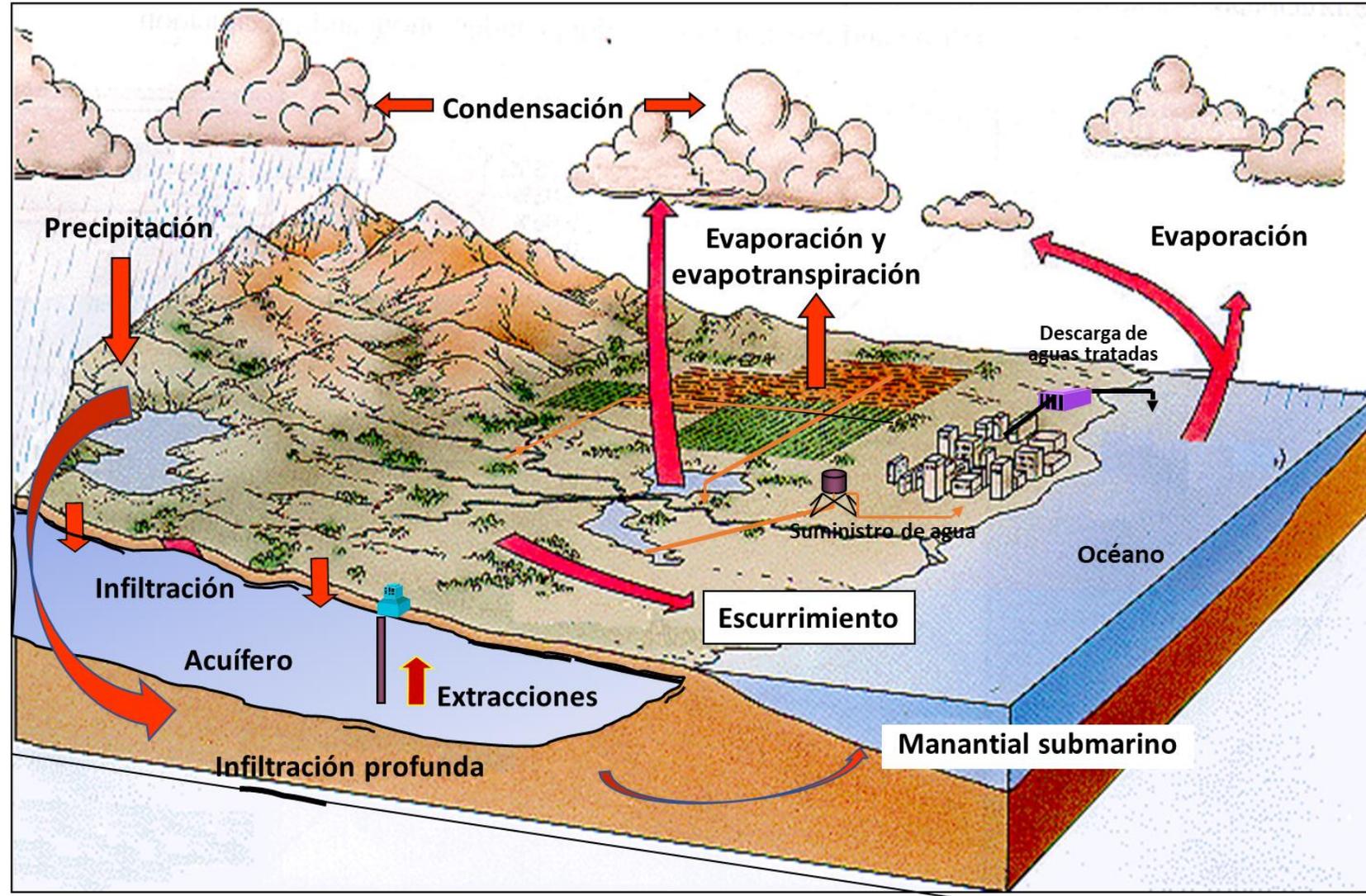


Agua subterránea: la cenicienta del ciclo hidrológico

Ing. Rubén Chávez Guillén
Consultor privado.



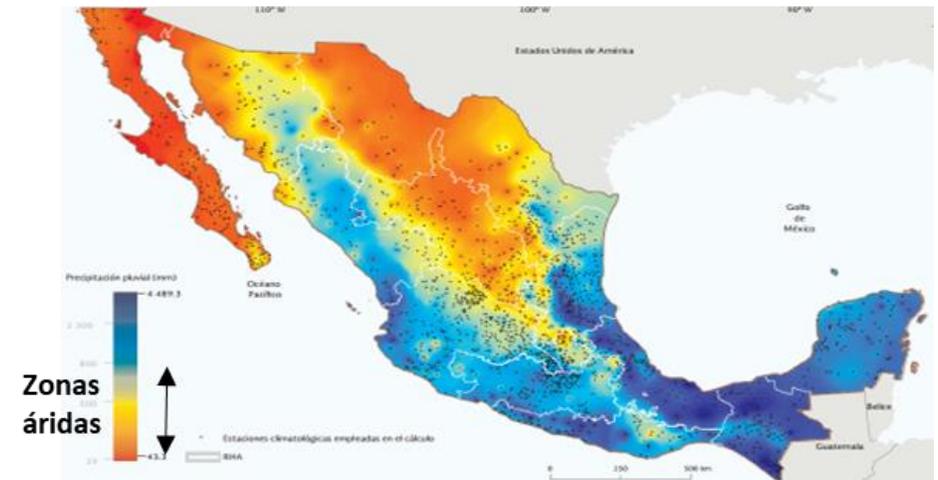
El Ciclo hidrológico



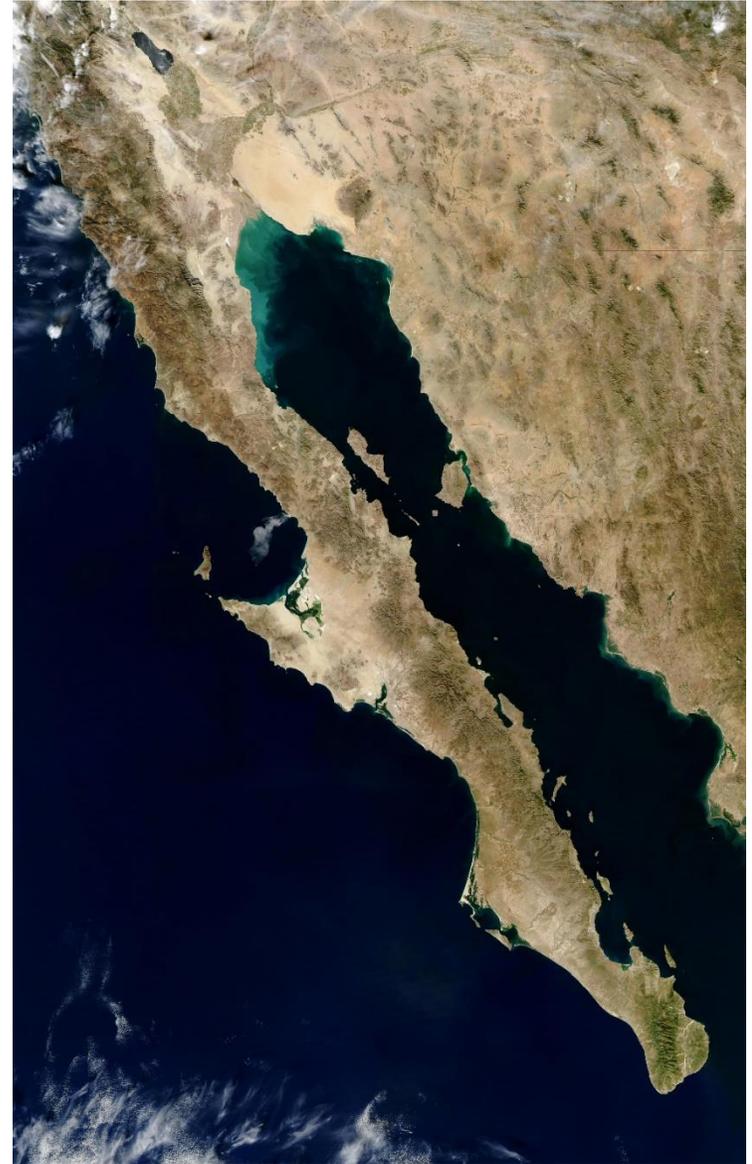
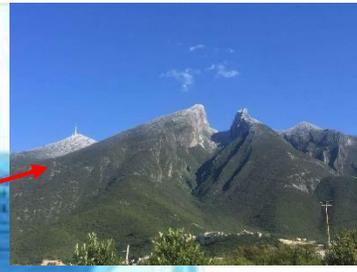
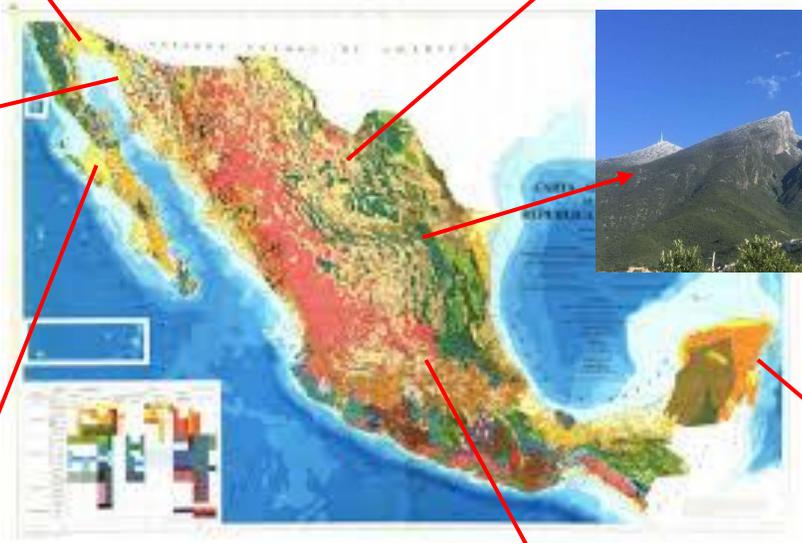
Agua subterránea: recurso vital para el desarrollo

Los acuíferos:

- ❑ Fuentes únicas o principales en las regiones áridas, que ocupan cerca del 50% del territorio mexicano.
- ❑ Suministran cerca del 70% del volumen de agua utilizado en las ciudades, donde se concentran unos 80 millones de habitantes.
- ❑ Satisfacen las demandas de agua de la mayoría de los desarrollos industriales.
- ❑ Abastecen a casi toda la población rural (45 millones de habitantes).
- ❑ Sustentan el riego de unos dos millones de hectáreas (poco más de la tercera parte de la superficie total irrigada en México).



Mosaico hidrogeológico



Infraestructura hidráulica natural

ATRIBUTOS:

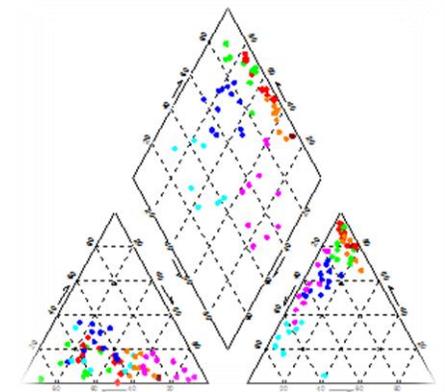
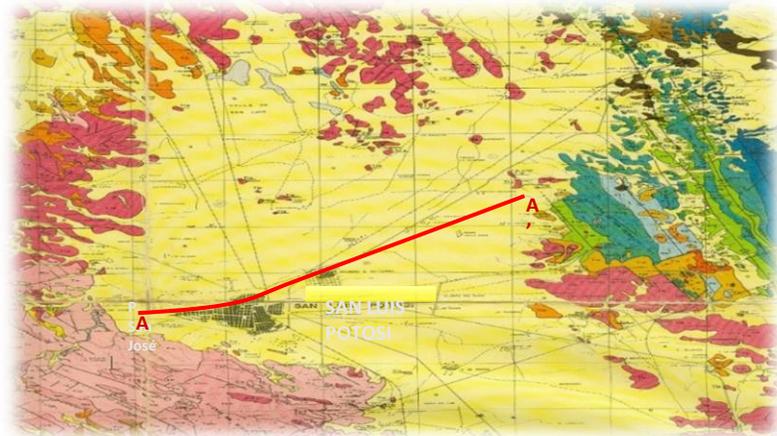
- Menor pérdida por evapotranspiración
- Gran reserva almacenada
- Menor vulnerabilidad a la contaminación
- Disponibilidad de agua menos afectada por las variaciones climáticas
- Amplia distribución espacial
- No pierden capacidad de almacenamiento



