



# EL REUSO DEL AGUA

M. en C. Inés Navarro

- El empleo del agua se ha triplicado desde 1950



- 1/3 de la población vive en países con estrés hídrico



- El agua es el problema que en forma más cercana afecta al medio ambiente y a la humanidad



# Causas de la falta de agua

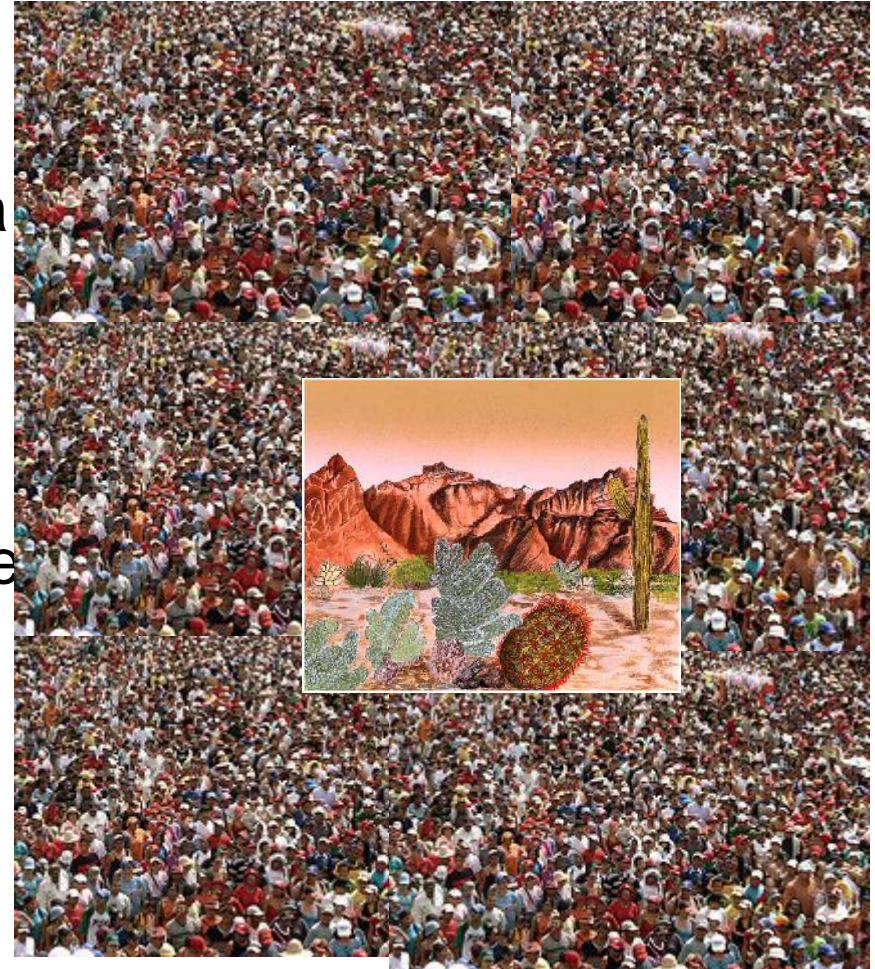
- Administración inapropiada (se usa más de la que se debe)
- Carencia por mala calidad (Contaminación)
  - ✓ Falta de saneamiento
  - ✓ Fuentes dispersas
  - ✓ Descargas de agua “tratada”
- Crecimiento exacerbado de la demanda en forma puntual (urbes, polos industriales, zonas agrícolas)
- Cambio Climático



# Pronósticos

Para el 2050

- 2/3 de la población en estrés moderado a alto
- 1/2 con problemas graves de agua
- El Oriente Medio por debajo del mínimo de supervivencia (100 m<sup>3</sup>/hab.año)
  - Actualmente estrés absoluto de agua, 500 m<sup>3</sup>/hab.año)
- Con problemas serios
  - África, N de China, Sur de India y Pakistán
  - México, la costa E de USA y el Mediterráneo



