



**CONAGUA**  
Comisión Nacional del Agua



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

# LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS EN MÉXICO

**Ing. Rubén Chávez Guillén**  
**Gerente de Aguas Subterráneas**  
**Subdirección General Técnica, CONAGUA**

# Objetivos de la Recarga Artificial

- ❑ Incremento de la recarga y la disponibilidad de agua de los acuíferos.
- ❑ Reducción del ritmo de abatimiento de los niveles piezométricos.
- ❑ Control de asentamientos del terreno
- ❑ Tratamiento natural del agua en el subsuelo para mejorar su calidad.
- ❑ Control de la interfase salina en acuíferos costeros
- ❑ Creación o incremento de reservas de agua subterránea (eventual previsión para el cambio climático)

# Factibilidad de la Recarga Artificial

Desde el punto de vista técnico, la factibilidad depende de varios factores:

- a) que haya agua disponible para tal fin,
- b) que ésta sea de calidad tal que no deteriore la calidad del agua subterránea nativa o que sea factible su tratamiento natural/artificial
- c) que haya áreas disponibles para la construcción de las obras de recarga
- d) que sea factible recuperar el agua de recarga.

# **Aspectos a considerar**

**Caracterización hidrogeológica detallada del área de interés (suelo, zona no saturada y zona saturada);**

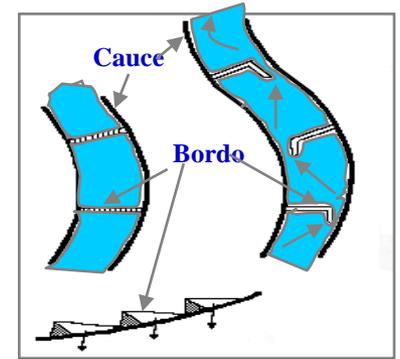
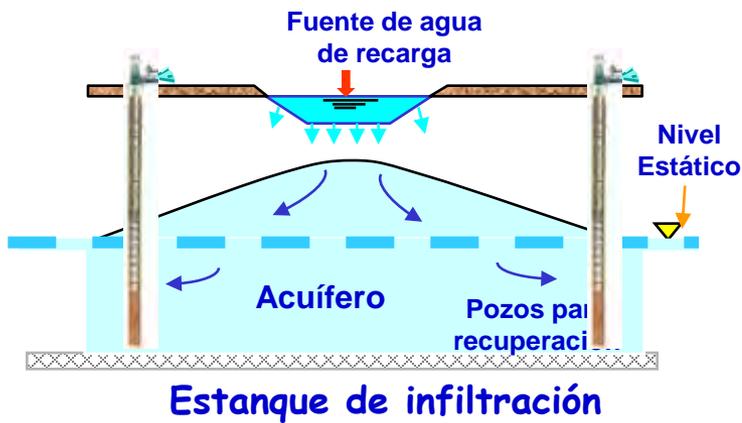
**Características físico-químicas y biológicas del agua nativa y de la disponible para recarga;**

**Evaluación de los métodos opcionales de recarga aplicables al caso;**

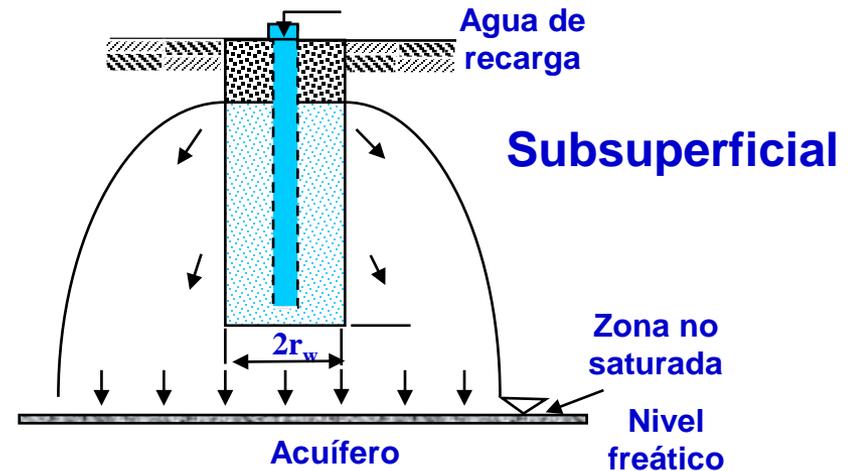
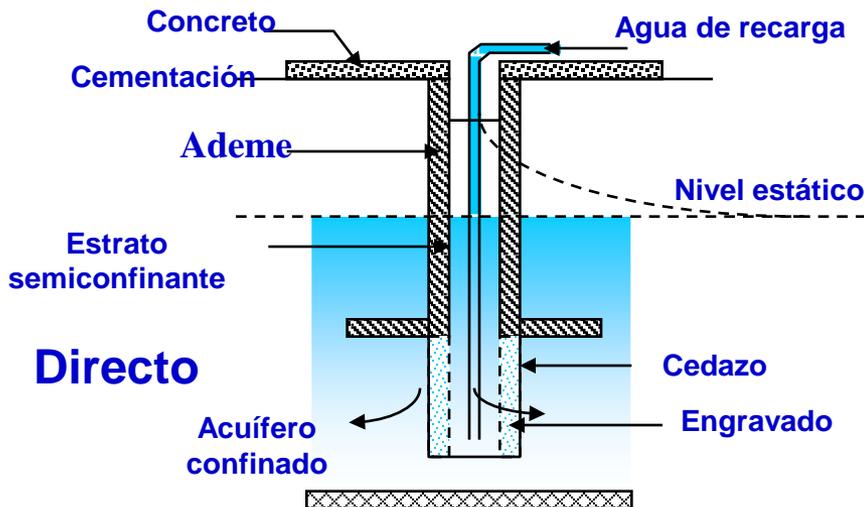
**Simulación de los probables efectos de la recarga sobre los niveles y la calidad del agua subterránea;**