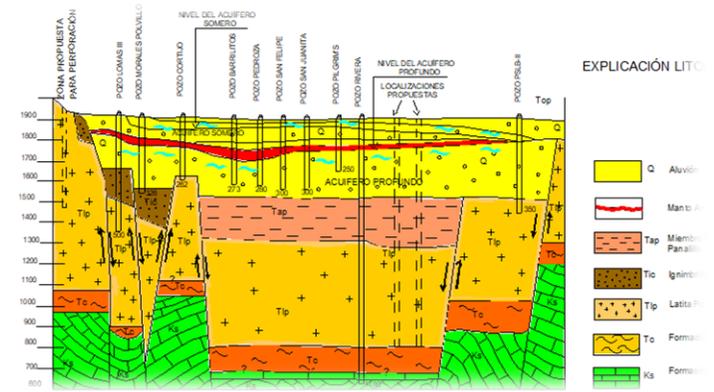
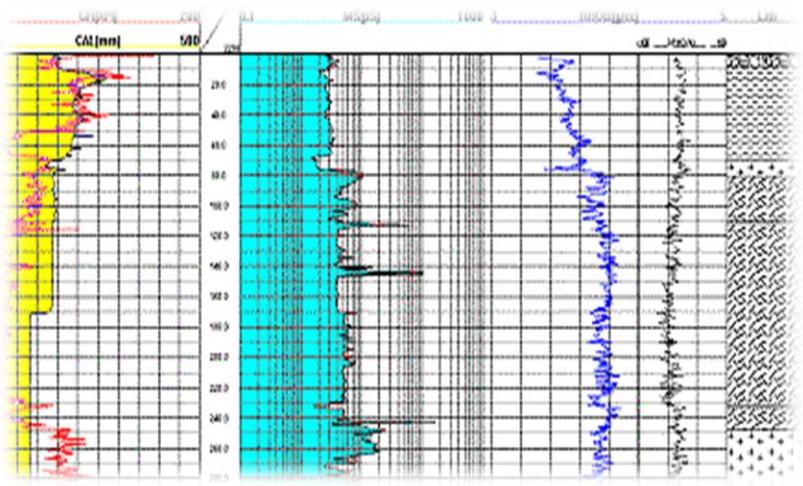
Estudio de los acuíferos



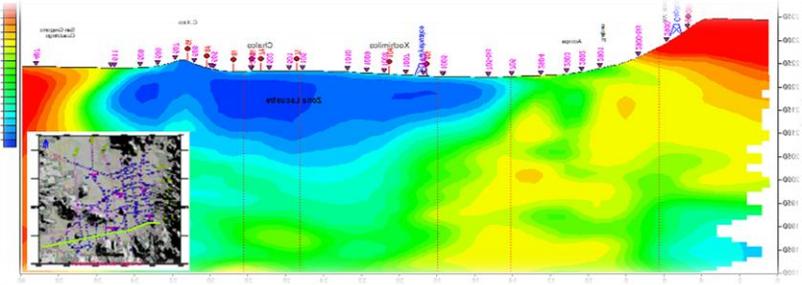
Perforación exploratoria



Análisis hidrogeoquímico



Prospección geológica y geofísica

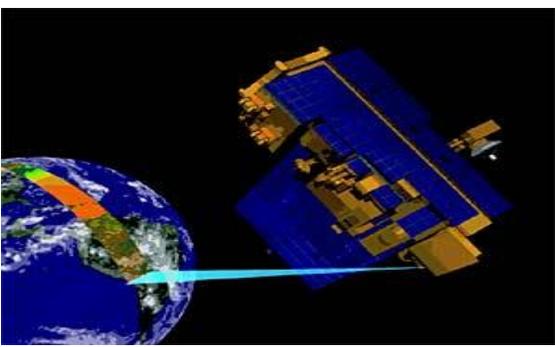


AEROMAGNETOMETRIA Y GRAVIMETRIA



Nuevas herramientas

Precepción remota (satélites).



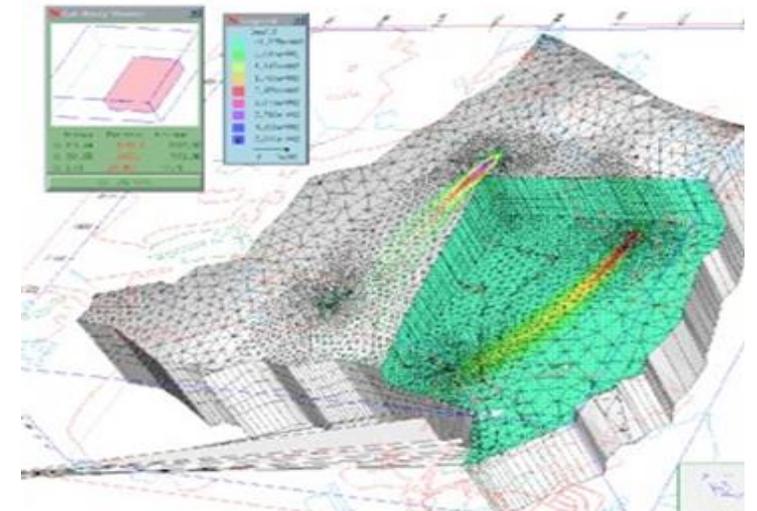
Drones



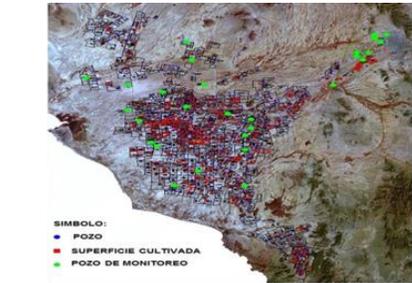
Monitoreo automático y transmisión telemétrica



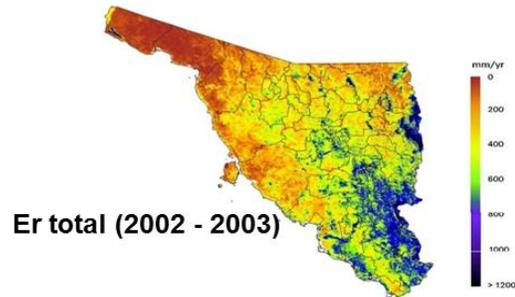
Software



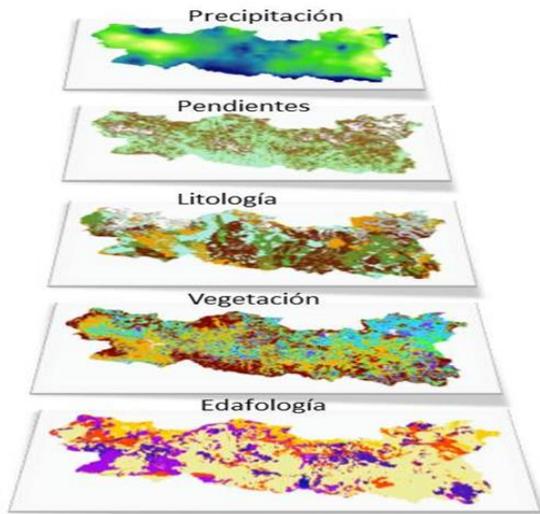
$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$



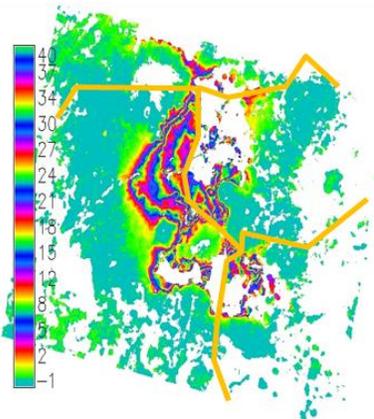
Determinación de superficies de riego.



