

principalmente de aglomerados basálticos compactos y parcialmente de capas finas de escoria porosa como los acuíferos.

Sin embargo este pozo exploratorio ha revelado la existencia de una formación diferente de lo que se ha conocido comunmente como Grupo Las Sierras. El aglomerado compacto del Grupo Medio Las Sierras desde la superficie del suelo es de solamente 80 metros de espesor y yace sobre una formación gruesa de materiales volcánicos compuesta de un flujo de escoria con suelo fósil, flujos de lava porosa basáltica y flujos de cenizas de más de 220 metros de espesor.

Los materiales que yacen bajo el Grupo Medio Las Sierras se consideran que son productos del vulcanismo inicial del mismo grupo (Las Sierras). Una estructura geológica supuesta y una sección geológica esquemática del área aparece en las Figuras 4.6.1 y 4.6.2. Si la estructura supuesta es correcta, probaría que el área hidrogeológicamente es prometedora y que se puede esperar una buena reserva de agua subterránea (Sc: 19.464,48 m³/día/m).

(2) Pozo JI-2

Este pozo exploratorio se perforó para investigar la ocurrencia de las aguas subterráneas y las características hidráulicas del acuífero del Grupo Volcánico Masaya y del Grupo Medio Las Sierras, se tuvo como meta la perforación hasta una profundidad de 200 metros.

Por medio de ésta perforación exploratoria, se confirmó que la principal formación acuífera en el área es el Grupo Volcánico Masaya. Las litofacies se componen de lava basáltica fisurada y porosa, lava basáltica auto-brechada y flujos piroclásticos tales como escoria porosa y capas de cenizas. La capacidad específica obtenida (Sc) por las pruebas de bombeo en los pozos exploratorios fue de 687,77 m³/día/m.

(3) Pozo JI-3

Los propósitos principales de ésta prueba de perforación fueron tres:

a) Investigar la ocurrencia de aguas subterráneas y las características hidráulicas del acuífero del Grupo Volcánico

Masaya y del Grupo Medio Las Sierras.

b) Confirmarla existencia de una capa basal hidrogeológica impermeable estimadas en base a los resultados de la prospección eléctrica (Fig. 4.6.3).

c) Investigar la condición geotérmica de la porción acuífera profunda del área relacionada con los manantiales de aguas termales de Tipitapa y sus alrededores.

Se planificó llevar esta perforación hasta la profundidad de los 400 metros; pero, considerando que a los 366 metros de profundidad ya se habían logrado los objetivos propuestos se dejó con la profundidad de 366 metros.

Los resultados principales obtenidos con esta perforación exploratoria son los siguientes:

(a) Los principales acuíferos del área son piroclastos caídos y capas de flujos de escoria y fragmentos de rocas del Grupo Volcánico Masaya y aglomerado meteorizado con suelo fósil y capas de escoria del Grupo Medio Las Sierras. La capacidad específica (S_c) obtenida con los resultados de las pruebas de bombeo de estos pozos exploratorios fue de $1.118,64 \text{ m}^3/\text{día/m}$.

(b) La capa basal está compuesta por dacita (dike) e ignimbrita dacítica del Grupo Coyol Superior. Esta capa basal fue confirmada por la perforación a una profundidad de 266 a 366 metros.

(c) La litología en este pozo exploratorio cambia del Grupo Medio Las Sierras a roca ignimbrita dacítica y roca dacítica intrusiva del Grupo Coyol Superior a la profundidad perforada de 266 metros. En relación a lo antes expuesto, la temperatura aumentó de 35°C a $39,5^\circ\text{C}$.

En este pozo exploratorio, se tomaron 4 muestras de agua a las profundidades de 164,59m, 214,58m, 264,57m y 314,55 metros. Los componentes químicos del agua eran de tipo combinación de agua subterránea poco profunda [$\text{Ca}(\text{HCO}_3)$] y de agua subterránea semi-confinada (NaHCO_3).

(4) Pozo JI-4

Este sitio de perforación se seleccionó para investigar las características hidráulicas del acuífero, de una zona de baja capacidad de producción, en el Grupo Medio Las Sierras.

El principal acuífero del área es un aglomerado meteorizado, con capas de suelo fósil, la capacidad específica (Sc) obtenidas con las pruebas de bombeo fue de 123,77 m³/día/m.

(5) Pozo JI-5

Este pozo exploratorio se perforó para investigar la estructura hidrogeológica del Valle Los Brasiles, establecer las características del acuífero del Grupo Medio Las Sierras y para confirmar o negar la existencia en el subsuelo del Valle de la Formación El Salto.

Los principales acuíferos de ésta área son aglomerados meteorizados con capas de suelo fósil, aglomerados fracturados y capas basales de arenisca gruesa tobácea y conglomerados finos, sobre la parte superior de la formación El Salto.

La Formación El Salto se interceptó a los 167,64 metros de profundidad y se penetró en ella 32,36 metros. La litofacie de la Formación El Salto, en el Area de Estudio, consiste de arenisca tobácea y limo con toba arenosa, arenisca fina tobácea con fragmentos finos de conchas fósiles y por conglomerados finos tobáceos con gravas calcáreas.

La estructura hidrogeológica del Valle Los Brasiles se estima tal como nos muestra la Figura 4.1.5.

La capacidad específica obtenida con las pruebas de bombeo fue de 804,19 m³/día/m.

Cuadro 4.6.1 Características generales de 7 pozos exploratorios

Table 4.6.1 General Feature of Seven Test Wells

Nombre de Pozo (Well Name)	JICA No. 1	JICA No. 2	JICA No. 3	JICA No. 4	JICA No. 5	Juan Ramon Robles	No. 1285
1. Dirección (Address)	Las Madrigales	Veracruz	Sabana Grande	Socrates Sandino	Bello Amanecer	El Pique	Hermanos Rosales
2. Latitud (Latitude)	12° 03' 30"	12° 06' 08"	12° 08' 50"	12° 06' 43"	12° 08' 22"	12° 05' 53"	11° 59' 40"
Longitud (Longitude)	86° 11' 43"	86° 09' 32"	86° 08' 59"	86° 12' 51"	86° 20' 51"	86° 09' 44"	86° 06' 29"
3. Elevación (Elevation)	Aprox. 220m	Aprox. 125m	Aprox. 78m	Aprox. 86m	Aprox. 145m	Aprox. 109m	Aprox. 255m
4. Diámetro del ademe (Diameter of Casing Pipes)	12" 3/4	12" 3/4	12" 3/4	12" 3/4	12" 3/4	13" 1/2	6"
5. Perforado por (Drilled by)	JICA Study Team	JICA Study Team	JICA Study Team	JICA Study Team	JICA Study Team	--	--
6. Fecha de inic. y final de la Perforación (Bigining and Completion Date of Drilling)	Jun. 10 1992 Nov. 16 1992	Jun. 17 1992 Nov. 18 1992	Jun. 15 1992 Nov. 14 1992	Jun. 19 1992 Oct. 20 1992	Jun. 18 1992 Oct. 23 1992	-- --	-- --
7. Tiempo que tomo (Spent days) (días:days)	160	155	153	116	63	--	--
8. Posición de rejilla (Screen Position)	107.28	88.84	19.46	109.00	114.80	--	--
1) Tipo puente (Bridge Type) (Nivel de tierra -m) (Ground Level -m)	~156.05 174.80 ~186.99	~105.91 118.16 ~152.30 170.68 ~182.58	~29.21 41.71 ~92.92 141.12 ~155.75 218.13 ~220.59	~130.90 137.20 ~156.70 162.90 ~175.10	~151.40	--	--
2) Jhonson (Nivel de tierra -m) (Ground Level -m)	186.99 ~210.16	71.44 ~38.84	105.42 ~128.62	175.10 ~192.50	163.60 ~181.00	--	--
9. Longitud de rejilla (Screen Length)							
1) Tipo puente (Bridge Type)	60.96	63.74	78.05	53.60	36.60	--	--
2) Johnson (m)	23.17	17.40	23.20	17.40	17.40	--	--
10. Temperatura de agujero (Temperature of Borehole) (°C)	--	34.0 (200m)	35.3 (280m)	32.0 (200m)	40.7 (200m)	--	--
11. Temperatura de agua (Temperature of Water) (°C)	--	28.6	33.5	30.9	35.0	30.3	--
12. Conductividad (Conductivity) (mS/cm)	--	1.180	--	0.361	1.000	1.003	--

Cuadro 4.6.2 Resultados de pruebas de bombeo

Table 4.6.2 Results of Pumping Test

Nombre de Pozo (Well Name)	JICA No. 1	JICA No. 2	JICA No. 3	JICA No. 4	JICA No. 5	Juan Ramon Robles	No. 1 2 8 5
1. Profundidad (Well depth) (m)	300	200	366	200	200	138	--
2. Longitud de rejilla (Total Screen Length) (m)	84.13	81.14	101.25	71.00	54.00	--	--
3. Principal formacion acuilfera (Main Formation of Aquifer)	TQps (M)	QvM, TQps (M)	QvM, TQps (M)	TQps (M)	TQps (M)	QvM	TQps (M)
4. Fecha de bombeo (Pumping Test Date)	Nov. 14-16 1992	Nov. 16-18 1992	Nov. 12-14 1992	Oct. 14-18 1992	Oct. 21-23 1992	Oct. 03-05 1992	Jul. 08 1992
5. Nivel estatico de agua (Static Water Level) (G.L. -m)	104.24	43.47	14.52	94.28	100.18	39.80	96.73
6. Caudal (Discharge Rate) (m ³ /d)	1,483	2,469	2,998	1,472	1,472	2,470	87
7. Descenso (Drawdown) (m)	0.076	3.59	2.68	11.89	1.83	8.37	0.47
8. Capacidad Especifica (C.B.) (Specific Capacity) (m ³ /d)	19,464	688	1,119	124	804	295	183
9. Transmisividad (Transmissivity)							
1) a. Theis	--	915	--	147	50	123	323
b. Jacob	--	1,291	3,658	150	267	192	354
2) Recuperación (Recovery Test)	--	1,290	3,429	112	--	105	332
3) $T=1.22 \times C.B.$	23,746	839	1,364	151	981	360	223
10. (Storage Coefficient) Coeficiente de Almacenamiento	--	3.24×10^{-1}	--	1.82×10^{-1}	--	--	--
11. Aquifer Loss Coefficient Coeficiente de Pérdida del Acuífero (d/m)	--	--	5.92×10^{-1}	1.42×10^{-1}	--	--	--
12. Well Loss Coefficient Coeficiente de Pérdida del Pozo (d'/m')	--	--	1.10×10^{-1}	2.57×10^{-1}	--	--	--