**Aspectos socioeconómicos, administrativos y legales.**

# Métodos de Recarga Artificial

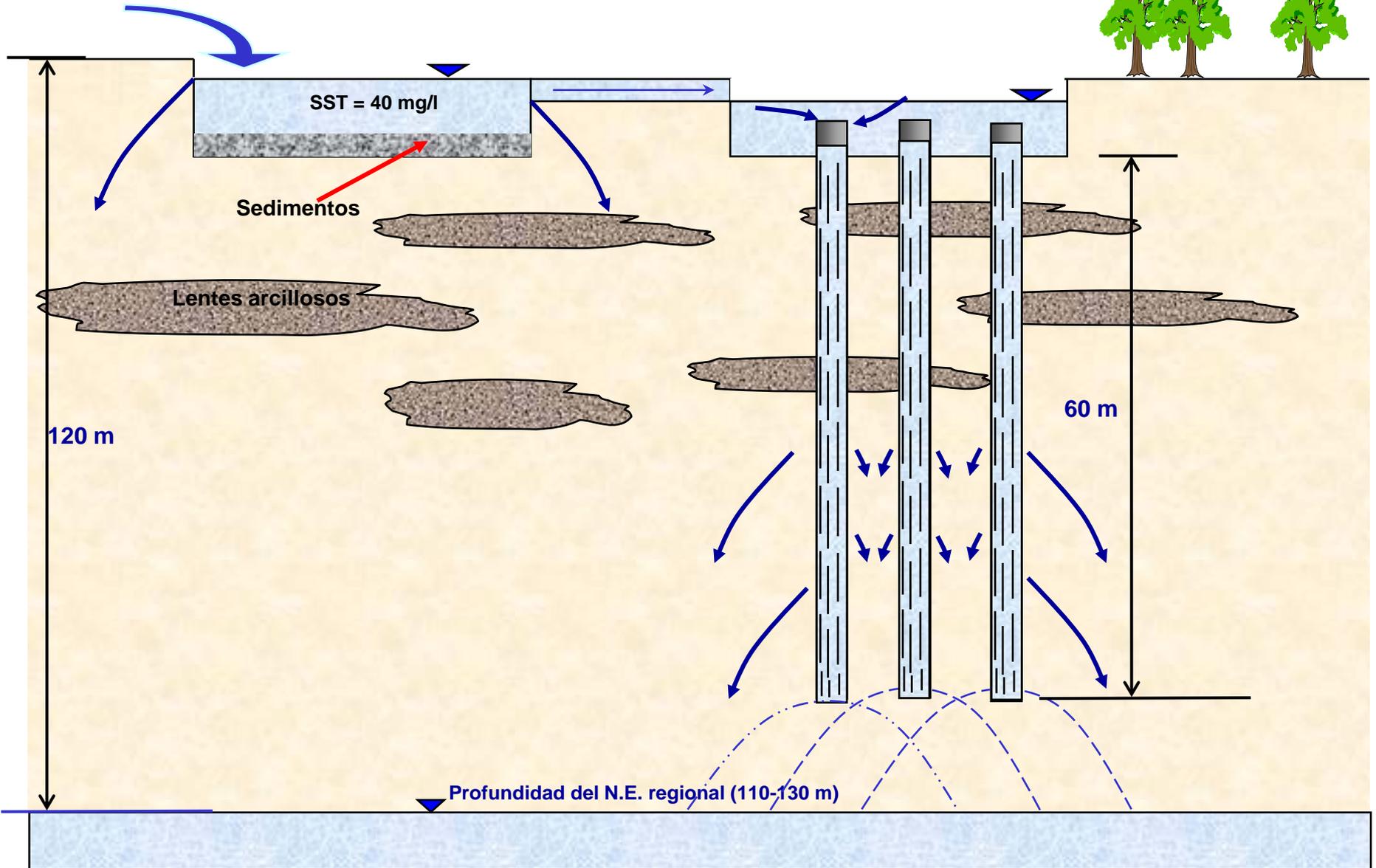


## Superficial

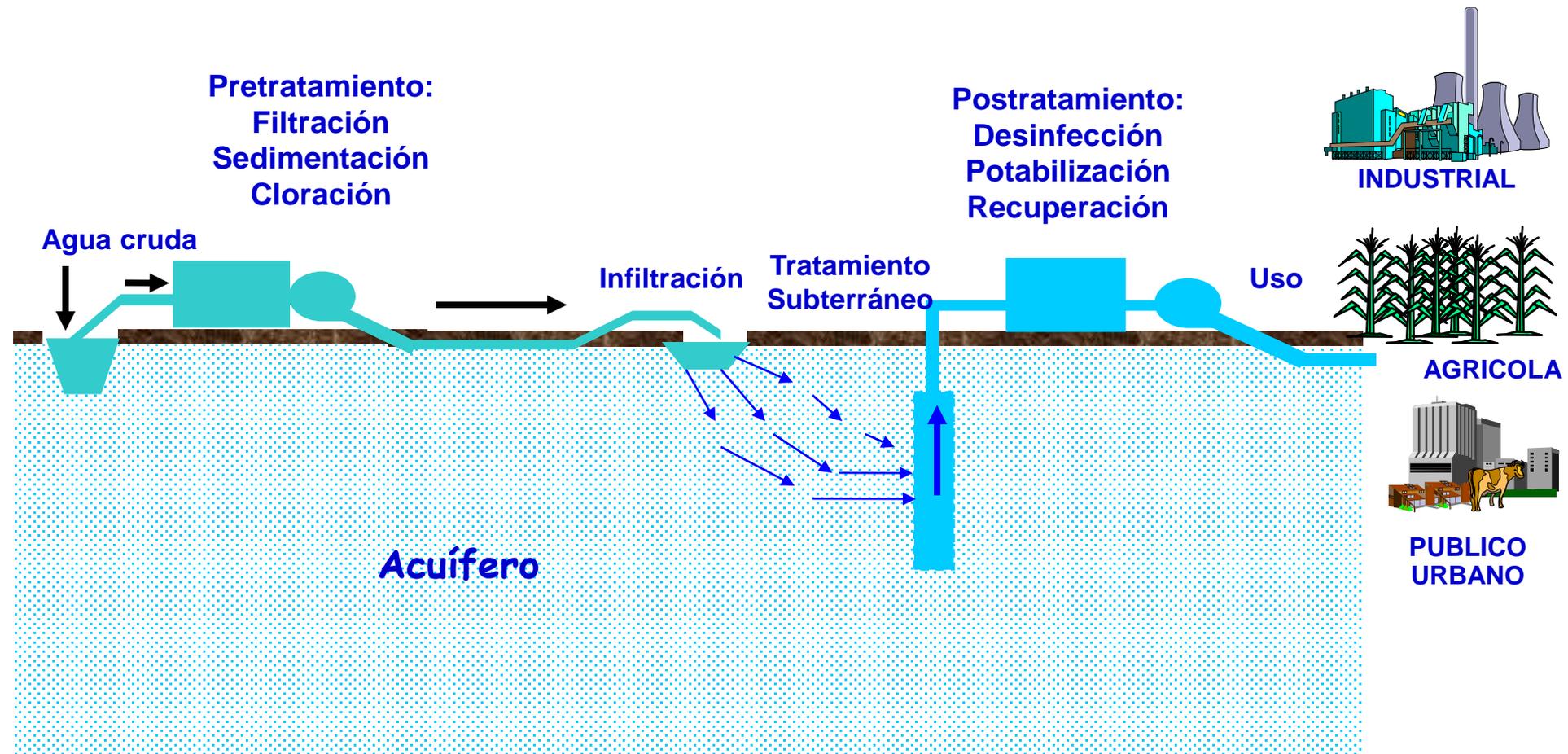


# Recarga: combinar cuencas y pozos de inyección/absorción.

Agua superficial

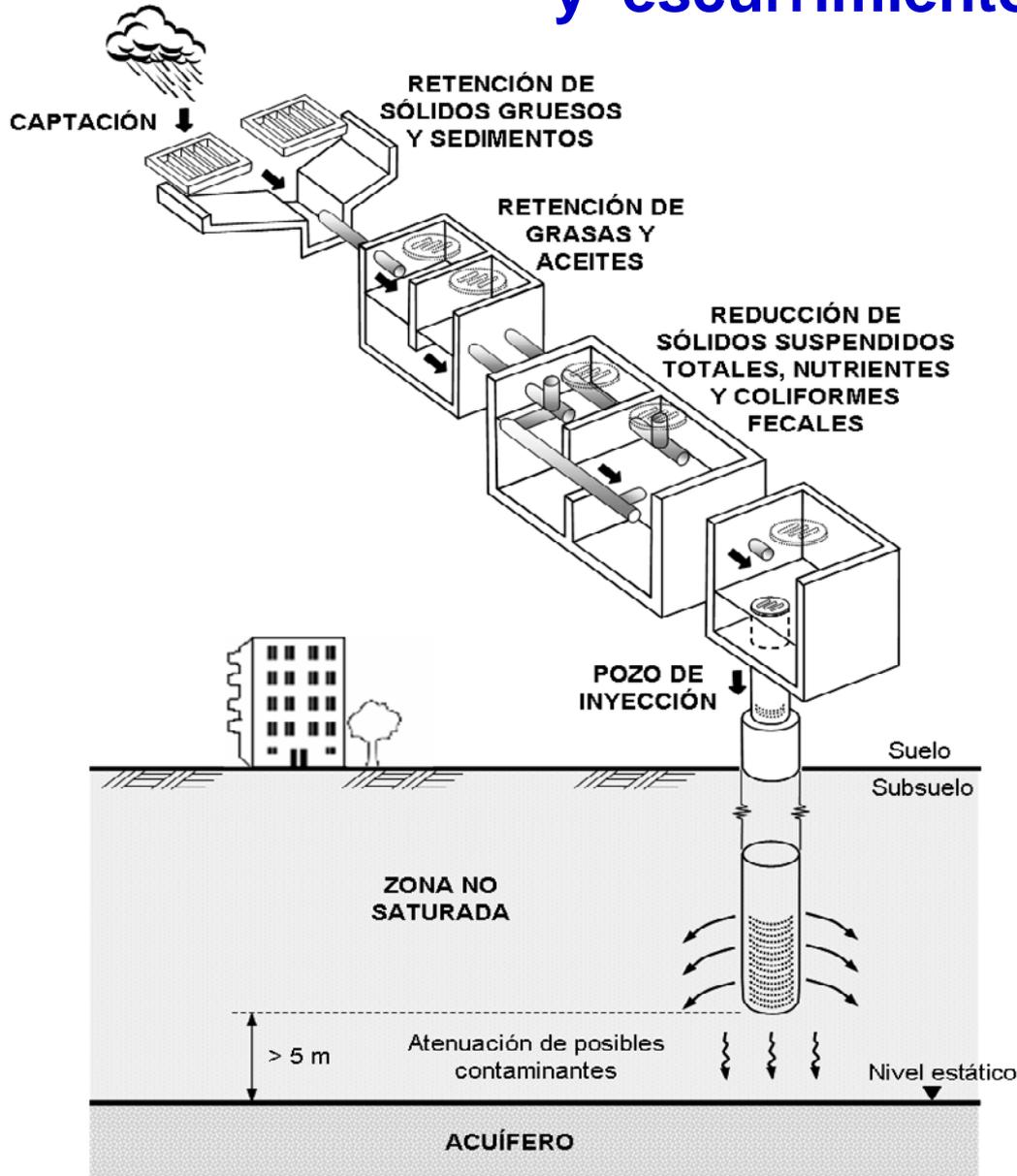


# Tratamiento natural complementario para eventual recuperación y uso



Esquema de las etapas recarga/recuperación

# Disposición a suelo y subsuelo de agua de lluvia y escurrimiento superficial

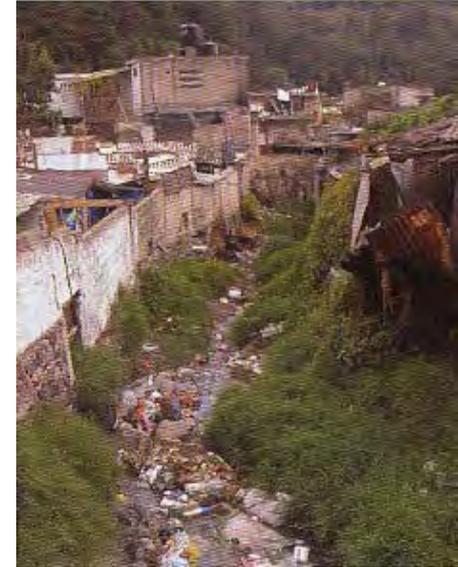


## Restricciones:

- ❑ Sólo permitido en zona no saturada,
- ❑ Requiere pre tratamiento,
- ❑ Remoción >30% de contaminantes,
- ❑ Monitoreo en superficie,
- ❑ Monitoreo del acuífero si  $Q > 100$  lps

