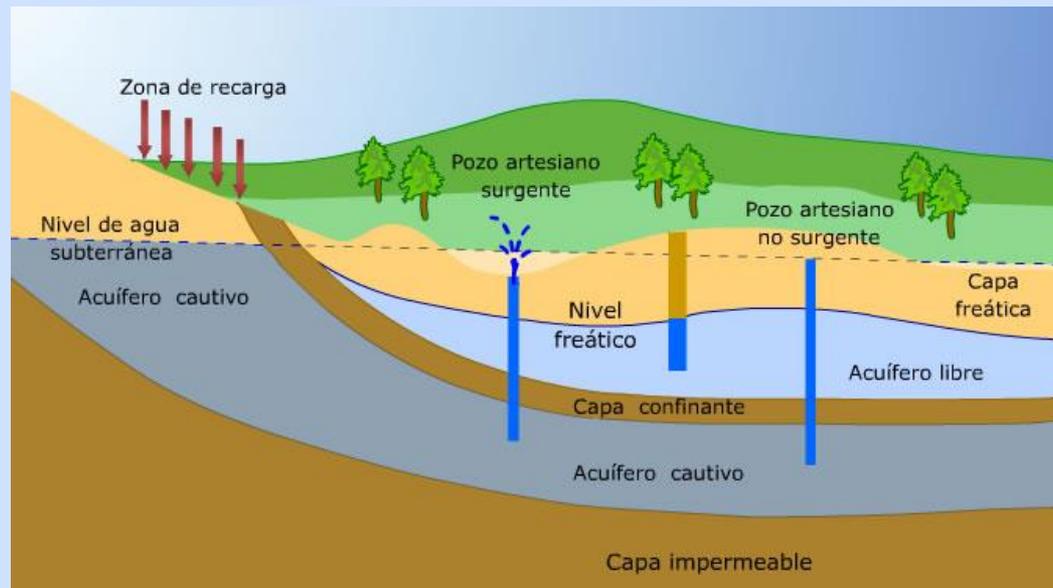


EDICIÓN 2024

TEMA: INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA



Alfonso Flaquer

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA)
Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay

aflaquer@fing.edu.uy

INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

Cronograma

5-May	6-May	7-May	8-May	9-May	10-May	11-May		PARCIALES
		Defensas Parte 1 de TRABAJO PRÁCTICO	FIN PARCIALES	Introducción Tipo de acuíferos Prospección	Propuesta Parte 2 de TRABAJO PRÁCTICO	DIA PIVOT		
12-May	13-May	14-May	15-May	16-May	17-May	18-May	9	CLASES
		Hidráulica de acuíferos Ley de Darcy		Hidráulica de acuíferos Ley de Darcy		FERIADO		
19-May	20-May	21-May	22-May	23-May	24-May	25-May	10	CLASES
		Ecuación de flujo Hidráulica de captaciones (Acuífero cautivo)		Acuífero cautivo	Adelanto Parte 2 de TRABAJO PRÁCTICO			
26-May	27-May	28-May	29-May	30-May	31-May	1-Jun	11	CLASES
		Acuífero libre y semiconfinado		Acuífero libre y semiconfinado				
2-Jun	3-Jun	4-Jun	5-Jun	6-Jun	7-Jun	8-Jun	12	CLASES
		Superposición de efectos		Superposición Campo de bombeo	Entrega Hojas 1 y 2 de Ejercicios de Hidrología Subterránea			
9-Jun	10-Jun	11-Jun	12-Jun	13-Jun	14-Jun	15-Jun	13	CLASES
		Ecuación característica de pozo y eficiencia		Hidroquímica del agua subterránea		Salida a Campo		
16-Jun	17-Jun	18-Jun	19-Jun	20-Jun	21-Jun	22-Jun	14	CLASES
		Construcción de pozos Diseño físico de pozos	FERIADO	Relación agua subterránea/superficial		Salida a Campo (Alternativa)		
23-Jun	24-Jun	25-Jun	26-Jun	27-Jun	28-Jun	29-Jun	15	CLASES
		Diseño hidrológico		Diseño hidrológico	Entrega Hojas 3 y 4 de Subterránea e Informe Salida Campo			
30-Jun	1-Jul	2-Jul	3-Jul	4-Jul	5-Jul	6-Jul		PARCIALES
				INICIO PARCIALES				
7-Jul	8-Jul	9-Jul	10-Jul	11-Jul	12-Jul	13-Jul		PARCIALES
						FIN PARCIALES		
14-Jul	15-Jul	16-Jul	17-Jul	18-Jul	19-Jul	20-Jul		PARCIALES
	FIN PARCIALES		DEFENSAS Parte 2 de TRABAJO PRÁCTICO	FERIADO				

INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

Objetivos

- ❖ Componente subterránea en el ciclo hidrológico
- ❖ Conceptos básicos sobre hidrología subterránea
- ❖ Mapas hidrogelógicos
- ❖ Caracterización de acuíferos

INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

La hidrología subterránea en el contexto del diseño hidrológico

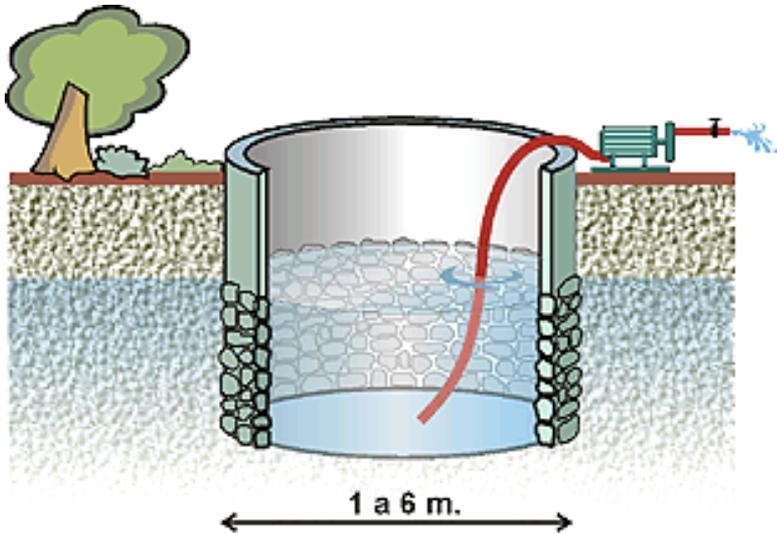
- ❖ Hidrología Subterránea es aquella parte de la hidrología que corresponde al almacenamiento, circulación y distribución de las aguas terrestres en la zona saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción del hombre. (Llamas, 1966).

INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

La hidrología subterránea en el contexto del diseño hidrológico

➤ Para su extracción o monitoreo, es necesaria la construcción de perforaciones:

-Pozos excavados

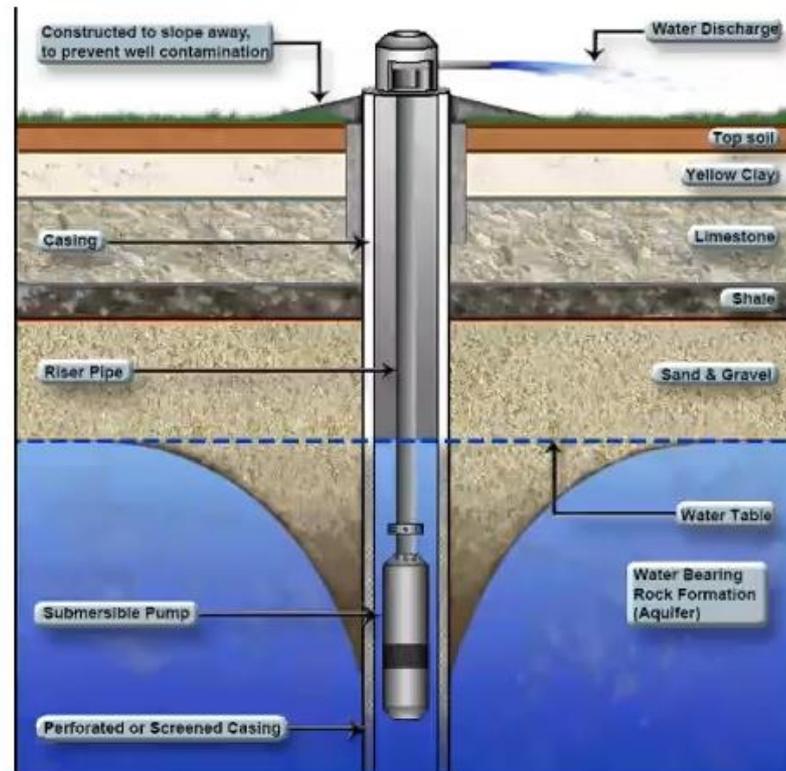


INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

La hidrología subterránea en el contexto del diseño hidrológico

➤ Para su extracción o monitoreo, es necesaria la construcción de perforaciones:

-Pozos perforados: Diámetro 2" a 14"



INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

La hidrología subterránea en el contexto del diseño hidrológico

Principales usos:

- Abastecimiento a poblaciones
- Agricultura / Ganadería / Industria
- Uso Recreativo (pozos termales)



INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

La hidrología subterránea en el contexto del diseño hidrológico

Principales usos:

- Abastecimiento a poblaciones
- Agricultura / Ganadería / Industria
- Uso Recreativo (pozos termales)

Ventajas:

- Bajos requerimientos de infraestructura (ideal en pequeñas poblaciones)
- Ahorro de costos de tratamiento del agua
- Menor variabilidad temporal en la disponibilidad del recurso (cantidad y calidad)
- Ahorro de conducciones en grandes superficies (abrevadero de ganado / riego)

INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

La hidrología subterránea en el contexto del diseño hidrológico

Principales usos:

- Abastecimiento a poblaciones
- Agricultura / Ganadería / Industria
- Uso Recreativo (pozos termales)

Desventajas:

- Disponibilidad en algunas zonas
- Sobreexplotación
- Afectación de caudales de manantiales y ríos, a otros usuarios, intrusión salina, desecación de humedales (procesos mas complejos de identificar)
- Difícil y caro control administrativo por la dispersión geográfica
- Necesidad de políticas de prevención para la protección de la calidad (más complejas que las de corrección aplicadas en las aguas superficiales)

INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

La hidrología subterránea en el contexto del diseño hidrológico

Otras Aplicaciones

- Recarga Artificial de acuíferos (cantidad)
 - Mediante Pozos
 - Con balsas de recarga

PERFIL TIPO DE UN DISPOSITIVO DE RECARGA ARTIFICIAL (CANAL) EN “CONTROL LATERAL” EN UNA ZONA REGABLE



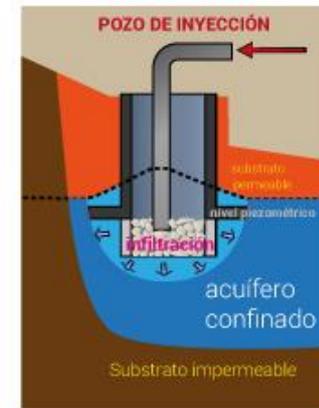
RECARGA DE ACUÍFEROS



NATURAL



SUPERFICIAL

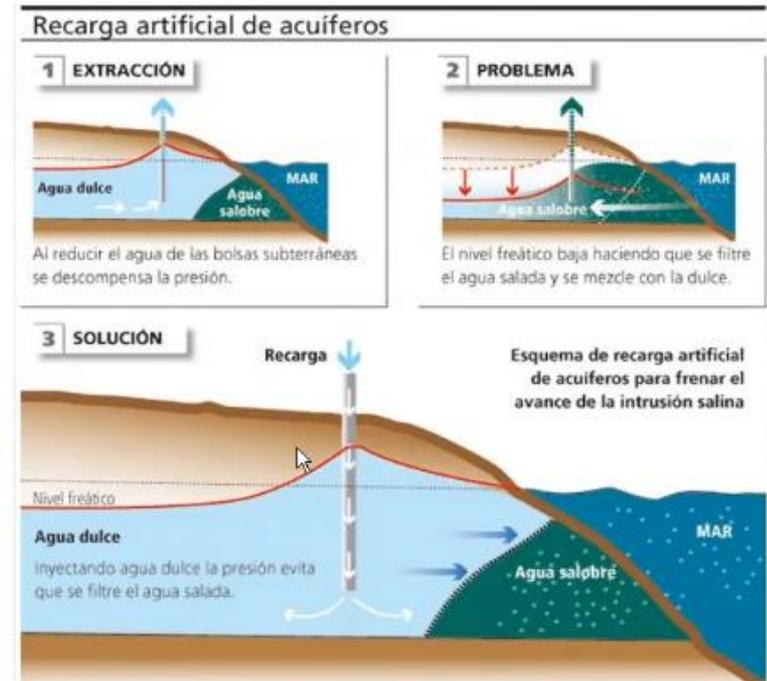


PROFUNDA

INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

La hidrología subterránea en el contexto del diseño hidrológico

Otras Aplicaciones • Remediación de Acuíferos (Intrusión Salina)

