

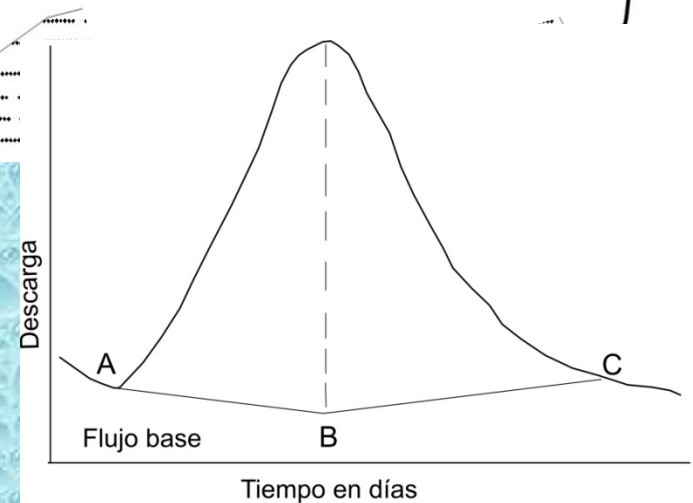
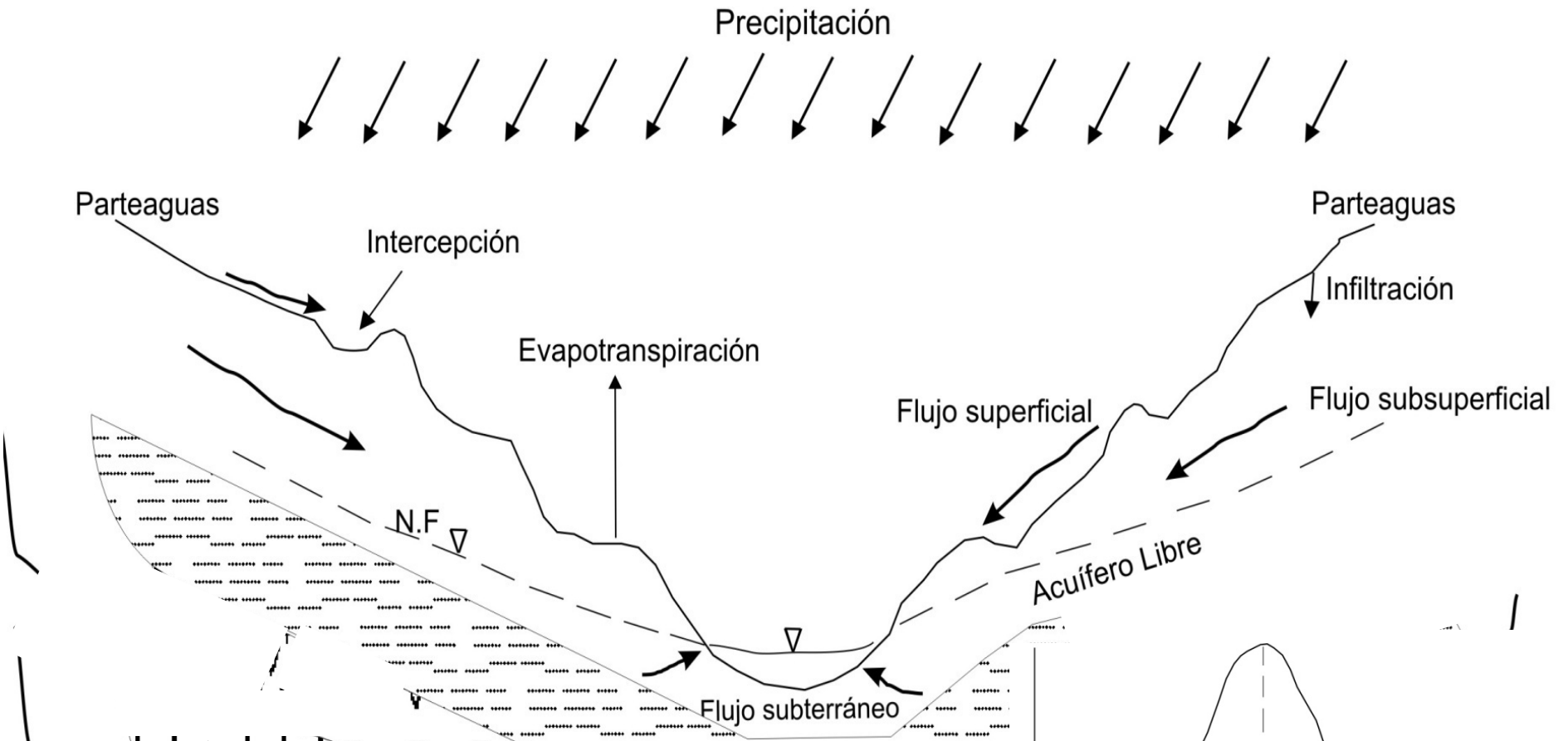
## INTERACCIÓN AGUA SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRÁNEA EN EL CONTEXTO DE LOS SISTEMAS DE FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA

- ❖ Ciclo hidrogeológico
- ❖ Distribución del agua en el suelo y subsuelo
- ❖ Infiltración =¿recarga?. Instrumentación
- ❖ Cálculo de recarga empleando balance de masas (Cloruro)
- ❖ Relación valle fluvial, acuífero (geología)
- ❖ Balance hidrológico ???
- ❖ Sistemas de flujo de agua subterránea
- ❖ Isótopos Estables e Isótopos Radiactivos

Dr- Rafael Huizar-Alvarez

The background of the slide is a dense, repeating pattern of small, clear water droplets on a light blue, textured surface. The droplets vary in size and are scattered across the entire frame, creating a fresh and clean aesthetic.

# CICLO HIDROLÓGICO

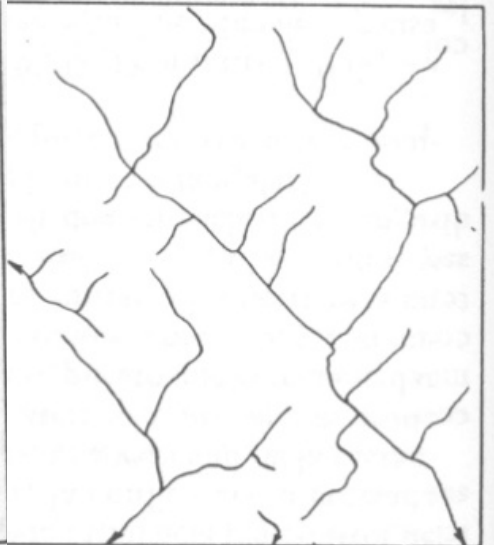
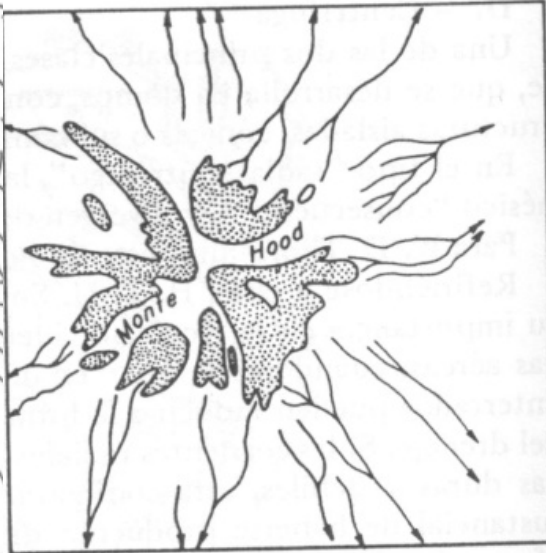
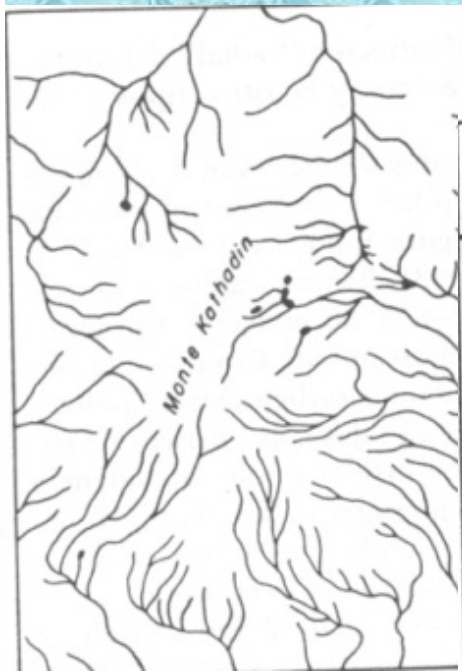
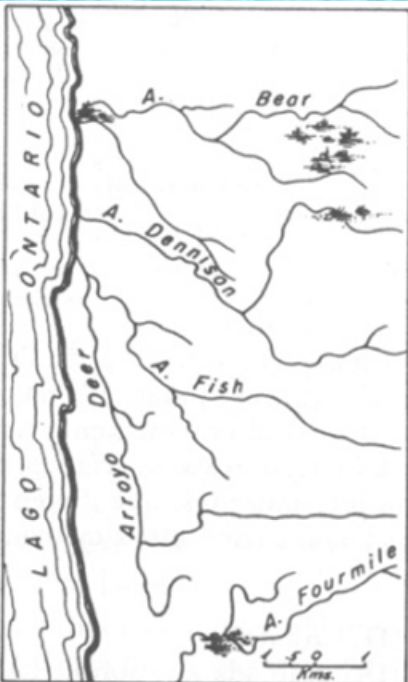
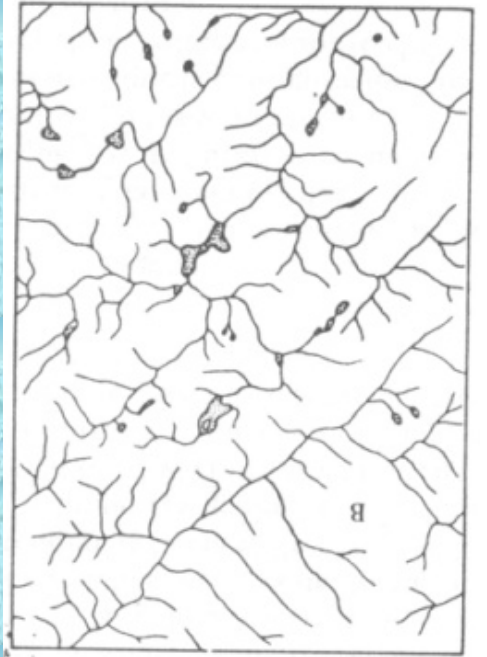
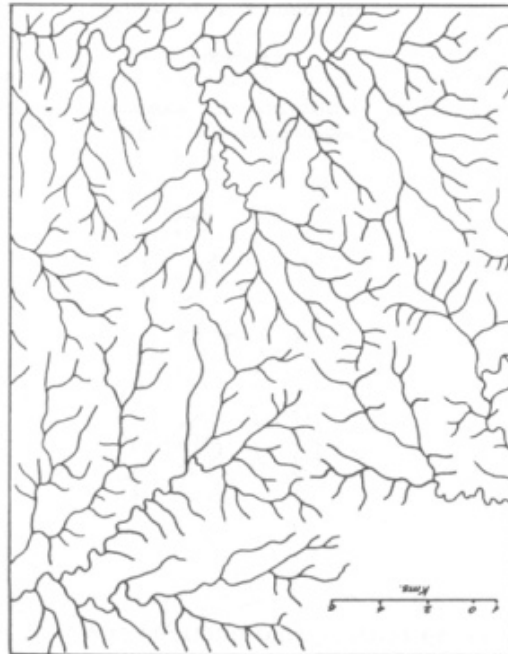
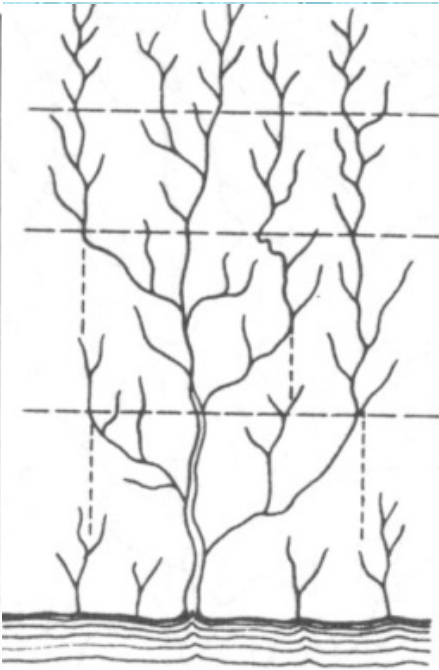



El escurrimiento total de una cuenca - río es

$$\int_0^T (Q - Q_b) dt$$

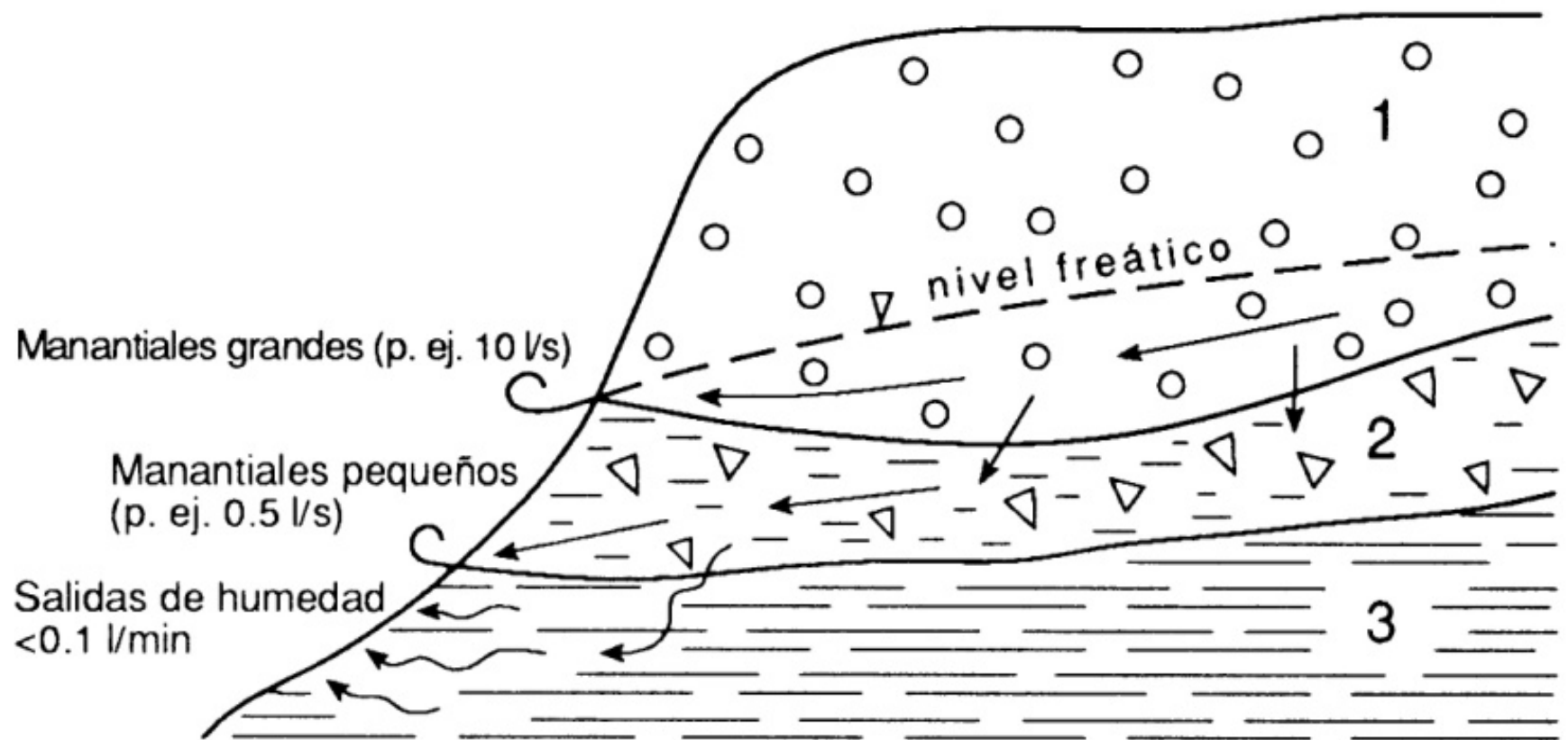
$Q_b$  = escurrimiento base y  $Q$  = escurrimiento directo

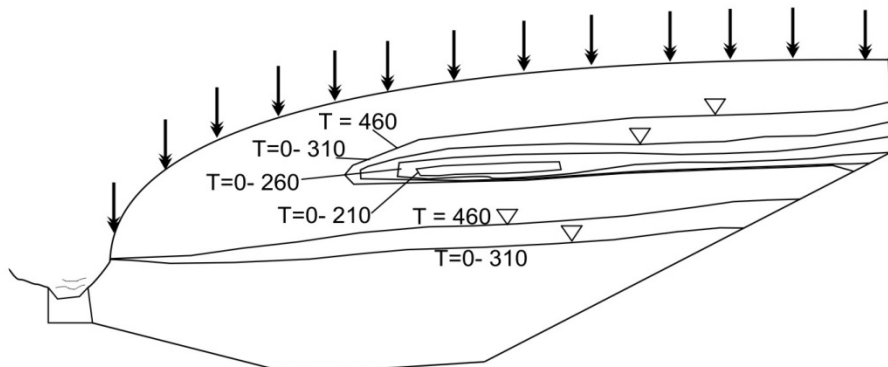
# Ciclo hidrológico a escala de la cuenca



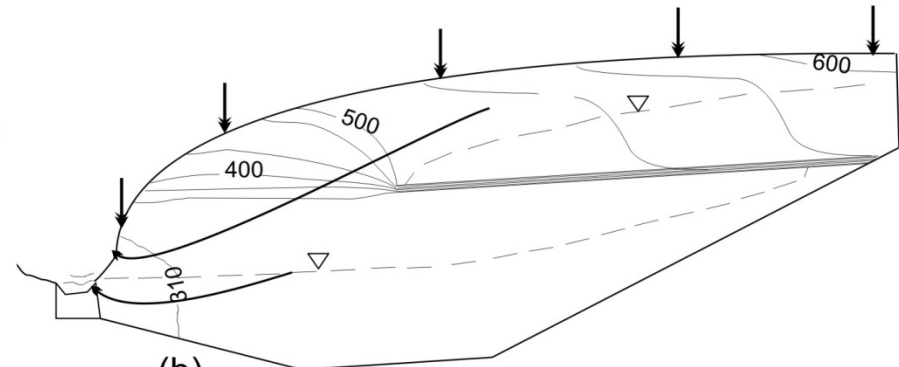


# DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN EL SUELO Y SUBSUELO

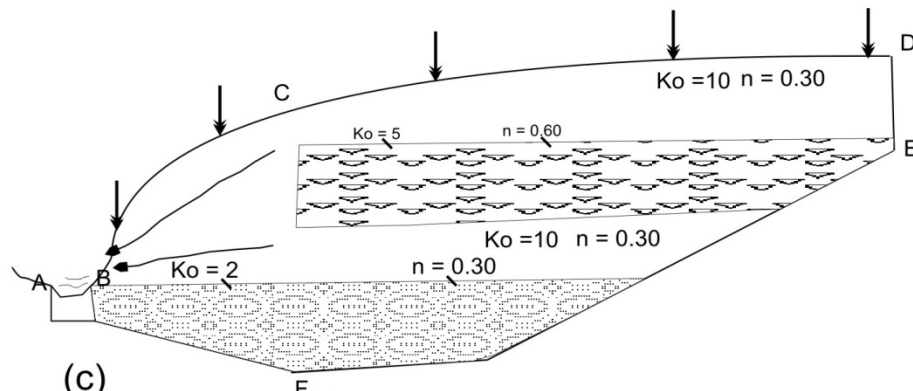




(a) Estado Transitorio del nivel freático



(b) Gradiente hidráulico total, t = 460



(c) Configuración Geológica

### Formación y evolución de un estrato de agua a Colgada

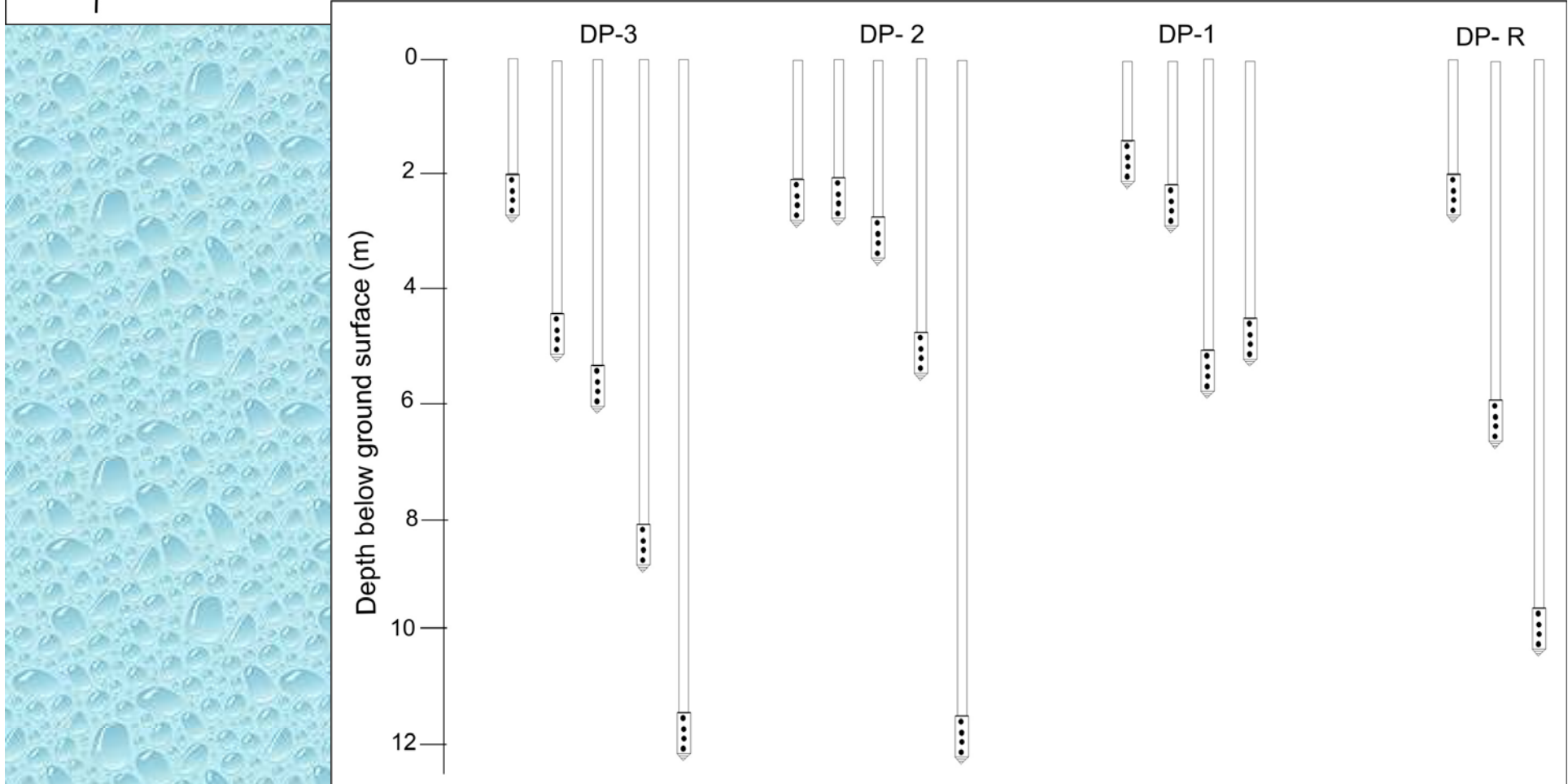
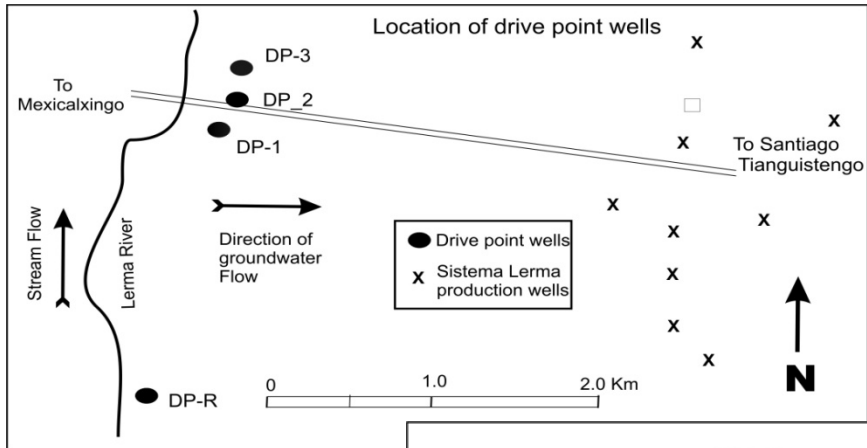
El caudal que llega al río se calcula empleando la ley de Darcy

$$K = \frac{Q}{A \left( \frac{dh}{dl} \right)} \quad \text{de donde} \quad Q = -KA \frac{dh}{dl}$$