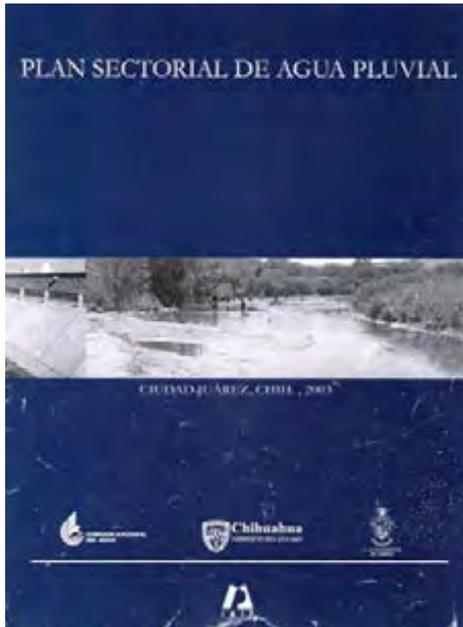
# La principal problemática es la calidad de las aguas pluviales y de escurrimientos superficiales, así como el control de su gasto

Ejemplos: Acarreo de residuos sólidos y líquidos en escurrimientos superficiales e inundaciones en los centros urbanos



Por esta razón se consultaron diferentes referencias con experiencias de otros países (E.U., Australia) y la propia (ciudad Juárez, Chih.)

Guidelines for Urban Stormwater Management



Urban Stormwater BMP Performance Monitoring

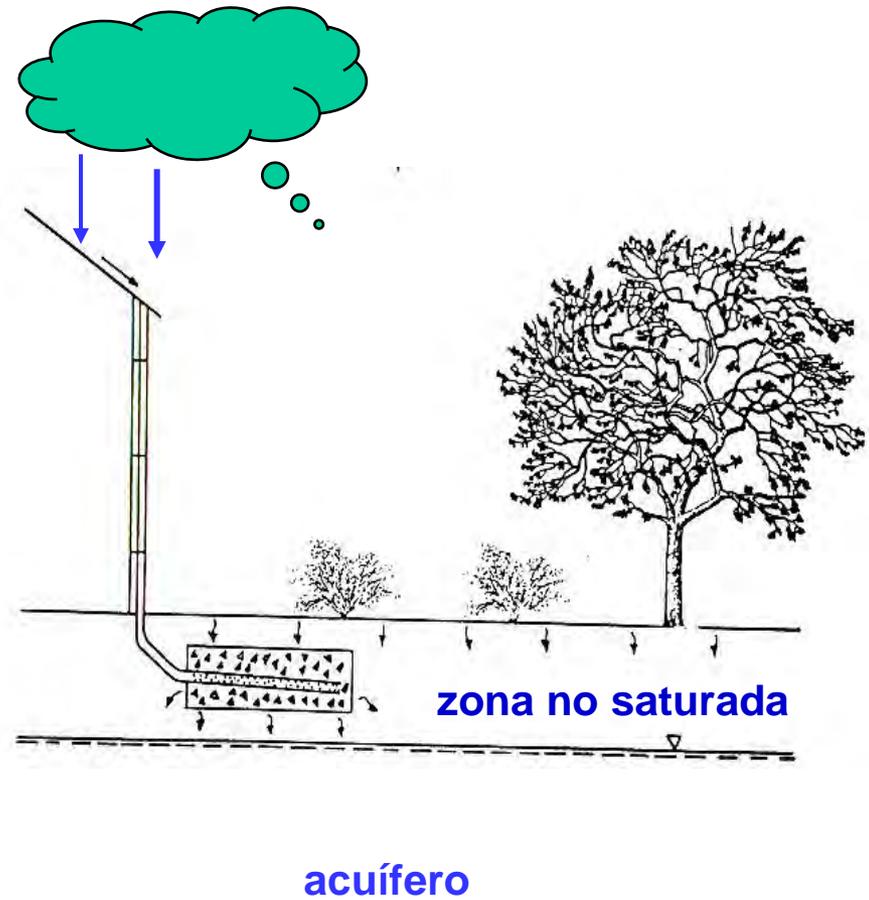
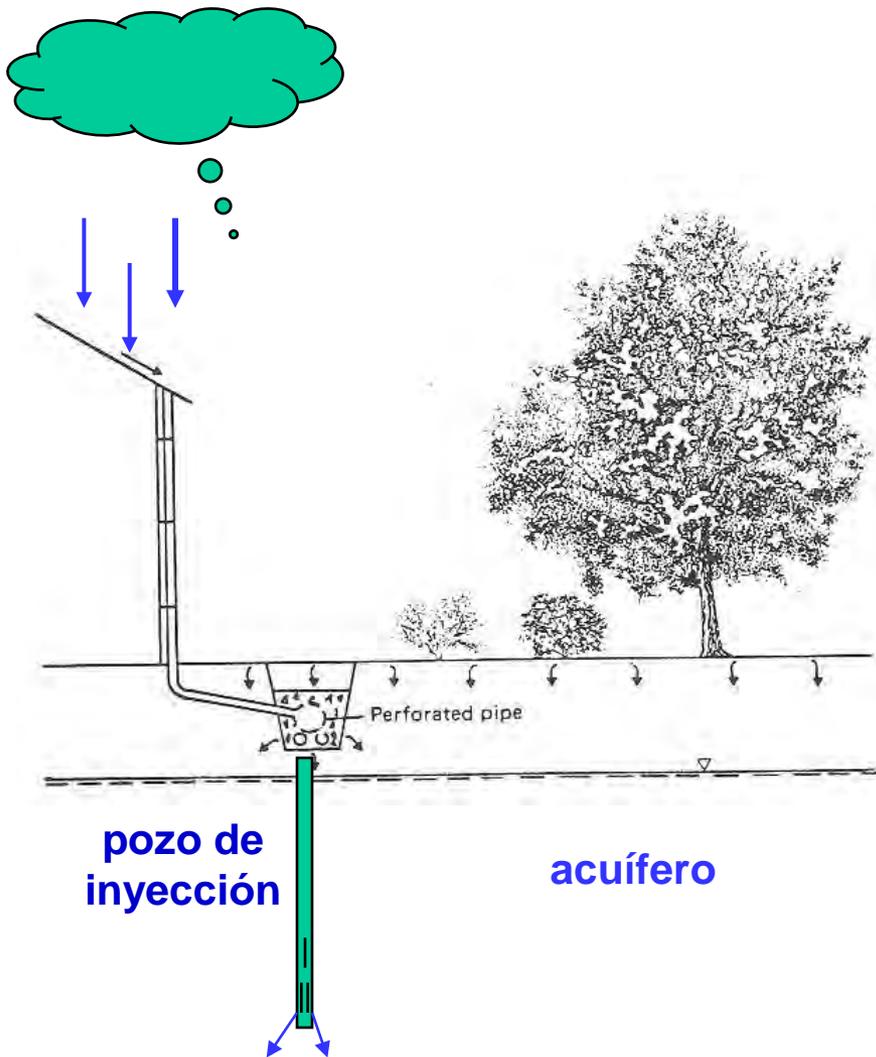
A Guidance Manual for Meeting the National Stormwater BMP Database Requirements

April 2002

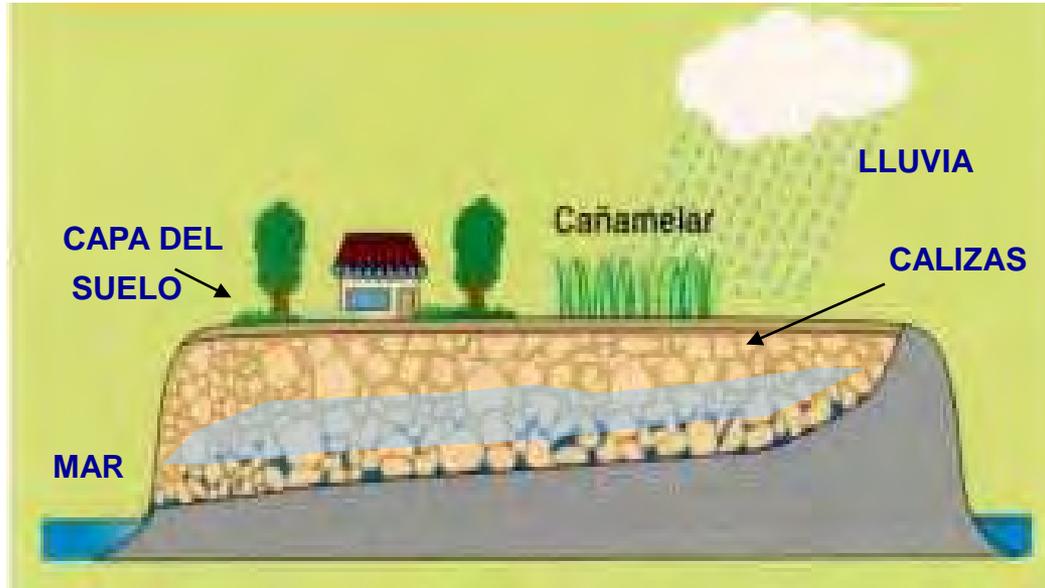


# Cosecha de agua de lluvia

Restricciones: sólo requiere de pre tratamiento.



