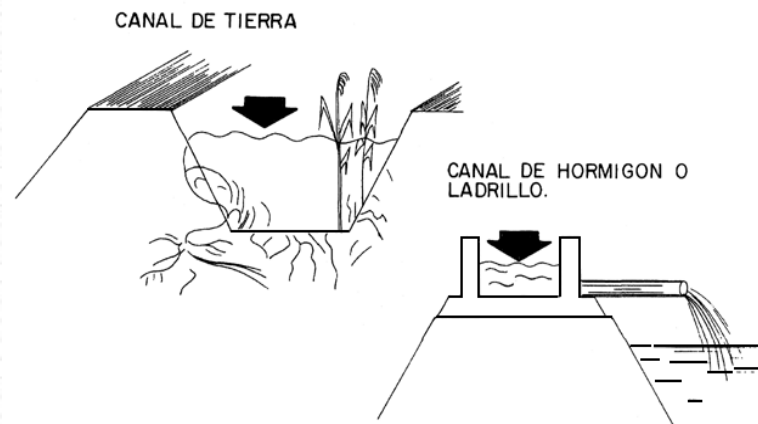


# RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS



## TEMARIO

- Conceptos generales sobre la recarga de acuíferos (EYMC).
- Conceptos básicos sobre hidrogeología (CGO).
- Objetivos de la Gestión de la Recarga de Acuíferos (EYMC).
- Métodos para la Gestión de la Recarga de Acuíferos (CGO).
- Proyecto presa subterráneas La Misión, MAR, Proyecto estanques de infiltración (EYMC).
- Experiencia de la Comarca Lagunera, México (CGO).
- Proyecto Bancos de ríos (pozo radial), proyecto de recarga en Magdalena Contreras (EYMC).
- Cálculo de la recarga mediante estanques superficiales (CGO).
- Normatividad Mexicana sobre recarga de acuífero (EYMC).
- Krigreado criterio para selección de redes de monitoreo (EYMC).

## Introducción

### Conceptos de recarga

- Procesos de recarga
- Factores que afectan la recarga

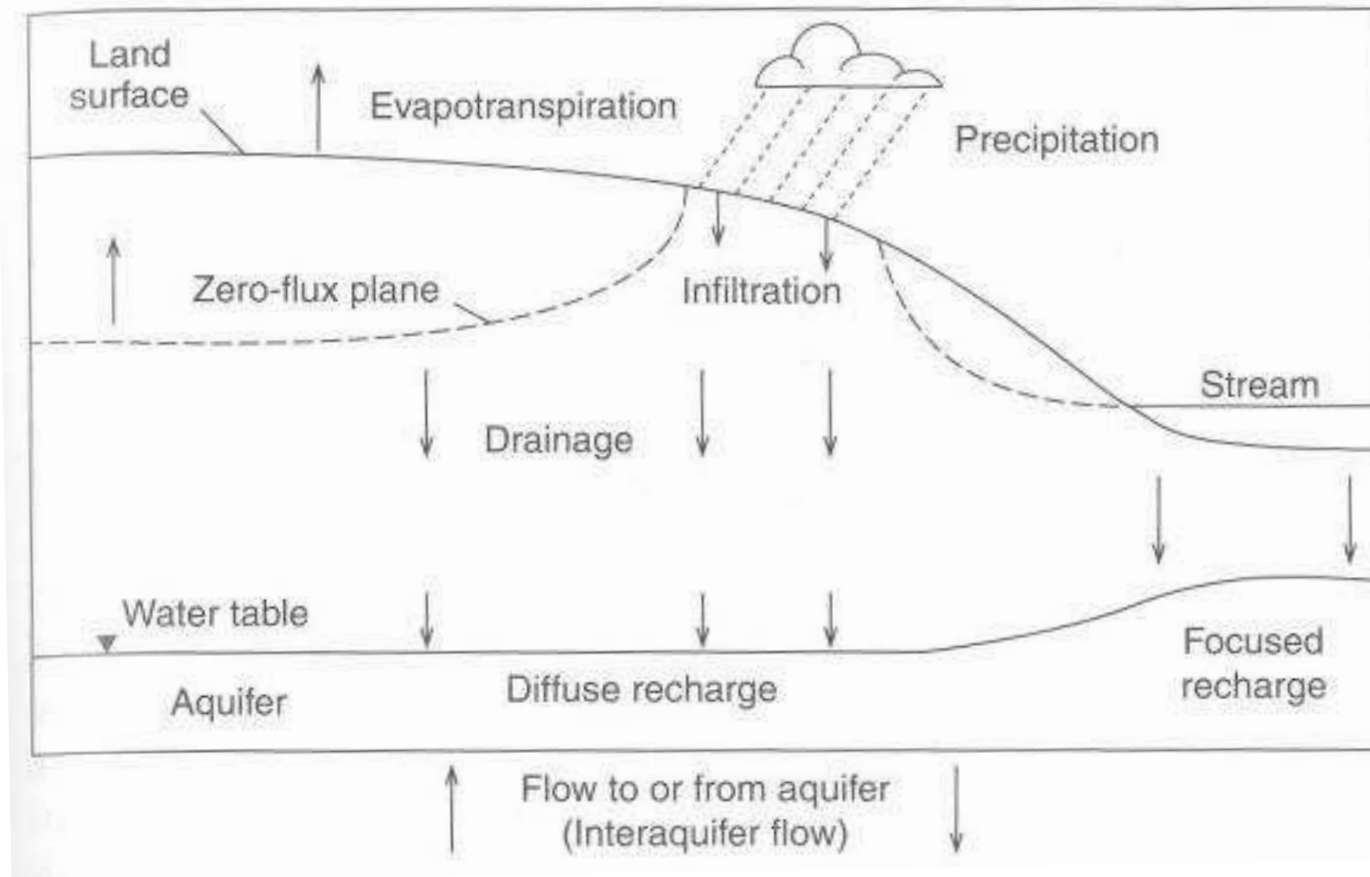
### Balance de aguas

- Componente superficial
- Componente subterránea

### Supuestos de la metodología

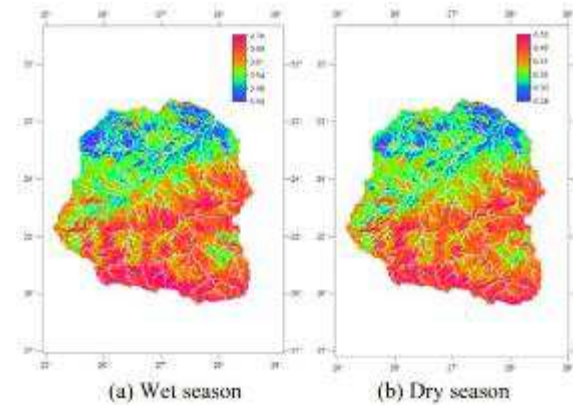
- Método
- Escala
- Esquema para seleccionar el método