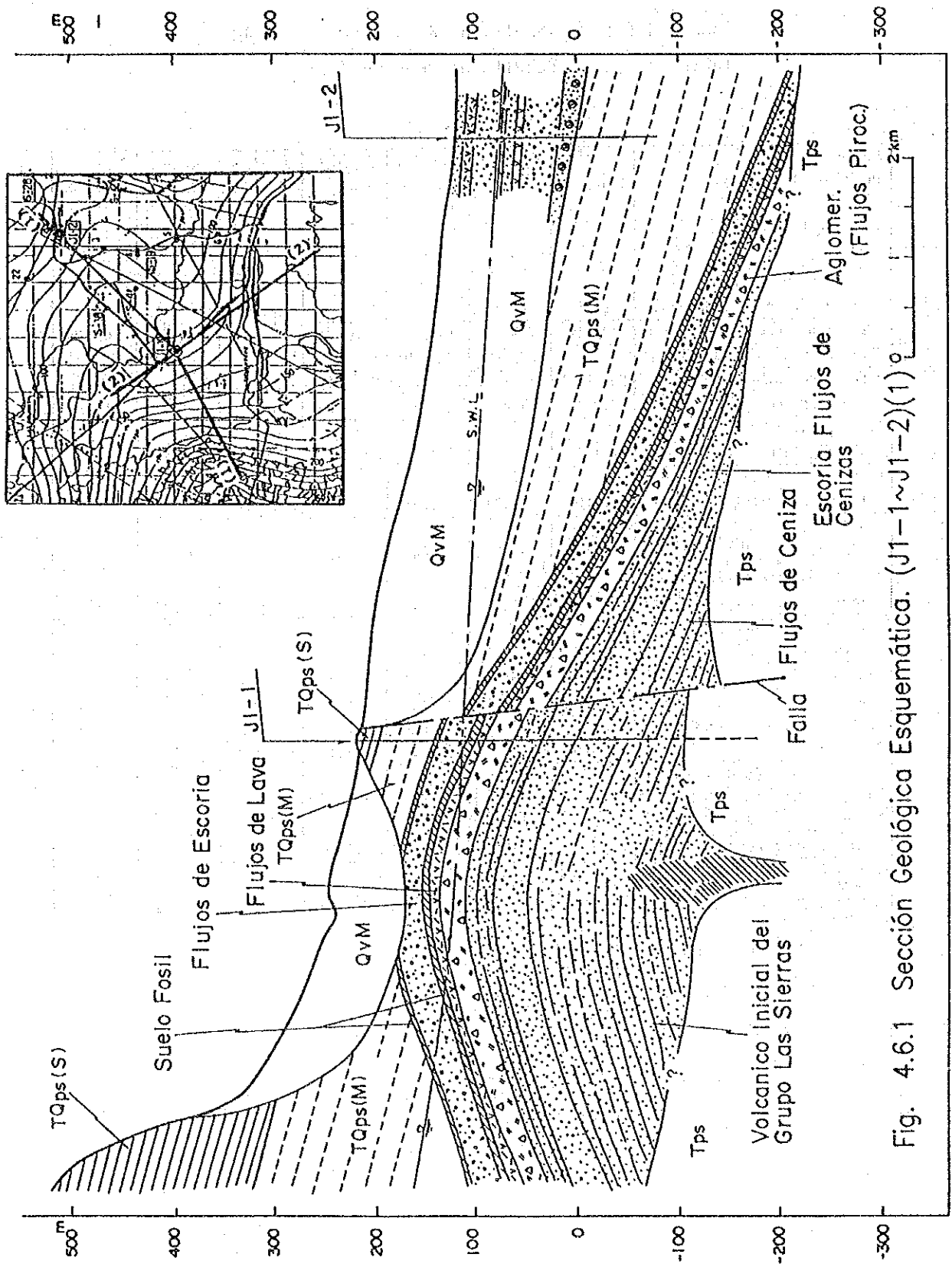


Fig. 4.6.1 Sección Geológica Esquemática. (J1-1~J1-2)(1) 9

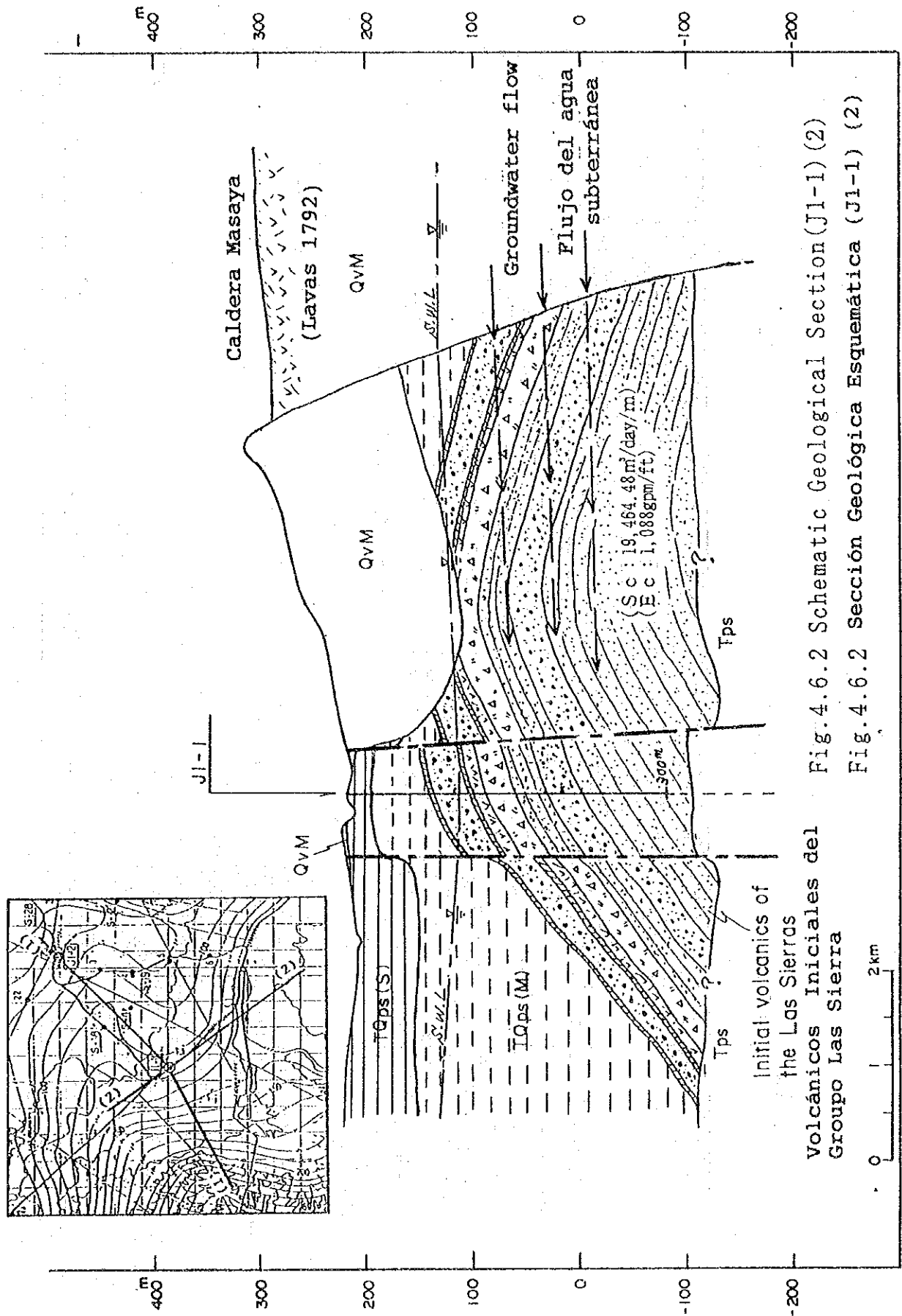


Fig. 4.6.2 Schematic Geological Section (J1-1) (2)

Fig. 4.6.2 Sección Geológica Esquemática (J1-1) (2)

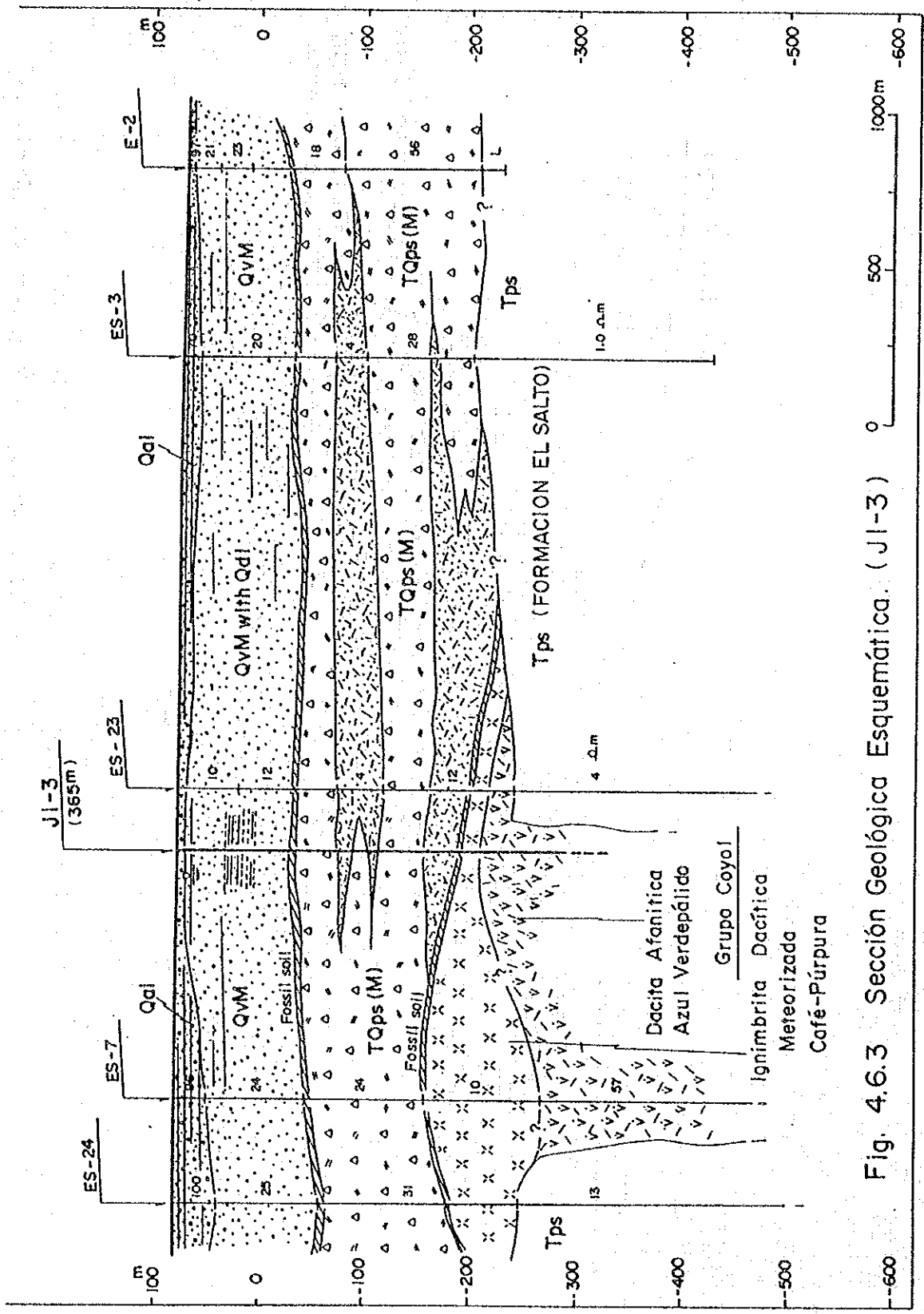


Fig. 4.6.3 Sección Geológica Esquemática. (Jl-3)

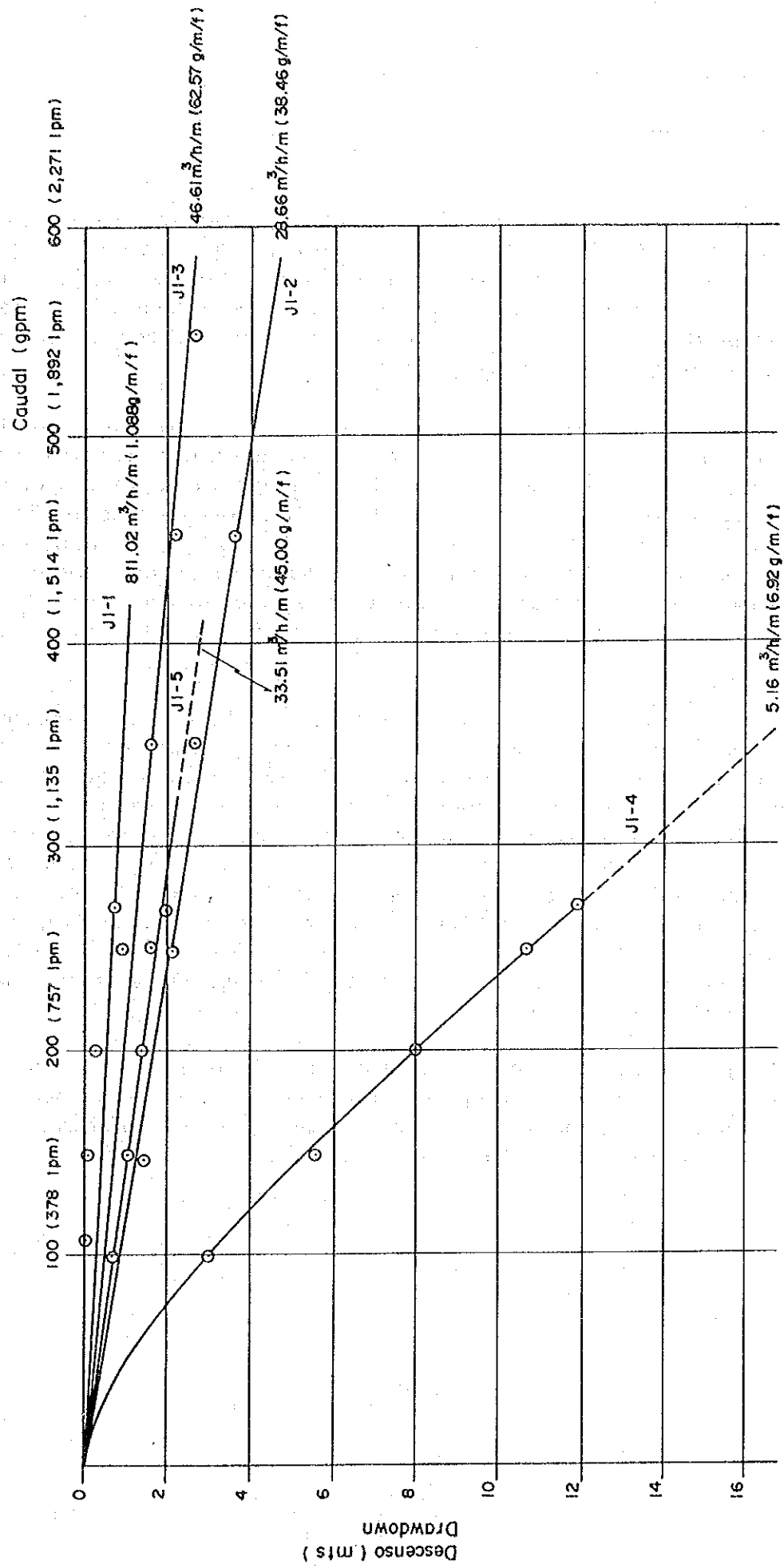


Fig. 4. 6.4 Pruebas de Bombeo a Descarga Variable

Fig. 4. 6.4 Step Drawdown (Discharge) Test

4.7 Calidad del Agua

El análisis de la calidad de agua para las muestras de agua subterránea se realizó con el objetivo de evaluar su adaptabilidad para agua potable y para comprender el flujo del agua subterránea hidrogeológicamente. Los resultados de los análisis demuestran que la mayor parte del agua subterránea en el área de Estudio es adecuada para agua potable.

La localización de los puntos en el diagrama trilineal muestran las características del agua en relación con el sistema de flujo del agua subterránea. En el caso del área de Estudio la mayor parte de los puntos están distribuidos en áreas con alto contenido de $(CO_3 + HCO_3)$, a excepción de la laguna de Apoyo y Nejapa las que se consideran han sido influenciadas grandemente por actividades volcánicas. Los manantiales de aguas termales de Tipitapa también tienen la misma posición (ver la Fig. 4.7.1).

