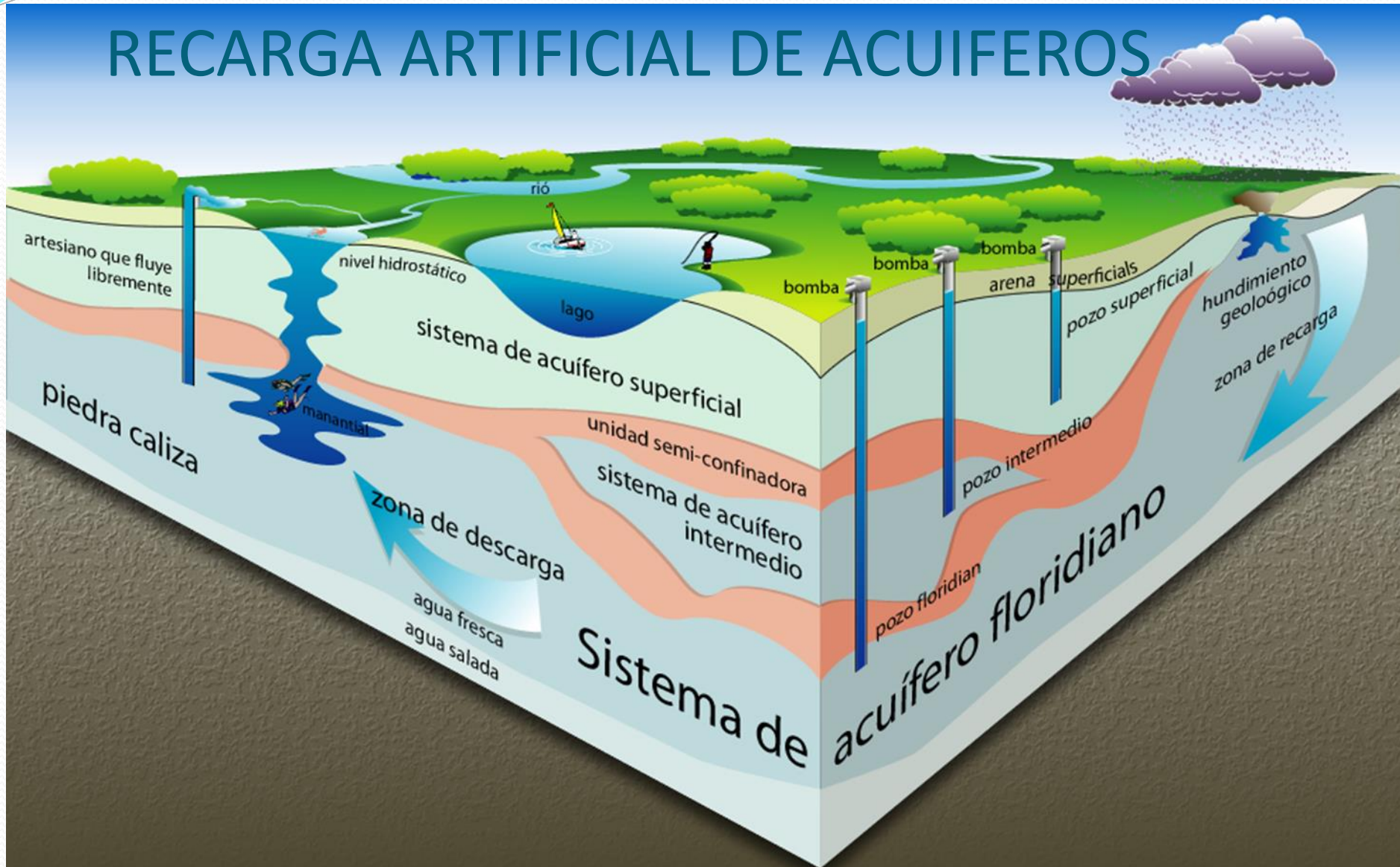
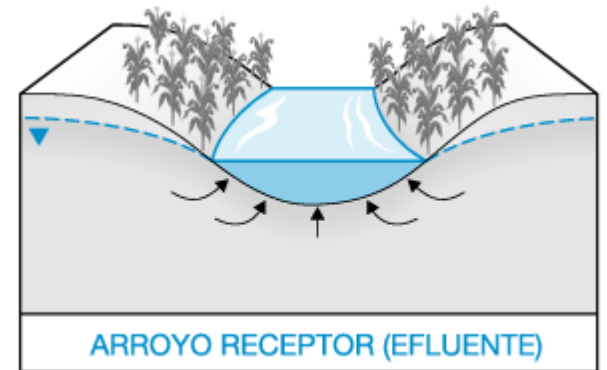
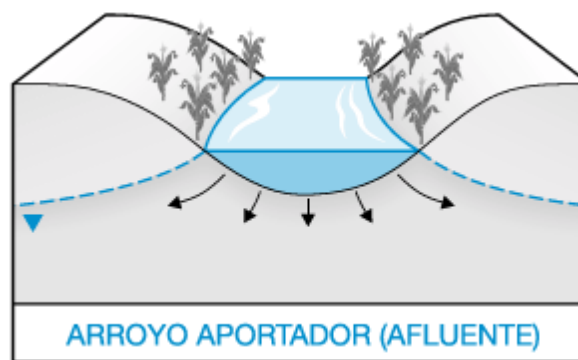
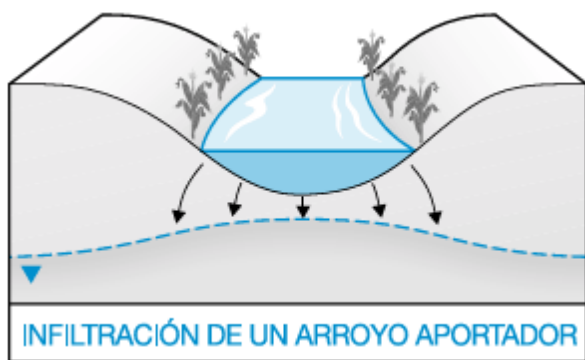
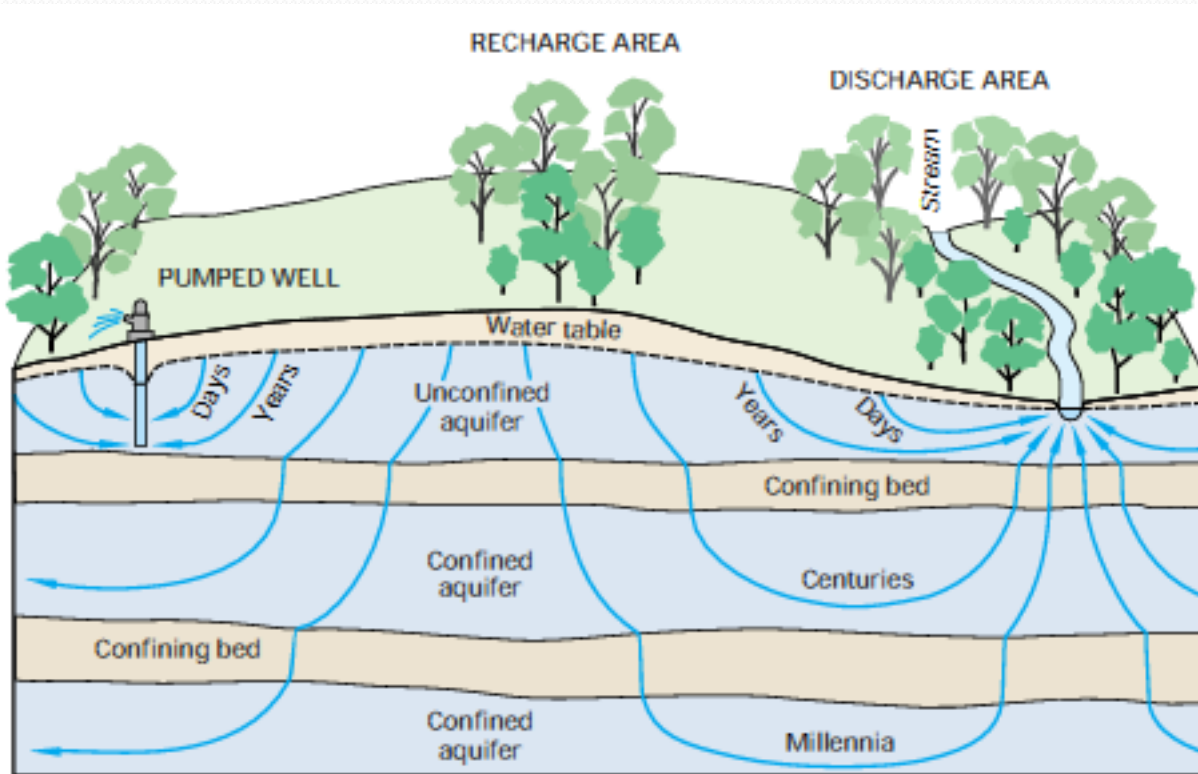