# Presas subterráneas

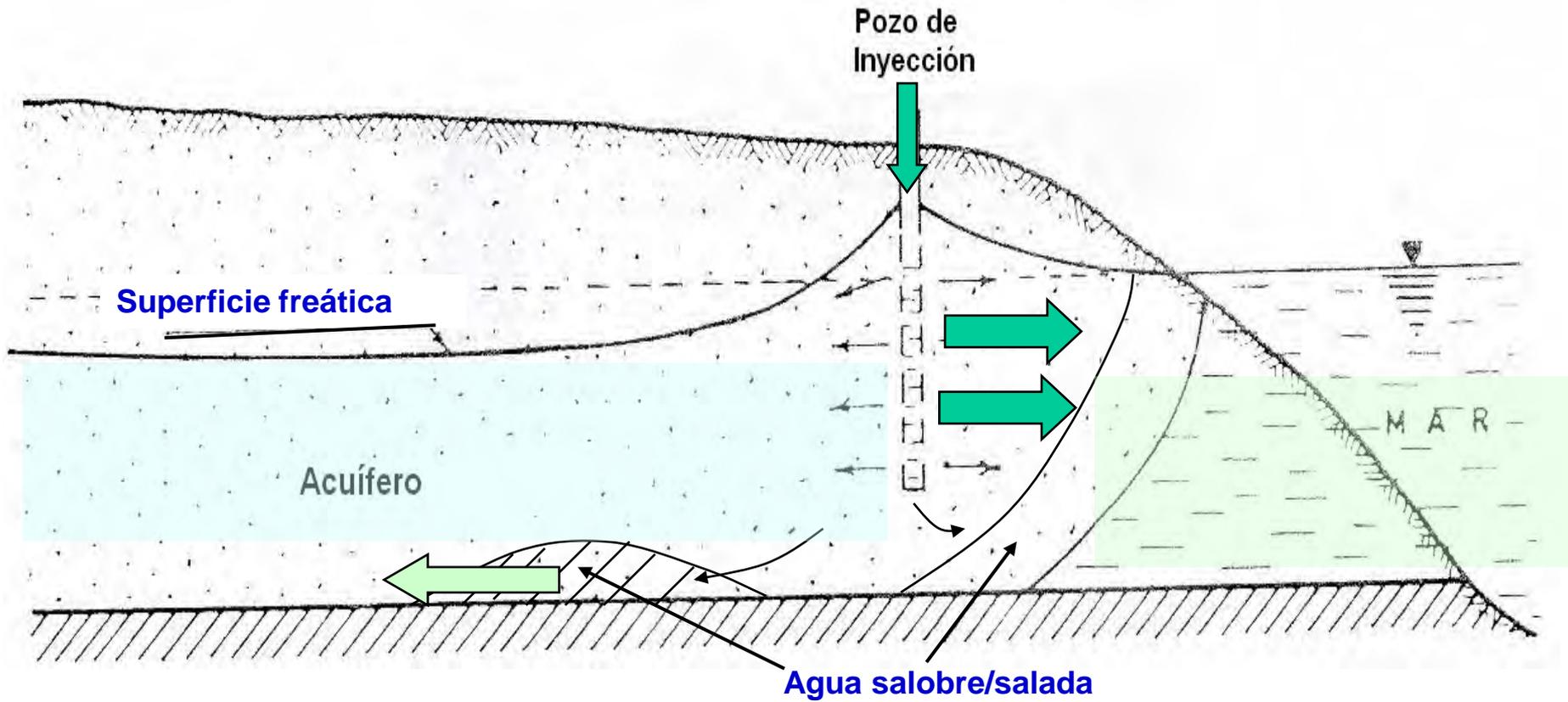


Antes de la construcción

Después de la construcción



# Control de la interfase salina en acuíferos costeros



# 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.

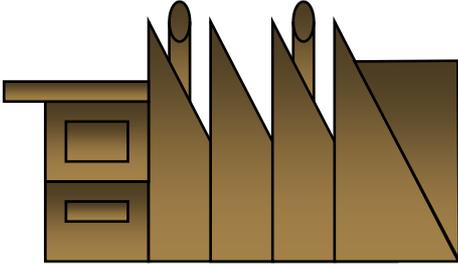
**NOM-014:** Especificaciones para la recarga artificial con agua residual tratada.

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

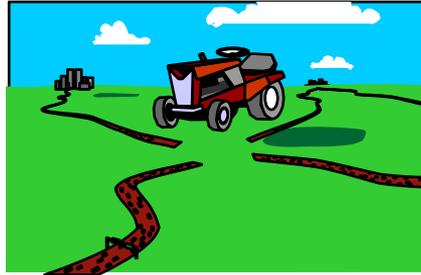
**Estos ordenamientos tendrán que ser complementados, pues hay un amplio campo a desarrollar en materia de determinación, tratamiento, normativa y remediación de contaminantes «emergentes»: farmacéuticos (hormonas, drogas, naproxeno...), cosméticos, plaguicidas, antibacterianos...**

# El subsuelo: Planta de tratamiento natural

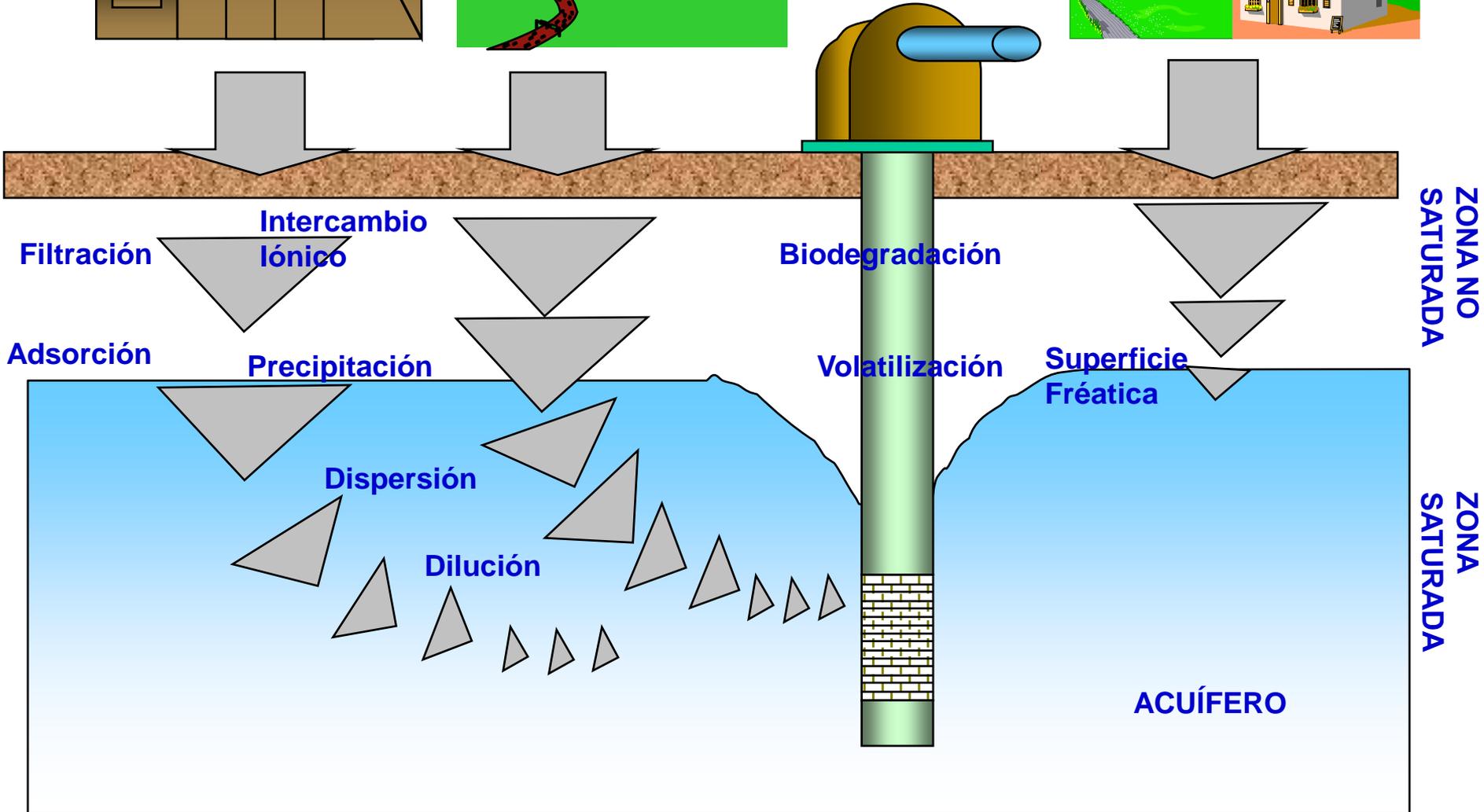
INDUSTRIAL



AGRICULTURA



URBANO



# Norma oficiales mexicana sobre recarga artificial

- ❑ **Objetivo: Proteger la salud pública y la calidad del agua de los acuíferos.**
- ❑ **Cumplimiento obligatorio a nivel nacional.**
- ❑ **No tan estricta que sea inviable o desaliente la aplicación de la tecnología de la recarga artificial, ni tan laxa que comprometa la salud pública.**
- ❑ **Establece los requisitos de la calidad del agua utilizada, dependiendo del método de recarga y de los usos potenciales del agua recuperada.**

Cont....