# Ventajas del Reúso

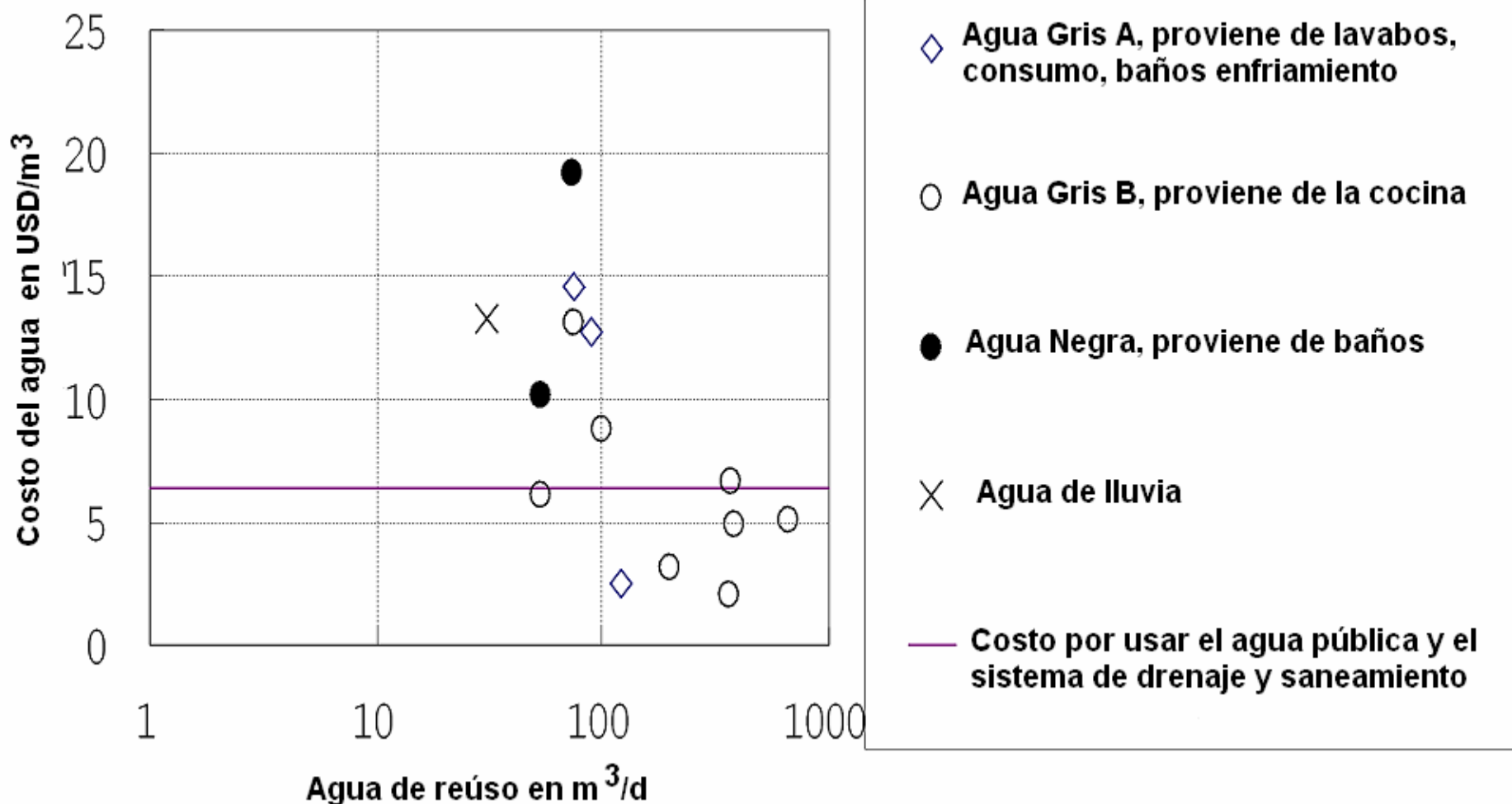
- ✓ Conservar las Fuentes de agua e incrementar la disponibilidad
- ✓ Ordenar la competencia entre usos
- ✓ **Preservar** la integridad de cuerpos de agua, humedales y flora y fauna
  
- ✓ Menor costo de tratamiento (infraestructura y sitio de la demanda)
- ✓ Reciclar compuestos (nutrientes)
- ✓ **Hacer rentable** el costo de saneamiento

# Factores que favorecen el reúso

- ✓ Interés público: Mayor conciencia
- ✓ Conciencia sobre los costos ambientales y económicos por manejo convencional (almacenar el agua en presas y reservorios y usar cursos de agua para autodepuración)
- ✓ Estándares de calidad cada vez más estrictos
- ✓ Sequías, escasez de agua, prevención de la intrusión salina, dificultad para descargar agua tratada, incentivos económicos, políticos y suficiencia tecnológica



A partir de 100 m<sup>3</sup> /d el costo de reúso es < a usar agua de primer uso y tratarla



# Definiciones

- Directo: del tratamiento al nuevo uso
  - Consumo humano: con dilución en red de suministro
  - Agricultura.- Sin dilución
- Indirecto: pasa a un cuerpo de agua donde hay siempre dilución
  - Consumo humano
  - Agricultura



Planta potabilizadora de agua residual tratada, Windhoek, Namibia



Riego por inundación con agua residual, Valle del Mezquital, México



# Definiciones

- **Reciclado:** Reúso en el mismo uso que generó el agua
- **Reúso** Cambio de uso, por ejemplo de municipal a la agricultura

## El Reúso en:

- En países desarrollados, después de las estrategias de saneamiento implantadas (controlado)
- En países en desarrollo, como resultado de la falta de saneamiento y/o falta de agua (no planeado)



**Humedales de San Joaquin Wetlands alimentados con agua renovada en Irvine Ranch**



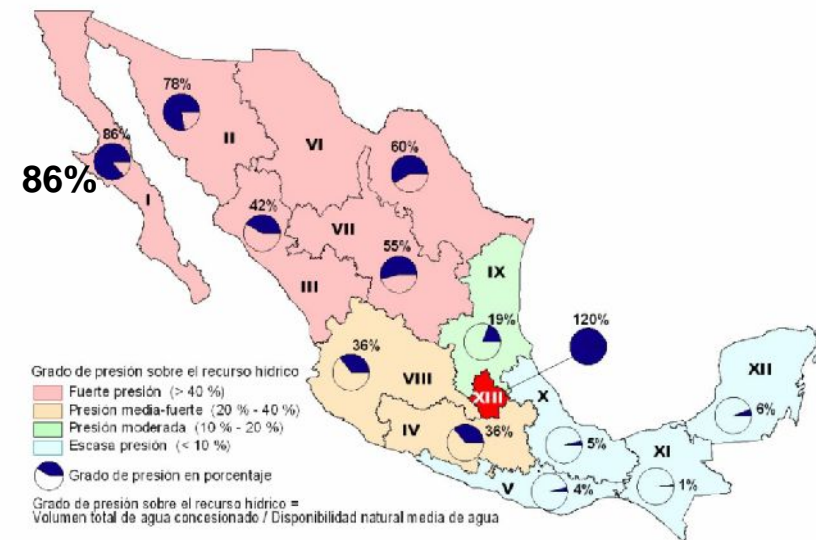
**Reúso agua residual para producción de Vegetales en Joan Mai. Hanoi**

# Cómo se mide la necesidad de reuso

■ Intensidad de Uso (*grado de Presión*): Relación entre la cantidad de agua usada y disponibilidad

✓  $IIU > 20\%$

- toda o parte del agua residual esta siendo usada en forma planeada o no
- Los acuíferos son sobreexplotados (2-30 veces)
- O el agua de mar es desalada