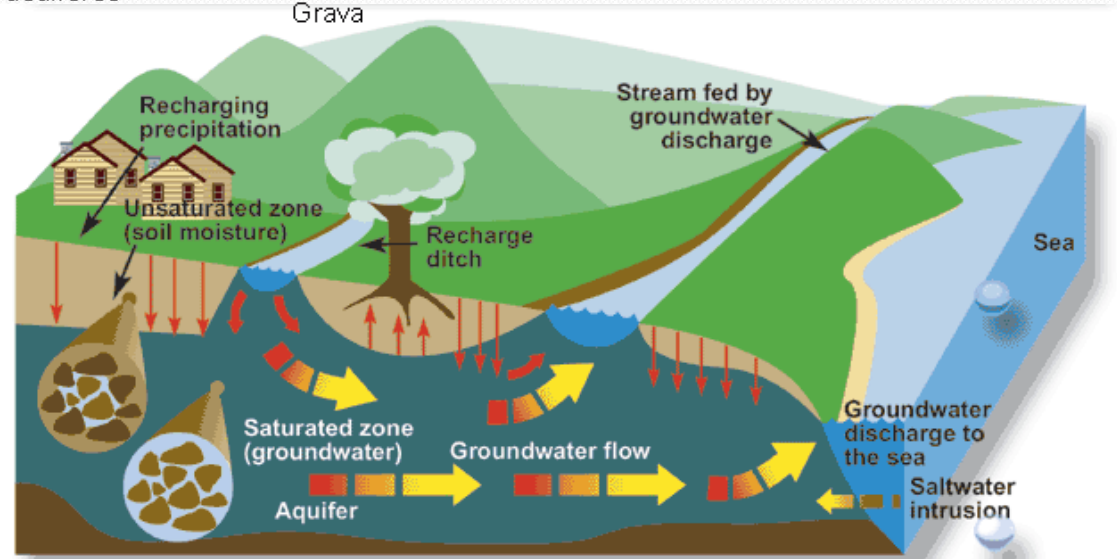
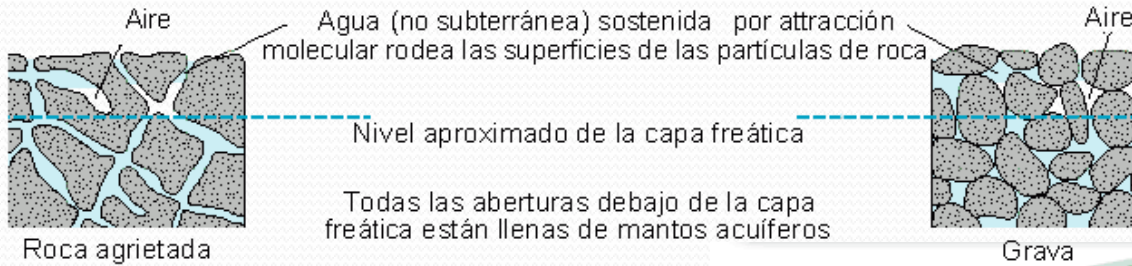
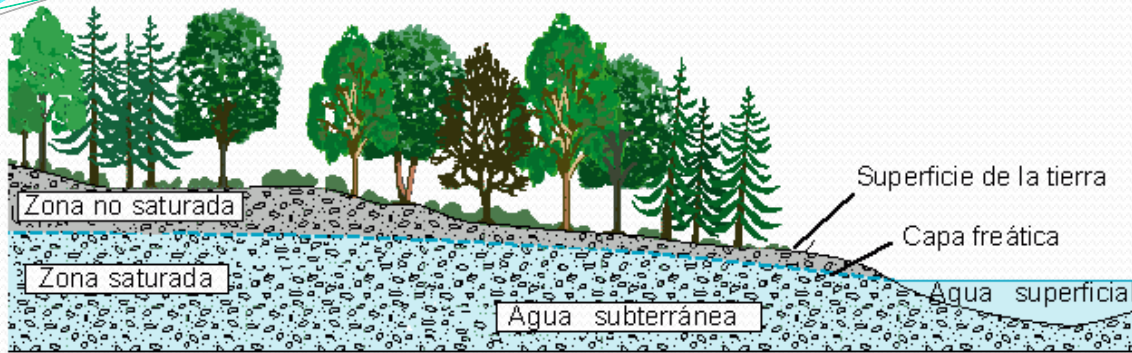
RECARGA ARTIFICIAL DE ACUIFEROS



INTERACCION AGUA LLUVIA-SUELO-ACUIFEROS-RIOS



INTERACCION AGUA LLUVIA-SUELO-ACUIFEROS-RIOS



Source: Environment Canada

QUE SABEMOS DE LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUIFEROS ??

JORNADAS TÉCNICAS SOBRE LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUIFEROS Y REÚSO DE AGUA

Organizado por:  Con el apoyo de: 

Torre de Ingeniería, Ciudad Universitaria, México D.F.
9 y 10 de junio de 2011

Inicio - Inicio de

Acercar de

Resultados

Comité Organizador

Sede

Vista el Proyecto de la [Línea del Agua UNAM](#)



Jornadas Técnicas sobre la Recarga Artificial de Acuíferos y Reúso del Agua



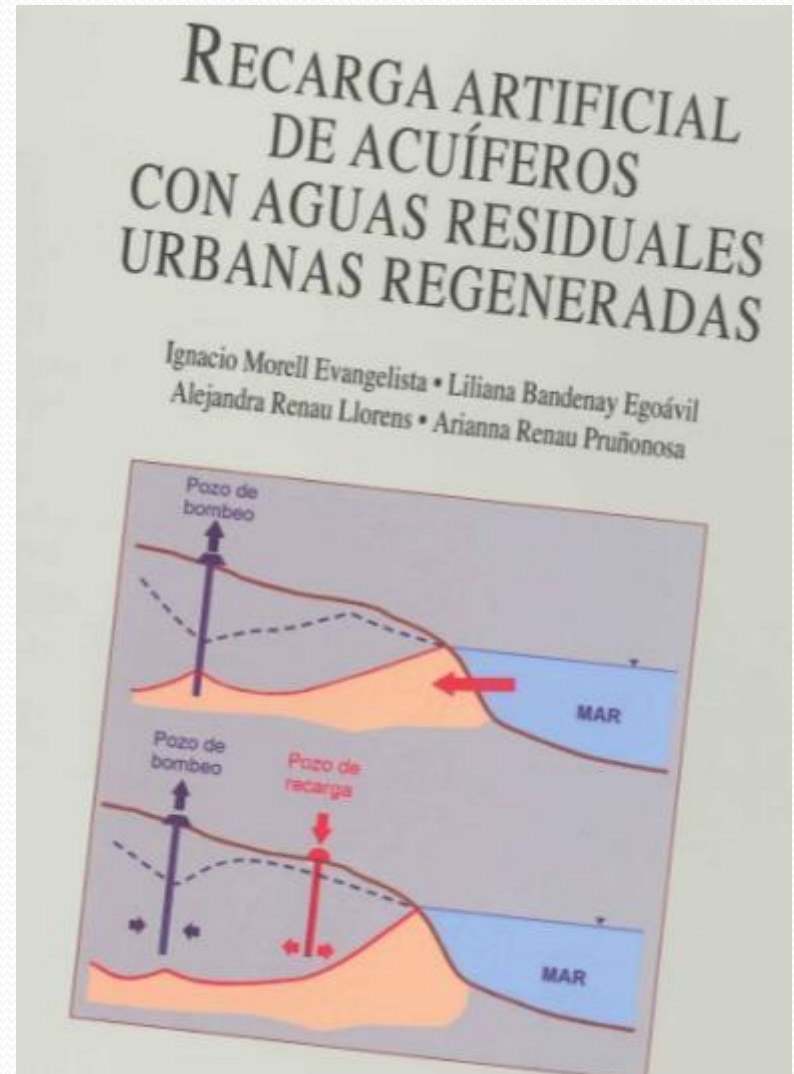
Consulta los detalles en:
<http://www.agua.unam.mx/jornadas2011/acuiferos.html>

En México se tiene una disponibilidad natural media anual de 4312 m³hab/año, valor superior a los países europeos pero inferior a Estados Unidos o Canadá. Cabe aclarar que la disponibilidad se debe analizar desde tres perspectivas: Su distribución temporal, espacial y área de análisis.