Por otro lado, las muestras tomadas en el área aguas arriba (donde el período de permanencia es corto) como el km 16 carretera León y San Marcos están situados en áreas donde la proporción de $Ca + Mg$ es pequeña. Las muestras tomadas en el área aguas abajo (donde el período de permanencia es mayor), pero por otro lado, están situados en áreas donde la proporción de $Na + K$ es grande. Lo que se le puede atribuir al proceso de intercambio de iones y cationes en donde el proceso de intercambio de Na^{2+} , Mg^{2+} , a Ca^{2+} se considera generalmente favorable. La mayor parte de los puntos indican claramente que las condiciones son similares.

El diagrama patrón de Stiff muestra también las mismas condiciones arriba mencionadas, y se observó un aumento en la concentración de iones en las muestras tomadas en Sabana Grande, Cofradía y San Rafael (ver la Figura 4.7.2).

Tri-linear Diagram (Diagrama Tri-lineal)

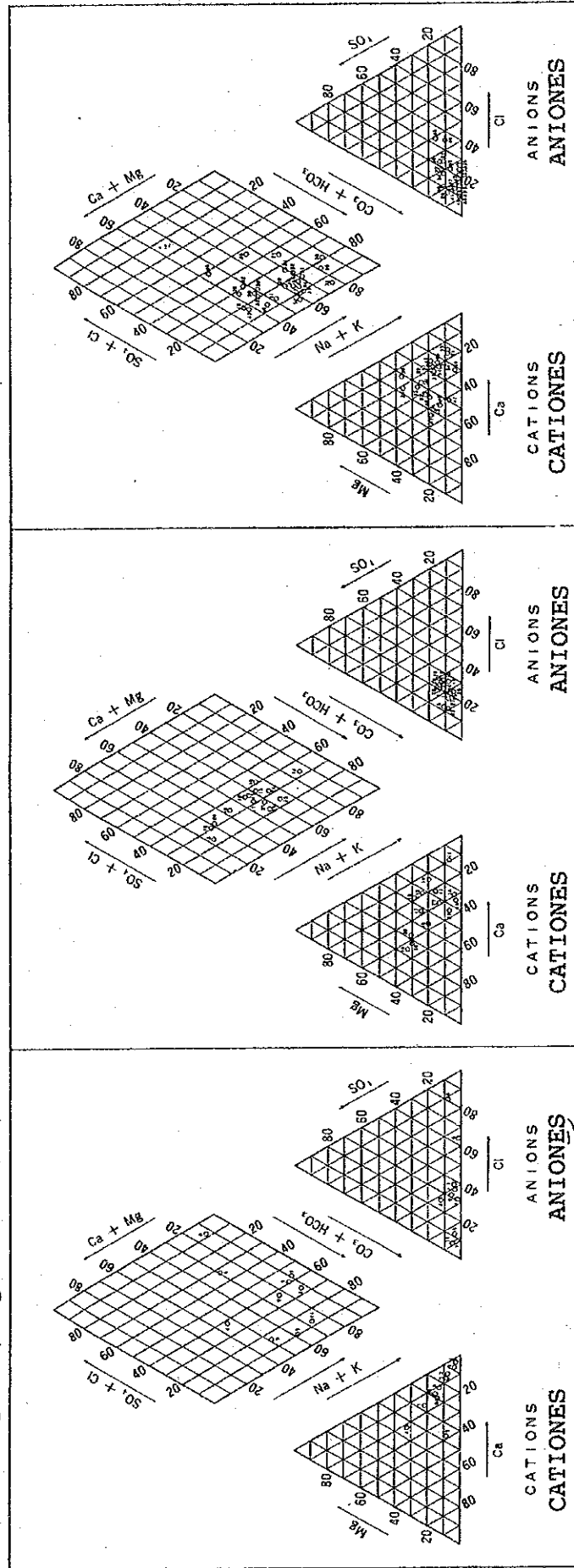
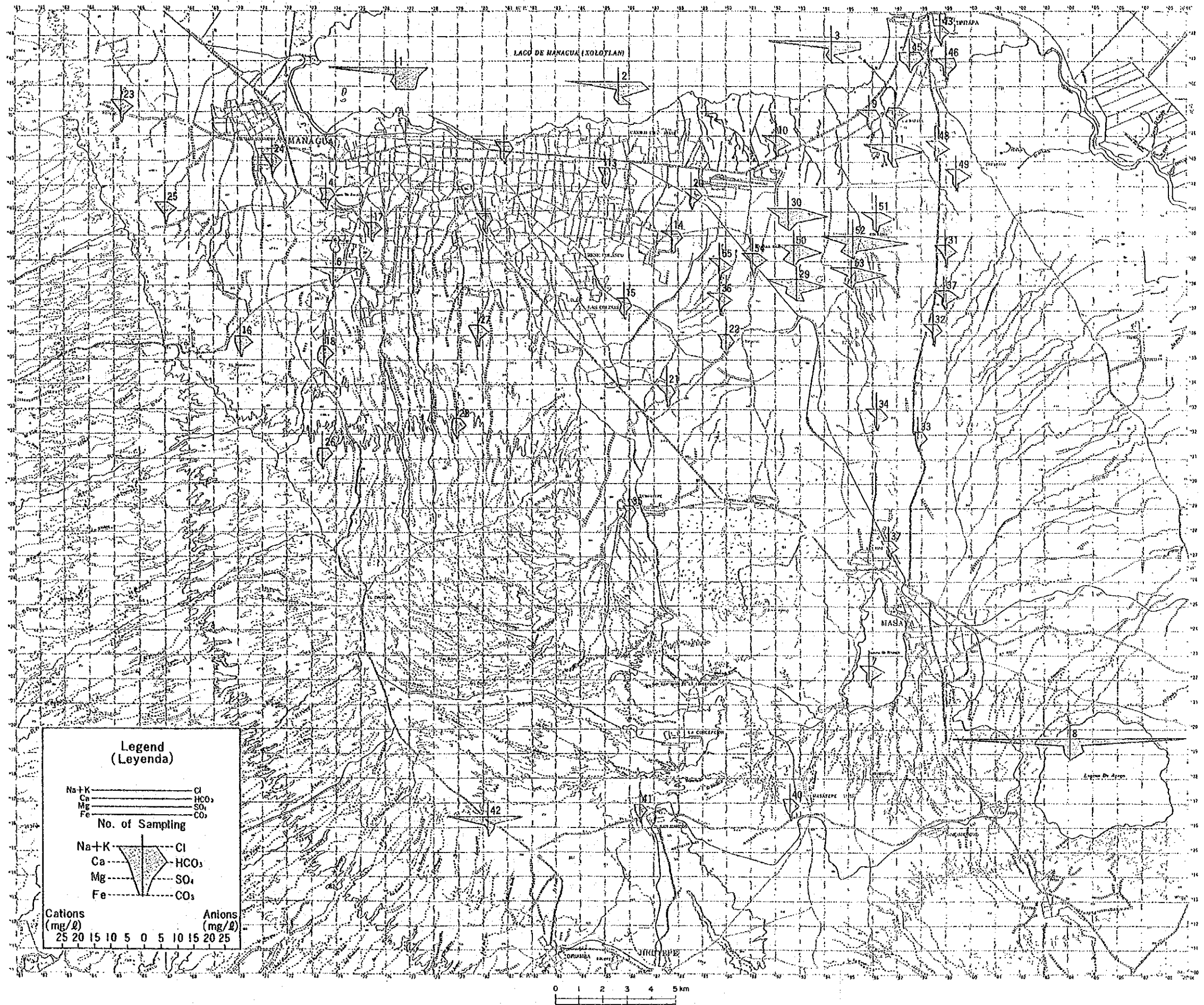


Fig. 4.7.2
Stiff Pattern Diagram (Diagrama Patrón de Stiff)



4.8 Características Hidrogeológicas del Area de Estudio

4.8.1 Aspectos hidrogeológicos

Las formaciones acuíferas principales en el Area de Estudio son tres: los depósitos Aluviales con materiales piroclásticos Cuaternarios, el Grupo Volcánico Masaya y el Grupo Las Sierras Medio. Por otro lado, la Formación El Salto y las otras formaciones Terciarias se clasifican como capas hidrogeológicas impermeables (acuitardo ó acuiclusa).

(1) Depósitos aluviales (Qal)

Los depósitos Aluviales están principalmente distribuidos en el Valle de los Brasiles entre la Escarpa de Falla de Mateare y la cadena volcánica de Apoyeque, Asososca, Nejapa, Ticomo y en los alrededores del área costera de Las Mercedes.

El valle de Los Brasiles está principalmente relleno de depósitos coluviales y de pie de monte proveniente de la Escarpa de Falla de Mateare, de depósitos lacustres compuestos de arena, limo, y arcilla, y de materiales piroclásticos Cuaternarios tales como: pómez y escoria.

El acuífero principal en estos depósitos Aluviales se estima que se encuentra en las capas de arena gruesa, pómez y escoria. Los pozos existentes en la parte nor-occidental del valle con una profundidad de aproximadamente 120 a 150 metros producen de 2.000 a 6.000 m³/día, respectivamente con un abatimiento de casi 5 metros.

El área costera del Lago de Managua alrededor de Las Mercedes descansa bajo los depósitos Aluviales y los materiales piroclásticos Cuaternarios. Los depósitos Aluviales, en esta área, están principalmente compuestos de arena fina, materiales limosos y arcillosos, con capas lenticulares delgadas de arena gruesa y grava. Se estima también que los materiales piroclásticos Cuaternarios están compuestos de arena volcánica y depósitos de flujo de escombros volcánicos del Grupo Volcánico Masaya.

Por las características litológicas arriba mencionadas, los depósitos Aluviales del área muestran relativamente una baja capacidad de rendimiento, y controlan los manantiales de agua

subterránea del Grupo Volcánico Masaya (Fig. 4.1.4, 4.8.3).

(2) Grupo Volcánico Masaya (QvM)

Los acuíferos principales del Grupo Volcánico Masaya que sepultan un valle antiguo están en flujos de lava basálticos-andesíticos porosos y auto-brechados, depósitos de flujos piroclásticos y depósitos de piroclásticos caídos permeables. En general, éstos depósitos poseen una alta capacidad de rendimiento. En este Estudio se perforaron dos pozos exploratorios en el área de Veracruz (JI-2) y otro en la parte Este de Sabana Grande (JI-3), con el fin de investigar las condiciones hidrogeológicas del Grupo Volcánico Masaya situado en un valle sepultado.

Los principales campos de pozos existentes en el Grupo Volcánico Masaya son Carlos Fonseca, Sabana Grande y Veracruz. Las formaciones acuíferas de esos campos de pozos no solamente comprenden del Grupo Volcánico Masaya sino que también, el Grupo Las Sierras Medio. Aunque muchos de los pozos de los campos de pozos referidos atravesaron tanto el Grupo Volcánico Masaya como el Grupo Las Sierras Medio, es evidente que el más importante es el Grupo Volcánico Masaya. Los principales campos de pozos de el área en mención producen la siguiente cantidad de agua:

Carlos Fonseca	(16 pozos)	73.808	m ³ /día
Sabana Grande	(5 pozos)	14.913	m ³ /día
Veracruz	(7 pozos)	13.205	m ³ /día
Total	(28 pozos)	101.926	m ³ /día

La cantidad de descarga total de muchos manantiales de agua subterránea del Grupo Volcánico Masaya es aproximadamente de 1,3m³/seg (112.320m³/día, febrero de 1992). Además existe una gran cantidad de agua como flujos subterráneos que forman muchos pantanos.

(3) El Grupo Las Sierras Medio (TQps(M))

El TQps(M) se encuentra distribuido en el subsuelo de todas

las áreas de la cuenca de agua subterránea de Managua. El TQps(M) produce grandes cantidades de agua subterránea provenientes de las capas porosas permeables tales como: flujos de piroclásticos, depósitos de piroclásticos caídos de escoria con fragmentos de rocas, zonas meteorizadas con suelos fósiles y zonas de fracturas presentes en los aglomerados basáltico-andesíticos compactos, toba brechosa y toba.

Los pozos existentes de INAA y que se concentran en el área central de Managua y que aprovechan acuíferos presentes en el Grupo de las Sierras Medio TQps (M) producen las siguientes grandes cantidades de agua subterránea.

Pozos (53)	179.788	m ³ /día (3.392 m ³ /día/pozo)
Laguna de Asososca	39.743	m ³ /día
Total	219.531	m ³ /día

Además se sabe que el TQps(M) es un acuífero de aguas termales, en la parte noreste del área de Estudio, en las riveras del río de Tipitapa existe un manantial de aguas termales que fluye de un afloramiento del TQps(M).

4.8.2 Estructura Hidrogeológica (Prospección Eléctrica)

En este Estudio se realizaron 83 sondeos eléctricos verticales (SEV) para investigar la estructura hidrogeológica de la cuenca de agua subterránea de Managua. Esta prospección fue somera de 100-125 metros con la configuración de electrodo de Wenner (50 puntos) y con la configuración de electrodo de Schlumberger (33 puntos) con una profundidad de prospección de 400-750 metros.

