

CURSO DE AGUAS SUBTERRANEAS

PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE LOS ACUÍFEROS

Mario Valencia Cuesta

Geólogo

AGUAS SUBTERRÁNEAS LTDA.

aguassubterraneas@gmail.com,

www.aguassub.com,





LAS PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE LOS ACUÍFEROS

CONTENIDO:

1. Flujo Subterráneo hacia un Pozo
2. El Cono de Depresión
3. Propiedades Hidráulicas de un Pozo
4. Propiedades Hidráulicas de un Acuífero
5. Ley de Darcy
6. Capacidad Específica
7. Transmisividad
8. Coeficiente de Almacenamiento
9. Radio de influencia
10. Producciones Típicas de varios Acuíferos

Distribución del Flujo Subterráneo hacia un pozo de Bombeo de Aguas Subterráneas

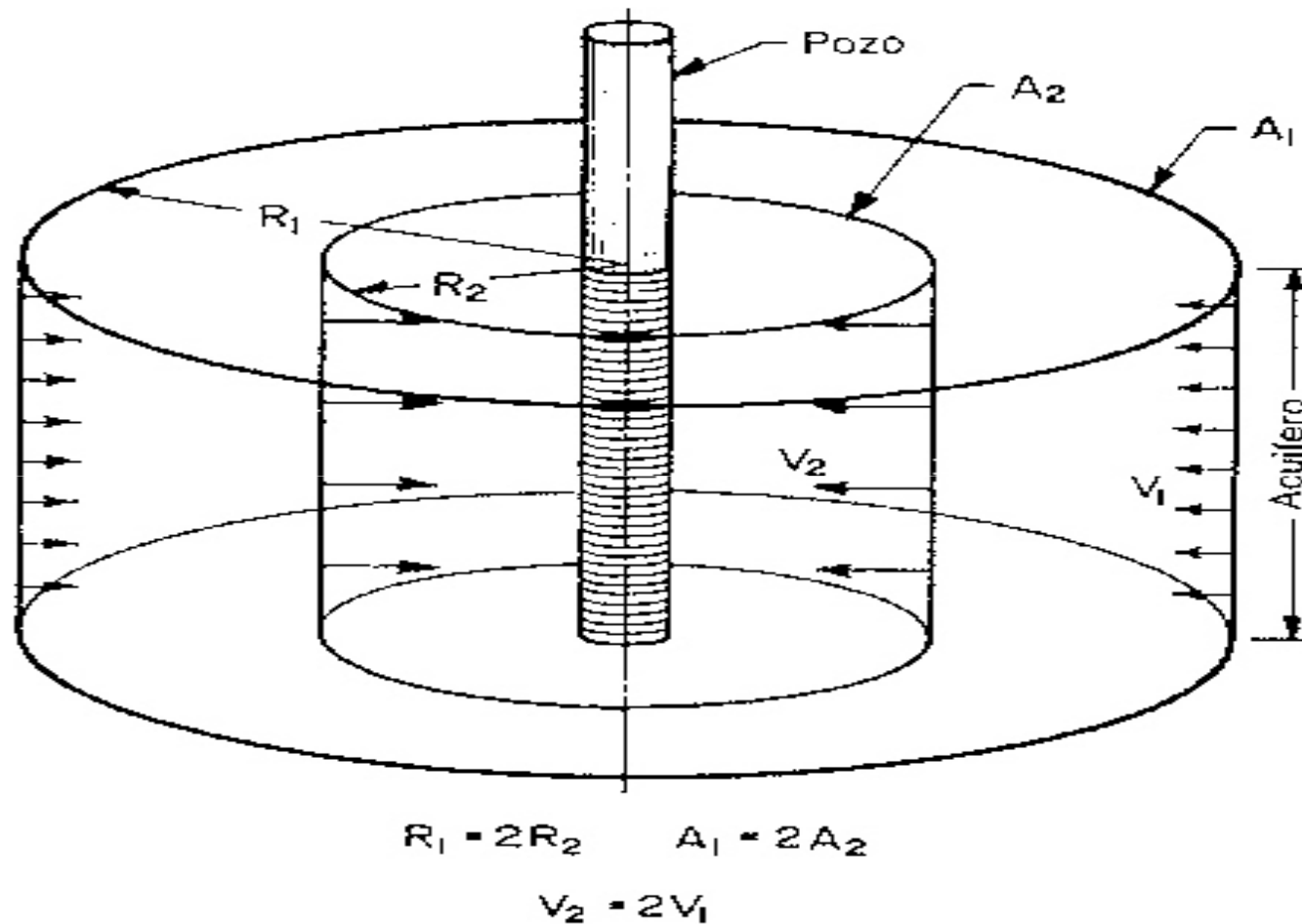
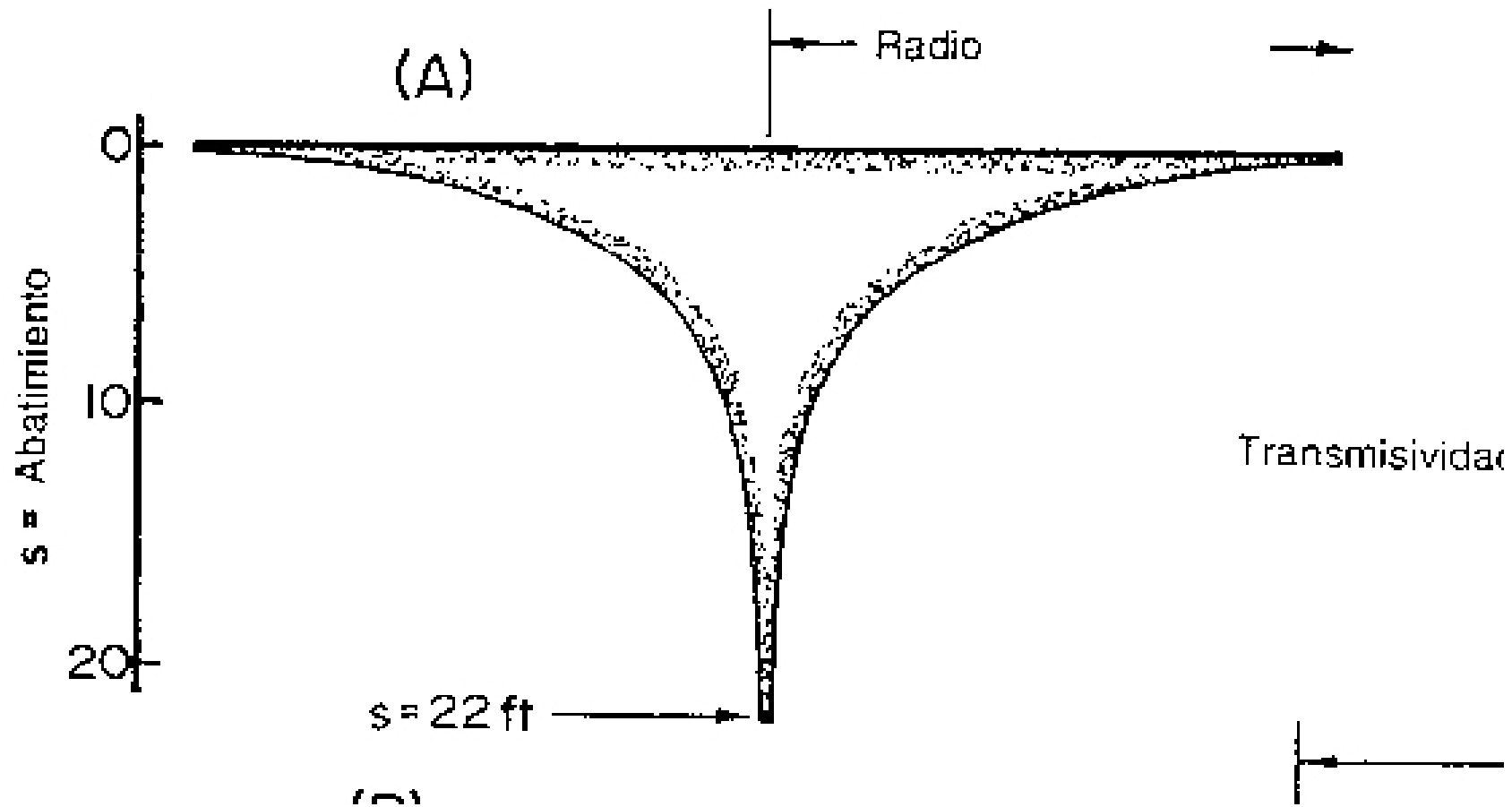