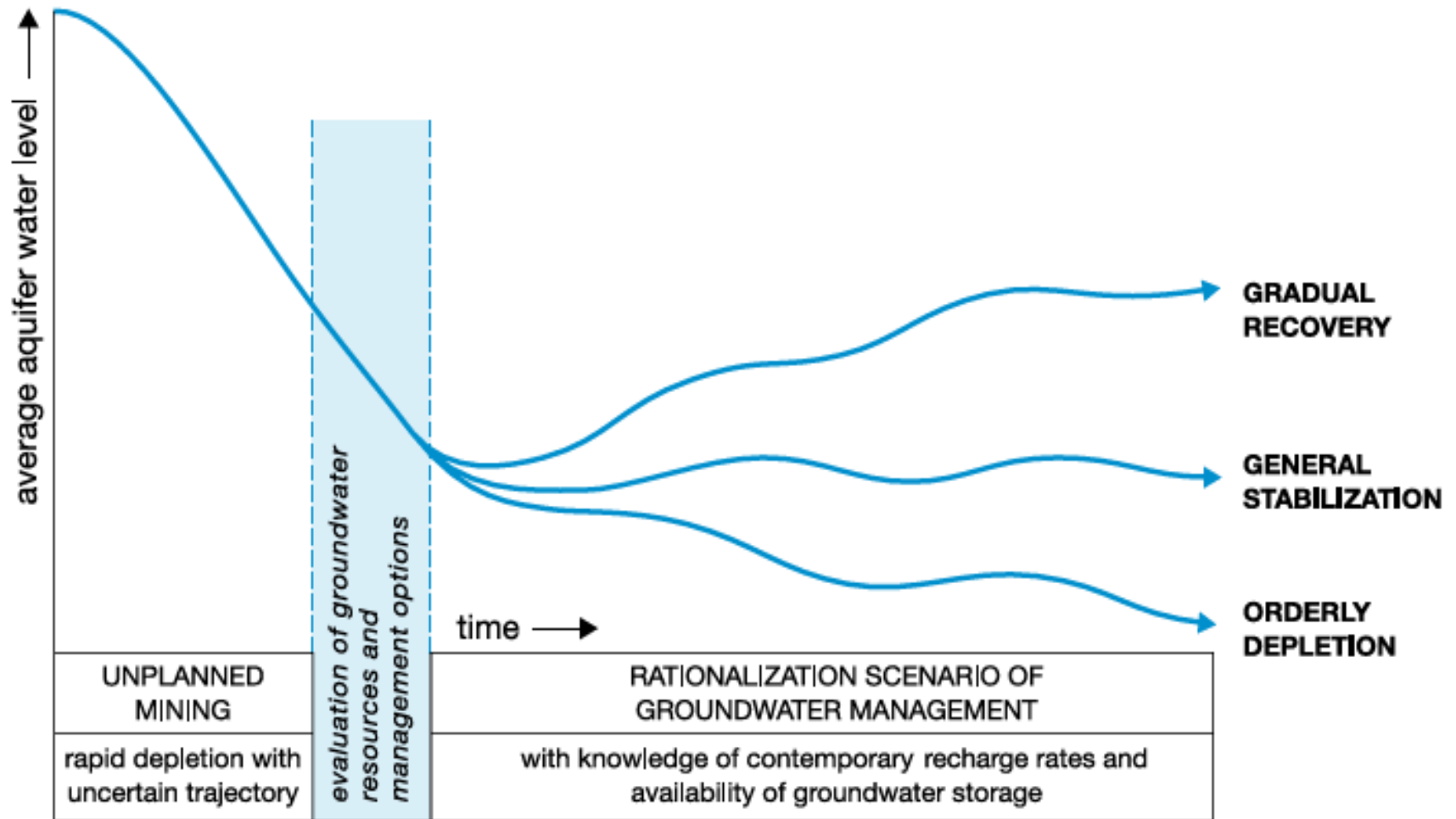
La mayor parte de la lluvia en nuestro país ocurre en verano, mientras que el resto del año es relativamente seco además algunas regiones del país tienen precipitación abundante y baja densidad de población, mientras que en otras ocurre exactamente lo contrario. Esto refleja que la disponibilidad real para cada habitante es muy distinta a la largo del país.

En la actualidad el 70% del agua que se suministra en México a las ciudades y comunidades rurales proviene de acuíferos, abasteciendo a casi 100 millones de habitantes.

Al considerar la importancia del agua como un bienestar social y económico conjuntamente con la demanda, escasez y deterioro de este recurso, es necesario estudiar y desarrollar técnicas que nos lleven hacia un manejo sustentable del agua, considerando el reúso del agua como alternativa para la escasez.



SE PUEDEN REVERTIR LOS EFECTOS DE LA SOBREEXPLOTACION ??



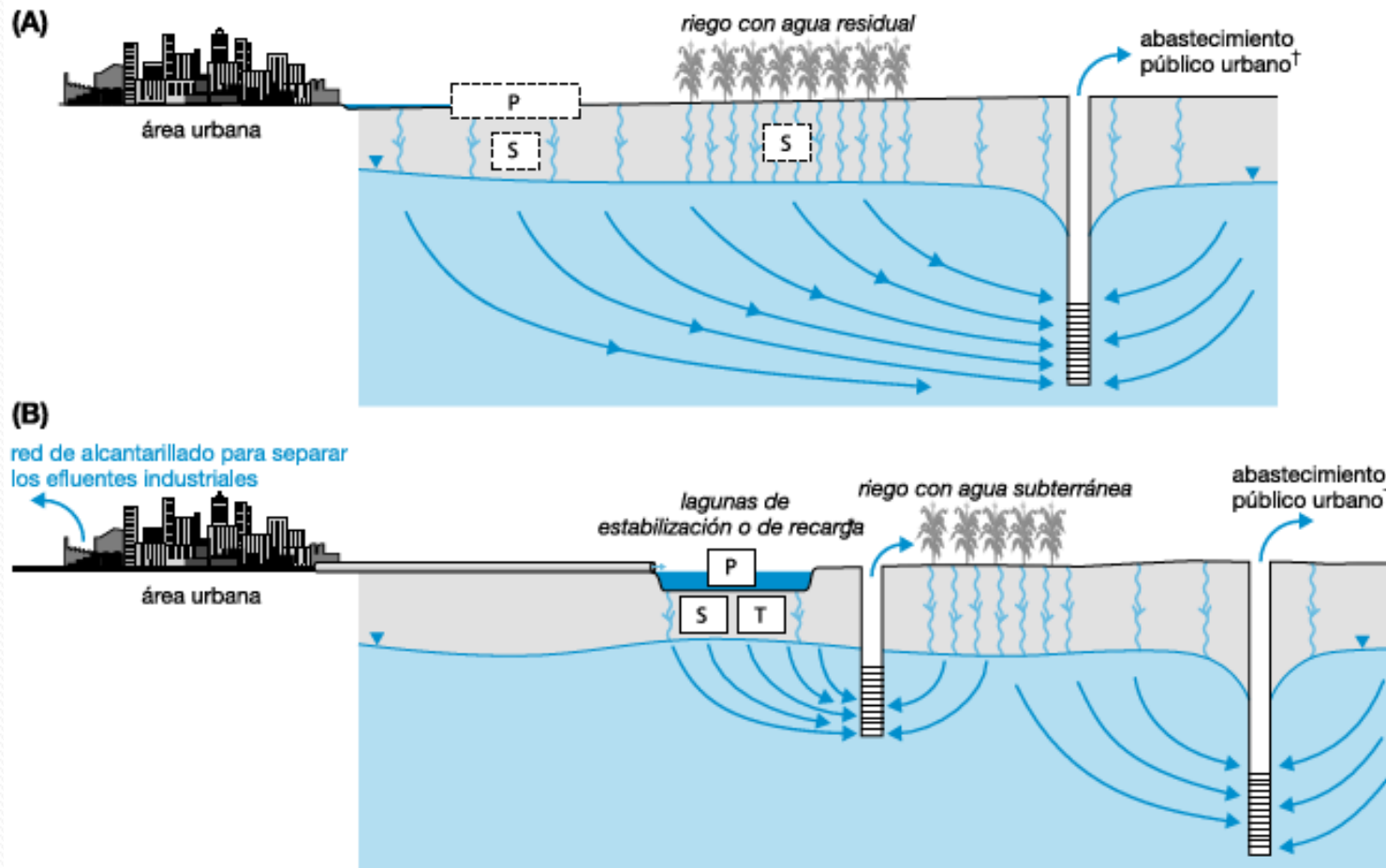
¿Por qué es importante estimar la reposición de un acuífero?

- El conocimiento de las tasas contemporáneas de recarga de los acuíferos es fundamental para la sustentabilidad del aprovechamiento de los recursos de agua subterránea. Además, es esencial para la gestión integrada de los recursos hídricos comprender los mecanismos de recarga de los acuíferos y su interacción con el uso del suelo.
- No obstante, la cuantificación de la recarga natural está sujeta a dificultades metodológicas, deficiencias de datos e incertidumbres resultantes significativas debido a:
 - la gran variabilidad espacial y temporal de los eventos de precipitación y escurrimiento
 - la importante variación horizontal de los perfiles del suelo y de las condiciones hidrogeológicas.Sin embargo, para efectos prácticos, es suficiente hacer estimaciones y afinarlas posteriormente por medio del monitoreo y el análisis de la respuesta de los acuíferos a la extracción a mediano plazo.