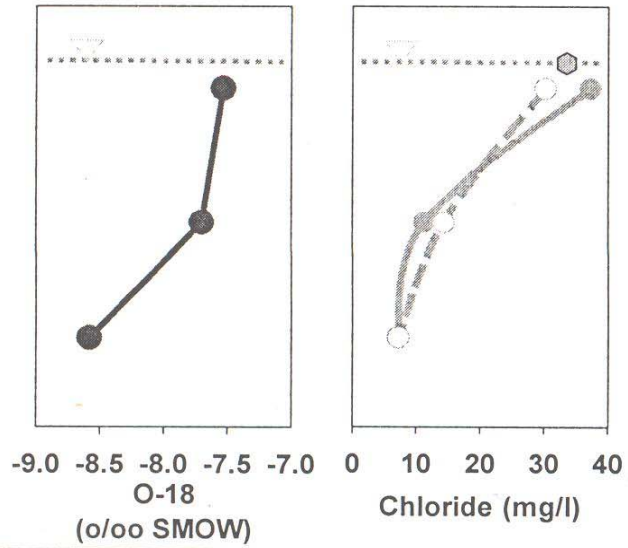
INFILTRACIÓN = ¿RECARGA?  
INSTRUMENTACIÓN



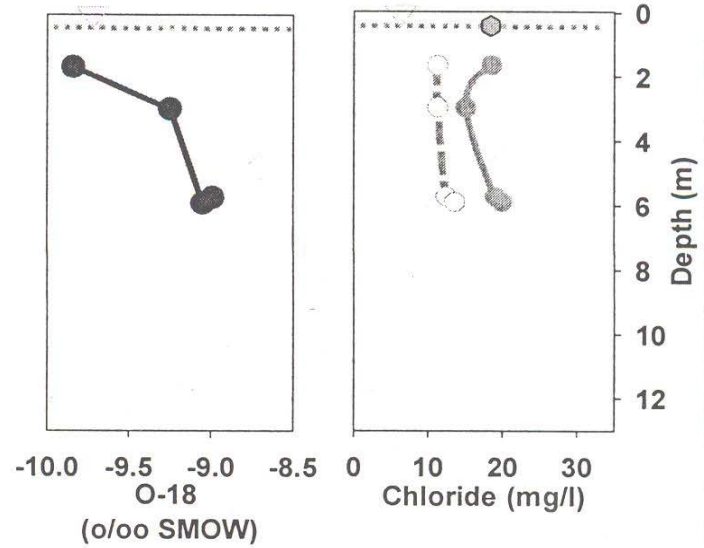


Drive point piezometers at four sites at Lerma Basin

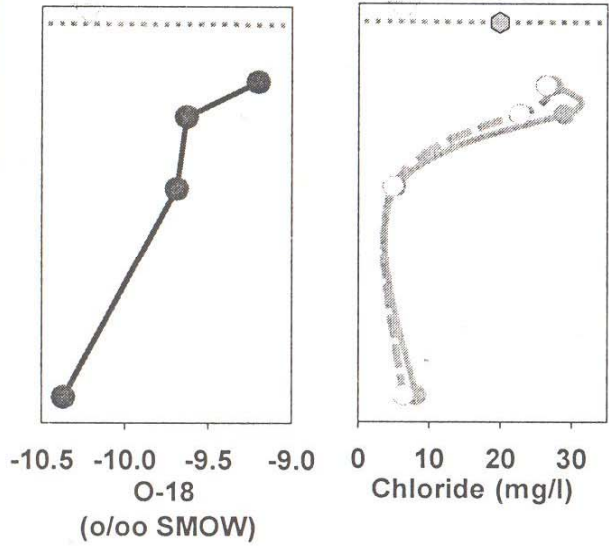
DP-R



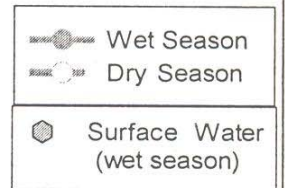
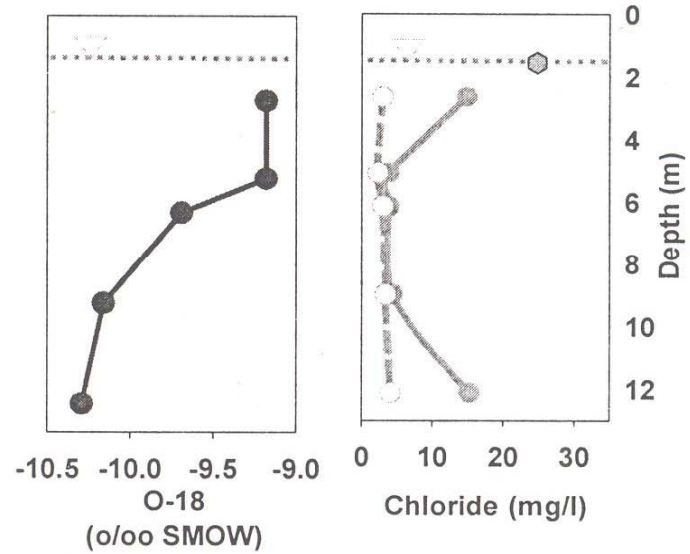
DP-1



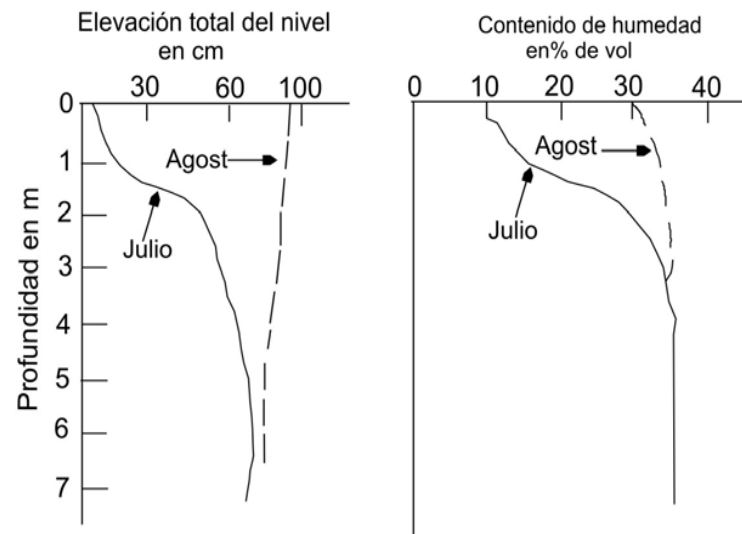
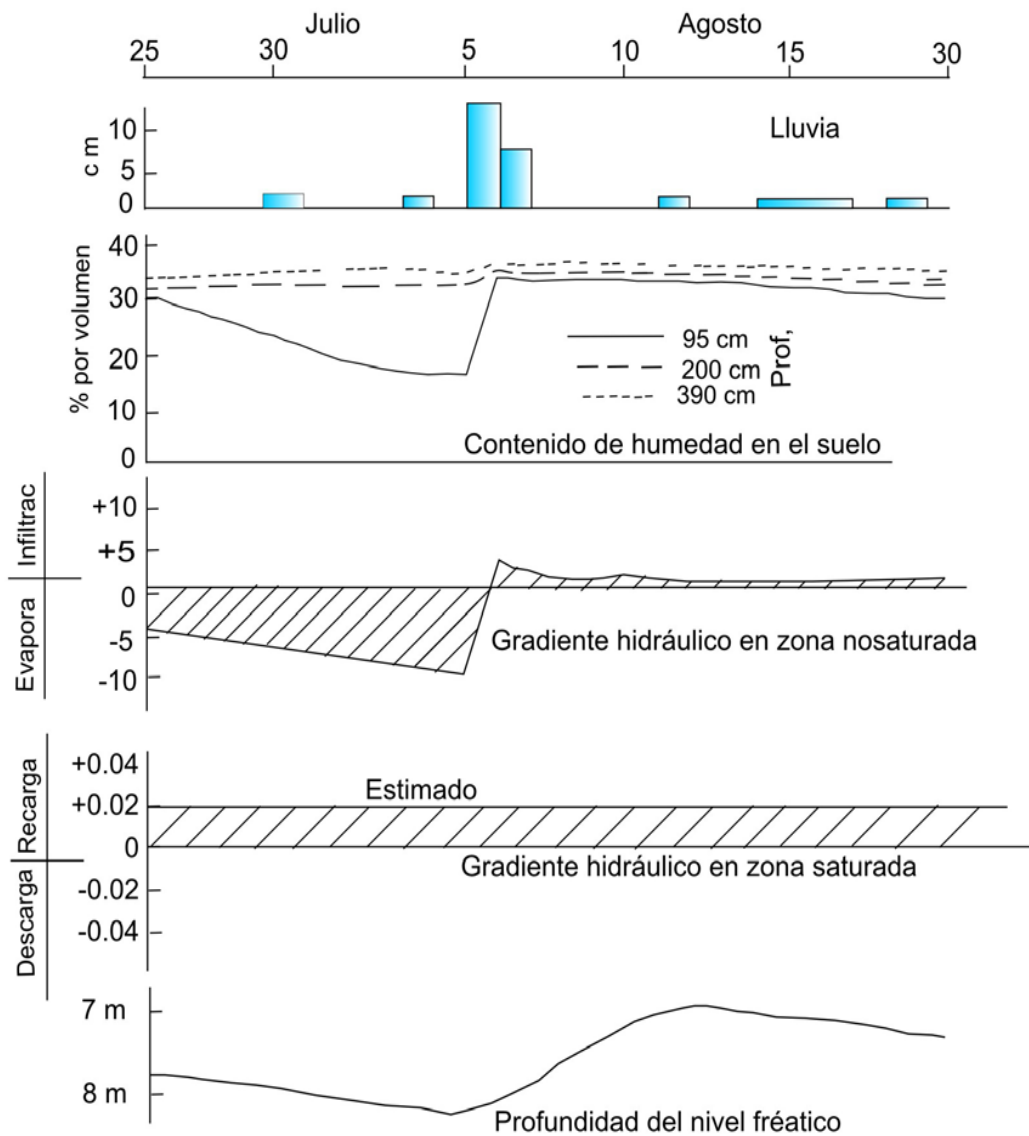
DP-2



DP-3

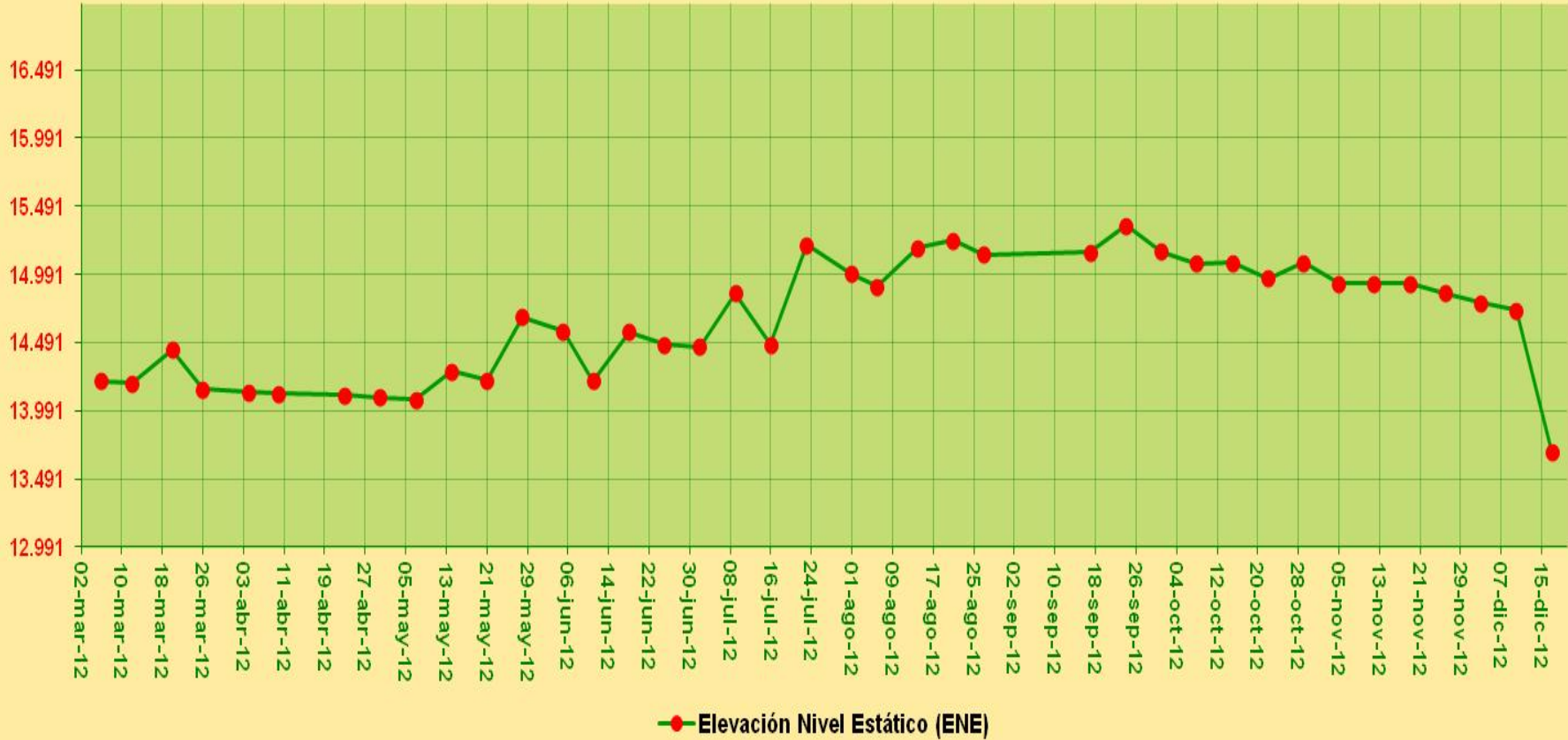


# Ascenso del nivel freático como respuesta a la infiltración directa de una tormenta.

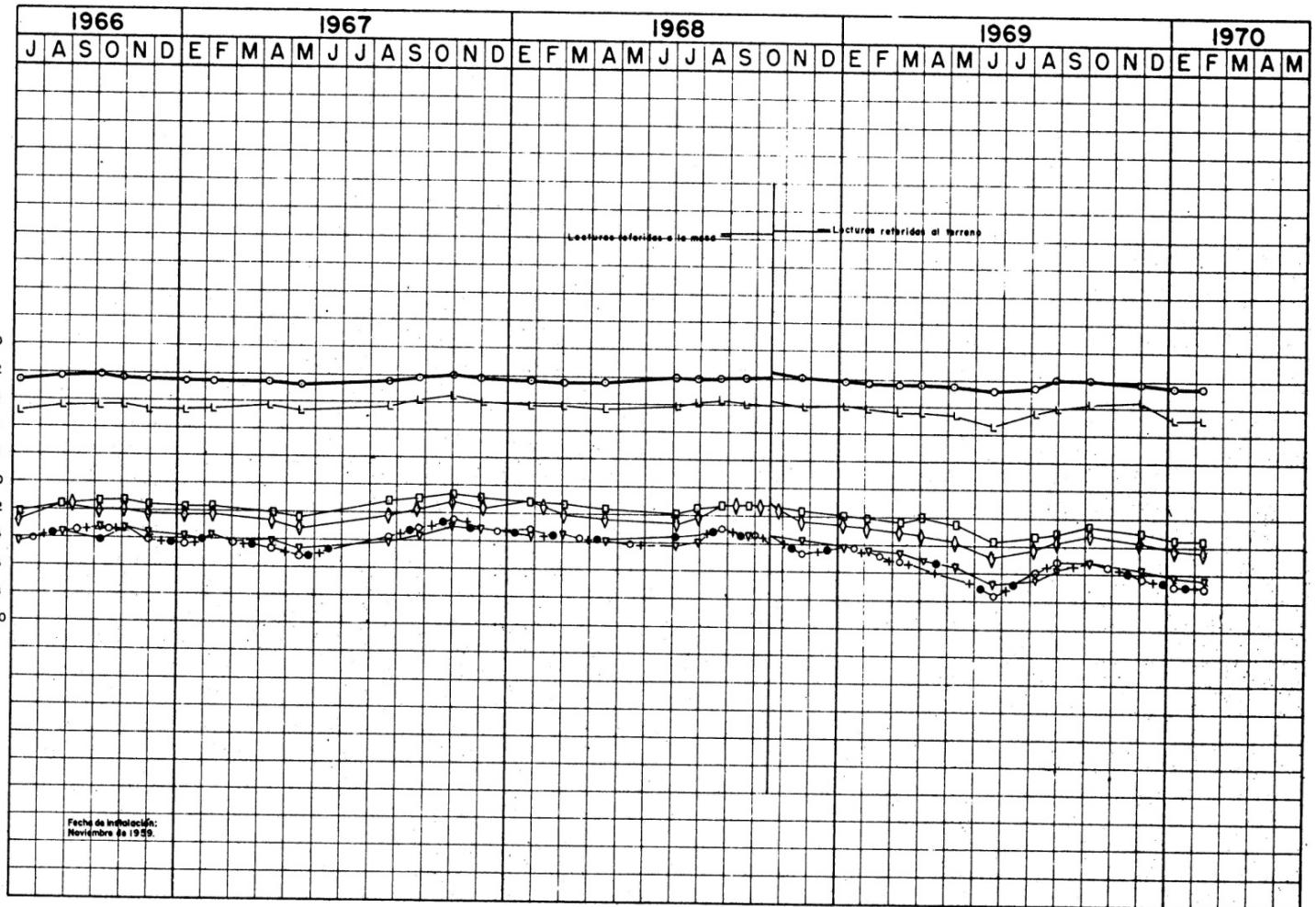
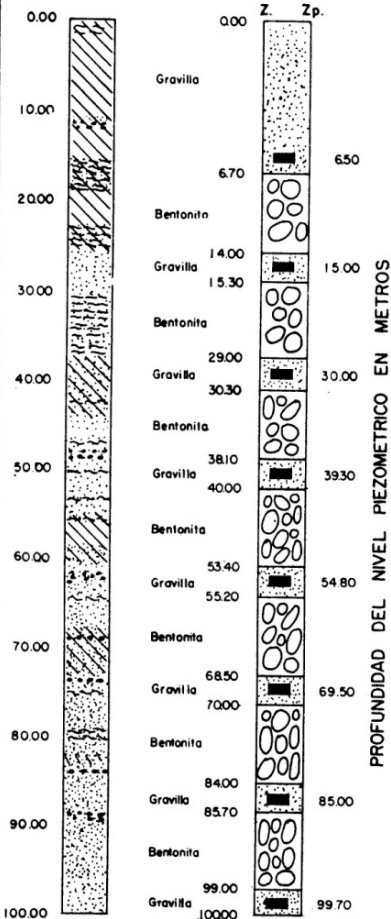


# PV-26





ENE



CORTE GEOLOGICO CROQUIS DE INSTALACION



SIGNOS

- 6.50 m. NIVEL FREATICO
  - ┌┐ 15.00 m.
  - 30.00 m.
  - ◇ 39.30 m.
  - ▽ 54.80 m.
  - 69.50 m.
  - + 85.00 m.
  - 99.70 m.
-  ARCILLA  
 ARENA  
 LIMO  
 GRAVA

