

CURSO DE AGUAS SUBTERRANEAS

EVALUACIÓN MATEMÁTICA DE ACUÍFEROS

Mario Valencia Cuesta

Hidrogeólogo

AGUAS SUBTERRÁNEAS LTDA.

aguassubterraneas@gmail.com,

www.aguassub.com,



CURSO DE AGUAS SUBTERRANEAS



EVALUACIÓN MATEMÁTICA DE ACUÍFEROS

CONTENIDO:

1. Principios básicos
2. Los parámetros hidráulicos
3. Recolección de datos
4. Procedimientos de análisis
5. Respuestas al procesamiento de datos
6. Los modelos matemáticos
7. Casos de Estudio: Resultados

CURSO DE AGUAS SUBTERRANEAS



EVALUACIÓN MATEMÁTICA DE ACUÍFEROS

Principios básicos

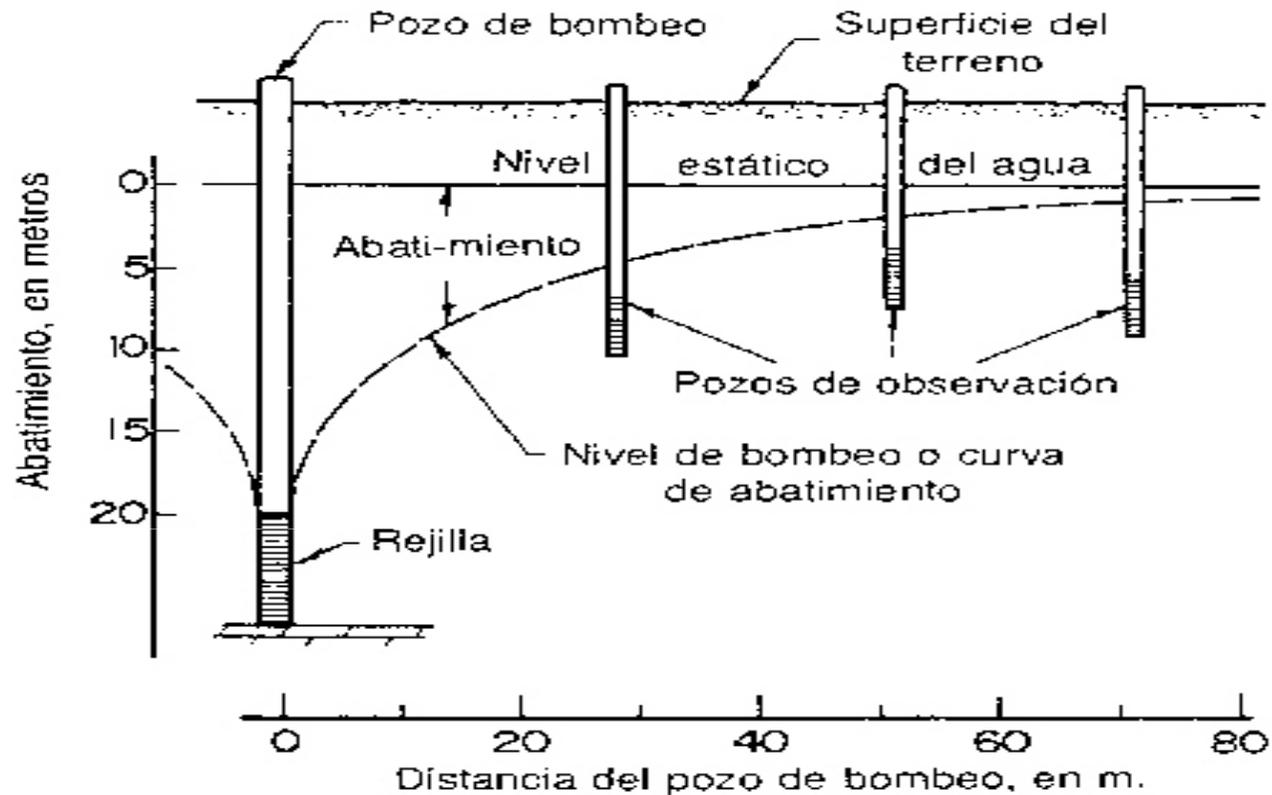


Fig. 67: Traza de la mitad del cono de depresión, mostrando la variación del abatimiento con la distancia al pozo de bombeo.

$$V = k * i,$$
$$Q = V * A$$

PERMEABILIDAD VERSUS ACUÍFEROS

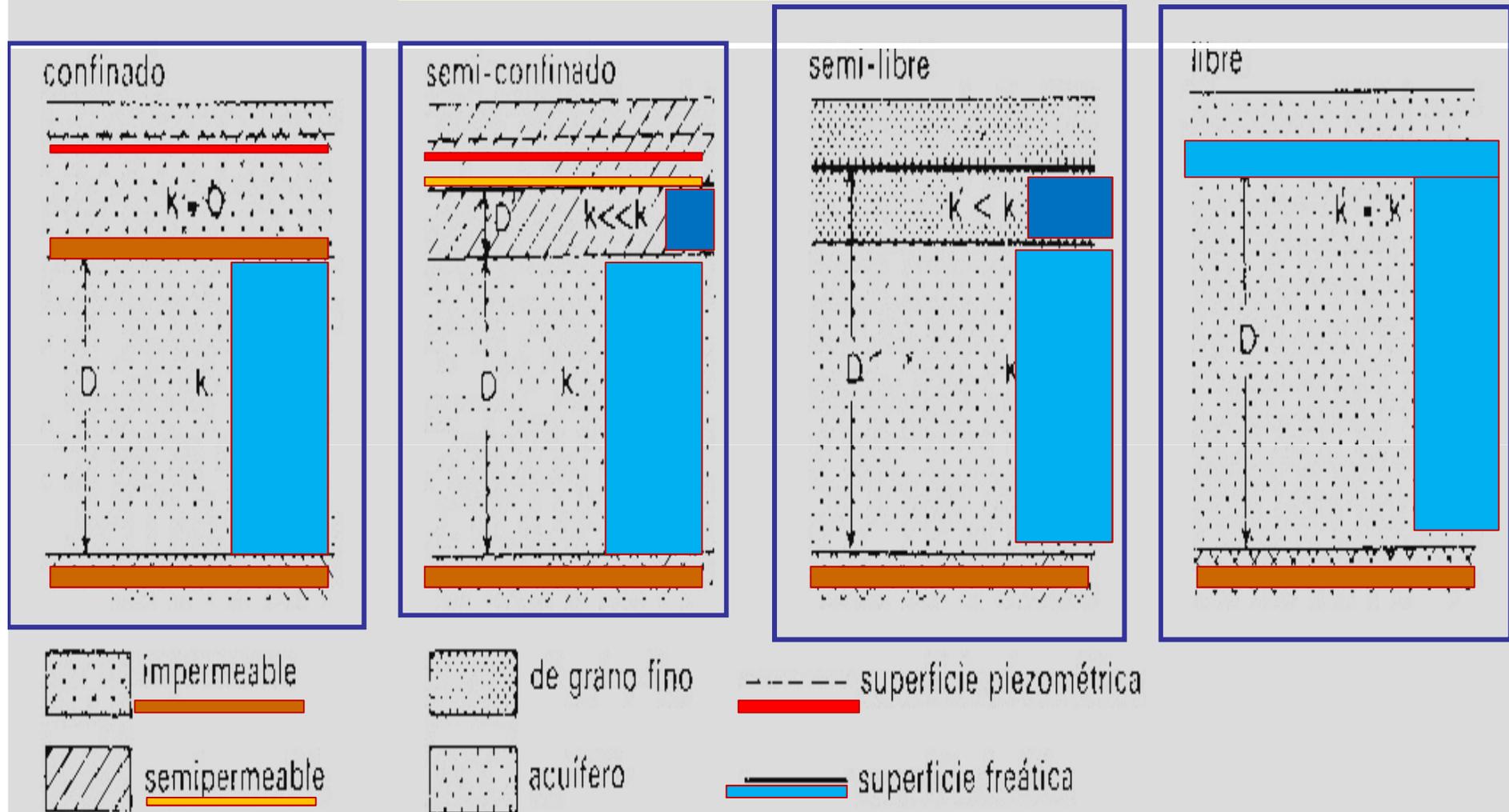


Fig.1. - Relación entre k y k' en diferentes tipos de acuíferos.

REPUESTA DE LOS ACUÍFEROS AL BOMBEO

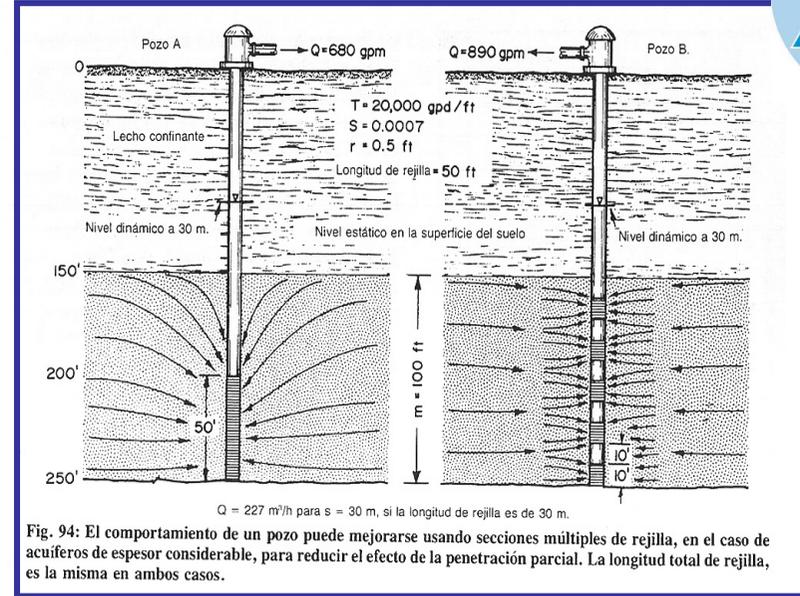
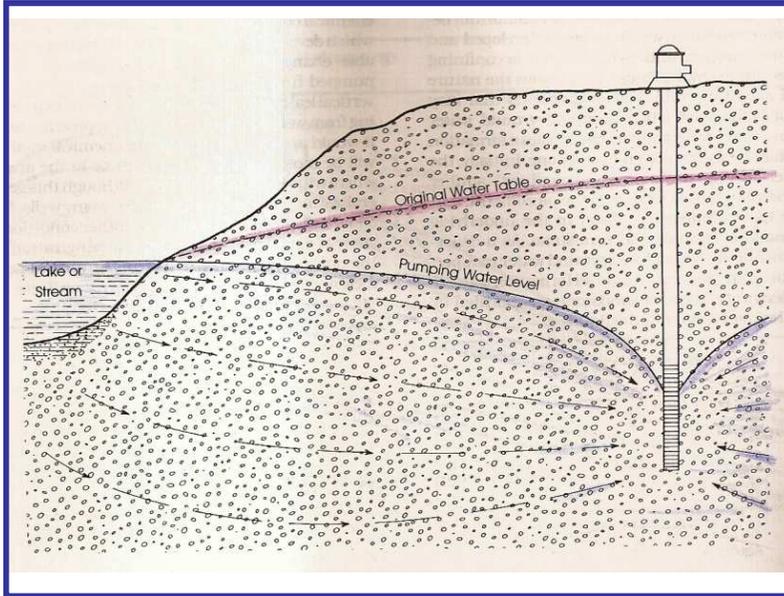


Fig. 94: El comportamiento de un pozo puede mejorarse usando secciones múltiples de rejilla, en el caso de acuíferos de espesor considerable, para reducir el efecto de la penetración parcial. La longitud total de rejilla, es la misma en ambos casos.