- Se pueden hacer las siguientes observaciones genéricas sobre los procesos de recarga de los acuíferos:
 - las áreas con aridez creciente tienen una tasa más baja y menos frecuente de flujo descendente hacia el manto freático y, por lo general, la recarga por precipitación directa se vuelve progresivamente menos importante que la recarga indirecta por escurrimiento superficial y la recarga artificial incidental que proviene de la actividad humana
 - las estimaciones del componente directo de recarga por precipitación casi siempre resultan más confiables que las del componente indirecto de recarga por escurrimiento.

COMO REVERTIR LOS EFECTOS DE LA SOBREEXPLOTACION ??

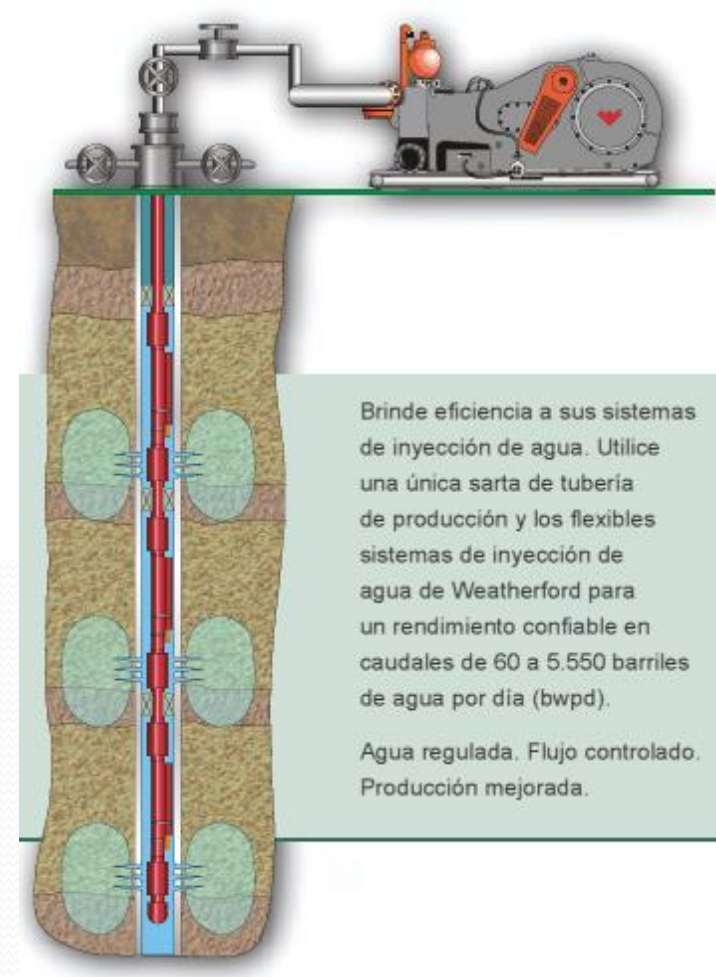
Figura 1: Esquemas generales de generación, tratamiento y reúso de aguas residuales, y su infiltración a los acuíferos (A) situación típica sin planificación ni control (B) intervenciones de bajo costo orientadas a reducir el riesgo de contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua subterránea



P/S/T P/S/T nivel efectivo de tratamiento de aguas residuales (P = primario; S = secundario; T = terciario)
los cuadros punteados indican procesos incidentales (no planeados)

COMO REVERTIR LOS EFECTOS DE LA SOBREEXPLOTACION ??

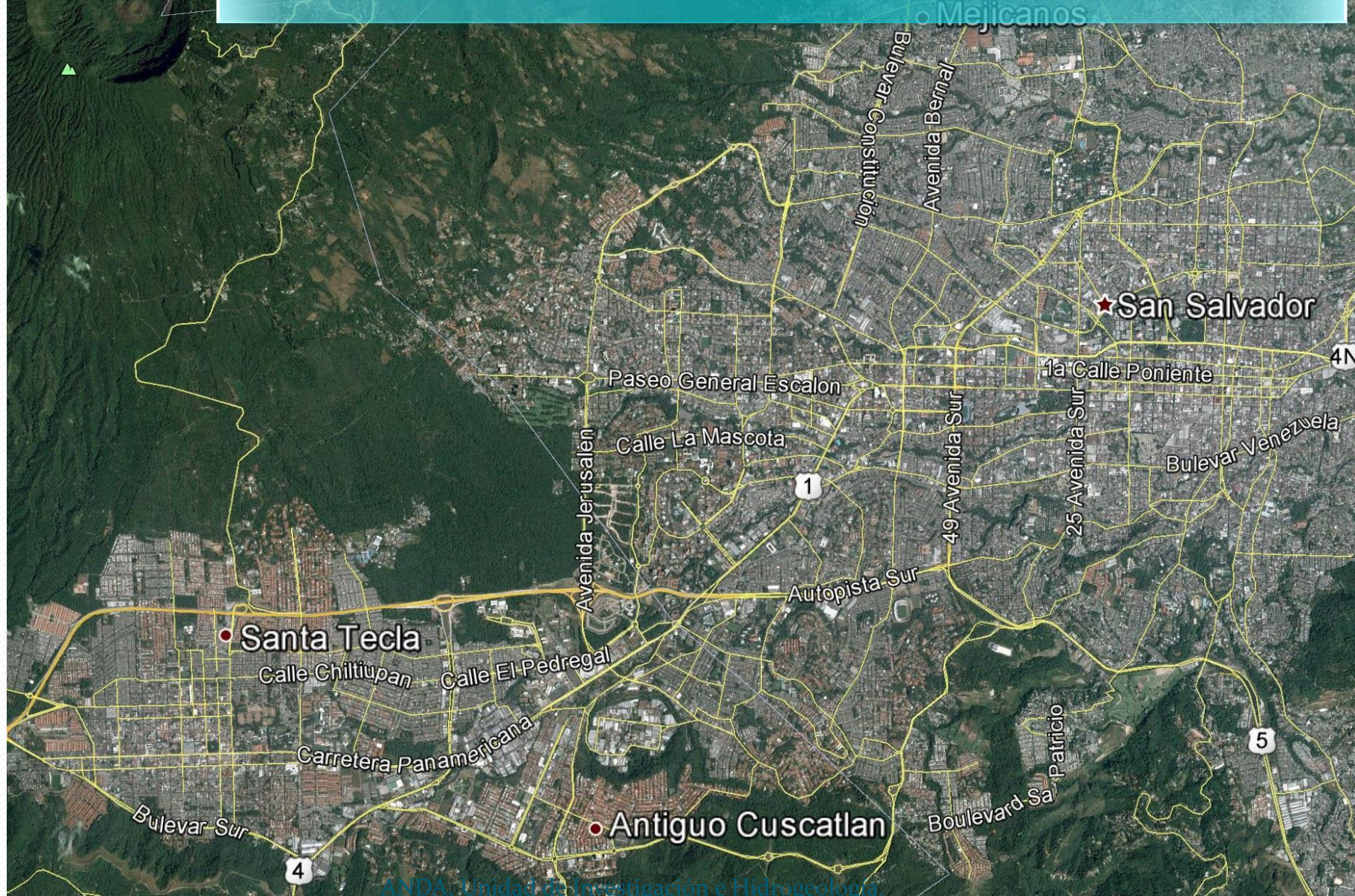
- El impacto de la infiltración de aguas residuales a las fuentes específicas de suministro de agua subterránea no sólo dependerá de su impacto sobre el sistema acuífero somero, sino también de su ubicación con relación al área de infiltración de aguas residuales, la profundidad de la captación del agua y la integridad de la construcción de los pozos. Un control cuidadoso de dichos factores (y bajo circunstancias favorables en términos de la vulnerabilidad de los acuíferos y la calidad de las aguas residuales) puede lograr la compatibilidad entre el reúso de las aguas residuales y las necesidades del suministro con agua subterránea por medio de:
 - aumentar la profundidad y mejorar el sellado sanitario de pozos de agua potable
 - establecer zonas de protección apropiadas para los pozos de abastecimiento
 - aumentar el monitoreo del agua subterránea para detectar los indicadores de contaminación discutidos arriba