Estimación de la Er de cultivos y de vegetación natural



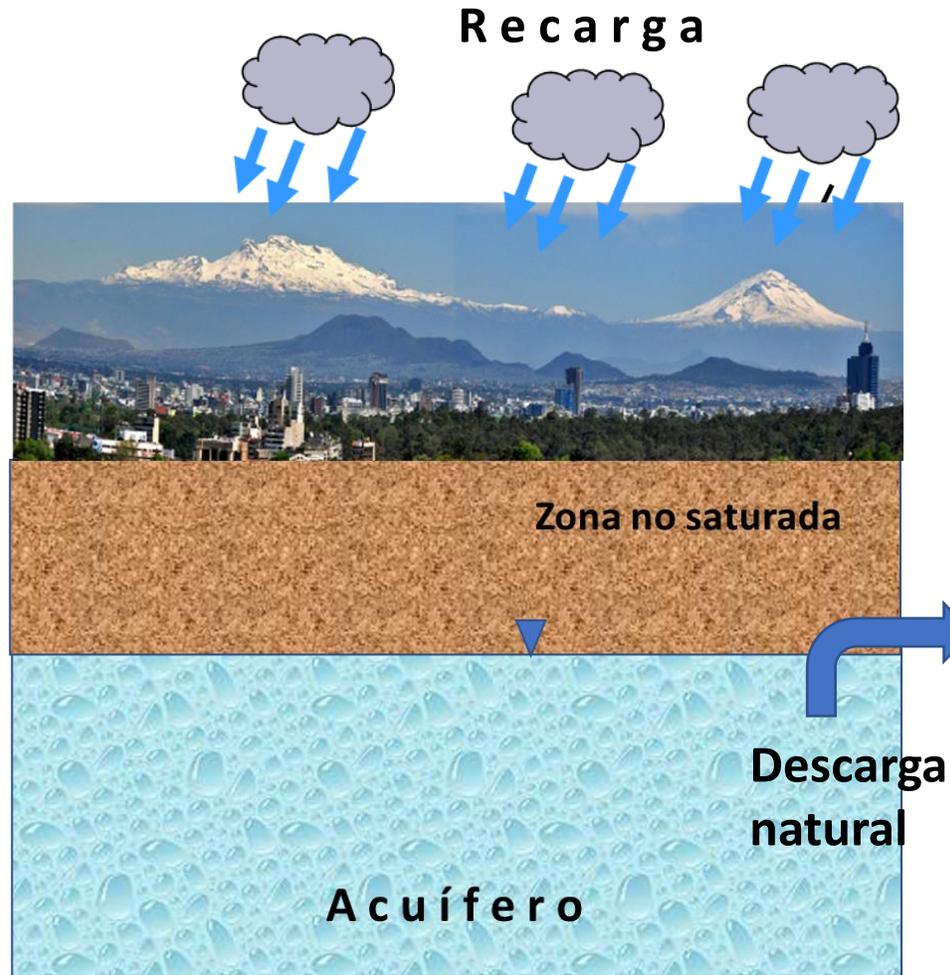
Balances hidrológicos



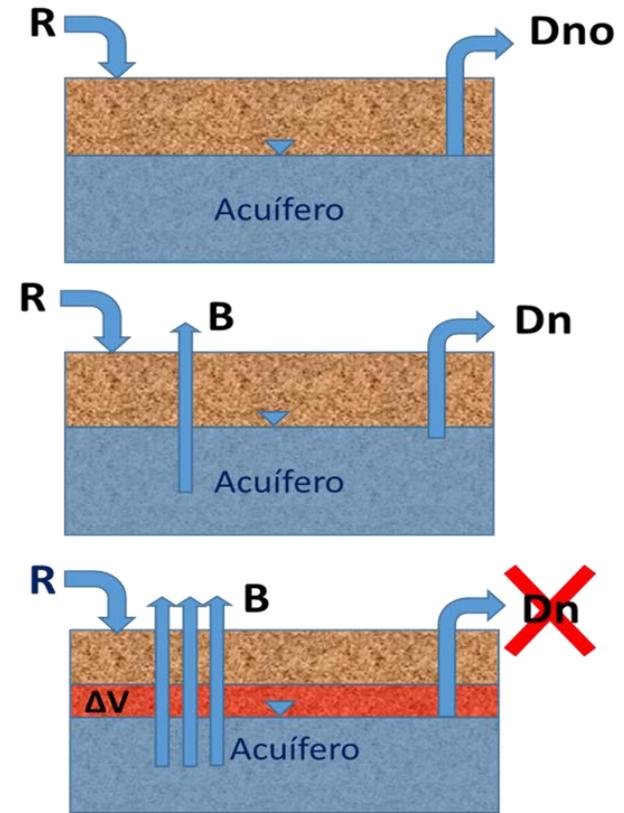
Interferometría



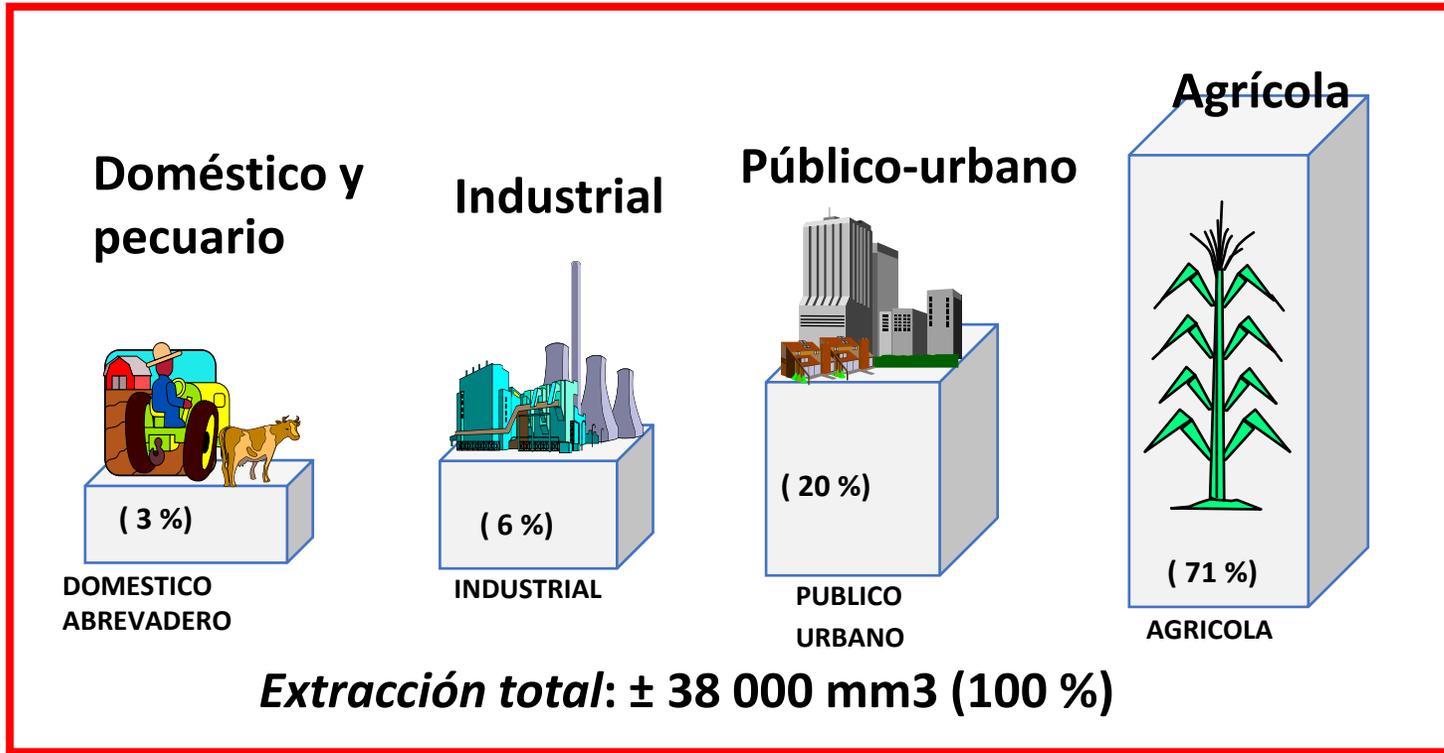
Acuíferos y medio ambiente



El medio ambiente era el usuario natural de toda el agua



Extracción y usos del agua subterránea en México



Caudal ecológico

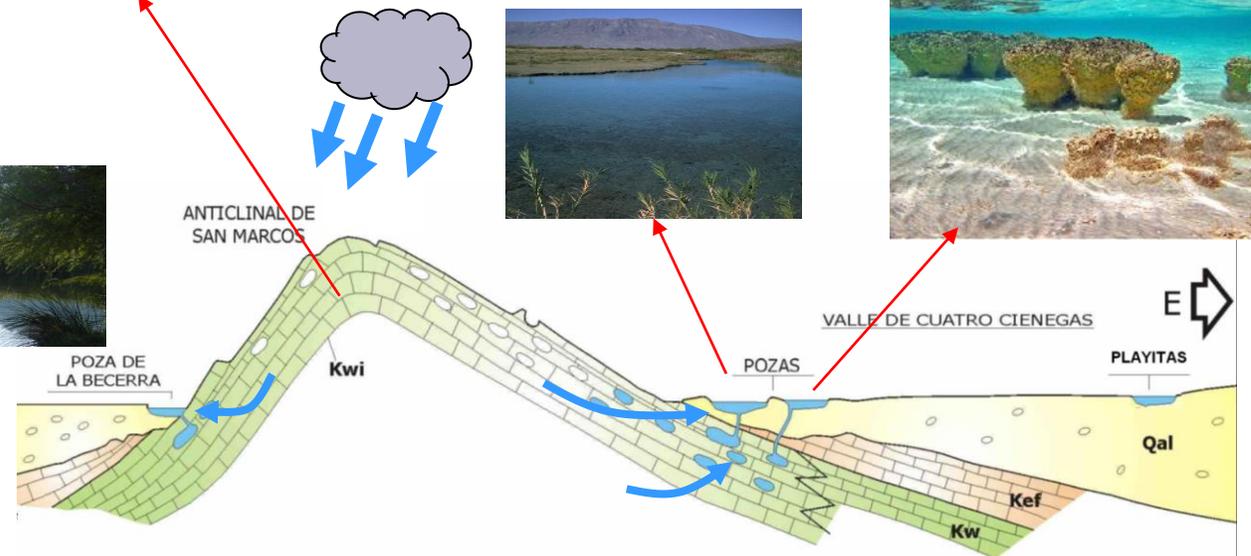
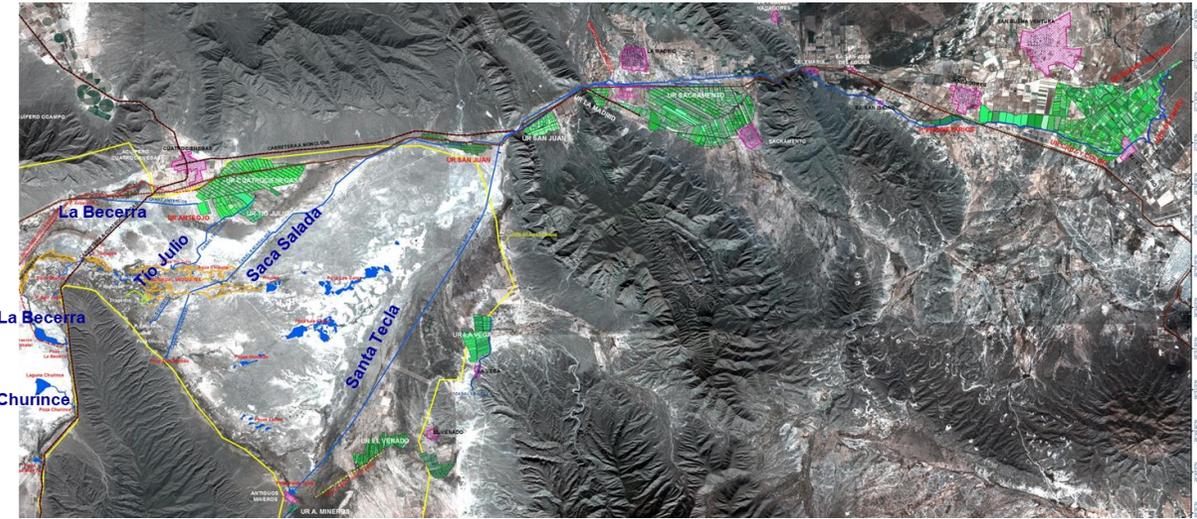


VS

Desde mediados del siglo pasado la creciente extracción de agua subterránea ha mermado el caudal ecológico.

En México la atención oficial a la preservación del medio ambiente se inició apenas a principios del presente siglo con la creación de la SEMARNAT.

Desarrollo agrícola vs medio ambiente? Cuatrociénegas, Coah.



Sobreexplotación de acuíferos



■ Acuíferos sobreexplotados: 115

Efectos:

- ❖ Abatimiento de niveles del agua subterránea
- ❖ Minado de la reserva subterránea
- ❖ Disminución del gasto y rendimiento de los pozos
- ❖ Deterioro de la calidad del agua subterránea
- ❖ Incremento del costo de extracción (consumo de energía eléctrica)
- ❖ Asentamiento y agrietamiento del terreno
- ❖ Intrusión salina



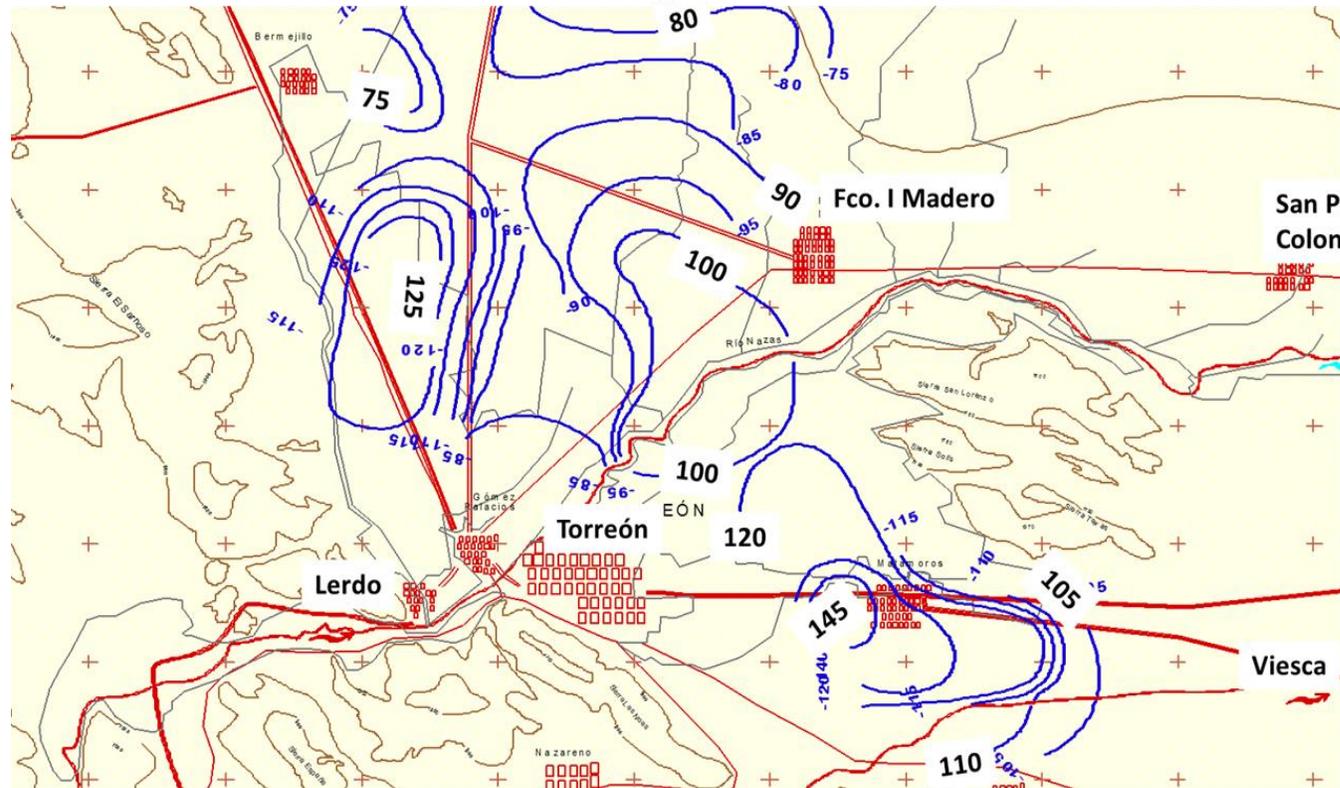
← Desarrollo agrícola →

¡¡Pérdida de almacenamiento: 6,400Mm³/a!!

En la mayoría de los casos la sobreexplotación ha sido generada por desarrollos agrícolas.

Región Lagunera, Coah.-Dgo.