Fig. 65: El flujo converge hacia el pozo, pasando a través de superficies cilíndricas imaginarias que van siendo menores conforme se aproximan a aquél.

HIDROGEOLOGÍA

Cono de Depresión o Cono de Deyección Producido por el bombeo de un pozo



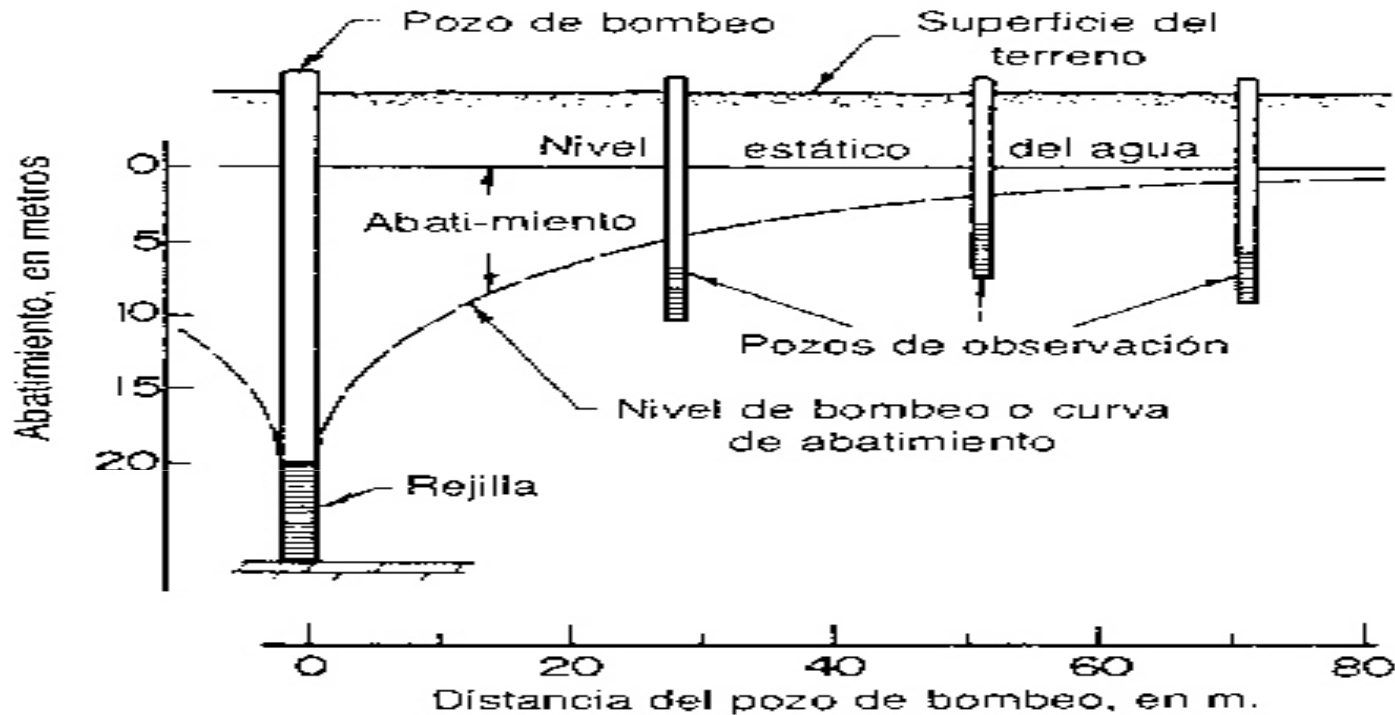


Fig. 67: Traza de la mitad del cono de depresión, mostrando la variación del abatimiento con la distancia al pozo de bombeo.

Ecuaciones básicas del Flujo del Agua

$$\text{Velocidad} = V = k * i,$$

$$\text{Caudal} = Q = V * A$$

PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE UN POZO

1. Nivel Estático
2. Caudal
3. Nivel Dinámico
4. Abatimiento
5. Capacidad Específica

PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE UN POZO

1. Nivel Estático:

El Nivel del Agua Subterránea en reposo
(cuando el pozo no se bombea)

1. Caudal: Volumen de Agua Extraída en la
Unidad de Tiempo

2. Nivel Dinámico: Nivel del Agua
subterránea durante el bombeo del pozo

3. Abatimiento

4. Capacidad Específica

PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE UN POZO

1. Nivel Estático:
2. Caudal:
3. Nivel Dinámico:
4. **Abatimiento:** Diferencia entre Nivel Dinámico y Nivel Estático
5. **Capacidad Específica:** Relación entre el Caudal y el Abatimiento

UNIDADES DE MEDIDA TÍPICAS DE LAS PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE UN POZO

NE = Nivel Estático (Metros)

Q = Caudal (Litros por Segundo)

NB = Nivel Dinámico (Metros)

AB = Abatimiento (Metros)

CE = Capacidad Específica (Litros por Segundo por metro)

Cálculo de la CAPACIDAD ESPECÍFICA de un pozo

$$CE = Q/AB$$

Q = Caudal (Litros por Segundo)

NE = Nivel Estático (Metros)

NB = Nivel Dinámico (Metros)

AB = Abatimiento (Metros)

CE = Capacidad Específica (Litros por Segundo por metro)