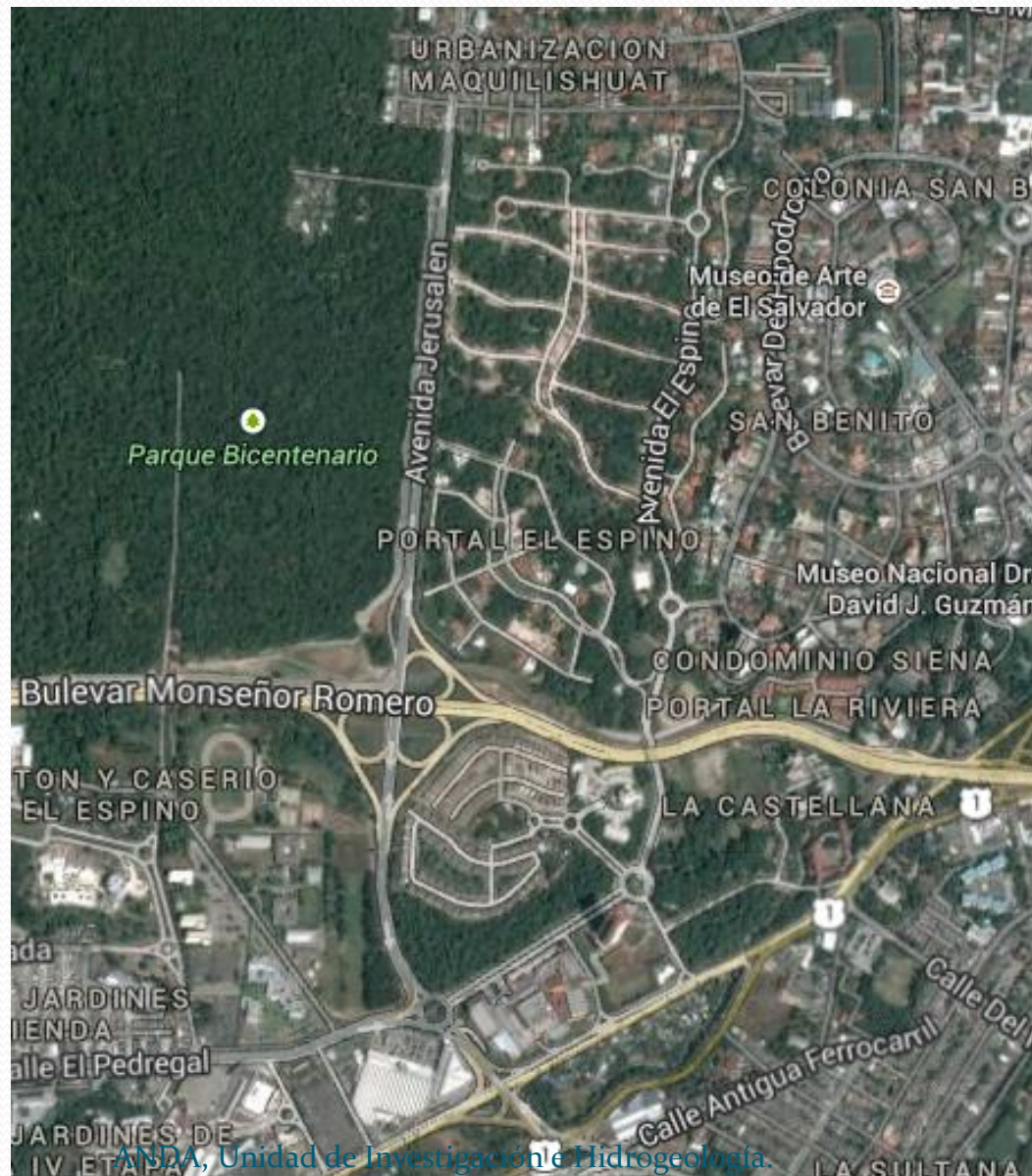
COMO REVERTIR LOS EFECTOS DE LA SOBREEXPLOTACION ??

- Ya que el agua subterránea es a menudo la fuente preferida para el abastecimiento público urbano, y también se explota ampliamente para uso doméstico privado y uso industrial sensible, el peligro de contaminar los acuíferos es un asunto delicado. Sin embargo, probablemente en los países en vías de desarrollo se avance poco en controlar este peligro con sólo publicar normas de calidad más estrictas para las descargas de aguas residuales y para la recarga de dichas aguas. Es más, la existencia de dichas normas puede incluso resultar contraproducente, ya que a menudo las autoridades ambientales y de salud 'se tienen que hacer de la vista gorda' al no tener la capacidad económica y de personal para atender dicha situación.

EXPERIENCIAS EN EL SALVADOR. RECARGA ARTIFICIAL DE AGUAS LLUVIAS



RECARGA ARTIFICIAL DE AGUAS LLUVIAS / Desarrollo El Espino



fc: Capacidad de Infiltración.
 I: Infiltración.
 CC: Capacidad de Campo.
 PM: Punto de Marchitez.
 PR: Profundidad de Raíces.
 (CC-PM): Rango de Agua Disponible.
 DS: Densidad de Suelo.
 C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR.
 C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR.
 Kp: Factor por pendiente (ver láame)
 Kv: Factor por vegetación (ver láame)
 Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.
 Pi: Precipitación que infiltra.
 ESC: Escorrentía Superficial
 ETP: Evapotranspiración Potencial.
 ETR: Evapotranspiración Real.
 HSi: Humedad de Suelo Inicial.
 HD: Humedad Disponible
 HSf: Humedad de Suelo Final.
 DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
 Rp: Recarga Potencial
 NR: Necesidad de Riego.
 Ret: Retención de lluvia

| | |
|---|---------|
| fc [mm/d] | 1440.00 |
| Kp [0.01%] | 0.10 |
| Kv [0.01%] | 0.10 |
| Kfc [0.01%] | 0.99697 |
| I [0.01%] = | 1 |
| DS (g/cm ³): | 1.26 |
| PR (mm) | 900.00 |
| HSi (mm) | 148.10 |
| Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12? | 6 |
| Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1: | 0.12 |

| | por peso (%) | (mm) |
|---------|--------------|--------|
| CC | 25.00 | 283.50 |
| PM | 13.08 | 148.10 |
| (CC-PM) | 11.94 | 135.40 |