Tlahualilo



Panteón municipal
Torreón

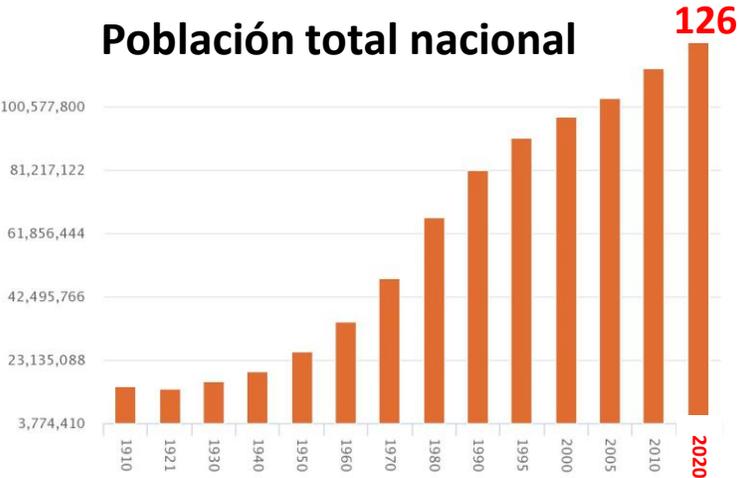


Zona conurbada Torreón

Abatimiento del nivel estático (1941-2018)

El agua en el sector urbano: uso privilegiado

Demanda creciente de agua y otros servicios hidráulicos



Saneamiento



Suministro



Drenaje



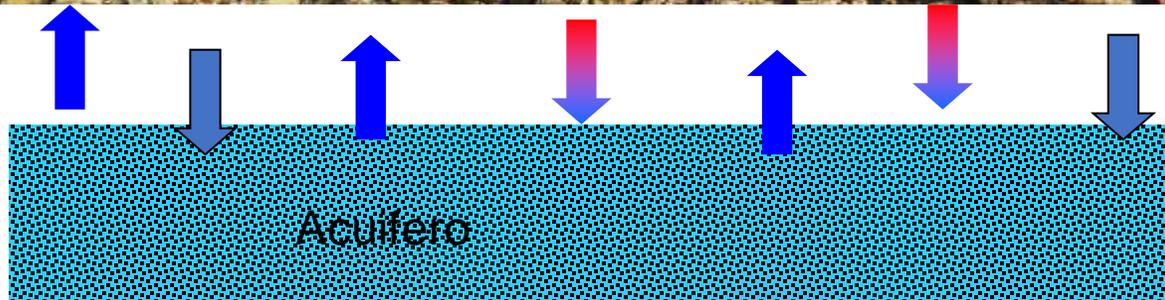
Explosión demográfica urbana



Crecimiento exponencial de la población

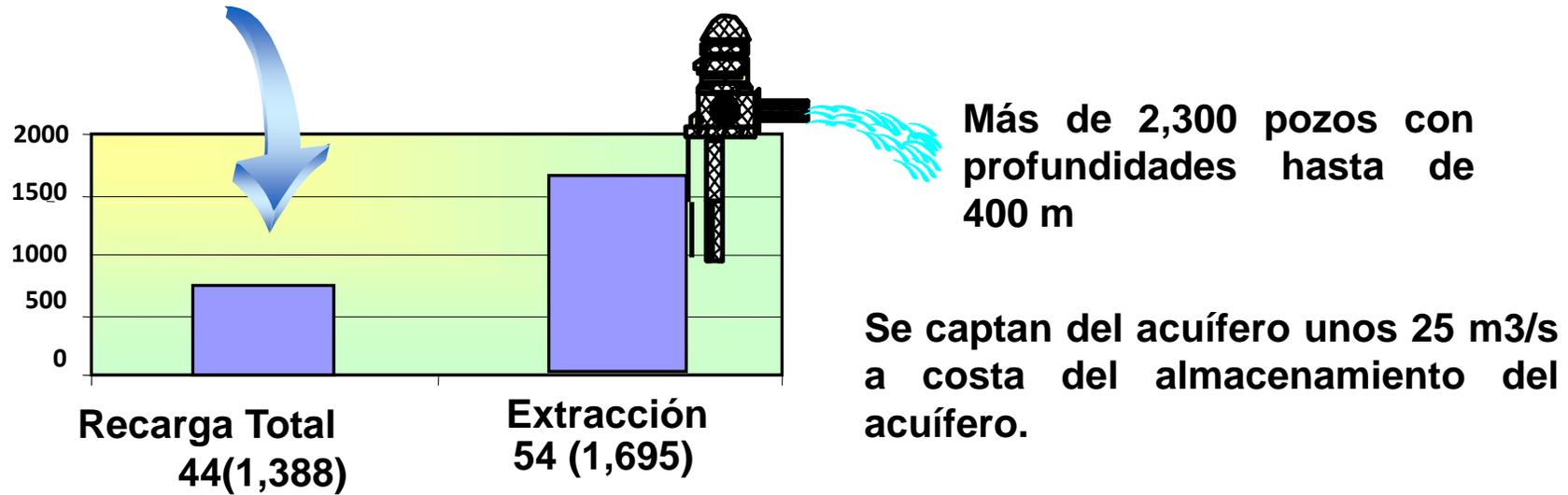


El impacto de la urbanización en el ciclo hidrológico

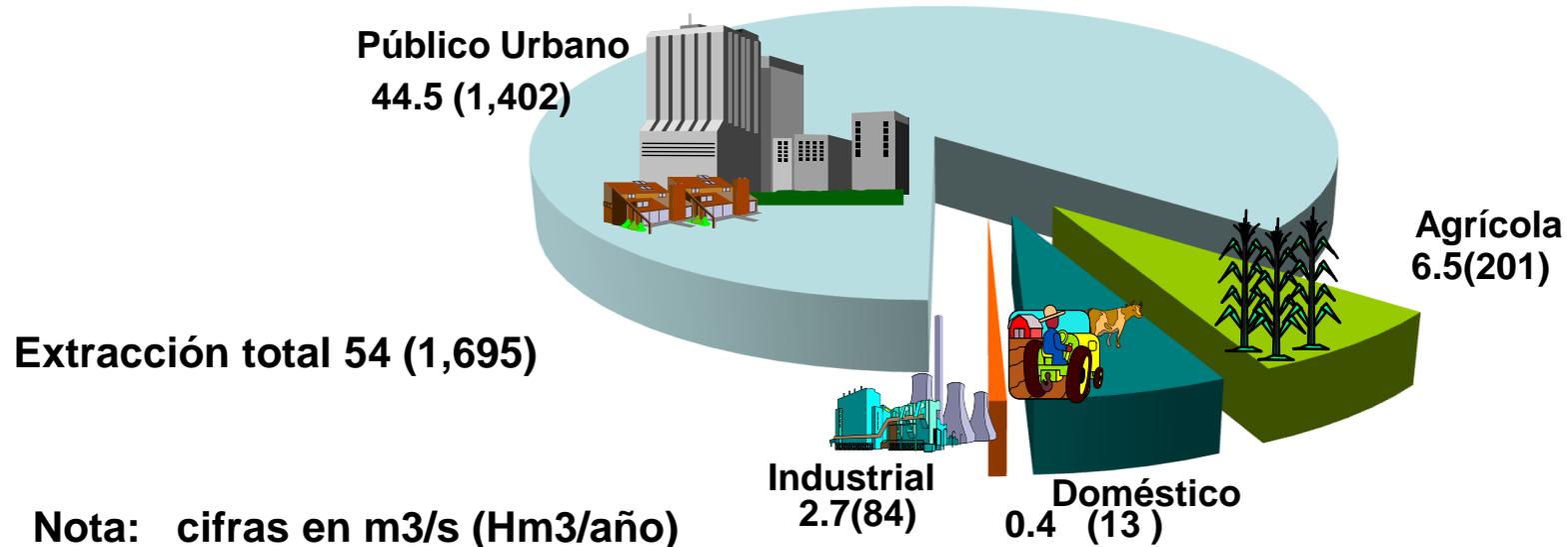


- Reducción de la recarga natural del acuífero y de la evapotranspiración
- Recarga incidental por fugas en las redes hidráulicas
- Desaparición de humedales, lagos y manantiales
- Modificación del drenaje natural
- Contaminación puntual y difusa de las fuentes de agua
- Impacto ecológico
- Microclimas

Recarga y extracción de agua subterránea



Distribución por Usos



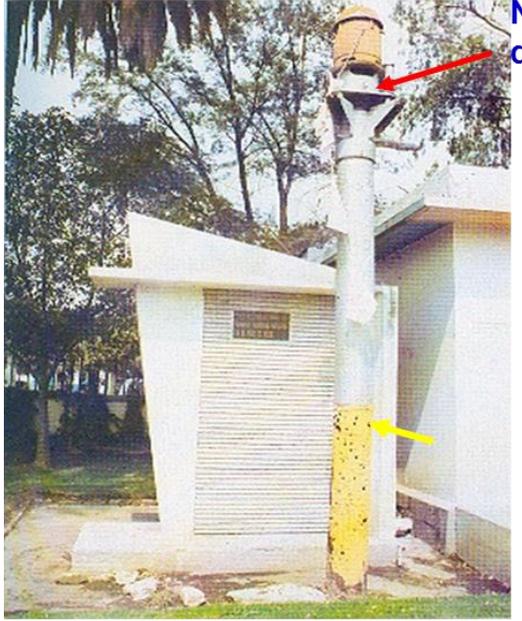
Asentamientos del terreno



Ademe de pozo



Querétaro, Qro.



Nivel original del terreno



1920



2015

8 m

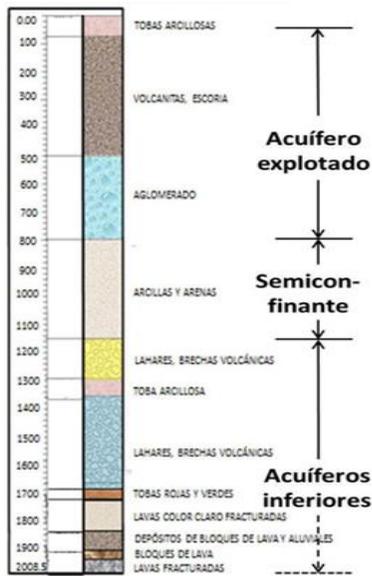
Valle de México



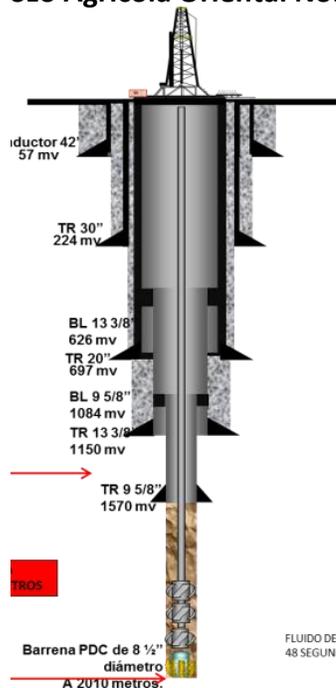
Celaya, Gto.

Pozo SACMEX
(Sn. Lorenzo Tezonco)

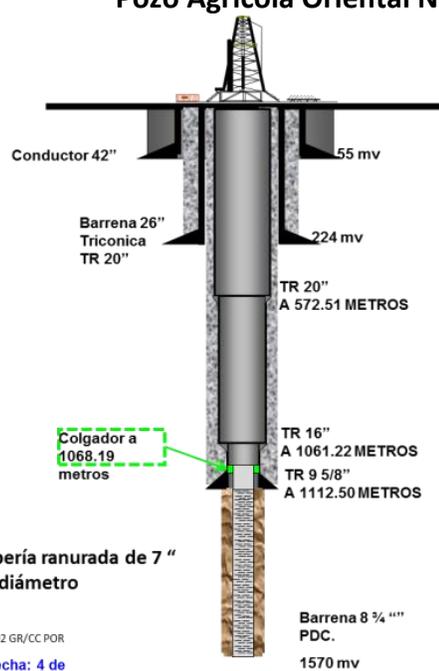
Equipo de perforación (PEMEX)