DATOS Y CÁLCULOS

NE = 20 Metros

NB = 30 Metros

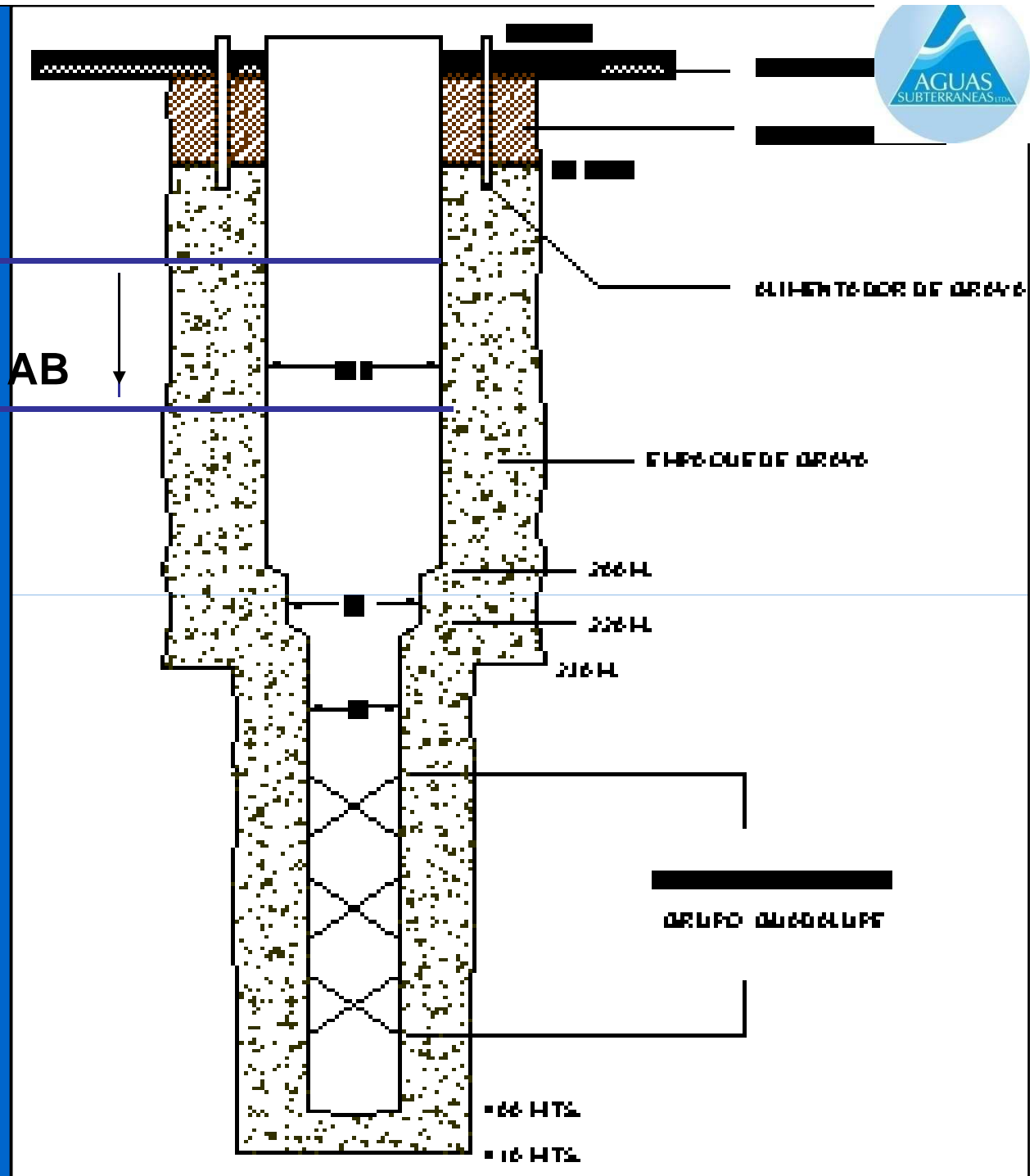
Abatimiento = AB

AB = 10 Metros

Q = 30 LPS

CE = 30/10 =

CE = 3 LPS/metro



HOJA DE VIDA DE UN POZO

MEDIDAS DEL CAUDAL Y DEL NIVEL DEL AGUA. Para CÁLCULO DE LA CAPACIDAD ESPECÍFICA

NIVEL = SONDA
ELÉCTRICA,
CAUDAL = AFORO EN
BALDE



HOJA DE VIDA DE UN POZO

- . Diseño
- . Perfil Litológico
- . Nivel Estático
- . Caudal
- . Nivel Dinámico
- . Abatimiento
- . Capacidad Específica
- . Datos del Equipo de Bombeo
- . Calidad del Agua
- . Temperatura del Agua



PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE UN ACUÍFERO

- 1. Ley de Darcy**
- 2. Transmisividad**
- 3. Conductividad Hidráulica**
- 4. Coeficiente de Almacenamiento**
- 5. Radio de Influencia**

PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL ACUÍFERO

LEY DE DARCY

El movimiento del agua en el interior de los materiales geológicos se mide con la Ley de Darcy:

La **velocidad** de un fluido en un medio poroso depende del **Coefficiente de Permeabilidad** y del **Gradiente Hidráulico** =
(= **diferencia de alturas en el tramo recorrido por el agua**).

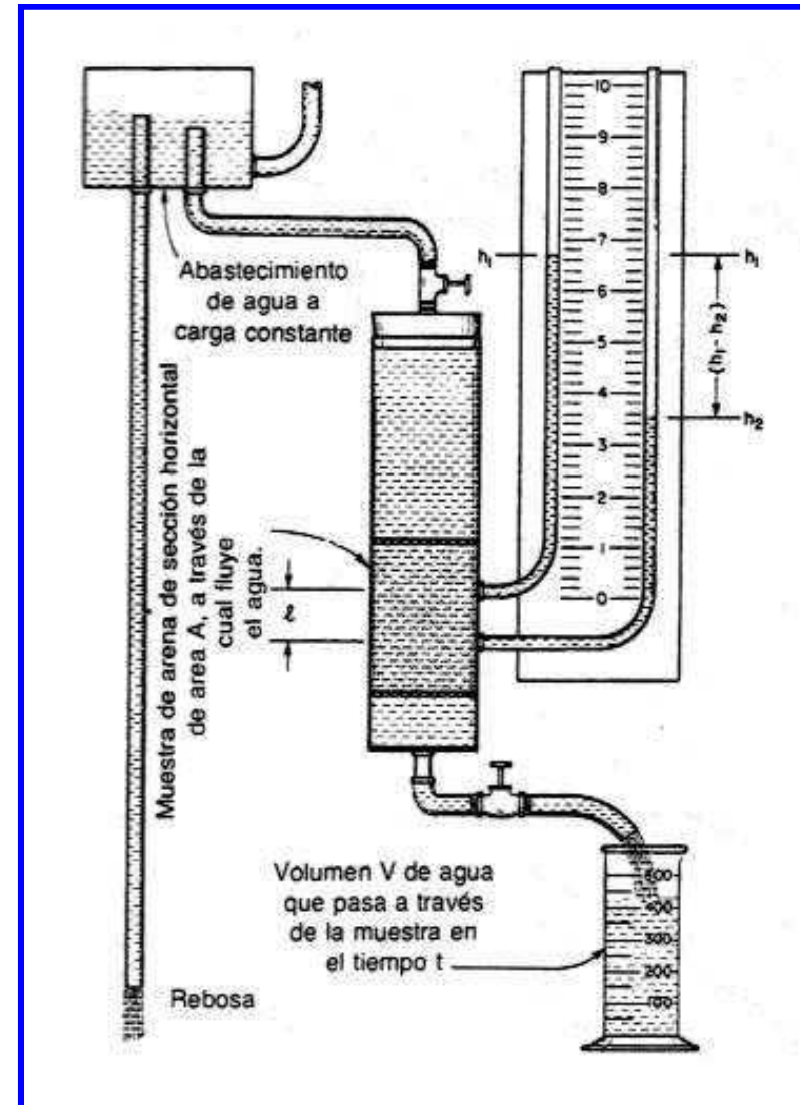
HIDRÁULICA DEL ACUÍFERO

LEY DE DARCY

La velocidad de un fluido en un medio poroso depende del Coeficiente de Permeabilidad y del Gradiente Hidráulico.