La Figura 2 da las gráficas típicas, al representar las funciones del descenso con relación al tiempo en papel doble logarítmico, para un pozo en los diferentes tipos de acuífero arriba mencionados.

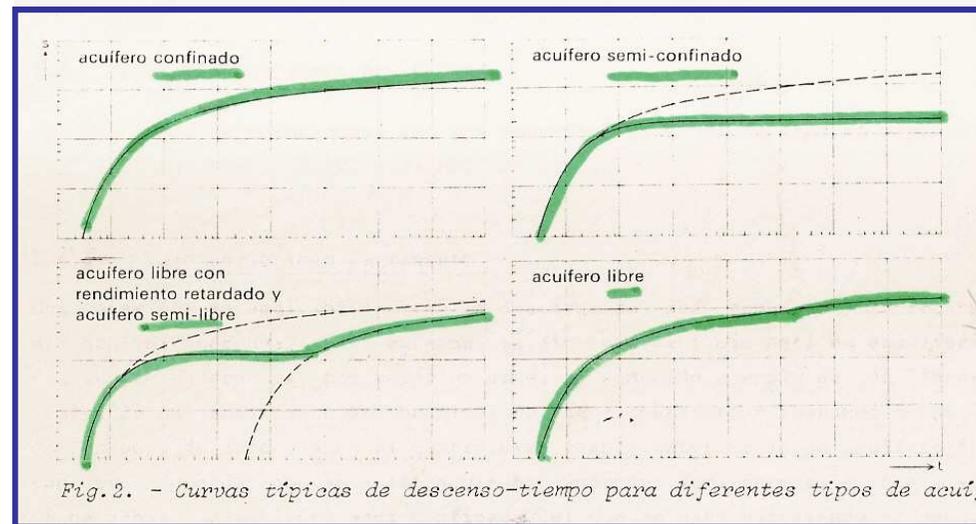


Fig. 2. - Curvas típicas de descenso-tiempo para diferentes tipos de acuífero

PARÁMETROS HIDRÁULICOS DE UN ACUÍFERO

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

HIDRÁULICA DE ACUÍFEROS



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.

$$T = k * (t)$$

Depende del Espesor del Acuífero (h).

$$T = k * h$$

HIDRÁULICA DE ACUÍFEROS

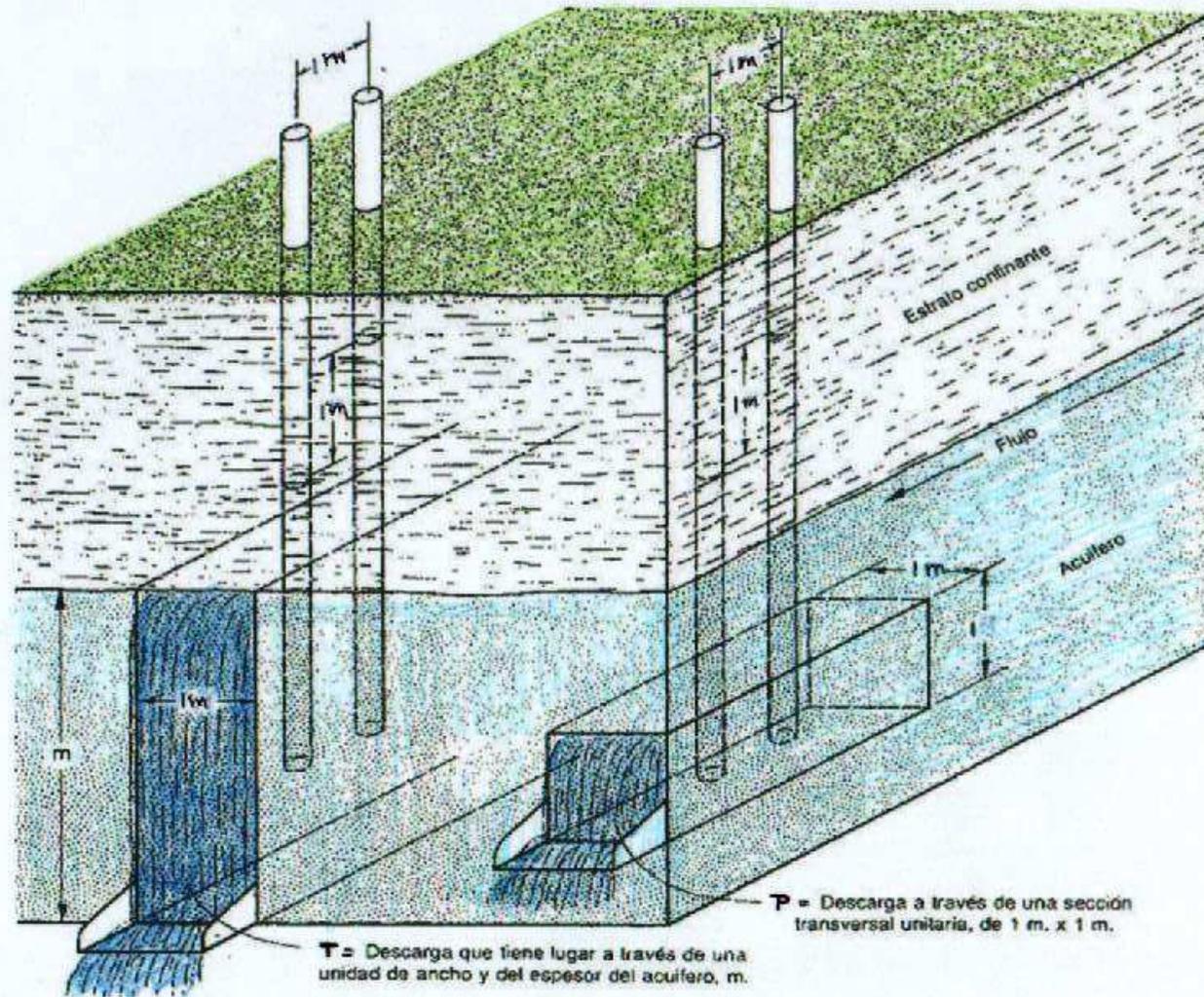


Fig. 68: Conceptos gráficos de los coeficientes de permeabilidad y transmisividad. El coeficiente de permeabilidad, multiplicado por el espesor del acuífero es igual al coeficiente de transmisividad.



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
Off 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
Soft 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
Slate ⁷	1.00E-08	1.00E-07	1.00E-04	1
Hydrite ⁵	1.00E-07	1.00E-07	0.006	0.006
Igneous or Volcanic Rock				
Impermeable Basalt ⁵	0.1	1	100	6000
Salt ⁵	0	0.03	0.1	0.1
Fractured Igneous and Metamorphic Rock¹				
Fractured Igneous and Metamorphic Rock ^{1,5}	0.001	0.05	10	100
Weathered Granite ⁶	0	1E-8	0.00006	0.00006
Weathered Gabbro ⁶	0.1	1	10	20
Weathered Gabbro ⁶	0.1	0.1	1	1

Cifras
Tope

Source: Bouwer, 1978 (order of magnitude in meter/day)
 Rudic, 1991
 Tomia A. Jones, USGS, Written commun., 1998
 Log 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

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.

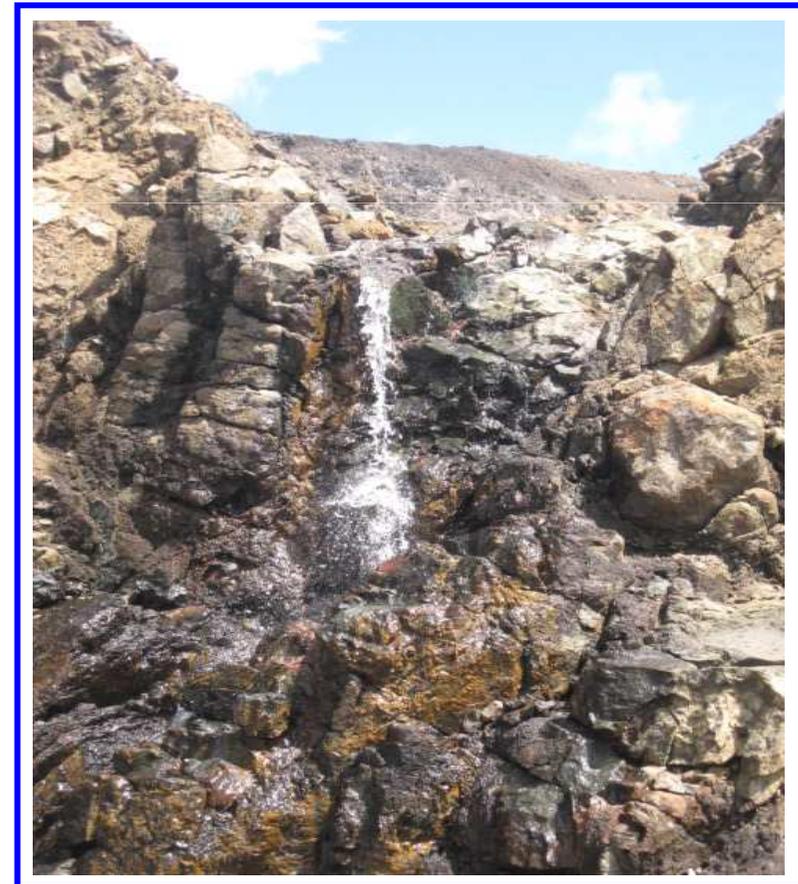
*Based on cross-section of known industry circumstances. Includes typical ranges for both properly and poorly designed wells.

COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (S):

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

Depende de la porosidad efectiva.

$$S = (p)$$



RADIO DE INFLUENCIA (R):

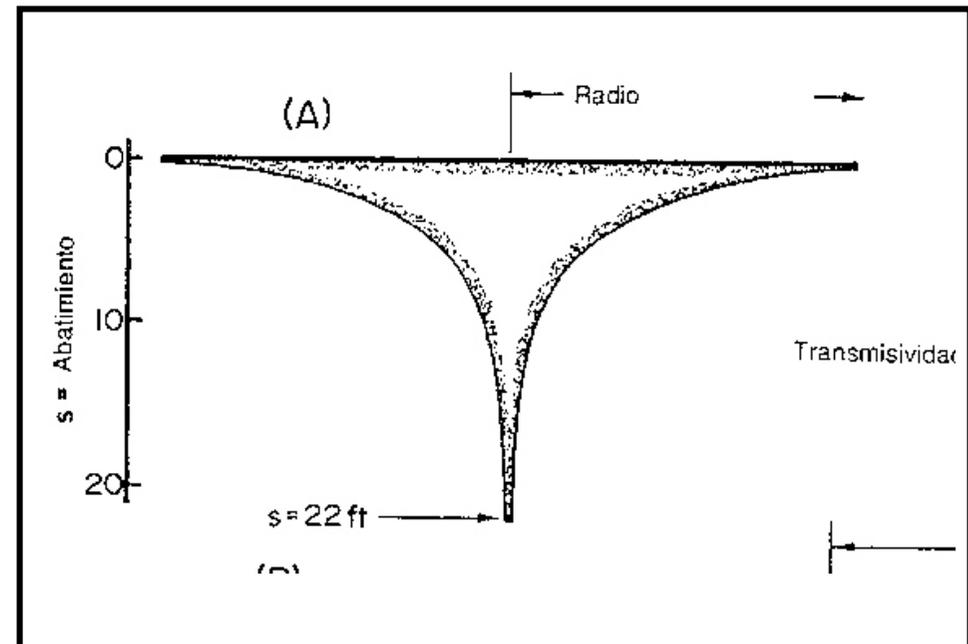
Es la distancia que alcanza el Cono de Depresión en el acuífero, cuando se bombea un pozo durante un tiempo (t) determinado.

Depende de la Transmisividad y del Coeficiente de Almacenamiento.

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

Ecuación de Theis:

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



CURSO DE AGUAS SUBTERRANEAS



EVALUACIÓN MATEMÁTICA DE ACUÍFEROS

**Datos para Obtener
los parámetros hidráulicos
con modelos matemáticos**

CÁLCULOS DE LAS PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE UN ACUÍFERO

Información del pozo a Tener en Cuenta para el procesamiento mediante software especializado:

1. Diámetro del pozo,
2. Diámetro de la Perforación,
3. Longitud de Filtros,
4. Profundidad de filtros
5. Distancia del pozo de bombeo al pozo de observación
6. Caudal promedio de la Prueba
7. Niveles de Agua versus Tiempo
8. Tiempo total de bombeo continuo

CURSO DE AGUAS SUBTERRANEAS



EVALUACIÓN MATEMÁTICA DE ACUÍFEROS

**Procedimientos de análisis, y
Respuestas al procesamiento de datos**

ANÁLISIS DE PRUEBAS DE BOMBEO

PROCEDIMIENTOS SENCILLOS PARA COMPUTADORES

Instructions for Estimation of K and T with the Cooper-Jacob Spreadsheet

PASTE DATA

Add time-series data to the DATA page. The first entry (row 8) should be the time pumping began with the static water level.

Day	Hour	Minute	Second	Feet
110	110	1349	0	28.92
110	110	1350	50	41.25
110	110	1351	45	41.4
110	110	1353	0	41.5

Adjust headings

Match units of your data.

INPUT

Construction:

- Casing dia. (d_c) 6 Inch
- Annulus dia. (d_a) 6 Inch
- Screen Length (L) 40 Feet

Depths to:

- Initial Depth to Water 30 Feet
- Top of Aquifer 30 Feet
- Base of Aquifer 70 Feet

Annular Fill:

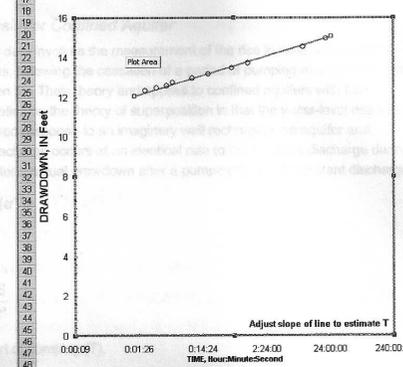
- across screen - Coarse Sand
- above screen - Cement
- Aquifer Material - Coarse Sand

FLOW RATE 167 GPM

REMARKS: Cooper-Jacob analysis of single-well aquifer test
Full-Moon Lake test in North Tampa, FL.

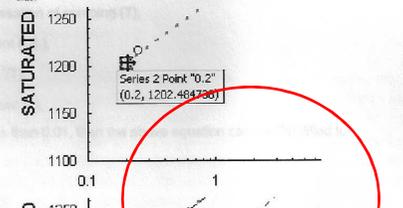
ESTIMATE T

Estimate transmissivity by grabbing the end of the red line



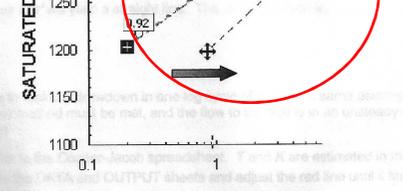
GET CROSS

A cross-arrow will appear with 2 clicks (not a double-click).



SHIFT TO FIT

The ends of the red line can be shifted along the X-axis or Y-axis until the slope of the line parallels the measured data.