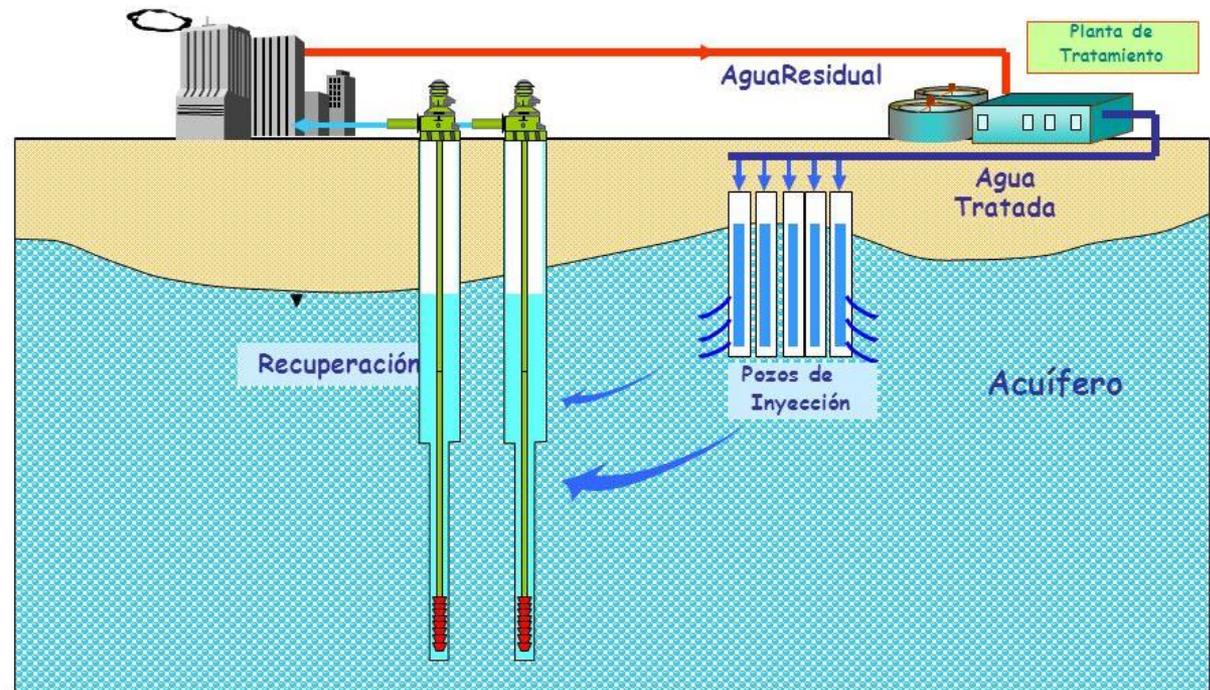


INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

La hidrología subterránea en el contexto del diseño hidrológico

Otras Aplicaciones • Recarga artificial de acuíferos (calidad)

SISTEMA DE RECIRCULACIÓN: Tratamiento-recarga artificial-tratamiento natural-recuperación



INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

La hidrología subterránea en el contexto del diseño hidrológico

Otras Aplicaciones • Recarga artificial de acuíferos (calidad / remoción de hierro y manganeso)

La extracción de agua subterránea bruta consiste en uno o más pozos ubicado aguas arriba de la cuenca de infiltración.



INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

La hidrología subterránea en el contexto del diseño hidrológico

Otras Aplicaciones • Recarga artificial de acuíferos (calidad)

El agua cruda se airea con el fin de oxidar el hierro divalente soluble (Fe^{2+}) y el manganeso tetravalente (Mn^{4+}).

El agua enriquecida con oxígeno se filtra a través de un filtro de arena antes de ser reinyectada al acuífero.

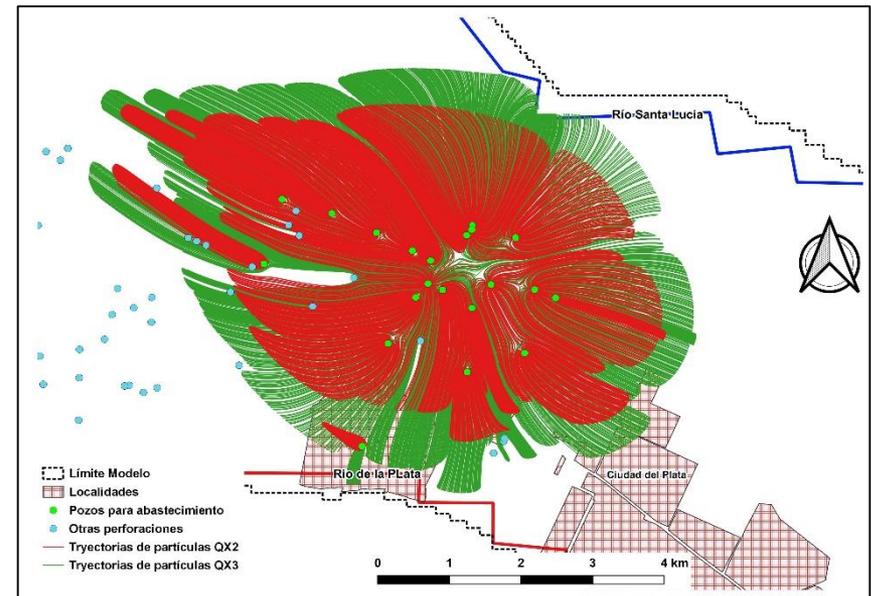
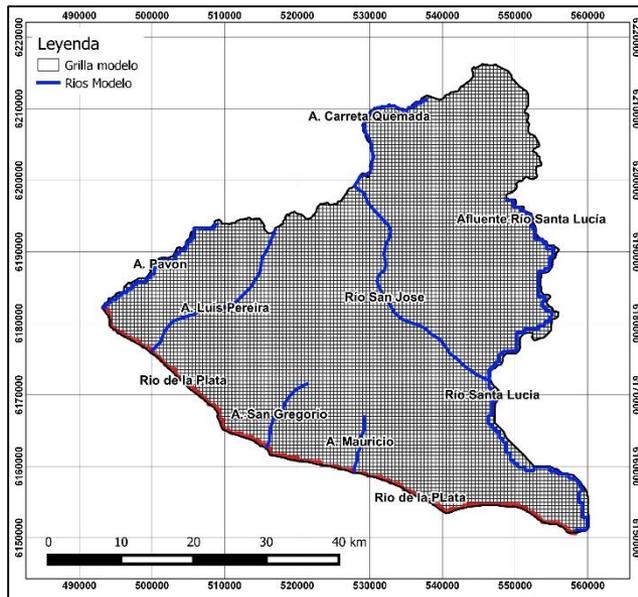
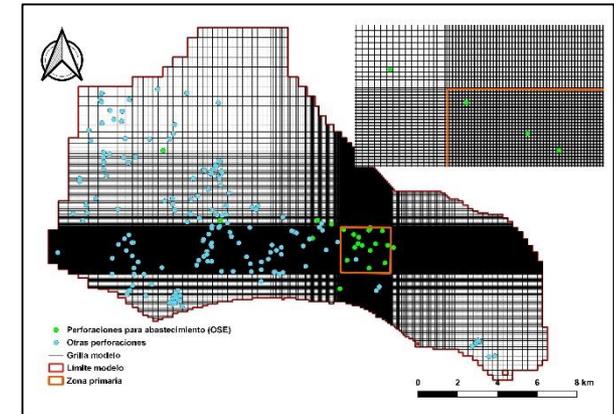
La parte superior del lecho del filtro de arena se convierte gradualmente en un ambiente adecuado para las “bacterias del hierro”, lo que mejora el proceso de precipitación.

El agua subterránea libre de hierro y manganeso se bombea desde uno o más pozos de suministro ubicados aguas abajo de la cuenca de infiltración.

INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

La hidrología subterránea en el contexto del diseño hidrológico

- La necesidad de gestionar el recurso:
 - Modelos de gestión de cantidad y calidad
 - Vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación
- Mapas Hidrogeológicos



INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

La hidrología subterránea en el contexto del diseño hidrológico

Para resolver los problemas anteriores y diseñar las obras necesarias o implementar un modelo de gestión, se requiere:

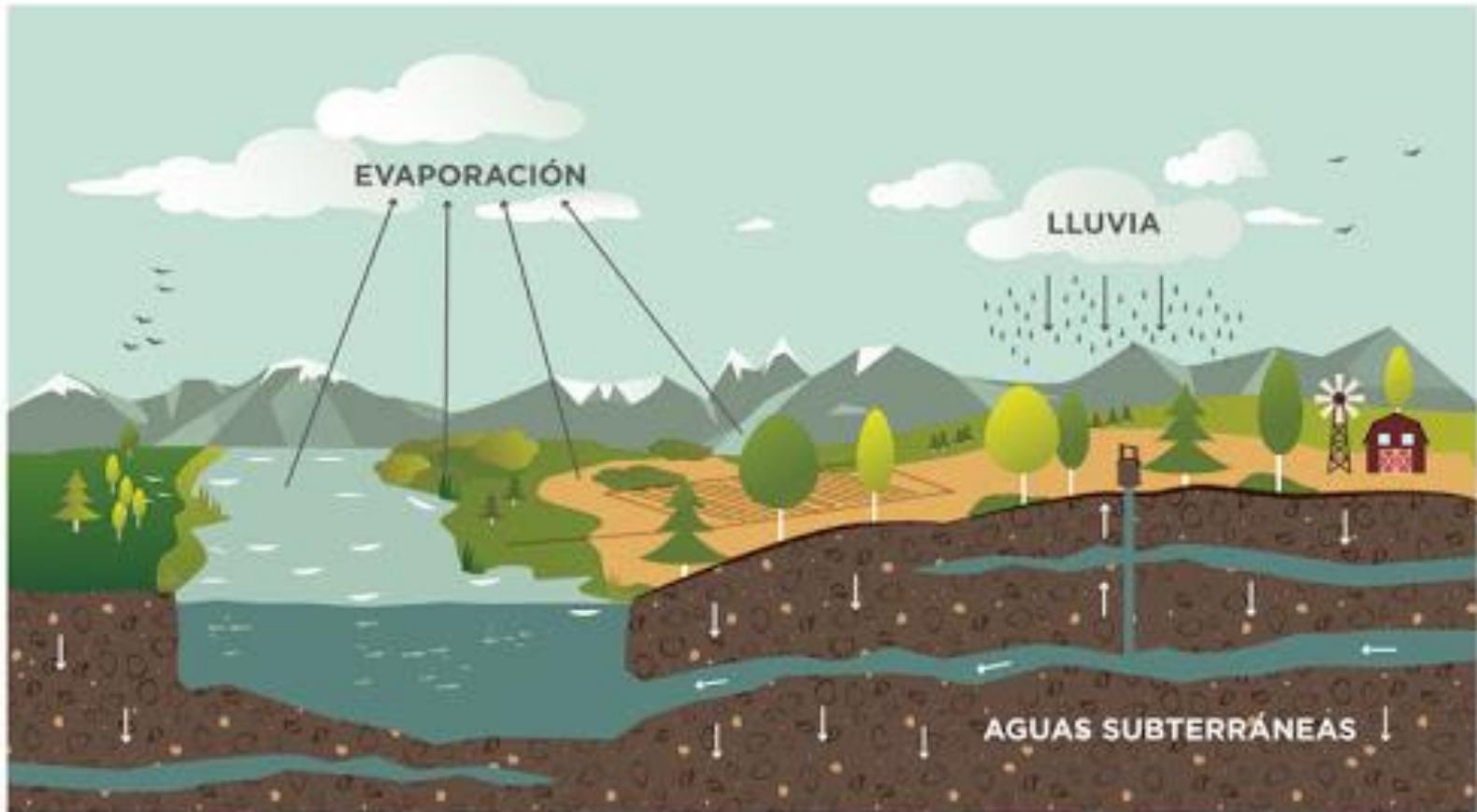
- Conocer el medio subterráneo, tipos de acuíferos, diseñar sistema de infiltración o recarga artificial