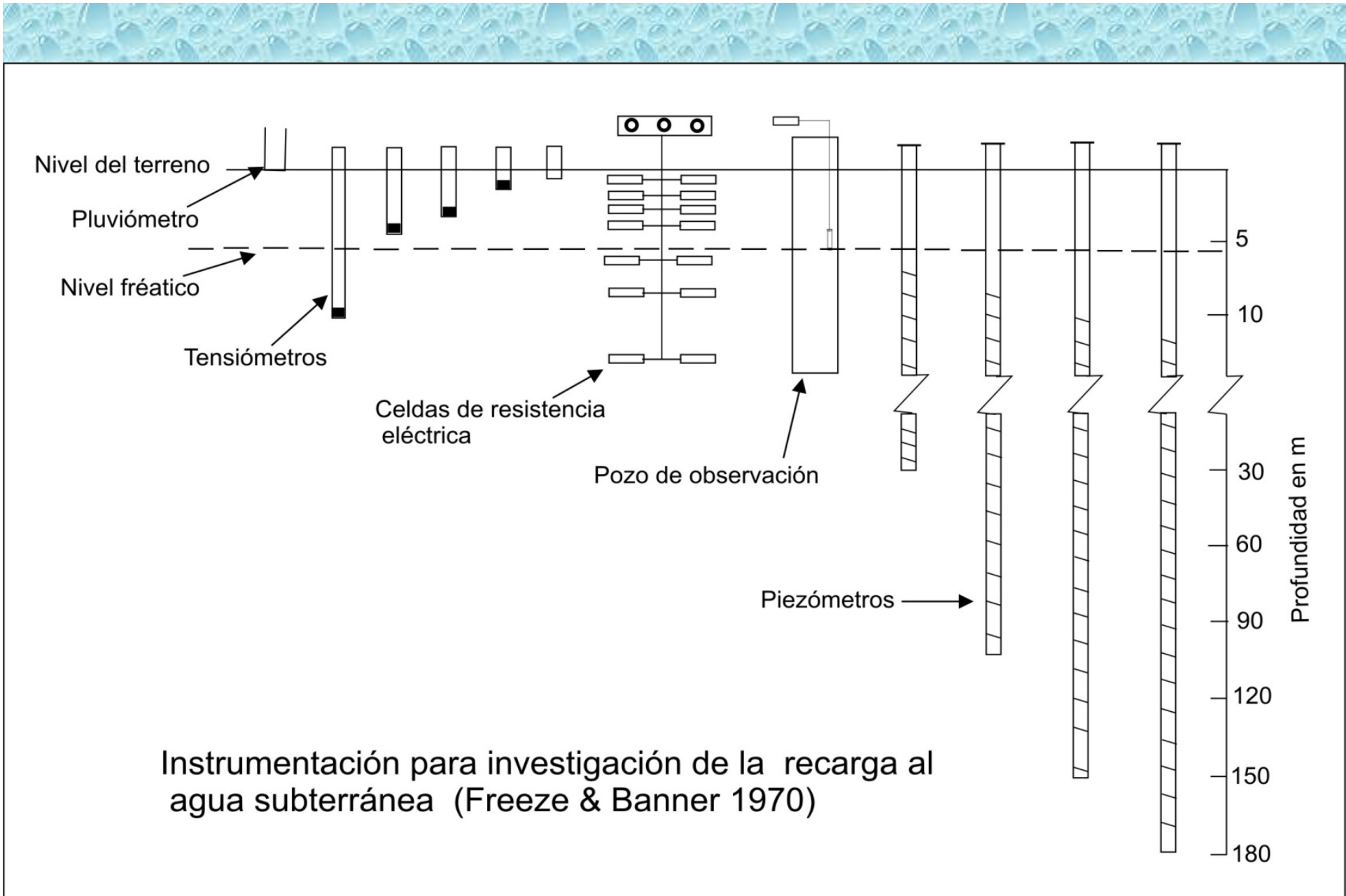
Altura de la mesa sobre el terreno: 0.28 m

CUAUTITLAN

EDO. DE MEXICO

SRH COMISION HIDROLOGICA DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO. OFICINA DE ESTUDIOS ESPECIALES

GRAFICA DE LA EVOLUCION PIEZOMETRICA EN LA ESTACION P-511





# CÁLCULO DE RECARGA EMPLEANDO BALANCE DE MASAS (CLORURO)

## ESTIMAR LA RECARGA A TRAVÉS DEL MÉTODO DE BALANCE DE MASAS DE CLORURO

Este método en agua subterránea, ha aportado resultados en el mundo (Allison y Hughes, 1978; Smith y Drever, 1976; Johnes, 1979; Kimball, 1981; Edmons et al., 1988; Stone, 1990);

El balance de masas de cloruro asume:

**La única fuente de cloruro es la lluvia**

**La intensidad de la lluvia permanece constante**

**La precipitación de cloruro también es constante**

**El flujo es en una dimensión (vertical)**

$$R = \left( \frac{Cl_p}{Cl_{sw}} \right) \times P$$

R, es la tasa de recarga; Cl<sub>p</sub> concentración de Cloruro en la lluvia; Cl<sub>sw</sub> contenido de Cloruro en el agua subterránea o en el suelo, P es la precipitación media anual, Cl<sub>p</sub> puede obtenerse de la literatura o puede medirse en el sitio.



ESTACION PLUVIOMÉTRICA	COORDENADAS		<b>P</b> (mm)	Volumen (litros)	<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>δ<sup>18</sup>O</b>	<b>δD</b>
	X	Y					
Corregidora	350557	2273140	228.4	9.0	1.054	-10.36	-74.95
Cimatario	358000	2270500	317.2	12.5	1.057	-10.61	-73.87
CONCyTEQ	355300	2277618	317.2	12.5	0.651	-11.02	-82.25
Juriquilla, UNICIT	348688	2286491	570.9	22.5	0.250	-11.88	-88.17
Chichimequillas	360889	2296417	342.6	13.5	2.508	-10.72	-76.85
UTEQ	353616	2284517	494.8	19.5	0.250	-12.15	-87.04
CQRN	373820	2268950	406.0	16.0	1.785	-9.74	-71.32
CEA (Querétaro)	352624	2277600	279.1	11.0	0.250	-10.32	-74.60

Tabla .-1. Cantidad de lluvia, Contenido de Cloruro y de Isótopos Estables en el agua de lluvia. En el Valle de Valle Chichimequillas, Qro.

## **Resultados:**

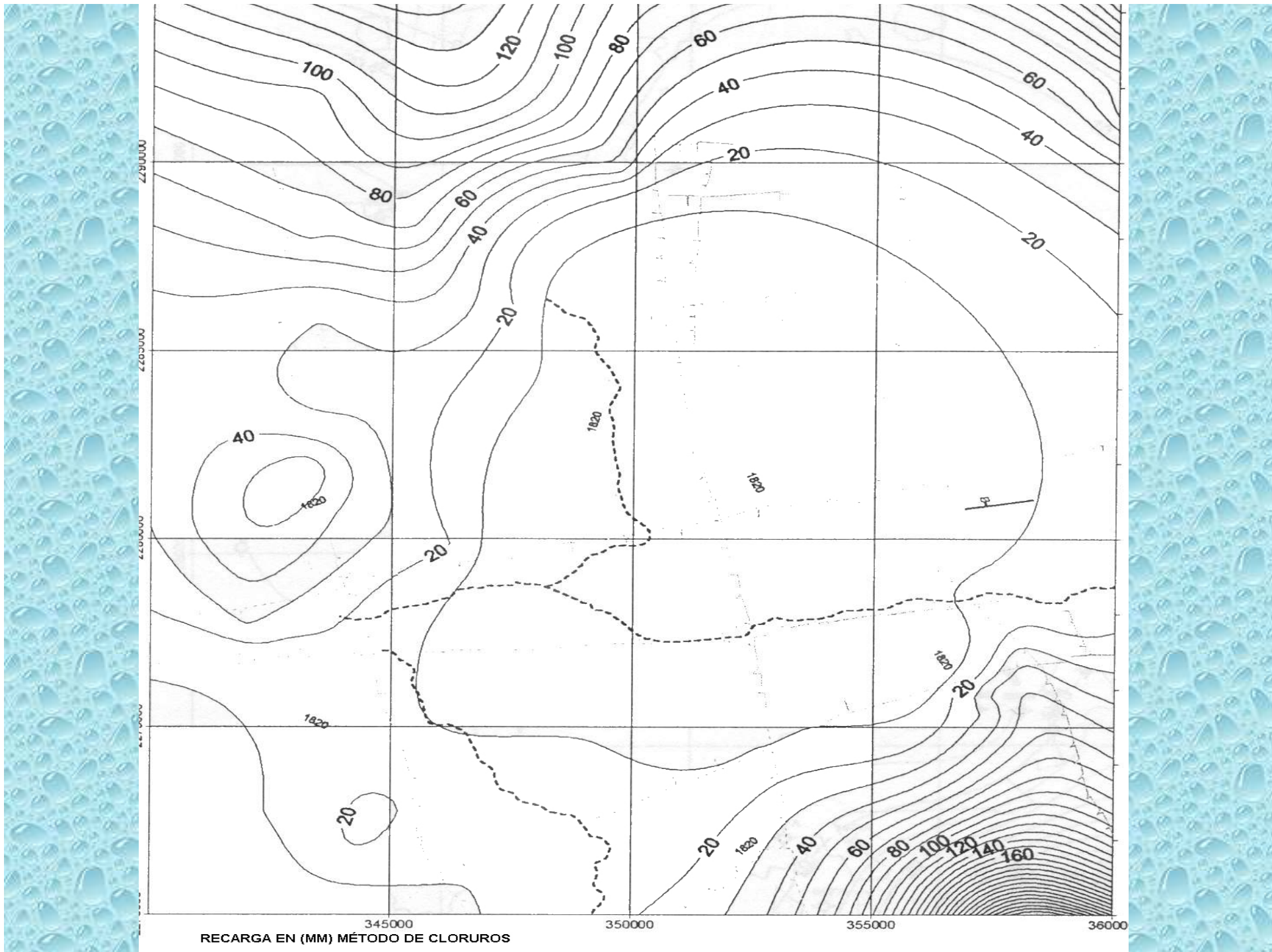
La Tabla 1, muestra la concentración de cloruros en el agua de lluvia captada en ocho estaciones pluviométricas. La precipitación media anual fue de **369.5 mm/año**

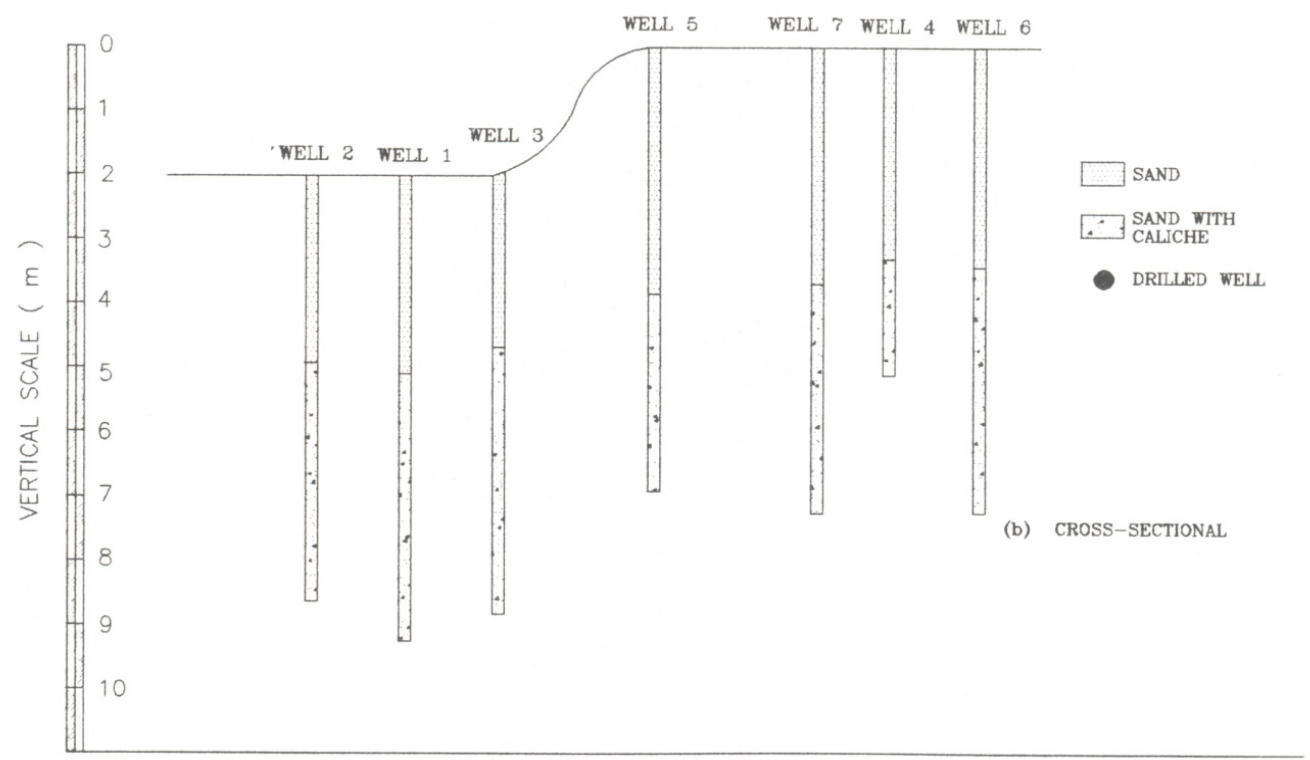
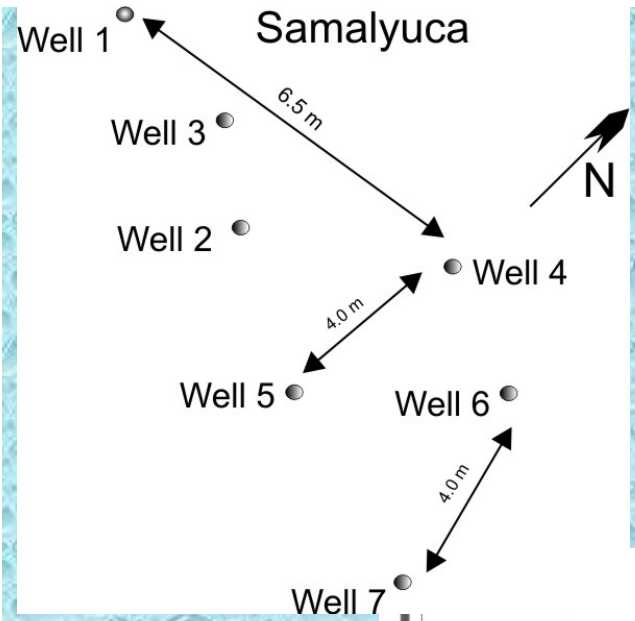
**El contenido promedio de cloruros en el agua de lluvia fue de 0.97 mg/L** En tres de las estaciones los valores son inferiores al límite de detección del método analítico (0.3 mg/L). El valor más **alto** considerado en el balance fue de **2.5 (mg/L)**, correspondiente a la estación Chichimequillas.

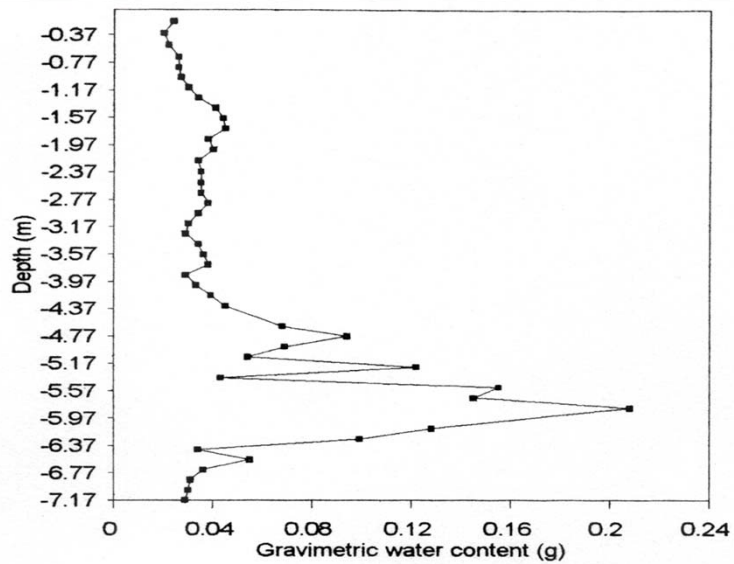
## **Valor de la recarga:**

El pozo con mayor influencia de agua pluvial es el **Navo-I con 101 mm/año**; así mismo, los pozos Mompani-I, San Miguelito, Norponiente-III y Chichimequillas-3, también presentan una recarga importante. **La recarga** media anual calculada por el método de balance de cloruros para esta zona varía **de 0.6 a 150 mm**. Los valores más altos se registran en las regiones montañosas de Chichimequillas, Santa Rosa Jauregui y Cerro del Cimatarío