# Tipos de Reúso

- ✓ Agricultura
- ✓ Industrial
- ✓ Municipal
- ✓ Acuacultura
  
- ✓ Mejoramiento Ambiental
- ✓ Recarga de acuíferos

En cada uno con **CALIDAD** variable  
(término **Abstracto**) se debe definir para cada caso siguiendo  
criterios y normas (pero no bastan)

# Reúso Agrícola

- La agricultura emplea el 76% del agua en el mundo (UN, 2003)
- Tiene una productividad de 2 a 3 mayor que las zonas sin riego
- En 25 años debe incrementar en 20%, y será sólo con riego
- $\frac{3}{4}$  del área bajo riego se localiza en países en desarrollo (~ 192 millones de has, UN 2003)
- Consecuentemente hay mucha dependencia del riego para la alimentación



# Beneficios, WHO 2006

- ✓ Disminuir demanda de fertilizantes, y con ello las descargas industriales y el consumo económico que su producción implica
- ✓ Incrementar la producción agrícola en cantidad y calidad
- ✓ Evitar la contaminación del agua superficial
- ✓ Conservar el suelo al contribuir a la formación de humus y a evitar la erosión
- ✓ Contribuir a una mayor y mejor nutrición (seguridad alimenticia)

# Reúso Agrícola

- ✓ RESTRINGIDO: Cultivos para consumo humano
- ✓ NO RESTRINGIDO: Cultivos forrajeros, fibras flores, cultivos de grano, pastizales, invernaderos, comerciales, granjas de pasto

RIESGO PRINCIPAL: PÁTÓGENOS Y PARÁSITOS, desde 1980, reafirmado en 2005 y 2006 (WHO y US EPA),

- ✓ El riesgo no es el mismo en países desarrollados que en desarrollo

Organismo	Países Desarrollados	Países en Desarrollo
<i>Salmonella Typhi</i> , log NMP/100mL	3-4	6-9
<i>Giardia Lamblia</i> , log/L	2	4
Huevos de Helmintos/L	1-10	6-800

# Helmintiasis

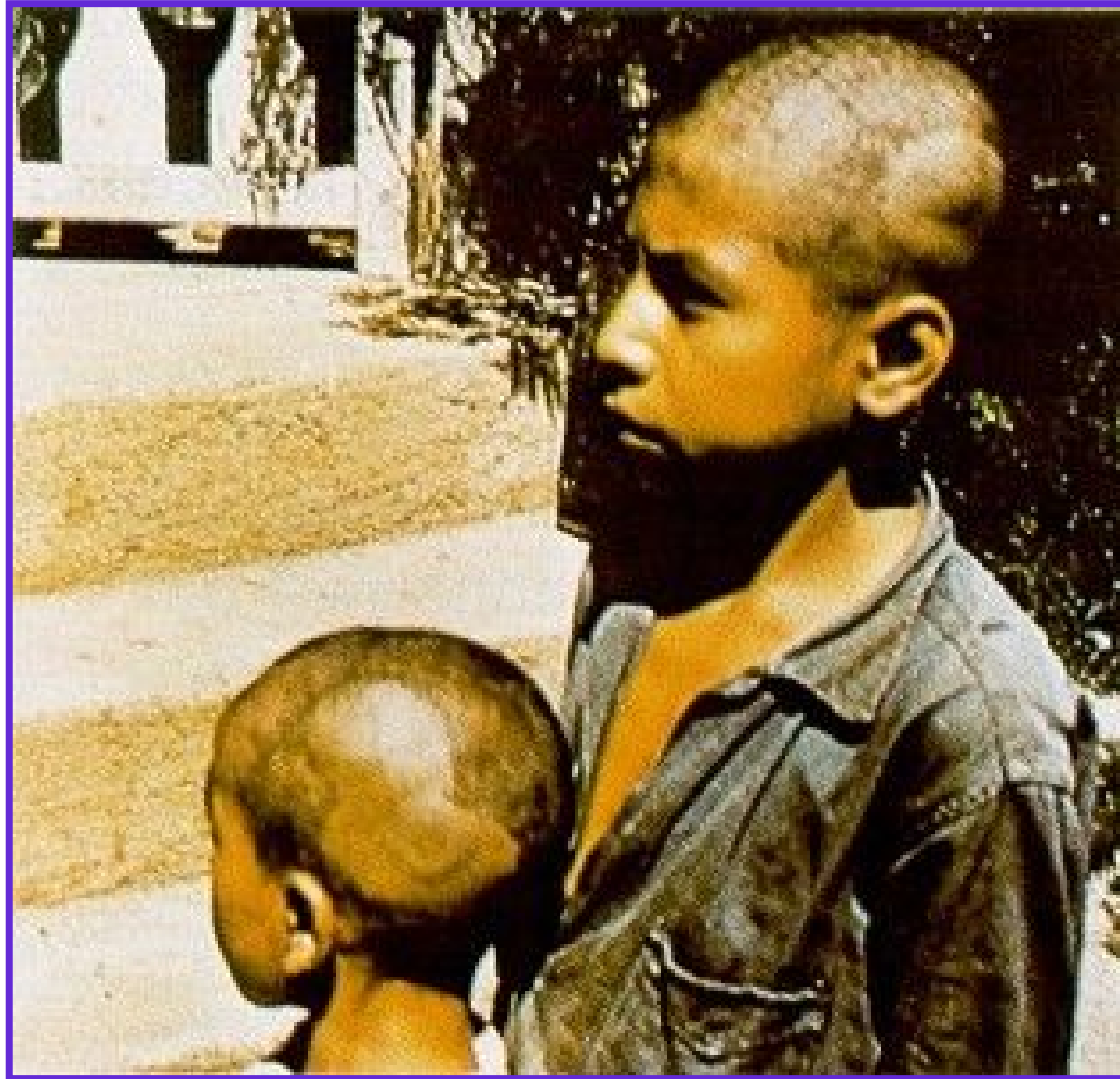
- Enfermedades muy comunes de diverso tipos
- Morbilidad
  - < 1.5 % en PD
  - 25-33 % en PED (varía entre 10-90 % dependiendo de la clase social)
- Ascariasis es la más común y es endémica en África, Latinoamérica y el lejano Oriente
  - 1.3 billones de personas infectadas
  - 51 millones son niños < 15 años, con deficiencias de crecimiento y desnutrición
  - 1.5 millones de ellos nunca se recuperan aún cuando sean tratados (Silva *et al.*, 1997).