Modelo conceptual del acuífero

- Como se mueve el agua subterránea = Hidráulica de acuíferos
- Como se extrae el agua subterránea = Hidráulica de captaciones

INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

El agua subterránea en el ciclo hidrológico



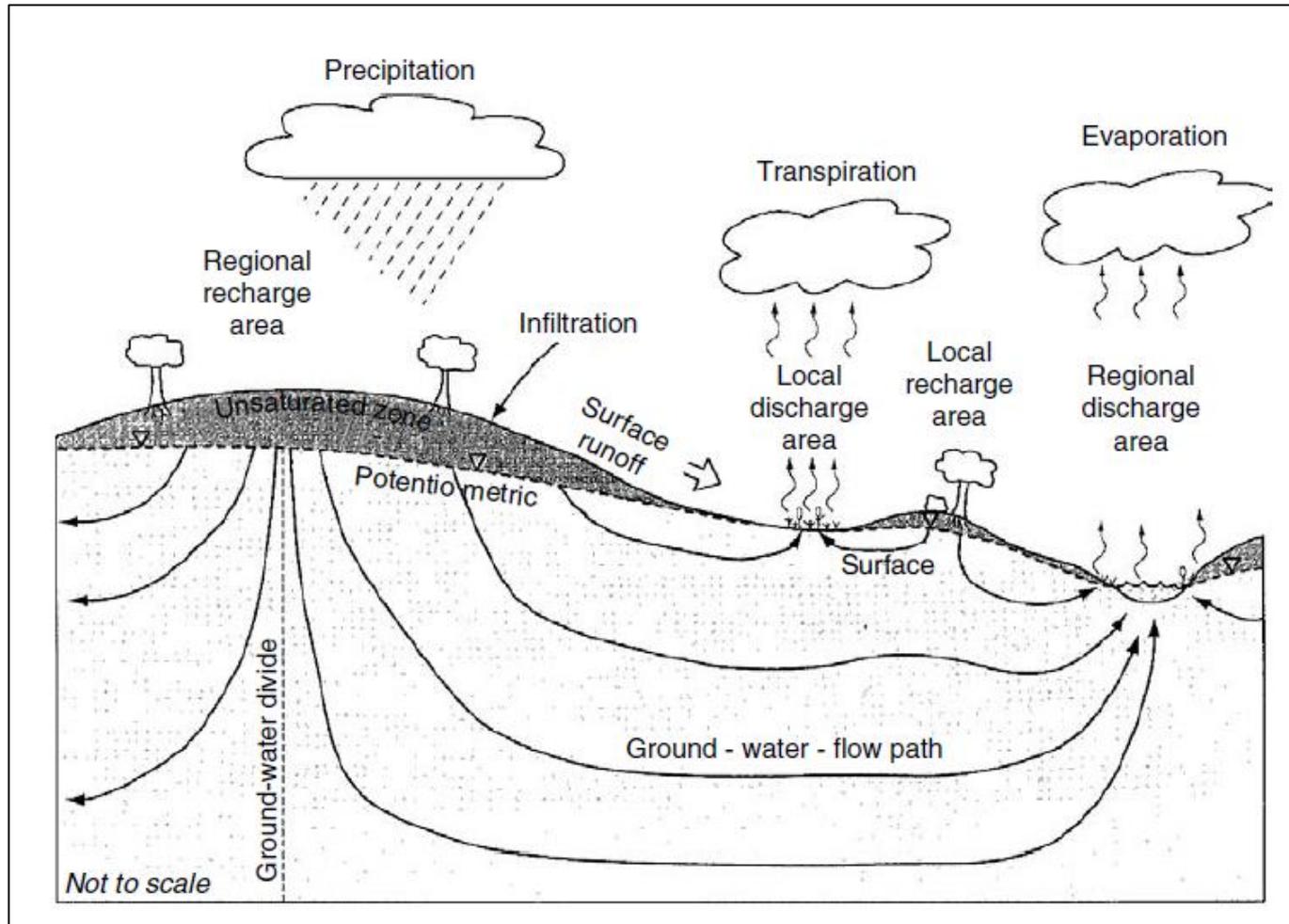
INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

El agua subterránea en el ciclo hidrológico

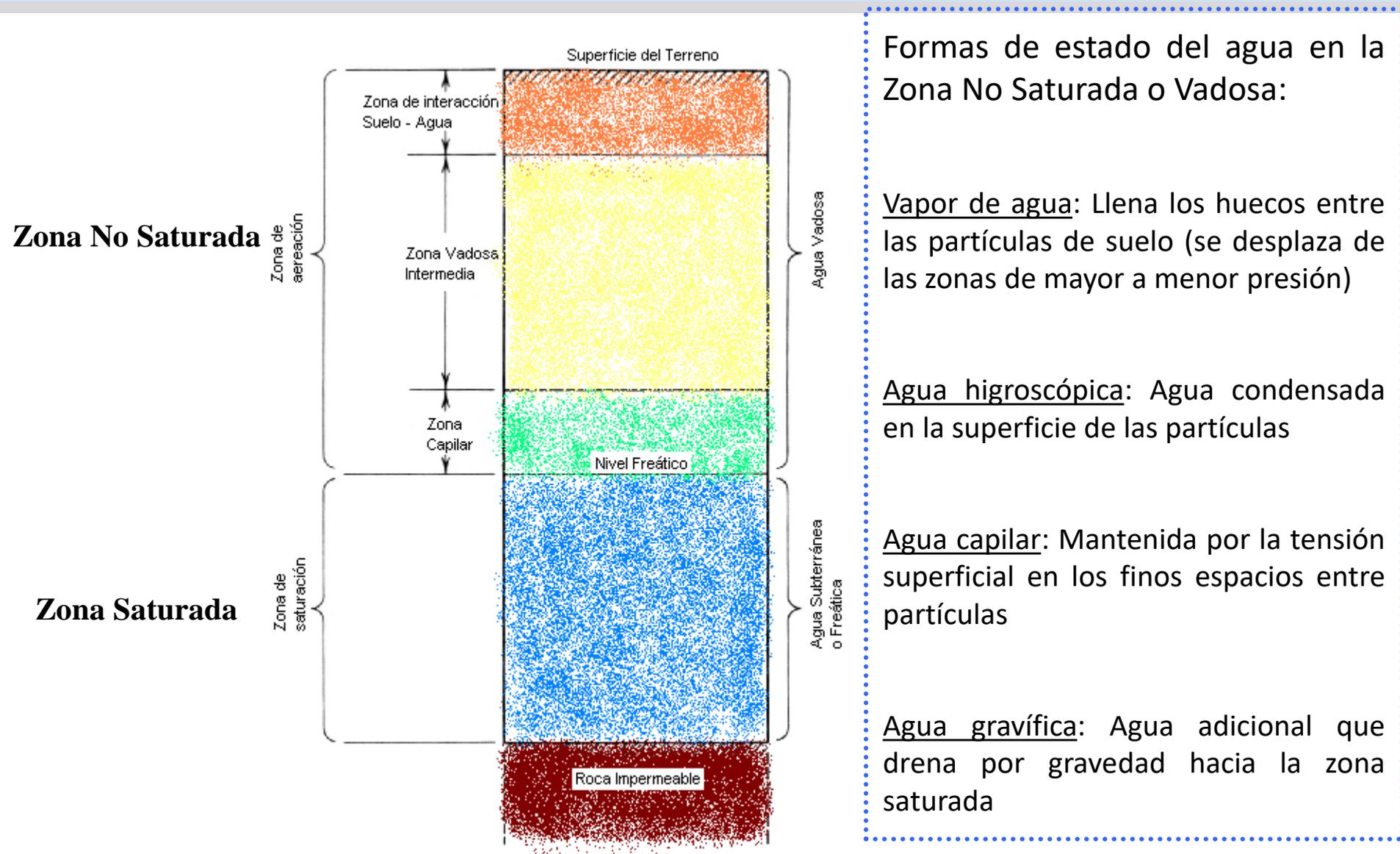
- ❖ Tiempos de residencia: decenas a miles de años
 - ❖ Ac. Raigón: tiempo medio 50 años
 - ❖ Ac. Guaraní: miles de años
- ❖ Velocidad de circulación del agua: cm/día – m/día
- ❖ Capacidad de almacenamiento (embalse subterráneo)

INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

El agua subterránea en el ciclo hidrológico



DISTRIBUCIÓN VERTICAL DEL AGUA EN EL SUELO



Formas de estado del agua en la Zona No Saturada o Vadosa:

Vapor de agua: Llena los huecos entre las partículas de suelo (se desplaza de las zonas de mayor a menor presión)

Agua higroscópica: Agua condensada en la superficie de las partículas

Agua capilar: Mantenido por la tensión superficial en los finos espacios entre partículas

Agua gravífica: Agua adicional que drena por gravedad hacia la zona saturada

DEFINICIONES

ACUÍFERO

Estrato o formación geológica que permite la circulación del agua por sus poros o grietas y su aprovechamiento en cantidades económicamente apreciables

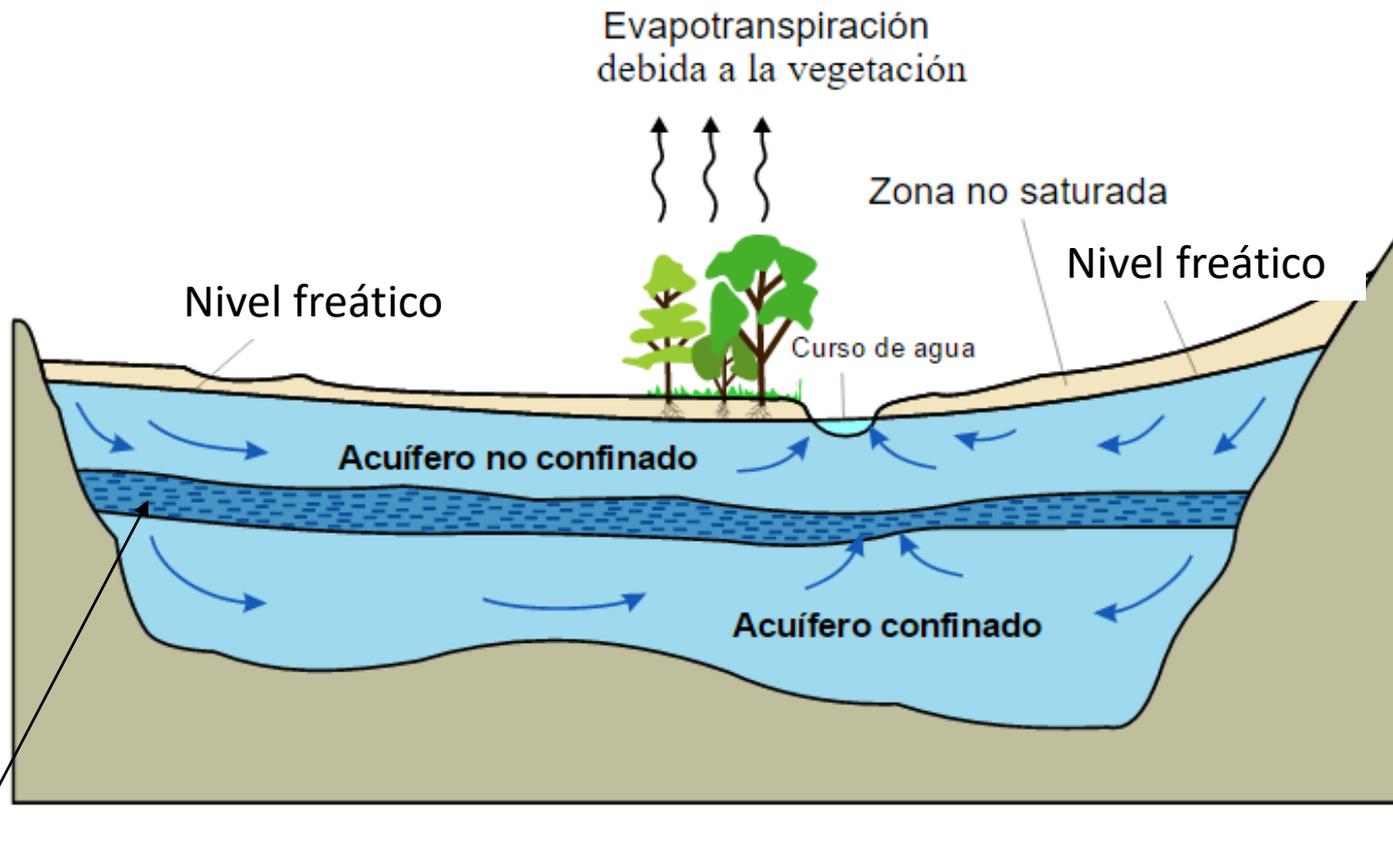
ACUITARDO

Formación geológica que, conteniendo apreciables cantidades de agua, la transmite muy lentamente. No son aptos para el emplazamiento de captaciones.