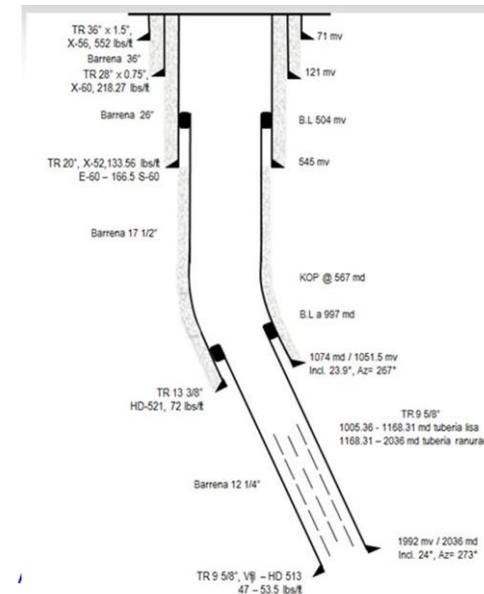
Pozo Agrícola Oriental No. 2B



Pozo Agrícola Oriental No. 2C



Pozo Santa Catarina



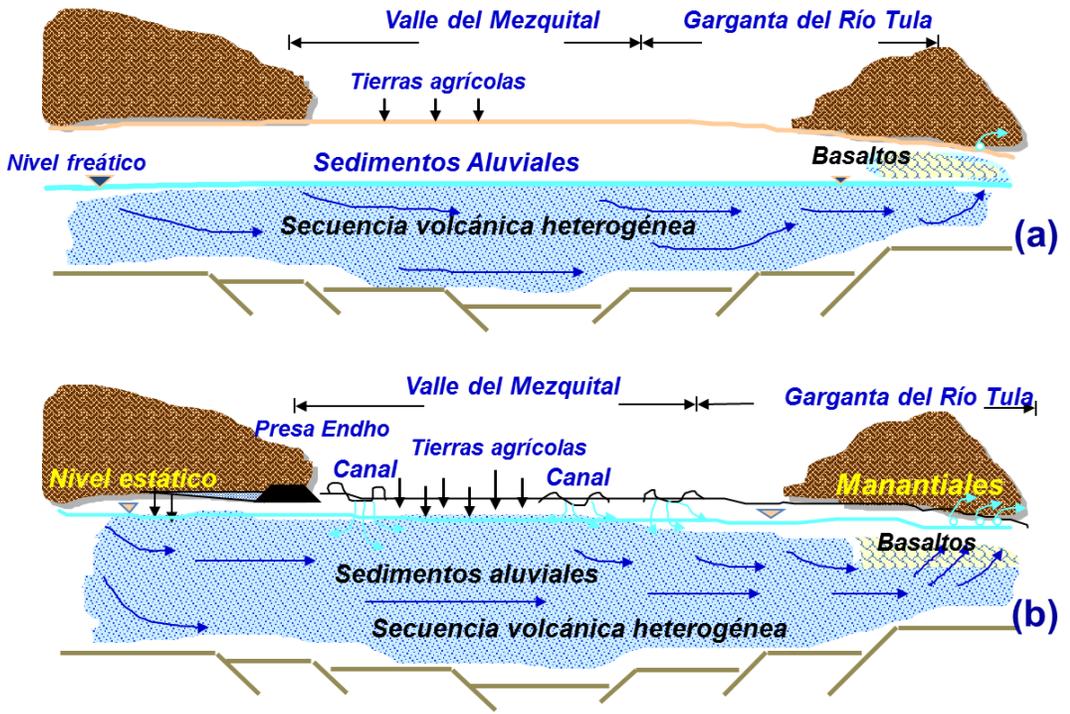
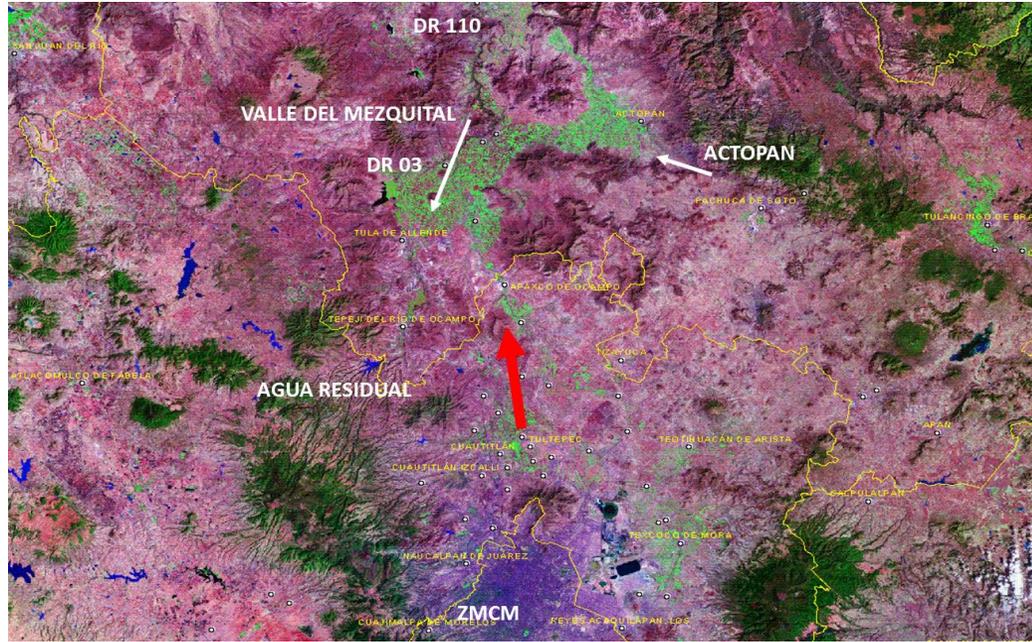
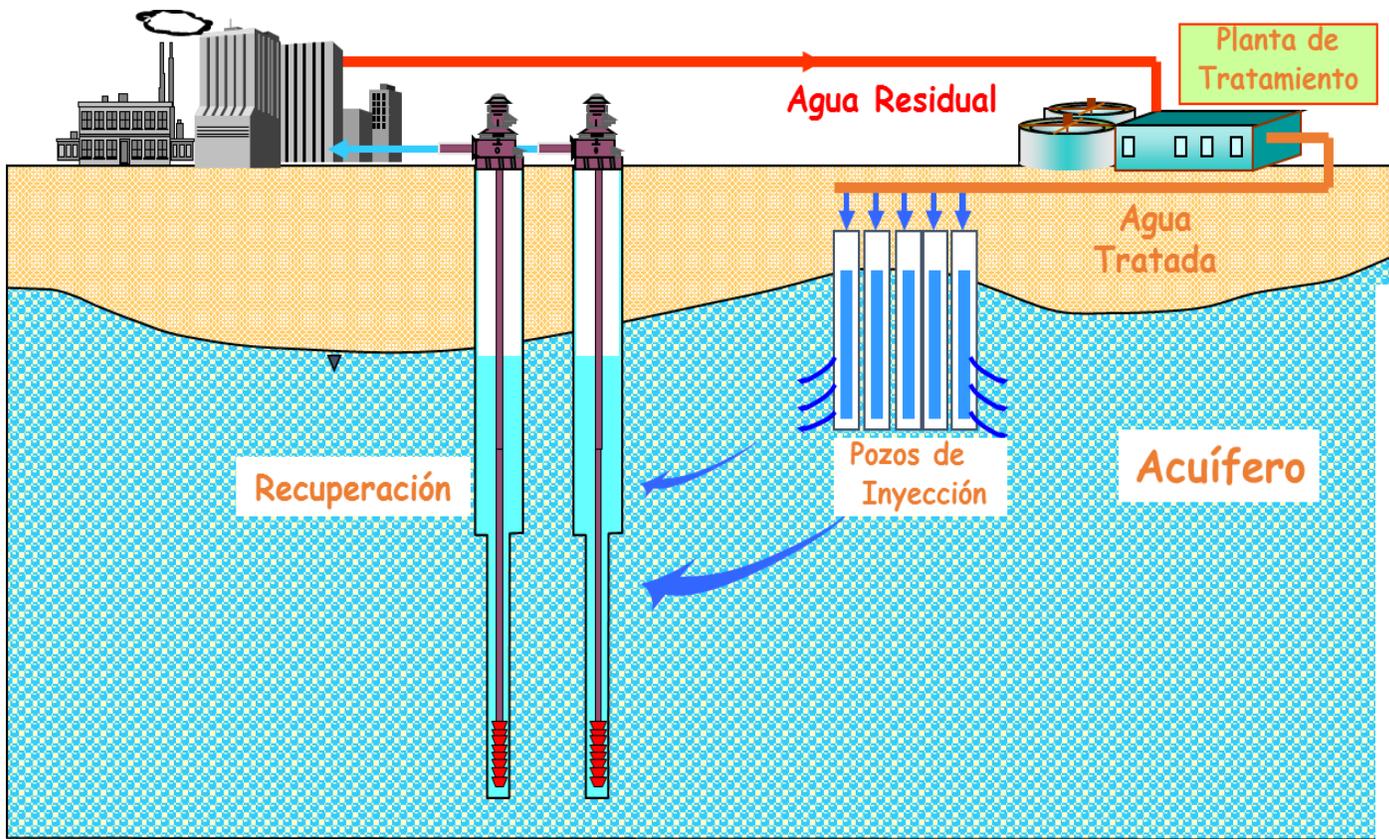
Mástil: 43 m
Capacidad: 5,000 m

Exploración de acuíferos profundos en el Valle de México



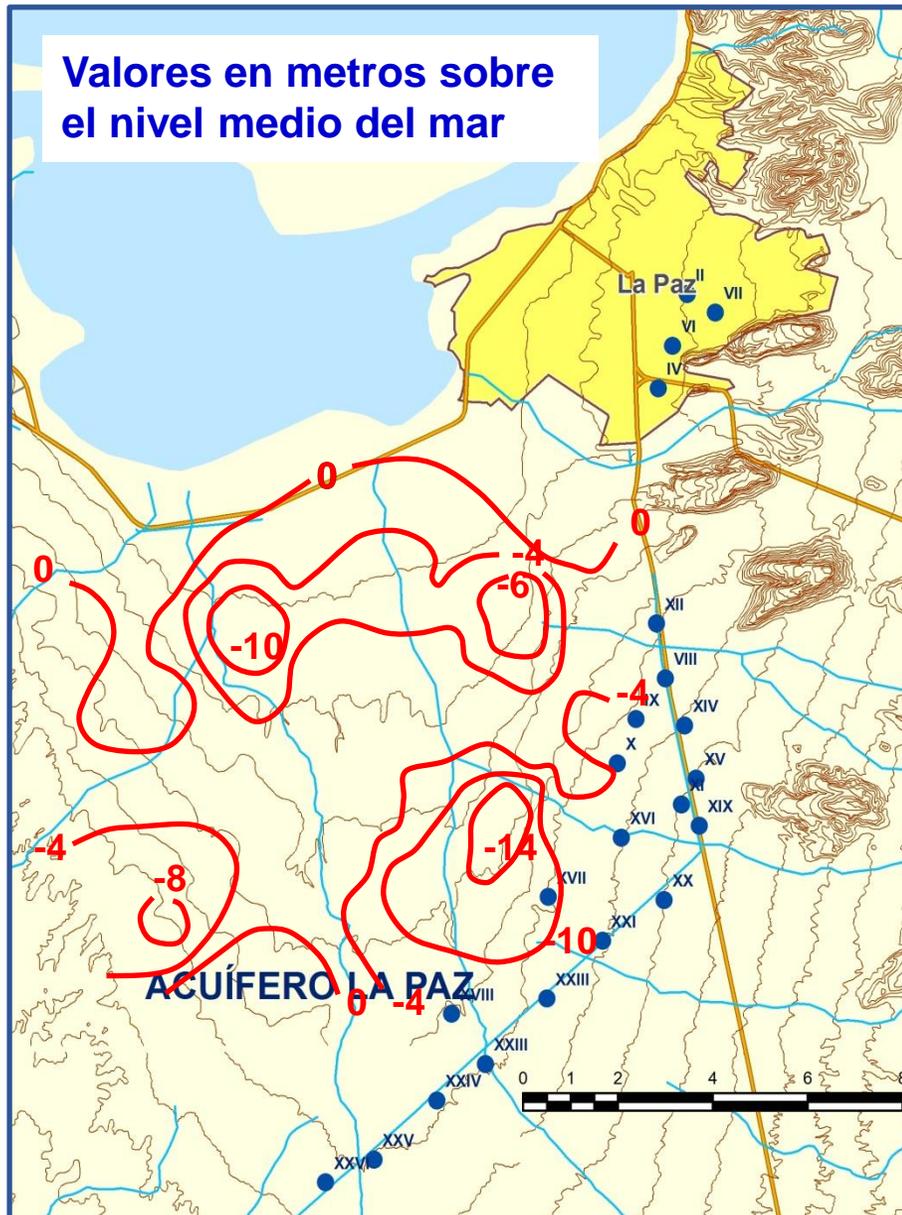
Peso total de equipo, accesorios, tuberías y depósitos: 1,100 ton.

¿Hacia sistemas hidrológicos cerrados?