# Conceptos de recarga

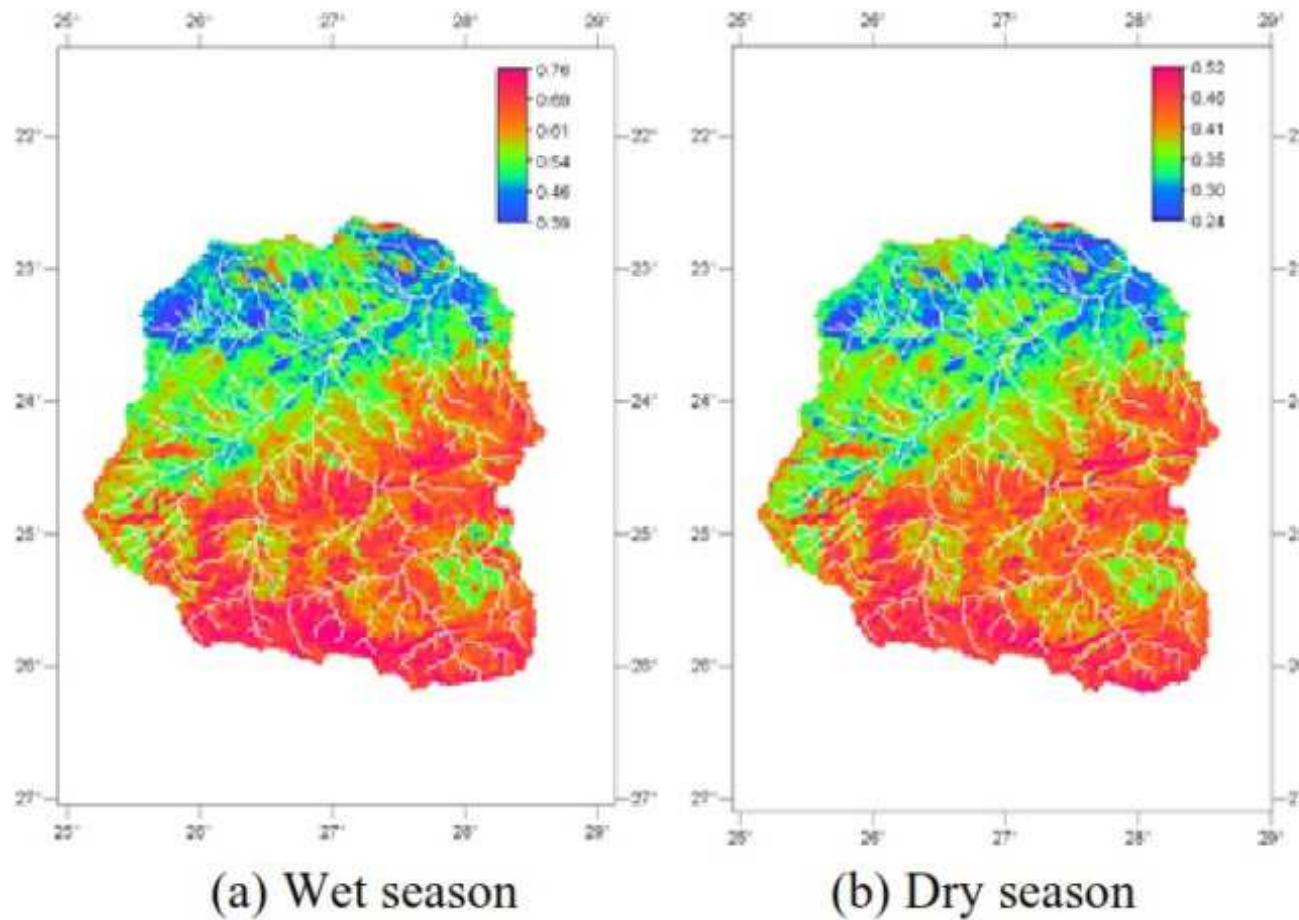


## Factores que afectan la recarga

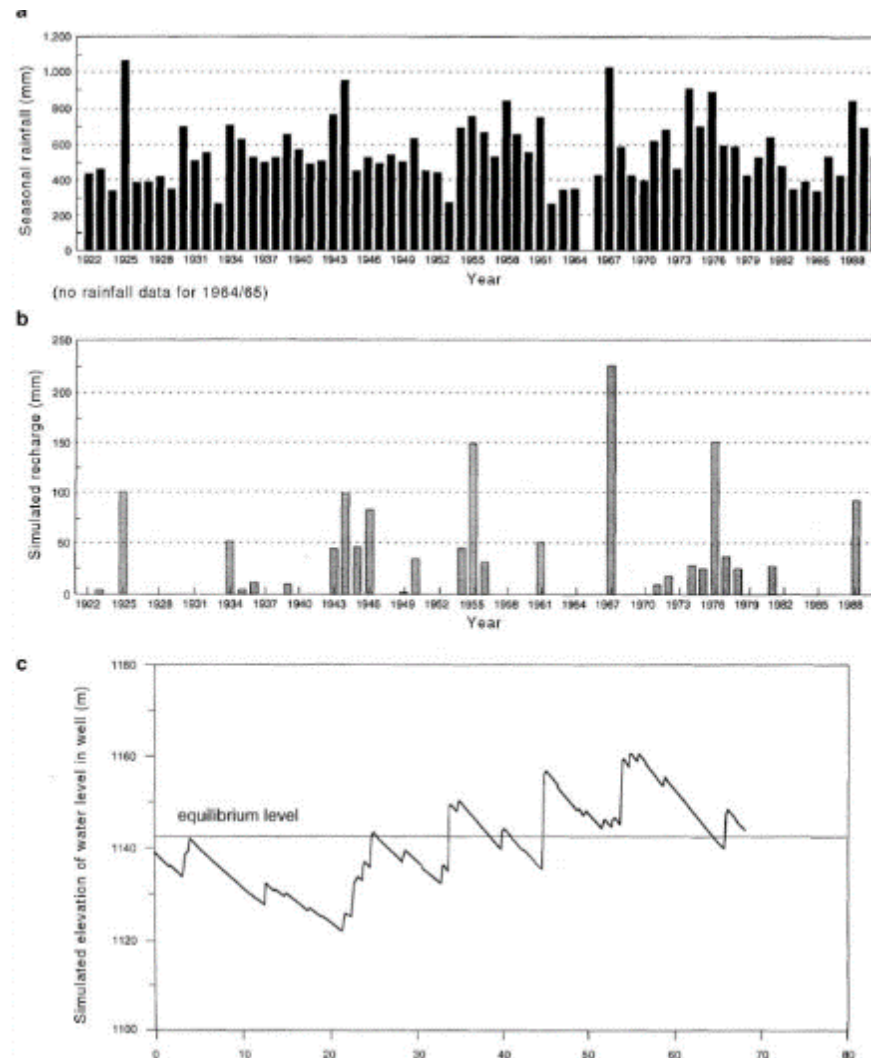
1. Variabilidad espacial y temporal.
2. Clima
3. Geología y suelo
4. Topografía
5. Hidrología
6. Vegetación y uso del suelo