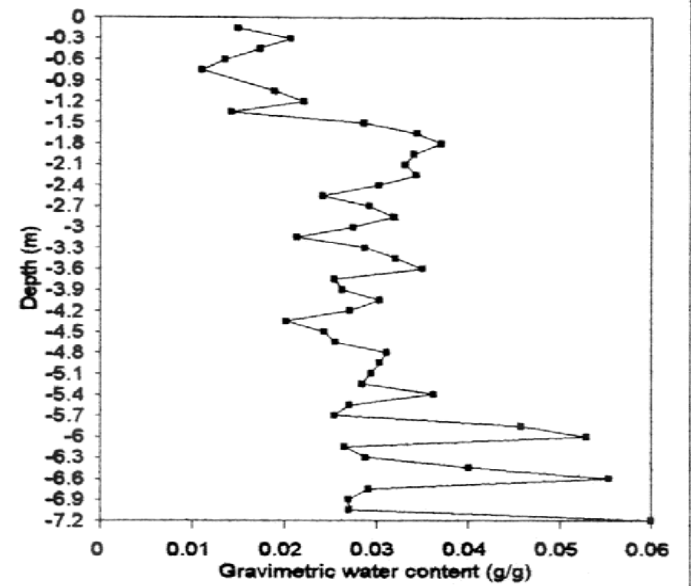




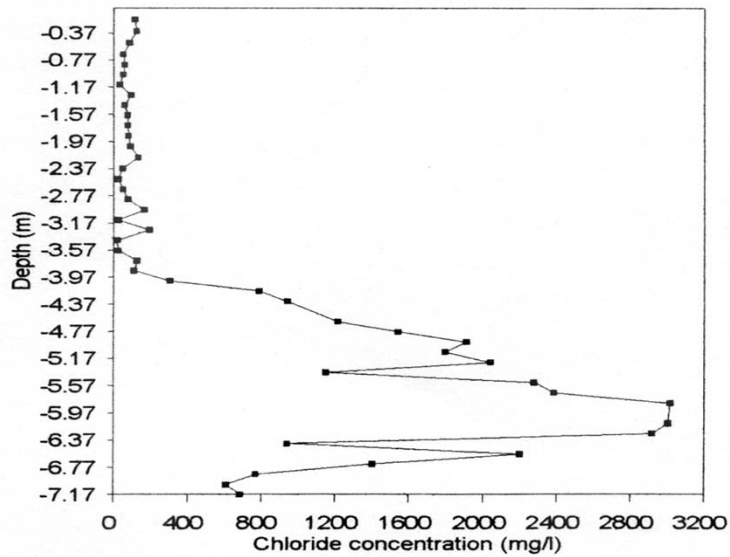




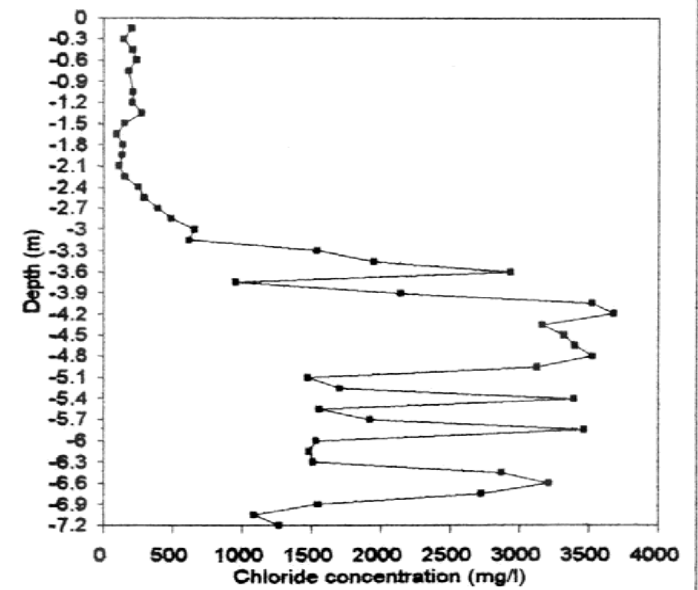
Well- 1



Well- 3



Gravimetric water content and chloride concentration



Gravimetric water content and chloride concentration



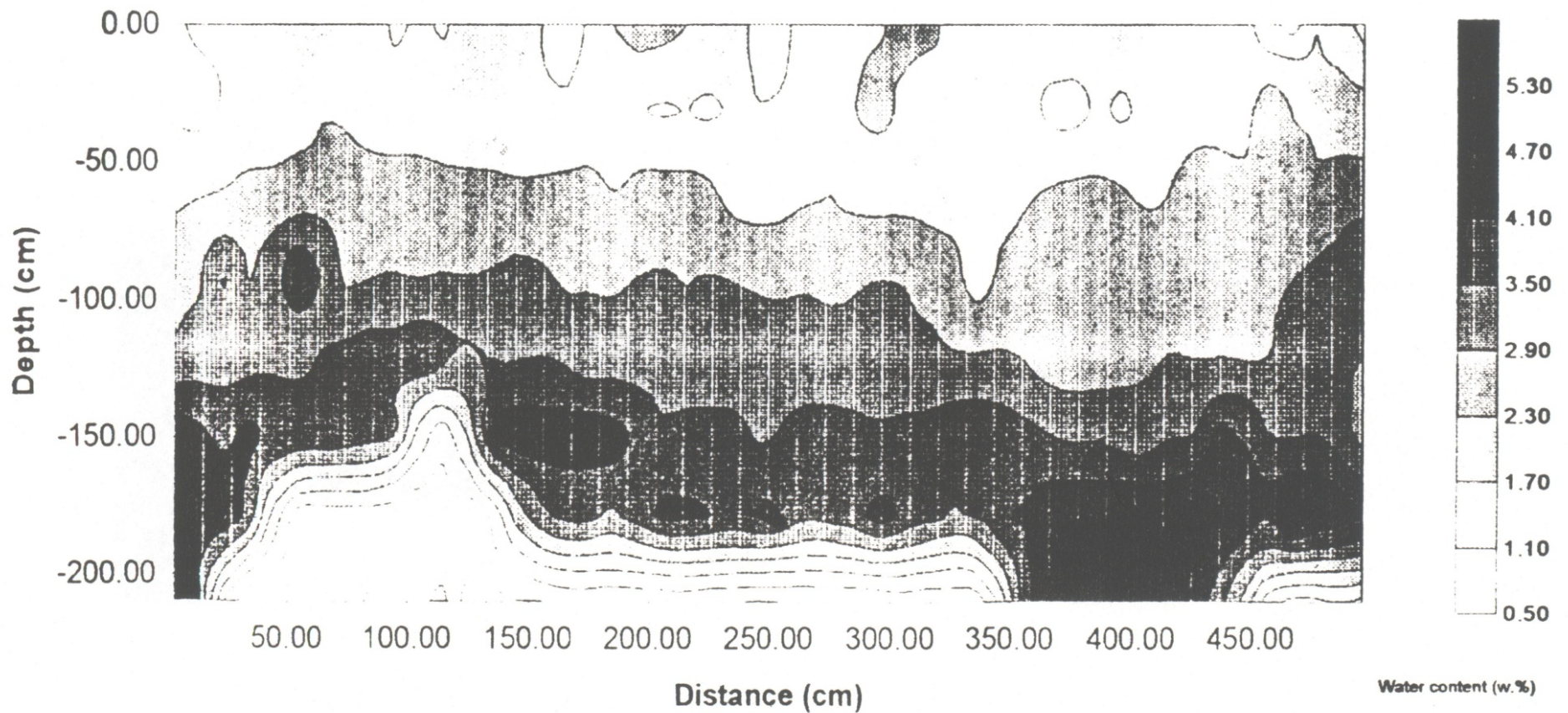


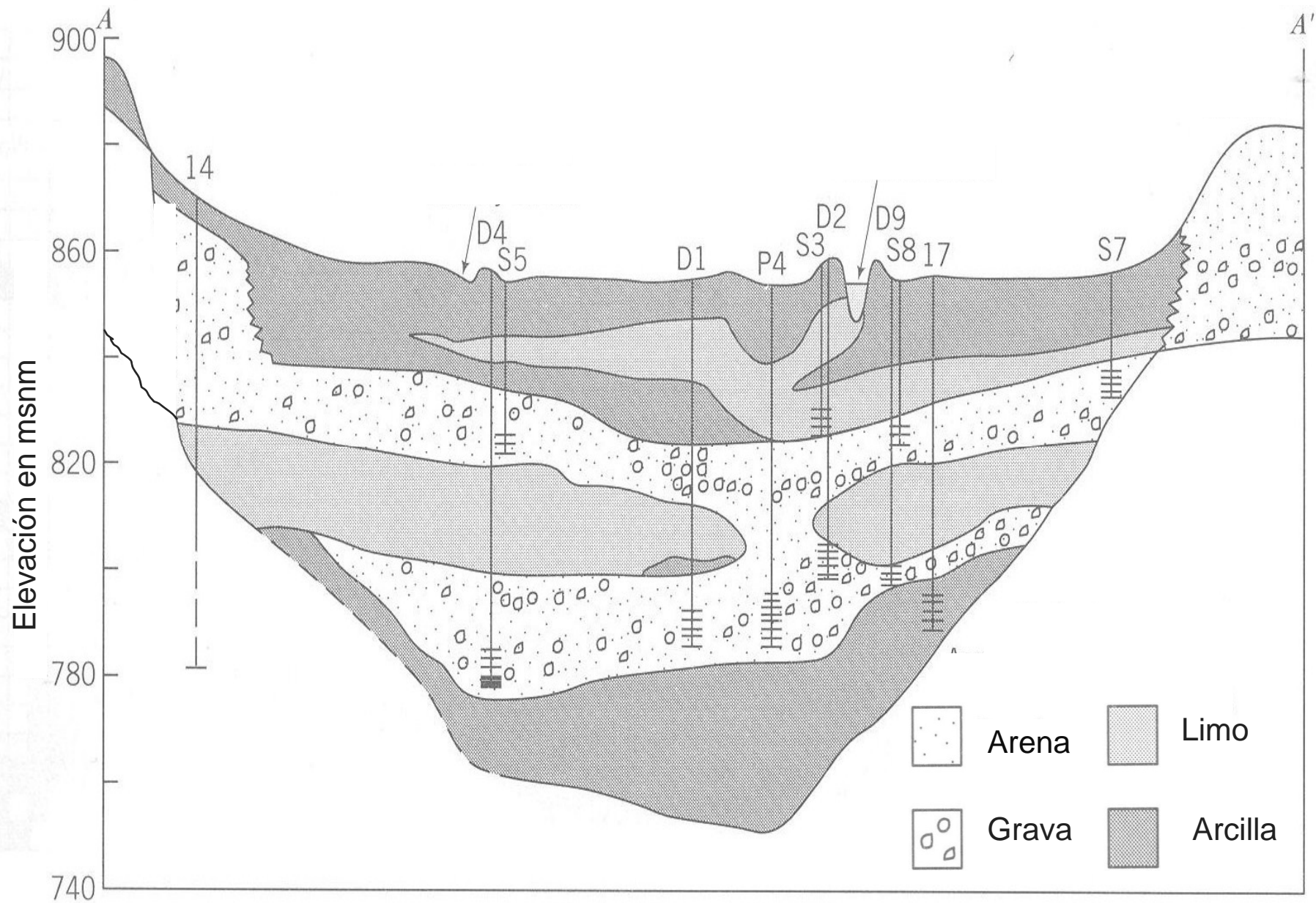
Fig. 6 Contour plot showing the spatial distribution of gravimetric water content in two dimensions of the second sampling.

The average recharge estimated for this site was 0.10mm/yr

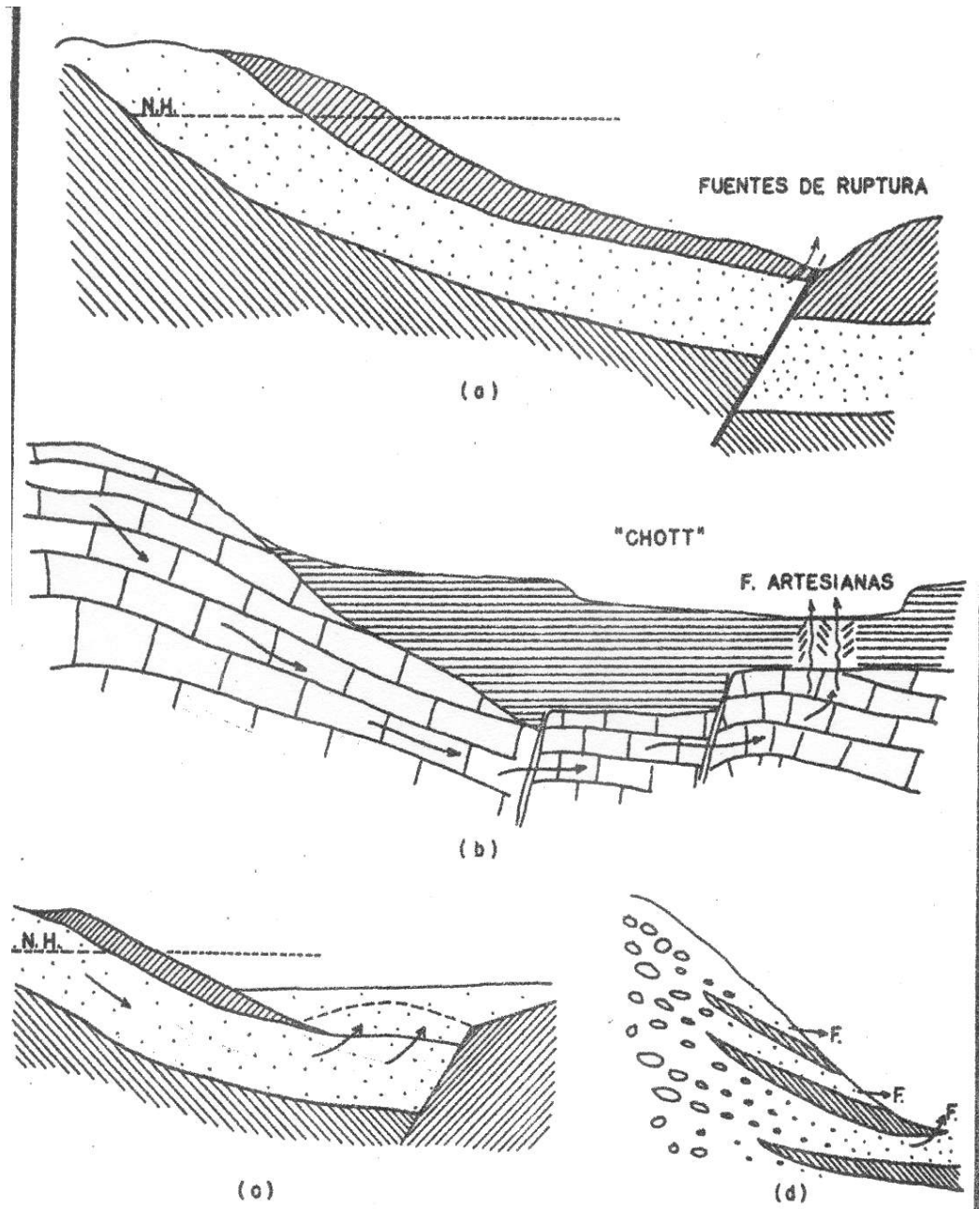
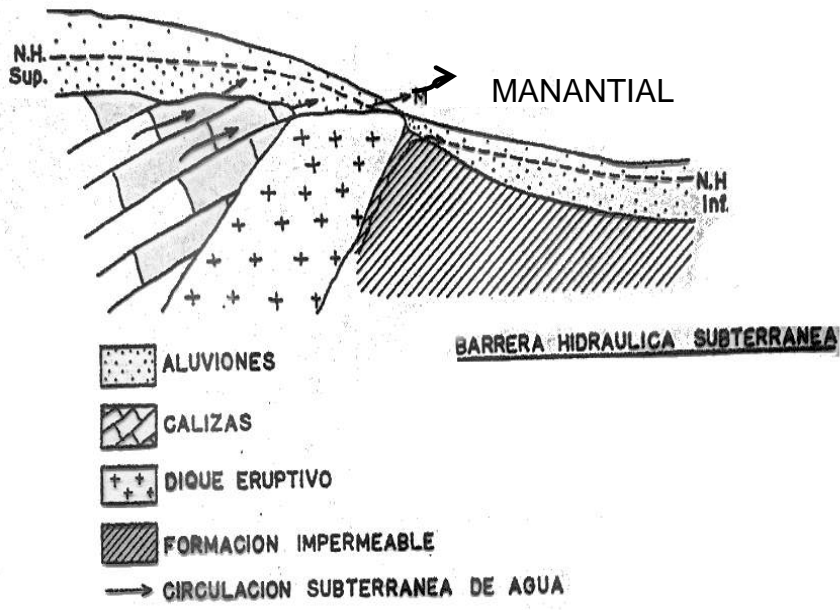


# RELACIÓN VALLE FLUVIAL ACUÍFERO - GEOLOGÍA

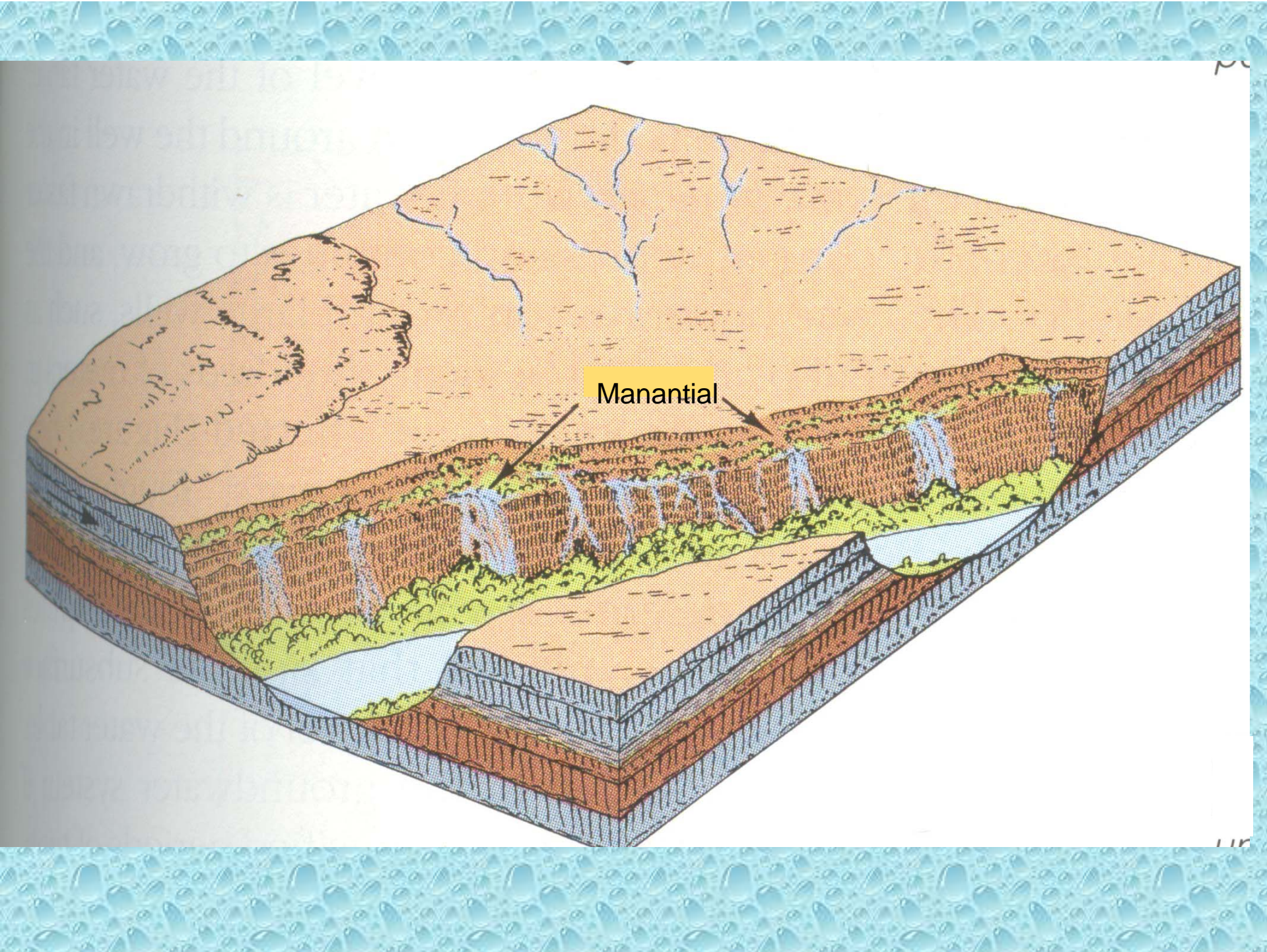




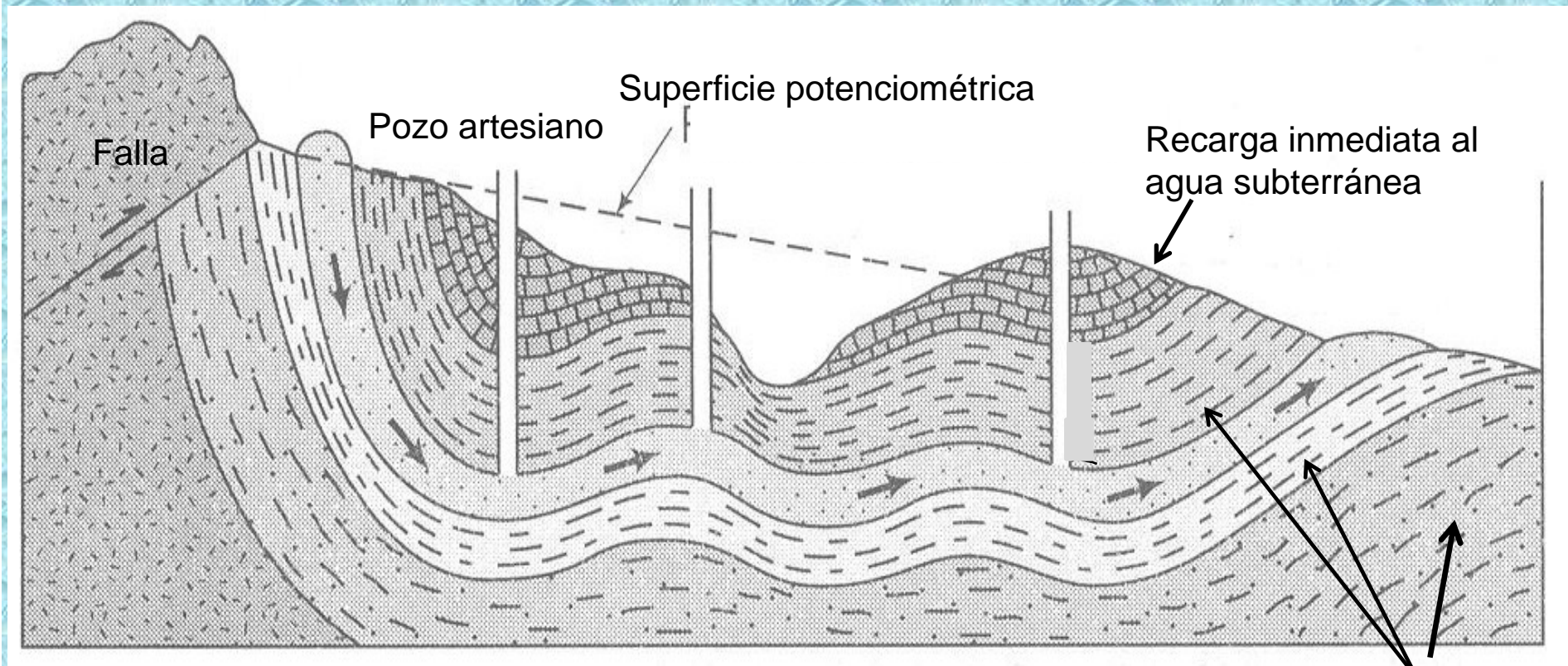
Recarga lateral predominante, pues la vertical es muy poca