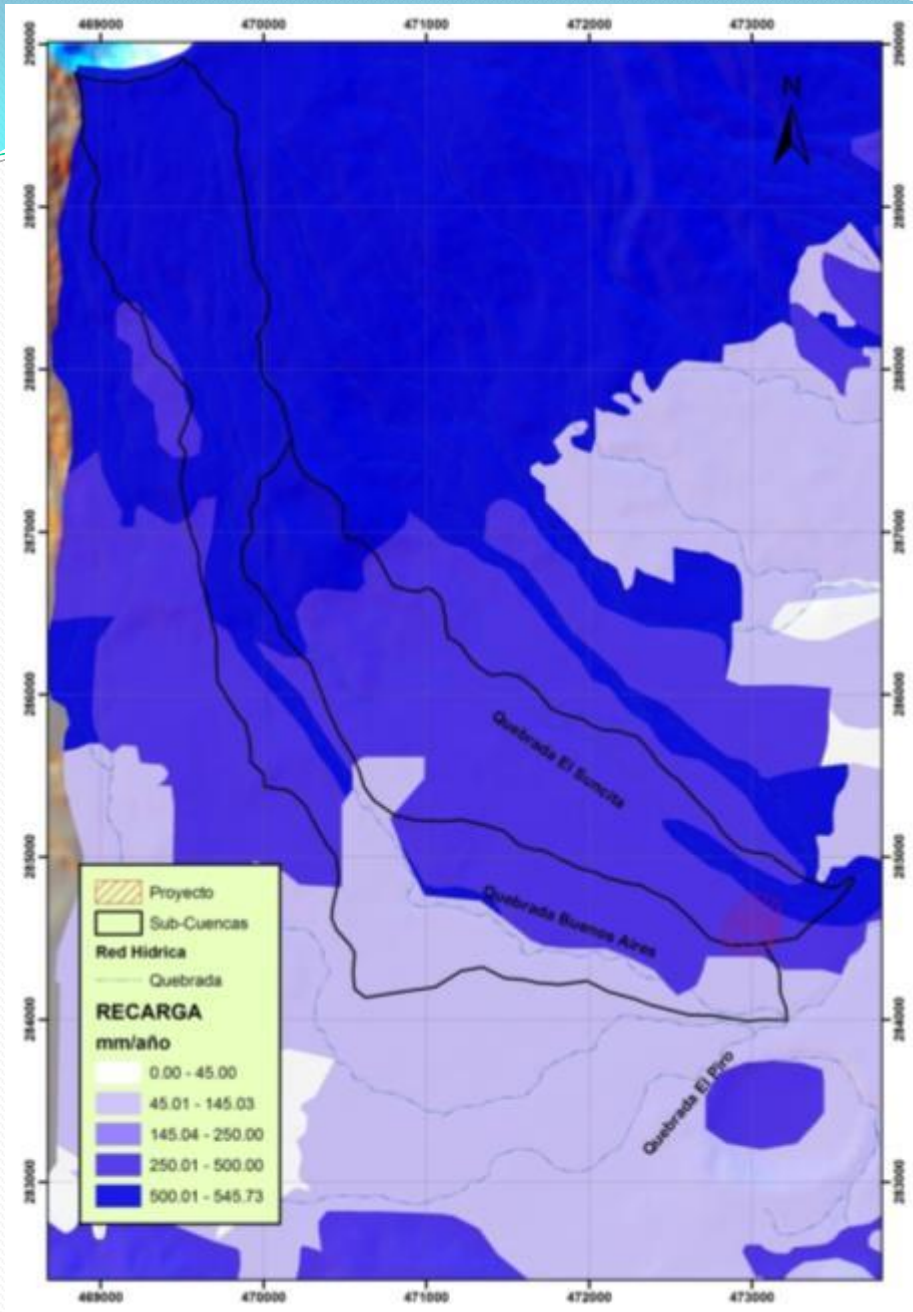
| Concepto | Enc | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Total |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| P (mm) | 5.43 | 1.48 | 12.49 | 35.80 | 170.22 | 320.08 | 349.17 | 336.13 | 355.30 | 200.03 | 56.08 | 8.29 | 1850.41 |
| Ret [mm] | 5.00 | 1.48 | 5.00 | 5.00 | 20.43 | 38.41 | 41.90 | 40.34 | 42.64 | 24.00 | 6.73 | 5.00 | 235.89 |
| Pi (mm) | 0.43 | 0.00 | 7.49 | 30.80 | 149.79 | 281.67 | 307.27 | 295.79 | 312.68 | 176.02 | 49.33 | 3.25 | 1614.51 |
| ESC (mm) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| ETP (mm) | 122.13 | 125.48 | 150.27 | 152.03 | 144.80 | 137.44 | 152.04 | 147.22 | 128.51 | 127.08 | 118.17 | 115.89 | 1620.62 |
| HSi (mm) | 199.09 | 174.08 | 161.15 | 157.24 | 165.62 | 148.10 | 283.50 | 283.50 | 283.50 | 283.50 | 283.50 | 244.70 | |
| C1 | 0.38 | 0.19 | 0.15 | 0.29 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.74 | |
| C2 | 0.04 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.17 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.49 | 0.11 | |
| HD (mm) | 51.42 | 25.98 | 20.54 | 39.94 | 167.31 | 281.67 | 442.87 | 431.19 | 448.08 | 311.42 | 184.73 | 99.85 | |
| ETR (mm) | 25.46 | 12.91 | 11.40 | 22.42 | 84.43 | 137.44 | 152.04 | 147.22 | 128.51 | 127.08 | 88.13 | 48.88 | 985.90 |
| HSf (mm) | 174.08 | 161.15 | 157.24 | 165.62 | 230.98 | 283.50 | 283.50 | 283.50 | 283.50 | 283.50 | 244.70 | 199.09 | |
| DCC (mm) | 109.44 | 122.35 | 126.26 | 117.88 | 52.52 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 38.80 | 84.41 | |
| Rp (mm) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.84 | 155.22 | 148.57 | 184.15 | 48.95 | 0.00 | 0.00 | 545.73 |
| NR (mm) | 206.11 | 234.92 | 285.13 | 247.49 | 112.69 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 68.84 | 151.20 | 1286.38 |

| | |
|--|---------|
| fc [mm/d] | 220.00 |
| Kp [0.01%] | 0.20 |
| Kv [0.01%] | 0.05 |
| Kfc [0.01%] | 0.68322 |
| I [0.01%] = | 0.93622 |
| DS (g/cm ³): | 1.28 |
| PR (mm) | 700.00 |
| HSi (mm) | 115.19 |
| Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12? | 6 |
| Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1 | 0.12 |

| | por peso (%) | (mm) |
|---------|--------------|--------|
| CC | 25.00 | 220.50 |
| PM | 13.06 | 115.19 |
| (CC-PM) | 11.94 | 105.31 |

| Concepto | Enc | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Total |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| P (mm) | 5.43 | 1.48 | 12.49 | 35.80 | 170.22 | 320.08 | 349.17 | 336.13 | 355.30 | 200.03 | 58.08 | 8.29 | 1850.41 |
| Ret [mm] | 5.00 | 1.48 | 5.00 | 5.00 | 20.43 | 38.41 | 41.90 | 40.34 | 42.64 | 24.00 | 6.73 | 5.00 | 235.89 |
| Pi (mm) | 0.40 | 0.00 | 7.02 | 28.84 | 140.24 | 263.71 | 287.67 | 276.92 | 292.72 | 164.80 | 46.18 | 3.04 | 1511.54 |
| ESC (mm) | 0.03 | 0.00 | 0.48 | 1.98 | 9.55 | 17.97 | 19.60 | 18.87 | 19.94 | 11.23 | 3.15 | 0.21 | 102.98 |
| ETP (mm) | 122.13 | 125.48 | 150.27 | 152.03 | 144.80 | 137.44 | 152.04 | 147.22 | 128.51 | 127.08 | 118.17 | 115.85 | 1620.62 |
| HSi (mm) | 149.80 | 129.90 | 121.14 | 118.90 | 124.24 | 115.19 | 220.50 | 220.50 | 220.50 | 220.50 | 220.50 | 188.90 | |
| C1 | 0.33 | 0.14 | 0.12 | 0.31 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.73 | |
| C2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.32 | 0.00 | |
| HD (mm) | 35.01 | 14.71 | 12.98 | 32.55 | 149.29 | 263.71 | 392.98 | 382.23 | 398.03 | 270.11 | 151.49 | 76.75 | |
| ETR (mm) | 20.30 | 8.76 | 9.25 | 23.49 | 75.52 | 137.44 | 152.04 | 147.22 | 128.51 | 127.08 | 77.78 | 42.14 | 949.54 |
| HSf (mm) | 129.90 | 121.14 | 118.90 | 124.24 | 188.96 | 220.50 | 220.50 | 220.50 | 220.50 | 220.50 | 188.90 | 149.80 | |
| DCC (mm) | 90.60 | 99.36 | 101.60 | 96.28 | 31.54 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 31.60 | 70.70 | |
| Rp (mm) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 20.96 | 135.63 | 129.70 | 164.21 | 37.72 | 0.00 | 0.00 | 488.22 |
| NR (mm) | 192.43 | 216.08 | 242.62 | 224.79 | 100.62 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 71.99 | 144.20 | 1192.73 |