*Ascaris lumbricoides*

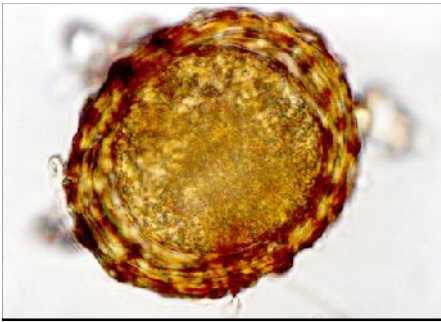


Macho y Hembra



**Oncocercosis**





*Ascaris lumbricoides*

# Huevos de Helmintos



*Taenia spp.*

- Muy persistentes (meses en plantas y años en suelos y agua)
- No producen inmunidad
- Dosis infectivas muy bajas
  - *Vibrio cholerae* ~ 10,000,000
  - Huevos de helmintos 1-10 en función de la especie
- Resistentes al  $\text{Cl}_2$ , Luz UV y Ozono
- No se comportan como los indicadores (coliformes fecales)

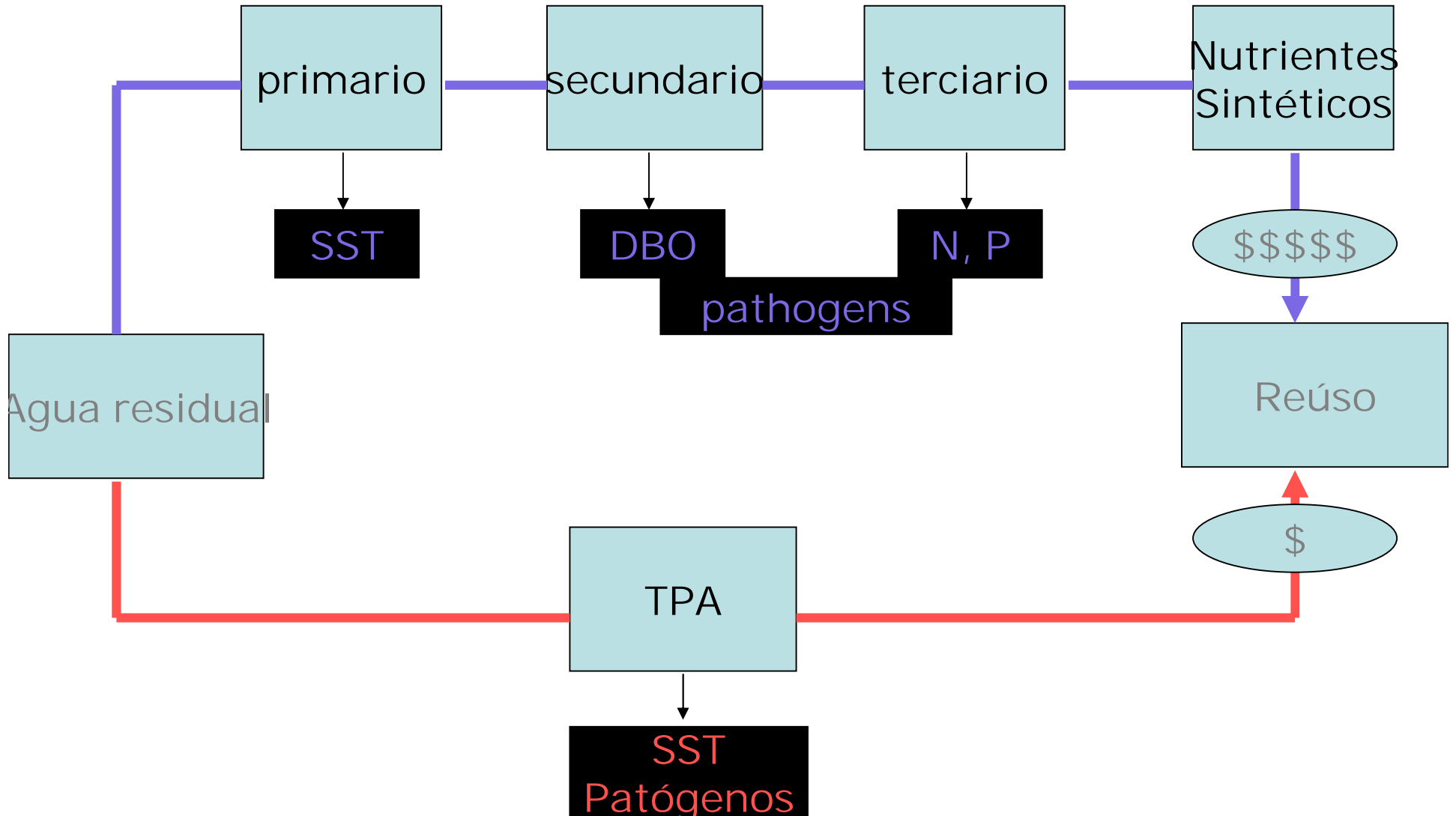


*Trichuris Trichiura*



*Hymenolepis nana*

# Cuando se hace reúso se debe seguir el mismo camino?



# Reúso para riego de arroz en Kumamoto, Japan)

- La excesiva fertilización del arroz provoca baja resistencia a plagas, áreas de podredumbre, al maceramiento de agua (se cae el cultivo) por un crecimiento excesivo y baja calidad del arroz
- Hiper fertilización a la larga disminuye la fertilidad del suelo y hay una distribución aleatoria por la acumulación de ARD en el campo
- Por ello se sugiere una mezcla por partes iguales y la adición del 50-70% del fertilizantes