TIPOS DE EXUTORIOS DE MANTOS CAUTIVOS



Manantial



Falla

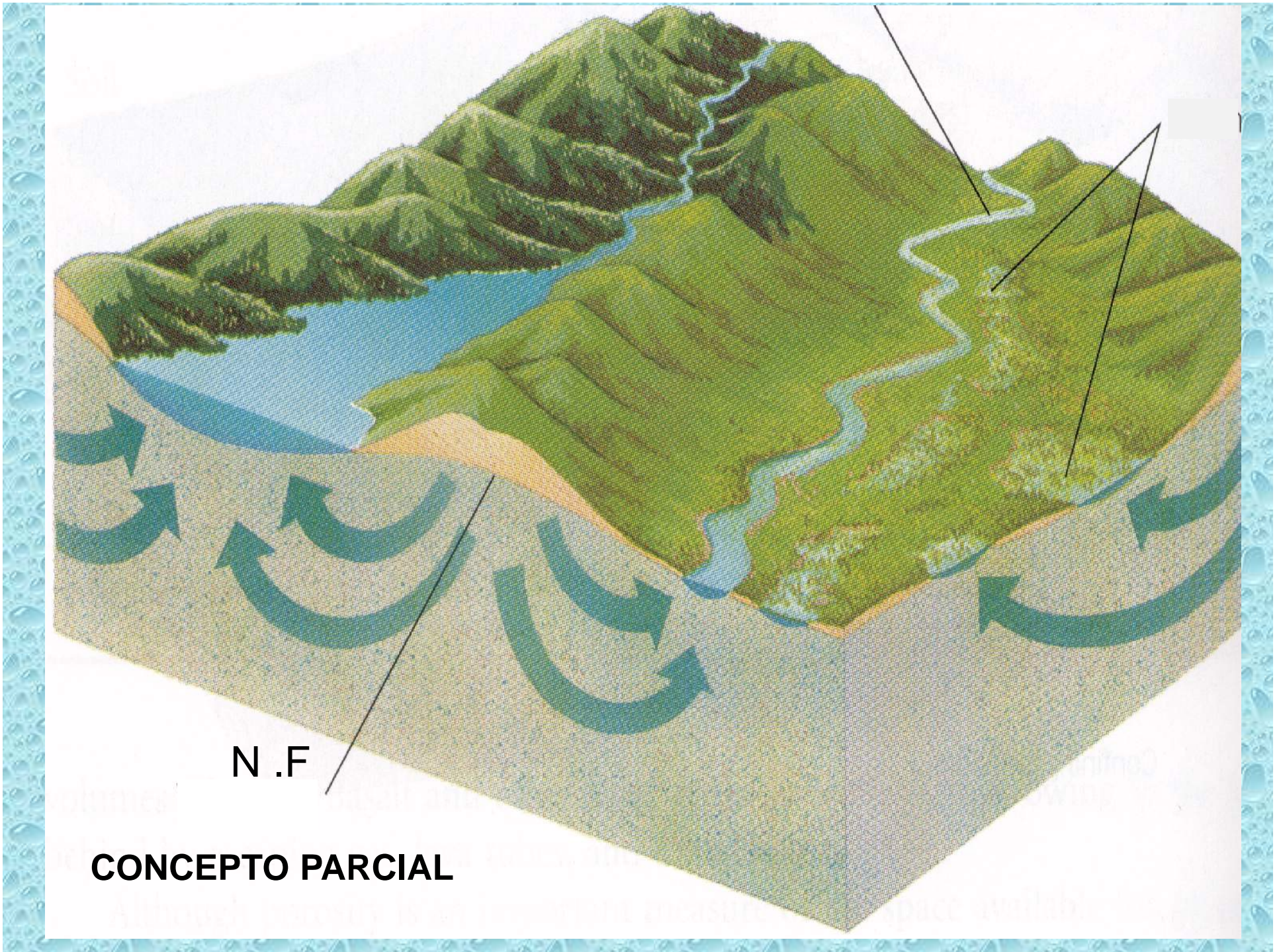
Pozo artesiano

Superficie potenciométrica

Recarga inmediata al agua subterránea

Rocas donde el flujo es muy lento

Factor que afecta la recarga

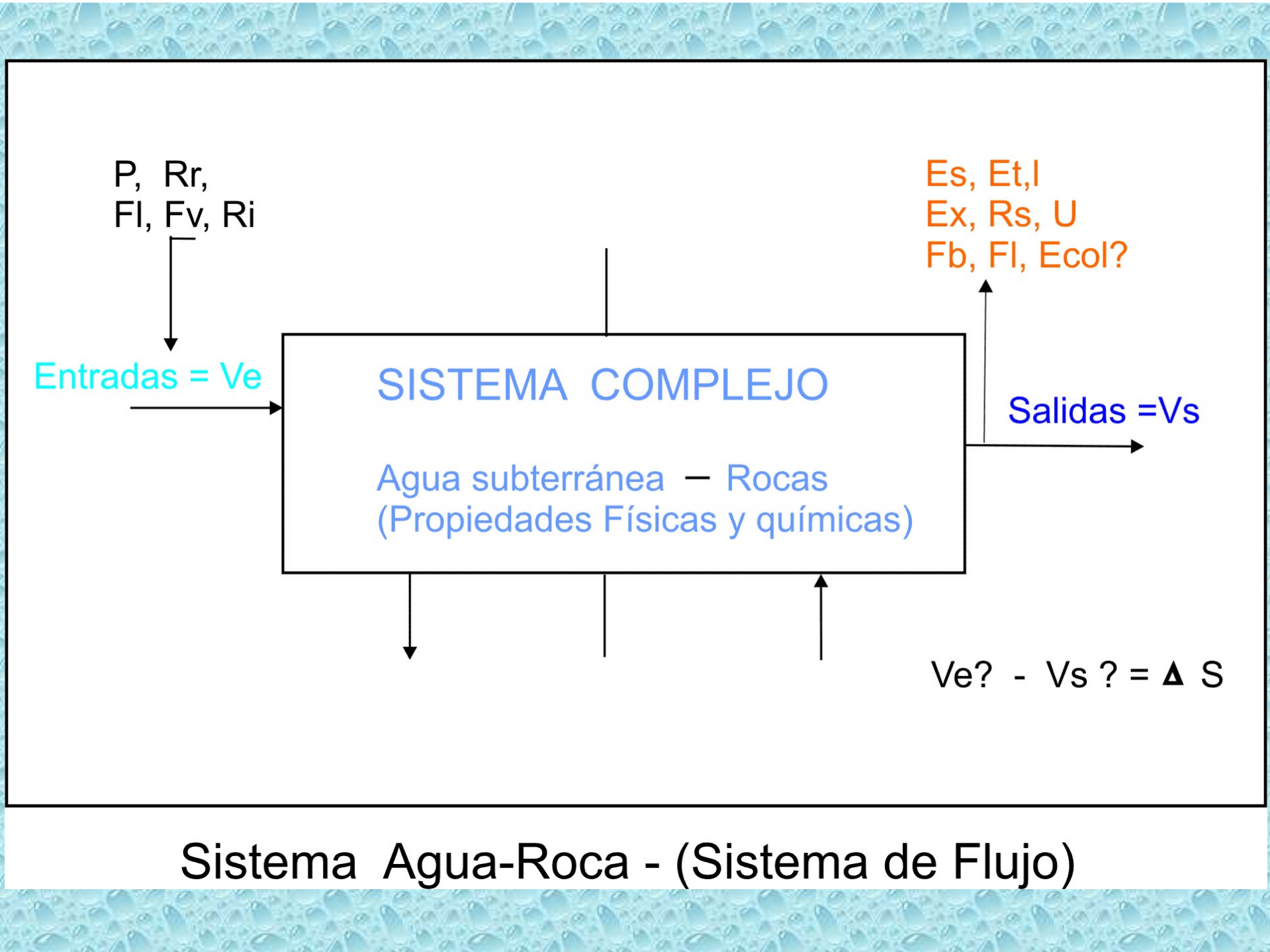


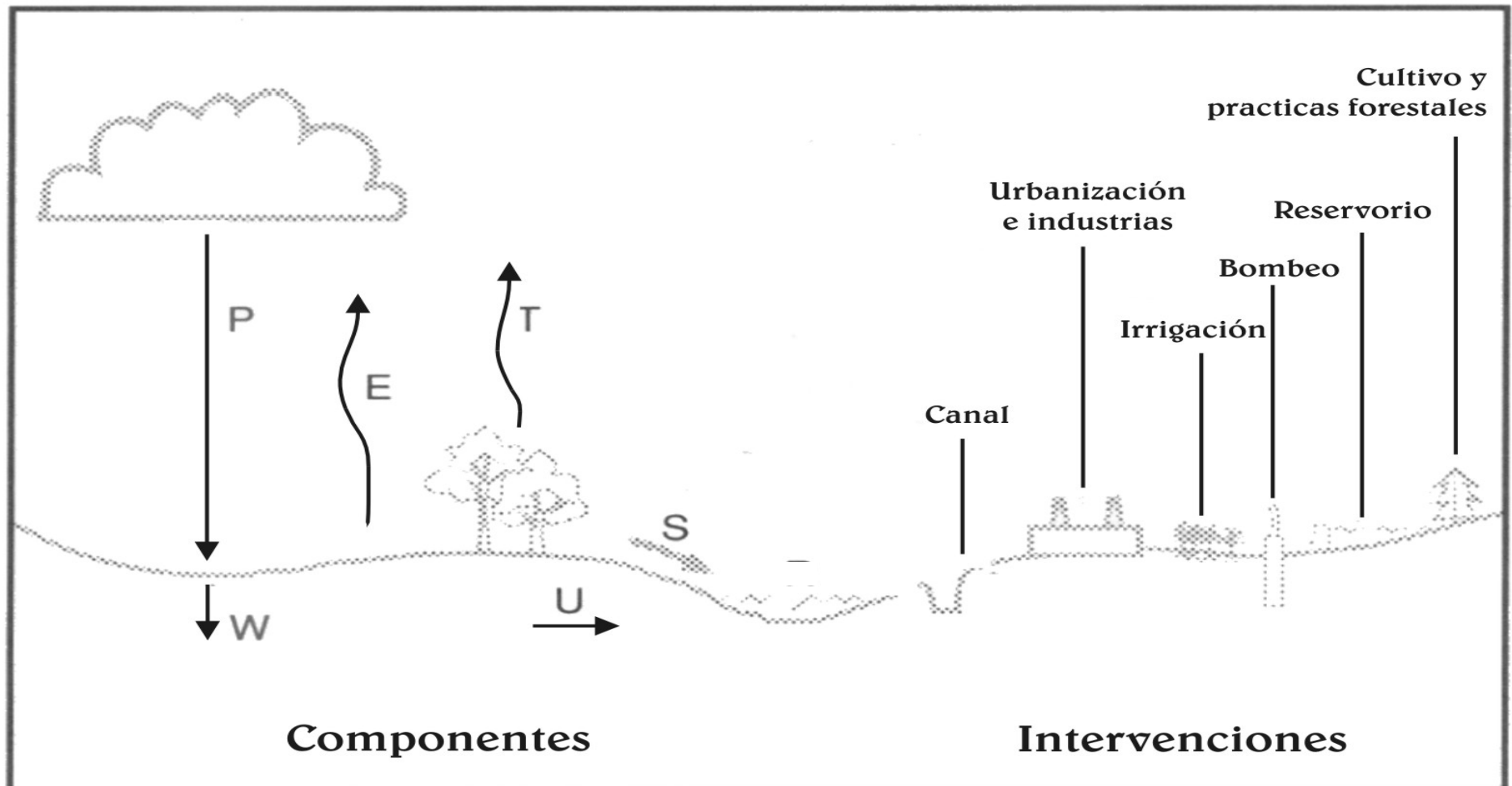
N.F

**CONCEPTO PARCIAL**



BALANCE HIDROLÓGICO ????





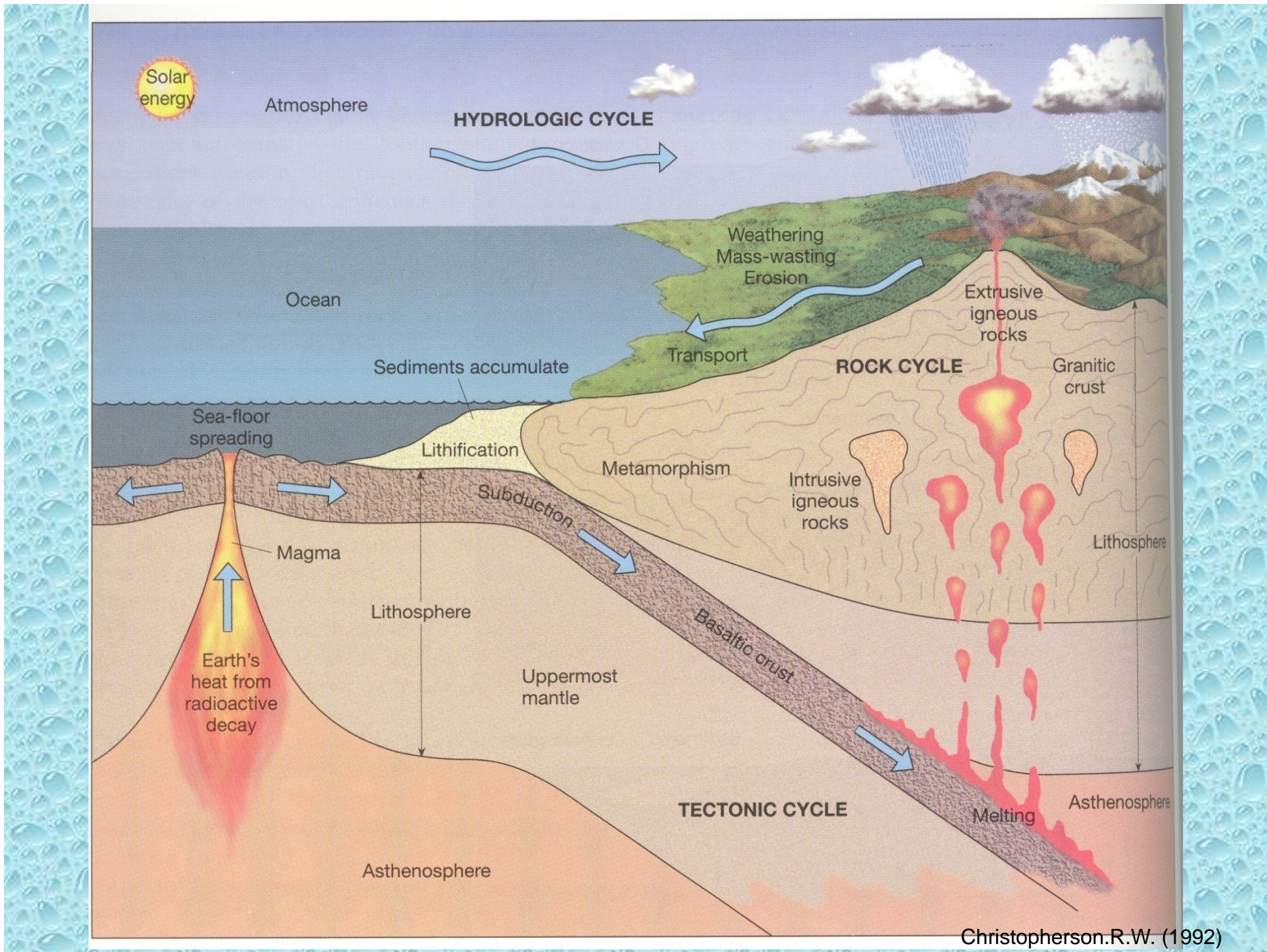
Componentes mayores e intervención humana en el ciclo hidrológico. Los seis componentes del balance del agua son mostrados a la izquierda, la evapotranspiración es dividida entre evaporación (E) y transpiración (T). Las intervenciones abarca tanto actividades directas como indirectas y son mostradas a la derecha. P = Precipitación, U = Esguerrimiento subterráneo a los ríos, o desagüe, S = Esguerrimiento superficial, W = humedad de la tierra.





# SISTEMAS DE FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA

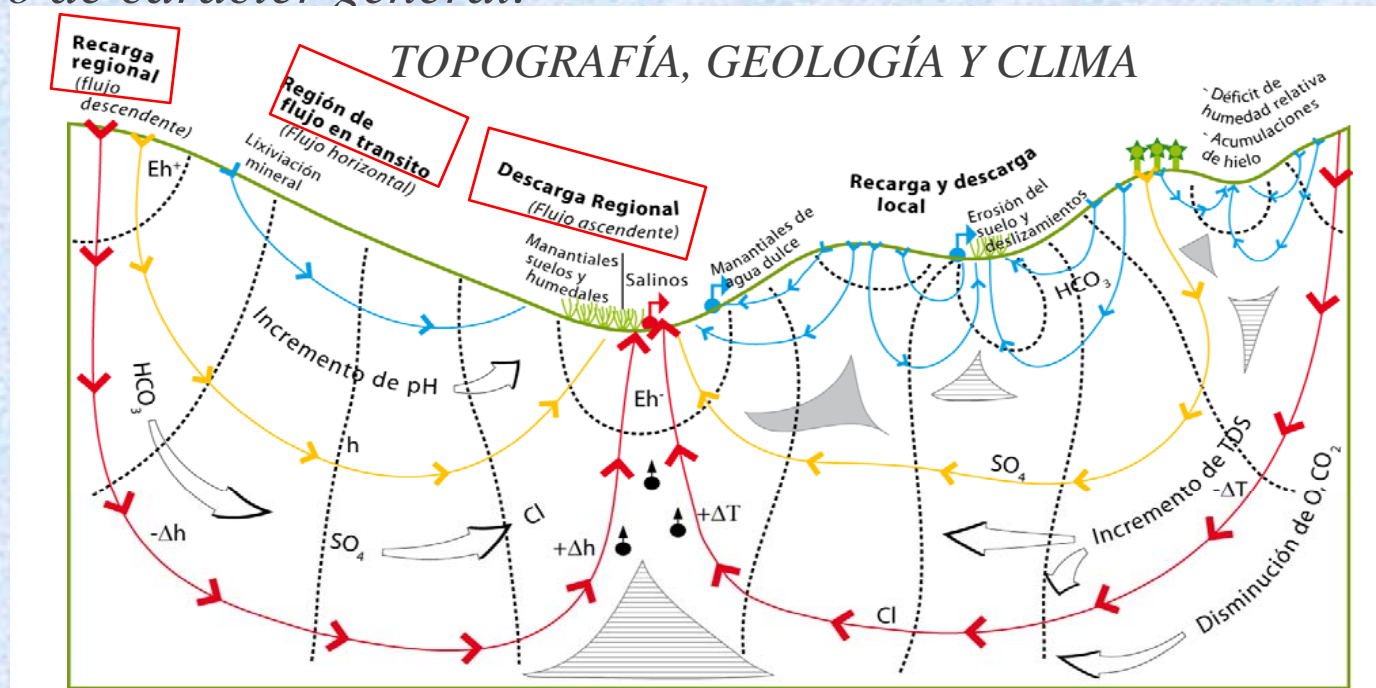
Tóth. J. 1995



## SISTEMAS DE FLUJO

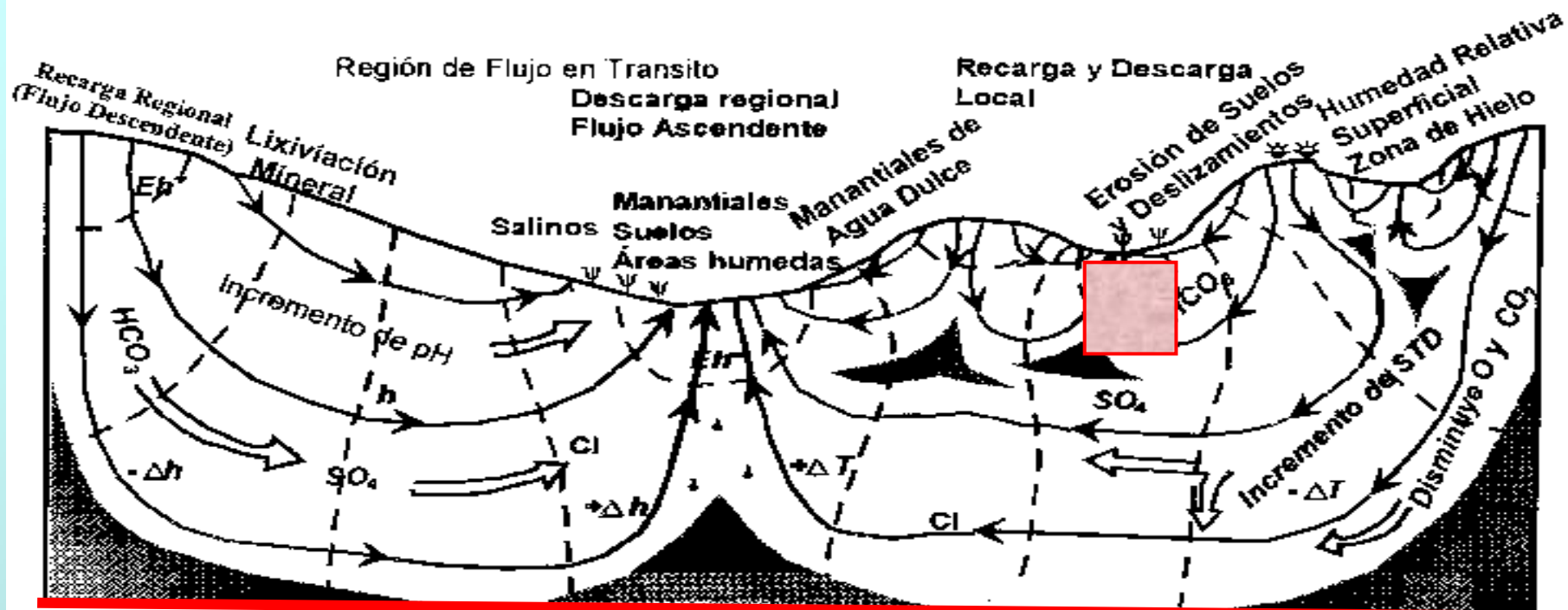
Agua subterránea es la causa de una gran variedad de procesos y fenómenos naturales y por lo tanto es un agente geológico de carácter general.

Permite visualizar las zonas de recarga y descarga de agua subterránea a partir de diferentes indicadores en superficie



Cambios menores en el volumen del agua subterránea no sólo impacta gravemente al agua superficial sino a diversos componentes del ambiente y viceversa

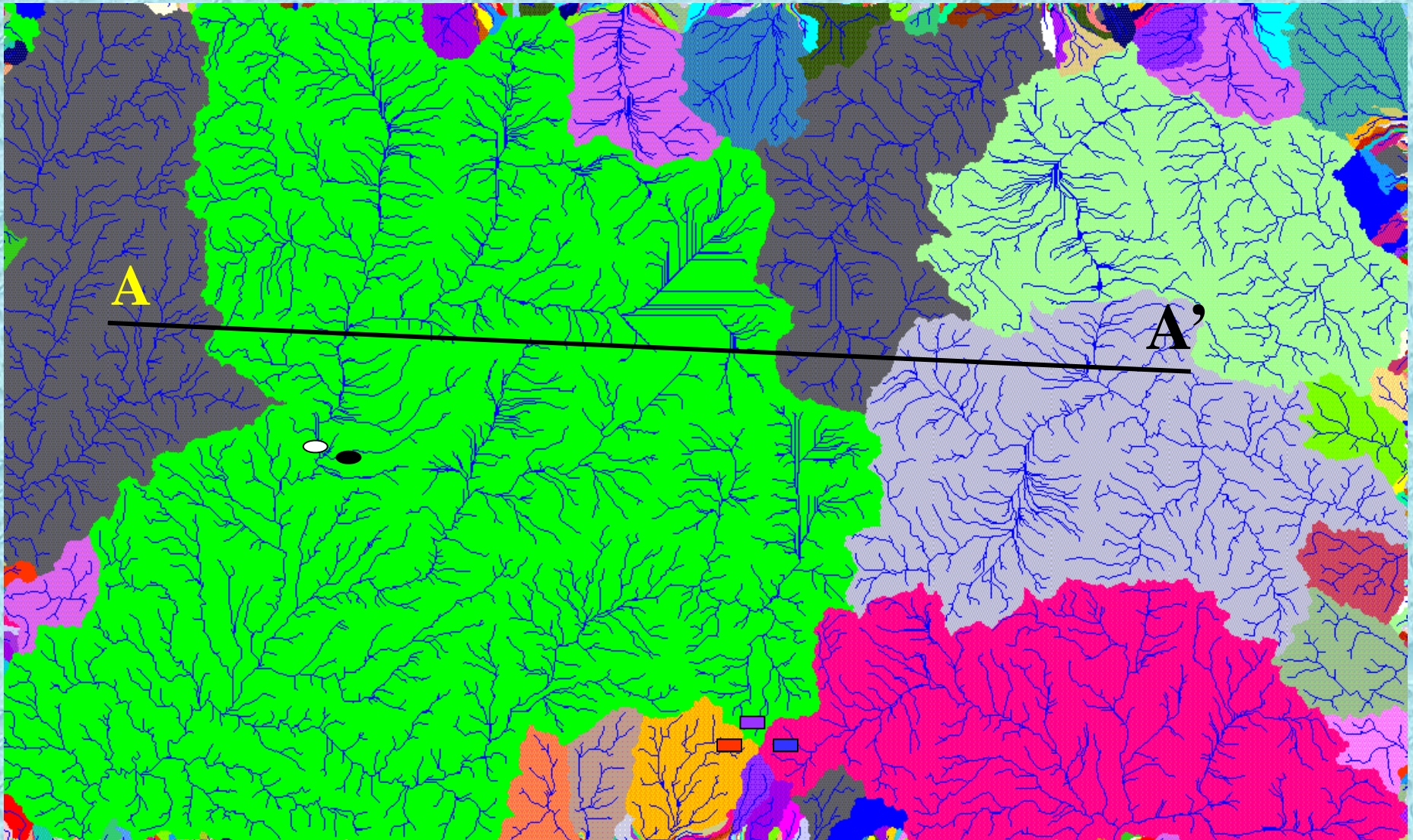
# Teoría de los Sistemas de Flujo (Tóth, 1963, 1995)