Los resultados de las prospecciones eléctricas se analizaron hidrogeológicamente y los resultados dan una correlación entre los valores de resistividad eléctrica aparentes y las litofacies, lo cual se muestra en el Cuadro 4.8.1, y pueden apreciarse en las secciones hidrogeológicas transversales de la Figura 4.1.5, a la 4.1.9. El mapa de elevación del techo de la capa basal hidrogeológicamente impermeable (mapa de configuración del

basamento hidrogeológico), que yace bajo el Grupo Las Sierras (Fig. 4.8.2), fue tentativamente elaborado para el análisis de balance de agua subterránea, basándose, principalmente, en los resultados de la prospección eléctrica analizados geológica e hidrogeológicamente.

4.8.3 Permeabilidad del acuífero

En este Estudio se recopilaron, lo más que se pudo, los datos de los pozos existentes que tuvieron registros de descarga o pruebas de bombeo. Los datos se analizaron y se reevaluaron hidrogeológicamente para los diferentes acuíferos y las distintas sub-áreas geohidrológicas. Como resultado de este trabajo, se preparó el mapa de curvas de iso-capacidad específica (Figura 4.8.1), con el propósito de evaluar la permeabilidad de los acuíferos del Area de Estudio.

Los registros de transmisividad existente, resultantes de las pruebas de bombeo formales, se limitan a unos pocos campos de pozos. Consecuentemente, la transmisividad (T) fue estimada con los registros existentes de capacidad específica (Sc) utilizando la siguiente ecuación empírica:

$$T \text{ (m}^2\text{/día)} = 1,22 \text{ Sc (m}^3\text{/día/m)}$$

Los rasgos areales de la permeabilidad de los principales acuíferos de la cuenca de agua subterránea de Managua se resumen de la siguiente manera:

(1) Depósitos aluviales (Qal con sedimentos piroclásticos)

	T (m ² /día)	Sc (m ³ /día/m)
Sub-área occidental (11 pozos) (Valle Los Brasiles)	821	673,44
Sub-área oriental (7 pozos) (área costera Las Mercedes)	215	184,00

(2) Grupo Volcánico Masaya (QvM) y Grupo Medio Las Sierras (TQps(M))

	T (m ² /día)	Sc (m ³ /día/m)
Sabana Grande-Carlos Fonseca área (15 pozos)	1.948	1.597,00
Area de Veracruz (4 pozos)	1,794	1.466,00
Veracruz suroeste area (6 pozos)	340	279,00

(3) Grupo Medio Las Sierras [TQps(m)]

	T (m ² /día)	Sc (m ³ /día/m)
Sub-área Central Managua (66 pozos)	425	348,48
Oeste de Sabana Grande área (8 pozos)	443	363,00

Los valores de capacidad específica de los pozos existentes en la sub-área Central Managua son variables y oscilan entre 35 y 1.896 m³/día/m. Como se muestra en la Fig. 4.8.1, la distribución del valor de la capacidad específica en el área se considera está controlado por el sistema de fallas noreste-suroeste, y las zonas con valores altos de capacidad específica se encuentran distribuidas a lo largo de la zona fracturada controladas por el sistema de fallas noreste y suroeste.

A pesar de la relación entre la capacidad específica y la profundidad de perforación en la zona saturada del Grupo Medio Las Sierras, no se puede observar correlación como se muestra en la Fig. 4.8.4.

Como se ha mencionado en "Las Perforaciones Exploratorias y Pruebas de Bombeo", el pozo de prueba JI-1 reveló la existencia de un acuífero de gran potencial (Sc= 19.464 m³/día/m) bajo el Grupo Las Sierras Media, pero aún no se ha investigado su extensión. Por lo tanto, en el mapa de iso-valor de capacidad específica no se tomó en consideración el valor de capacidad específica obtenido en el pozo de prueba JI-1 (Fig. 4.8.1).

4.8.4 Ocurrencia de Agua Subterránea y Mecanismo de Flujo

La cuenca de agua subterránea de Managua está dividida por sus condiciones topográficas e hidrológicas en el área de recarga de agua subterránea de las Sierras de Managua y las Sierras de Carazo, en el área de almacenamiento y de escorrentía de agua subterránea de la meseta baja y plana y en el área de descarga de agua subterránea del Lago de Managua.

Además de las condiciones hidrogeológicas como la forma del techo de las capas basales (Formaciones El Salto y Brito) que forman la base de la cuenca de agua subterránea; y de las condiciones geológicas y litológicas de la cuenca de agua subterránea, del sistema de fallas, de las fracturas de tensión como las cadenas volcánicas y la forma del nivel freático, la cuenca de agua subterránea de Managua se puede dividir en tres sub-cuencas de agua subterránea: la oeste, la Central Managua y la sub-cuenca este.

La Fig. 4.8.5 muestra el mecanismo de flujo de agua subterránea en la cuenca de Managua. Este mapa fue preparado basándose en los resultados del análisis general de las condiciones topográficas, hidrológicas e hidrogeológicas arriba mencionadas, y con los resultados de los análisis de la tasa de flujo y de la renovación del agua subterránea que resultaron de los componentes químicos y de la concentración de tritio (Fig. 4.7.2 y 4.8.8).

Como se muestra en la Fig. 4.8.5 la sub-cuenca oriental de agua subterránea tiene un área de recarga a gran escala con la caldera de Masaya, como un almacenamiento de agua superficial y de agua subterránea, además cuenta con un valle subterráneo antiguo que se encuentra sepultado por buenos acuíferos. Por consiguiente, se considera el área de mayor potencial para el desarrollo del agua subterránea en el área de Estudio.

La forma del nivel freático es similar a la de la topografía a lo largo del área de Estudio. Sin embargo está parcialmente afectada por las condiciones hidrogeológicas, tal como la forma de la superficie superior de las capas basales, la permeabilidad del acuífero, los sistemas de fallas y la descarga de bombeo de los pozos y de la laguna de Asososca.

El nivel de agua subterránea de la cuenca se observa a los 250-120 metros debajo de la superficie del terreno en el área de recarga de las Sierras de Managua y de Carazo y a menos de 120 metros abajo de superficie del terreno en el área de almacenamiento de agua subterránea y de escorrentía. En general,

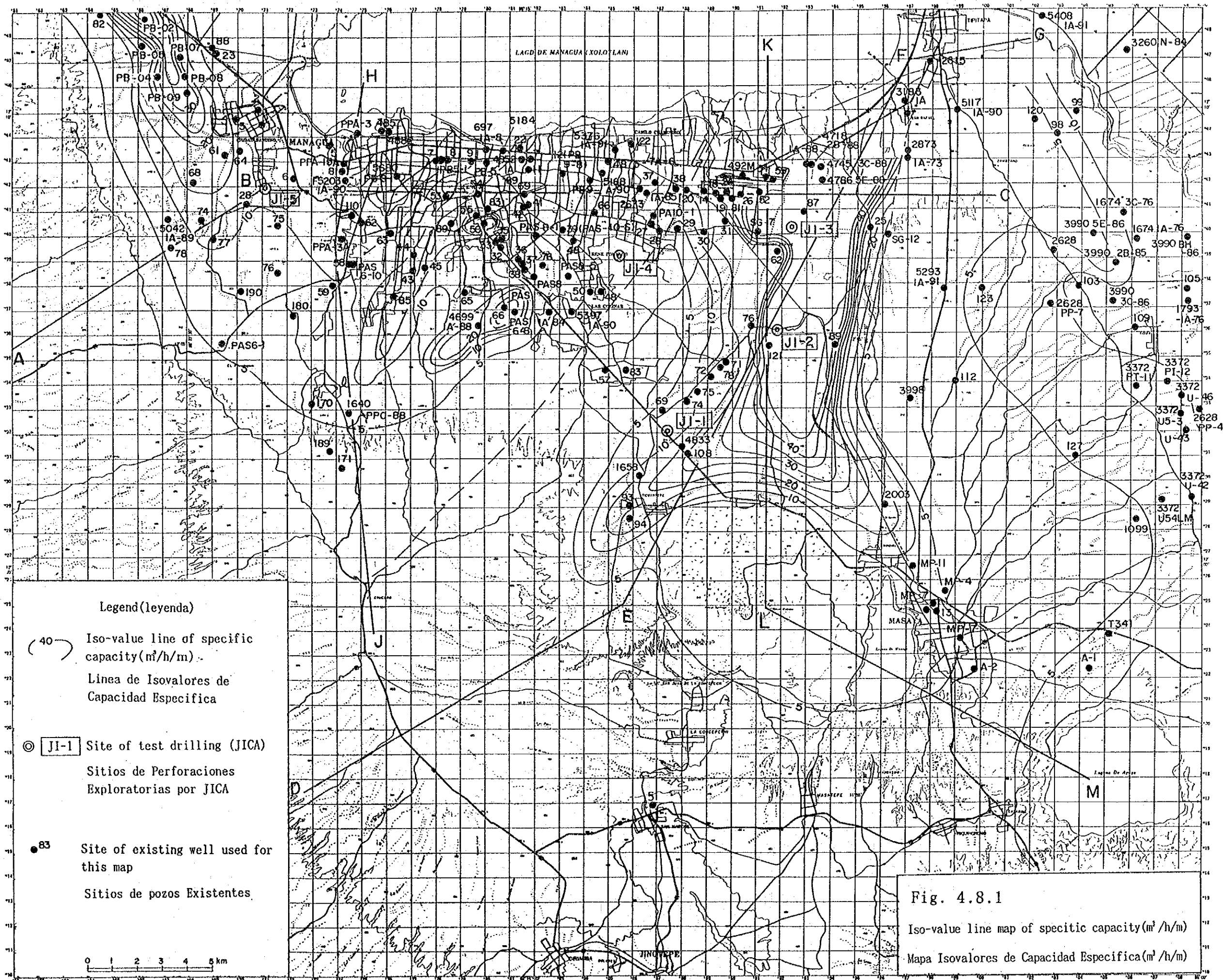
el agua subterránea ocurre en condiciones libres o no confinada; aunque ocasionalmente en condiciones de agua colgada y confinada (Fig. 4.8.5).

De acuerdo con los resultados del análisis de la concentración de tritio y de las continuas mediciones de nivel del agua de la laguna de Asososca, la tasa de flujo de agua subterránea en el área de recarga, cuyo nivel de agua está profundo bajo la superficie del terreno, se estima ser de 100-50 m/día, en dominio de flujo subsuperficial y de 0,8-0,6 m/día en dominio de flujo base respectivamente.

Por otro lado, las tasas de flujo de agua subterránea en el área de almacenamiento y de escorrentía de la sub-cuenca oriental de agua subterránea se estiman son de 9,6 m/día en la zona fracturada a lo largo del sistema de fallas norte-sur y de 4,5 m/día en el valle subterráneo respectivamente.

Cuadro 4.8.3 Correlacion entre Resistividad y Litofacies en el Area de Estudio

INFORMACION	LITOFASIS	Grado de humedad(ohm/m)			Observaciones
		Seco	Humedad Capilar	Saturado	
Depositos Aluv. con Material Piroclastico Cuaternario	Capas Arcillosas	45 - 90			
	Capas Arenosas	60 - 800		8 - 25	
	Capas de Grava		100 - 200	- 25	
	Pomez o Escoria		100 - 200	- 25	
Grupo Volcanico Masaya	Depositos Piroclast. (Escoria)	170 - 880			
	Flujos Piroclasticos	90 - 120		25 - 50	
	Flujos de lava Brechada	100 - 200		10 - 20	Afectado por Solucion Hidrotermica
	Flujos de Lava (Compacta)		270 - 500	25 - 200	
Grupo Las Sierras Superior	Alternancia de Piroclastos	250 - 700			
	Aglomerados Masivos y Compactos con Toba Brechosa y Toba	110 - 400	40 - 60		
Grupo Medio Las Sierras	Toba Brechosa meteorizada				
	flujos de piroclastos			10 - 80	
Formacion El Salto	Arenisca Tobacea poco consolidada y limo			1 - 25	Afectado por Solucion Hidrotermica
	Arenisca y Lutita			57 - 456	



Legend (leyenda)