ACUICLUDO

Formación geológica que conteniendo agua en su interior no la transmite, haciendo imposible su explotación (arcillas en general).

DEFINICIONES



Acuitardo:

Pese a su baja permeabilidad permite el intercambio lento de agua entre los dos acuíferos

PROPIEDADES DEL MEDIO FÍSICO

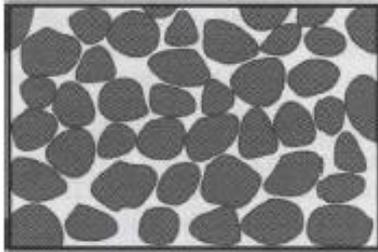
Porosidad:

- ❖ Las **rocas** contienen espacios vacíos a causa de su **proceso de formación**.
 - ❖ Los procesos físicos y químicos a los que son sometidas continuamente las descomponen y desagregan creando vacíos.
 - ❖ El movimiento de las capas superficiales de la Tierra rompe y fractura las rocas.
 - ❖ Los sedimentos están formados por el ensamble de granos de rocas individuales que deja espacios entre ellos llamados espacios entre poros.
- ❖ Las fracturas, los vacíos y el espacio entre poros son de gran importancia en Hidrogeología ya que el flujo de agua subterránea y la humedad del suelo se desarrollan en ellos.

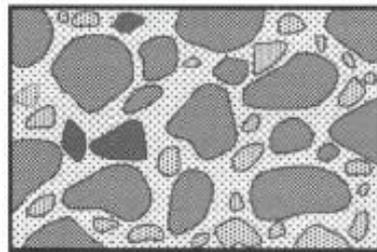
PROPIEDADES DEL MEDIO FÍSICO

Factores que inciden en la Porosidad:

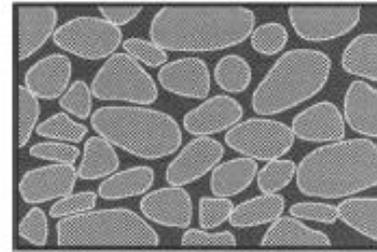
Forma, disposición y tamaño de los granos.



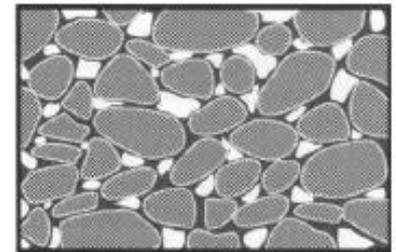
Bien ordenado



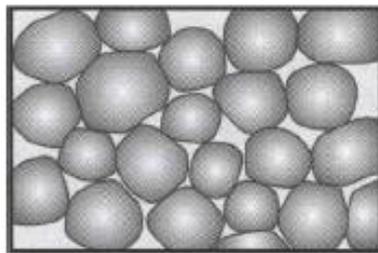
Pobremente ordenado



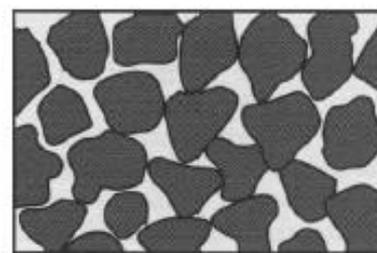
Cementado



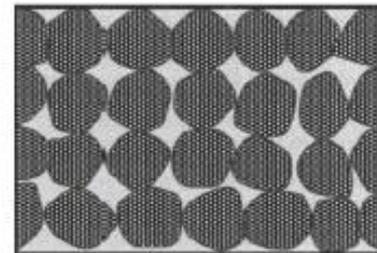
Poco cementado



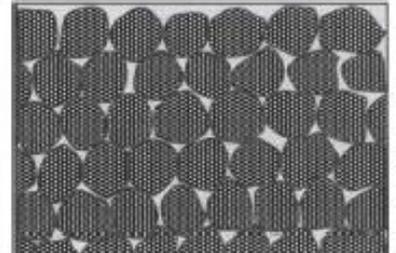
Redondeado



Subangular



Empaquetamiento
abierto



Empaquetamiento
cerrado

PROPIEDADES DEL MEDIO FÍSICO

Rangos de valores de Porosidad:

SEDIMENTOS	Porosidad (%)
Gravas gruesas	24-36
Gravas finas	25-38
Arenas gruesas	31-46
Arenas finas	26-53
Limos	34-61
Arcillas	34-60

ROCAS SEDIMENTARIAS	Porosidad (%)
Areniscas	5-30
Limolitas	21-41
Calizas, dolomias	0-40
Calizas kársticas	0-40
Pizarra	0-10

ROCAS CRISTALINAS	Porosidad (%)
Rocas cristalinas fracturadas	0-10
Rocas cristalinas densas	0-5
Basaltos	3-35
Granitos alterados	34-57
Gabros alterados	42-45

PROPIEDADES DEL MEDIO FÍSICO

Porosidad eficaz:

- ❖ La porosidad eficaz es aquella parte de huecos que contiene agua que se puede drenar por gravedad.
- ❖ Es la porosidad importante desde el punto de vista de la explotación del agua subterránea como recurso.
- ❖ Es una fracción a menudo pequeña de la porosidad total.
- ❖ Se determina a través de ensayos de laboratorio y puede definirse como:

$$m_e = 100 \frac{V_{vi}}{V_t}$$

Donde:

m_e es la porosidad eficaz [%], V_{vi} es el volumen de huecos interconectados [L3] y V_t es el volumen total [L3]

PROPIEDADES DEL MEDIO FÍSICO

Rangos de valores de Porosidad Eficaz:

MATERIAL	Porosidad (%)	Porosidad eficaz (%)
Anhidritas	0.5-5	0.05-0.5
Cretas	5-40	0.05-2
Calizas, dolomias	0-40	0.1-5
Areniscas	5-15	0.5-10
Pizarras	1-10	0.5-5
Sales	0.5	0.1
Granitos	0.1	0.0005

FORMACIONES GEOLÓGICAS

Tipos de formación geológica según su comportamiento como acuífero

Depósitos Aluviales: rocas no consolidadas, gravas y arenas, depositadas en valles, cauces de cursos existentes o antiguos, etc. El flujo es intergranular y la permeabilidad diversa, en función de la granulometría del material depositado.

Acuíferos Cársticos: resultado de la disolución y remoción del material de la roca carbonatada original. El flujo puede ser intergranular y/o por conductos, según el grado de consolidación y de disolución de la roca.

Acuíferos Volcánicos: el flujo se da a través de intersticios y fisuras generados por el enfriamiento rápido de la lava, vacuolos, cavidades entre coladas sucesivas o dejadas por árboles quemados.

Areniscas: arenas y gravas cementadas. La porosidad fue reducida por el cemento.

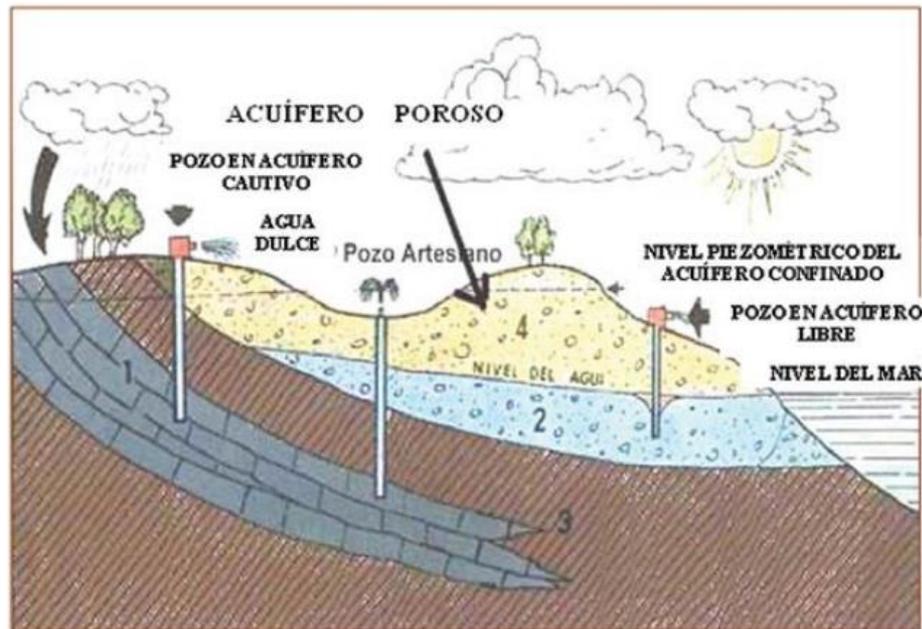
Rocas Ígneas (intrusivas) y Metamórficas: si están sanas son relativamente impermeables, pero en condiciones de meteorización o fracturación son aprovechables.

Arcillas: relativamente impermeables, pueden dar pequeños caudales para abastecimiento doméstico en pozos de gran diámetro.

TIPOS DE ACUIFEROS

Clasificación según el tipo de medio geológico:

- Acuíferos en medios porosos \longrightarrow Flujo a través de poros interconectados
- Acuíferos en medios fracturados \longrightarrow Flujo a través de grietas en la roca
- Acuíferos en medios cársticos \longrightarrow Flujo intergranular o por conductos



TIPOS DE ACUIFEROS

Clasificación según la presión hidrostática del agua contenida:

Acuífero libre: Superficie libre del agua por debajo del techo del acuífero, y por lo tanto a presión atmosférica.

Acuíferos cautivos o confinados: Agua sometida a una presión superior a la atmosférica.