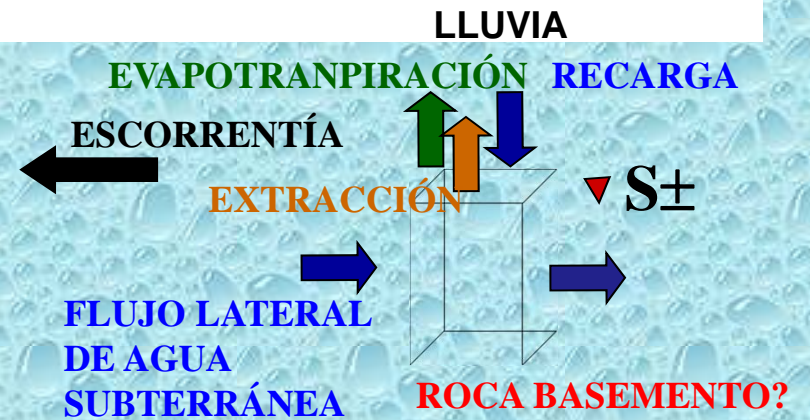
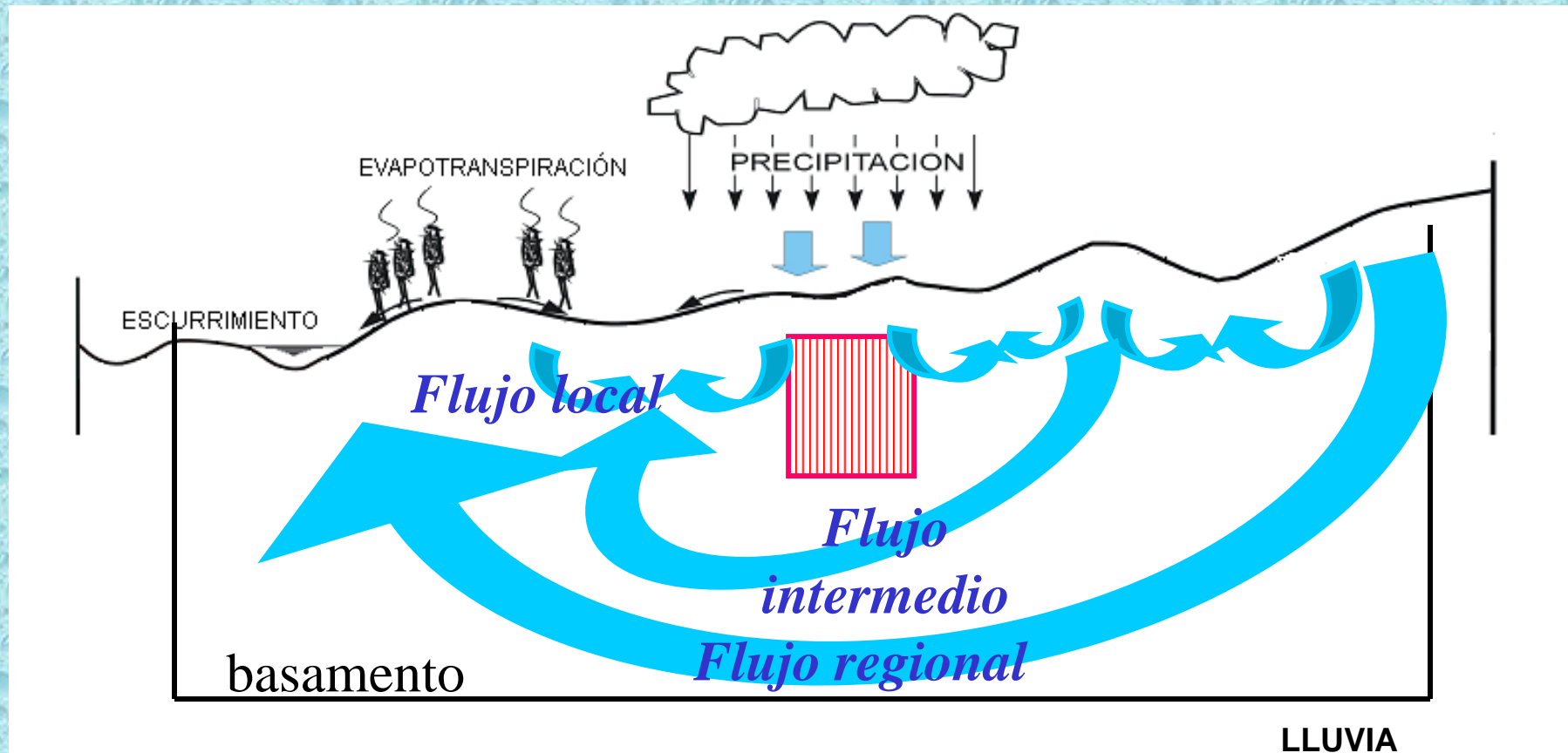
## EXPLICACION

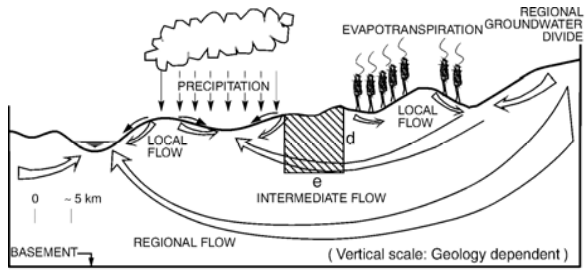
- |  |                                            |  |                                                                           |  |                                                                               |
|--|--------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------|
|  | Línea de Igual Carga Hidráulica            |  | Línea de Flujo                                                            |  | Cargas Hidráulicas<br>Subhidrostáticas<br>Hidrostáticas<br>Superhidrostáticas |
|  | Manantial: Frio, Caliente                  |  | Freatofitas<br>Xerofitas                                                  |  | Trampa Hidráulica: Convergencia y Acumulación de Materia Transportada y Calor |
|  | Condiciones Redox:<br>Oxidante<br>Reductor |  | Acumulaciones de Minerales Trazas (Metálicos, Evaporitas e Hidrocarburos) |  | Zona Cuasi-estancada con incremento de STD                                    |
|  |                                            |  |                                                                           |  | Temperaturas Geotérmicas y Gradientes Anormales                               |

# Funcionamiento del flujo subterráneo



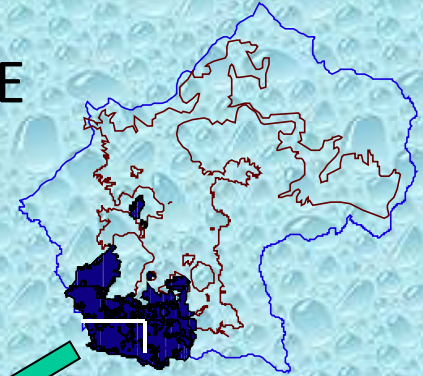
# Funcionamiento del flujo subterráneo



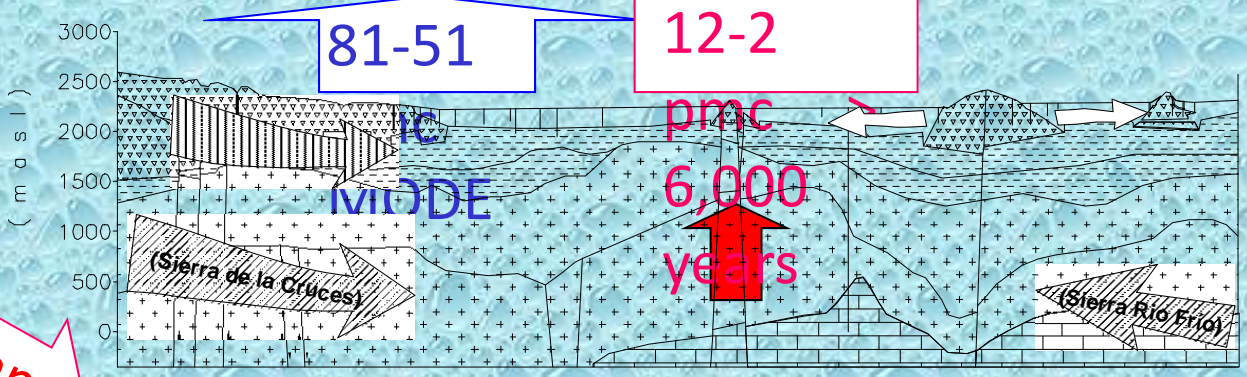


# DINÁMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA CIUDAD DE MÉXICO

## CUENCA DE MEXICO



18 °C Cl, 5 mg/l      44 °C Cl, 650 mg/L



### EXPLANATION FLOW SYSTEM

- Local Flow
- Intermediate Flow
- Regional Flow

Horizontal scale:  
0 2.5 5 km

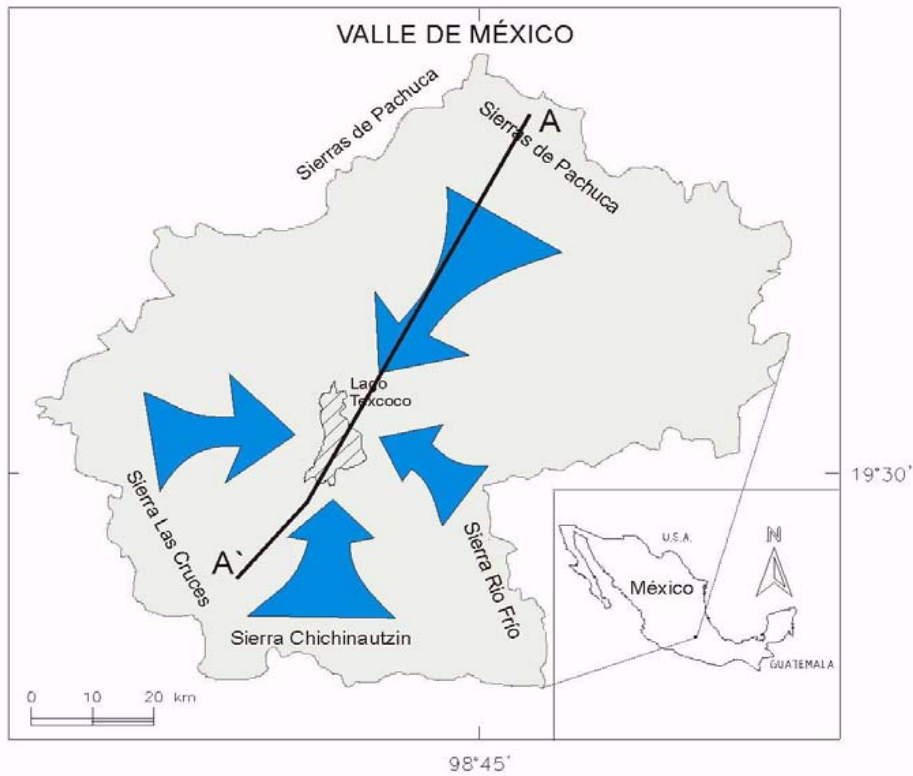
LITHOLOGY (SEE TEXT)

Basam  
ento ?

5, | CUATERNARIO /RECIENTE  
VOCANICO, ALUVIAL, LACUSTRE  
4, PLIOCENO / CUATERNARIO  
BASALTOS ANDESITAS 3,  
PLIOCENE INFERIOR LACUSTRE Y  
PIROCALSTOS

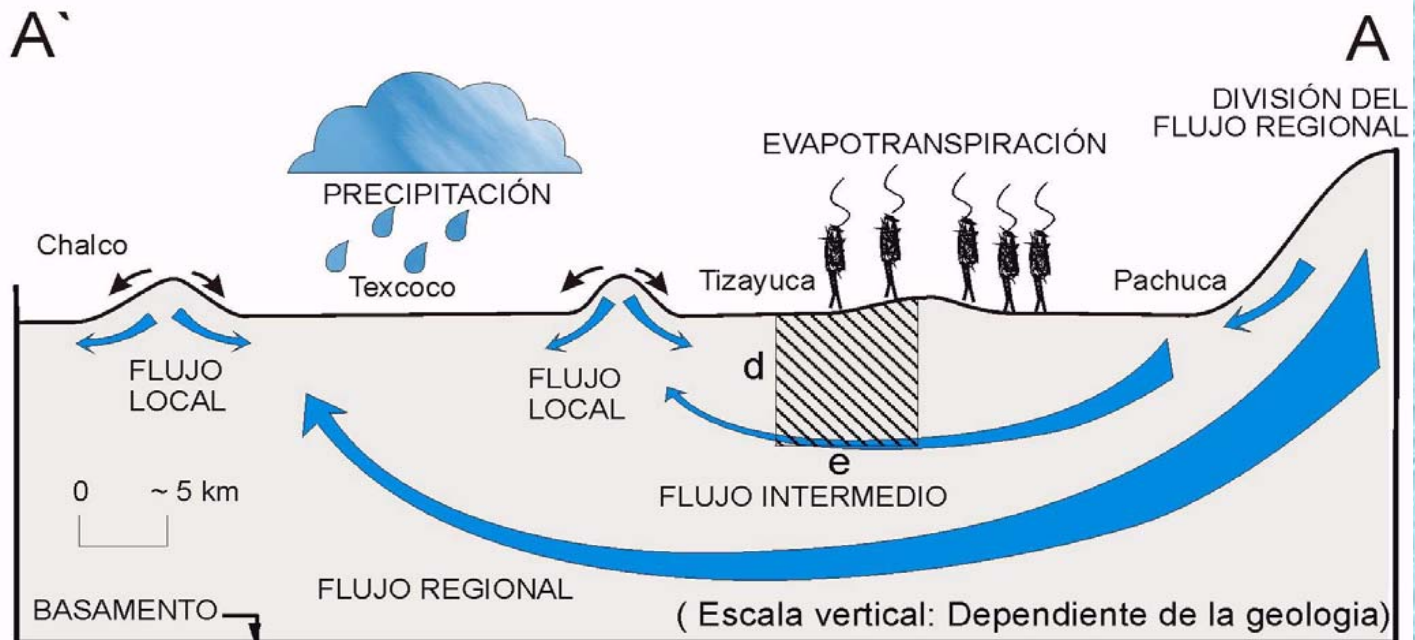
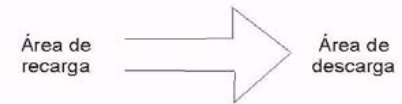
2, TERCARIO MEDIO  
VOLCANICO 1, CRETÁCICO

Edmunds, et al. 2002

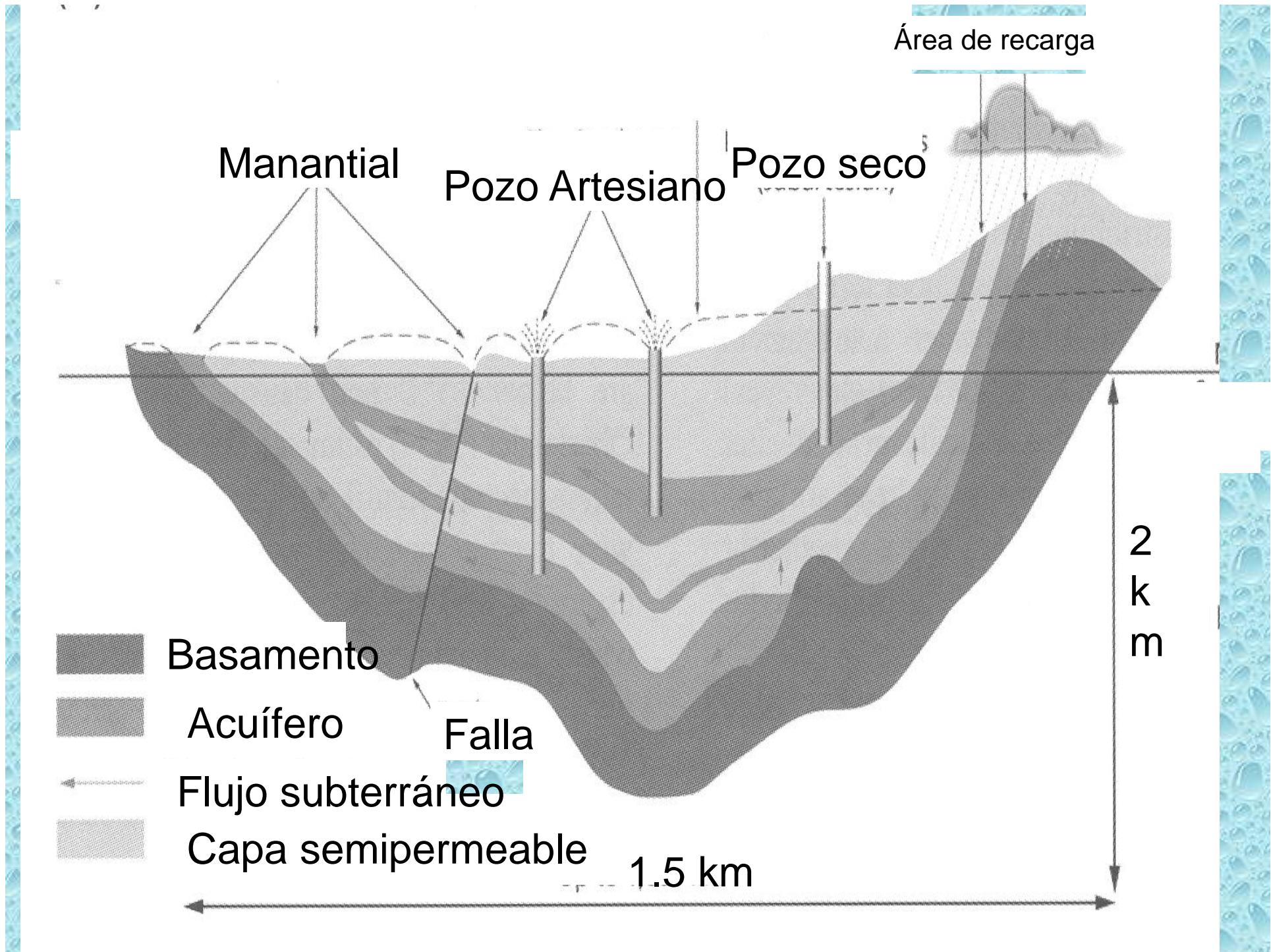


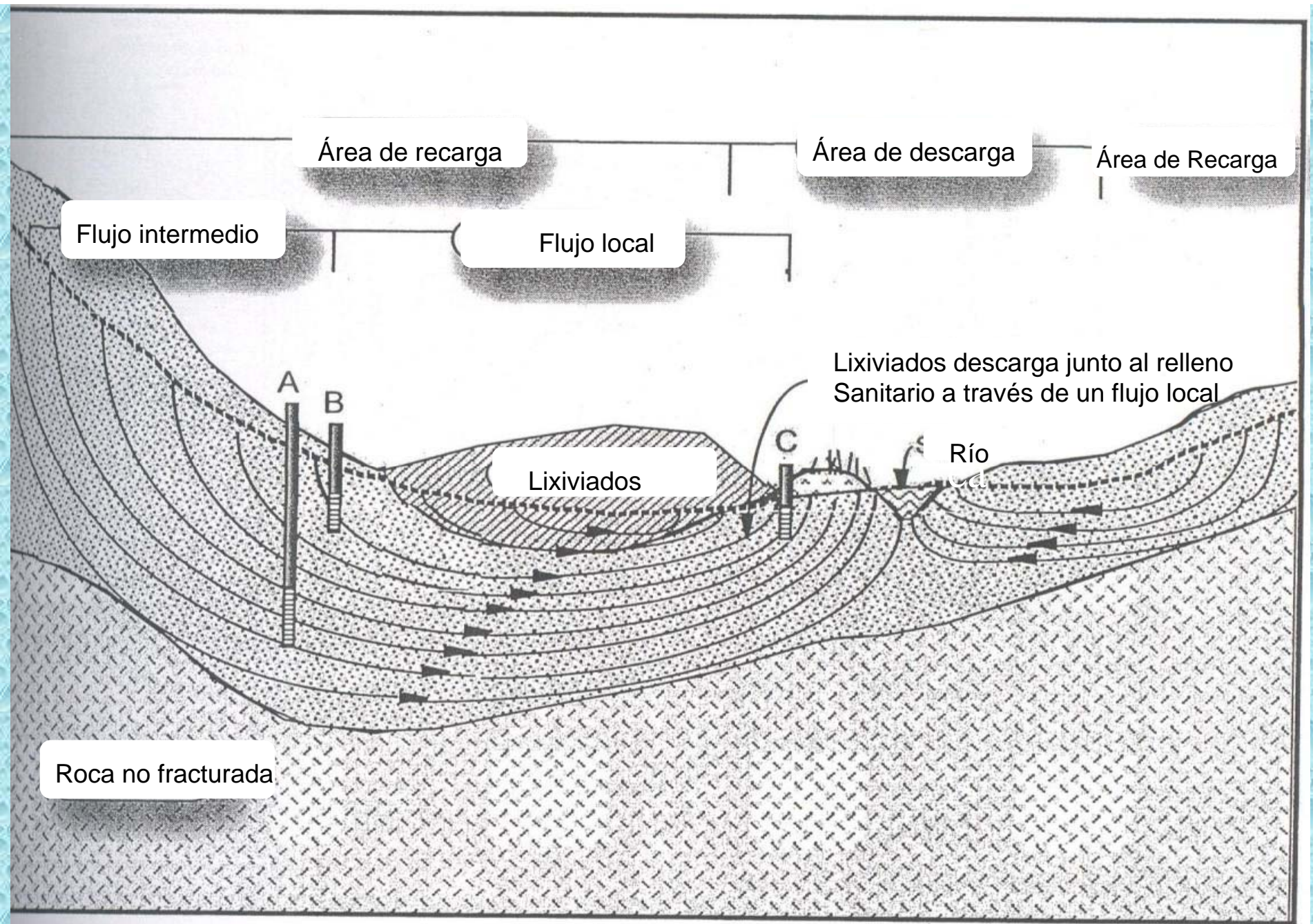
MAPA DE FLUJO REGIONAL EN DIRECCIÓN AL ÁREA DE DESCARGA "TEXCOCO"