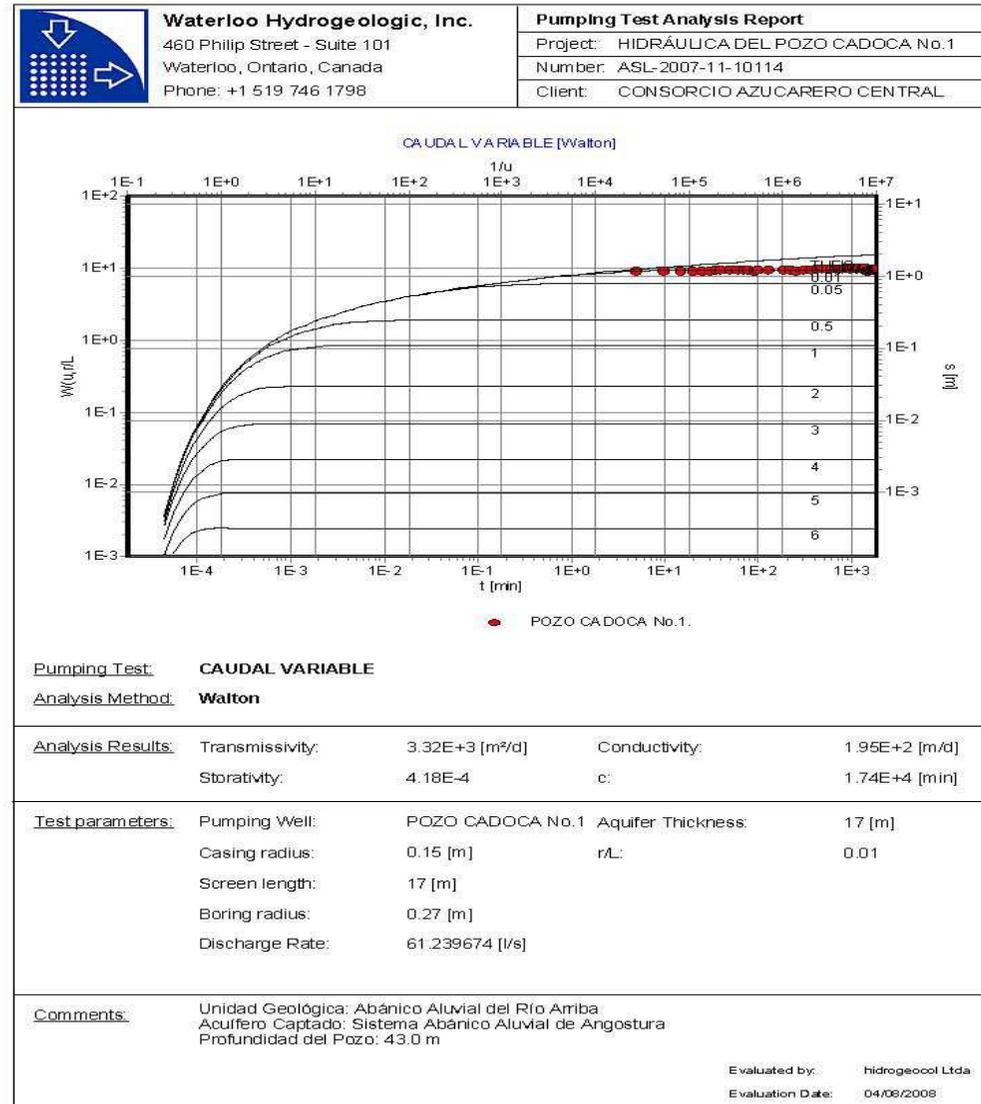


INTERPRETACIÓN MATEMÁTICA DE UNA PRUEBA DE BOMBEO

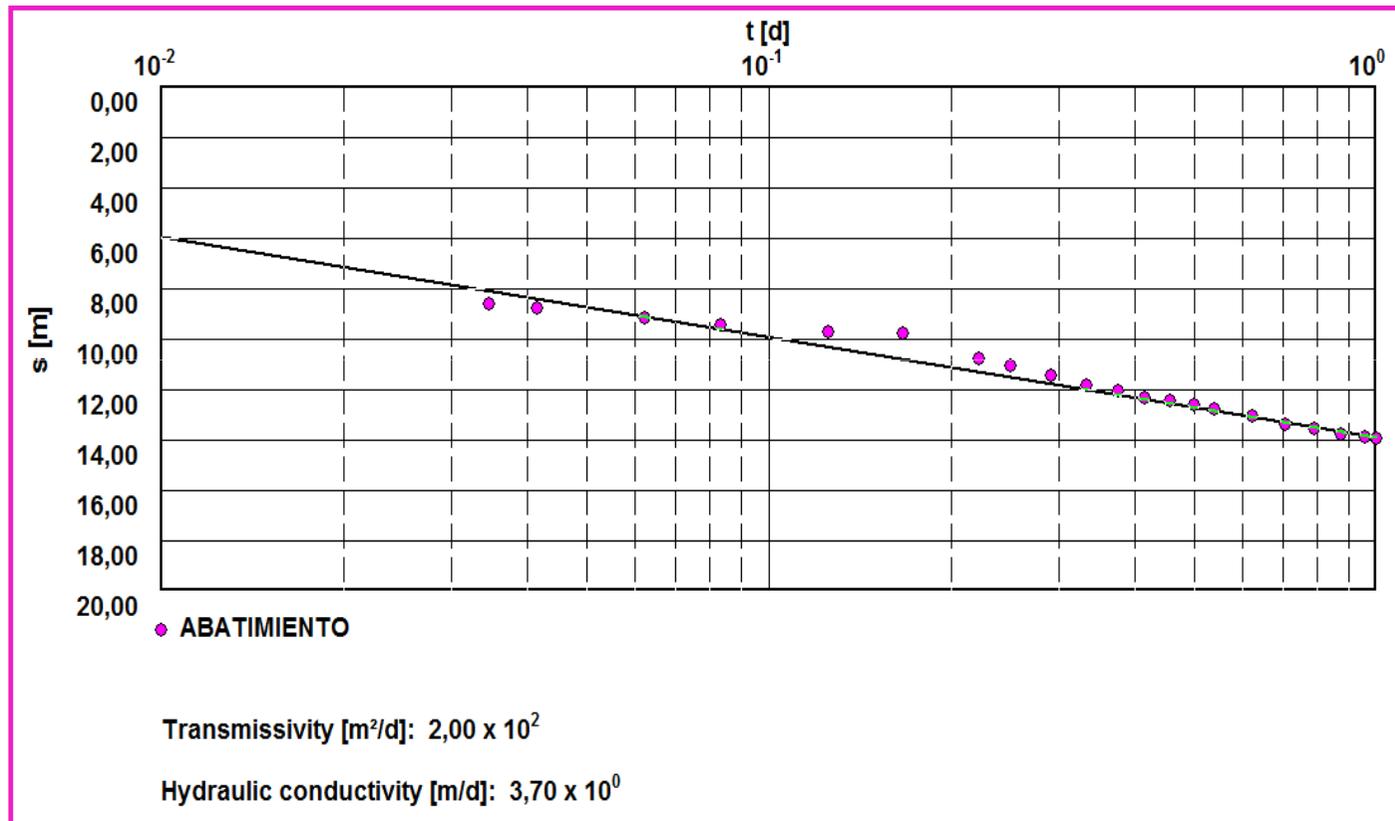


RESULTADOS:

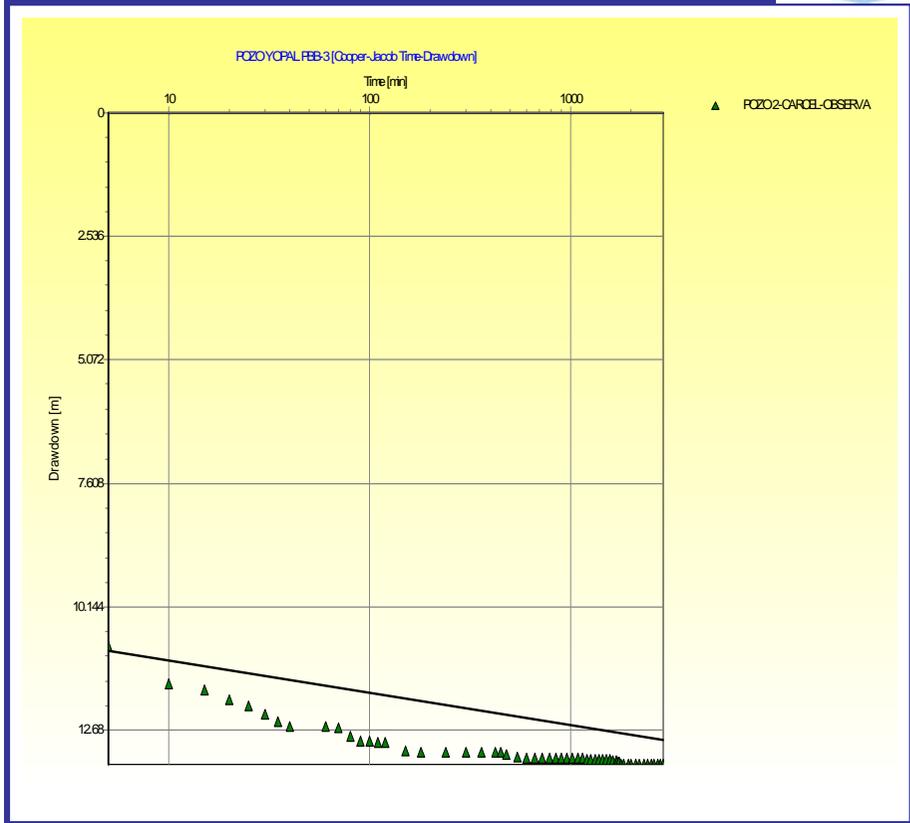
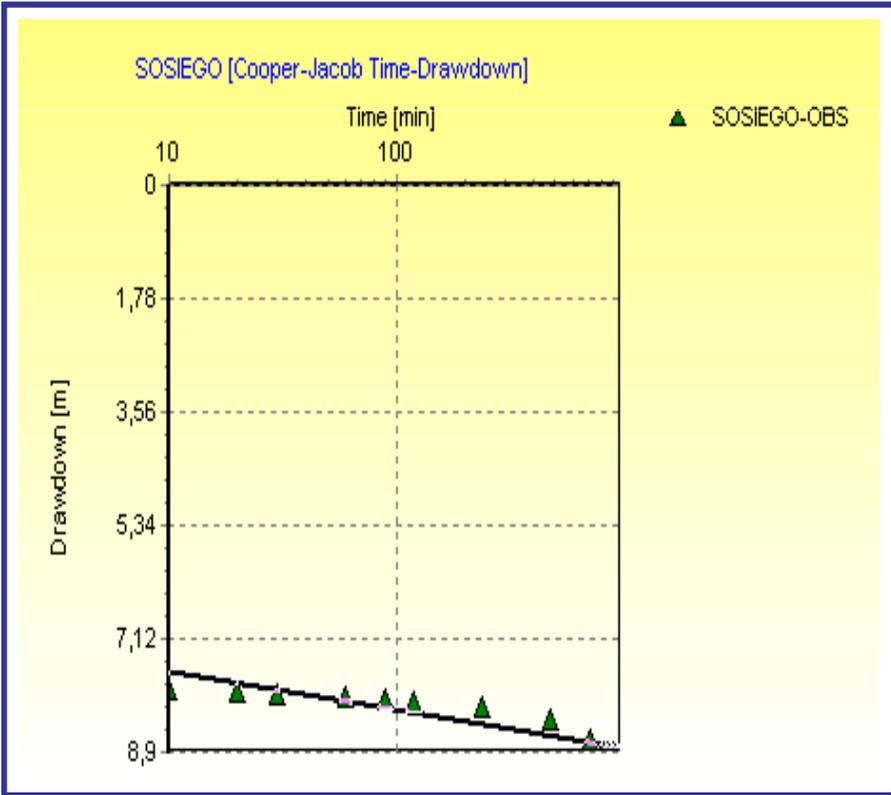
1. Transmisividad
2. Conductividad Hidráulica
3. Coeficiente de Almacenamiento



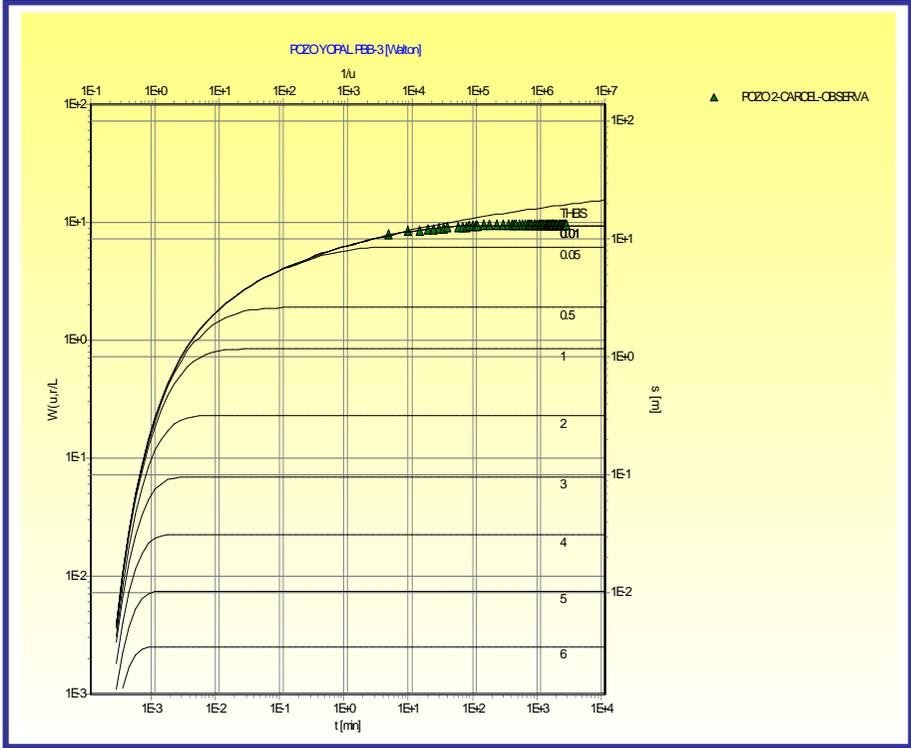
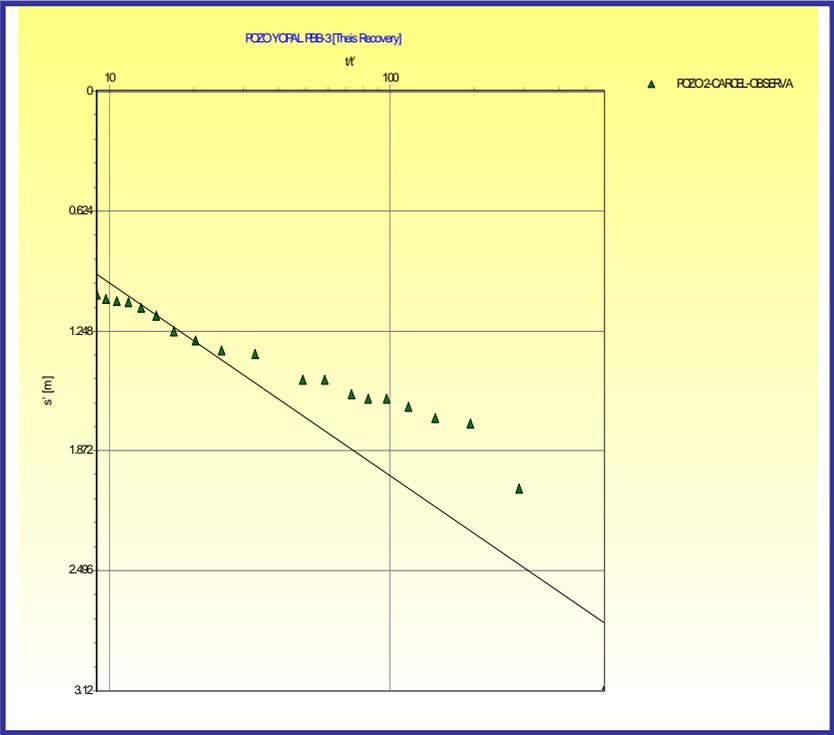
PROCESAMIENTO DE PRUEBAS DE BOMBEO CON GRÁFICOS EN EXCEL