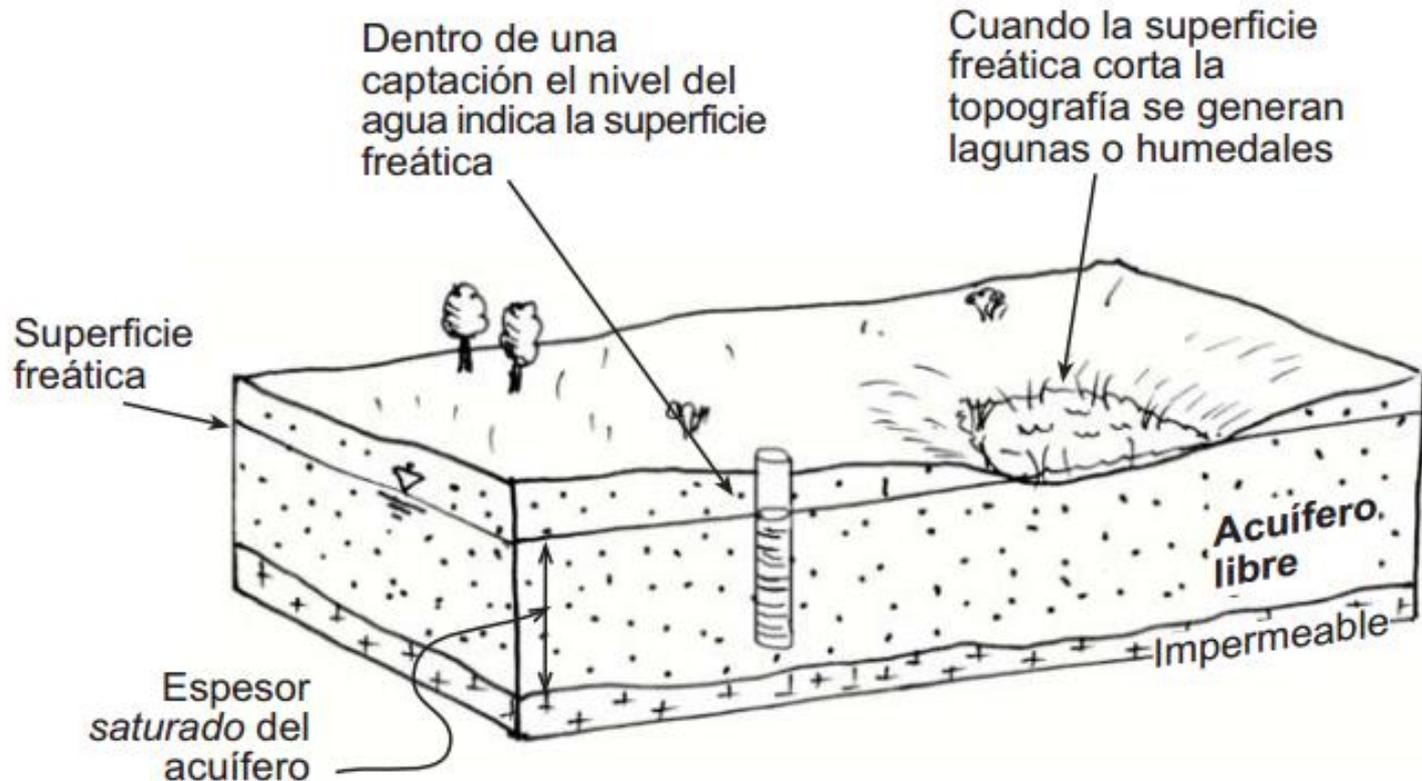
El agua ocupa la totalidad de los poros o huecos de la formación geológica que la contiene, saturándola completamente. Al perforar su techo, se observa un ascenso rápido del nivel de agua hasta la estabilización.

De acuerdo con este nivel y la posición de la cota geométrica de boca de pozo se tiene dos tipos de acuíferos: *surgentes* y *artesianos*.

Acuíferos semicautivos o semiconfinados: Acuíferos cautivos en los que el piso y/o el techo que los encierra no es totalmente impermeable (acuitardo). Su techo o piso permite infiltración vertical de agua lentamente y la alimentación del cuerpo principal.

TIPOS DE ACUIFEROS

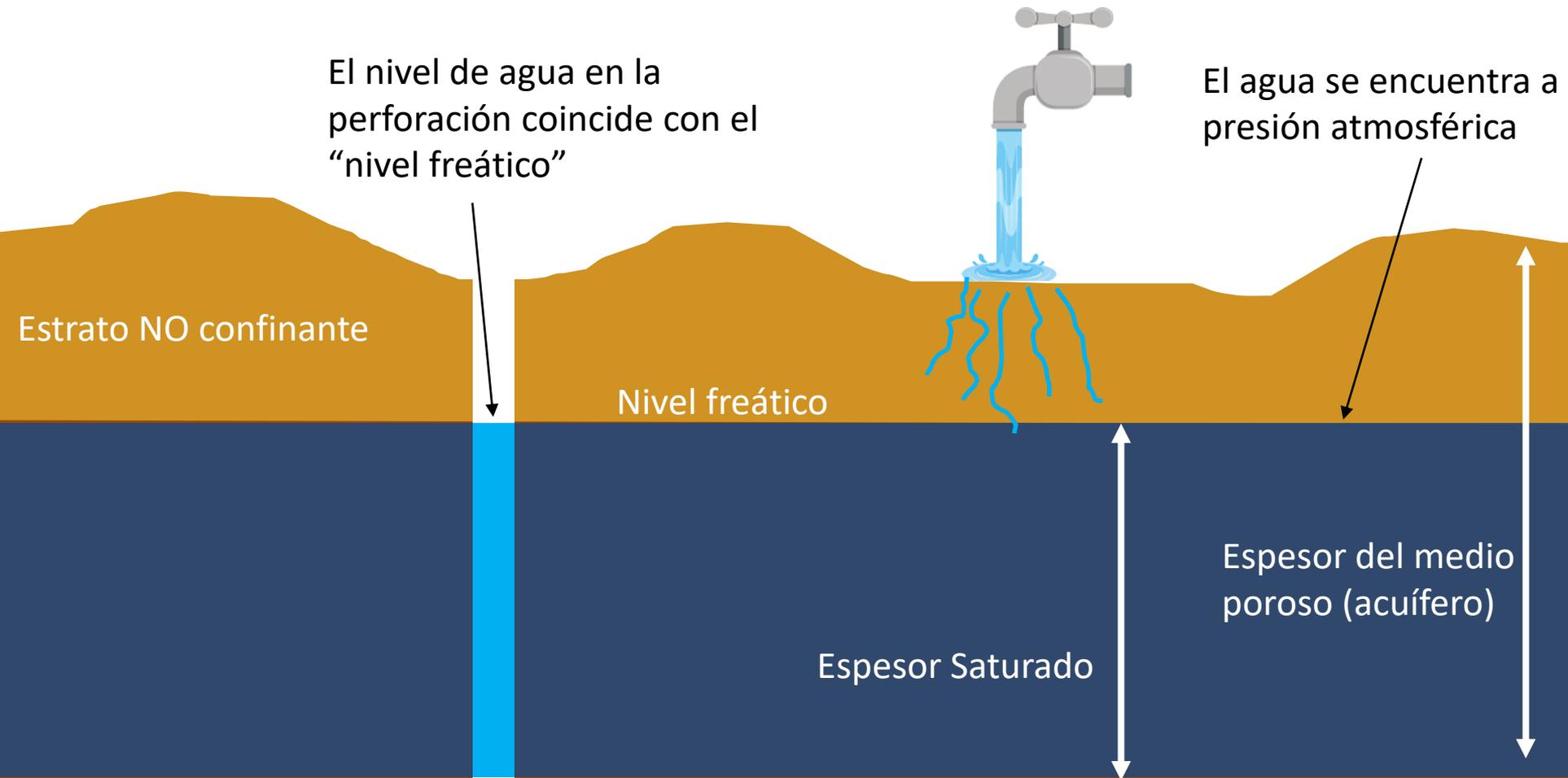
Acuífero libre:



- El agua se encuentra relleno de los poros o fisuras por gravedad.
- La superficie hasta donde llega el agua se llama **superficie o nivel freático**.

TIPOS DE ACUIFEROS

Acuífero libre:



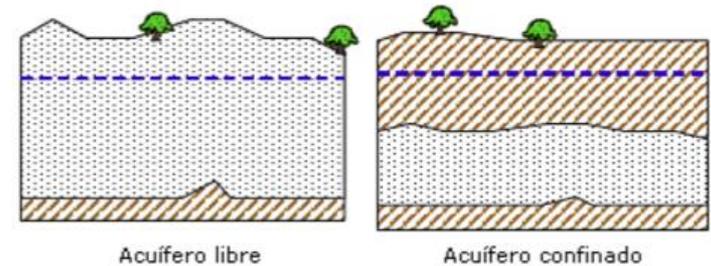
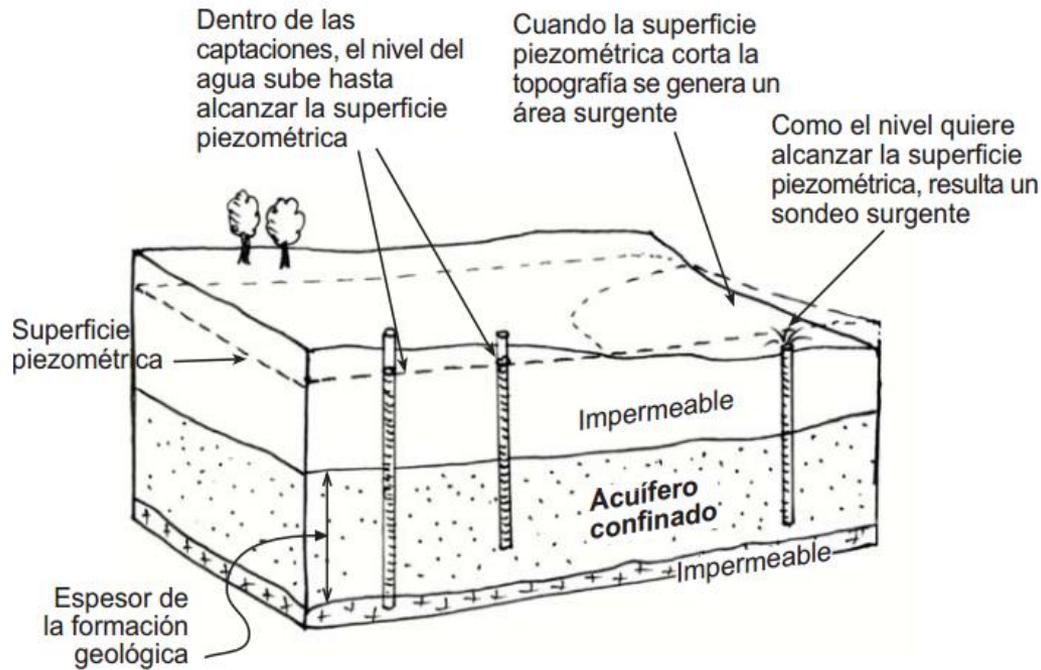
TIPOS DE ACUIFEROS

Acuíferos confinados:

- El agua se encuentra a presión.
- Si extraemos agua del acuífero, ningún poro se vacía, la extracción procede de la descompresión del agua y en menor medida de la compresión de la matriz sólida.
- La superficie virtual formada por los puntos que alcanzaría el agua si se hicieran infinitas perforaciones en el acuífero, se denomina **superficie piezométrica**.
- En un punto concreto, es decir en un pozo, se habla de **nivel piezométrico**.
- Cuando la superficie piezométrica está por encima de la superficie topográfica, se producen los **pozos surgentes** (refleja la altura de la presión del agua o potencial hidráulico).
- El caudal que puede proporcionar el pozo depende de la **Transmisividad (T)** y del **coeficiente de Almacenamiento (S)**.

TIPOS DE ACUIFEROS

Acuíferos confinados:



TIPOS DE ACUIFEROS

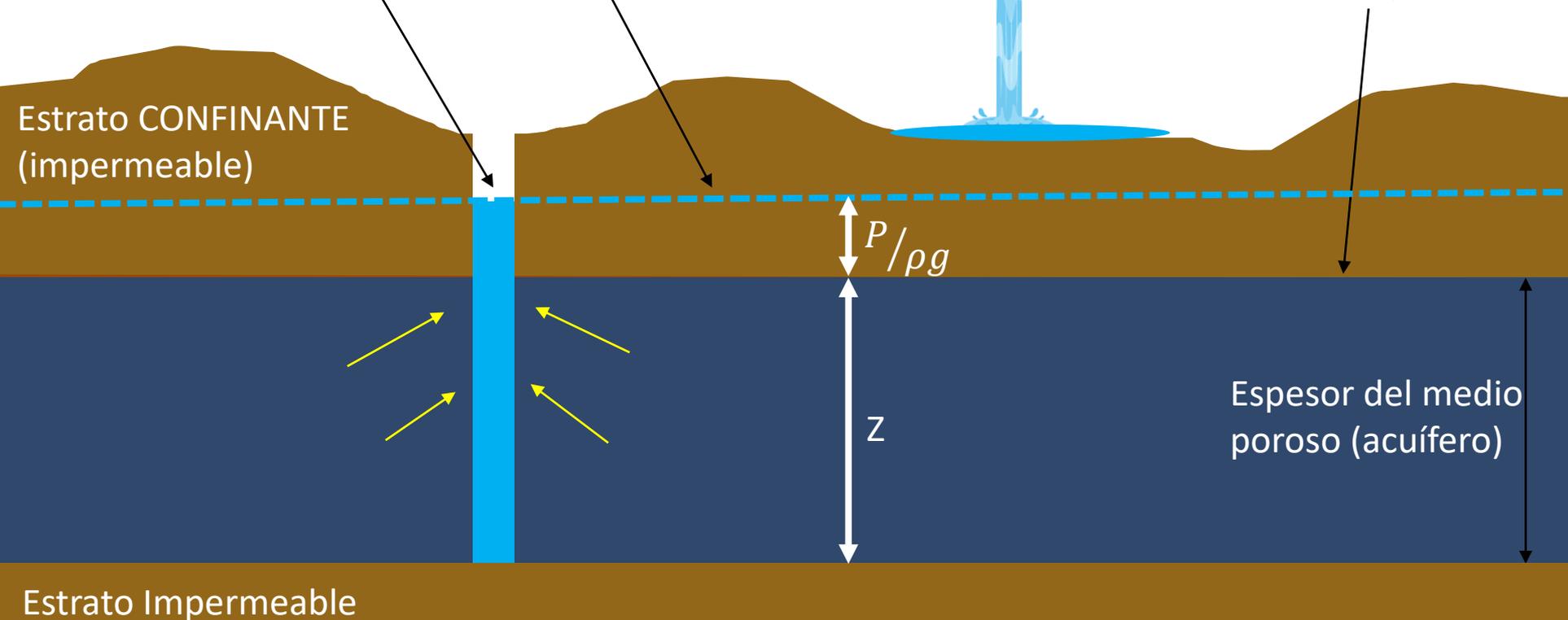
Acuíferos confinados:

Nivel Piezométrico
o "Carga"

$$H(m) = Z + P/\rho g + v^2/2g$$

El nivel de agua en la perforación asciende sobre el techo del acuífero.