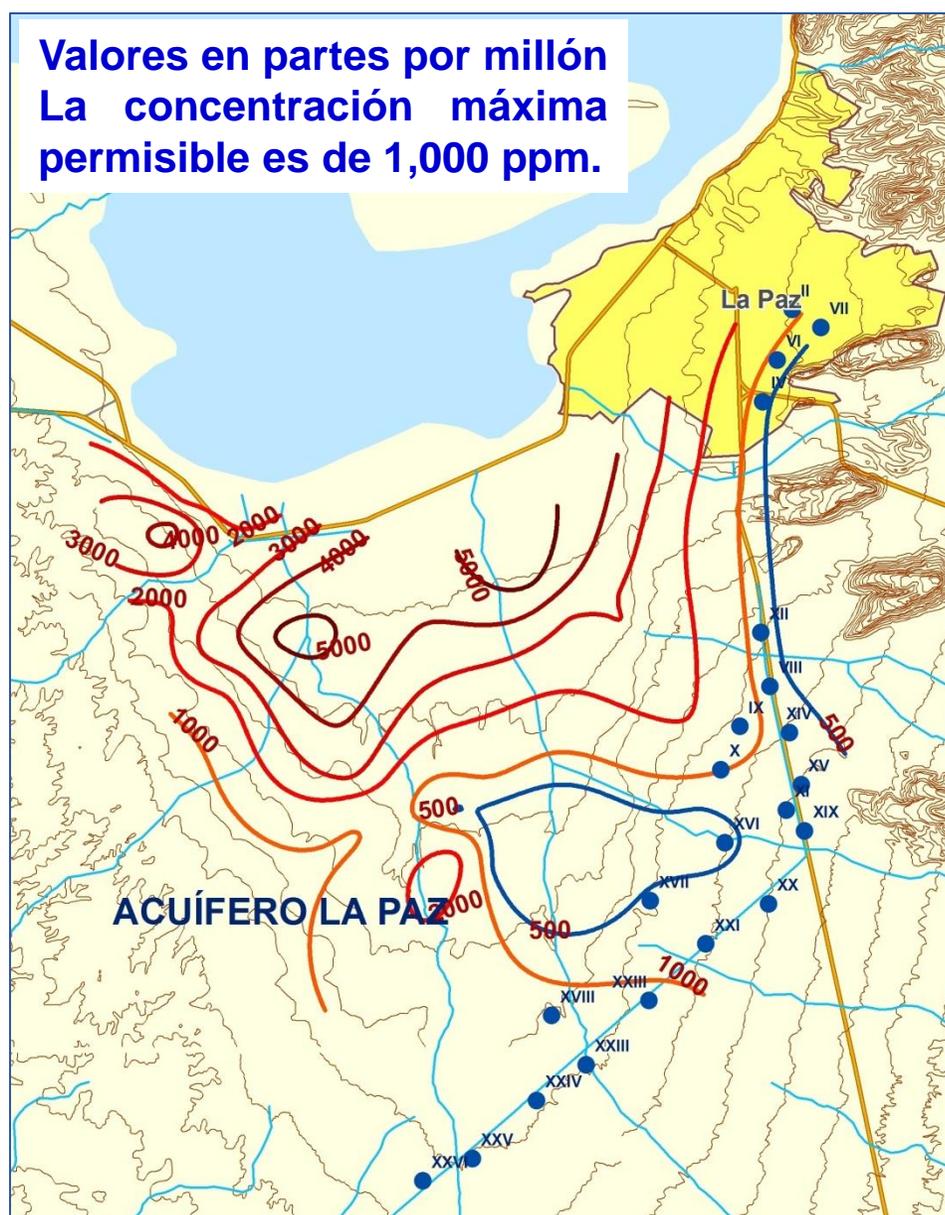


Intrusión salina: el caso de La Paz, B.C.S.

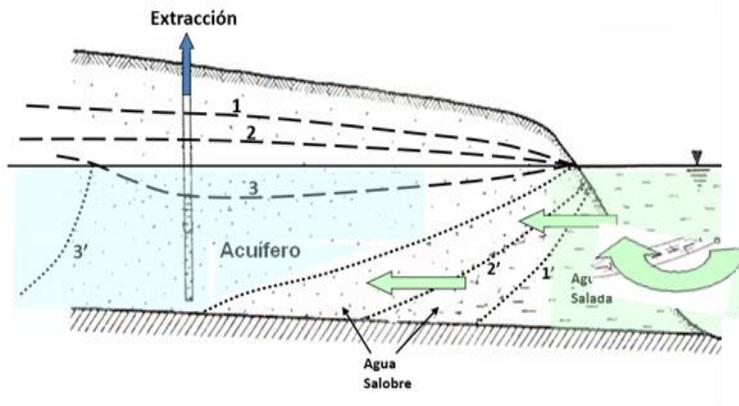
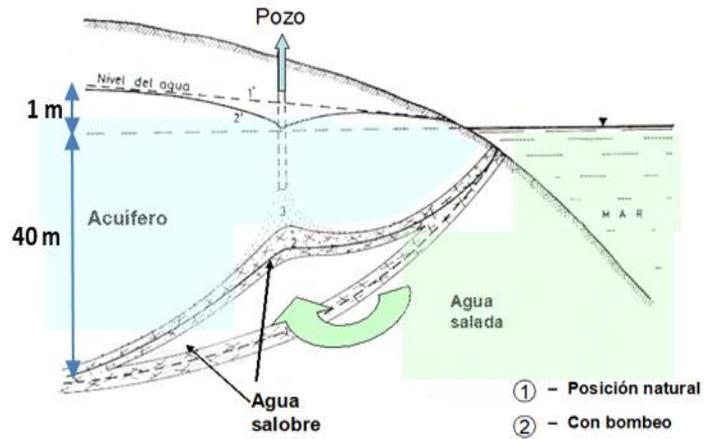
2016



2016



Intrusión salina

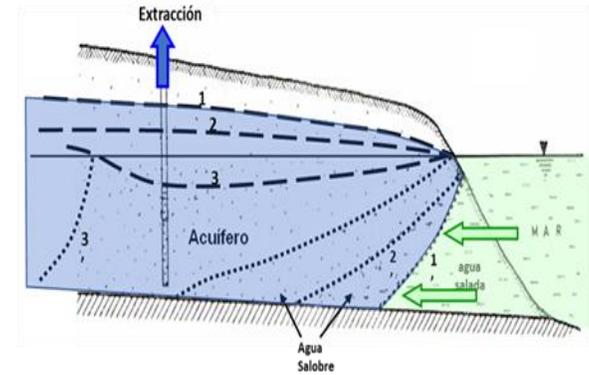


- ① Posición natural
- ② ③ Posiciones sucesivas provocadas por la extracción de agua subterránea
- Interfase salina

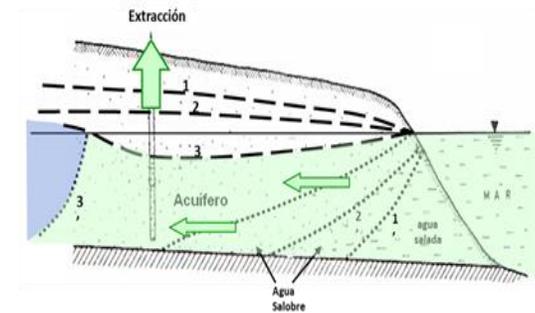
La intrusión salina tiene dos componentes: los pozos succionan el agua de la "cuña" salina natural que subyace al agua dulce en los acuíferos costeros.

Los niveles de agua son abatidos bajo el nivel del mar por sobreexplotación: el agua marina avanza tierra adentro en sentido horizontal y vertical, desplazando al agua dulce.

Condiciones naturales



Condiciones actuales



- ① Posición natural
- ② ③ Posiciones sucesivas provocadas por la extracción de agua subterránea
- Superficie freática
- Interfase salina

Avance de la intrusión salina

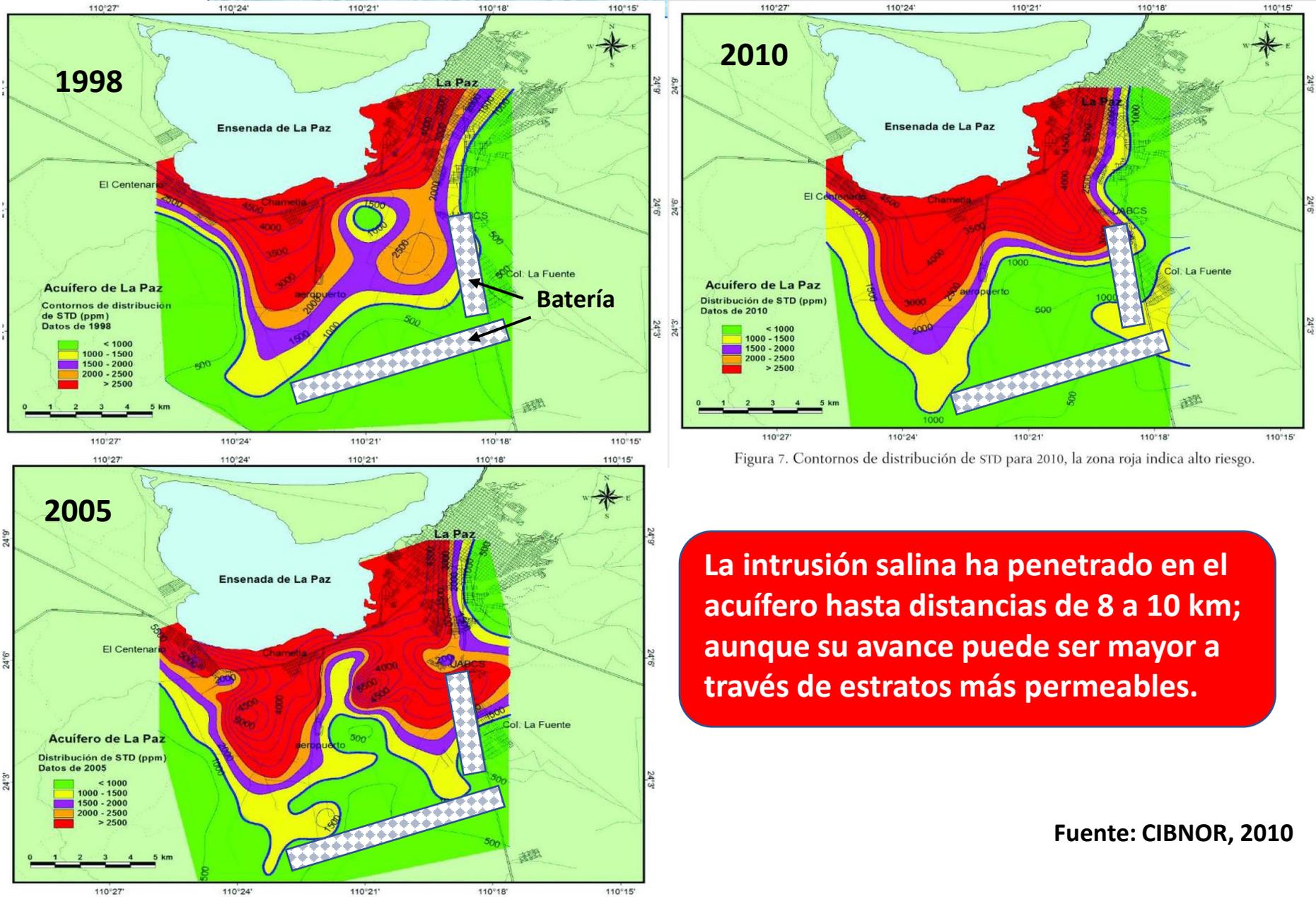


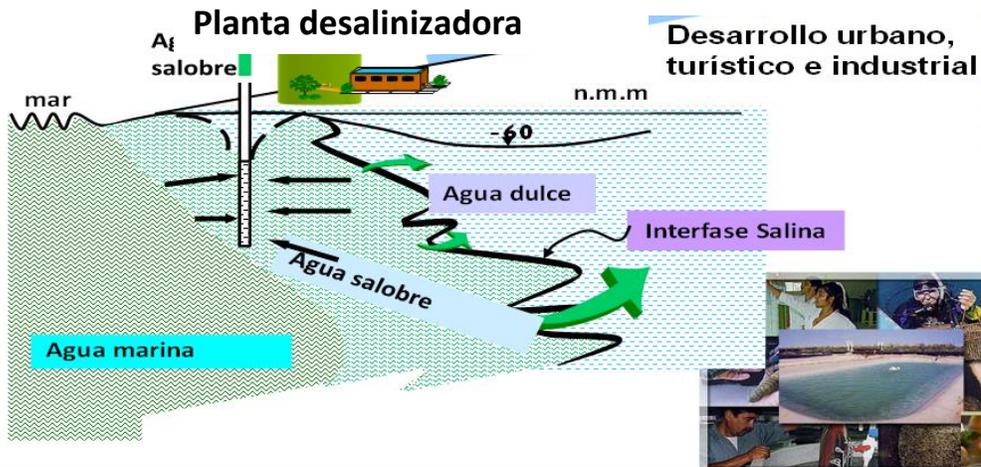
Figura 7. Contornos de distribución de STD para 2010, la zona roja indica alto riesgo.

La intrusión salina ha penetrado en el acuífero hasta distancias de 8 a 10 km; aunque su avance puede ser mayor a través de estratos más permeables.

Captación de agua marina en los acuíferos costeros

Problema: creciente demanda de agua en cuencas costeras sin disponibilidad de agua dulce.

Práctica antigua en reducida escala, pero poco tecnificada y no regulada.



La captación de agua mediante pozos cercanos a la costa permite aprovechar el agua marina con menor salinidad y libre de sólidos en suspensión.



Menor costo de desalinización

Aprovechamiento económico de una fuente externa prácticamente inagotable: el mar.

Jueves 11 de mayo de 2017

DIARIO OFICIAL

(Primera Sección)

SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

LINEAMIENTOS para el otorgamiento de concesiones o asignaciones de agua subterránea salada proveniente de captaciones ubicadas en la proximidad del litoral.

Las grandes ciudades: ¿agujeros negros?