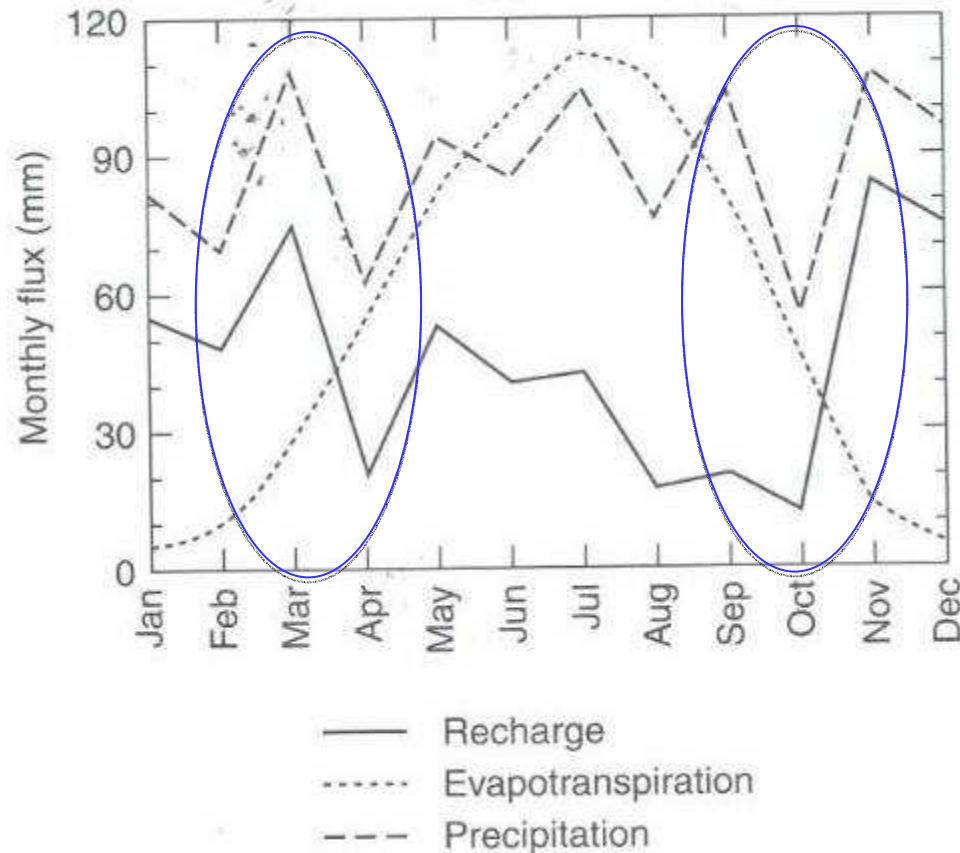
## Variabilidad espacial y temporal



## Variabilidad espacial y temporal



# Clima



\*Árido: 0-250 mm/año  
 Semiárido: 250- 500 mm/año  
 Húmedo: mayor 500 mm/año

Precipitación: cambios estacionales, tendencia  
 Frecuencia y duración de los eventos.  
 Fuera de los trópicos: EVT sigue tendencia  
 Estacional EVT (alto) verano. Menor en  
 invierno

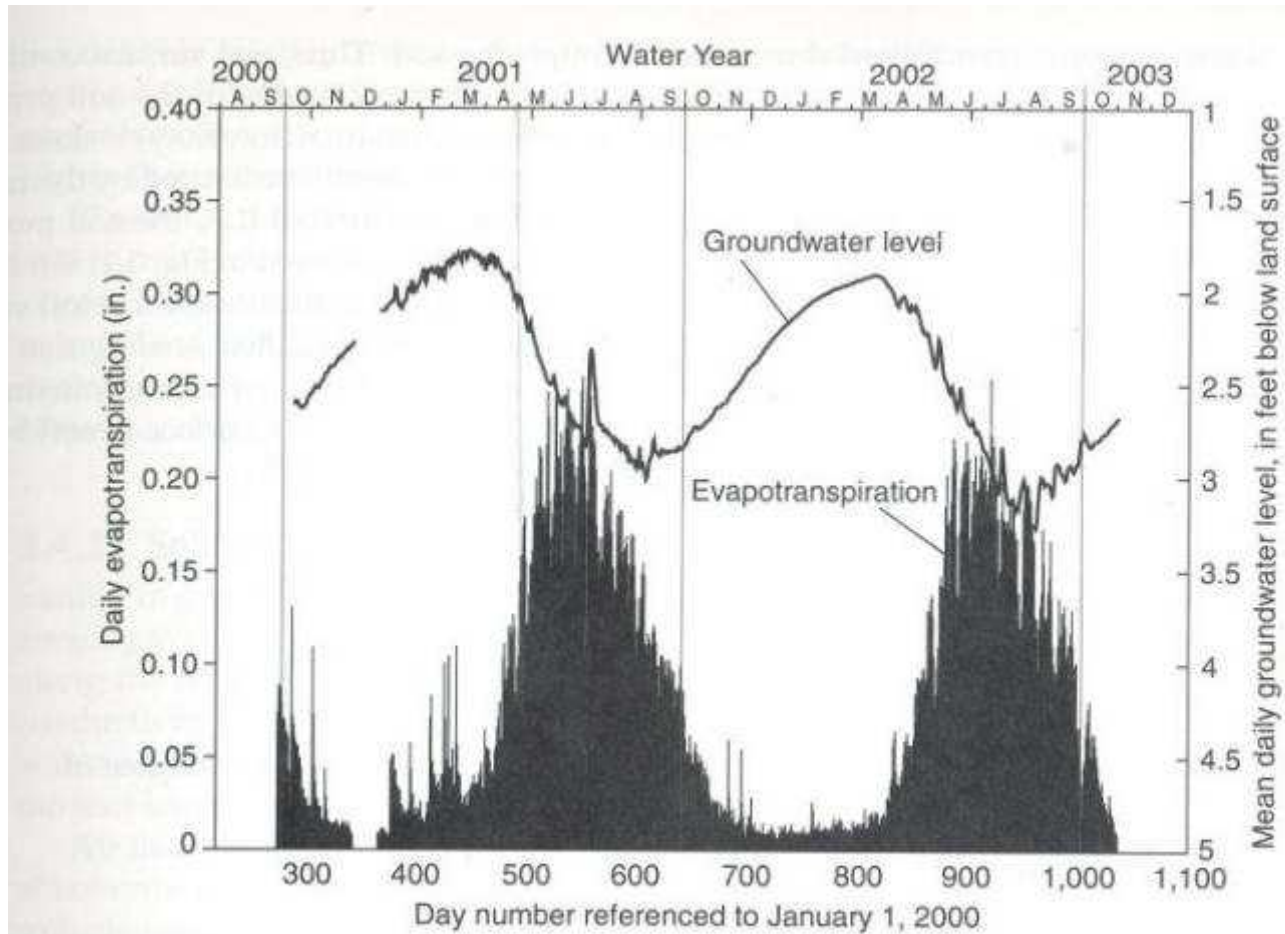
Duración e intensidad: zonas húmedas se  
 Mantiene una relación P-EVT. Recarga en  
 todo el tiempo en respuesta a las tormentas.