PROCESAMIENTO DE PRUEBAS DE BOMBEO CON SOFTWARE **AQUIFERTEST**



PROCESAMIENTO DE PRUEBAS DE BOMBEO CON SOFTWARE **AQUIFERTEST**

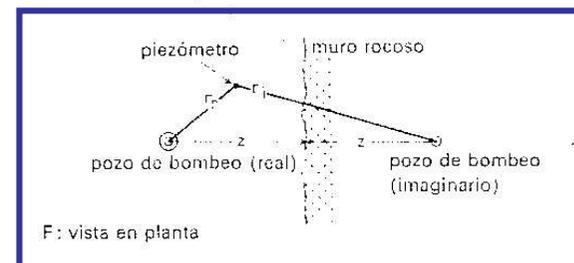
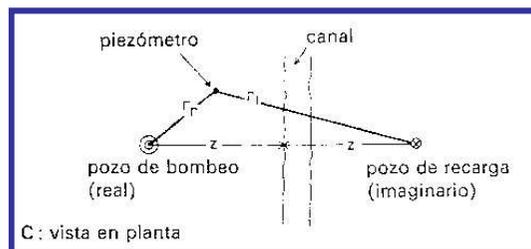
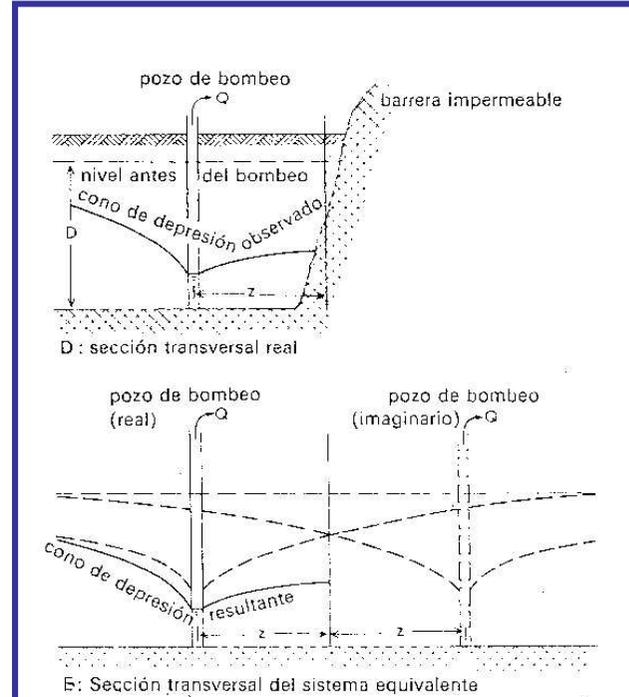
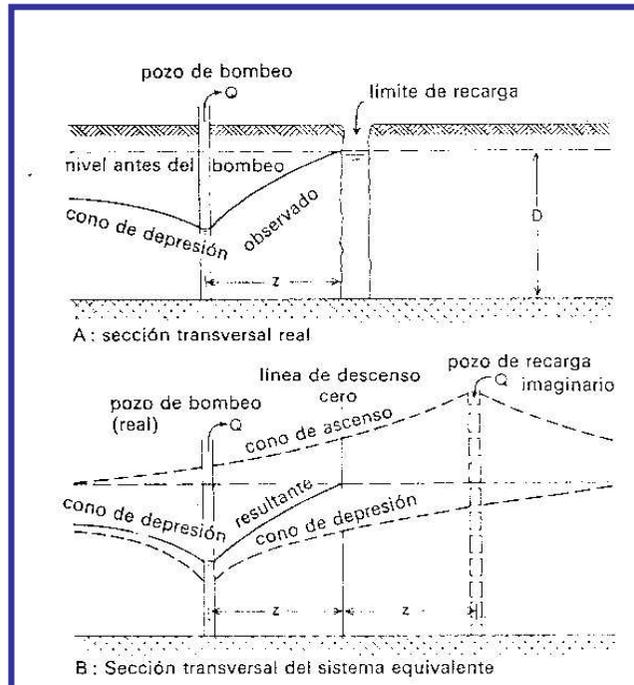


EJEMPLO DE PROCESAMIENTO REGIONAL

Valores de los Parámetros Hidráulicos Obtenidos en Pozos Que Captan el Sistema Acuífero Abanico Aluvial de Angostura

Identificación del Pozo	Caudal Prueba (l/s)	Tiempo Prueba (min.)	Método Interpretación	T m ² /día	S	K real m/día
Cadoca No.1	61.52	1150	Walton	3330	4.18E-04	195
Cadoca No.2	49.03	530	Walton	750	2.17E-03	36.1
Cadoca No.3	57.0	3415	Walton	683	1.01E-03	40.2
Cadoca No.10	69.4	1500	Walton	1630	2.45E-03	102
Cadoca No.14	73.25	1860	Neuman	421	4.07E-02	35.1
Cadoca No.16	73.17	660	Walton	212	1.02E-04	7.59
Cadoca No.18	69.61	1960	Walton	1910	5.17E-03	159
Fenix No.1	76.5	2860	Walton	306	1.01E-04	11.3
Fenix No.2	76.9	3030	Walton	434	1.02E-04	15
Victorina No.2	28.03	2980	Walton	2510	9.18E-03	210
Victorina No.4	50.4	2905	Neuman	1620	5.76E-02	135
Victorina No.5	50.06	3110	Neuman	1140	1.02E-03	95

RESPUESTAS COMPLEJAS DE ACUÍFEROS





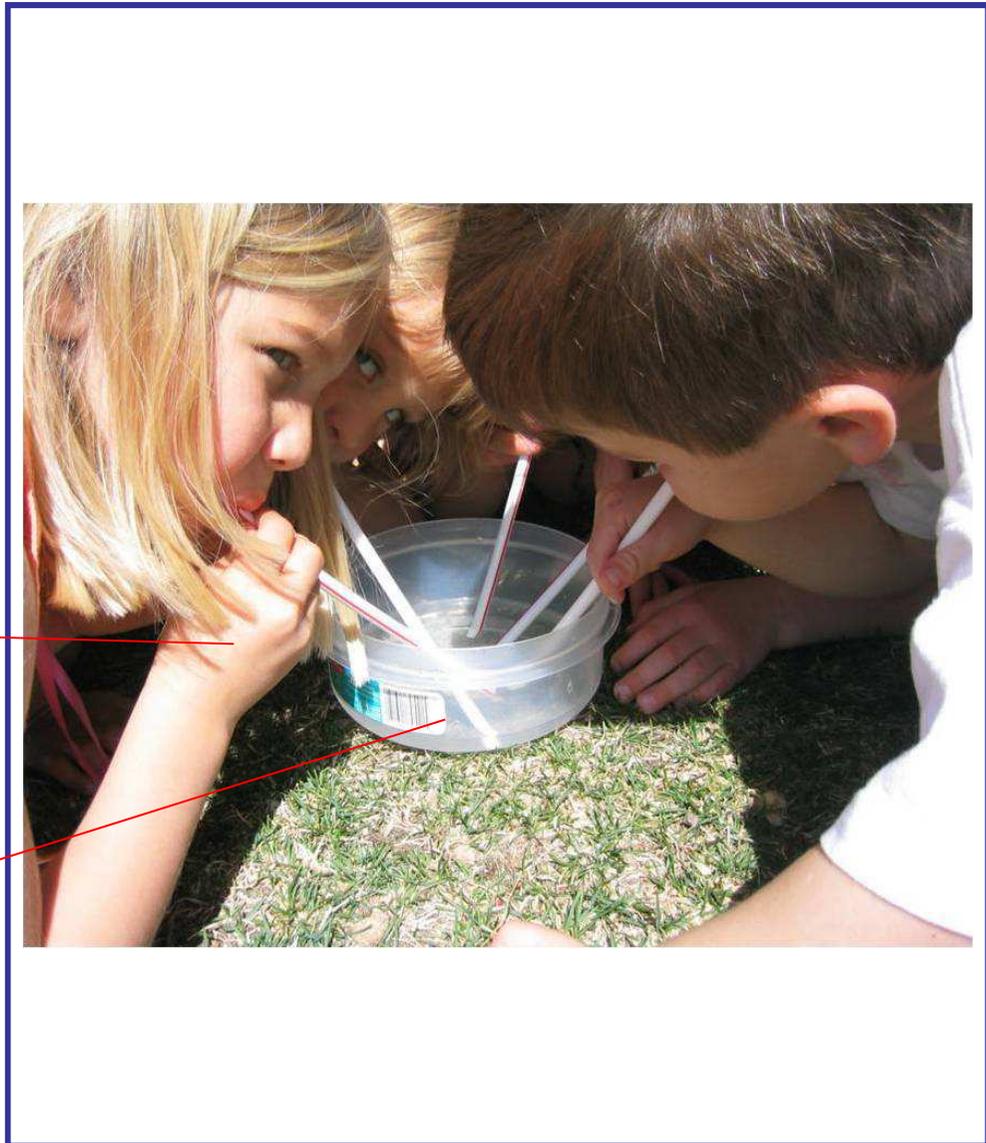
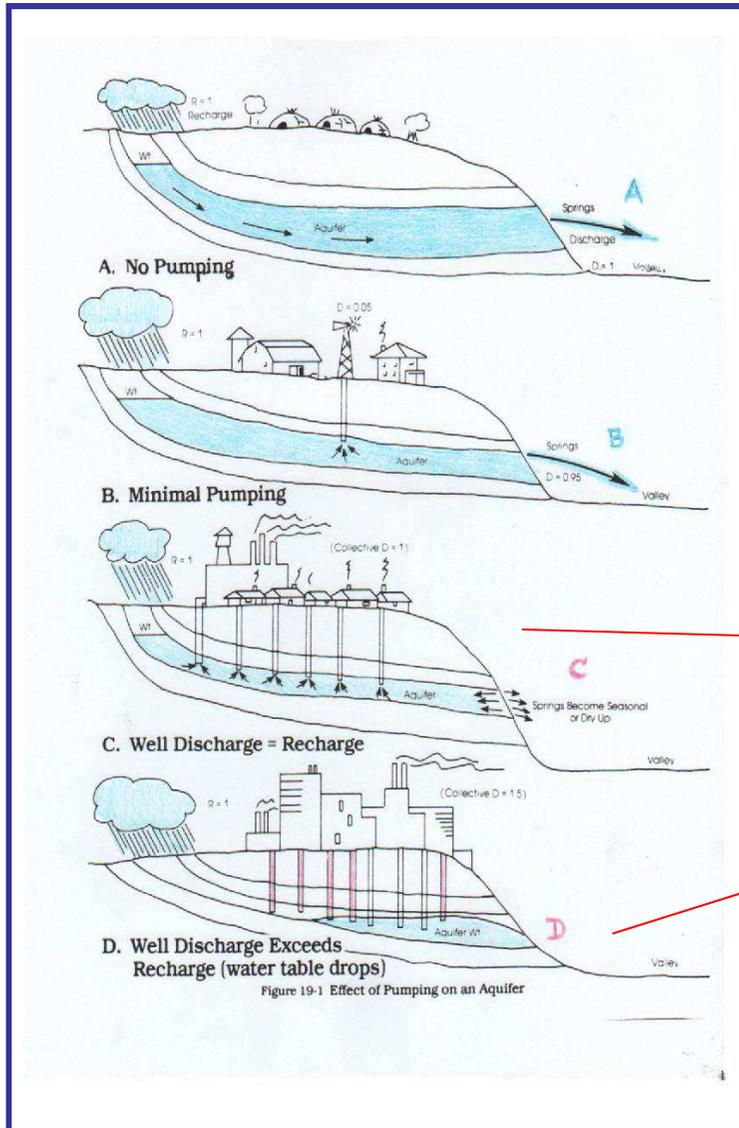
EVALUACIÓN MATEMÁTICA DE ACUÍFEROS