Agua



Medio ambiente



Población



Recursos



Agricultura

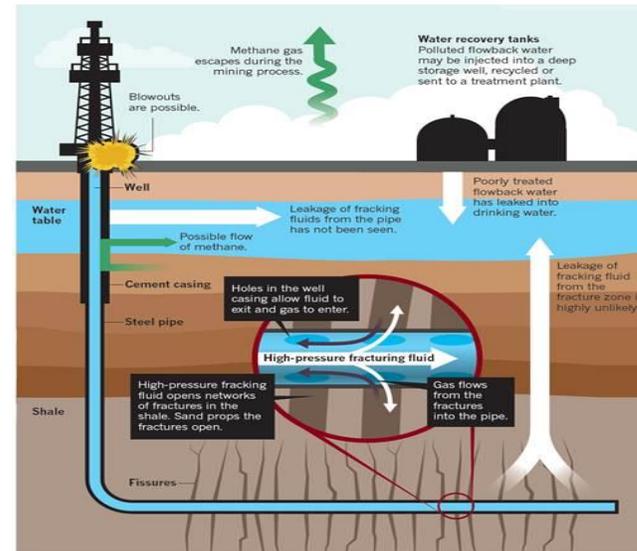
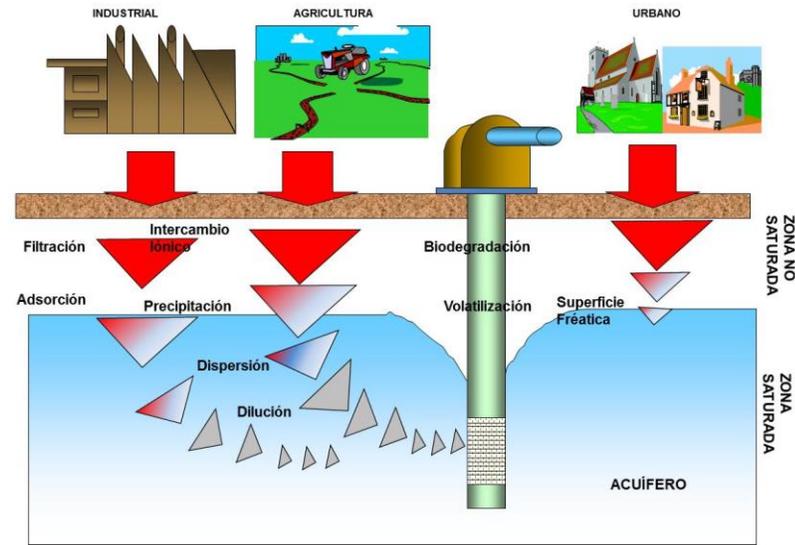
Ciudades esponja

- Estrategia de desarrollo de bajo impacto y tecnología verde.
- Control de inundaciones urbanas.
- Restauración de ecosistemas, regulación de clima local y reducción de las emisiones de CO2.
- Retención, almacenamiento, uso y liberación controlada del escurrimiento superficial.
- Propician la recarga artificial.
- Alientan uso comunitario de los espacios públicos.



CHINA. En 2014 adopta el *Plan Nacional de Ciudades Esponja* con un objetivo: para 2020, 80% de las áreas urbanas absorberán y reutilizarán al menos 70% del agua de lluvia. En abril de 2015, se seleccionó el primer grupo de 16 ciudades y en 2016 se extendió a otras 14 ciudades.

Todo desarrollo es potencialmente contaminante



Derrame de mina en la cuenca del río Sonora



Población: 20 a 25 mil hab., distribuidos en 34 localidades.

Demanda media de agua:

40 l/seg (1.5 hm³/a).

35 pozos suministran agua a las ciudades y comunidades, de los cuales 19 abastecen al 95% de la población afectada.

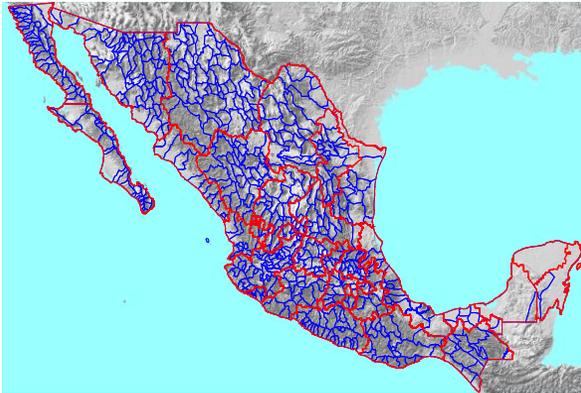
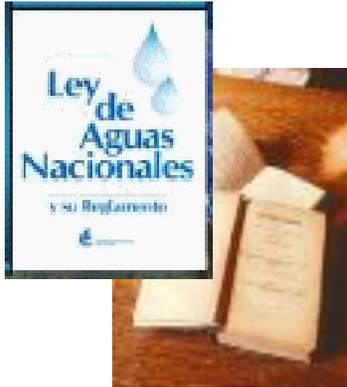
Longitud del valle:

250 km desde la población de Cananea hasta la presa “El Molinito”.

Legislación y normativa

LEY DE AGUAS NACIONALES

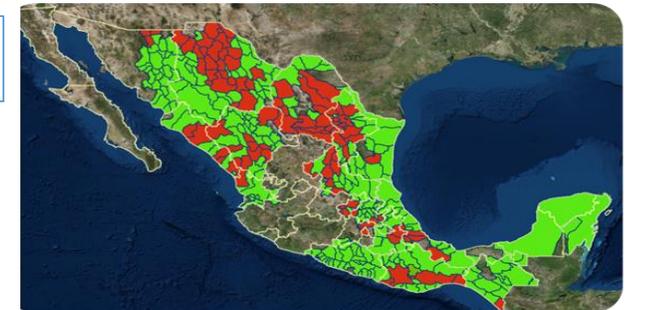
- Reglamento LAN
- Ordenamientos (vedas, reglamentos, reservas)
- Normas oficiales
- Lineamientos
- Acuerdos



Marco de referencia



2012: 146 vedas (55% del territorio); 45% libre alumbramiento.



2013: suspensión del libre alumbramiento en 333 acuíferos.
2021: vedas y reglamentos pendientes de emisión.

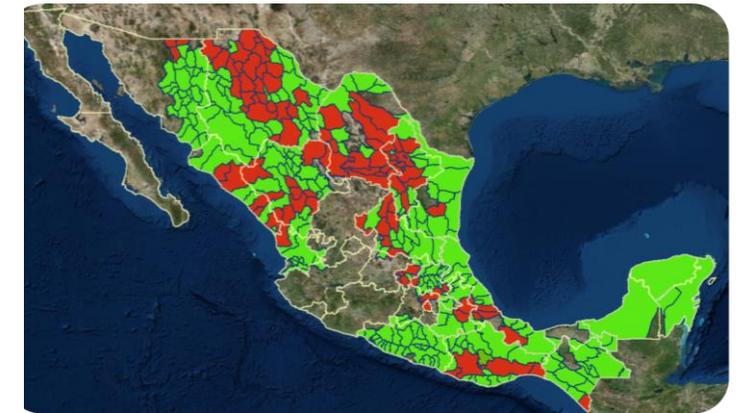
¡¡LIMBO LEGAL!!

Planeación para el Manejo Sostenible

- ✓ Manejo de la demanda: uso eficiente, reuso, recirculación, tecnificación del riego, conversión de cultivos, cambios de uso...
- ✓ Monitoreo del Ciclo Hidrológico, en cantidad y calidad
- ✓ Uso conjunto agua superficial, subterránea, pluvial, residual y marina.
- ✓ Ordenamientos legales
- ✓ Participación social (CC, COTAS)
- ✓ Recarga artificial y cosecha de agua de lluvia.
- ✓ Desalinización



2012: 146 vedas (55% del territorio); 45% libre alumbramiento.



2013: suspensión del libre alumbramiento en 333 acuíferos.
2021: vedas y reglamentos pendientes de emisión.

Manejo de la demanda

- ✓ Reducción de fugas y desperdicios
- ✓ Reúso



- ✓ Recirculación
- ✓ Uso de agua residual
- ✓ Estímulos fiscales

- ✓ Tecnificación de riego
- ✓ Conversión de cultivos
- ✓ Uso de agua residual tratada

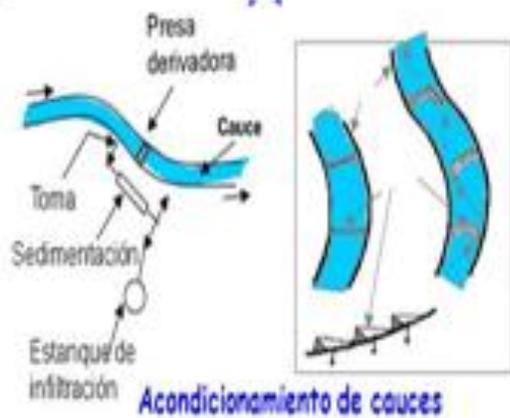


Planes de manejo

Planes hídricos (nacional, regionales y estatales) Planes por acuífero



Recarga artificial



Cambios de uso

Práctica antigua en reducida escala, pero poco tecnificada y no regulada.



Desalinización

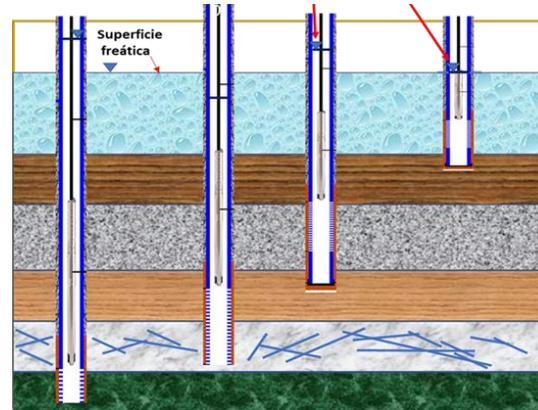


PLANES DE MANEJO

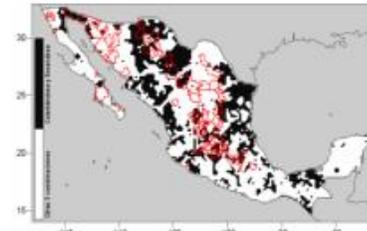
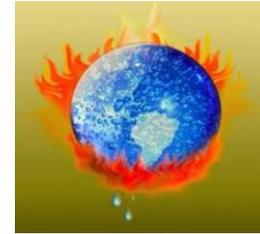
Importación



Acuíferos profundos?

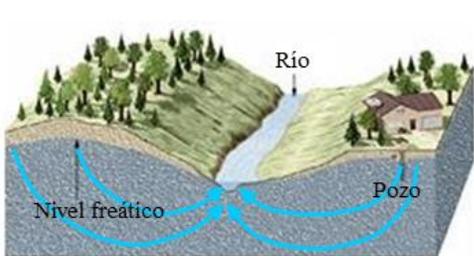


Cambio climático

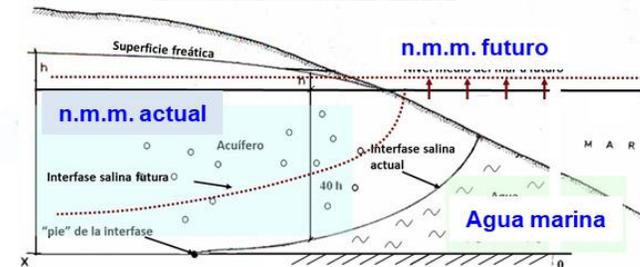


Infraestructura urbana azul y verde

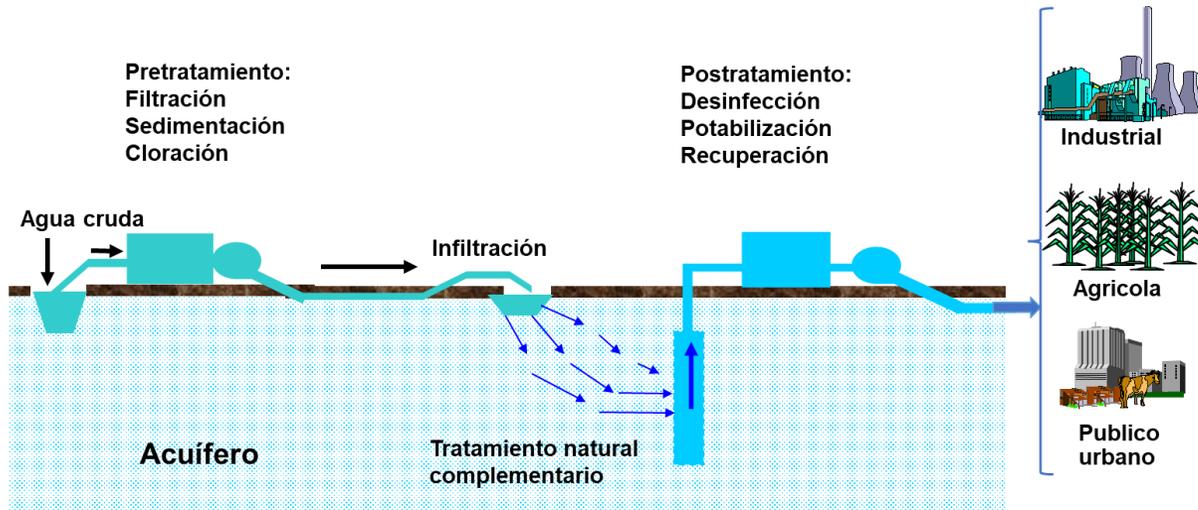
Protección y restauración de ecosistemas