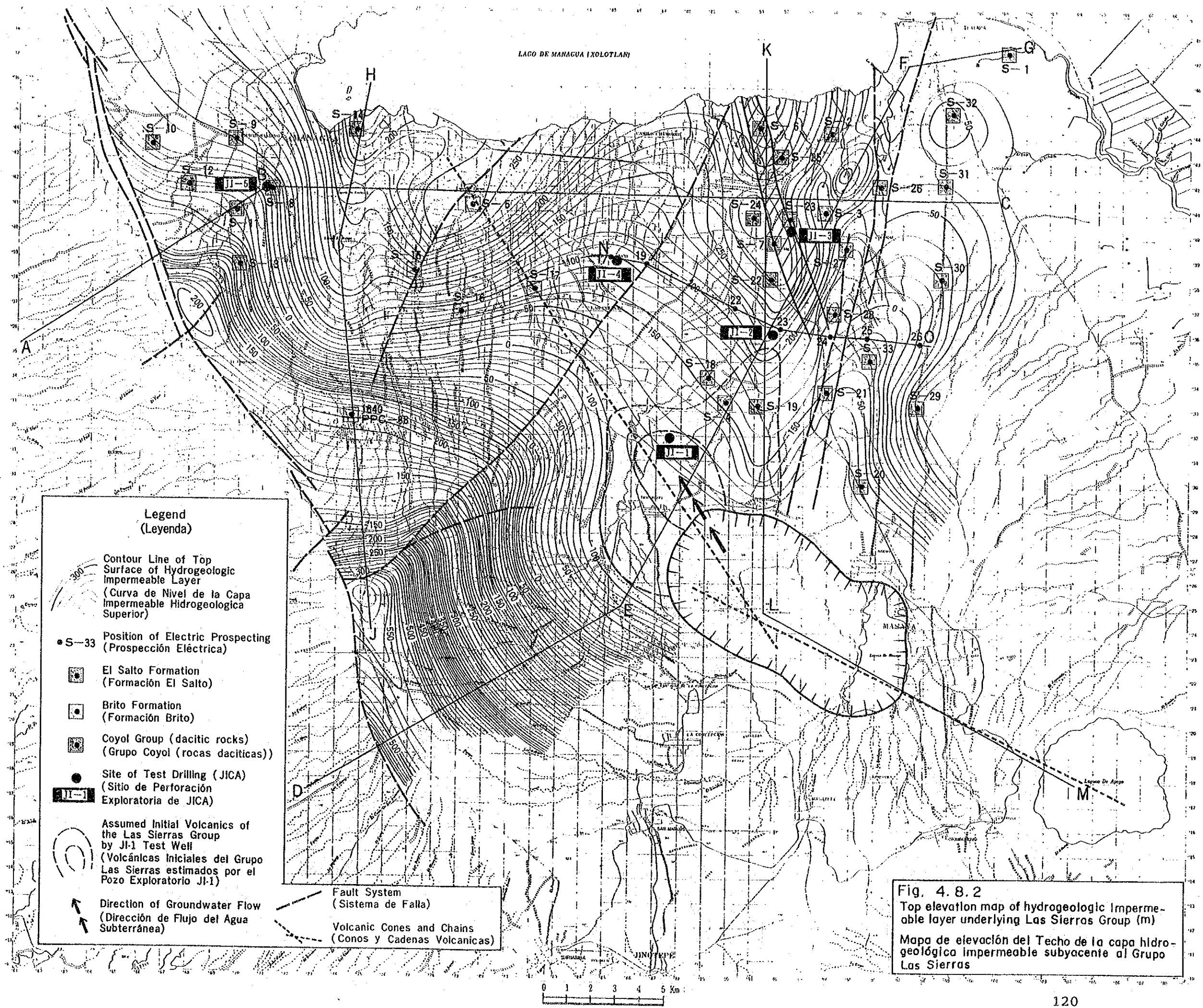
40 Iso-value line of specific capacity ($m^3/h/m$)
 Línea de Isovalores de Capacidad Específica

⊙ JI-1 Site of test drilling (JICA)
 Sitios de Perforaciones Exploratorias por JICA

● 83 Site of existing well used for this map
 Sitios de pozos Existentes

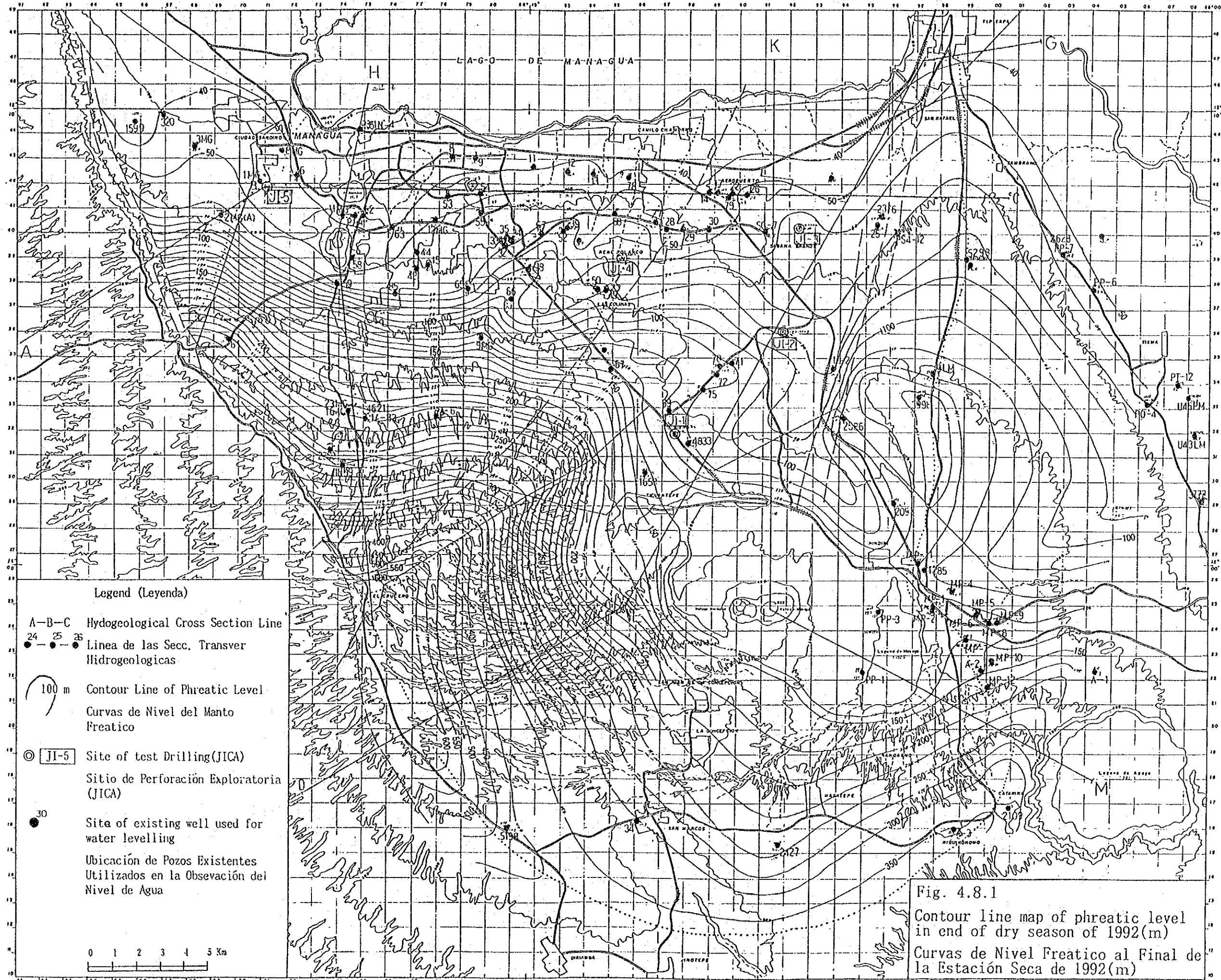
0 1 2 3 4 5 km

Fig. 4.8.1
 Iso-value line map of specific capacity ($m^3/h/m$)
 Mapa Isovalores de Capacidad Específica ($m^3/h/m$)



- Legend (Leyenda)**
- Contour Line of Top Surface of Hydrogeologic Impermeable Layer (Curva de Nivel de la Capa Impermeable Hidrogeológica Superior)
 - S-33 Position of Electric Prospecting (Prospección Eléctrica)
 - El Salto Formation (Formación El Salto)
 - Brito Formation (Formación Brito)
 - Coyol Group (dacitic rocks) (Grupo Coyol (rocas dacíticas))
 - Site of Test Drilling (JICA) (Sitio de Perforación Exploratoria de JICA)
 - JI-1 Assumed Initial Volcanics of the Las Sierras Group by JI-1 Test Well (Volcánicas Iniciales del Grupo Las Sierras estimados por el Pozo Exploratorio JI-1)
 - Direction of Groundwater Flow (Dirección de Flujo del Agua Subterránea)
 - Fault System (Sistema de Falla)
 - Volcanic Cones and Chains (Conos y Cadenas Volcanicas)

Fig. 4.8.2
 Top elevation map of hydrogeologic Impermeable layer underlying Las Sierras Group (m)
 Mapa de elevación del Techo de la capa hidrogeológica impermeable subyacente al Grupo Las Sierras



Legend (Leyenda)

- A-B-C Hydrogeological Cross Section Line
- Linea de las Secc. Transver Hidrogeologicas
- 100 m Contour Line of Phreatic Level
- Curvas de Nivel del Manto Freatico
- ⊙ JI-5 Site of test Drilling(JICA)
- Sitio de Perforación Exploratoria (JICA)
- 30 Site of existing well used for water levelling
- Ubicación de Pozos Existentes Utilizados en la Obsevación del Nivel de Agua

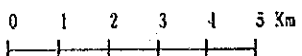
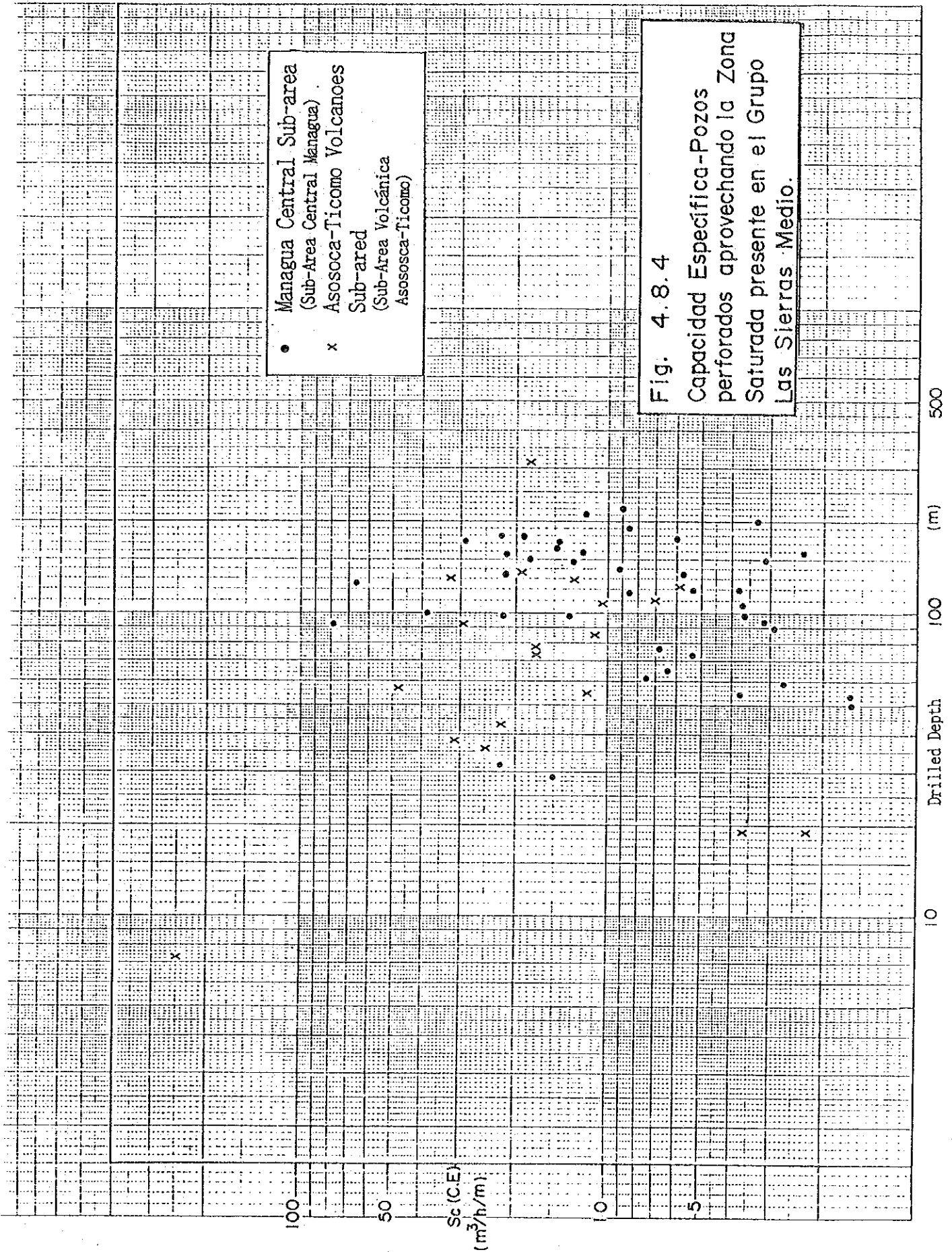


Fig. 4.8.1
 Contour line map of phreatic level in end of dry season of 1992(m)
 Curvas de Nivel Freatico al Final de la Estación Seca de 1992(m)