**Rice farming with treated wastewater**  
(Source: Kumamoto Municipal Government, 1983)

# Riego Agrícola Valle del Mezquital

- Sin Agua residual



- Con Agua residual



# Reúso Municipal

- En 20 años, 60% de la población vivirá en ciudades (12% más que la que hay actualmente) (UN, 2006) , por ello:
  - Habrá mayor demanda de agua municipal, y
  - Mayor producción de agua residual
  - En el mismo sitio

## Riesgos

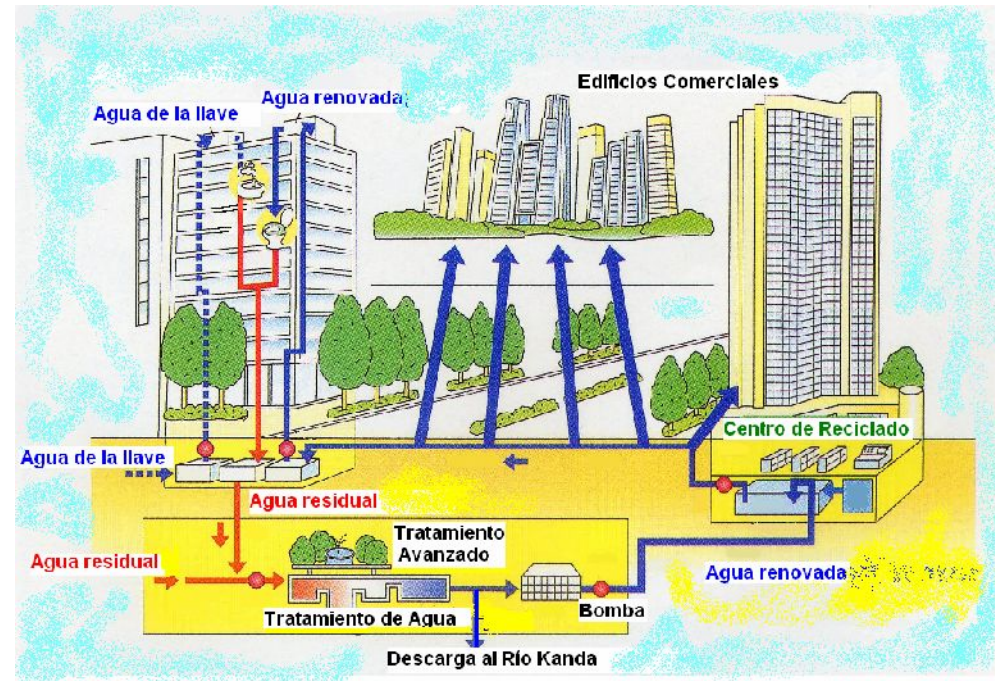
- Salud, hay un gran conjunto de individuos expuestos
- Contaminación de agua potable por interconexiones
  - En ambos casos DESINFECCION

# Tipos de reúso Urbano

- **Baja Calidad:** Riego de áreas con acceso poco frecuente y controlado, lavado de calles y transportes, limpieza de excusados, aire acondicionado, protección ambiental
- **Calidad Media:** Control incendios, construcción, llenado lagos recreativos, protección ambiental
- **Calidad Buena:** Riego de áreas verdes, parques de juego, jardines escolares, campos de golf, cementerios, llenado de lagos recreativos con contacto directo, áreas verdes residenciales, cinturones verdes y derretido de nieve, protección ambiental
- **Alta Calidad:** Consumo humano

# Reúso en Tokio, Japón

- Líder en reúso municipal
- Desde 1984 Sistema dual de distribución
- Incremento de flujos de ríos