Zonas áridas: recarga focalizada por tormen-  
 tas efímeras.

Variabilidad interanual en recarga relacionada  
 con el ENSO (Pool, 2005).



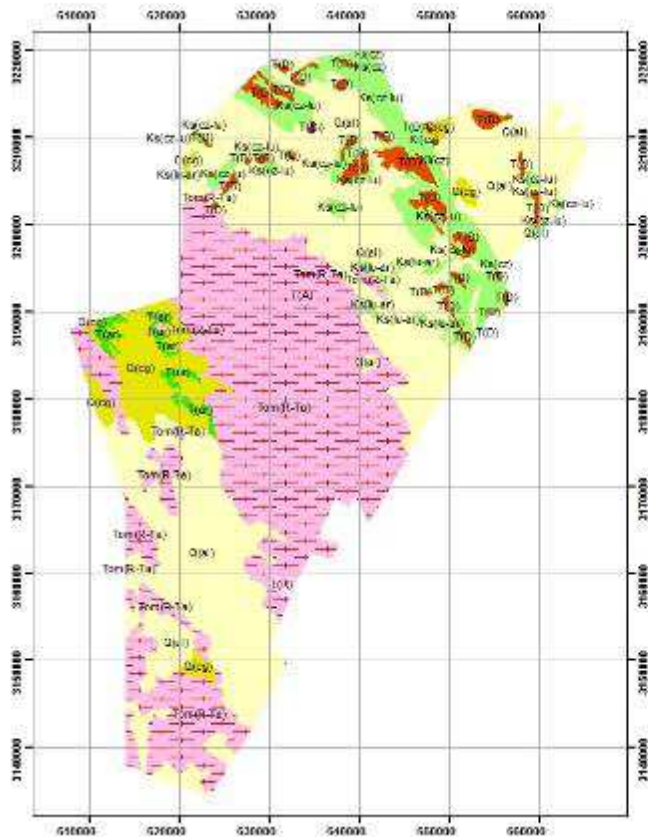
# Clima



-Cambios en el clima  
o uso del suelo

**FIGURE 3.5** Daily evapotranspiration and mean daily groundwater level at Grapevine Springs ET site, from September 28, 2000, to November 3, 2002 (day numbers 272 and 1038, respectively). (From Lacznik et al., 2006.)

# Geología y suelo

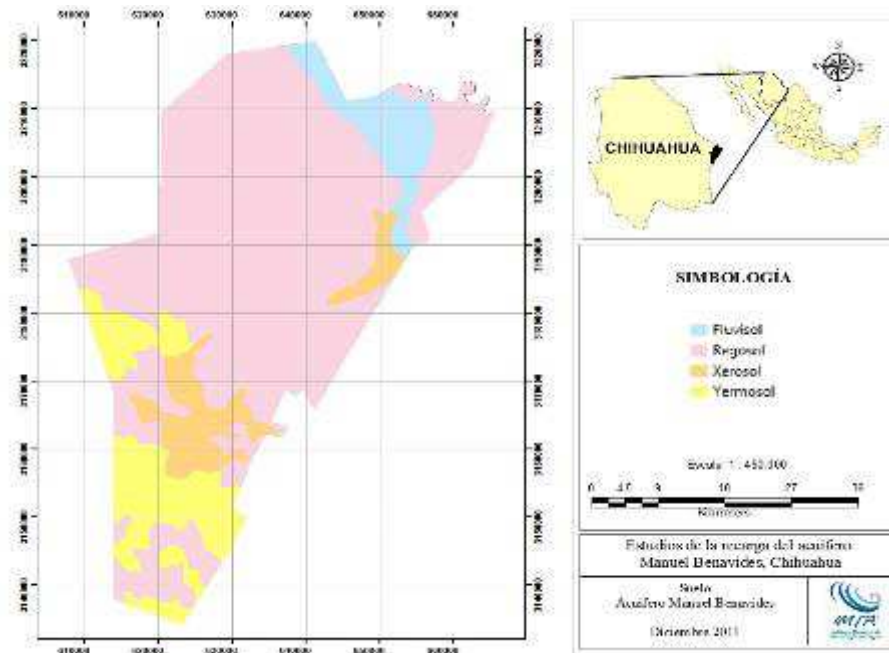


## Geología y suelo

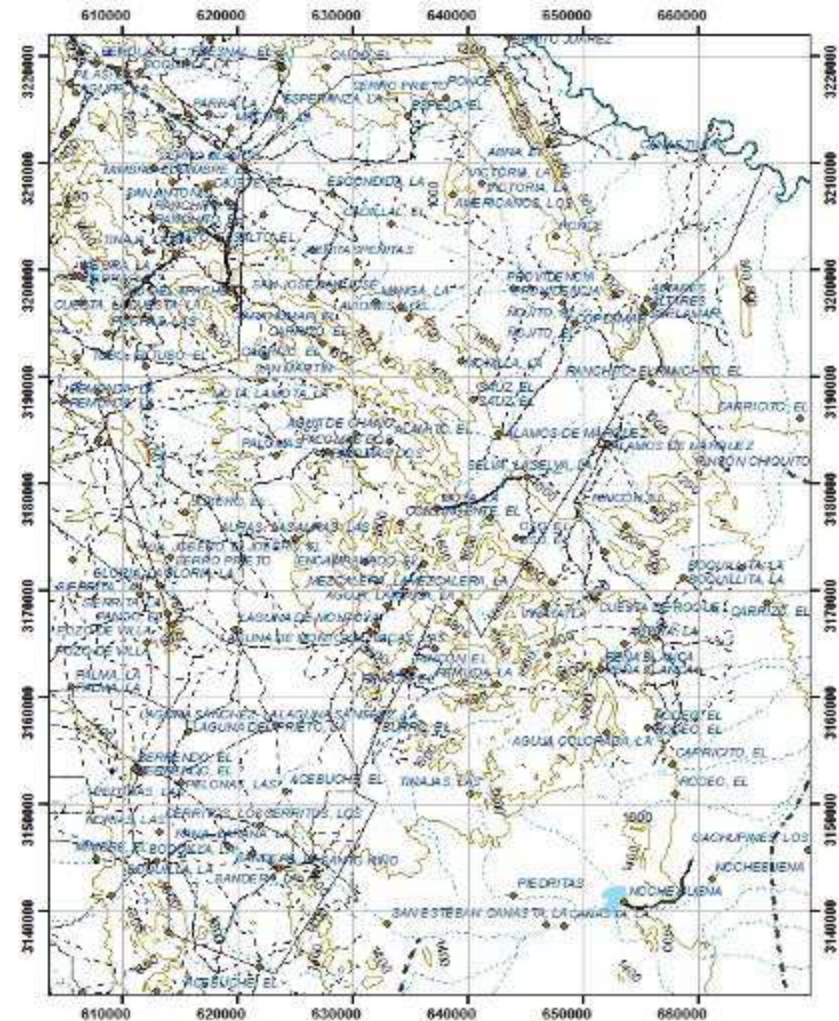
La permeabilidad en superficie y subsuelo, afecta los procesos de recarga

Zonas con buena clasificación de los materiales, alta permeabilidad, en suelos, permite mayor recarga. Lo opuesto es en suelos con materiales de grano fino y poco permeables.