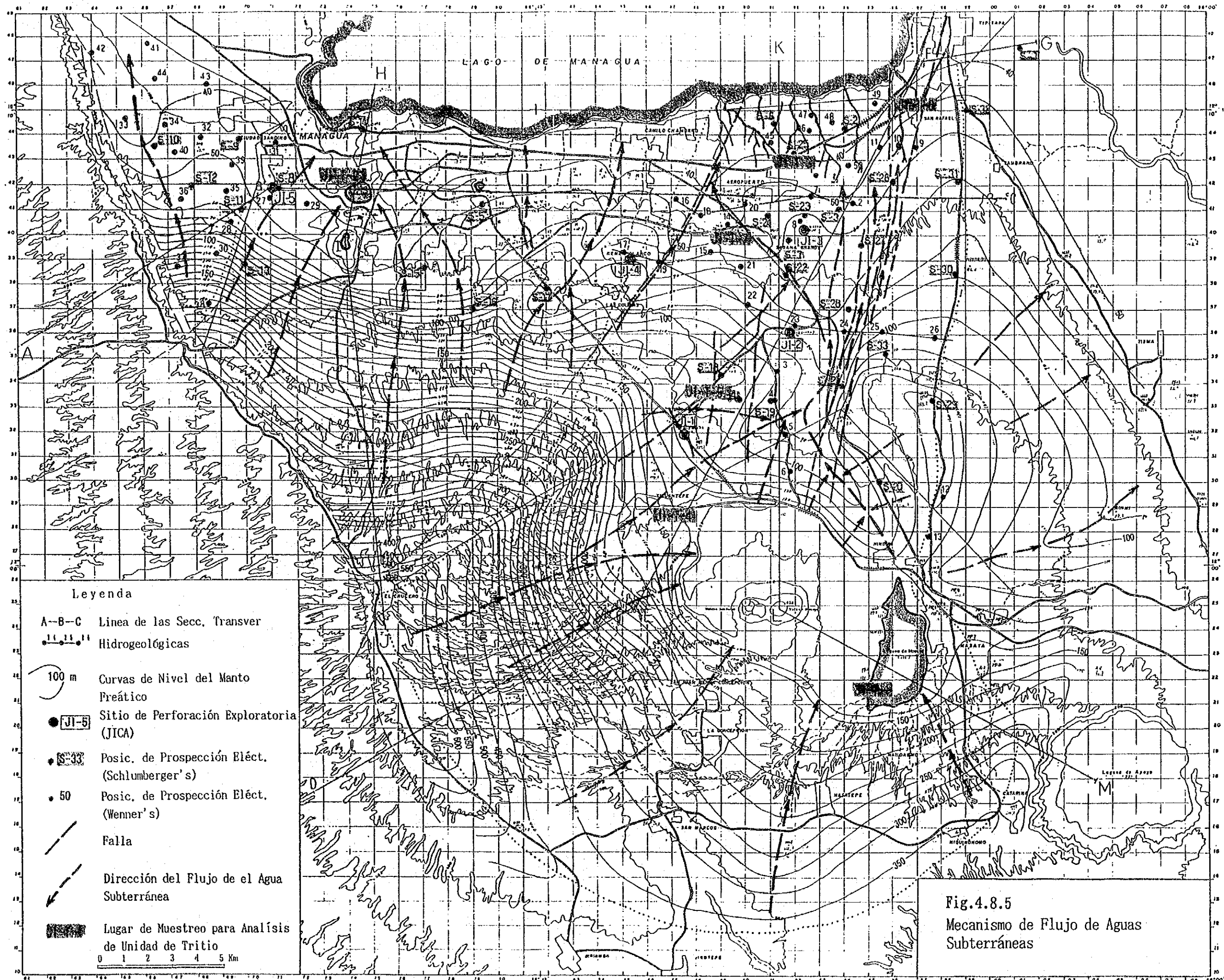


Fig.4.8.5
Mecanismo de Flujo de Aguas Subterráneas

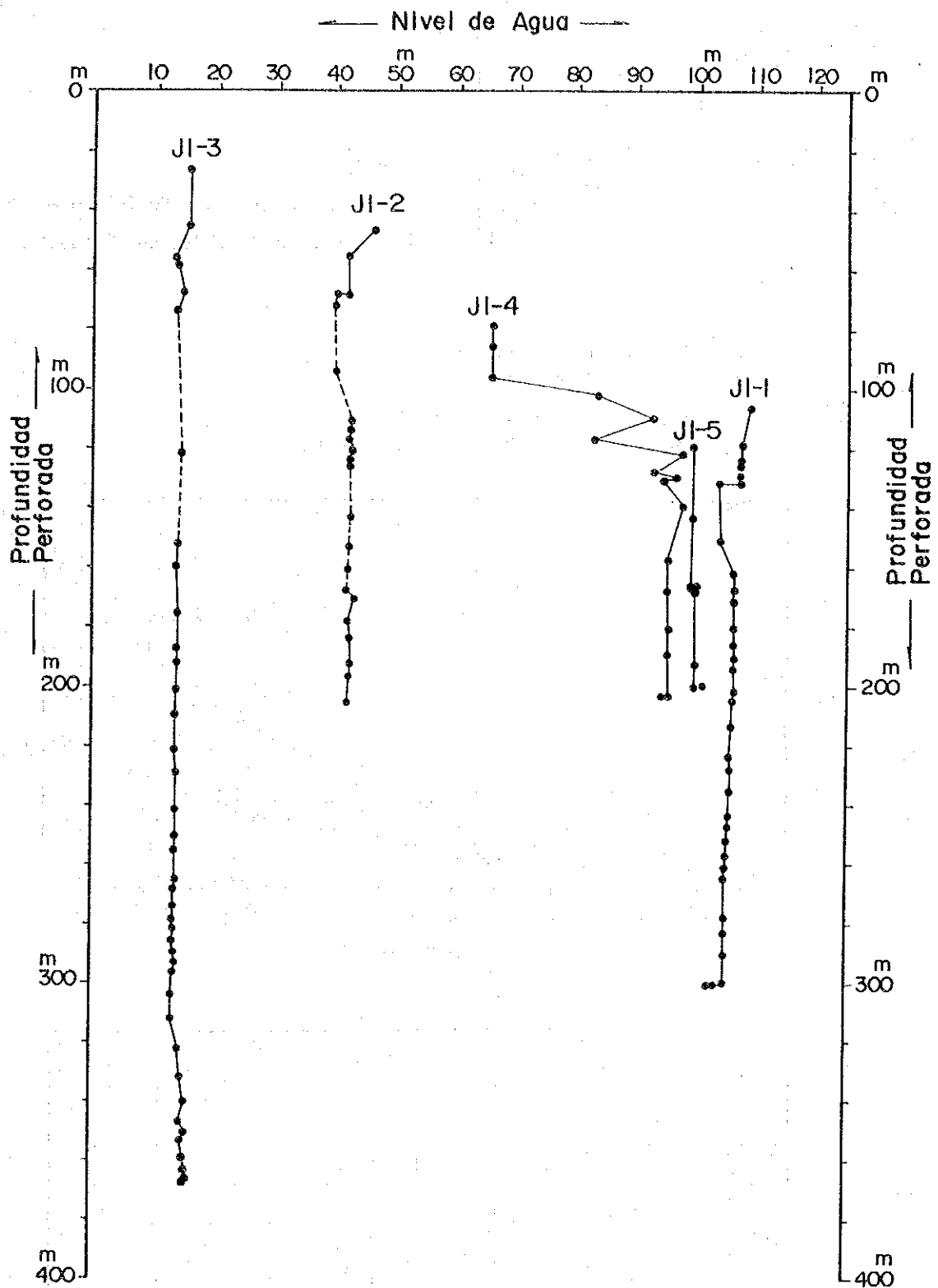


Fig.4.8.6 Fluctuaciones de Niveles de Aguas Subterráneas

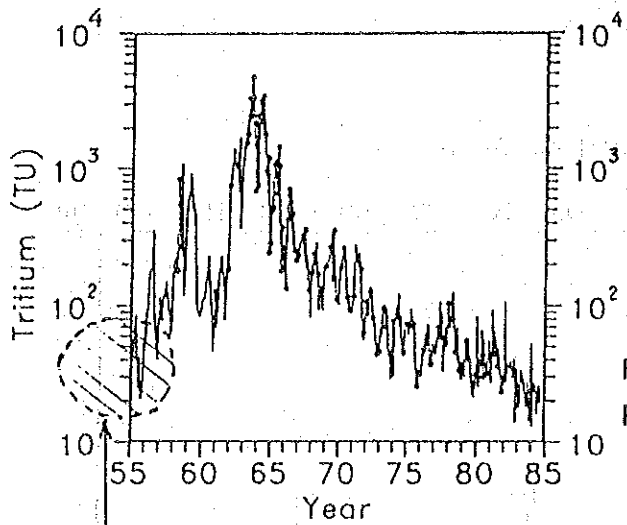
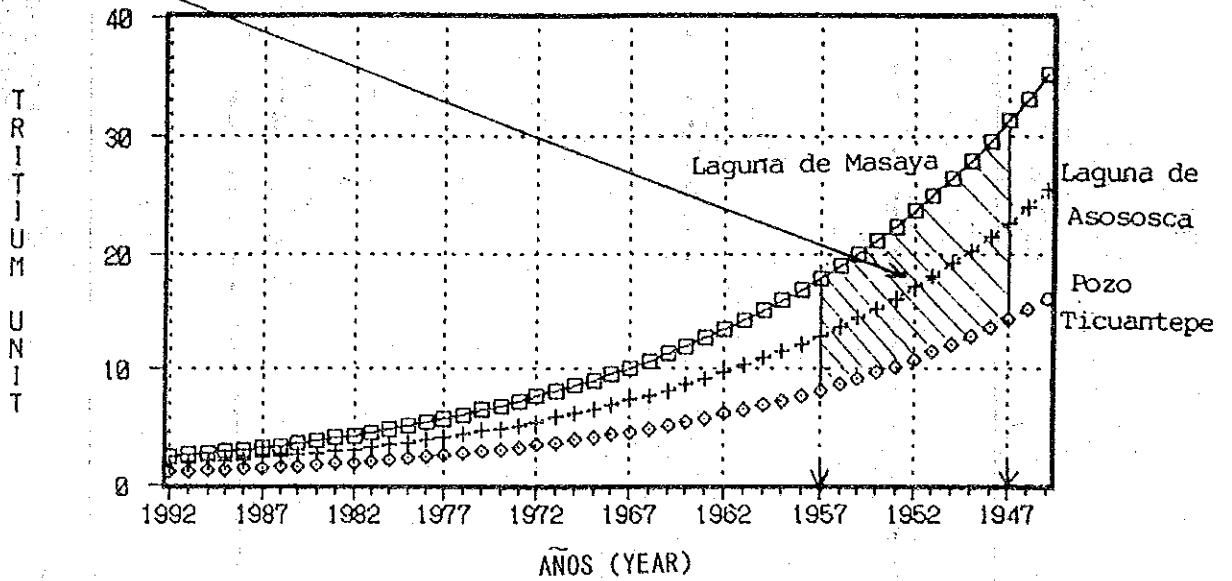


Fig. 4.8.7

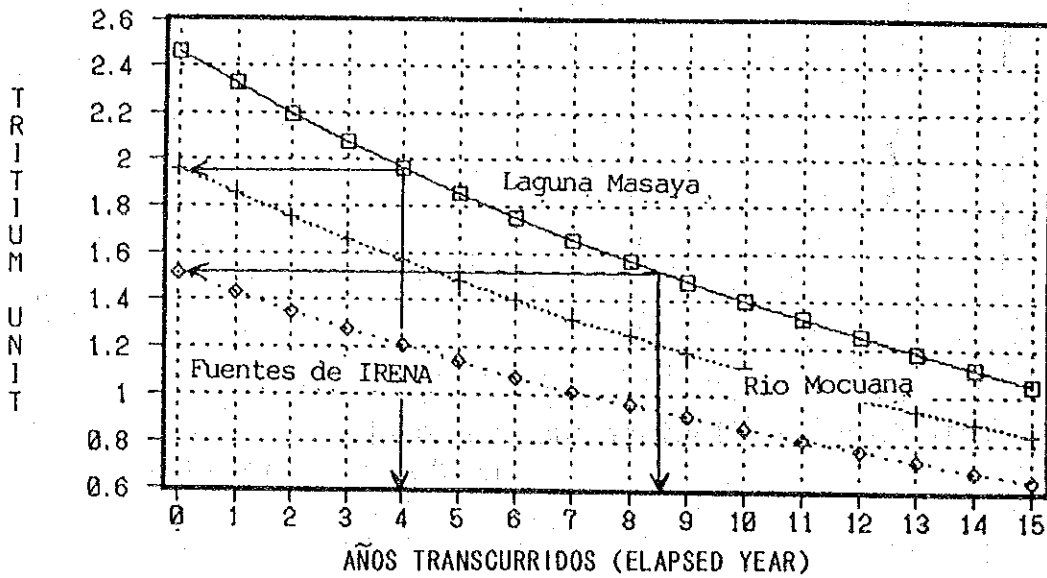
Registros sintetizado de Tritio en las Precipitaciones de Madison Wisconsin.

Fig. 4.8.7 Synthesized record of tritium in precipitation at Madison, Wisconsin. Points indicate actual measurements at Madison.

Fig. 4.8.8 Historia de la unidad Tritio.
Fig. 4.8.8 HISTORY OF TRITIUM UNIT



□ 2.46 + 1.78 ◇ 1.13



□ 2.46 + 1.96 ◇ 1.51

4.9 Base de Datos

La información reunida e investigada sobre metereología, hidrogeología y calidad de agua se ha introducido al sistema de base de datos computarizado. Este sistema consiste principalmente en dos softwares "Lotus-123" y "dBase III".

El resumen de los datos introducidos es el siguiente:

(1) Metereología

- Temperatura mensual
- Precipitación mensual
- Evaporación mensual
- Humedad relativa mensual
- Velocidad del viento mensual

(2) Inventario de pozos

(3) Calidad de agua

Parte del inventario de pozos se adjunta en el Libro de Datos.

CAPITULO 5 EVALUACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

CAPITULO 5 EVALUACION DEL AGUA SUBTERRANEA

Basados en el estudio hidrogeológico descrito en el Capítulo IV se evaluó el potencial de agua subterránea por medio de la estimación del balance de agua y del análisis del modelo de simulación del flujo del agua subterránea.

5.1 Balance de Agua

La evaluación de la "recarga" es esencial para evaluar el potencial de agua subterránea. Además se deben considerar diversos factores tales como, el uso de la tierra, geología, pendientes del terreno, intensidad de la precipitación, evapotranspiración etc. Pero los datos requeridos para la verificación del movimiento del agua subterránea afectada por la precipitación y por la escorrentía son limitados.

En el Area de Estudio, para estimar las condiciones de recarga areal se usaron datos de la precipitación anual y de radios de recarga en celdas de 1km x 1km en el modelo de simulación, el que se explica en la próxima sección. La precipitación areal se estimó directamente con la lluvia localizada, los resultados se muestran a continuación.