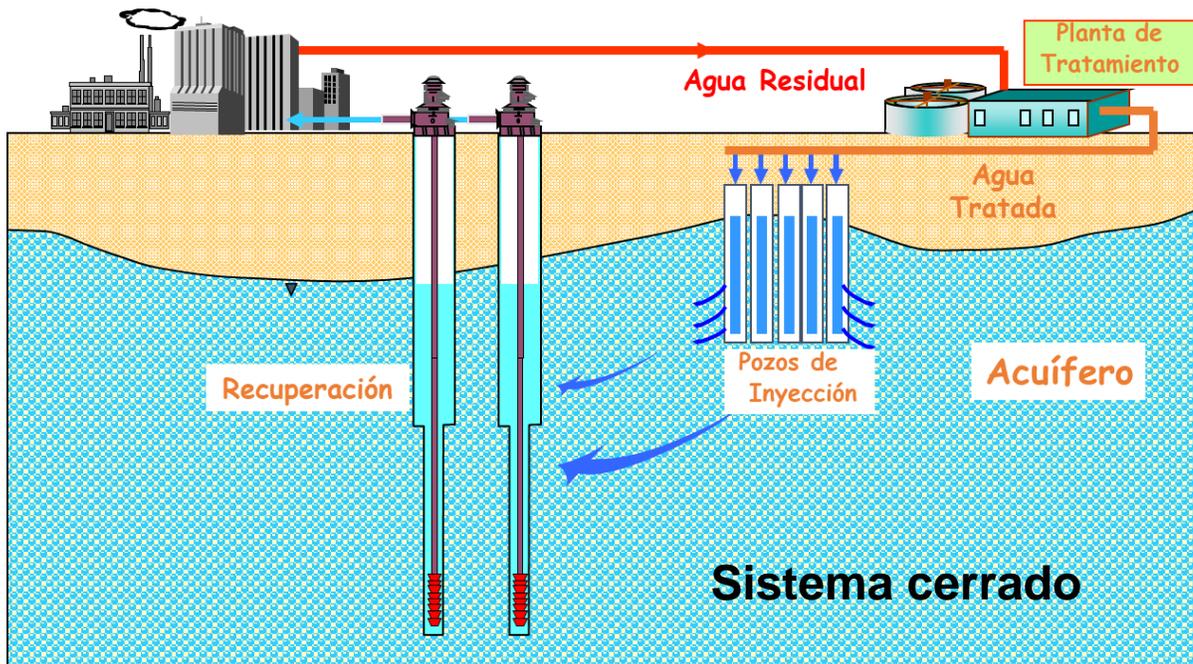
Cada acuífero requiere un “traje a la medida” consensuado con los sectores usuarios y demás entidades involucradas en el uso y manejo del agua.



Recarga artificial



Mesa de San Luis Rio Colorado, Son.



Canal Sacramento

Región Lagunera, Coah.



Estanques de infiltración

Participacion social



CC/COTAS(90)



Organismos operadores



Distritos y unidades de riego



Academia



Industrias



Grandes desarrollos



Cambio climático: impacto sobre los acuíferos

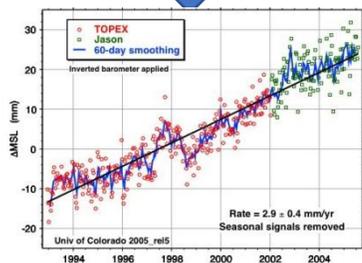
Causas



Calentamiento global

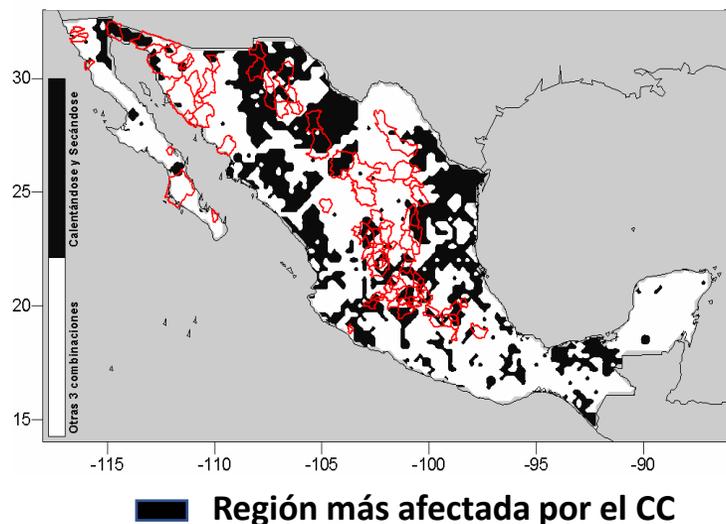


Derretimiento de glaciares



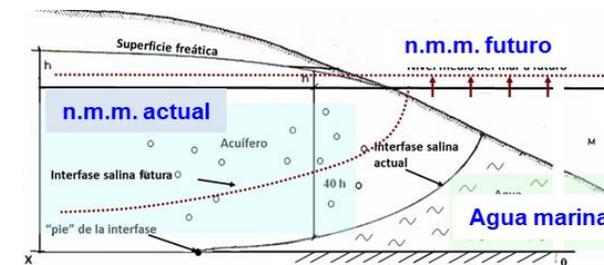
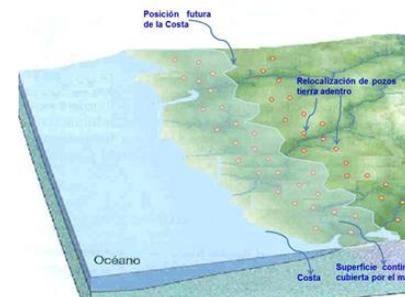
Ascenso nivel del mar
(3 a 4 cm/a?)

- Aumento de T° y Ev
- Reducción de precipitación, infiltración y escurrimiento
- Sequías más severas y frecuentes



El impacto negativo será mayor donde se combine el incremento de la temperatura con el decremento de la precipitación.

Efectos



Pérdida de terreno continental

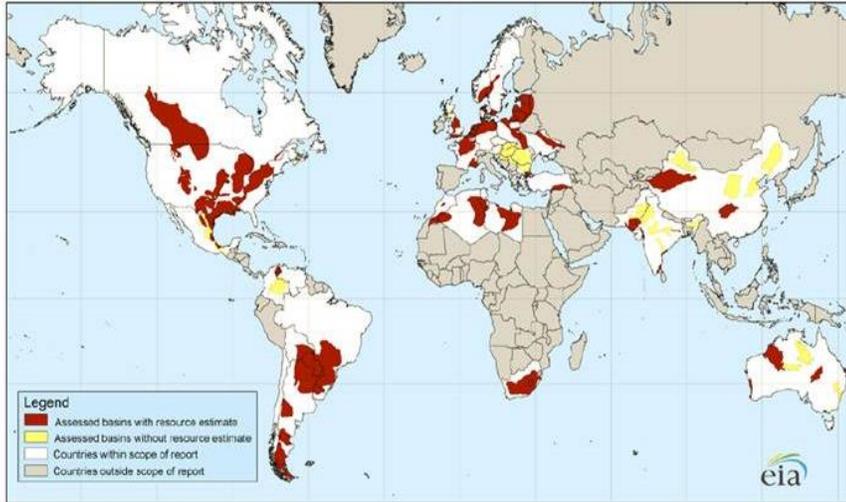
Afectación a infraestructura y a ecosistemas costeros

Modificación del régimen de la descarga del acuífero al mar

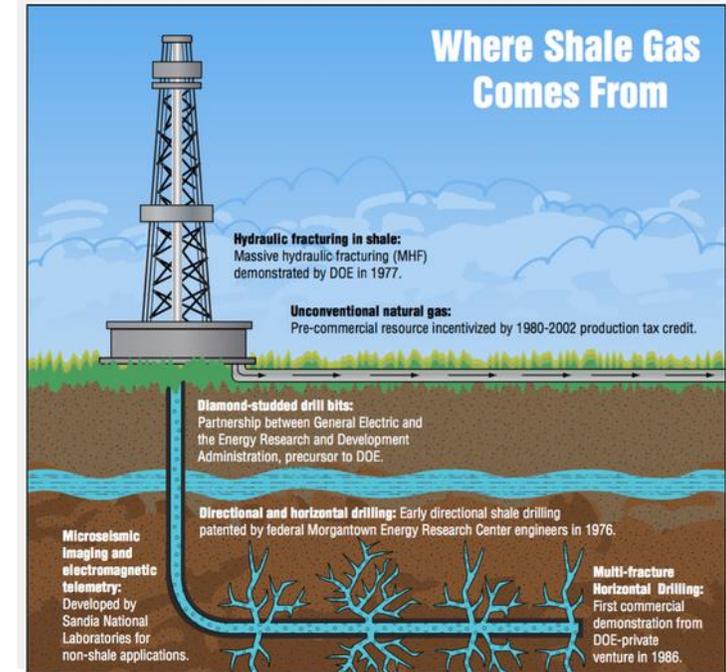
Avance tierra adentro de la interfase salina y disminución del espesor saturado de agua dulce.



Principales yacimientos no convencionales en el mundo y en México



País	Reserva (10 ⁹ m ³)
China	36.104
Estados Unidos (cerca de un millón de pozos)	24.409
Argentina	21.917
México	19.284
Sudáfrica	13.734
Australia	11.213
Canadá (alrededor de 550 mil pozos)	10.987
Libia	8.2119
Argelia	6.5412
Brasil	6.3996



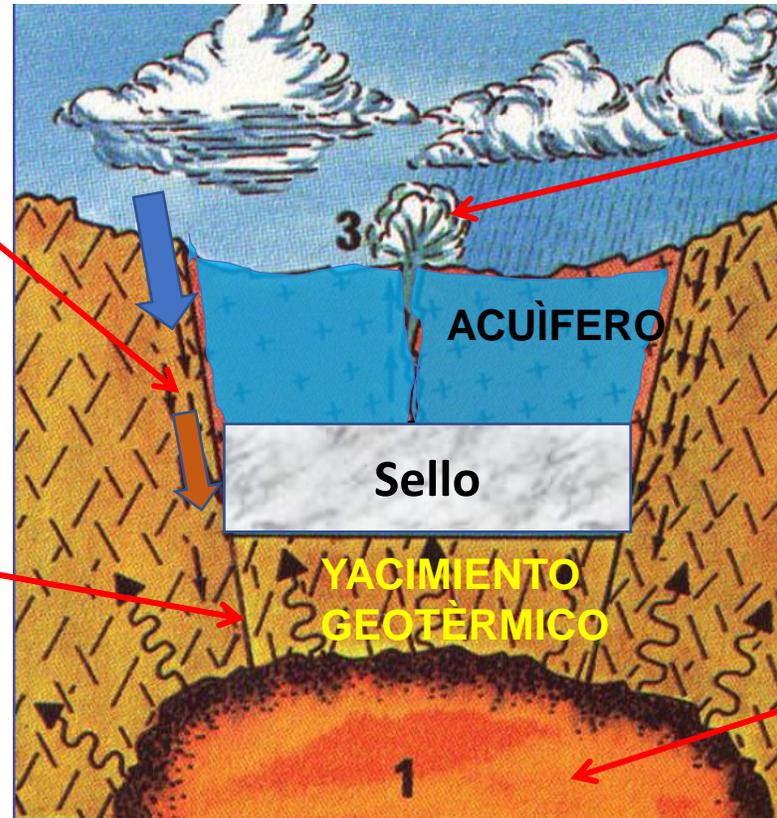
La gran reserva de gas en lutitas existente en nuestro país, motivó que se impulsara su explotación en gran escala como parte de la Reforma Energética.

Características generales de los yacimientos geotérmicos hidrotermales

Agua infiltrada hace cientos o miles de años.

Yacimiento geotérmico:
Alojado en estructuras geológicas a profundidades mayores de mil metros.
Renovación natural casi nula (agua "fósil") a escala humana .

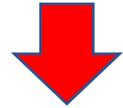
Elevada salinidad por disolución
Alta concentración de (B, As,...
Temperatura > 150 °C



geyser

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

Regulación de las aguas geotérmicas



Ley de Energía Geotérmica

Ley de Aguas Nacionales



Marco regulatorio

Gracias por su atención



Ing. Rubén Chávez Guilén
Consultor privado.