Zonas cársticas la disolución de cavidades permiten canalizar los flujos directamente al acuífero. Y las cavidades facilitan la descarga a manantiales.



# Topografía



# Topografía



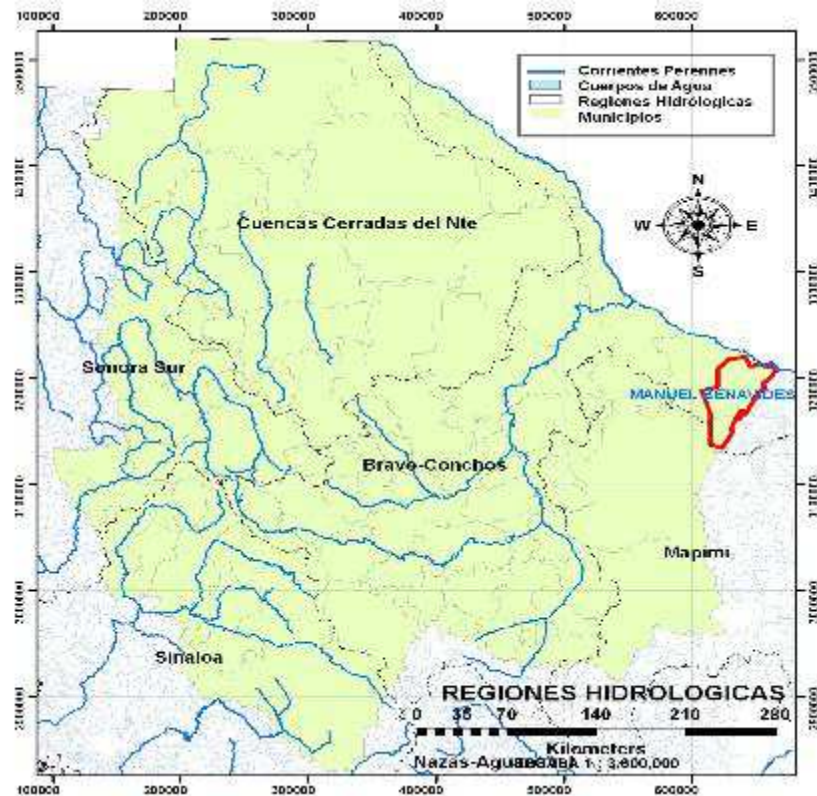
La topografía juega un rol importante para la recarga (D, F). Zonas con pendientes altas tienden a tener valores bajos de infiltración y altos valores de escurrimiento.

Zonas con pendientes planas con un drenaje escaso, presenta una recarga difusa.

Zonas con hundimientos en el terreno, cultivos uniformes causan escurrimientos que se focalizan en zonas específicas que tienden a una mejor recarga.



# Hidrología



El sistema de flujo superficial y subterráneo es determinante.

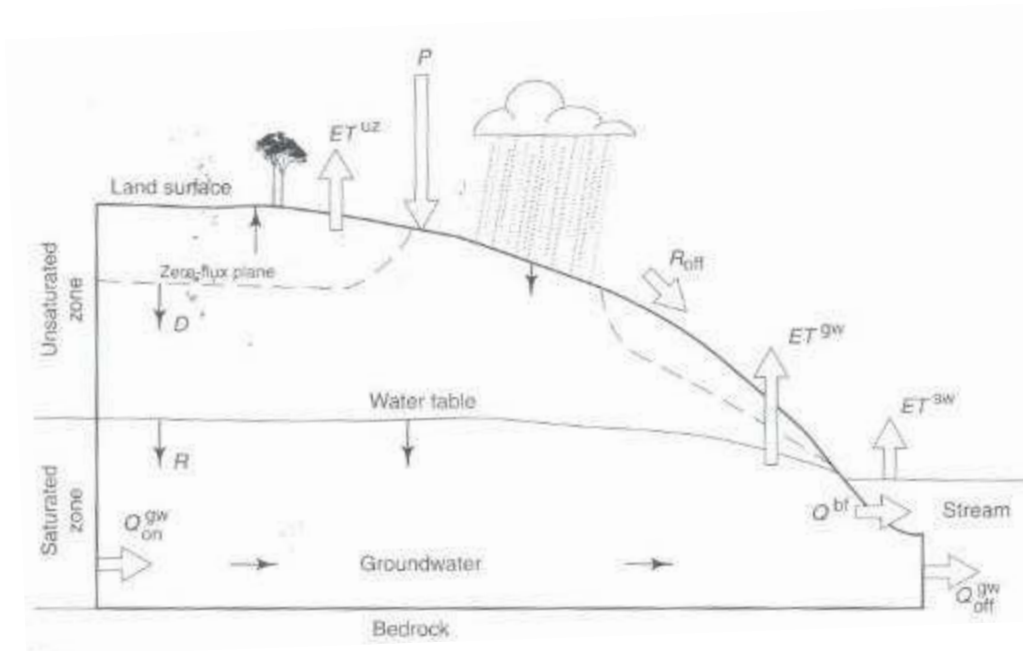
- Los escurrimientos son perennes o efímeros
- Se aporta agua de la superficie al subsuelo o viceversa.
- La profundidad del nivel freático es importante (el NF poco profundo permite una recarga).
- Por otro lado un nivel somero del NF permite mayor transpiración; zonas de descarga.
- Dónde existe una capa delgada de zona no saturada se tiende a ser estacional.