...cont

- ❑ **Fija la distancia mínima entre instalaciones de recarga y las captaciones más cercanas que suministran agua para consumo humano.**
- ❑ **Reconoce al subsuelo como una planta de tratamiento natural.**
- ❑ **Tratamiento natural aprovechable cuando el agua recuperada se va a destinar a usos no potables.**
- ❑ **Establece requisitos de calidad más estrictos y considera al tratamiento natural en el subsuelo como una protección complementaria, cuando el agua recuperada se va a utilizar para consumo humano.**

**Norma Oficial Mexicana NOM-014-CONAGUA-2003,  
Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con  
agua residual tratada.  
(DOF: Agosto 18 del 2009)**

**Requisitos para SRA**

**Información y Estudios Básicos**

**Localización**

**Fuente de agua de recarga**

**Hidrogeología de la zona del SRA**

**No se permite la construcción de SRA**

**a).- Sitios contaminados, aún saneados.**

**b).- Sitios con predominancia de en el subsuelo rocas cársticas, fracturadas, fisuradas o clásticas de grano grueso, sin capacidad de eliminación o atenuación de contaminantes del agua de recarga.**

## Calidad del Agua Residual para Recarga (tabla 1)

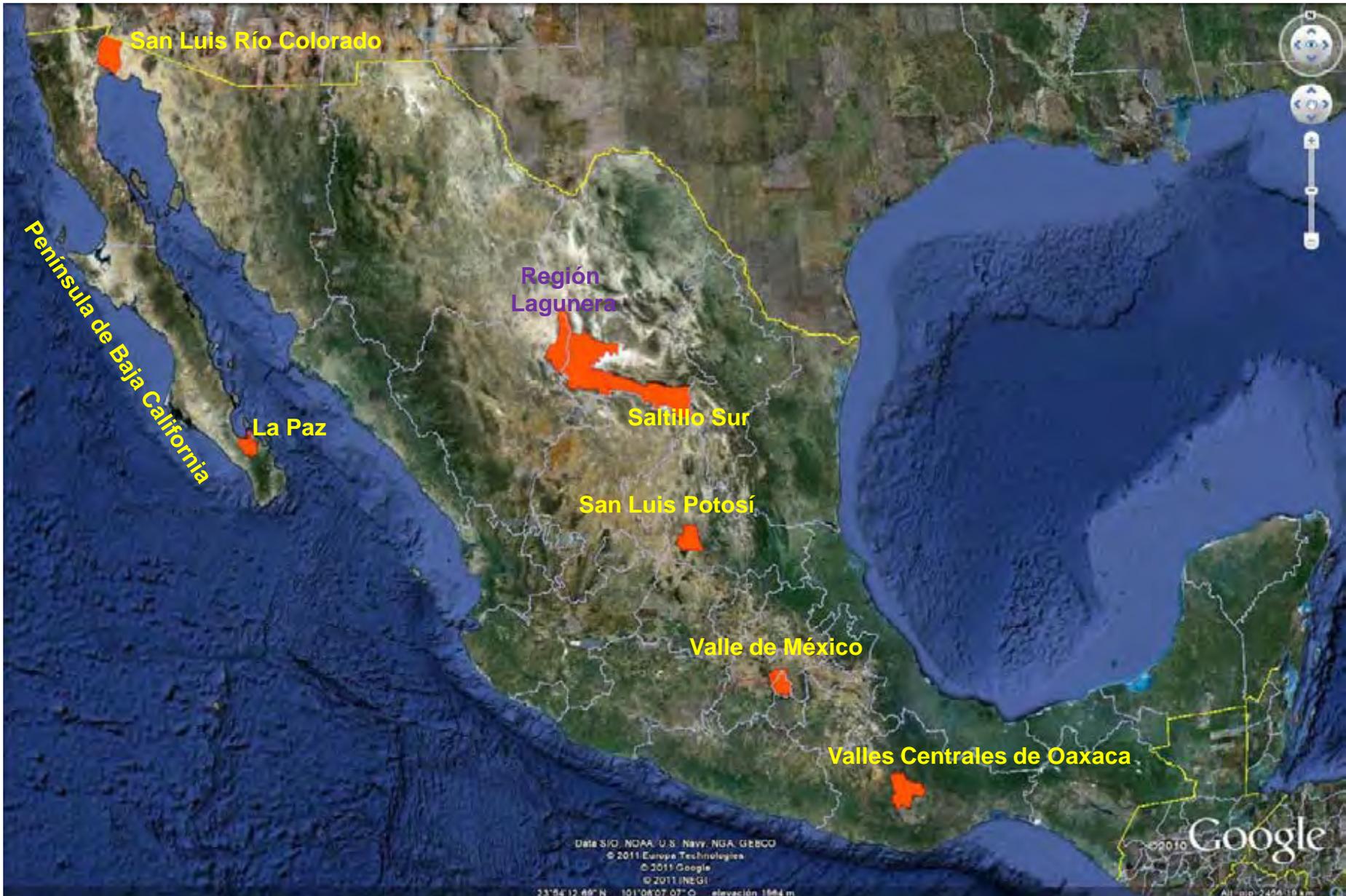
<b>Tipo de contaminante</b>	<b>Método de Recarga Superficial / Subsuperficial</b>	<b>Directo</b>
Microorganismos patógenos	Remoción o inactivación total de microorganismos patógenos y enterovirus	Remoción o inactivación total de microorganismos patógenos y enterovirus
Contaminantes regulados por Norma	Limites permisibles NOM-127-SSA-1994	Limites permisibles NOM-127-SSA-1994
Contaminantes no regulados por Norma	DBO < 30 mg/L COT < 16 mg/L	COT < 1 mg/L

**Con aprovechamientos de uso público-urbano a <1 km del límite exterior del SRA, además de lo indicado en la Tabla 1, debe cumplirse:**

- a) Proyecto “piloto” de recarga in situ;**
- b) Análisis hidrogeoquímico;**
- c) Modelo numérico de flujo y transporte;**
- d) Cumplir los límites máximos permisibles en el agua de recarga que determine la CONAGUA, en parámetros no regulados por la NOM-127, cuya presencia se suponga atendiendo al origen del agua residual;**
- e) Estudios toxicológicos o epidemiológicos que determine la CONAGUA**

**f) Respetar las distancias mínimas y el tiempo de residencia: (Tabla 2)**

<b>Variable</b>	<b>Superficial /Subsuperficial</b>	<b>Directo</b>
Distancia horizontal mínima entre el SRA y las captaciones público-urbano o doméstico	150 m	600 m
Tiempo de residencia del agua de recarga antes de su extracción	6 meses	12 meses



# Recarga artificial con agua residual tratada San Luis Río Colorado, Son.



Las lagunas anaeróbicas y facultativas, están impermeabilizadas en el fondo y los taludes con telas de polipropileno, además los taludes tienen enrocamiento para evitar erosión y pérdidas por infiltración.



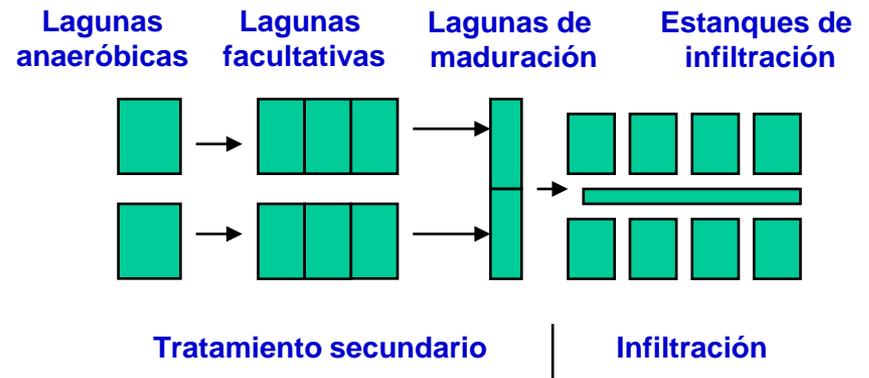
Laguna facultativa en operación.



Lagunas de infiltración y canal alimentador en construcción.

Laguna de infiltración.