EXPLICACIÓN

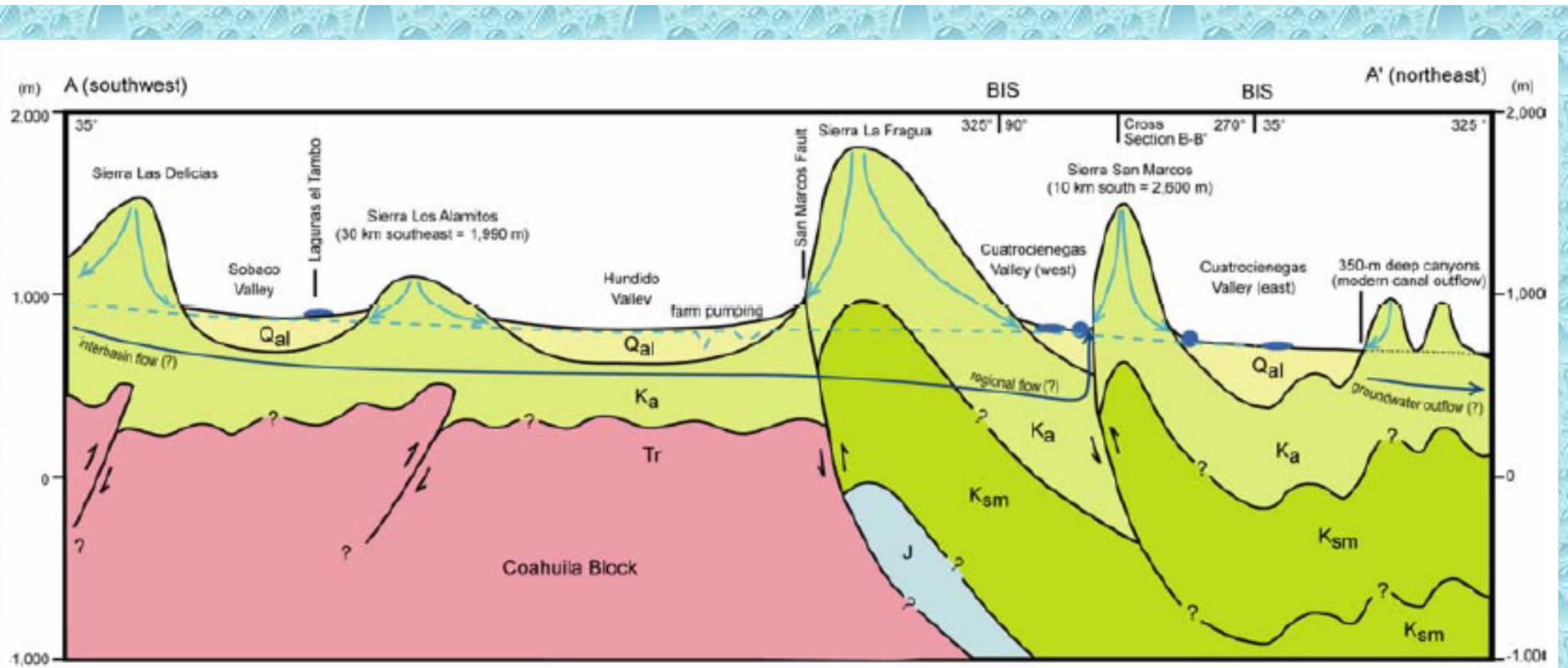




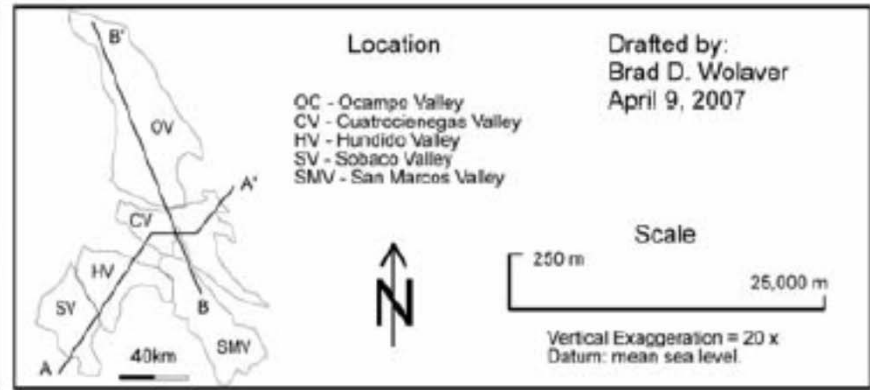




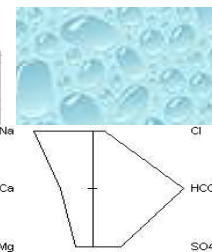
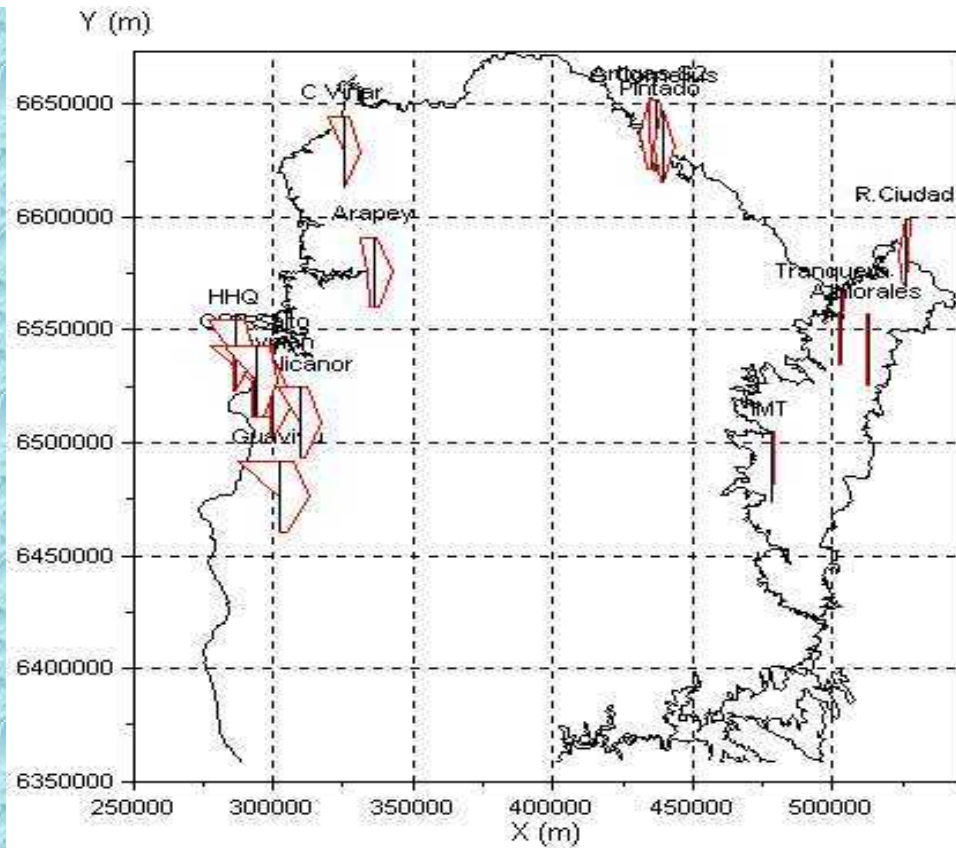
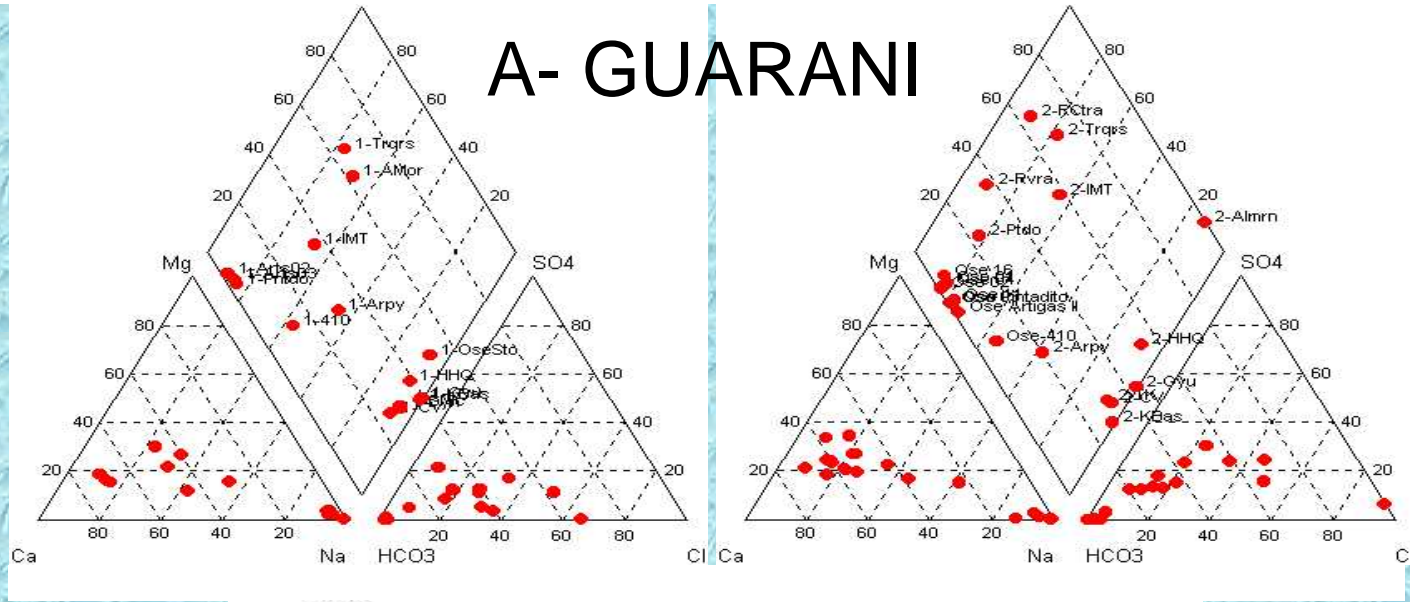
Descarga de agua subterránea de sistemas local e intermedio

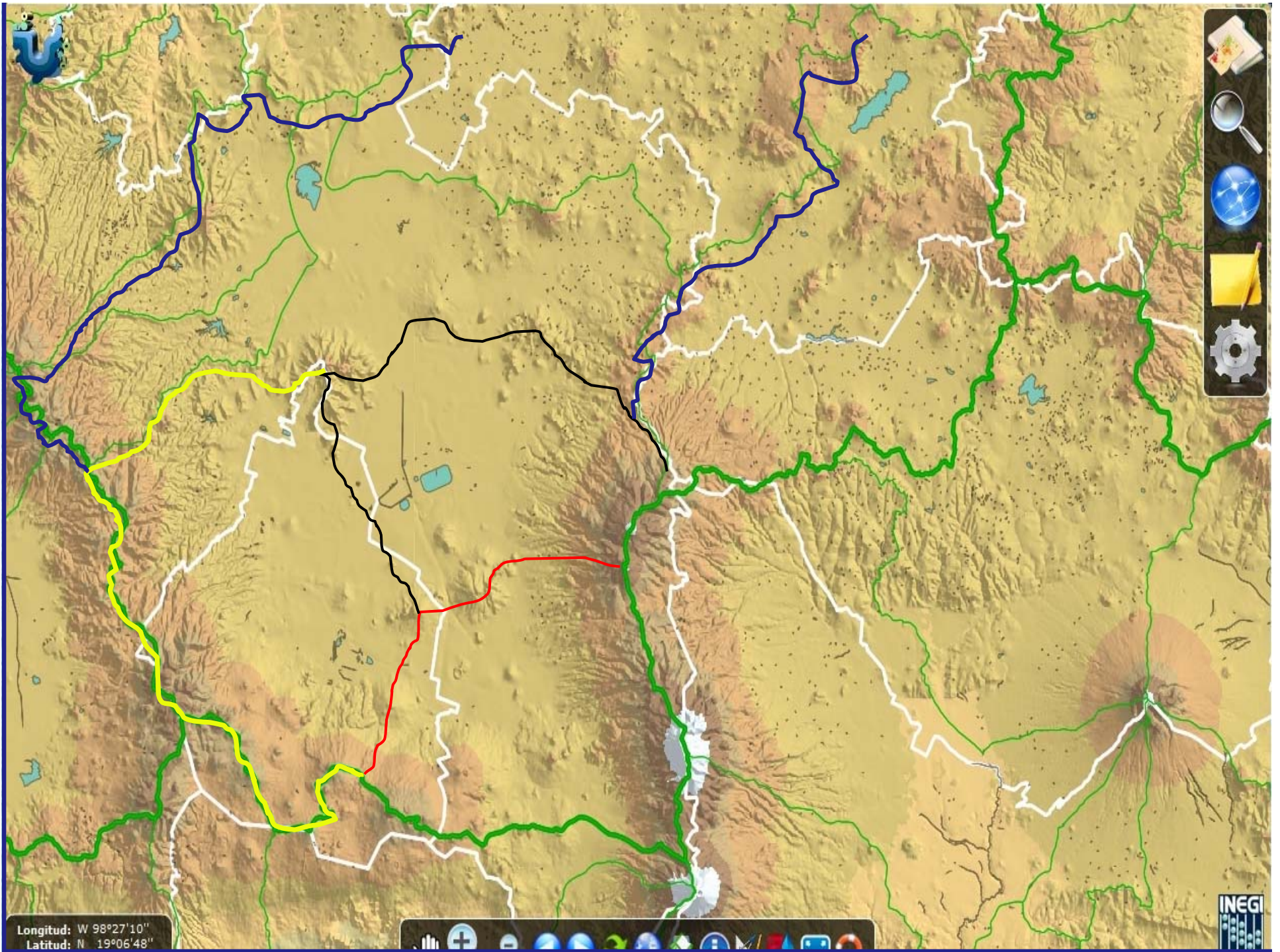


	Explanation
<b>Q<sub>al</sub></b>	Quaternary alluvial fan, lacustrine, and aeolian deposits
<b>K<sub>a</sub></b>	Limestone, dolomite, shale, evaporite. Cupido, Tereises, L. & U. Tamaulipas, La Peña, Acañita, Las Uvas, Aurora Fmns.
<b>K<sub>sm</sub></b>	Sandstone, conglomerate (terrigenous). San Marcos Fmn.
<b>J</b>	Sandstone, conglomerate (marine). Las Palomas, Sierra El Granizo, Tanque Cuatro Palmas Fmns.
<b>Tr</b>	Granitoids
	Regional groundwater flow
	Local groundwater flow
	Groundwater level
	Spring
	Playa lake



# A- GUARANI





ISÓTOPOS RADIOACTIVOS = DATACIÓN  
DEL AGUA SUBTERRÁNEA

ISÓTOPOS ESTABLES = TRAZADORES

## Antigüedad del agua subterránea.

La permanencia del agua se puede obtener mediante el decaimiento radioactivo de algunos elementos que hay en la atmósfera como son: ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ , y  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{39}\text{Ar}$ ,  $^{81}\text{Kr}$ ,  $^{32}\text{Si}$ ). (Clark and Fritz, (1997)

En este método el decaimiento del radioisótopo, aporta el tiempo de residencia del agua en la masa en el sistema subterráneo

**Tritio.** Su vida media es 12.35 años se puede usar para agua menor o igual a 40 años

$$t = 17.93 \ln \frac{A_t \text{ } ^3\text{H}_{MU}}{A_0 \text{ } ^3\text{H}}$$

**$^{14}\text{C}$  = Carbono;** su decaimiento medio es 5730 años, se puede conocer una edad de hasta 30 000 años

$$t = 8267 \ln \left( \frac{a_t \text{ } ^{14}\text{C}}{a_0 \text{ } ^{14}\text{C}} \right)$$

,  $a_0$  = contenido inicial (actividad);  $a_t$  = contenido de radiocarbono en el tiempo (t).

La cantidad se expresa en % de la cantidad original presente. Es = porcentaje de carbón moderno (pmC)

## Antigüedad del agua subterránea

<sup>36</sup>Cl;= **Cloro** El decaimiento medio del <sup>36</sup>Cl, es 300 000 años promete datos hasta 1Ma

$$A^{36}\text{Cl} = \frac{\text{átomos } ^{36}\text{Cl}}{L} = \frac{^{36}\text{Cl}}{\text{Cl}} \times m\text{Cl} \times 6.022 \times 10^{23}$$

Donde:

$$m\text{Cl} = \text{moles de Cl}^- / L = (\text{mg/L} \times 10^{-3}) / 35.5,$$

<sup>36</sup>Cl / Cl = R <sup>36</sup>Cl x A <sup>36</sup>Cl, es usualmente expresado x 10<sup>-7</sup> para dar valores entre 0 a 100

## Trazadores de Recarga

El uso de estos isótopos estables ayuda para identificar las áreas de recarga del agua subterránea, en base a su fraccionamiento en el tiempo, en función de la recarga (<sup>18</sup>O y <sup>2</sup>H). (Clark and Fritz, (1997))

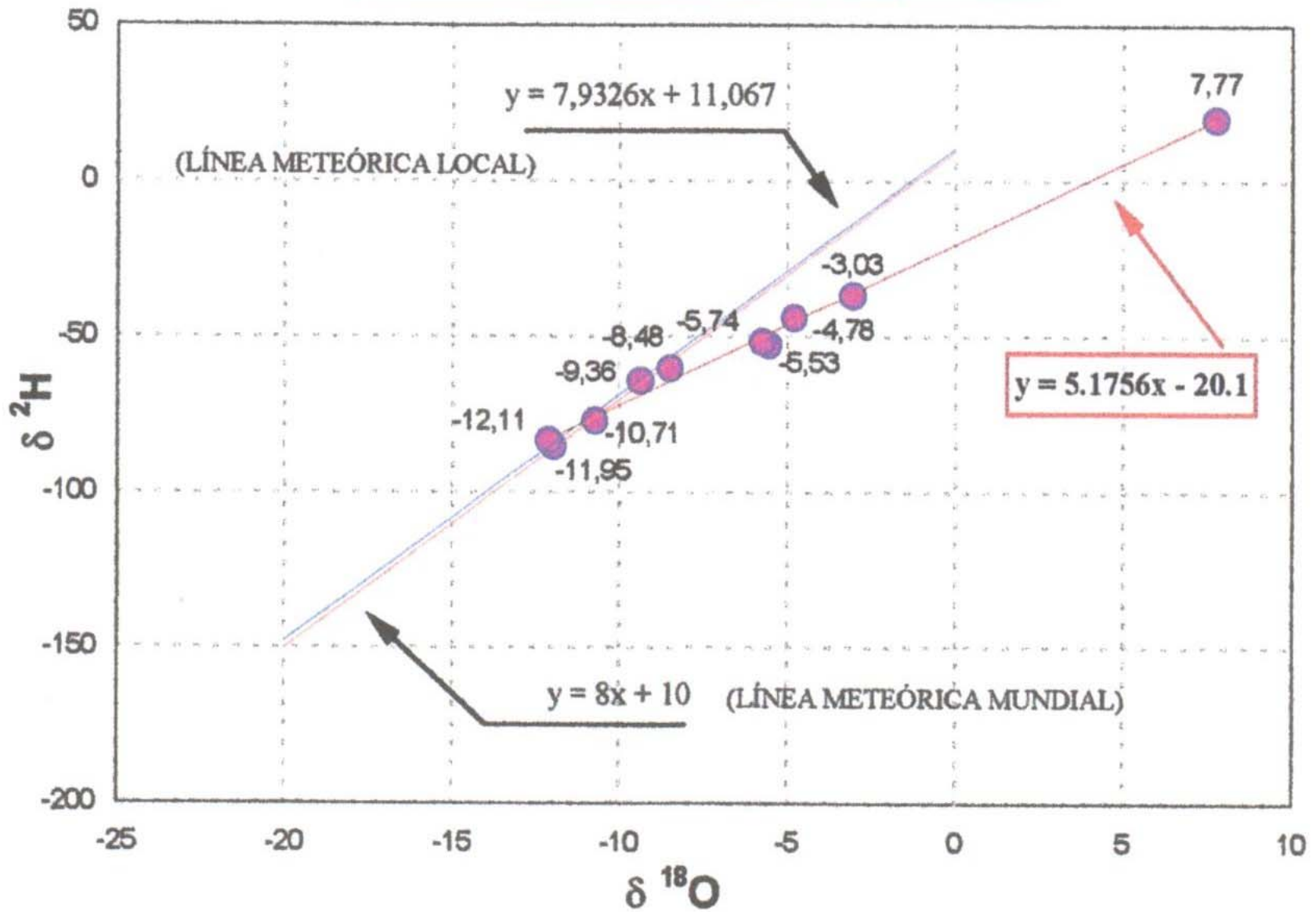
## Deuterio y Oxígeno

$$\delta^{18}\text{O}_M = \left( \frac{^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{MU}}{^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{RE}} \right) \times 1000 \quad \delta D_M = \left( \frac{D/H_{MU}}{D/H_{RE}} \right) \times 1000$$





COMPOSICIÓN ISOTÓPICA EN AGUAS SUPERFICIALES  
CUENCA ALTA DEL RÍO LERMA.





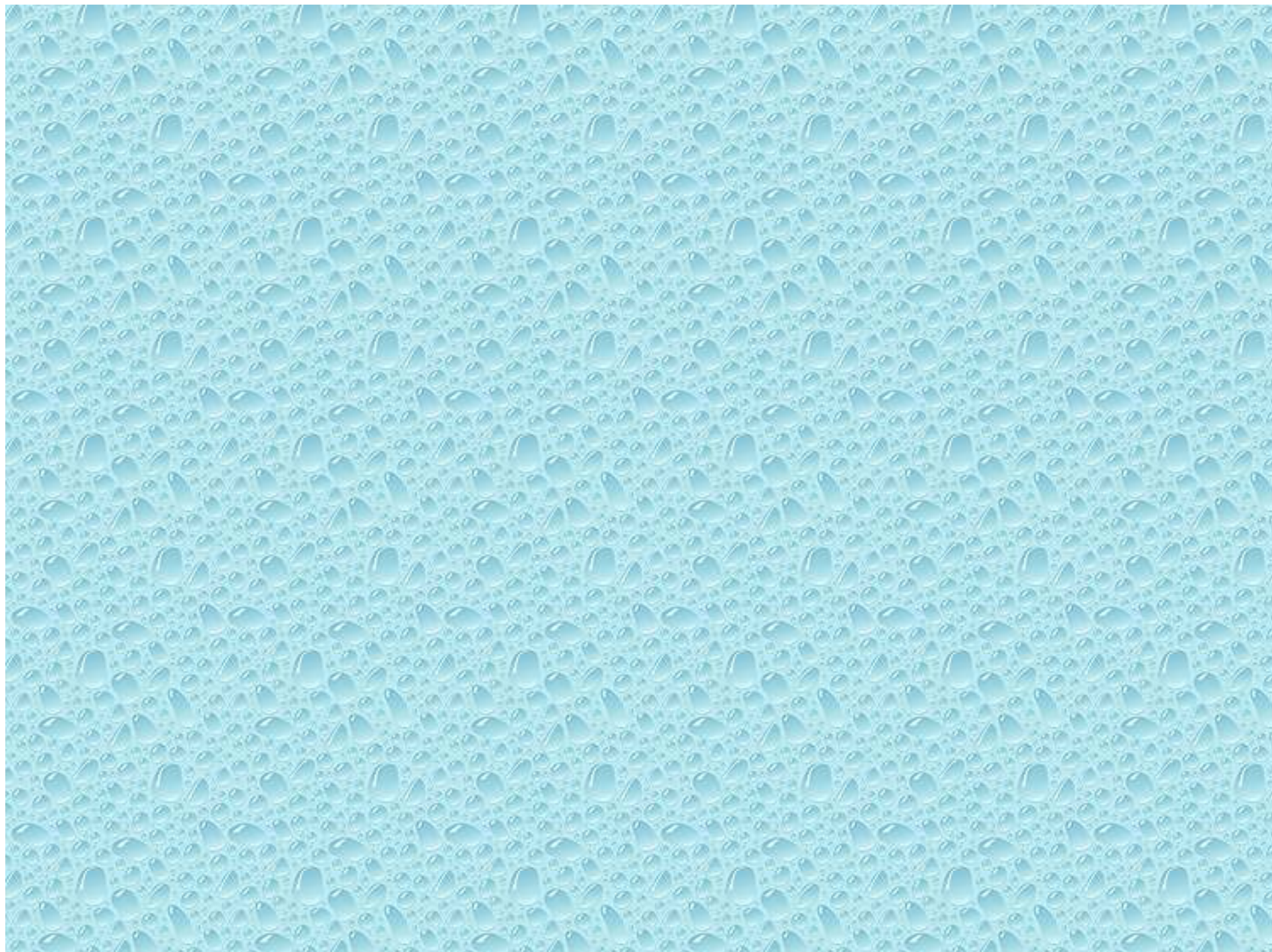








GRACIAS POR  
SU TENCIÓN





La interacción Ambiente - agua subterránea se manifiesta de tres formas, y determina distintos procesos según sea el tipo de interacción

- I. **Química.**- Considera la disolución, hidratación, hidrólisis, oxido –redox, precipitación, intercambio iónico, reducción de sulfato, concentración y ultrafiltración u osmosis.
- II. **Física.**- Proceso de lubricación y modificación de presiones intersticiales (agua de poro)
- III. **Cinética.**- Procesos de transporte de agua, materia acuosa, no acuosa, calor.