## Vegetación y uso del suelo



Zonas con vegetación tienden a mayor  
EVT (menor recarga).  
Pero existen casos que favorece la recarga  
(Australia, Nigeria).  
Retornos de riego

## Balance de agua subterránea



$$P = ET + \Delta S + R_{off} + D$$

Ec. Balance en suelo

$$P + Q_{on} = ET + \Delta S + Q_{off}$$

Ec. Balance cuenca

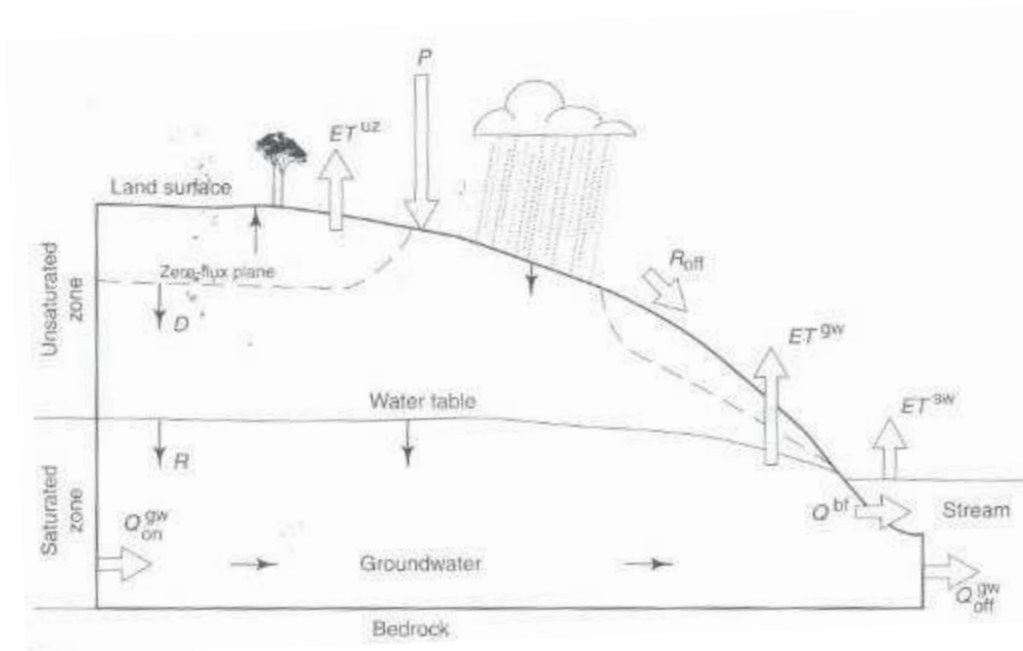
$$Q_{on} = Q^{sw} + Q^{gw}$$

$$ET = ET^{sw} + ET^{gw} + ET^{uz}$$

$$\Delta S = \Delta S^{sw} + \Delta S^{uz} + \Delta S^{gw}$$



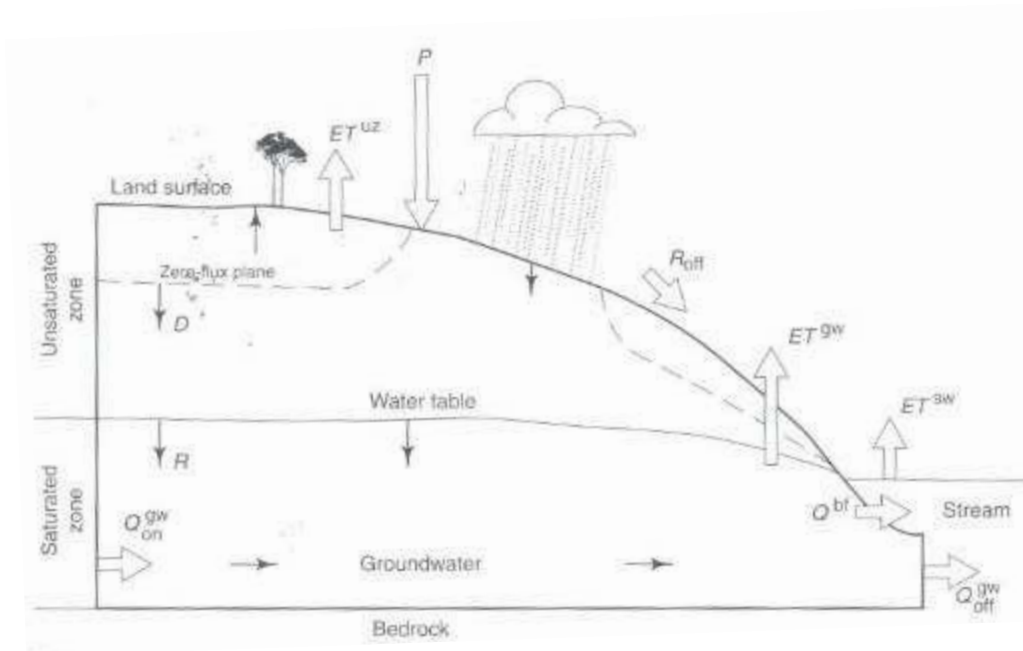
## Balance de agua subterránea



$$Q_{off} = Q^{gw}_{off} + R_{off} + Q^{bf}$$

$$\begin{aligned}
 P + Q_{on}^{sw} + Q_{on}^{gw} &= ET^{sw} + ET^{gw} + ET^{uz} + \Delta S^{sw} + \\
 \Delta S^{uz} + \Delta S^{gw} + Q^{sw}_{off} &+ R_{off} + Q^{bf}
 \end{aligned}$$

## Balance de agua subterránea



$$R + Q_{on}^{gw} = \Delta S^{gw} + Q^{bf} + ET^{gw} + Q_{off}^{gw}$$

$$P + Q_{on}^{sw} = R + ET^{sw} + ET^{uz} + \Delta S^{sw} + \Delta S^{uz} + R_{off}$$

# Métodos

Escala de tiempo para aplicarse en métodos que estiman la recarga subterránea. "Frec. = frecuencia" refiere al periodo de tiempo. "estacionario" indica que el método considera que no hay un cambio en el tiempo de la recarga. "Frecuencia del muestreo", O significa que existen datos y se utilizan para la interpretación, I significa que los datos requieren colectarse una vez, m implica que los datos deberán colectarse varias veces.

UZ zona no saturada. WB es balance. GW es subterránea. WS es cuenca "watershed". SW es agua superficial. HS es separación del hidrograma. R es recarga. D es drenaje a través de la zona no saturada. B es flujo base. CFC es chlorofluorocarbon. SF6 es hexafluoruro de sulfuro.