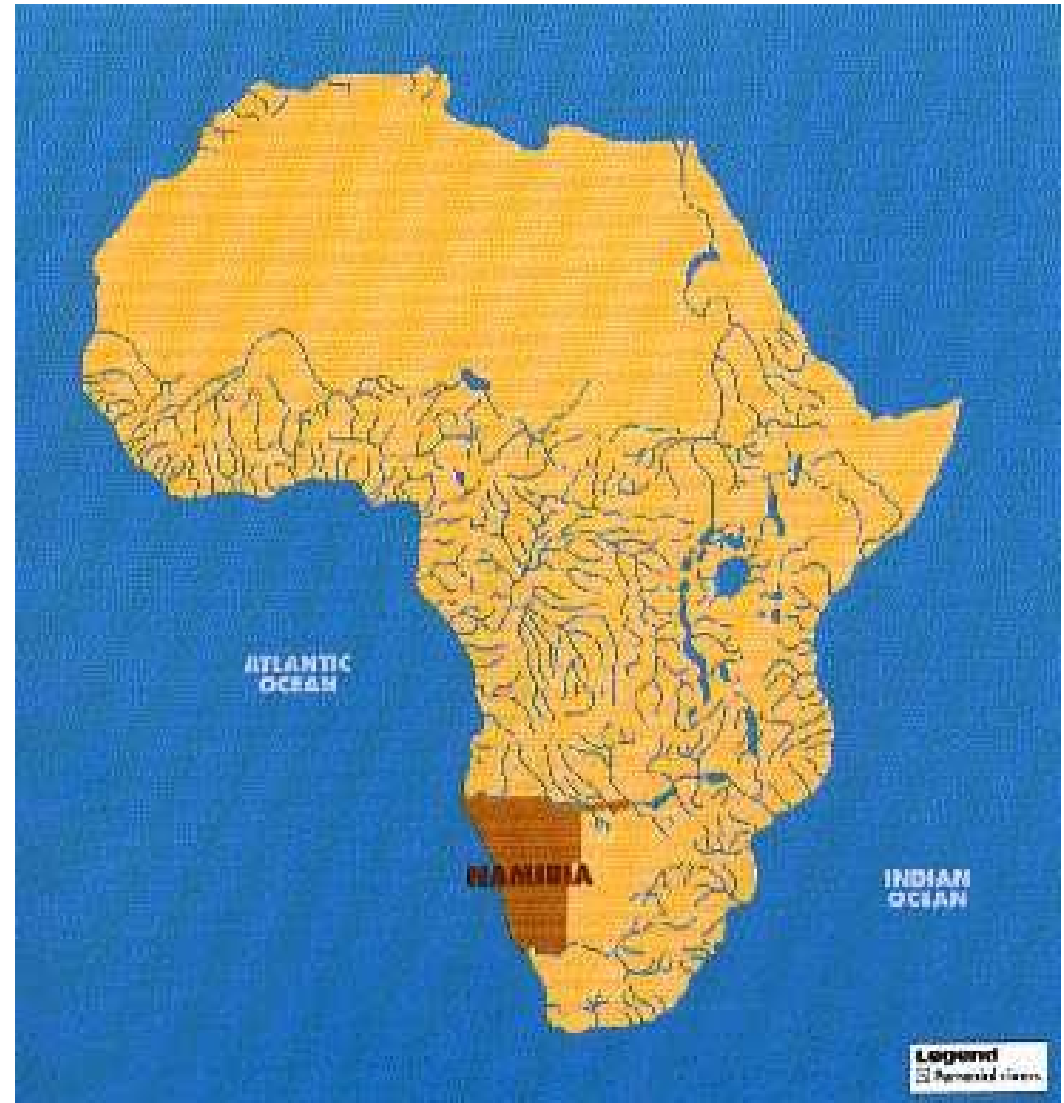


Sistema de reúso en Shinjuku, Tokyo, Japan

Source: Tokyo Metropolitan Government

# Reúso para consumo humano en Namibia

- Único caso en el mundo por más de 37 años
- No hay otras fuentes de suministro y ya se hizo un uso eficiente al máximo





# Reúso Potable directo

Se identificó como posibilidad/necesidad en 1954 y se iniciaron los estudios piloto a inicio de los 60s

## Barreras que no son de tratamiento

- ✓ Segregación de efluentes
- ✓ Tratamiento avanzado de ARD con lagunas de maduración
- ✓ Mezclado de agua con otras fuentes de suministro
- ✓ Parámetros estéticos
- ✓ Control riguroso de la calidad del agua cruda y renovada

# Uso de energía térmica en Sapporo, Japón (Shibuya, 1999; Sapporo Municipal Government)

- Se remueve 600,000 a 700,000 m<sup>3</sup> de nieve con efluentes de ARD cuya temperatura es de 13°C



**Kitagou, conducto de nieve**



**Tanque para derretir nieve**

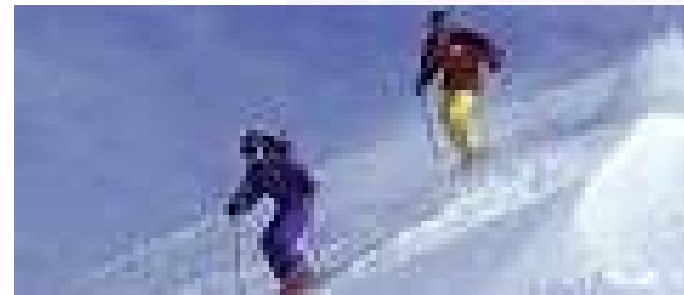
# Riego Urbano con jardín “convencional”