Balance Hídrico Anual

Cuenca Hidrogeológica	I	II	III
Area (km ²)	55	237	499
Precipitación Anual(mm)	1151	1211	1289
Radio (%)	18,0	18,1	21,0
Recarga Anual de Agua subterránea(millones m ³)	11,19	51,95	135,07
Potencial Anual de agua Subterránea (millones m ³)	8,9	41,6	108,0
Descarga Extraída en 1991 (millones m ³)	3,1	69,5	39,2
Balance	5,8	-27,9	68,8

Para cada cuenca se usó el promedio de la precipitación anual (mm) y el radio de recarga (%) calculado. De acuerdo con el análisis de probabilidad, el valor de probabilidad de precipitación sin exceder 5 años corresponde a casi el 80% de la precipitación media. Por tanto, la cantidad potencial estimada se calculó tentativamente de acuerdo con este porcentaje.

Los resultados indican los valores siguientes:

(a) Los resultados indican claramente la sobre extracción en la cuenca II igual con la descarga extraída en 1991.

Para estabilizar el ciclo hidrológico se deben sustraer aproximadamente 28 millones m³ de la descarga de extracción total.

(b) Se estima que la cuenca I tiene un potencial de agua subterránea de casi 6 millones m³.

(c) Se espera que el potencial de desarrollo de agua subterránea de la cuenca III sea de casi 69 millones de m³.

5.2 Simulación del Modelo de Flujo del Agua Subterránea

La simulación del modelo de flujo se realizó tomando como base el estudio hidrogeológico. El modelo digital usado en el estudio es el modelo cuasi tri-dimensional (Q3P).

El área del modelo corresponde a 32 km en dirección S-N y 38 km en dirección E-O y cada elemento corresponde a una celda de 1km x 1km en base al mapa topográfico. Los límites y los parámetros hidráulicos se obtuvieron con los resultados del estudio hidrogeológico, los que fueron modificados con la calibración del modelo. La calibración (método del calculo) se realizó en base a datos de un período de 20 años desde el año 1972.

La carga inicial en 1972 se estimó con la calibración en régimen permanente usando datos de la medición del nivel de agua subterránea de 1992. La recarga se obtuvo directamente de la precipitación. La descarga de extracción se graficó en celdas en base a la investigación del uso del agua subterránea. Los resultados de la calibración aparecen en la fig.5.2.1.

La predicción futura se obtiene con la combinación de los siguientes casos:

Condición	
Caso 1:	Condición de la Extracción en 1991
Caso 2:	Caso 1 y Rehabilitación de Pozos 1992-1993
Caso 3:	Caso 2 y el 80% de la descarga extraída en la laguna de Asososca
Caso 4:	Caso 2 y el 60% de descarga extraída de Asososca
Caso 5:	Caso 1 y el 60% de descarga extraída de Asososca
Caso 6:	No extracción
Caso 7:	Caso 2, Programa de Rehabilitación de Pozos 1993-1995, 10 MGD de extracción de la laguna de Asososca, 1995 etapa de desarrollo en Veracruz y Ticuantepe
Caso 8:	Caso 7, y la etapa de desarrollo en el área de Sabana Grande y de Cofradía en el año 2000
Caso 9:	Caso 1, 10 MGD de extracción de Asososca y la etapa de desarrollo en Veracruz y Ticuantepe.
Caso 10:	Caso 9 y la etapa de desarrollo en el año 2000 en el área de Sabana Grande y de Cofradía.

Los resultados de la simulación del nivel de agua subterránea aparecen en el mapa del nivel freático con elevación sobre el nivel del mar y los niveles de los sitios registrados. En los sitios seleccionados en el área de Sabana Grande y en el centro de la ciudad se instalaron los limnigrafos. Los resultados del Caso 1, 2, 10 se muestran en la Fig.5.3.2 y 5.2.4.

Considerando, los estudios del balance de agua y de simulación mencionados se recomienda lo siguiente:

(1) De acuerdo con los valores calculados con el balance hídrico, se debe llevar a cabo el desarrollo adicional del agua subterránea en las cuencas hidrogeológicas occidental y oriental. Sin embargo, se debe reducir la descarga de bombeo en cuenca central.

Los valores estimados son todavía supuestos, por tanto se deben reevaluar con los resultados del monitoreo del agua subterránea en el futuro.

(2) El nivel freático en el centro de la ciudad de Managua disminuirá aún con la tasa de extracción existente. Los pozos de producción de INAA No. 7 (El Estadio), No.8 (San Antonio), No. 9 (Banco de América) y No.10 (Mercado Oriental) están situados a casi 1 km de la costa del lago y tienen una gran capacidad de producción.

Los pozos para el monitoreo deben instalarse entre el lago de Managua y los pozos arriba mencionados. Además se debe considerar la reducción de la descarga de bombeo de acuerdo con los resultados del monitoreo del nivel del lago de Managua.

Una nueva descarga de extracción, especialmente la que se llevará a cabo mediante el programa de rehabilitación traerá como consecuencia un gran abatimiento en el área de extracción, por tanto ésta tiene que ser controlada con el monitoreo de agua subterránea.

(3) La recuperación del nivel de agua hasta 40 m.a.s.l en la laguna de Asososca se conseguirá mediante la reducción de la descarga de bombeo del año 1991 a más del 40%. También deben considerarse las regulaciones detalladas para controlar el nivel de agua del área industrial entre la laguna de Asosca y el lago de Managua. Se necesita reducir la extracción urgentemente, porque una vez que los desperdicios industriales penetren en la laguna de Asososca se tiene que parar la extracción de agua.

Un nuevo desarrollo de agua subterránea en el área de Sabana Grande, Cofradía, Veracruz, Ticuantepe producirá abatimiento en las áreas bajas como el campo de pozos Carlos Fonseca. Las interferencias entre los pozos del campo de pozos Carlos Fonseca se explican en el Capítulo 3. Se espera una recuperación del nivel de agua como promedio de 7 m como resultado de la coordinación y el control efectivo de la descarga de extracción. La escala de desarrollo para 1995 afectará el abatimiento de los pozos existentes, pero ésta será todavía aceptable.

Para la próxima etapa de desarrollo en el año 2000 es necesario considerar los resultados del trabajo de monitoreo que se realizará en las áreas mencionadas.

Para implementar la reducción de la descarga de bombeo que requiere la laguna de Asososca y otros pozos situados en el centro de la ciudad de Managua se deben llevar a cabo estudios sobre el potencial de desarrollo de otras áreas lo más pronto posible.

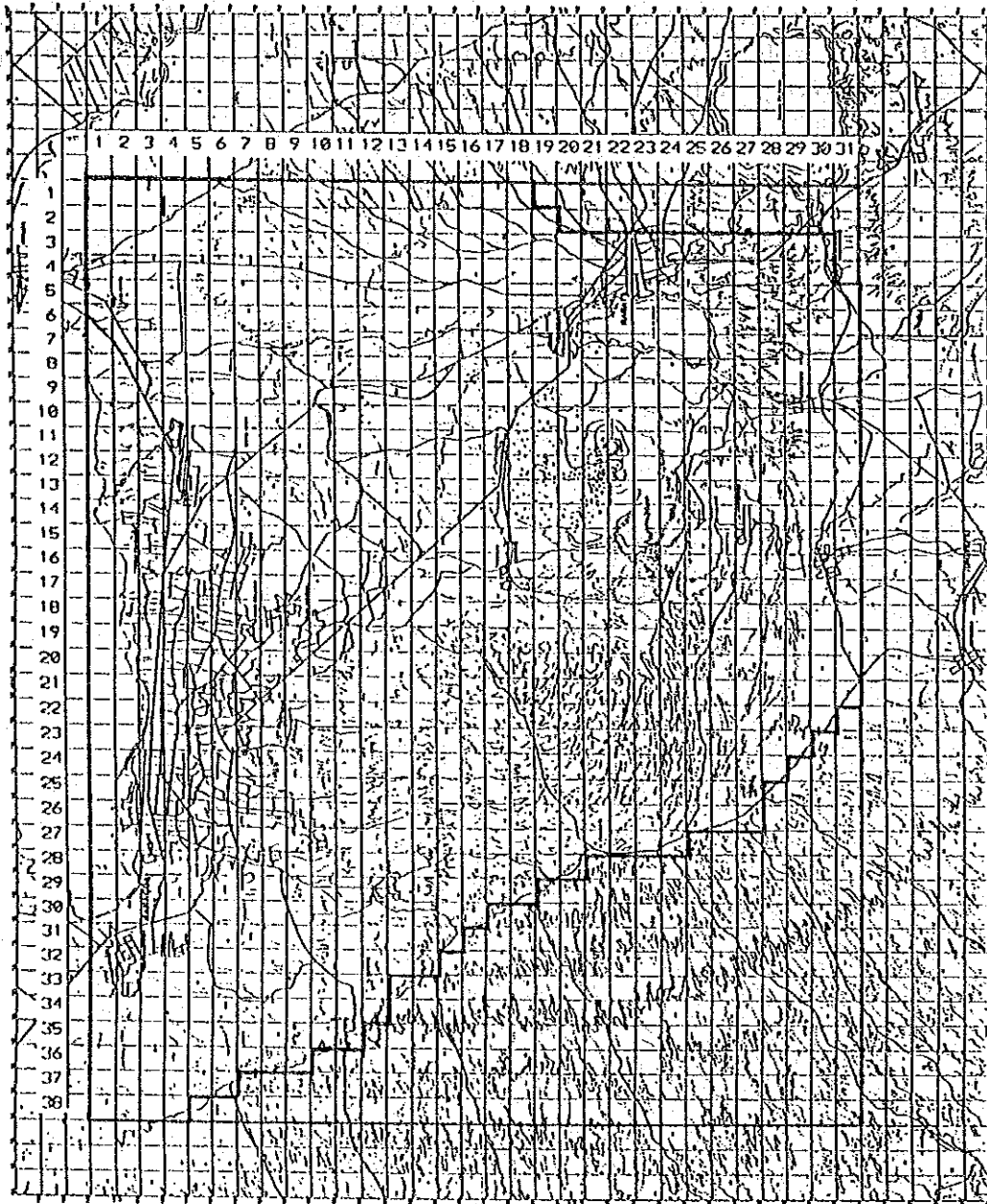
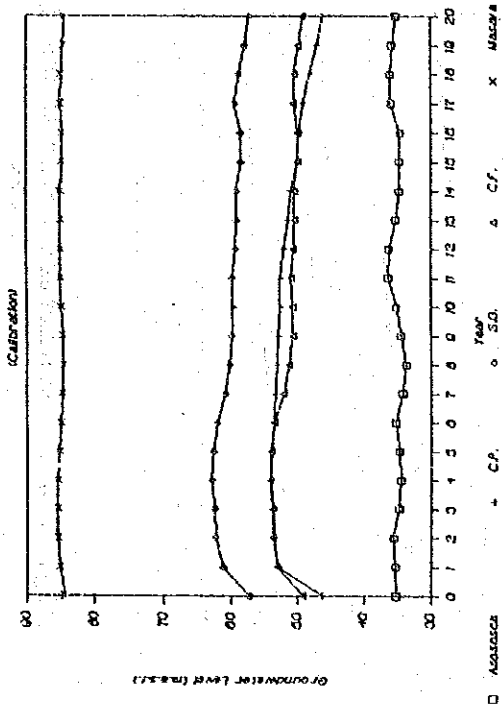


