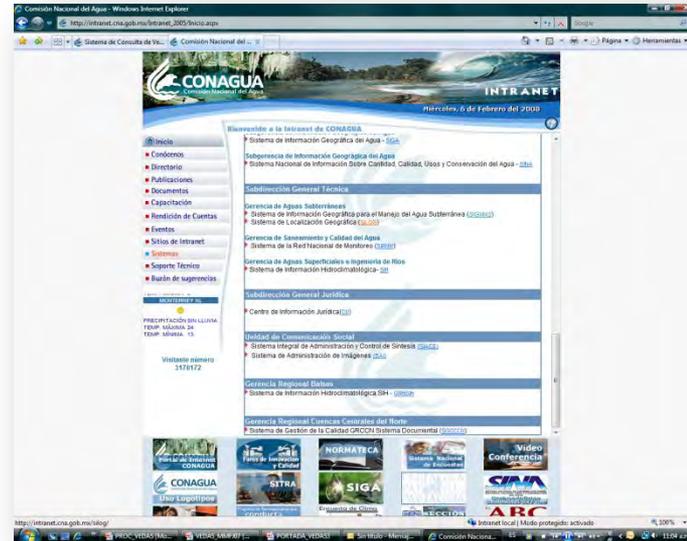
Dirección del flujo  
Subterráneo



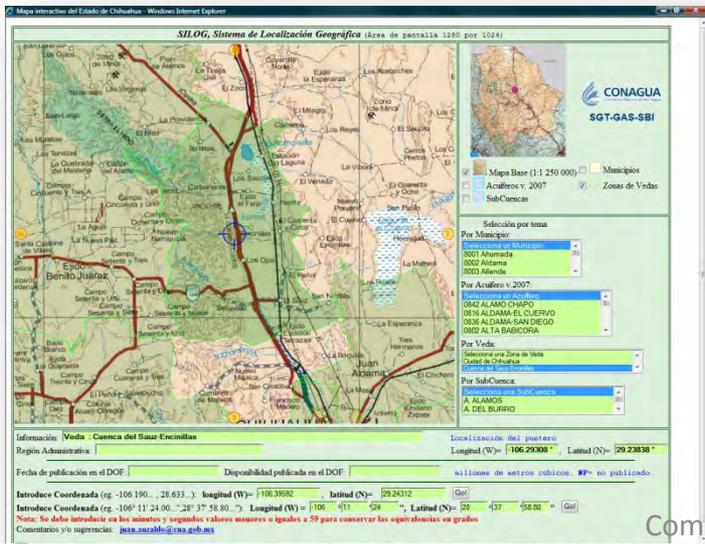
El agua infiltrada en la sierra forma parte de la recarga de los acuíferos adyacentes, que están sometidos a fuerte sobreexplotación, o aflora en manantiales y cauces en los flancos de la montaña.



# Información disponible para consulta pública (DOF, intranet e internet)



## SILOG Sistema de Localización Geográfica



La información básica -marco de referencia, métodos, REPDA, resultados de estudios técnicos- deben ser publicados en el Diario Oficial de la Federación para dar transparencia y consistencia a la administración del agua.

<http://intranet.cna.gob.mx/silog>

<http://www.conagua.gob.mx/conagua/gasveda/gasveda.aspx?Id=Zonas de veda|Agua subterránea|0|61|0|0|0>

# Participacion social

- ❖ **Los Consejos de Cuenca(25):** órganos colegiados, instancias de coordinación, concertación, consulta y asesoría, entre la CNA y otras entidades federales, los gobiernos estatales o municipales, los representantes de usuarios de agua, de la Academia, de las ONG´s...
- ❖ **Los Comités Técnicos de Aguas Subterráneas (71):** órganos auxiliares de los CC, que participan en el ordenamiento de los recursos hídricos subterráneos.
- ❖ **Acciones:** planeación participativa; organización, capacitación y representación de los usuarios en materia de agua.



Felipe Arreguín



# **Necesidad de una gestión del agua, integrada interdisciplinaria e interinstitucional!**

- ❖ **Intercambio de información técnica entre dependencias sobre aspectos de interés común o competencia compartida, para el mejor conocimiento y manejo integral de los recursos naturales y de su relación con el agua.**
- ❖ **Interacción oportuna de los diferentes sectores y de los desarrolladores, con las autoridades del agua y ambientales, en cuanto a la factibilidad de sus proyectos de desarrollo en los aspectos relacionados con el agua.**
- ❖ **Adecuación de los ordenamientos en materia de agua, con base en el mayor conocimiento del recurso y considerando los problemas derivados del cambio climático.**
- ❖ **Conciliación de los ordenamientos legales afines.**

# Participación de la Academia

- ❖ **Formación de recursos humanos en las disciplinas de las Ciencias de la Tierra que intervienen en el estudio y manejo de las aguas subterráneas.**
- ❖ **Mayor comunicación/cooperación de la academia y el sector público, en el desarrollo de investigación aplicada para la solución de problemas.**
- ❖ **Proyectos de cooperación, transferencia y adecuación de tecnología.**
- ❖ **Mayor conciliación de la investigación con la necesidad de resultados prácticos a corto plazo.**
- ❖ **Adecuación de planes de estudio en los diferentes niveles (licenciatura y posgrado...) conforme a la demanda de especialistas y a la generación de nuevos problemas y tecnologías.**



# Simposio: Las Ciencias de la Tierra en el estudio del Agua Subterránea.



SEMARNAT

## El Agua Subterránea en México.

# *Gracias*

**Dr. Felipe I. Arreguín Cortés**  
**Subdirector General Técnico**

México, D.F.  
15 de febrero de 2011