$$V = k * i$$

$i = \text{Gradiente Hidráulico} = h_1 - h_2 / L$



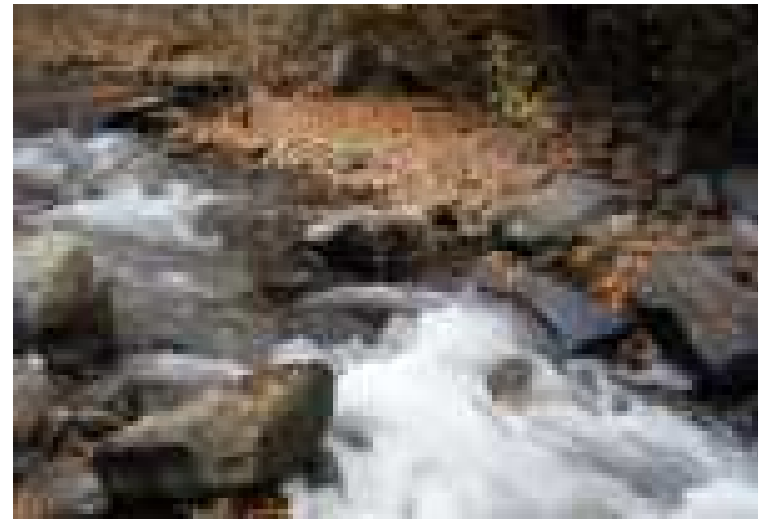
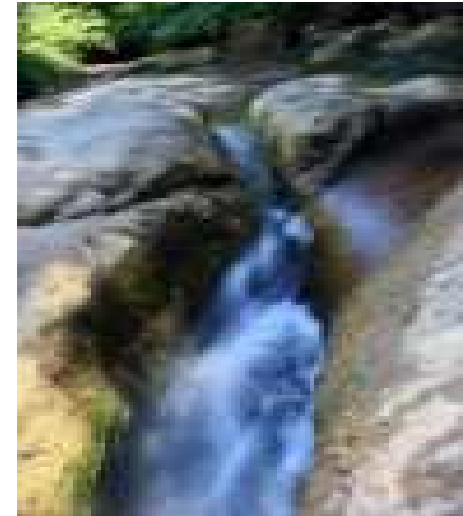
HIDRÁULICA DEL ACUÍFERO

LEY DE DARCY

El **Caudal** es equivalente a
La velocidad multiplicada por el
Área ocupada por el agua en
circulación