Método	Tipo		Recarga					Escala tiempo			muestreo	
	Focal	Difusa	Flujo base	Frec./día	Semana	Estacional	Anual	Multi- anual	Decada	Milenio	Estacionario	frecuencia
<b>Balance</b>												
acuífero	x	x	R,B	x	x	x	x				x	m
Columna de suelo		x	R,D	x	x							m
Cuenca	x	x	R,D,B	x	x	x	x					m
Flujo	x	x	R,D,B	x	x							I,m
<b>Modelos</b>												
UZ suelo WB		x	R,D	x	x							O,I,m
UZ Richards ecuación		x	R,D	x	x							O,I,m
cuenca (WS)	x	x	R,D,B	x	x							O,I,m
GW flow	x	x	R,B	x	x	x	x				x	O,I,m
combinado WS/GW	x	x	R,B	x	x							O,I,m
empírico	x	x	R			x	x				x	°
<b>Métodos Darcy</b>												
UZ		x	D	x	x							m
UZ unidad gradiente		x	D								x	
GW	x	x	R	x	x	x	x					m
SW/GW	x		R	x	x							m



# Métodos

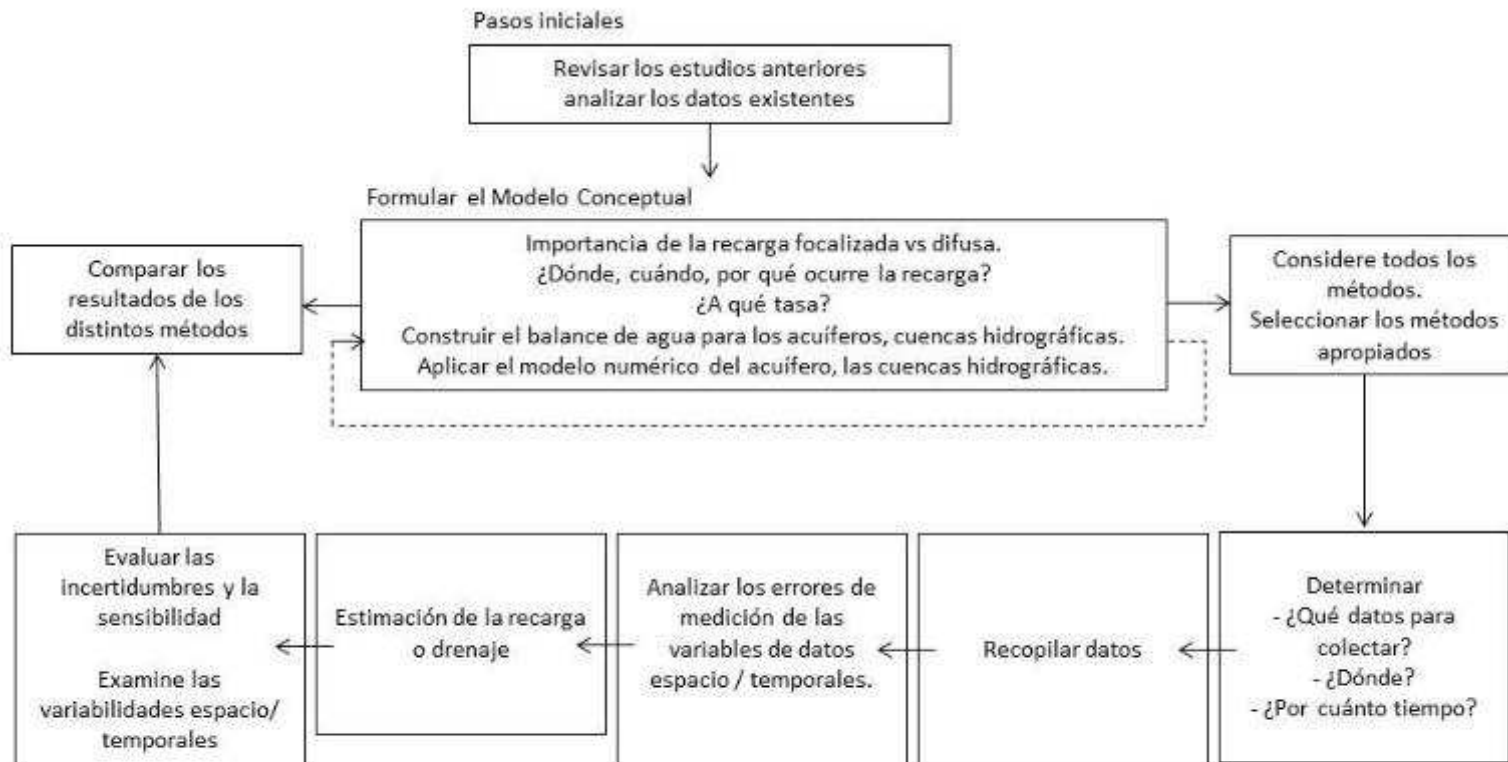
Método	Tipo		Recarga Drenaje o Flujo Base	Frec./día	Escala de tiempo			Frec. Muestreo			
	Focal	Difusa			Multi- anual	Década	Milenio	Estacionario			
<b>Trazadores</b>											
UZ cloruro		x	D					x	x	x	x
UZ tritio		x	D					x	x		
UZ cloro-36		x	D					x	x		
UZ aplicado	x	x	D	x	x	x	x	x			m
UZ calor		x	D		x	x					x
GW cloruro	x	x	R						x	x	x
GW carbon-14	x	x	R						x	x	x
GW tritio	x	x	R					x	x		
GW cloro-36	x	x	R					x	x		
GW CFC		x	R					x	x		
GW SF6		x	R					x	x		
GW tritio helio-3		x	R					x	x		
GW aplicado	x	x	R	x	x	x	x				m
SW/GW calor	x		R	x	x	x					m



(Cont.)

	Capítulo m2	Escala espacial						Relativo costo	Relativa complejidad
		10 m2	100 m2	I ha	1 km2	103 km2	106 km2		
recesslon - curve displace- ment chemical HS	4				x	x		2	3
Inyección trazador	4			x	x	x		4	3
<b>Método trazador</b>									
UZ cloruro	7	x	x					3	2
UZ tritio	7	x	x					3	3
UZ cloro-36	7	x	x					4	3
UZ applied	7	x	x	x				4	3
UZ calor	8	x	x					3	3
GW cloruro	7		x	x				2	2
GW carbon-14	7		x	x				3	3
GW tritio	7		x	x				3	3
GW cloro-36	7		x	x				4	3
GW CFC	7		x	x				3	3
GW SF6	7		x	x				3	3
GW tritio/ helio-3	7		x	x	x			5	4
GW aplicado	7		x	x				4	3
SWGW heat 8	8	x						3	3

# Modelo conceptual de proceso de recarga





## Resumen

### Conceptos de recarga

#### Procesos de recarga

- Difusa (directa)
- Focalizada (localizada; depresiones del terreno, grietas e indirecta; ríos, canales, lagos, riego)

#### Factores afectan la recarga

- Variabilidad (espacial, temporal)
- Clima
- Geología
- Topografía
- Suelo (tipo y uso)
- Vegetación
- Hidrología

## Supuestos del método

Balance de aguas

- Componente superficial
- Componente subterráneas

## Supuestos del método

### Supuestos de la metodología

#### Método

- Balance
- Modelos
- Modelos Darcy
- Métodos UZ/GW
- Agua Superficial
- Trazadores