**Los Modelos Numéricos para
Estudios Regionales**

EVALUACIÓN DE ACUÍFEROS



LA COMPETENCIA POR EL AGUA



EVALUACIÓN DE ACUÍFEROS



MODELACIÓN DE ACUÍFEROS

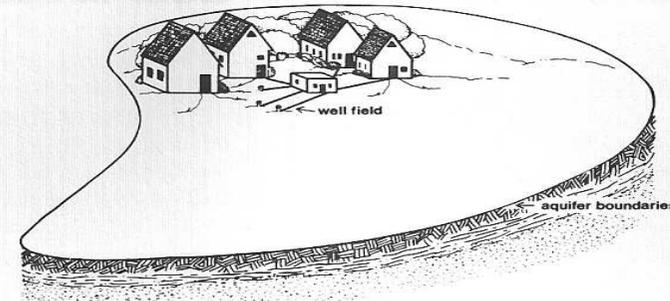
Etapas en la Modelación de Acuíferos

Discretización

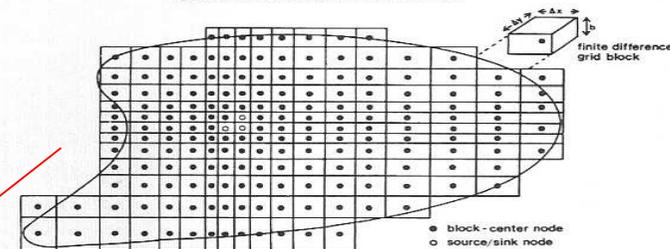
de la región entera de flujo:

Significa **la subdivisión de la región en elementos 3 –dimensionales** más pequeños en el sentido vertical y horizontal, o en ambos.

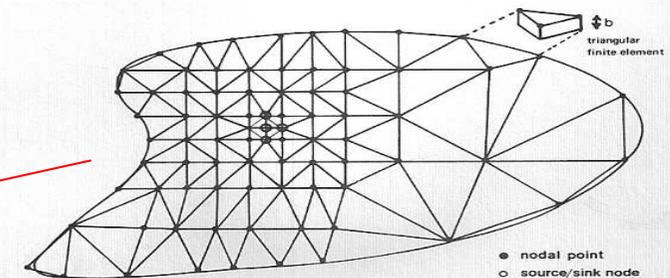
Dentro de **un elemento** los valores de los parámetros se mantienen **constantes**, mientras que entre **los elementos** puede haber **variación**.



Map View of Aquifer Showing Well Field and Boundaries.



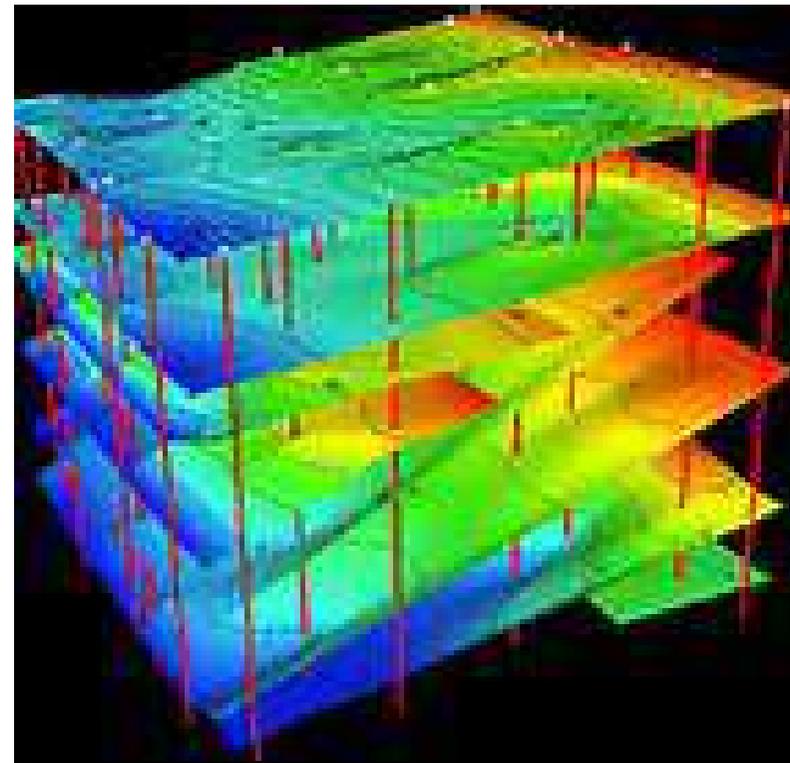
Finite-Difference Grid for Aquifer Study, where Δx Is the Spacing in the x-Direction, Δy Is the Spacing in the y-Direction and b Is the Aquifer Thickness.



Finite-Element Configuration for Aquifer Study where b Is the Aquifer Thickness.

MODELACIÓN DE ACUÍFEROS

1. Modelo Hidrogeológico Conceptual
2. Modelo Hidrogeológico Numérico



EVALUACIÓN DE ACUÍFEROS



MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

DATOS DE BASE PARA LA MODELACION

- Información **climática e hidrológica** del área de estudio.
- Información geológica, hidrogeológica e hidrogeoquímica.
- Pruebas de **infiltración**
- **Identificación de las zonas de recarga.**
- Análisis de las **pruebas de bombeo.**
- **Datos de Niveles Estáticos de los pozos.**
- **Sondeos Geoeléctricos** en donde no existe información de pozos.
- **Diseños mecánicos y registros eléctricos de los pozos construidos.**
- **Cartografía digital** del área de estudio, con curvas de nivel al mayor detalle disponible.
- **Datos del régimen de explotación de los pozos existentes.**
- Granulometría de los lechos de las corrientes de agua de la zona, o una **descripción litológica, sedimentológica y textural.**

MODELACIÓN DE ACUÍFEROS

1. MONTAJE DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO MATEMÁTICO

- Elaboración de las capas del modelo y definición de la extensión del modelo.
- Montaje de las estructuras hidráulicas o los pozos existentes
- Definición de las condiciones de frontera.

• 2- CALIBRACIÓN

Ejecución del programa del modelo repetidamente con diferentes valores y comparación con valores conocidos: **Se elige el resultado más cercano**

- **1-** Calibración del modelo matemático **en condiciones iniciales de flujo**
- (**en estado estacionario**).
- **2-** Calibración del modelo matemático **en estado transitorio**
- (**acuífero activo**).

• 3- SIMULACIÓN

- Simulación de escenarios de explotación del campo de pozos y generación de salidas.