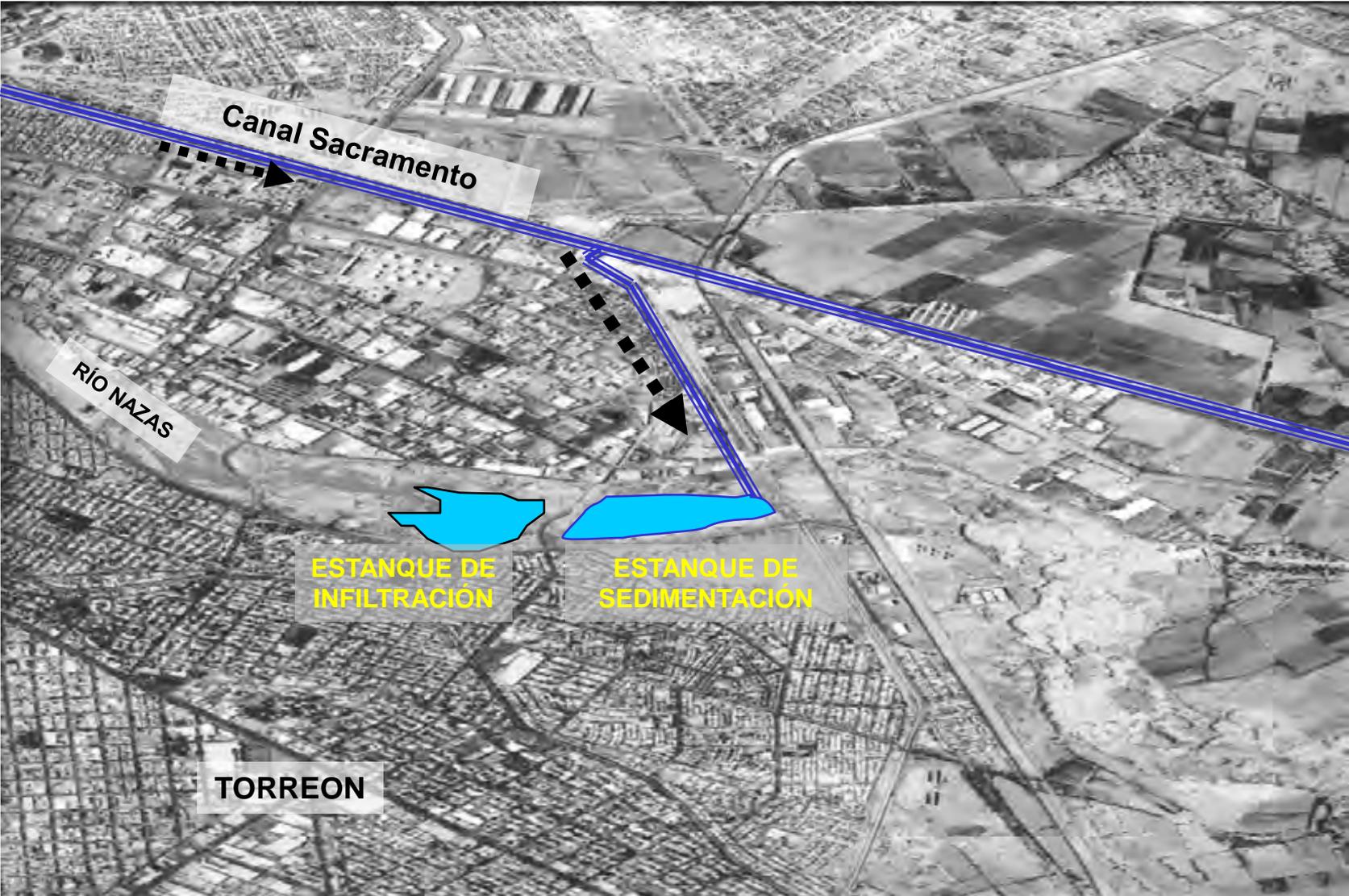
120m X 120m , superficie 14,400 m<sup>2</sup>, si consideramos una lamina de 50 cm tenemos un volumen de 7,200 m<sup>3</sup>. Si tomamos en cuenta que la laguna de infiltración tendrá un aporte de 345 lps al término de las 24 horas de operación se habrán infiltrado 29,808 m<sup>3</sup> equivalentes a 4.14 veces el volumen almacenado.



# Vista aérea frontal de las Lagunas de Infiltración

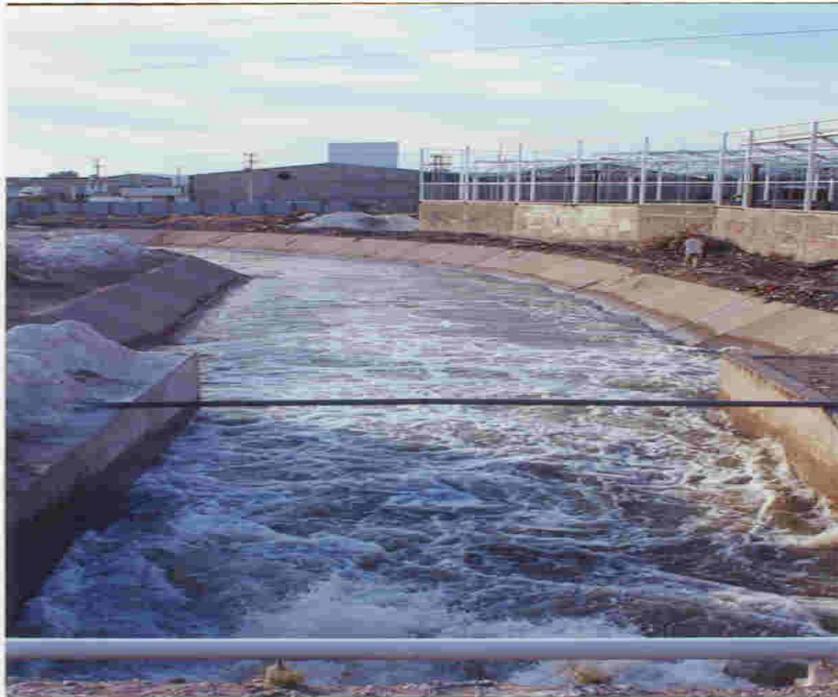


# Recarga artificial en la Región Lagunera, Coah.-Dgo.



# Características del Proyecto

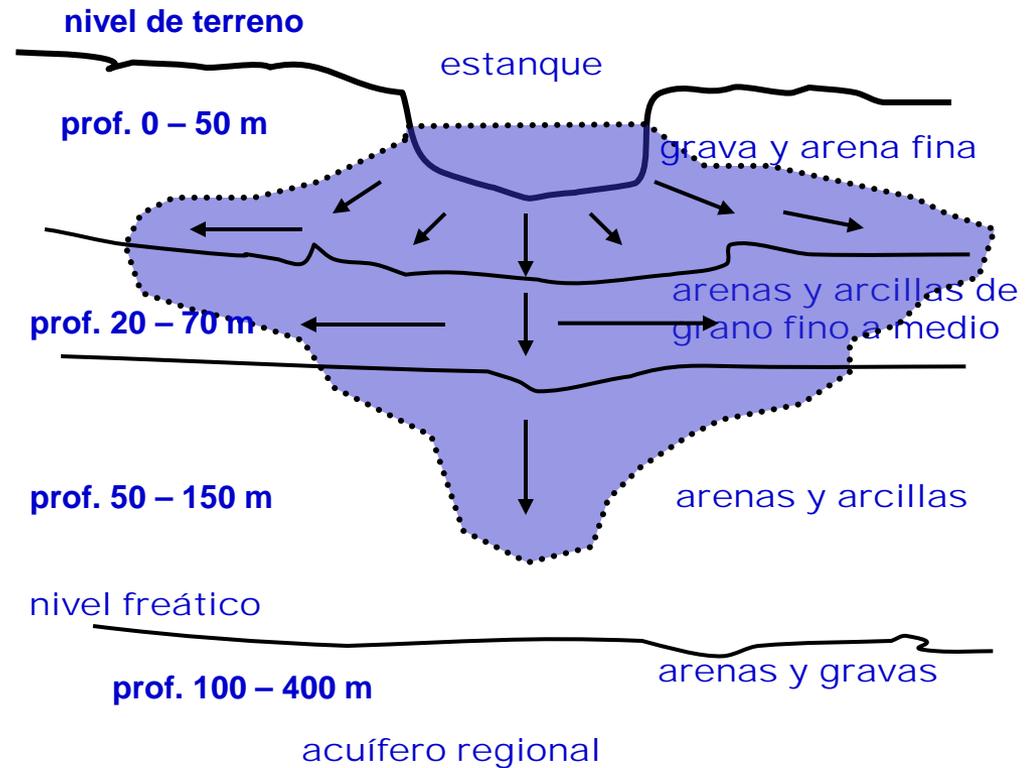
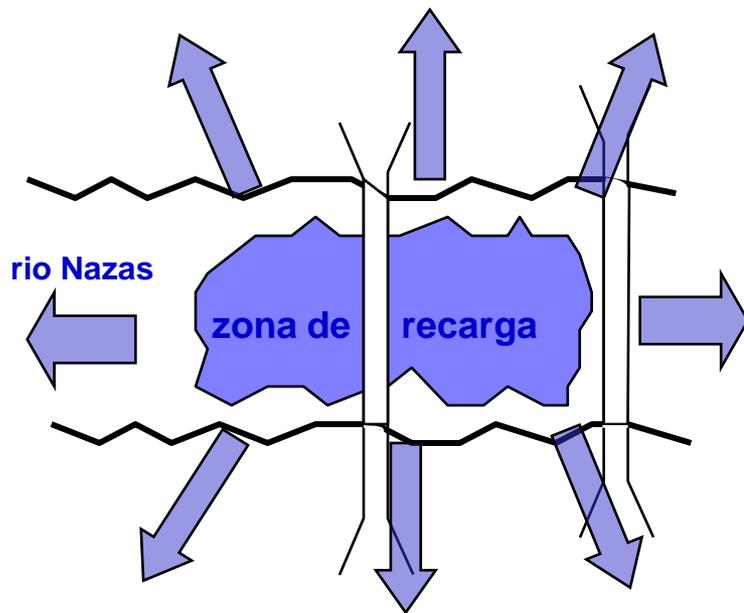
- ▣ **habilitación de dos embalses (sedimentación e infiltración) con superficie de 130,000 m<sup>2</sup> y capacidad de 185,000 m<sup>3</sup> cada uno.**



- ▣ **derivación de un caudal intermitente de 2 a 20 m<sup>3</sup>/s del canal, durante dos meses, con un volumen total de cinco millones de m<sup>3</sup>.**

# Resultados

El agua de recarga se desplazo, en forma radial y vertical, controlada por la interestratificación de sedimentos finos y gruesos.