Los procesos son acumulativos en el tiempo y se distribuyen espacialmente de acuerdo a la geometría del sistema de flujo

Es prioritario establecer el **Ambiente Hidrogeológico**; que es el Modelo Conceptual de los parámetros morfológicos, geológicos, y climáticos que establece el régimen del agua subterránea en un área determinada. En donde se presentan diversas manifestaciones del agua subterránea (descarga salina, fría, dulce).

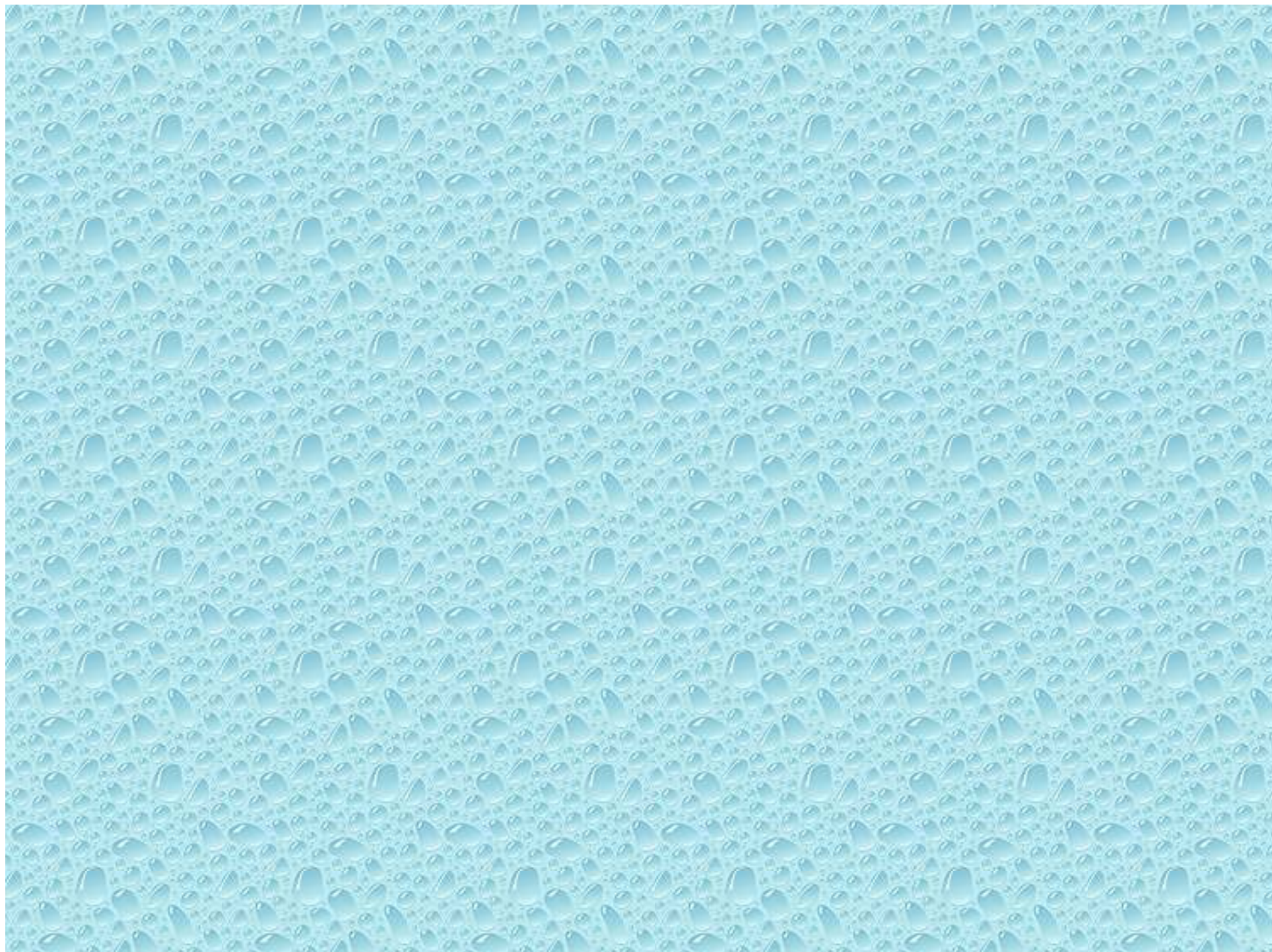
Los parámetros principales que define el régimen de agua subterránea son:

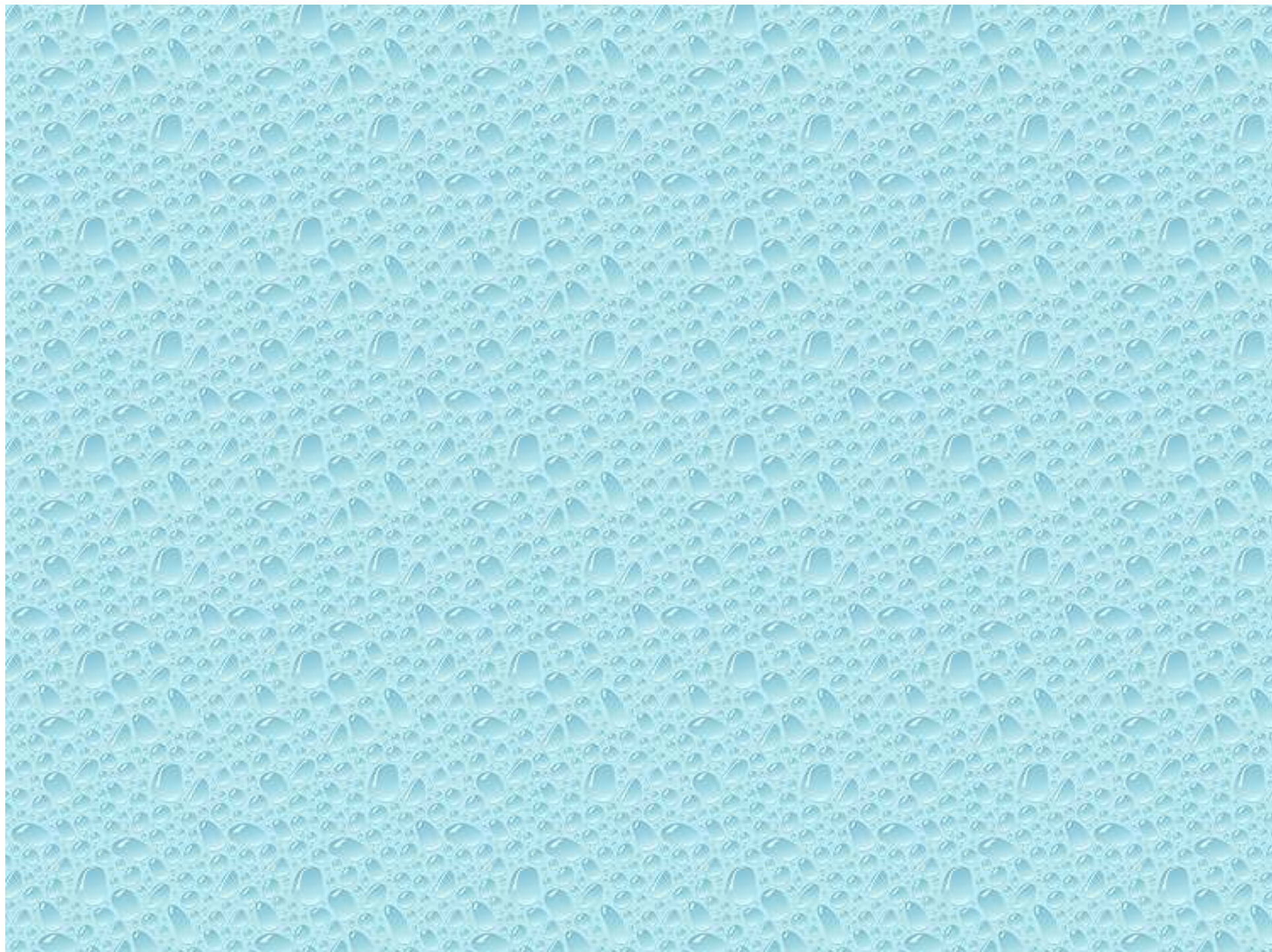
i) El contenido de agua, ii) La geometría del sistema, iii) La descarga específica, iv) La composición química del agua, v) La temperatura y la variación temporal de todos ellos.

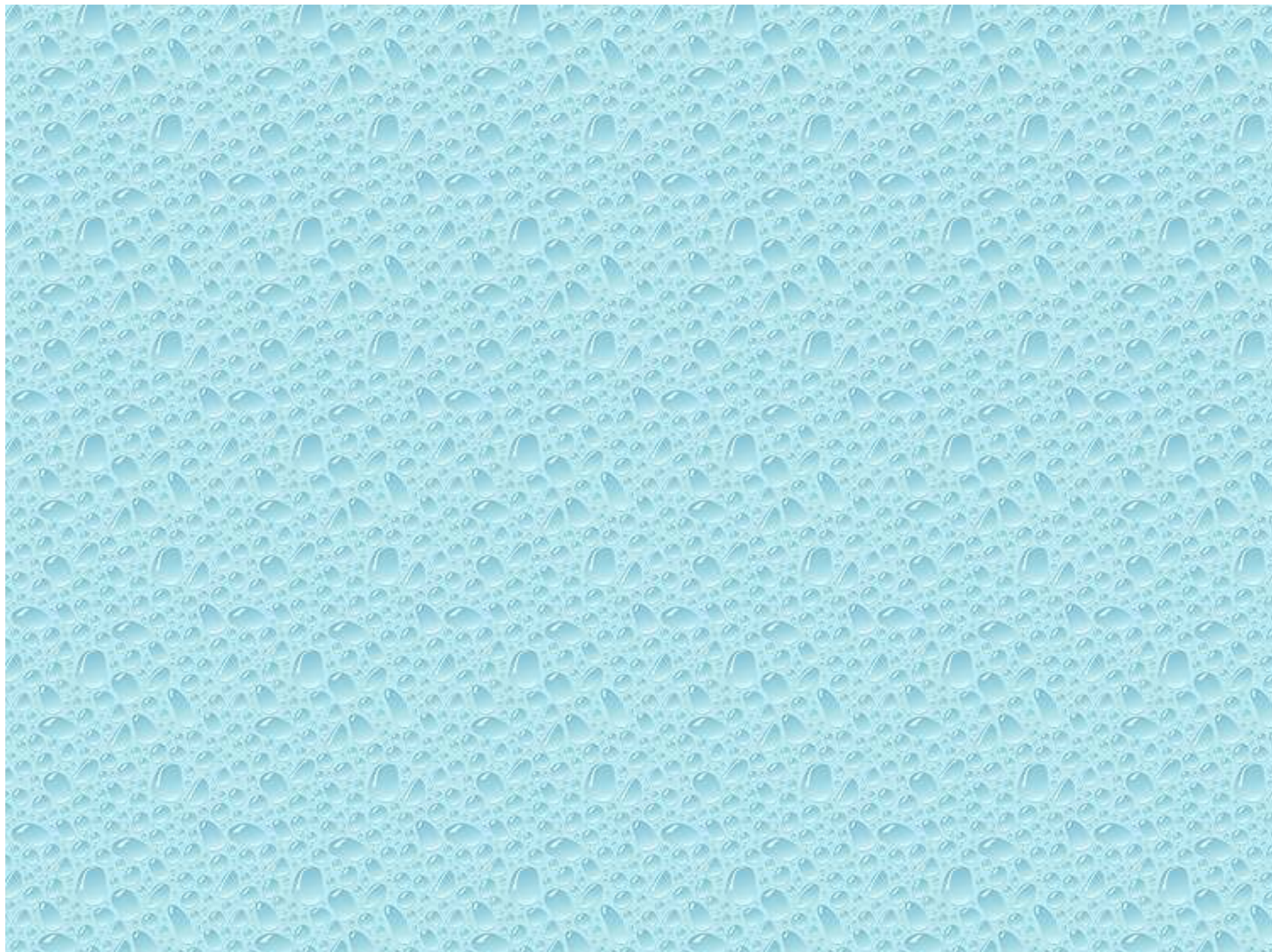
## Las manifestaciones del agua subterránea.

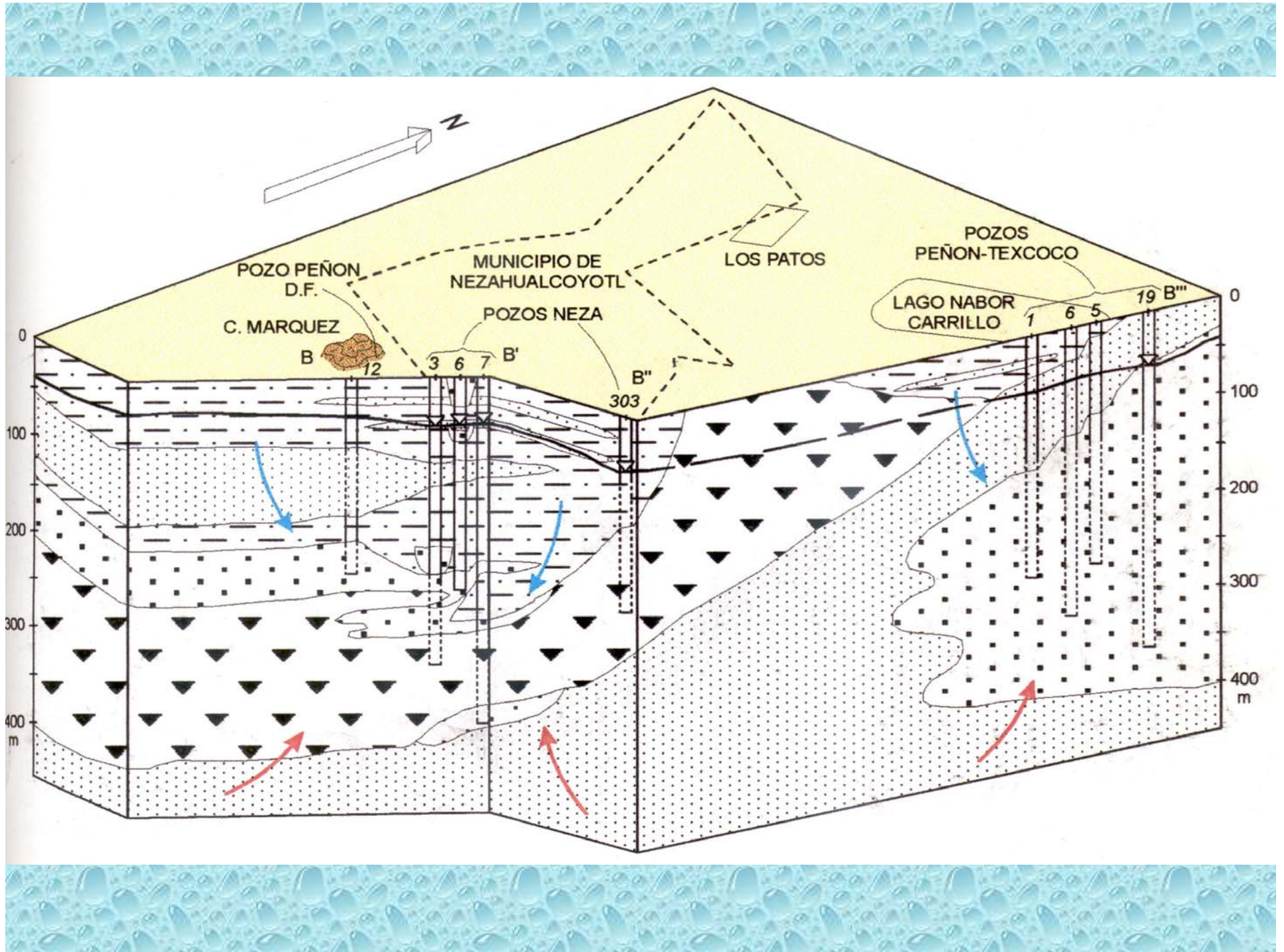
Las manifestaciones del agua subterránea han sido agrupadas en seis tipos

- i) Hidrología - hidráulica: Contenido de humedad, flujo vertical
- ii) Química y mineralogía: Evol química;  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4$ , Cl, STD
- iii) Vegetación: Xerófita, Mesofila, Freatofíta
- iv) Mecánica de suelos y rocas: Hundimiento, grietas, deslizamientos
- v) Geomorfología: Cavernas, erosión, terrazas de  $\text{CO}_3$
- vi) Transporte y acumulación: Solutos, minerales, calor, hidrocarburo etc.









## BALANCE ??

Todos tienen presente los principales parámetros a considerar en el balance de entradas y salidas de agua en la cuenca.

Entonces a nivel de cuenca el balance se expresa por la ec.

$$P - E_t - R_o = \Delta S \quad (1)$$

Cuando se considera un largo periodo de tiempo, no hay bombeo, la recarga y descarga están en equilibrio. (Estado estacionario)

$$R_n + Q_i = E_T + Q_o \quad (2)$$

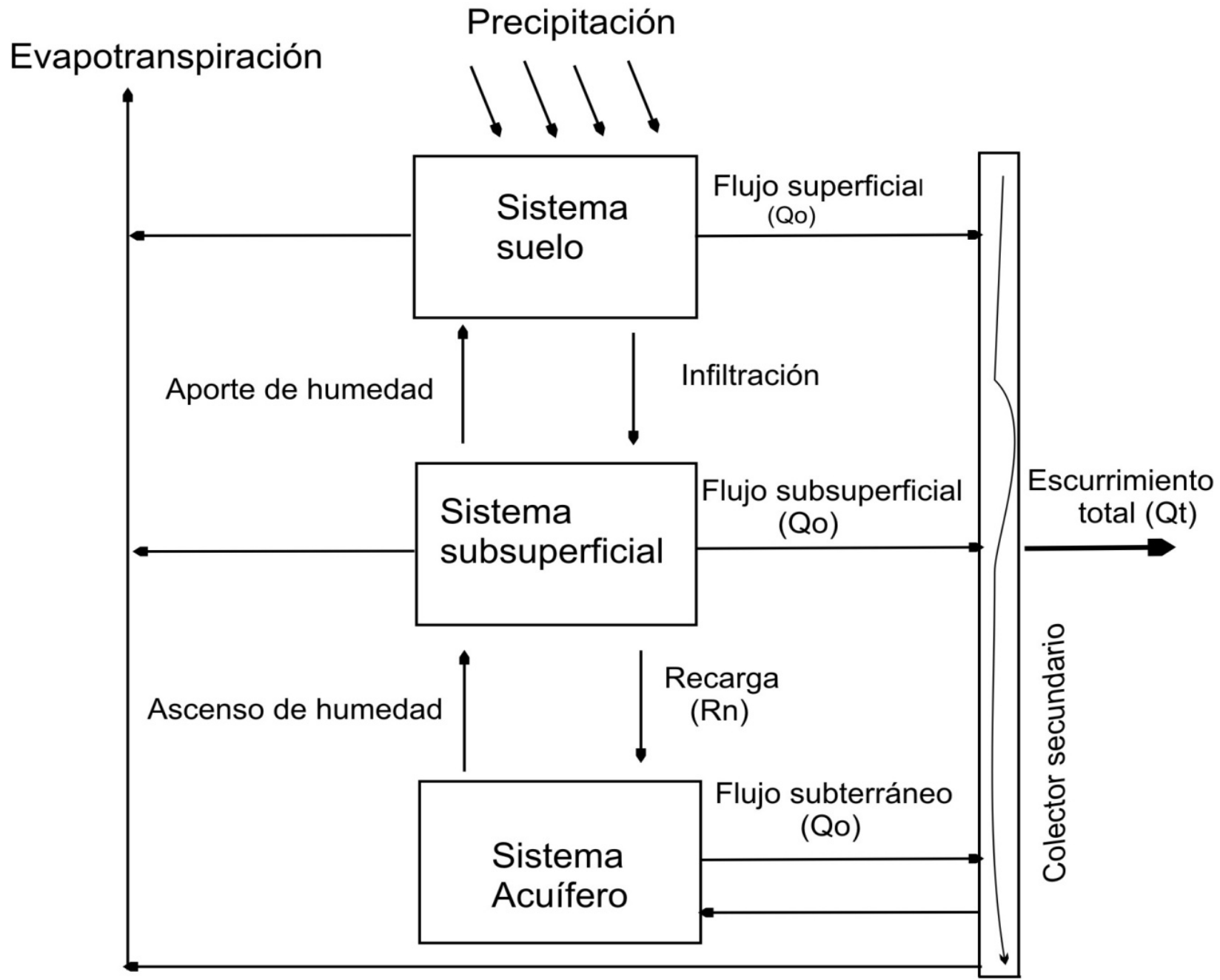
Sin embargo, al existir extracción (bombeo) la ec (3), será

$$R_n + Q_i - E_T - Q_o - Q_p = \Delta S \quad (3)$$

Fin del equilibrio, la recarga < descarga (dt), inicia el estado transitorio.

Ahora empiezan serias consecuencias: **descenso del N-F, manantiales, humedales, consolidación, descarga, almacenamiento-escurrimiento superficial, etc.**





Esquema del ciclo Hidrológico en el Sistema Tierra

Propiedades Trazador Ideal	Bromuro	Cloruro	ADN Sintético
No interacciona con el terreno	●	●	●
No precipita	●	●	●
Estable química y biológicamente	●	●	●
No altera propiedades físicas y químicas del agua	●	●	●
No altera propiedades del acuífero	●	●	●
No contamina	○	●	●
Utilizable en pequeñas cantidades	○	○	●
Alta solubilidad	●	●	●
Detección a bajas concentraciones	×	○	●
Fácil manejo	×	●	×
No tóxico	×	●	●
Bajo costo y fácil de obtener	●	●	×

● Cumple la condición.

○ Depende de las características de la prueba, principalmente concentración a utilizar.

× No cumple condición.