MODELACIÓN DE ACUÍFEROS

MODFLOW

Introducción de datos al

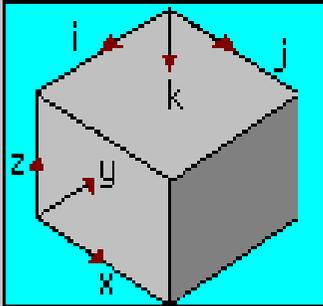
Modelo Numerico

C:\vmodnt\tutorial\Airport1.vmf [X]

Create model using base Map

Map File:

Model Domain

Columns(j)	<input type="text" value="40"/>	Rows(i)	<input type="text" value="40"/>
Xmin	<input type="text" value="0"/> [m]	Ymin	<input type="text" value="0"/> [m]
Xmax	<input type="text" value="1000"/> [m]	Ymax	<input type="text" value="1000"/> [m]
Layers(k)	<input type="text" value="3"/>		
Zmin	<input type="text" value="0"/> [m]		
Zmax	<input type="text" value="18"/> [m]		

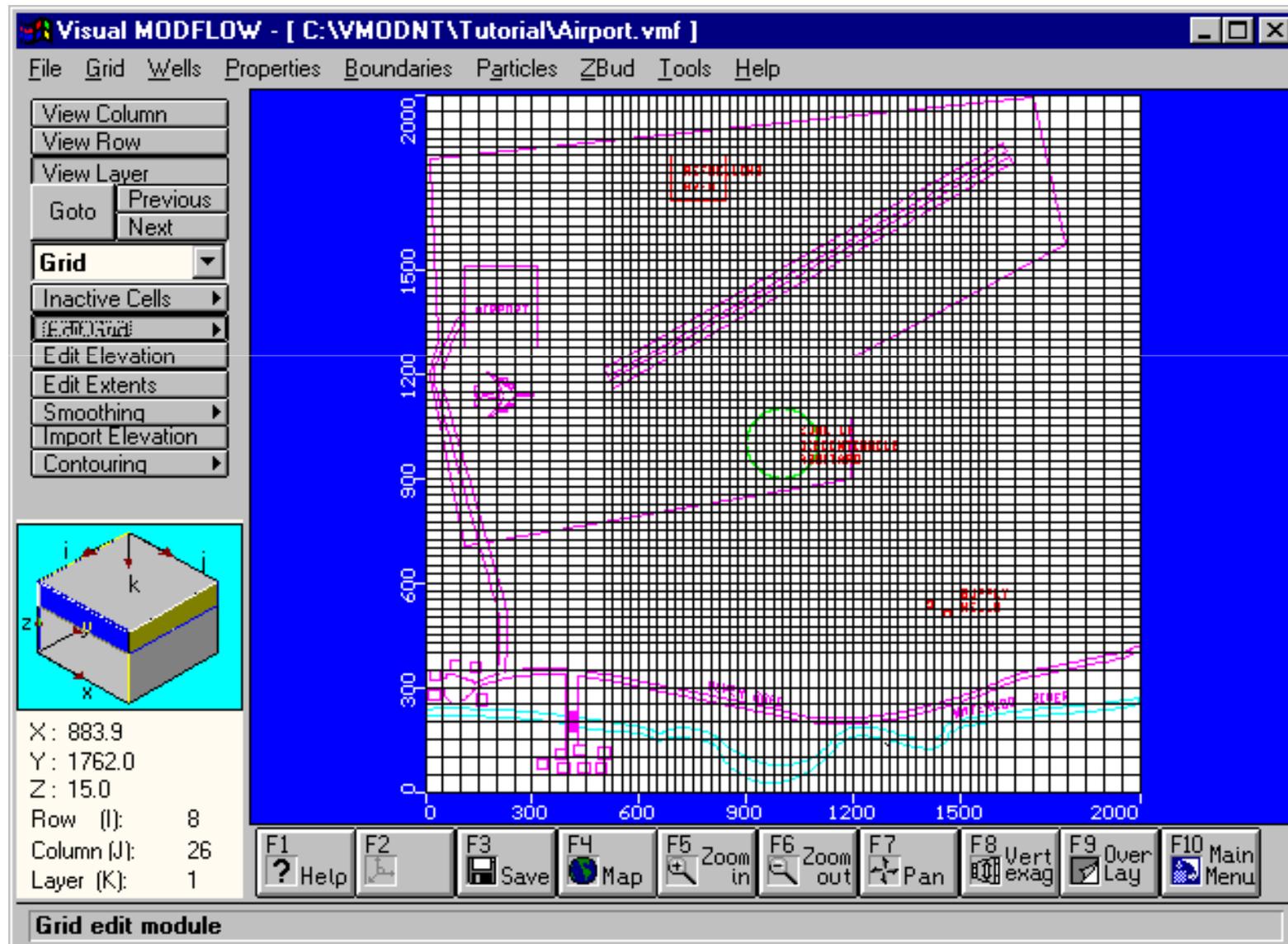
Setup Transport Model

Units

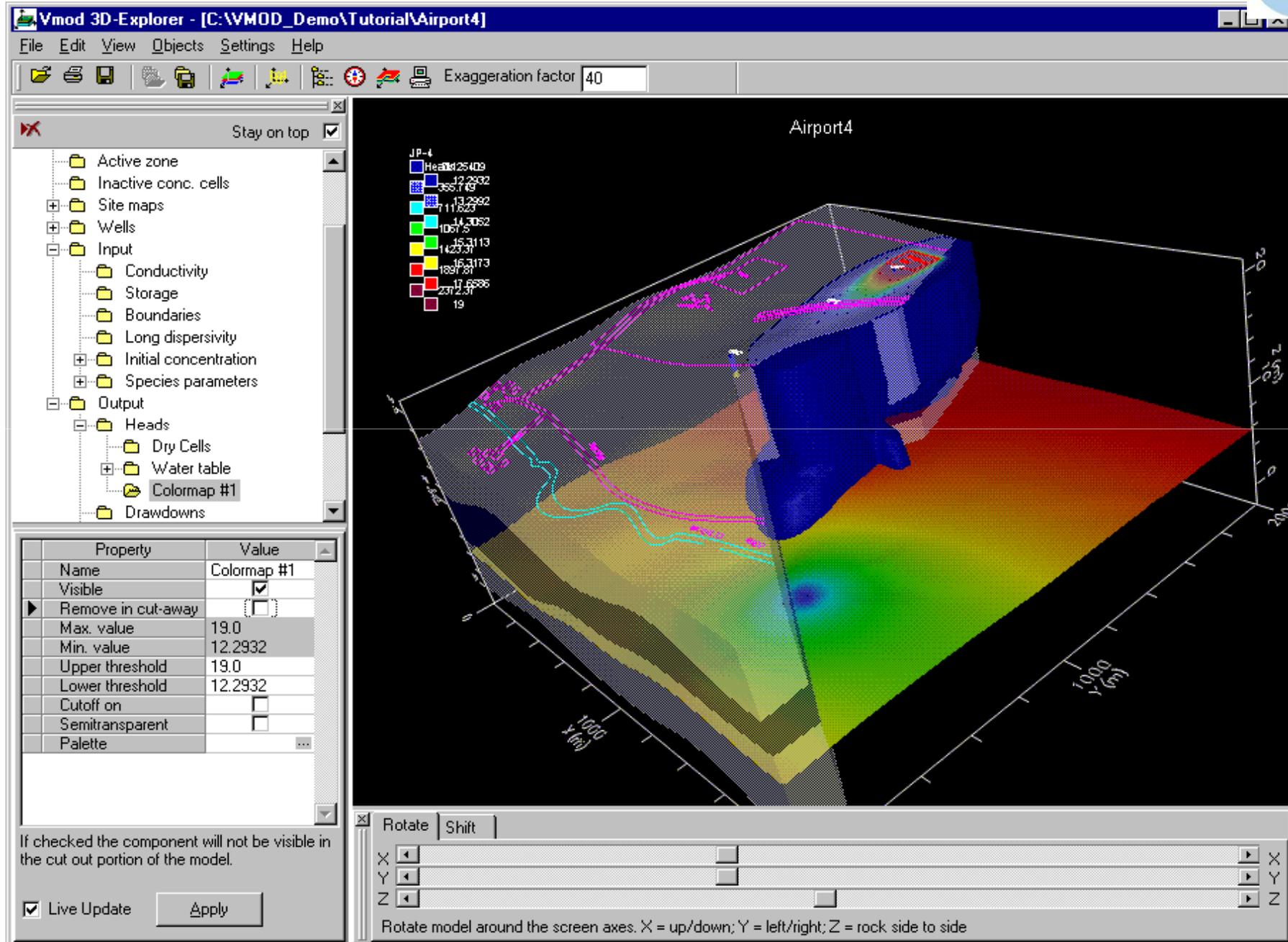
Length	<input type="text" value="meters"/>
Time	<input type="text" value="days"/>
Conductivity	<input type="text" value="m/second"/>
Pumping Rate	<input type="text" value="m³/day"/>
Recharge	<input type="text" value="mm/year"/>
Mass	<input type="text" value="kg"/>
Concentration	<input type="text" value="mg/L"/>

MODELACIÓN DE ACUÍFEROS

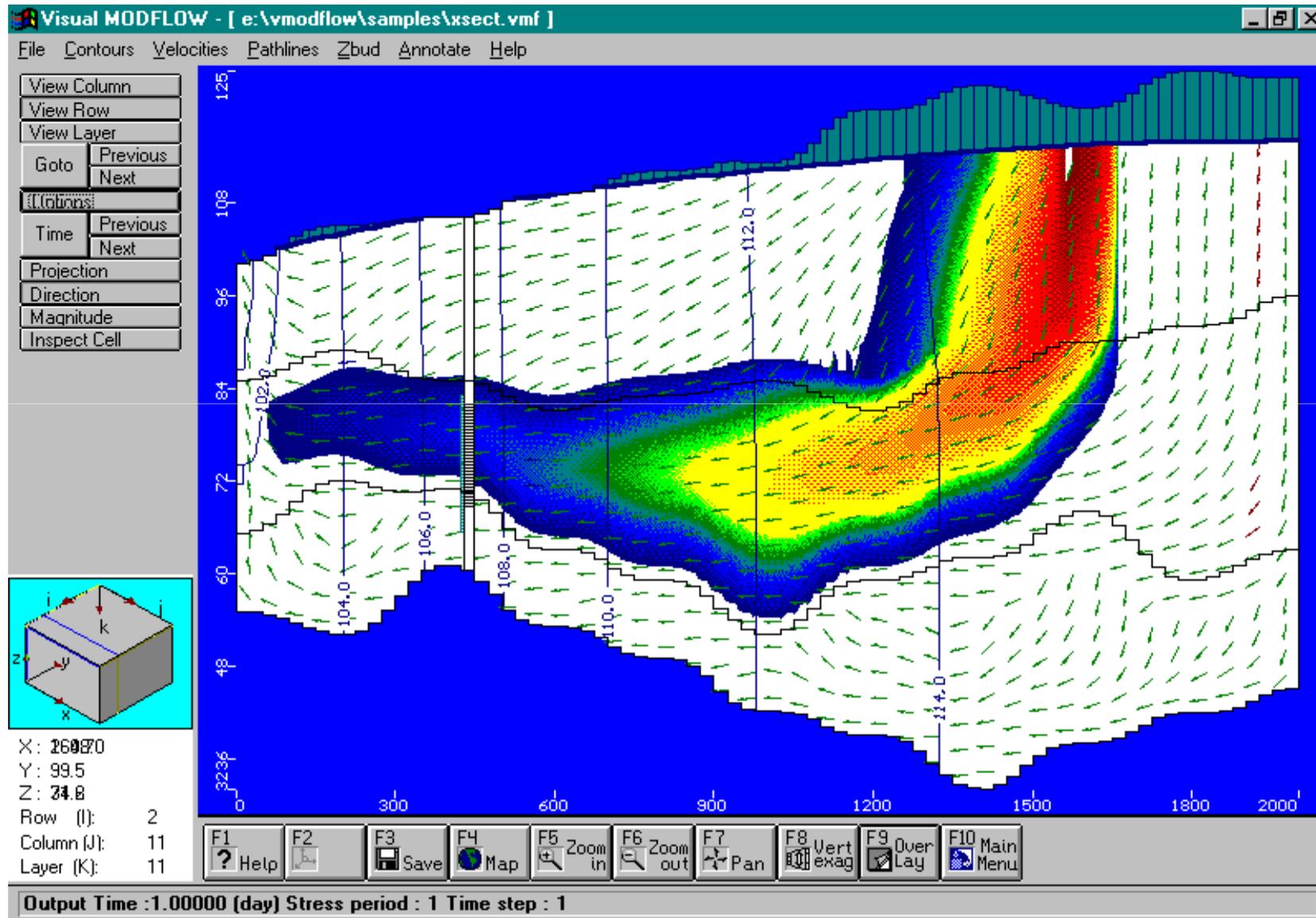
Elaboración de la malla de Base para el Modelo Numerico