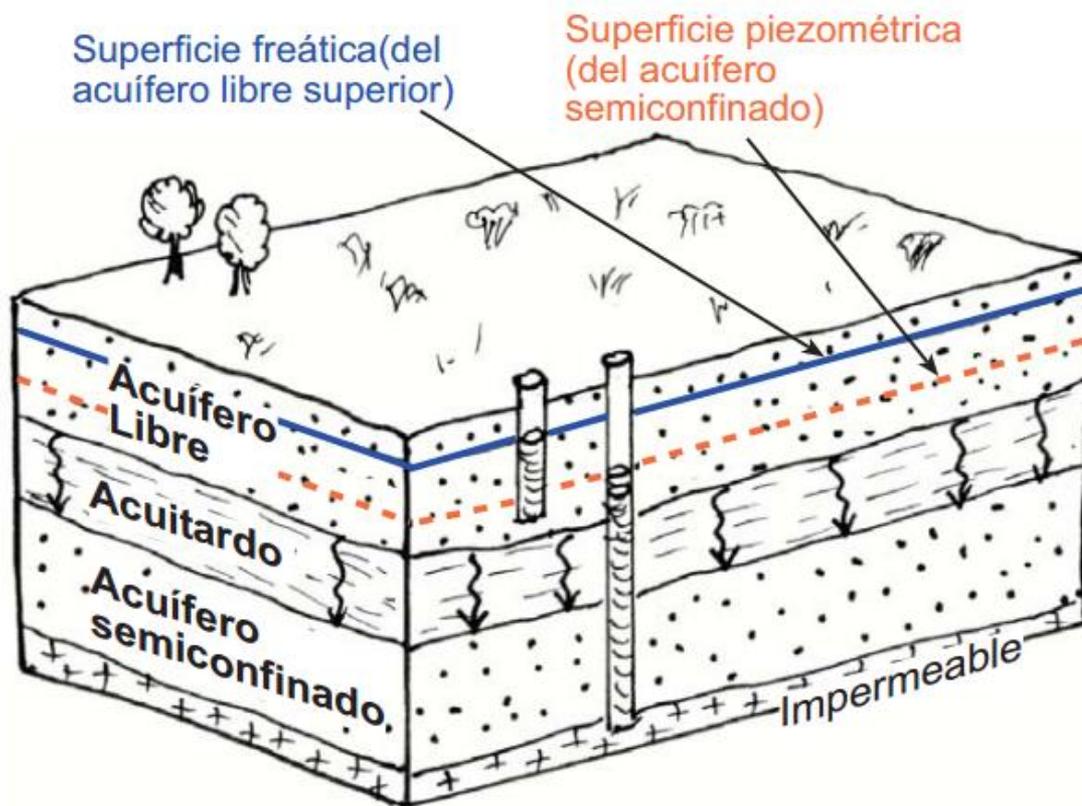
El agua está a presión
(El nivel piezométrico
está por sobre el techo del acuífero)



TIPOS DE ACUIFEROS

Acuíferos semicautivos o semiconfinados:

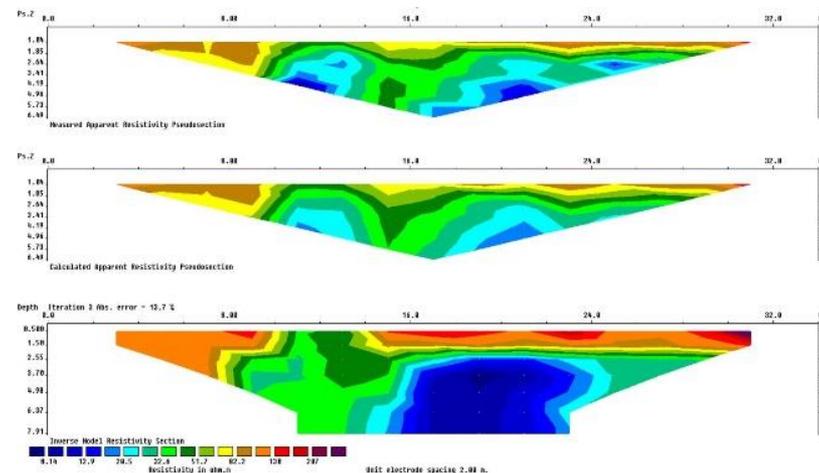
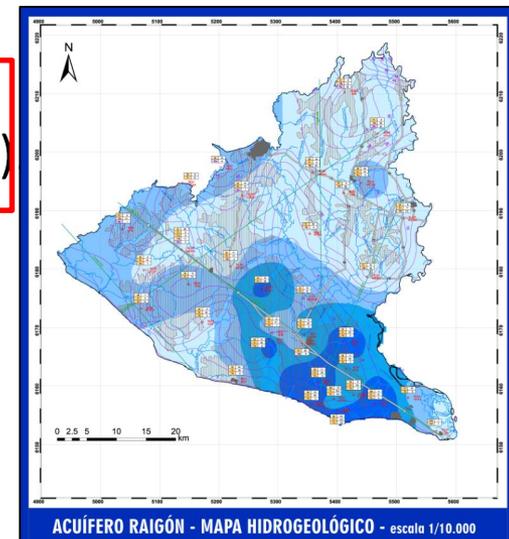
- Son acuíferos a presión pero que alguna de las capas confinantes son semipermeables, acuitardos, y a través de ellos le llegan filtraciones o rezumes.



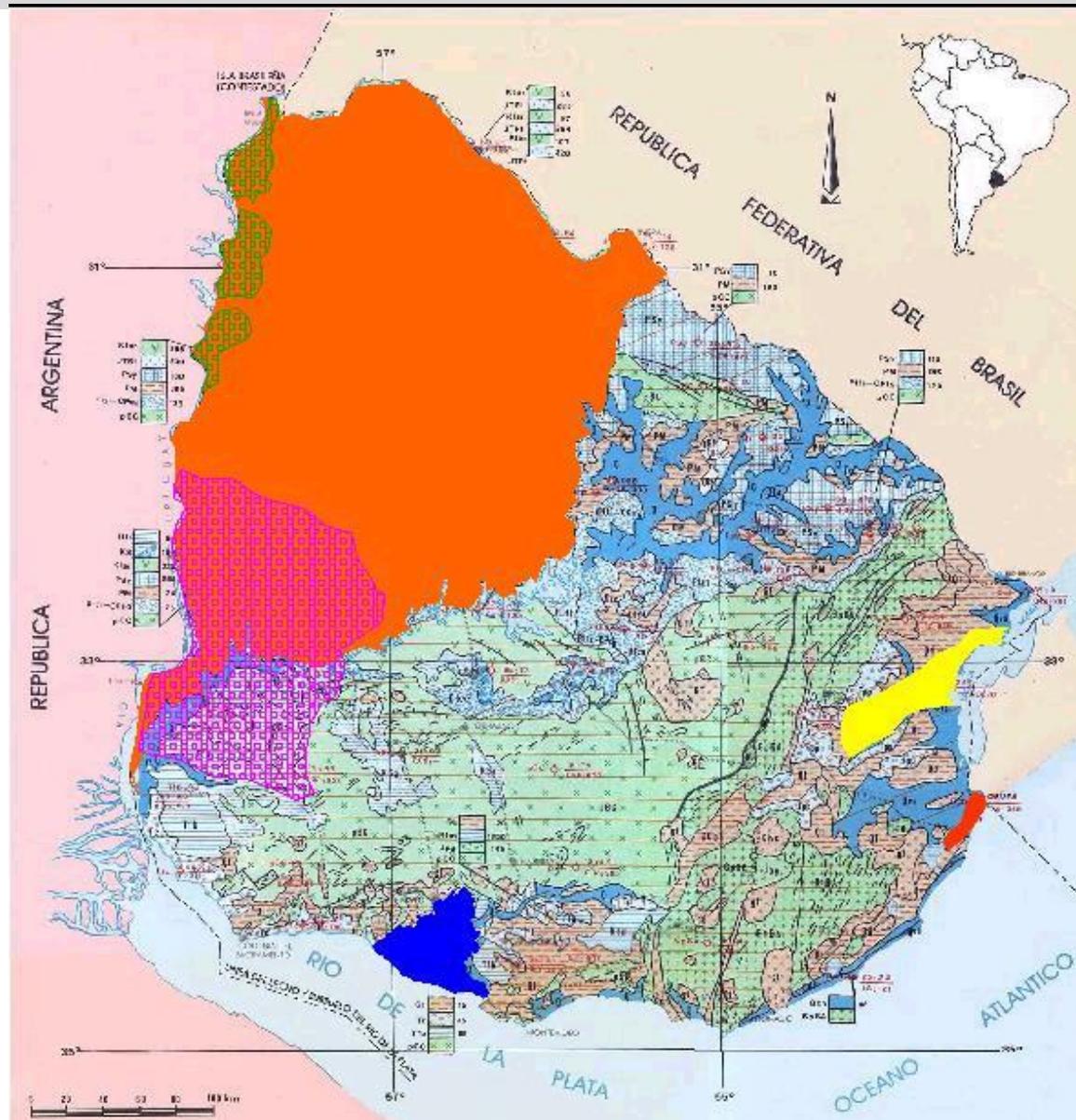
Disponibilidad de Agua Subterránea

1. Evaluación de la disponibilidad del recurso (Donde y Cuanto?)

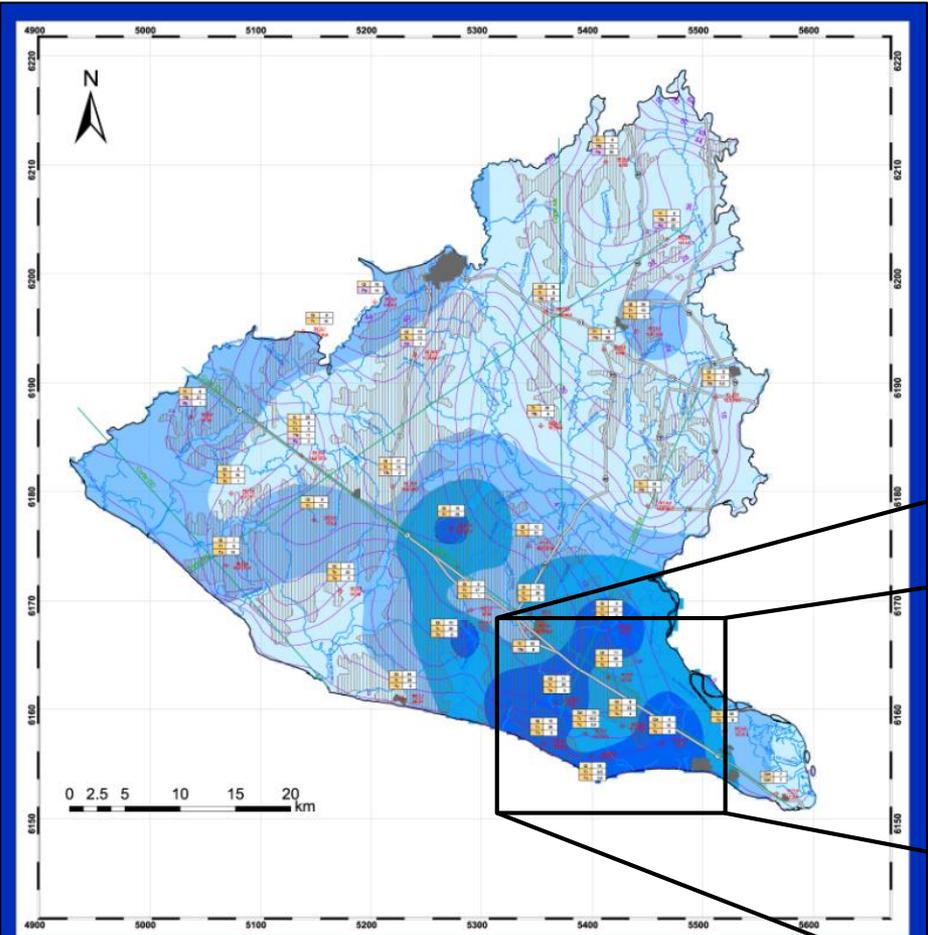
- Primera selección del sitio en base a información geológica, mapas hidrogeológicos (ojo con la escala)
- In situ, técnicas geofísicas como Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) / tomografía eléctrica
- Otros pozos en la zona / experiencias previas