POZOS EXPLORATORIOS Y LITOLOGIA



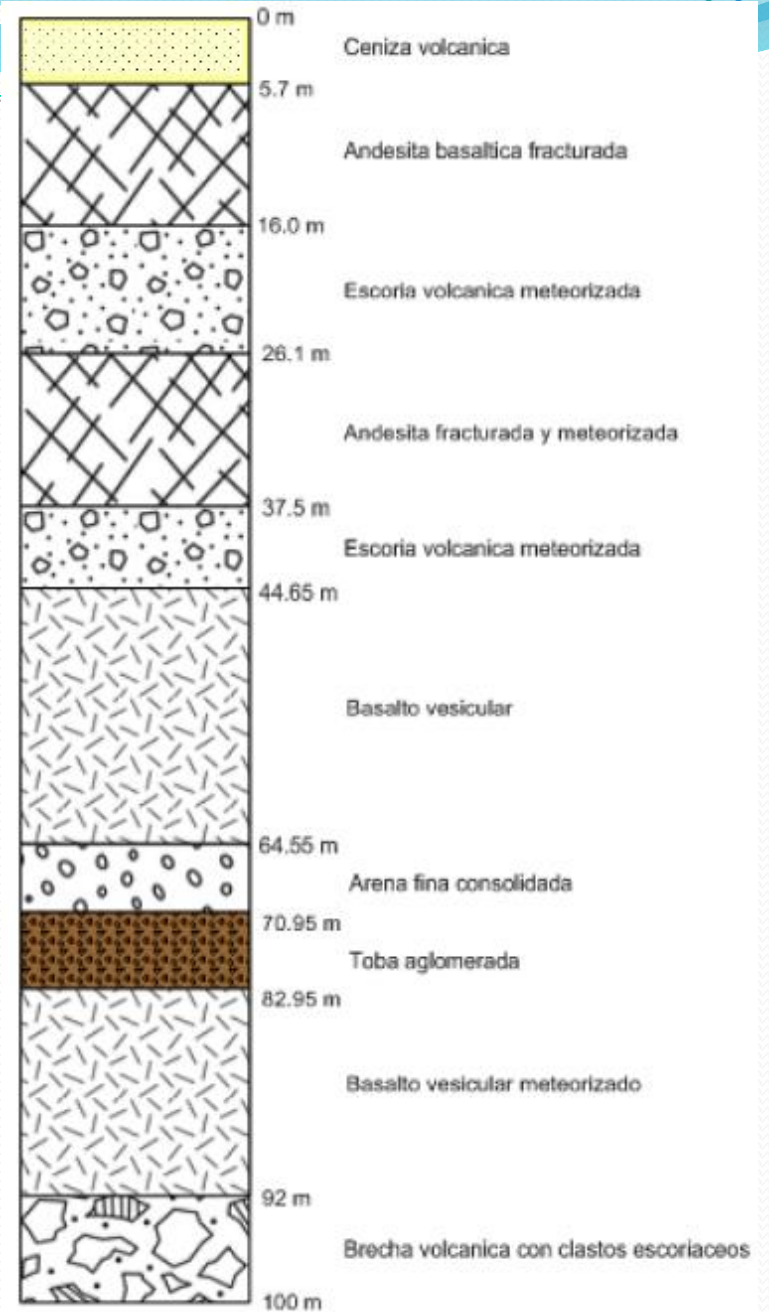
POZOS EXPLORATORIOS Y LITOLOGIA



Fotografía 1. Basalto

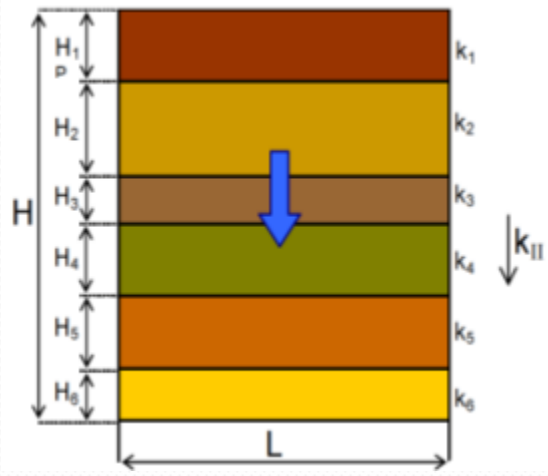
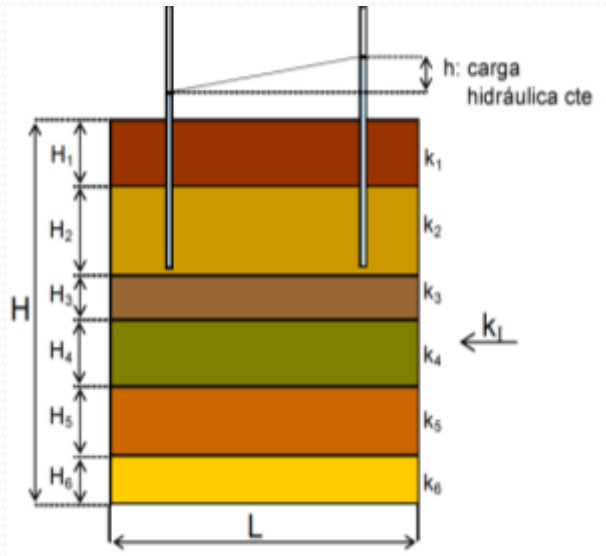
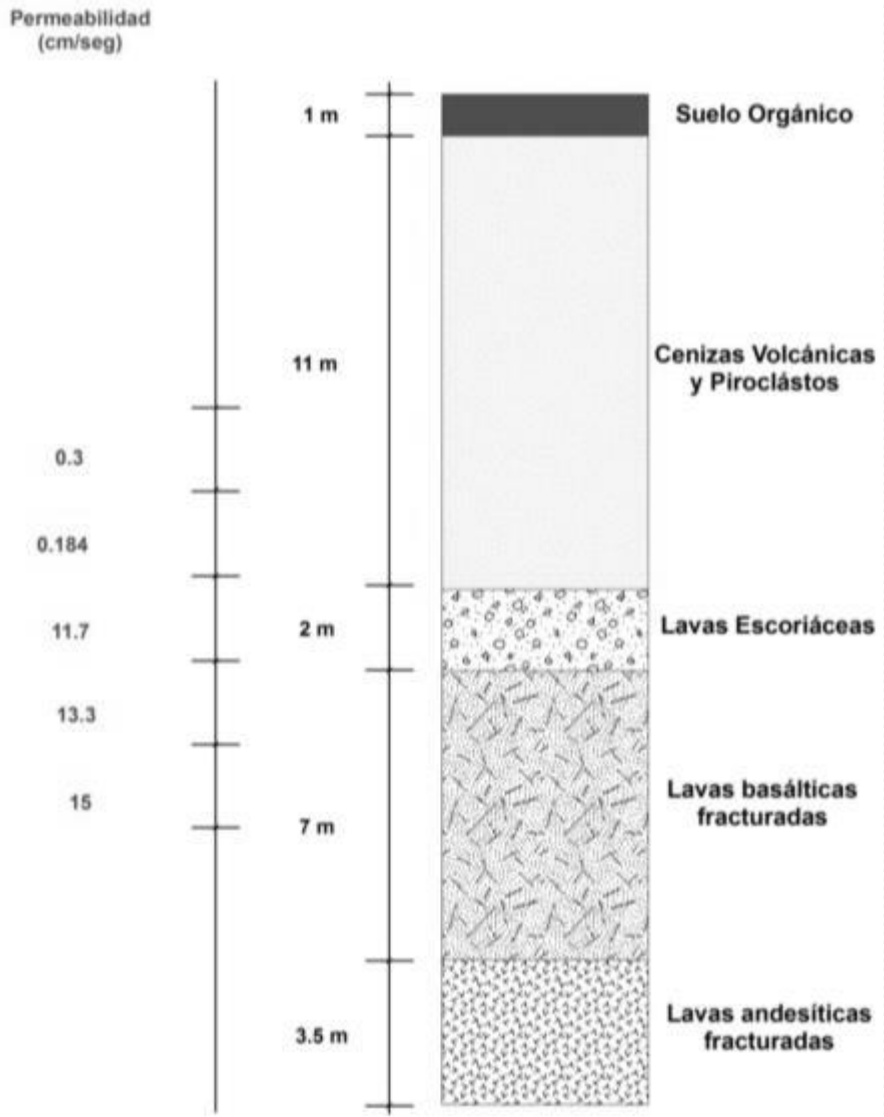


Fotografía 2. Andesita
meteorizada



POZOS EXPLORATORIOS Y PERMEABILIDAD

Columna Litológica



CUANTO DE PUEDE RECARGAR ??