MODELACIÓN DE ACUÍFEROS: Imagen de Resultados



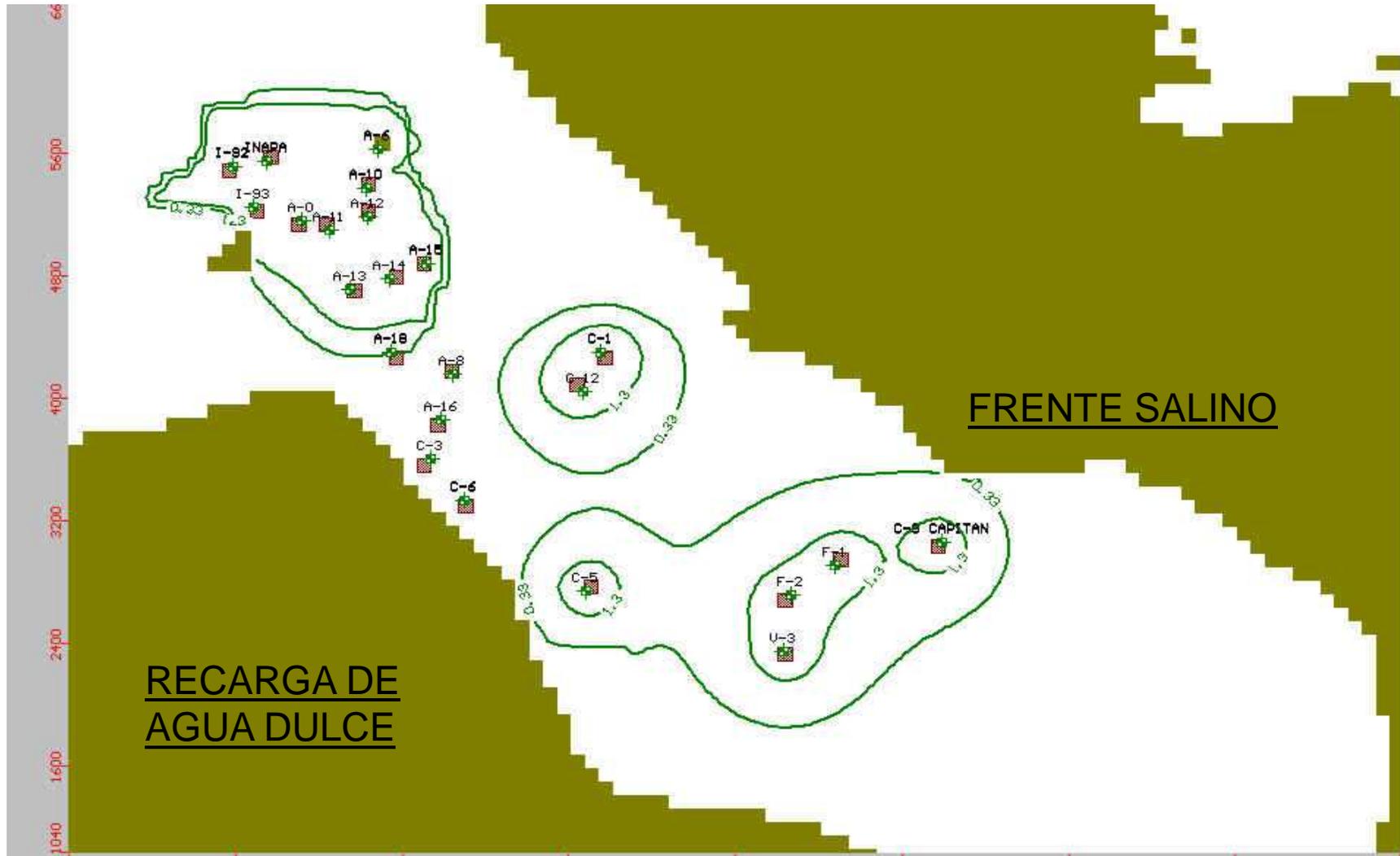
MODELACIÓN DE ACUÍFEROS: Imagen de Resultados



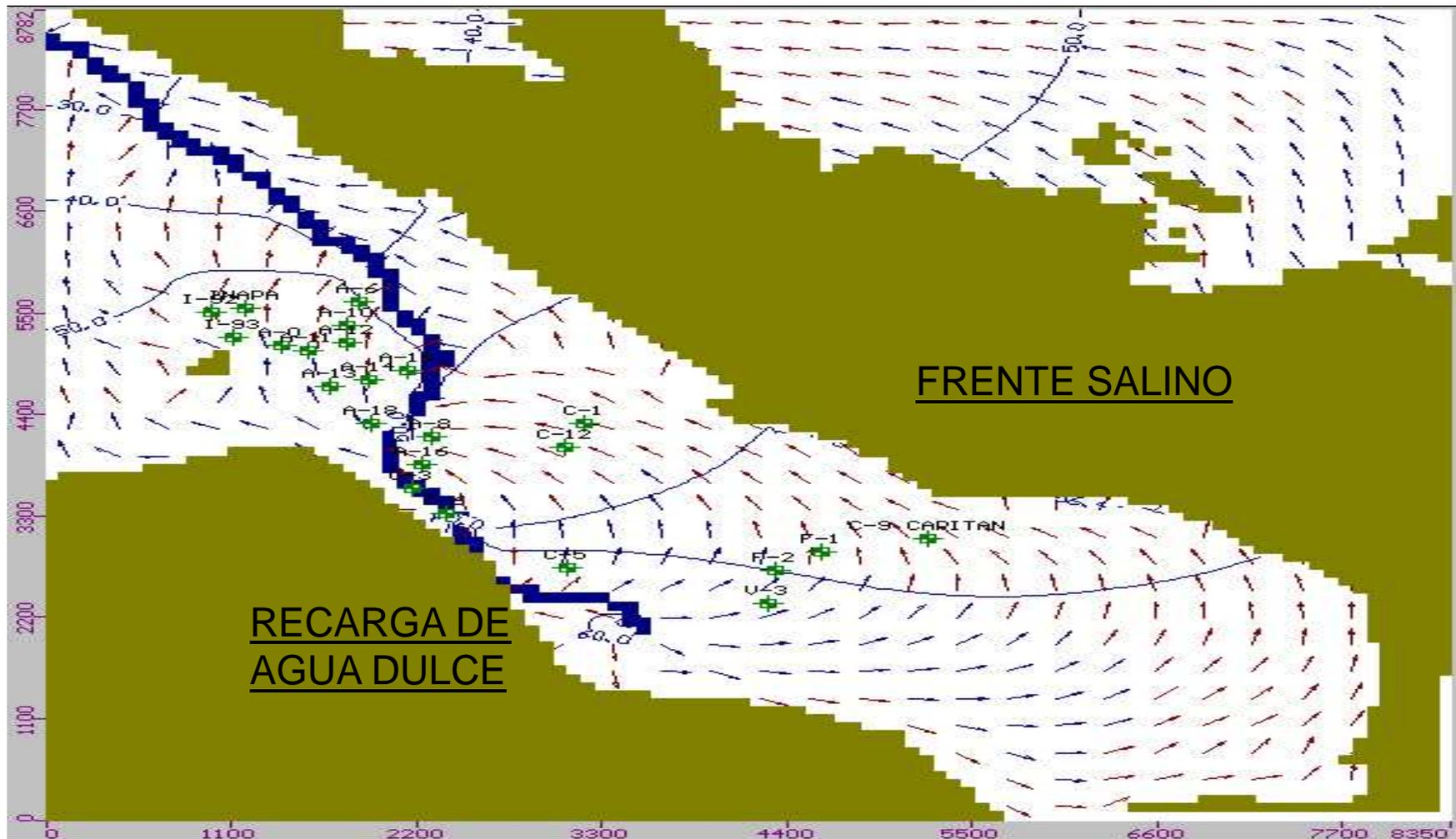
MODELACIÓN DE ACUÍFEROS: Estudio de Caso



ABATIMIENTOS DE 1.3 m y de 0.30 m GENERADOS A DISTANCIAS DE 300 y 500 m, RESPECTIVAMENTE, AL SIMULAR UN BOMBEO DE 60 l/s DURANTE 1 DÍA



RESULTADOS DE UN PROYECTO: DIRECCIONES DE FLUJO SIMULADAS PARA EL SISTEMA ACUÍFERO ABANICO ALUVIAL DE ANGOSTURA



MODELACIÓN DE ACUÍFEROS



OBJETIVO FINAL:

EXTRAER AGUA DULCE Y SUFICIENTE

Y

CONSERVAR LOS ACUÍFEROS
A LARGO PLAZO



CURSO DE AGUAS SUBTERRANEAS

EVALUACIÓN MATEMÁTICA DE ACUÍFEROS

F I N

Mario Valencia Cuesta

Geólogo

AGUAS SUBTERRÁNEAS LTDA.

aguassubterraneeas@gmail.com,

www.aguassub.com,