$$Q = V \cdot A$$

$$Q = k \cdot A \cdot \Delta i$$



LEY DE DARCY

$$V = k \cdot i$$

$$Q = V \cdot A$$

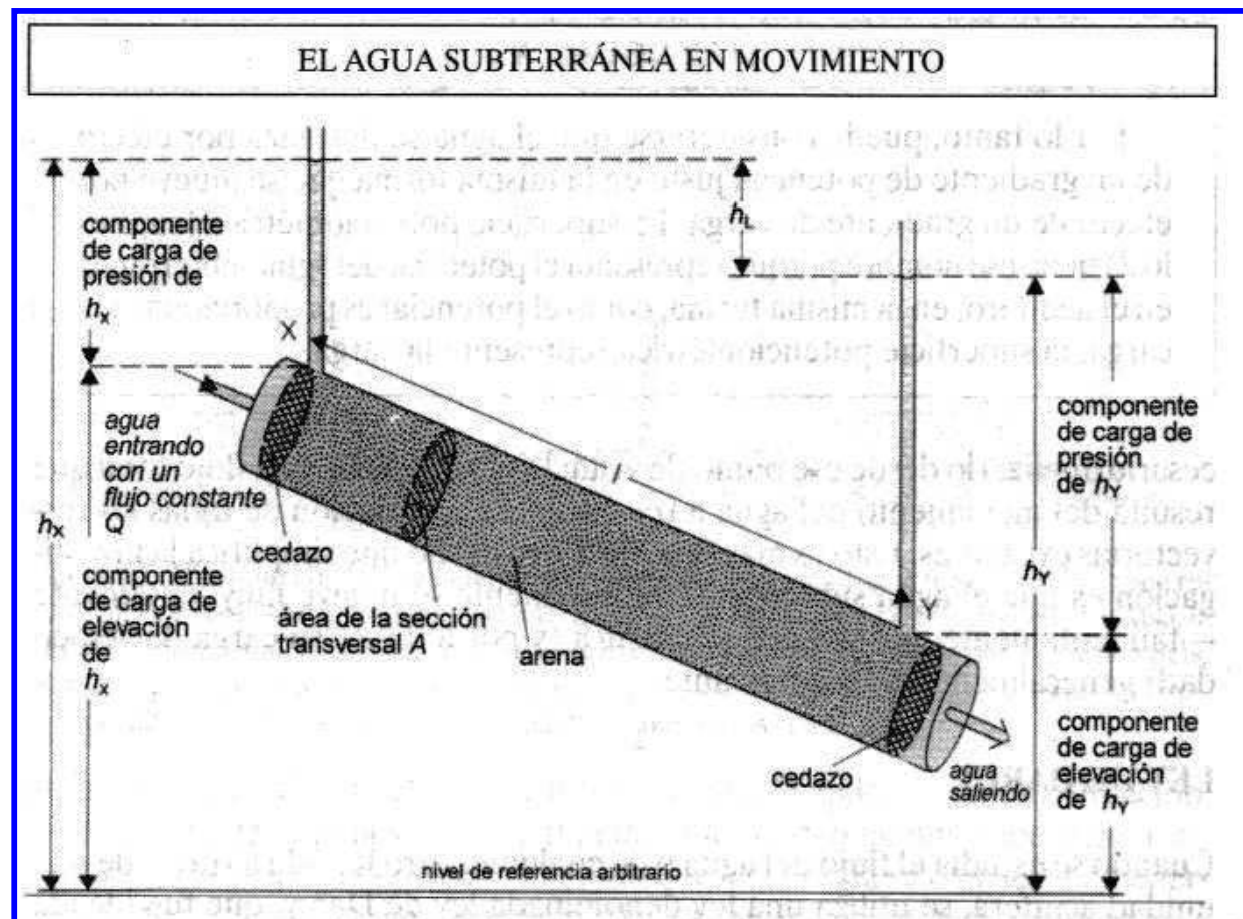
$$Q = k \cdot A \cdot \Delta i$$

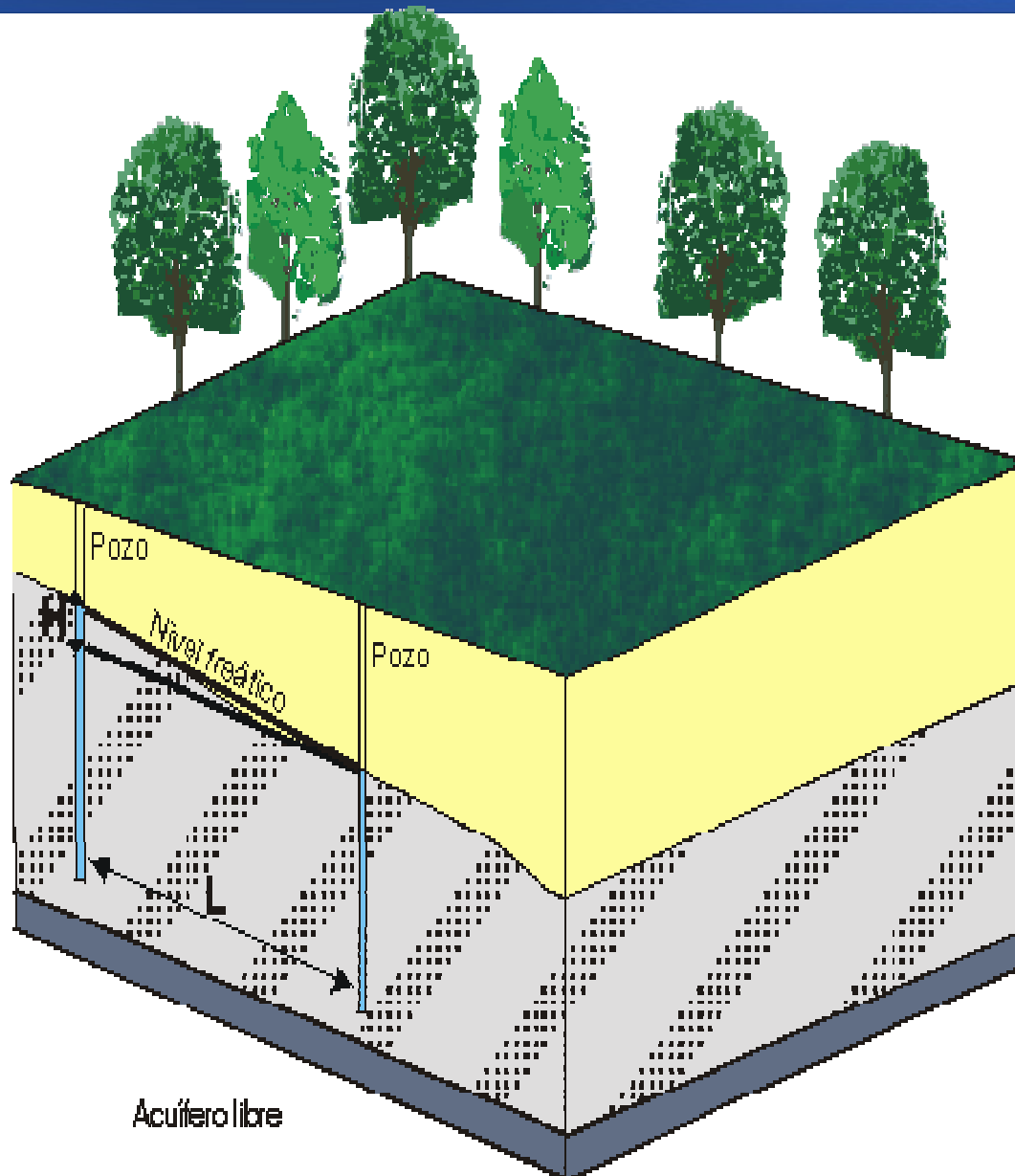
Q = Caudal = (vol / tiempo)

V = Velocidad = espacio/ tiempo)

A = Area = (lado * lado)

i = Gradiente Hidráulico = $h_1 - h_2 / L$





LEY DE DARCY

$$Q = k \cdot A \cdot \Delta i$$

Q = caudal que pasa a través de una sección del acuífero

k = permeabilidad

A = área de la sección de acuífero considerada

Δi = gradiente o **potencial hidráulico**
i = Gradiente Hidráulico = $h_1 - h_2 / L$

$\Delta i = H/L$ (ver dibujo)

ACERTIJO:
¿Dónde están los tripulantes:
Estudian el acuífero costero,
La calidad del flujo, la cuña marina?



PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE UN ACUÍFERO

- 1. Transmisividad**
- 2. Coeficiente de Almacenamiento**
- 3. Radio de Influencia**

TRANSMISIVIDAD (T):

Es la cantidad de agua que transmite un acuífero a través de todo el espesor saturado, en una unidad de superficie, por unidad de tiempo (t).

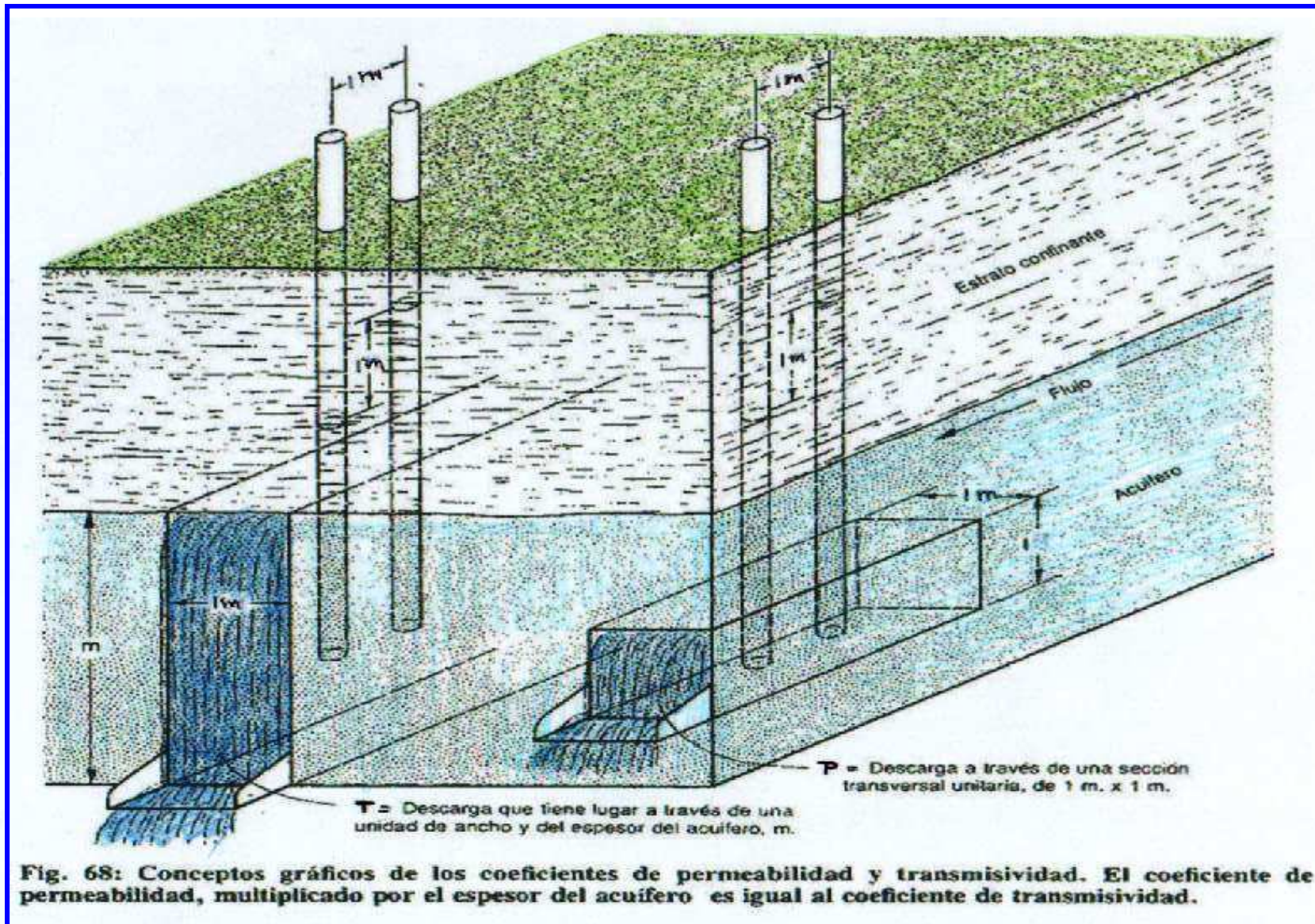
Depende de la permeabilidad o conductividad hidráulica.

$$T = k * (h)$$

Depende del Espesor del Acuífero (h).

$$T = k * h$$

HIDROGEOLOGÍA



COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (S):

Es la cantidad de agua que puede ser extraída del almacenamiento en un acuífero, con un descenso unitario de la carga hidráulica.