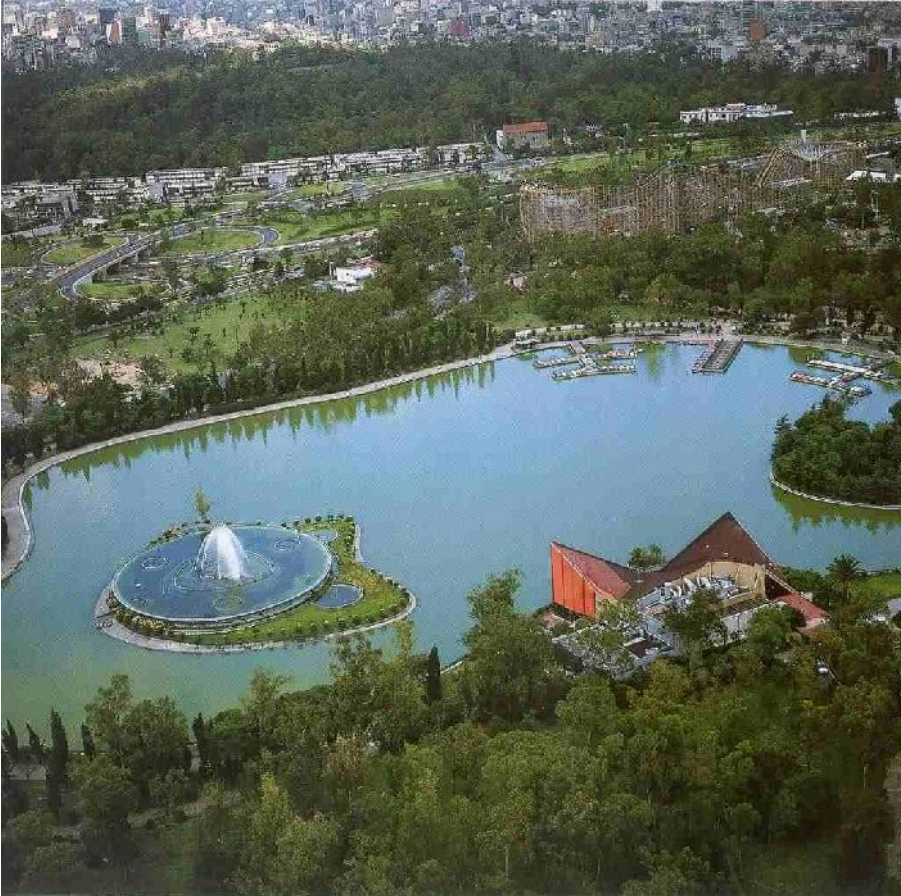
Ben van der Merwe

# Fabricación de nieve artificial en Mount Buller Alpine Resort, Australia (Tonkovic *et al.* 2002)

- A 200km NW de Melbourne
- Uno de los sitios más populares para esquiar
- 70% del AR se produce durante el invierno
- ✓ **Efluente secundario con UF para remover patógenos**



# Lago de Chapultepec, Ciudad De México



- Proyecto de los años 50
- Varias décadas de experiencia
- Adios a las carpas
- Ningún seguimiento sobre efectos de salud

# Reúso para mejoramiento ambiental

- Aumento de flujos o creación de
  - Corrientes
  - Lagos
  - Fuentes
  - Humedales

## Beneficios

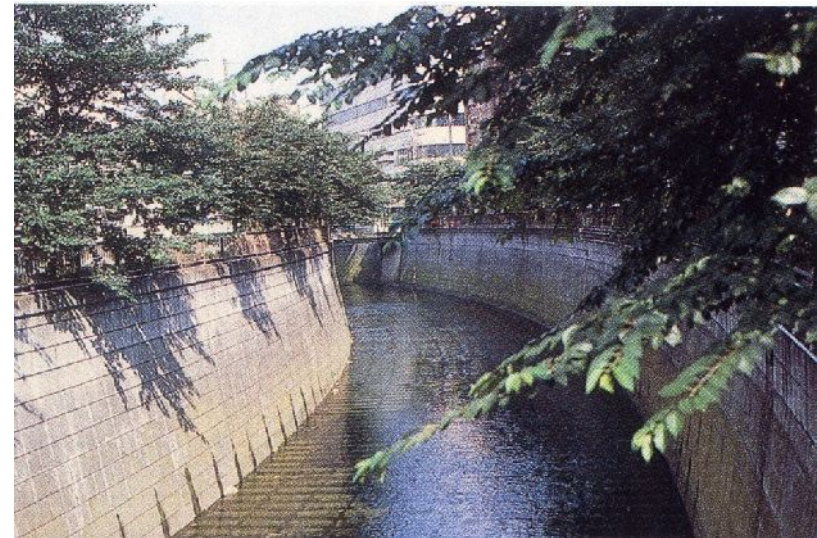
- ✓ Incremento de la cantidad y calidad de las reservas de agua
- ✓ Fines estéticos, recreativos o recuperación de ecosistemas
- ✓ Se logra reponer la vida acuática de peces, insectos, moluscos
- ✓ Se recuperan espacios y escenarios naturales
- ✓ Se crean corredores ecológicos en áreas urbanas

# Recuperación de flora y Fauna, Río Meguro, Tokio, Japón

- ✓ Río que pasa por área residencial y que fue abandonado por su contaminación
- ✓ Se recupera con agua tratada y desinfectada con luz UV
- ✓ Actualmente hay trucha Japonesa, lisa rayada y gobies, antes habían sólo 3 especies bioindicadores ahora hay más de 3000



**Río Meguro (antes)**



**Río Meguro (después)**

Source : Tokyo Metropolitan Government, 2001

# Recuperación de paisaje en el Castillo de Osaka, Japón (Osaka Municipal Government, 2003)

- El foso es llenado con 58L/s de agua tratada a nivel terciario (filtración en arena y desinfección)