# Conclusiones

La recarga artificial con agua superficial es viable para conservar la calidad del agua subterránea e incrementar el almacenamiento en el acuífero Principal-Región Lagunera.

## Recomendaciones

- 1. Construir nuevas estructuras hidráulicas para el control del desfogue del agua superficial del Canal Sacramento a los estanques de infiltración.**
- 2. Desfogar un volumen máximo de 500,000 m<sup>3</sup> de agua superficial en forma semanal para evitar derrames en los estanques..**
- 3. Construir estanques paralelos, que funcionen como estanques de sedimentación, para controlar los efectos de colmatación.**
- 4. Construir pozos de absorción en la zona no saturada, 20-80 m de profundidad, > 12” de diámetro en los estanques de infiltración para evitar los horizontes de baja conductividad hidráulica y disminuir los tiempos de arribo del frente húmedo al nivel freático regional.**

# Localización de los sitios de proyecto



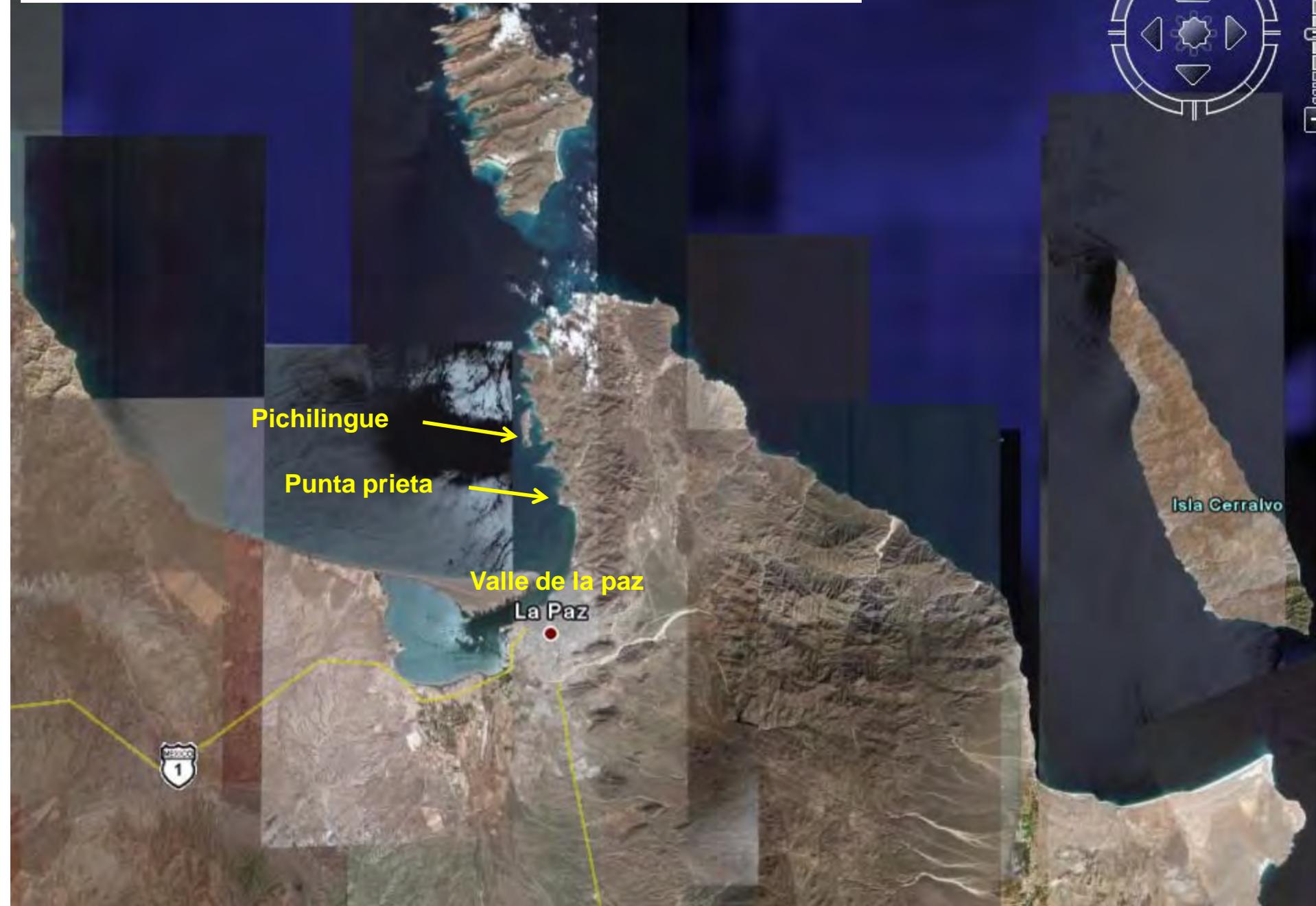
Pichilingue

Punta prieta

Valle de la paz

La Paz

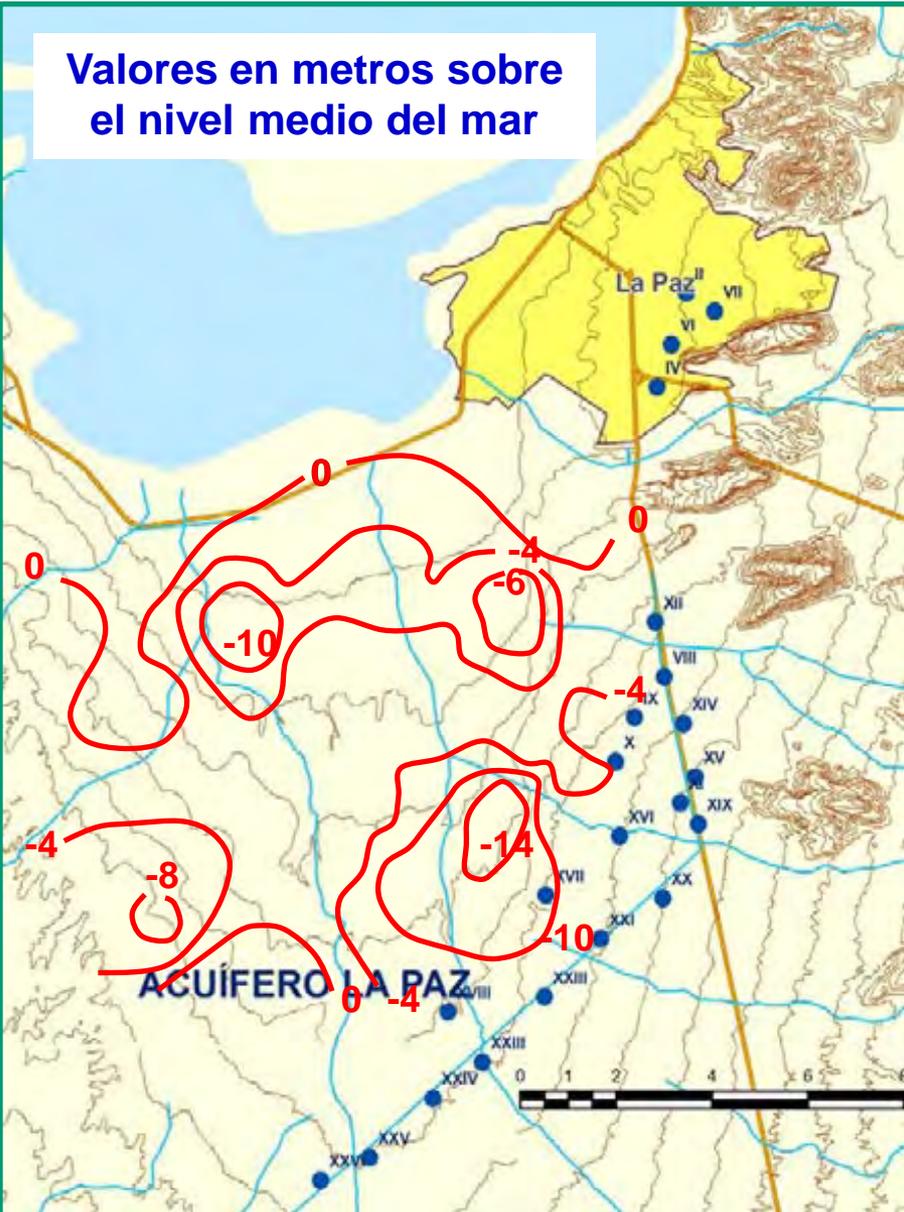