Fig. 5.2.1 Elemento Finito del Modelo

Nivel Simulado de Agua Subterranea



Nivel Simulado de Agua Subterranea

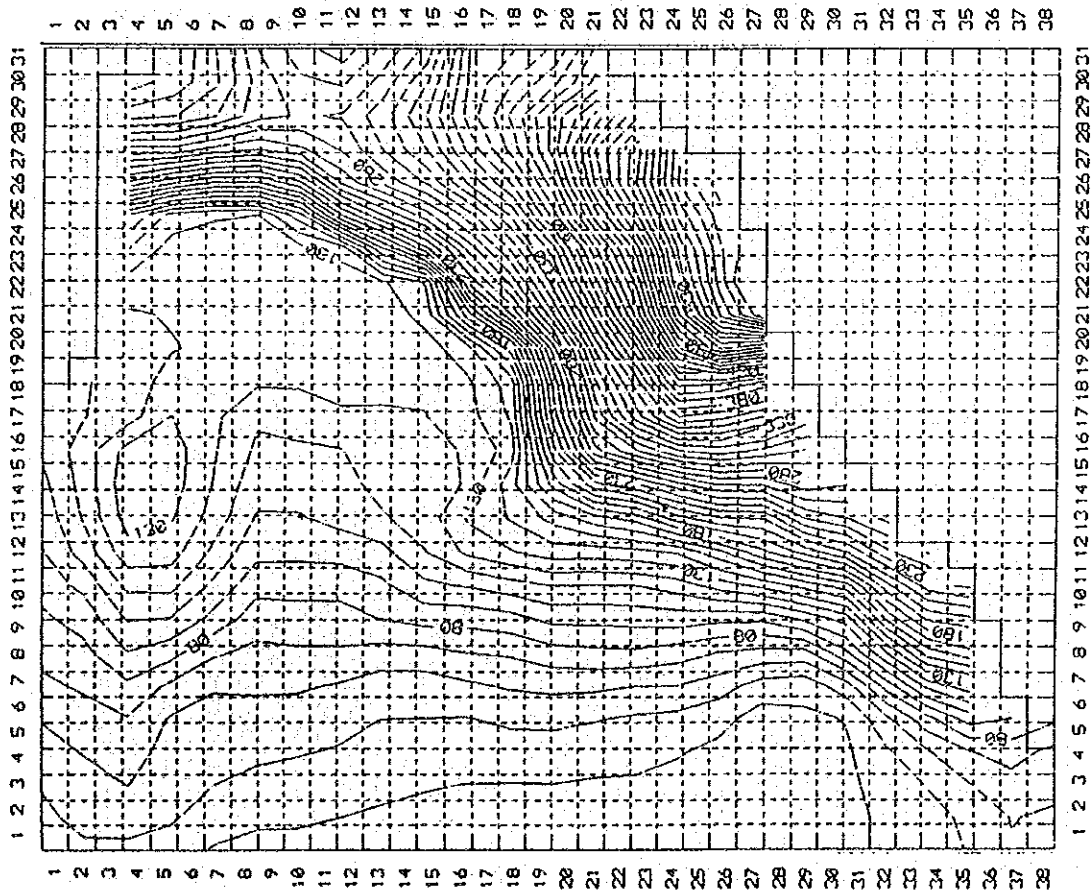
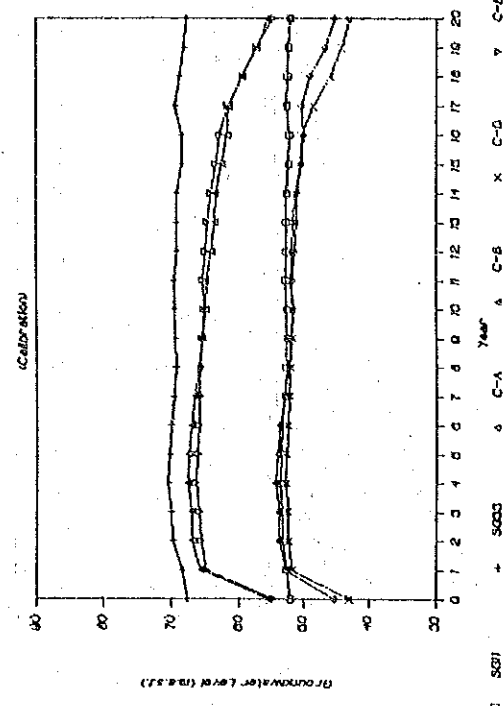
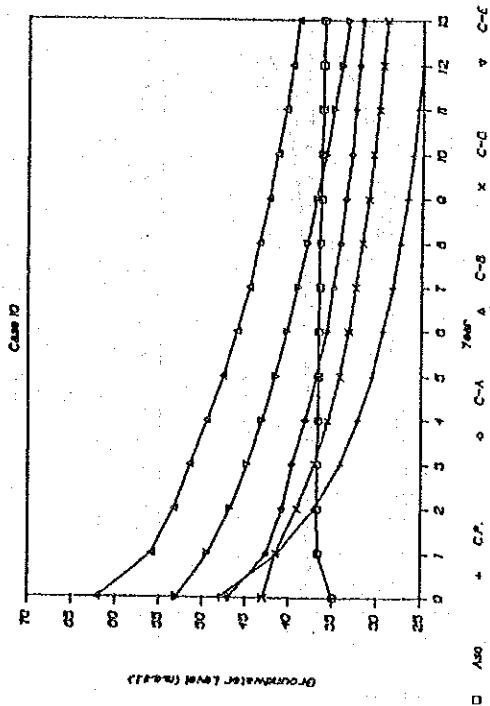


Fig. 5.2.2 Nivel Simulado del Agua Subterranea (Calibración)

Nivel Simulado de Agua Subterranea



Nivel Simulado de Agua Subterranea

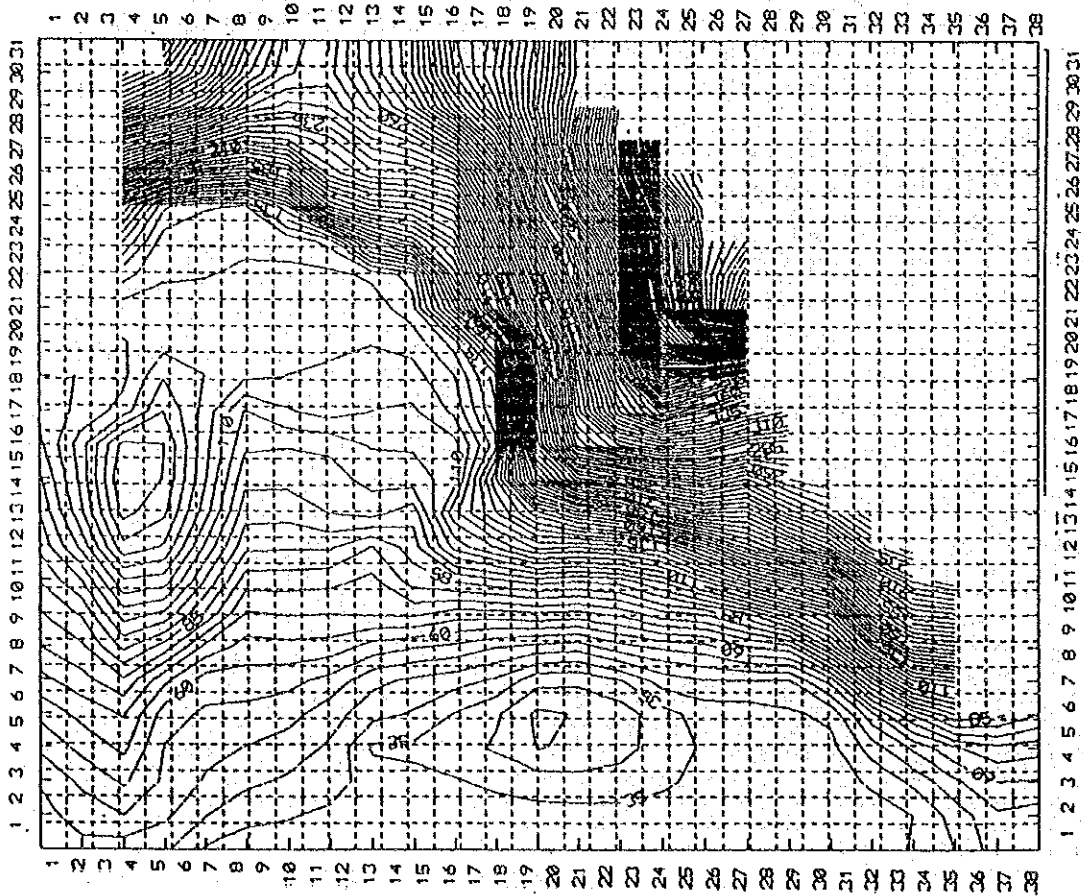
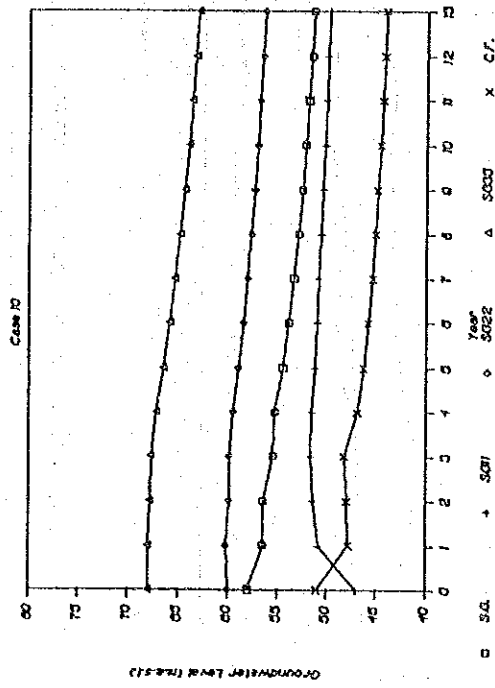
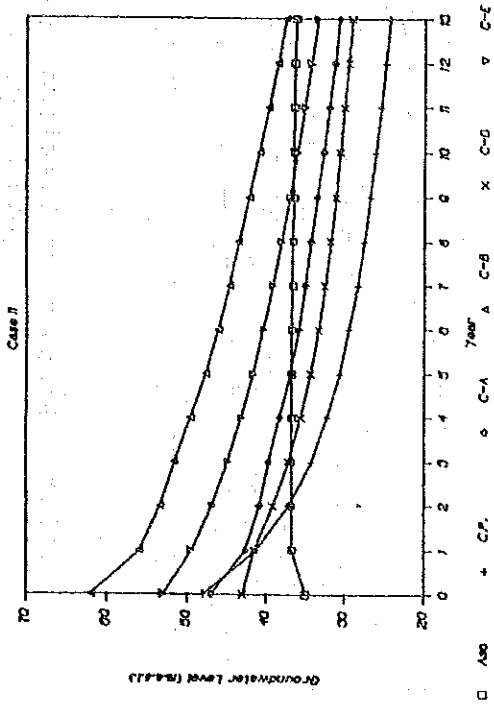


Fig. 5.2.3 Resultados Simulados (7)
-- CASO 7 --

Nivel Simulado de Agua Subterranea



Nivel Simulado de Agua Subterranea

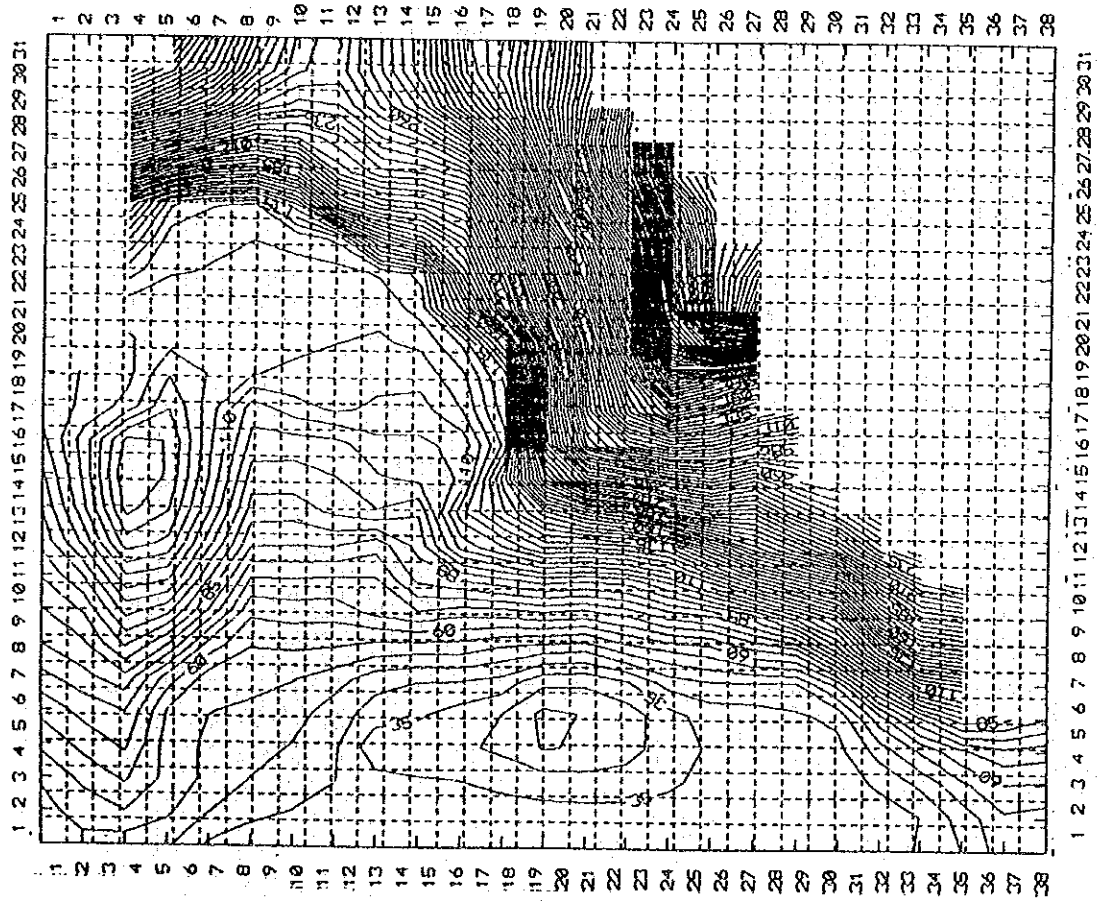
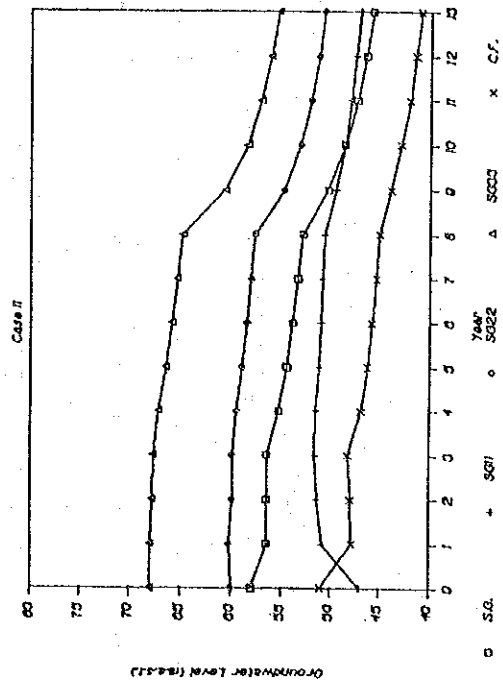


Fig. 5.2.4 Resultados Simulados (8)
- CASO 8 -