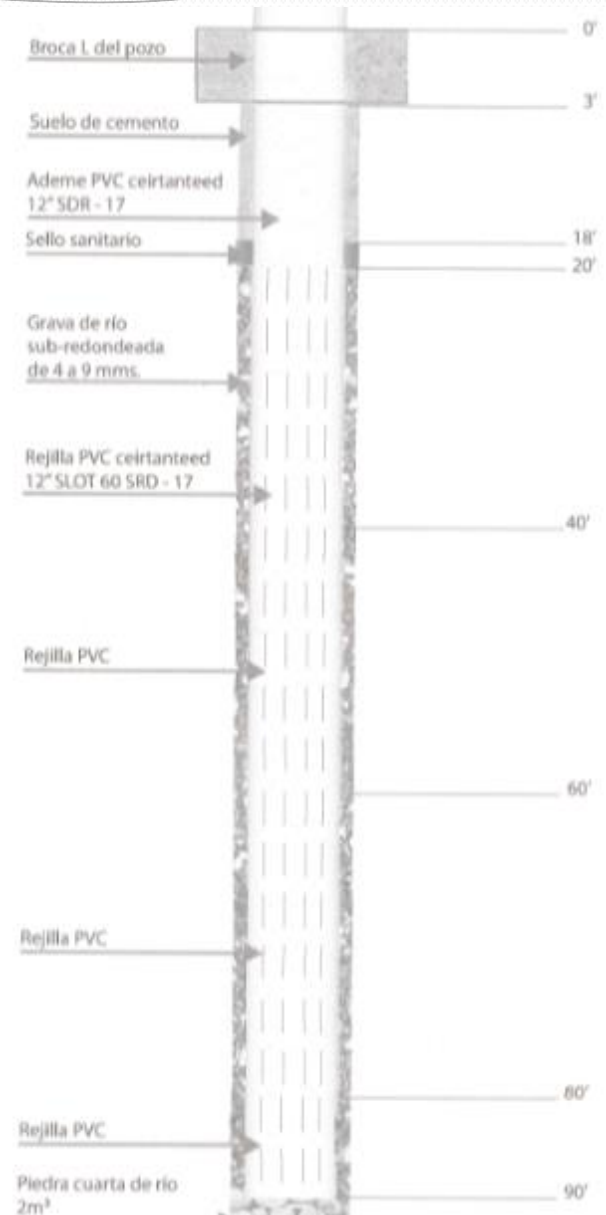
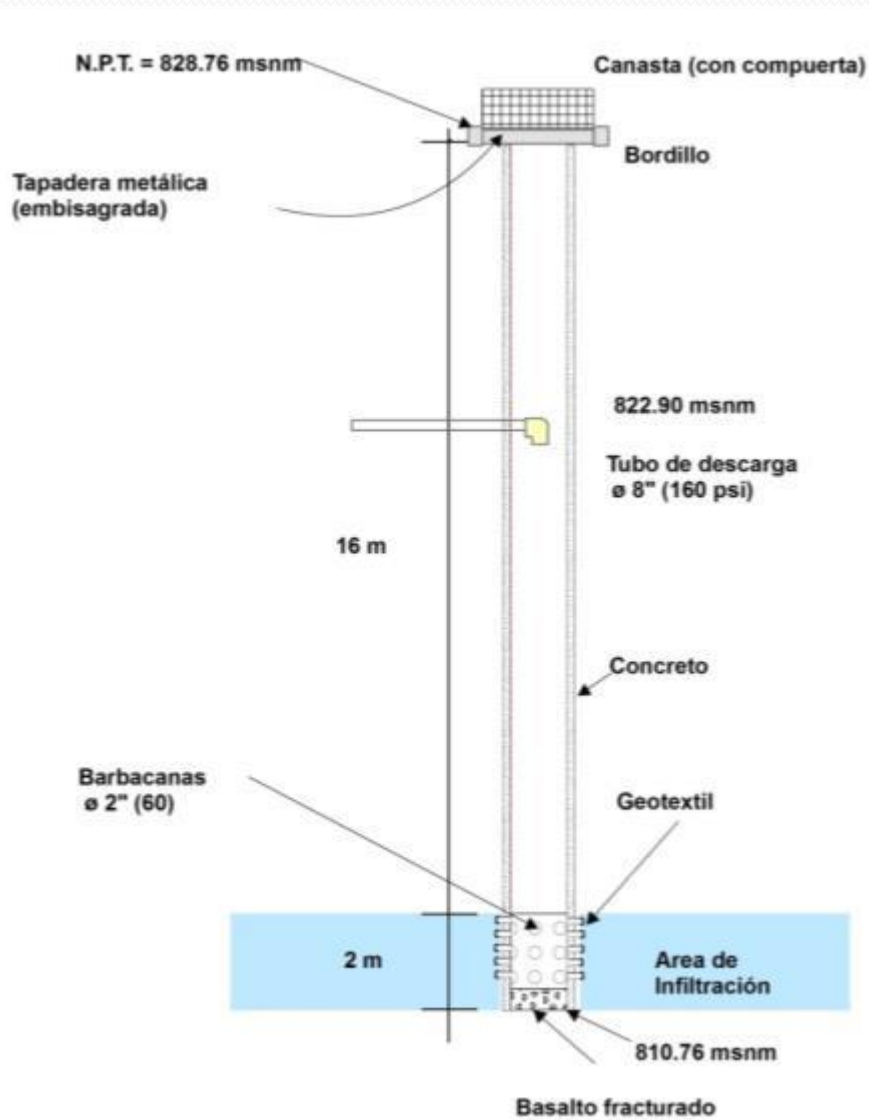
Parámetros

- Área impermeable del proyecto: **80,000.0 m²**
- Recarga Hídrica: **0.500 m/año**
- Caudal por Recarga: $80,000.0 \text{ m}^2 \times 0.500 \text{ m/año} = \mathbf{40,000.0 \text{ m}^3/\text{año}}$
- Escorrentía: **0.300 m/año**
- Caudal por Escorrentía: $80,000.0 \text{ m}^2 \times 0.300 \text{ m/año} = \mathbf{24,000.0 \text{ m}^3/\text{año}}$
- **Total a Infiltrar Artificialmente: 64,000.0 m³/año**
- En 180 días de Invierno: $64,000.0 \text{ m}^3/\text{año}/180 \text{ días} = \mathbf{355.6 \text{ m}^3/\text{día}}$
- Permeabilidad media: **0.4 cm/s o 14.4 m/h**

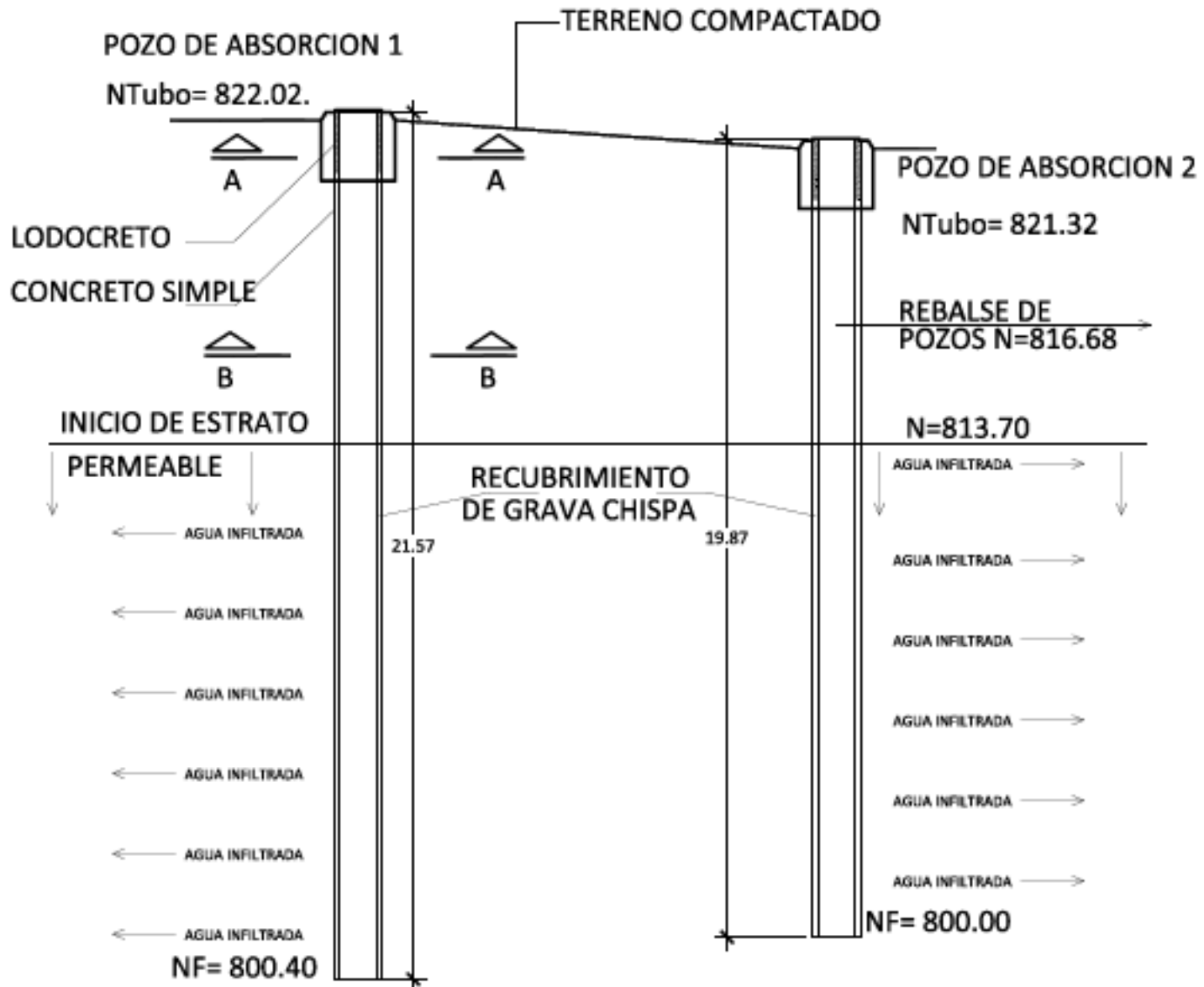
Resultados

- Pozo con Rejilla: área lateral efectiva de infiltración de 0.53 m^2 (10 % de área efectiva en la rejilla), infiltración promedio $7.71 \text{ m}^3/\text{hora}$ o el equivalente a **185 m³/día**.
- Fondo del pozo sin revestimiento, área de 0.08 m^2 , capacidad de infiltración de $1.15 \text{ m}^3/\text{hora}$ o el equivalente a **27.6 m³/día**.
- Total de capacidad de recarga: **212.6 m³/día**
- Se necesitan 2 pozos de iguales características: $212.6 \text{ m}^3/\text{día} \times 2 = \mathbf{425.2 \text{ m}^3/\text{día}}$

TIPOS DE POZOS DE RECARGA



TIPOS DE POZOS DE RECARGA





CONCLUSIONES

AGRADECIMIENTOS