Isla Cerralvo



# Configuración de niveles y salinidad del agua subterránea

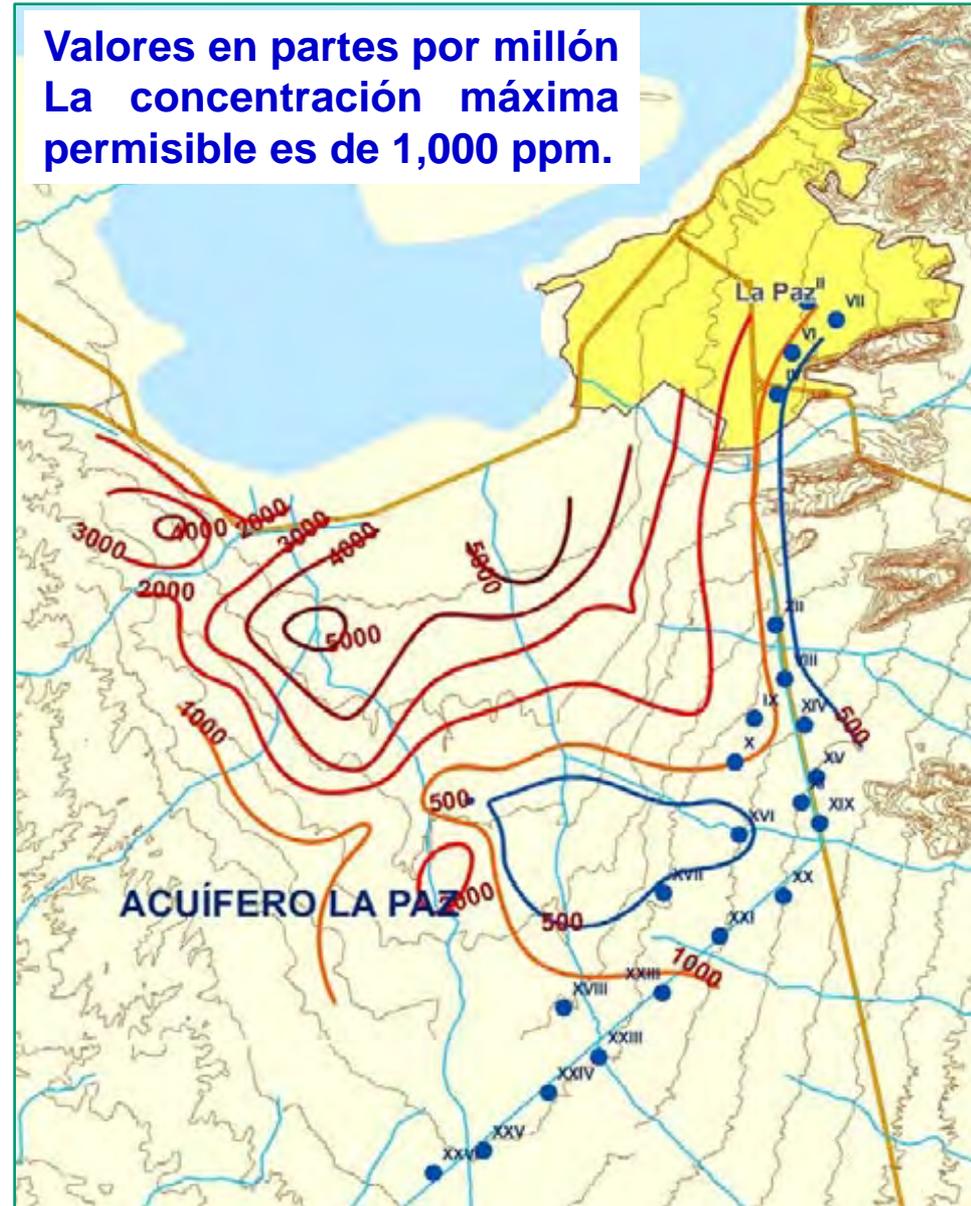
2009

Valores en metros sobre el nivel medio del mar

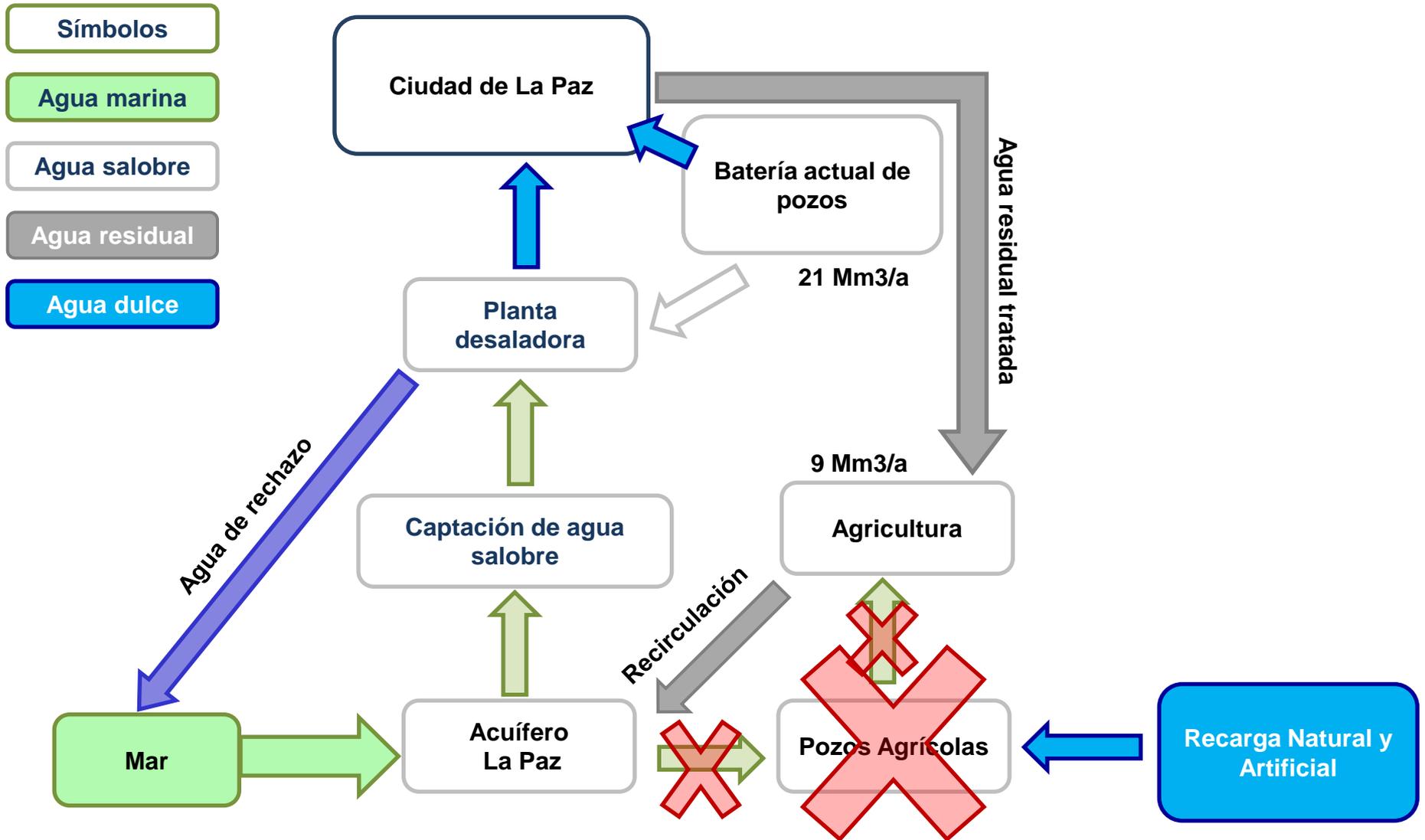


2009

Valores en partes por millón  
La concentración máxima permisible es de 1,000 ppm.



# Esquema General a Futuro



# Recarga artificial y control de avenidas (Coah.)



# Conclusiones

- ❑ La sobreexplotación genera efectos perjudiciales que, a la larga, se traducen en una condición destructiva no sustentable que compromete el desarrollo. Una sobreexplotación temporal controlada es factible y hasta recomendable, siempre que se suprima oportunamente y que se justifique en términos de los beneficios y costos que genera.
- ❑ Establecimiento de reservas estratégicas de agua para usos prioritarios, a través de liberación de volúmenes concesionados de agua.
- ❑ Adecuación del marco legal y normativo.
- ❑ Promover el incremento de la disponibilidad de agua mediante reuso y recarga artificial



**CONAGUA**  
Comisión Nacional del Agua

**GRACIAS POR SU ATENCIÓN**