Depende de la porosidad efectiva.

$$S = (p)$$



Agua continental y Agua marina



PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE UN ACUÍFERO

Ecuación de Theis:

$$Ab = 15.8 * Q/T * \log (2.25 * T * t) / r^2 * S$$

Nota: Las cifras de las constantes dependen de las unidades empleadas

- Ab** = Abatimiento (metros)
Q = Caudal (litros/segundo)
T = Transmisividad (m²/día)
t = tiempo de bombeo (días)
S = Coeficiente de Almacenamiento ... (m³/m³)

RADIO DE INFLUENCIA (R):

Es la distancia que alcanza el Cono de Depresión en el acuífero, cuando se bombea un pozo durante un tiempo (t) determinado.

Depende de la Transmisividad y del Coeficiente de Almacenamiento.

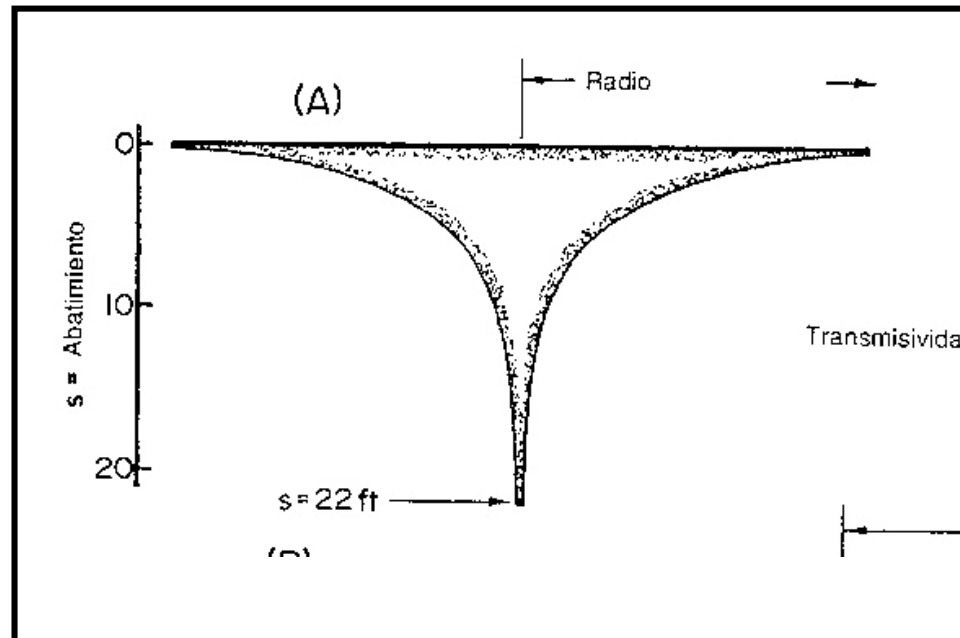
$$R = (f) (T) \text{ y } (S)$$

De la Ecuación de Theis:

$$Ab = 15.8 * Q/T * \log (2.25 * T * t) / r^2 * S$$

Para , $Ab = 0 = \text{Abatimiento Cero}$

$$\text{Radio} = R = 1,5 * (T*t / S)^{-2}$$



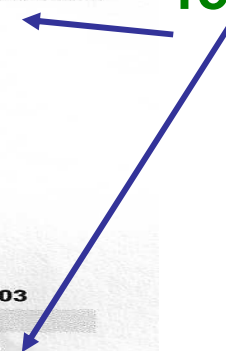
CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA HORIZONTAL DE ACUÍFEROS

Table 1 Ranges of horizontal hydraulic conductivity of geologic material
[All values are feet per day]

Aquifer Material	Extreme Minimum	Likely Minimum	Likely Maximum	Extreme Maximum
Unconsolidated Sedimentary Rock				
Gravel ^{1,5}	90	300	3000	3000
Sand and Gravel Mixes ¹	1	30	300	300
Coarse Sand ¹	50	70	300	300
Medium Sand ^{1,5}	1	20	70	200
Fine Sand ^{1,5}	0.05	3	20	20
Gulf Coast Aquifer Systems (6603 values) ²	2	30	200	800
Stream Terrace Deposit, Fort Worth, Texas (59 values) ³	0.01	1	100	300
Artificial Aquifer, central Florida (fine sand and silt values) ⁴	0.01	0.1	30	50
Silt, Loess ⁵	0.0003	0.001	0.1	6
Clay ^{1,5}	0.0000003	0.003	0.3	0.6
Clay soils (surface) ¹	0.01	0.01	1	1
Clay ^{5,7}	1.00E-06	1.00E-05	1.00E-04	1.00E-03
Carbonate Rocks				
Unweathered Marine Clay ⁵	2.00E-07	2.00E-07	0.0006	0.0006
Marl ^{4,5,8}	0.3	10	1,000	10,000
Bed Limestone ⁵	0.3	10	1,000	6,000
Dolomite, Dolomite ⁵	0.0003	0.004	0.1	2
Saturated Sedimentary Rock				
Medium-Grained Sandstone ^{6,9}	0.001	1	10	80
Fine-Grained Sandstone ^{1,6}	0.0001	0.001	1	6
Siltstone ⁶	0.000001	0.00001	0.005	0.04
Shale ^{6,7,10}	3.00E-09	1.00E-06	1.00E-05	3.00E-05
Shale ⁷	1.00E-08	1.00E-07	1.00E-04	1
Hydrite ⁵	1.00E-07	1.00E-07	0.006	0.006
Metamorphic or Volcanic Rock				
Permeable Basalt ⁵	0.1	1	100	6000
Basalt ⁵	0	0.03	0.1	0.1
Fractured Igneous and Metamorphic Rock ¹	0.001	0.05	10	100
Fractured Igneous and Metamorphic Rock ^{1,5}	0	1E-8	0.00006	0.00006
Weathered Granite ⁶	0.1	1	10	20
Weathered Gabbro ⁶	0.1	0.1	1	1

Souder, 1978 (order of magnitude in meter/day)
 Rudic, 1991
 Condon A. Jones, USGS, Written commun., 1998
 Slug Test Results 1998-2001, Orlando Subdistrict, USGS
 Domenico and Schwartz, 1990
 Morris and Johnson, 1967
 Wolff, 1982
 Reese and Cunningham, 2000
 Ganiansky and Hamrick, 1998
 Neuzil, 1994

Cifras Tope



PRODUCCIONES DE ACUÍFEROS



Table 1.2.1
Hydrogeologic Characteristics of Typical Aquifers and
Life Expectancy of Wells Penetrating Such Aquifers*