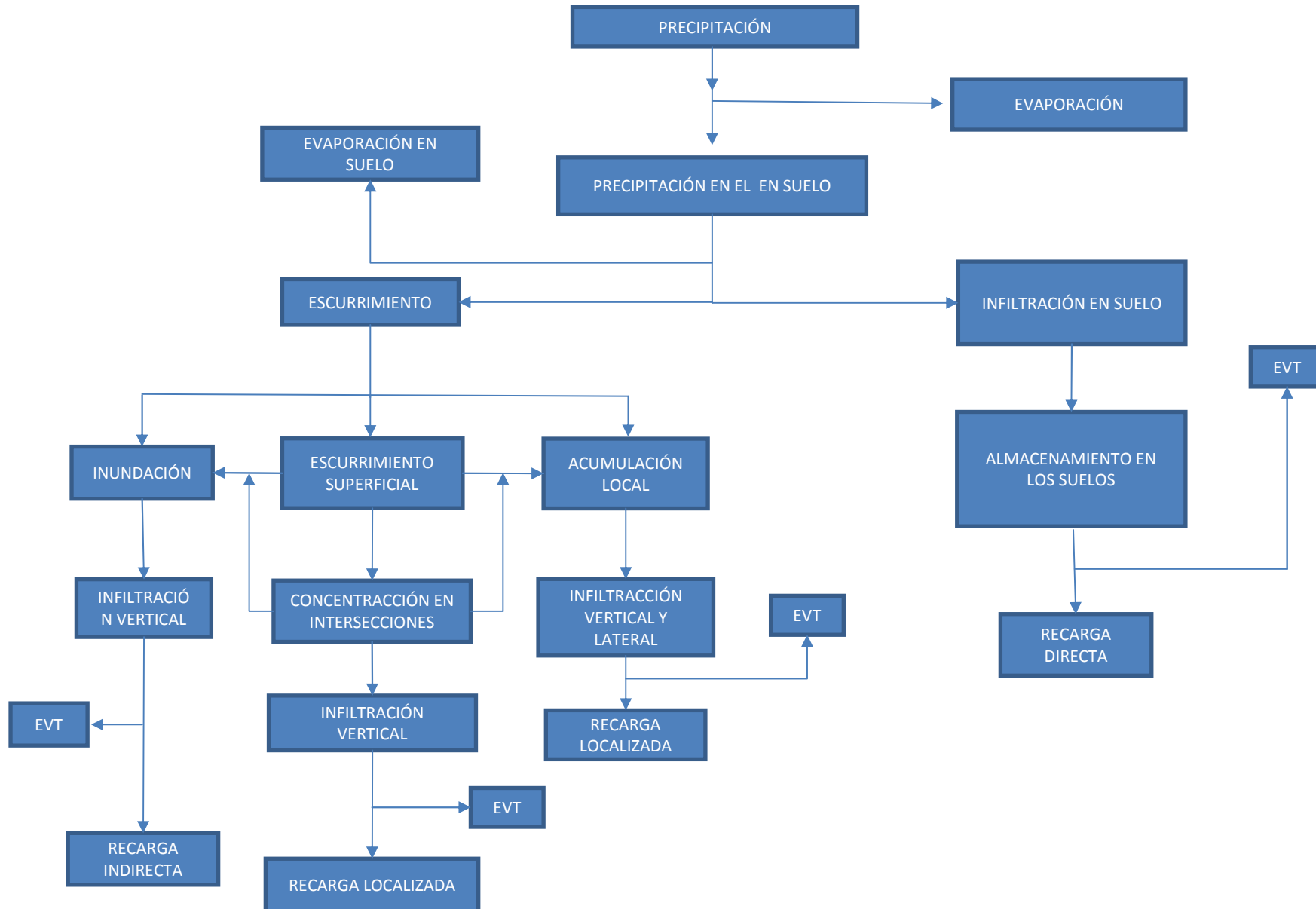
#### Escalas

Local (1-1000 m)

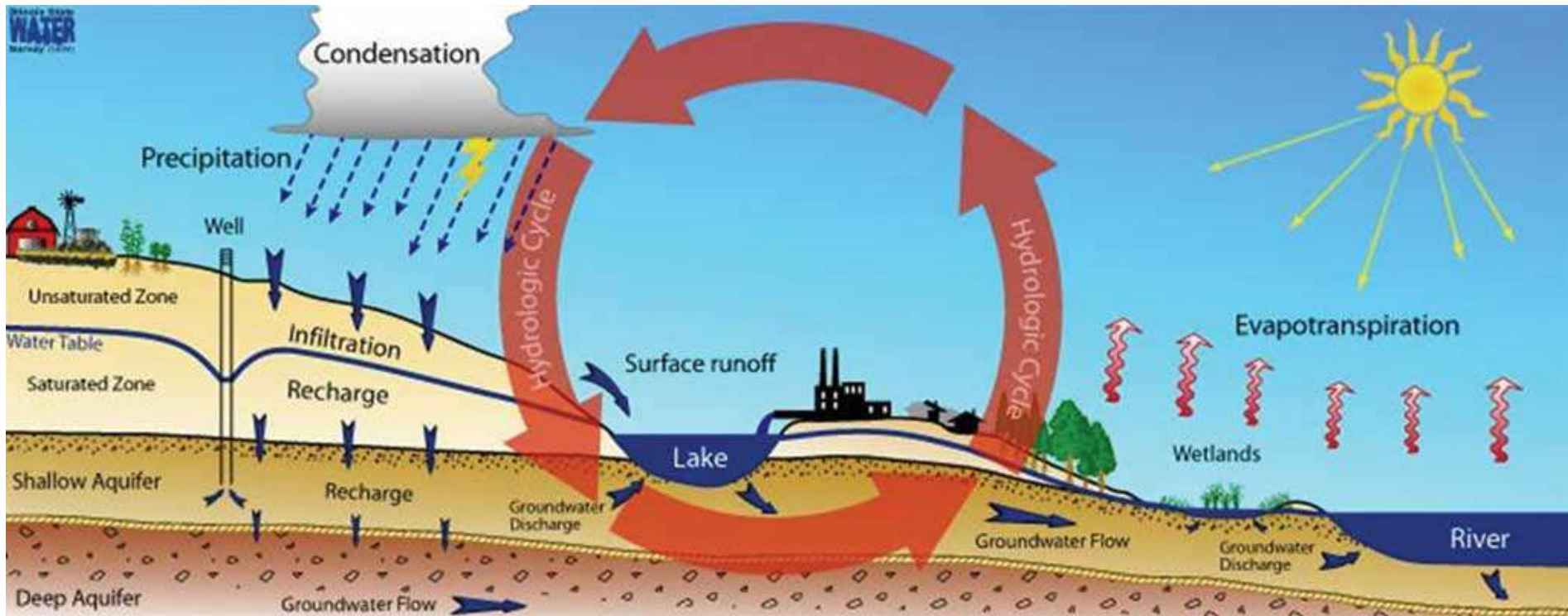
Mesoescala (1 – 1000 km)

Macroescala ( después de 1000 km )

# ELEMENTOS DE RECARGA (CLIMA ÁRIDO-SEMIÁRIDO)



# CICLO HIDROLÓGICO



<http://www.esri.com/news/arcuser/0408/groundwater.html>