**Llenado del Lago de Xochimilco, Ciudad de México (30 años)**

**Control de Tolvaneras, Ex Lago de Texcoco, Ciudad de México**



# Recarga de acuífero

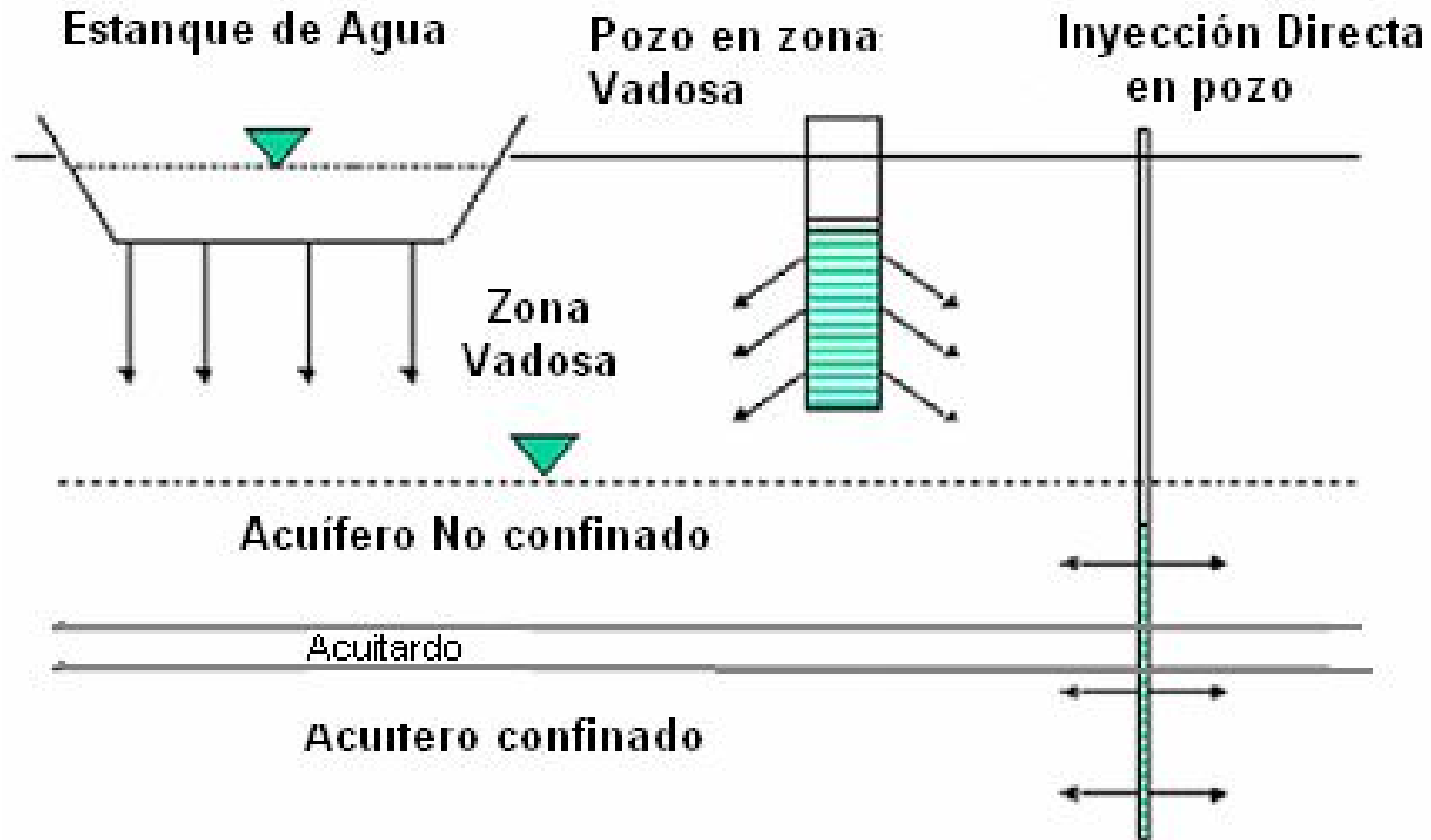
## ■ Los acuíferos sirven para

- ✓ almacenar y transmitir agua
- ✓ dar tratamiento natural al agua de alta calidad
- ✓ conservar el agua (muy poca evaporación)
- ✓ Poca contaminación secundaria por animales, lluvias
- ✓ No hay riesgo de crecimiento de malezas
- ✓ Es menos costoso pues no se requieren construir tuberías

## ■ Tipos

- ✓ Restringido : Uso para suministro potable
- ✓ No restringido: Control de la intrusión salina o de hundimiento

# Métodos para recarga de acuíferos



# Estanques de recarga

## Requieren

- áreas grandes con suelo permeable
- Acuíferos no confinados con alta transmisividad
- Suelo no saturado (o zona vadosa) sin capas que limiten

## ■ La zona no saturada actúa

- como filtro natural para remover sólidos suspendidos, sustancias orgánicas, bacterias, virus y otros organismos
- Remueve N, P y metales pesados

## ■ Por tanto, se conoce como tratamiento suelo/acuífero (SAT)

## Ventajas

- Bajo costo
- Facilidad de operación
- Compagina con la agricultura

# Inyección directa

## Requerimientos

- Emplea agua tratada (avanzado con fuerte desinfección)
- Se emplea para acuíferos profundos o que se encuentran bajo capas impermeables
- Son de mayor costo de construcción y operación

## Ventajas

- ✓ Se llega a acuíferos profundos al introducir agua directamente en pozos
- ✓ Requiere menos terreno

## Desventajas

- † Las paredes del pozo se pueden taponar con SS, crecimiento biológico o precipitados químicos
- † No se observa actividad depuradora por el suelo

# Recarga en Montebello Forebay

- Por más de 35 años En la zona del río Hondo
- Para recarga de un acuífero para uso potable en la zona central del condado de California



**Sitio de Recarga en (Los Angeles, CA, U.S.A)**

# Reúso industrial

- La Industria emplea el 20 % del agua
- Reúso potencial importante pues la demanda incrementará en 50% (Shiklomanov, 1999).

## Ventajas

- ✓ Disminuye el costo de producción por la recuperación de subproductos y la reducción del consume de agua
- ✓ Recupera calor
- ✓ Disminuye el costo de tratamiento del agua así como el de su descarga

# Reúso industrial

## ■ Enfriamiento (más común)

- Demanda elevada de agua (20-50% en una industria)
- Baja calidad de agua que emplea
- Facilidad para implementarlo

## ■ En generación de energía

- Consume 70% del agua industrial
- Tratamiento secundario + (algunas veces) filtración o ablandamiento



**Reúso/reciclado  
para enfriamiento**



# Reúso Industrial

- Diferente porque:
  - Involucra al sector privado
  - Sigue reglas propias, definidas de acuerdo con las posibilidades e intereses de la industria, tanto en términos de cantidad, calidad como de recursos financieros
  - Es motivado por intereses económicos
- Se practica en zonas industriales (más en países desarrollados que en desarrollo)
- Primero se recicla
  - Los efectos son observados inmediatamente
  - Se requiere una inversión menor
- Luego se reúsa
  - Inversiones mayores
  - Cumplir normas externas
  - Contar con la aceptación social
- Es más efectivo para el gobierno dar incentivos que establecer normas

# Notas Finales

- No se incluyó pero también importa
  - Criterios y estándares
  - Procesos de tratamiento
  - Capacidad institucional requerida (recursos humanos, normatividad, administración, economía y aceptación social, entre otros)
  - Aceptación y participación social