	(1)	(2)	(3)			(4)		(5)	
	Range of Transmissivity	Maximum Well Yield	Domestic	Irrigation	Municipal	Domestic	Irrigation	Municipal	Well Depth
1. Unconsolidated Alluvial	10,000-1,000,000	200-2,000	20-30	2-3	2-10	40-50	5-10	30-40	30-1,500
2. Semiconsolidated Sedimentary	1,000-100,000	100-1,000	20-30	3-5	3-12	40-50	5-12	30-50	100-1,500
3. Consolidated Sedimentary									
a. Sandstone	200-10,000	25-200	15-20	1-3	6-10	30-35	12-17	30-35	200-2,000
b. Carbonate	50-100,000	0-1,000	10-15	1-5	4-6	20-30	5-15	20-30	200-2,000
c. Shale	50-1,000	0-10	10-12	2-3	—	20-25	5-10	—	30-300
4. Consolidated Crystalline									
a. Granitic rock	50-1,000	0-25	20-30	10-30	15-30	50+	50+	50-100	50-200
b. Metamorphic rock	50-1,000	0-25	20-30	10-30	15-30	50+	50+	50-100	50-200
c. Basaltic rock	0-100,000	0-1,000	20-30	10-30	15-30	50+	50+	50-100	50-500

(1) Typical ranges of transmissivity, gpd/ft.

(2) Typical ranges of maximum yield, gpm.

(3) Useful life ranges without maintenance, yrs.

(4) Useful life ranges with maintenance, yrs.

(5) Typical ranges of well depth, ft.

*Based on cross-section of known industry circumstances. Includes typical ranges for both properly and poorly designed wells.

POZOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS



POZO PROFUNDO



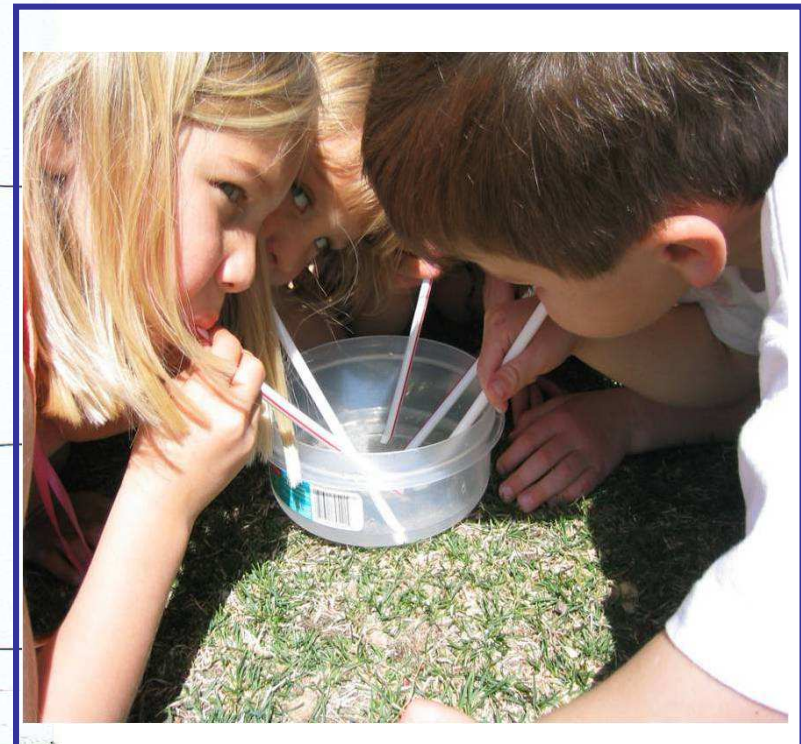
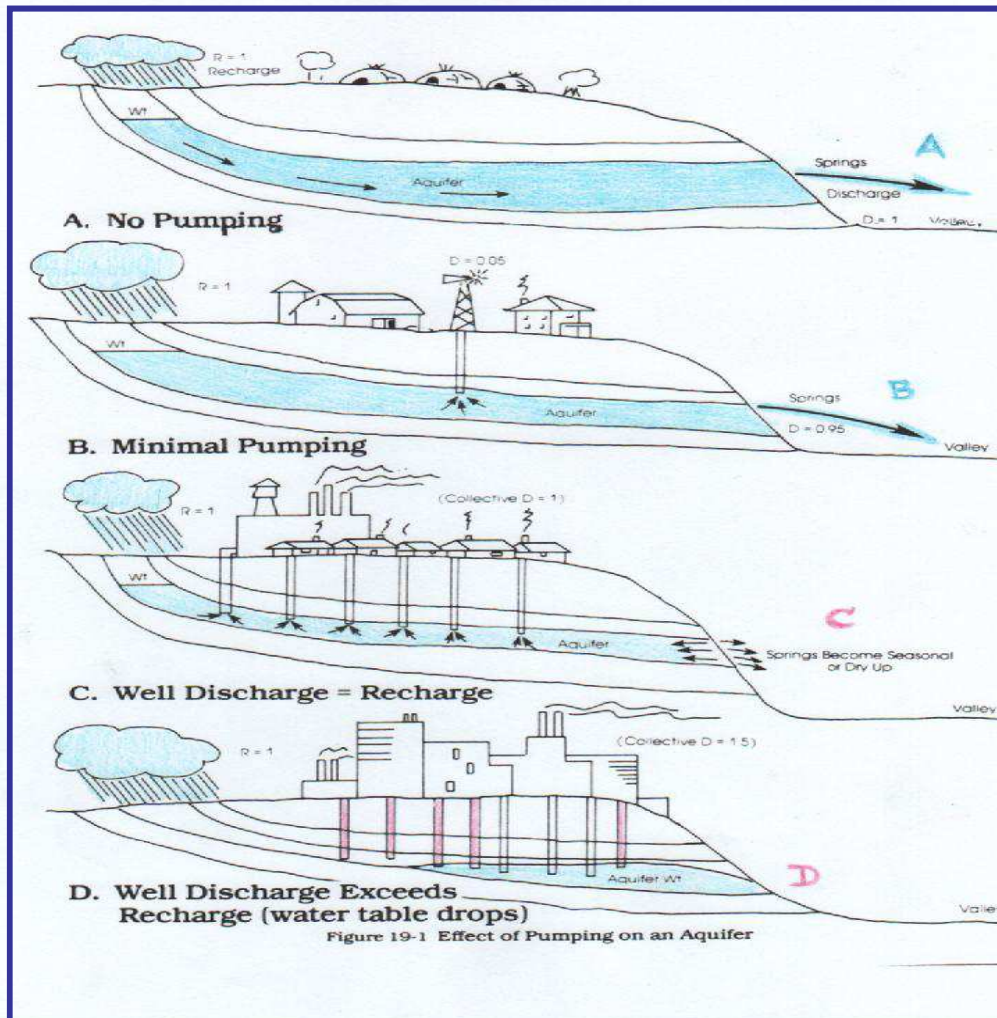


RIESGOS PARA LOS ACUÍFEROS:

1. Sobreexplotación
2. Contaminación

RIESGOS PARA LOS ACUÍFEROS:

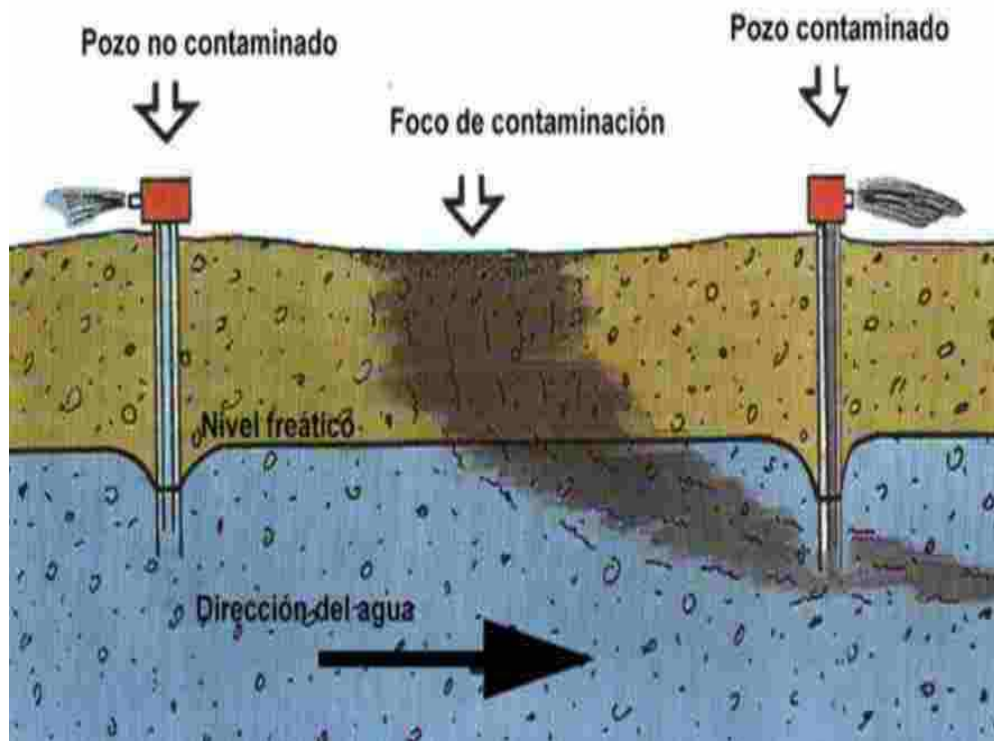
1. Sobreexplotación



RIESGO # 2: LA CONTAMINACIÓN



Riesgos: # 2: CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS



Si se produce la **contaminación**, esta se desplaza siguiendo la **dirección del flujo natural** del **agua subterránea**, pudiendo **contaminar** pozos o **manantiales** que se encuentren en su recorrido.

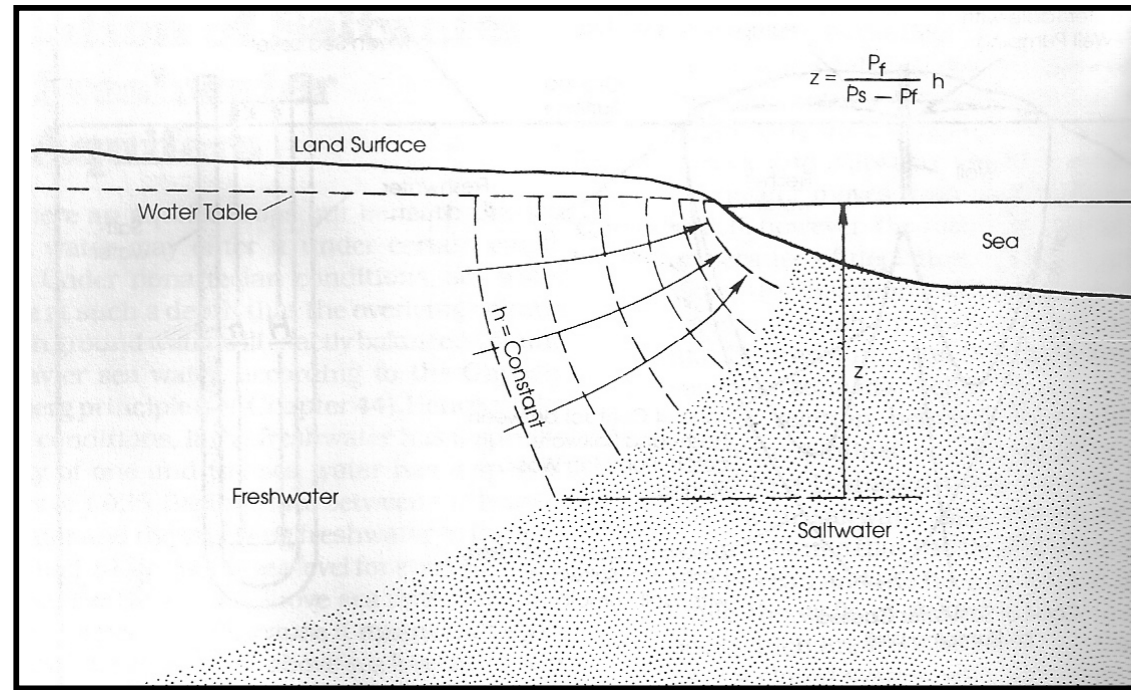
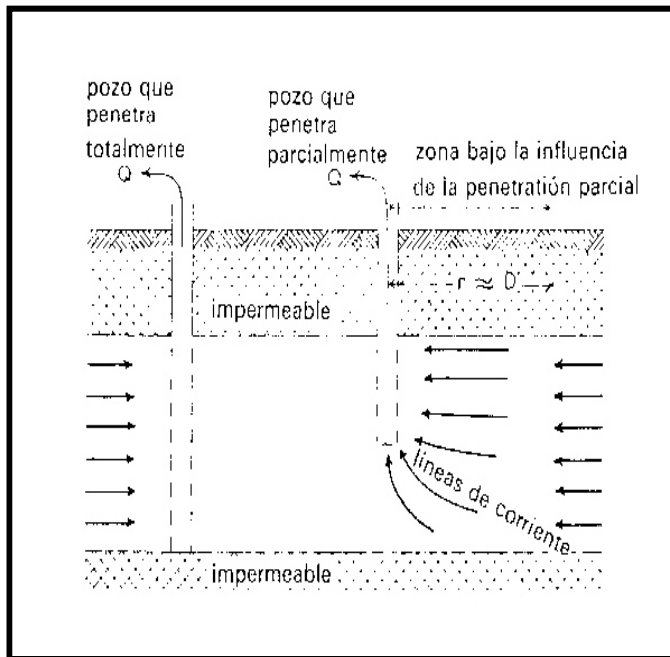
Hay que tener presente siempre la dirección del flujo del **agua**



**Algunas de las Sustancias Contaminantes
que pueden ser transportadas por los acuíferos son:**

1. Derivados del petróleo
2. Compuestos de metales
3. Abonos y fertilizantes
4. Sustancias corrosivas
5. Pesticidas
6. Pinturas Disolventes y colorantes
7. Detergentes
- 8, Otros Productos Industriales
9. Compuestos Farmacéuticos

Riesgo # 3: INTRUSIÓN SALINA EN ZONAS COSTERAS



CURSO DE AGUAS SUBTERRANEAS

PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE LOS ACUÍFEROS

Mario Valencia Cuesta

Geólogo

AGUAS SUBTERRÁNEAS LTDA.

aguassubterraneas@gmail.com,

www.aguassub.com,