ACUÍFEROS DEL URUGUAY



MAPA HIDROGEOLÓGICO



Información General

- Pozos representativos
- Red vial
- Red hidrográfica
- Cortes Geológicos
- Piezometría 2015
- Localidades
- Formación Libertad

Productividad

- < 2 m³/h/m
- 2 - 5 m³/h/m
- 5 - 9 m³/h/m
- > 9 m³/h/m

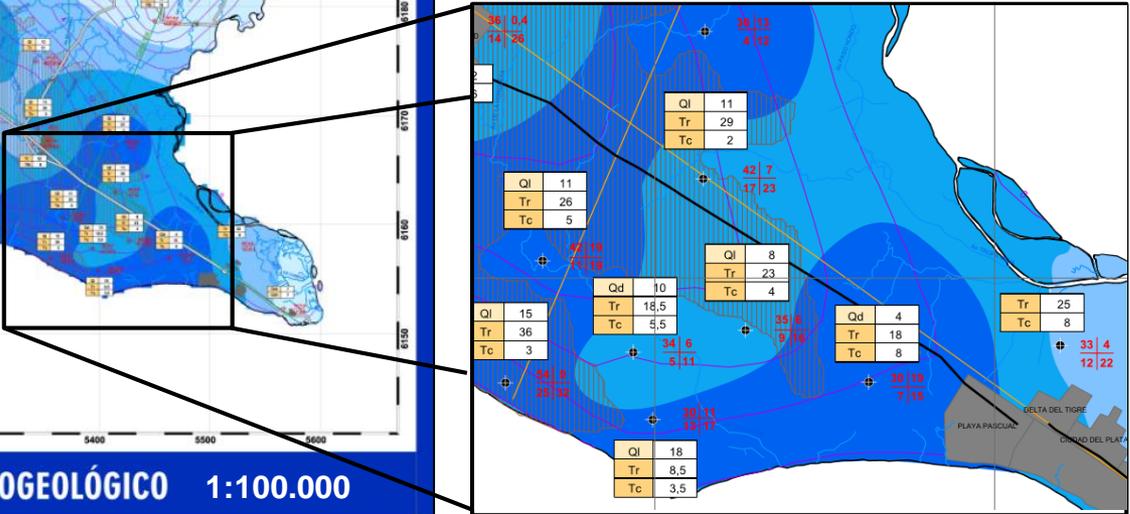
Información Geológica

- Q Cuaternario
- Qvs Cuaternario Villa Soriano
- Qd Cuaternario Dolores
- Qch Cuaternario Chuy
- Ql Cuaternario Libertad
- T Terciario
- Tr Raigón
- Tc Camacho
- Tfb Fray Bentos
- Pp Paleoproterozoico

Información de Pozos

1	2	1 Profundidad de Pozo (m)
2	3	2 Caudal específico (m ³ /h/m)
3	4	3 Nivel Estático (m)
4		4 Nivel Dinámico (m)

Ql	10	Perfil esquemático indicando las unidades hidrogeológicas y los espesores en metros.
Tr	26	
Tc	8	

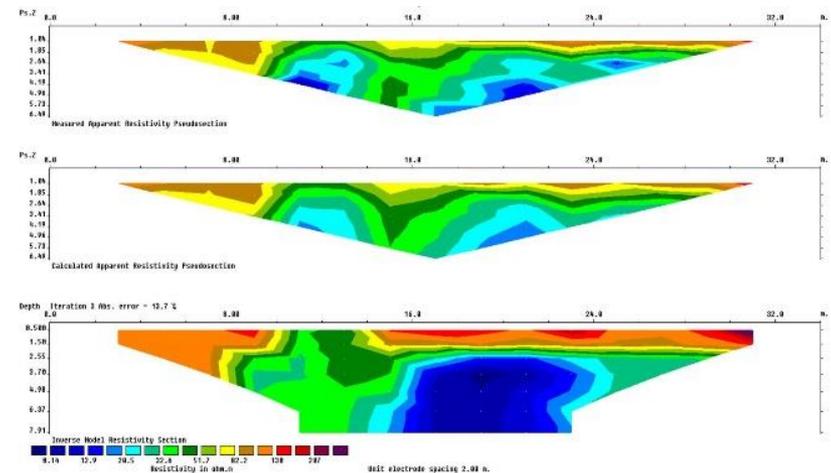
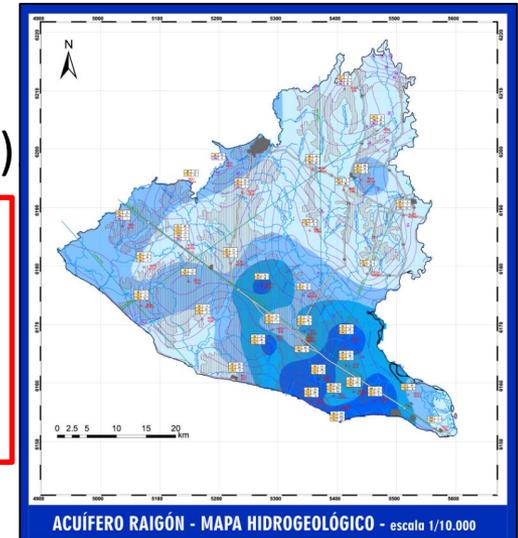


ACUÍFERO RAIGÓN - MAPA HIDROGEOLÓGICO 1:100.000

Disponibilidad de Agua Subterránea

1. Evaluación de la disponibilidad del recurso (Donde y Cuanto?)

- Primera selección del sitio en base a información geológica, mapas hidrogeológicos (ojo con la escala)
- In situ, técnicas geofísicas como Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) / tomografía de resistividad eléctrica
- Otros pozos en la zona / experiencias previas



Geofísica aplicada a la Hidrogeología

Objetivo:

- Conocer el perfil del subsuelo y viabilidad de extracción de agua subterránea

Los métodos geofísicos permiten:

- Determinar de manera rápida, económica y sencilla las propiedades físicas del terreno
- Inferir la estratigrafía de los materiales, la disposición de heterogeneidades o fallas,

Ventajas de los métodos geofísicos

- Simplicidad de ejecución
- Menores costos frente a otras técnicas de prospección como ser la realización de cateos mecánicos o sondeos de exploración.

En general, las técnicas utilizadas para el estudio del agua subterránea son técnicas geofísicas someras. Las principales en Uruguay son:

- Sondeo eléctrico vertical (eléctrica)
- Tomografía de resistividad eléctrica (eléctrica)

Geofísica aplicada a la Hidrogeología

Sondeo Eléctrico Vertical (SEV):

El método consiste en inyectar corriente al terreno mediante dos electrodos que son clavados en el mismo, conocidos como A y B; el campo eléctrico así generado se monitorea a través de mediciones de diferencias de potencial ΔV entre otros dos electrodos, conocidos como M y N.

Dadas las propiedades eléctricas de los materiales que constituyen del subsuelo varía el comportamiento ante el paso de corriente eléctrica.

Los suelos gruesos o rocosos se caracterizan por presentar una alta resistividad, mientras que las zonas arcillosas o con altos contenidos de humedad y sales corresponden con anomalías de baja resistividad.



Geofísica aplicada a la Hidrogeología

Sondeo Eléctrico Vertical (SEV):

El cociente de la corriente inyectada I entre la diferencia de potencial ΔV multiplicado por la constante geométrica del arreglo empleado K (ej: Wenner o Schlumberger), determina el valor del parámetro medido conocido como resistividad aparente, en unidades ohm-m ($\Omega \cdot m$) y que físicamente representa la dificultad que encuentra la corriente eléctrica para fluir a través de un material.

Midiendo I con un amperímetro y ΔV con un voltímetro, además de conocida la posición de los puntos A, B, M y N, podemos determinar el valor de la resistividad del terreno ρ como:

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I}$$

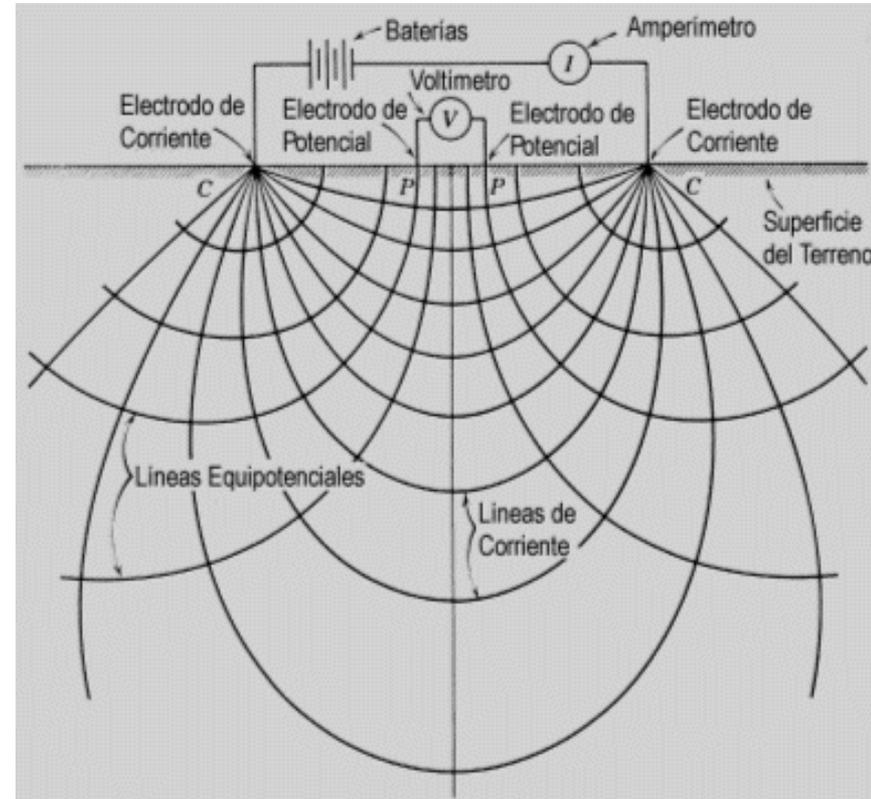


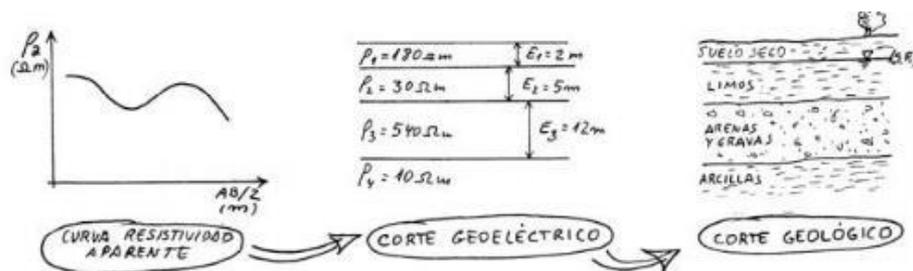
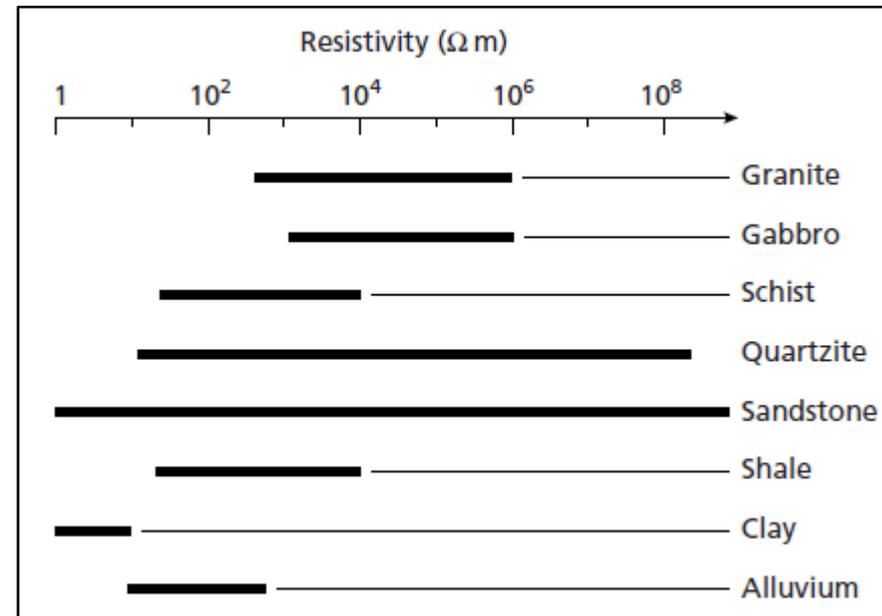
Figura 9. Esquema conceptual del método SEV.

Geofísica aplicada a la Hidrogeología

Sondeo Eléctrico Vertical (SEV):

La siguiente tabla muestra valores de referencia de resistividades eléctricas para distintos materiales.

Resistividad de algunos materiales en Ωm			
Aguas subterráneas en granito	20-100	Calizas y areniscas	50-3000
Aguas subterráneas en caliza	20-50	Pizarras	50-300
Aguas salobres	1-10	Rocas hipogénicas y metamórficas	100-10000
Aguas superficiales	20-300		
Agua del mar	<0,2	Gravas	100-10000
Agua destilada	>500	Arenas	130-1000
Arcillas y magras	10-100	Limos	30-500



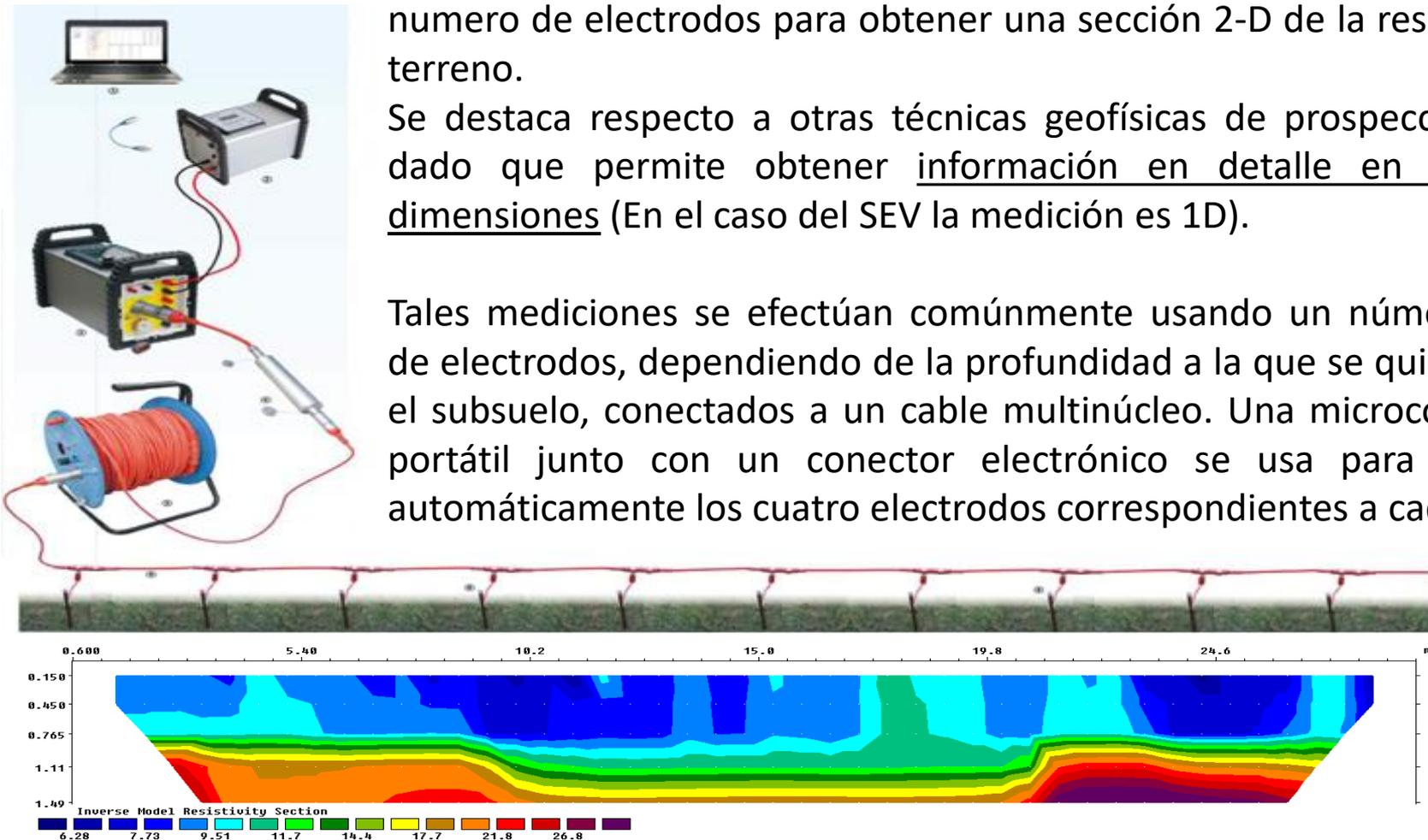
Geofísica aplicada a la Hidrogeología

Tomografía de resistividad eléctrica (TRE):

El principio es similar al utilizado en el SEV, pero utilizando un gran número de electrodos para obtener una sección 2-D de la resistividad del terreno.

Se destaca respecto a otras técnicas geofísicas de prospección somera dado que permite obtener información en detalle en dos y tres dimensiones (En el caso del SEV la medición es 1D).

Tales mediciones se efectúan comúnmente usando un número variable de electrodos, dependiendo de la profundidad a la que se quiera explorar el subsuelo, conectados a un cable multinúcleo. Una microcomputadora portátil junto con un conector electrónico se usa para seleccionar automáticamente los cuatro electrodos correspondientes a cada medida.



Geofísica aplicada a la Hidrogeología

Tomografía de resistividad eléctrica (TRE):

Un software de inversión transforma los valores de resistividades aparentes obtenidas en campo a valores de resistividad real.

Estas técnicas de inversión se basan en realizar un proceso iterativo para obtener un modelo de resistividades reales, tal que el modelo de resistividades aparentes que genera sea similar a la pseudosección de resistividades aparentes medidas en campo.



Figura 12. Amado de tomografía eléctrica en campo. Fuente sitio web GEOMATIVE.

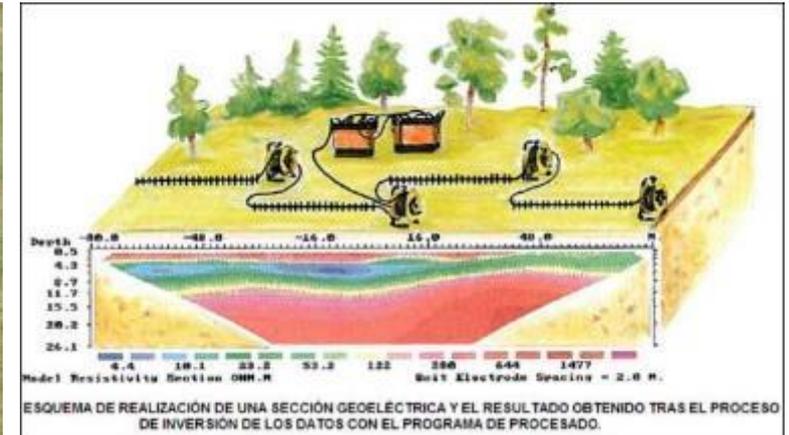
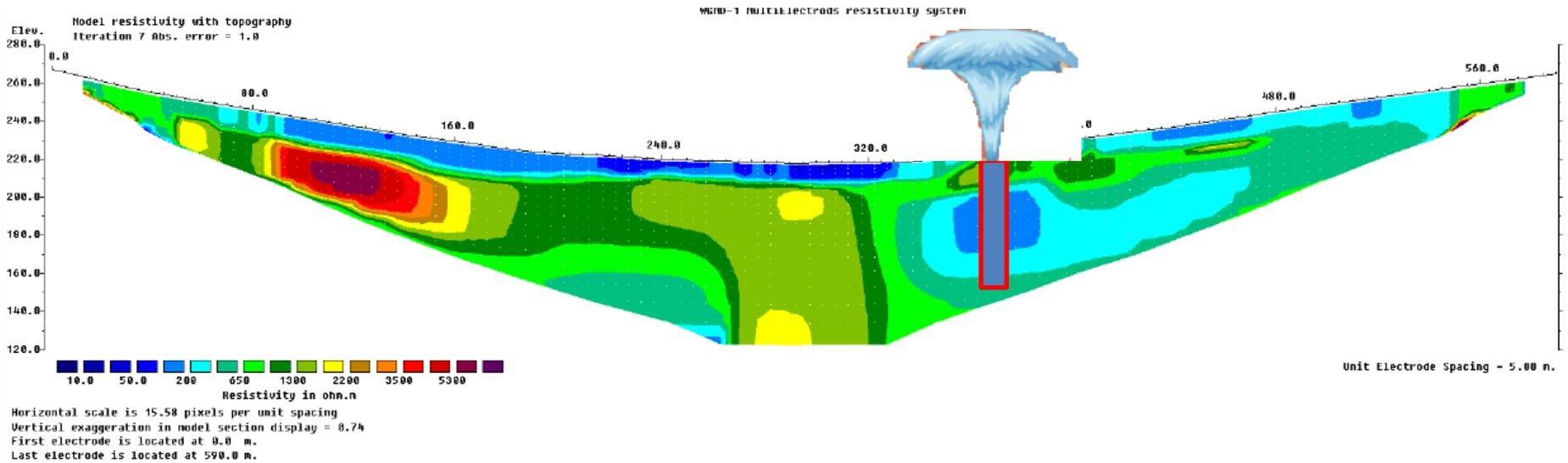


Figura 13. Esquema de realización de una sección geoelectrica y el resultado obtenido tras el proceso de inversión de los datos con el software correspondiente. Fuente: <http://geotecniayproyectos.blogspot.com>.

Geofísica aplicada a la Hidrogeología

Tomografía de resistividad eléctrica (TRE):



BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Custodio, E., & Llamas, M. R. (1983). Hidrogeología subterránea. Ed. *Omega*, 2.
- ❖ Escuder, R., Fraile, J., Jordana, S., Ribera, F., Sánchez-Vila, X., & Vázquez-Suñé, E. (2009). Hidrogeología. *Conceptos básicos de Hidrología Subterránea. Publicado por la Fundación Internacional de Hidrología Subterránea (FCIHS), Barcelona, España. Editor: Comisión Docente Curso Internacional de Hidrología Subterránea, 768.*
- ❖ Fetter, C. W. (2018). *Applied hydrogeology*. Waveland Press.
- ❖ Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater* (No. 629.1 F7).
- ❖ Minshull, T. A. (2003). KEAREY, P., BROOKS, M. & HILL, I. 2002. An Introduction to Geophysical Exploration, ix+ 262 pp. Oxford: Blackwell Science