

antiguo relleno con el Grupo Volcánico Masaya.

- Obtener información detallada de los acuíferos del Grupo Las Sierras Medio.
- Prospeccionar las características hidrogeológicas de la formación El Salto y de las otras rocas sedimentarias Terciarias, clasificadas como capas basales del área geohidrológica de Managua y caracterizadas por ser hidrogeológicamente impermeables.

Los resultados de las prospecciones eléctricas se analizaron hidrogeológicamente y éstos dan una correlación entre los valores de resistividad eléctrica aparentes y las litofacies, lo cual se muestra en el Cuadro 4.8.3, y pueden apreciarse en los cortes transversales hidrogeológicos de la Fig. 4.1.8 a la 4.1.12. 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 (Cuadro 4.8.4). Las explicaciones sobre los resultados del análisis hidrogeológico de la prospección eléctrica, mencionados previamente, aparecen en la sección posterior.

#### 4.8.3 Permeabilidad del acuífero

En este Estudio se recopilaron los datos de 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 Cuadro 4.8.1 y el mapa de curvas de iso-capacidad específica (Fig. 4.8.3), con el propósito de evaluar la permeabilidad de los acuíferos del Area de Estudio.

Las principales características hidráulicas del acuífero, que afectan el movimiento y el potencial de desarrollo del agua subterránea, son la habilidad para transmitir y ceder agua del almacenamiento. Estas características son trasmisividad y almacenamiento y son evaluadas por las pruebas de bombeo. La capacidad específica es la cantidad de agua producida dividida entre el abatimiento, y empíricamente la trasmisividad se da por:

$$T = aQ/s = a Sc \text{ -----(A)}$$

Donde,

T = Trasmisividad ( $m^2/día$ )

Sc = Capacidad específica ( $m^3/día/m$ )

s = Abatimiento en el pozo bombeado (m)

Q = Caudal bombeado ( $m^3/día$ )

a = Constante adimensional

(Basado en la experiencia de campo, Logan sugirió  $a = 1,22$ , en 1964)

Los registros de trasmisividad existente, resultantes de las pruebas de bombeo formales, se limitan a unos pocos campos de pozos, tales como: Carlos Fonseca, Sabana Grande y Veracruz. Así, la trasmisividad que aparece en el Cuadro 4.8.1 incluye valores estimados tomados de los registros existentes de capacidad específica, utilizando la ecuación (A), arriba mencionada.

Como se muestra en el Cuadro 4.8.1, y en la Fig. 4.8.3, las características, remarcablemente diferentes de la permeabilidad del acuífero, pueden notarse a través de las condiciones geológicas y topográficas locales de cada sub-área geohidrológica. El Grupo Volcánico Masaya tiene permeabilidad alta y los depósitos aluviales y el Grupo Las Sierras Medio están en segundo lugar.

Las características de la permeabilidad del acuífero, por área, se resumen de la siguiente manera:

(1) Sub-área Occidental

Las principales formaciones acuíferas son los depósitos aluviales, los materiales piroclásticos Cuaternarios y el Grupo Las Sierras Medio. Como se muestra en la Fig. 4.8.3, existe una zona, altamente permeable y de alta capacidad de rendimiento, en la parte media Norte de la sub-área. Se estima que las capas

acuíferas, de esta zona altamente permeable, consisten principalmente de materiales piroclásticos porosos poco consolidados (escoria y pómez) y de arena o de capas arenosas del Cuaternario. Un promedio de transmisividad (T) y capacidad específica, de los 11 pozos existentes en esta zona altamente permeable, son los siguientes:

T : 821 m<sup>2</sup>/día

Sc : 673.44 m<sup>3</sup>/día/m

De acuerdo con los resultados de la prospección geoelectrica y de la perforación exploratoria (J-5), se estima que el Grupo Las Sierras Medio de esta sub-área se encuentra discordantemente abajo de la Formación El Salto y la Formación Brito, como se muestra en la sección hidrogeológica transversal de las Fig. 4.1.8 y 4.1.9. Los valores de resistividad aparentes de esas formaciones Terciarias son las siguientes:

La Formación El Salto 3 - 24 ohm-m (en general 3-10 ohms)

La Formación Brito 133 - 990 ohm-m

A partir de estos valores de resistividad eléctrica y de los registros de pozos existentes (Cuadro 4.8.1 (12)), a esas formaciones Terciarias se les puede clasificar como capas basales hidrogeológicamente impermeables. La forma estimada de la superficie superior de las formaciones Terciarias se muestra en la Fig. 4.8.2.

## (2) Sub-área central de Managua

La formación acuífera principal dentro de este sub-área es el Grupo Las Sierras Medio. De acuerdo con algunos registros de pozos existentes y con los resultados de las perforaciones exploratorias J-1, J-4, y J-5, construídos en este estudio, el acuífero principal del Grupo Las Sierras Medio en esta sub-área se presenta en las zonas fracturadas y quebradas con suelos fósiles de los aglomerados basálticos-andesíticos compactos de las tobas brechosas y de las tobas, y localmente en las capas porosas permeables de flujos piroclásticos y depósitos de piroclásticos caídos (capas de escoria).

Como se muestra en el Cuadro 4.8.1, existen 19 pozos en el sub-área volcánico Asososca-Ticomo y 47 en el sub-área central de Managua, todos los cuales tienen datos de capacidad específica. Los valores promedios estimados de capacidad específica y transmisividad para las áreas señaladas son:

	<u>Ce (m<sup>3</sup>/día/m)</u>	<u>T (m<sup>2</sup>/día)</u>
Area Volcánica Asososca Ticomo (19 pozos)	417,60	509
Area Central Managua (47 pozos)	320,64	391
Total (sub-área Managua central) (66 pozos)	348,48	425

La Fig. 4.8.4 se preparó para analizar la relación entre la capacidad específica y el espesor saturado probado del acuífero del Grupo Las Sierras Medio, basándose en los registros de pozos existentes que tienen información sobre la profundidad perforada, nivel estático del agua y la capacidad específica. Como se muestra en esta Figura, no existe correlación entre la capacidad específica y el espesor saturado probado. También muestra que los valores de capacidad específica están, principalmente, controladas por las condiciones locales geológicas e hidrológicas del Grupo Las Sierras Medio.

Resultante de los análisis y de las consideraciones arriba mencionadas, es una zona de capacidad específica altamente permeable del Grupo Las Sierras Medio, mostrado en la Fig. 4.8.3, cuya presencia se debe a la existencia de zonas fuertemente afectadas por fracturas del sistema NE-SO, más que las condiciones litológicas del Grupo Las Sierras Medio mismo.

La probable existencia de formaciones Terciarias, clasificadas como capas basales hidrogeológicamente impermeables, es como se muestra en las secciones hidrogeológicas transversales, (Fig. 4.1.8 y 4.1.10), y la forma observada de las superficies del techo según se muestra en la Fig. 4.8.2.

### (3) Sub-área Oriental

Como ya se ha mencionado, las formaciones acuíferas principales de la sub-área constan de depósitos Aluviales, y

materiales piroclásticos Cuaternarios, del Grupo Volcánico Masaya y del Grupo Las Sierras Medio. Entre ellos, el Grupo Volcánico Masaya tiene los acuíferos de mayor potencial para el desarrollo del agua subterránea, y le siguen el Grupo Las Sierras Medio y el Aluvión.

En este sub-área se reunió información de 44 pozos existentes para evaluar la permeabilidad de las formaciones acuíferas, (ver Cuadro 4.8.1). El mapa de curvas de iso-capacidad específica, presentado en la Fig. 4.8.3, fue preparado en base a los registros de los pozos existentes antes mencionados y a las condiciones geológicas e hidrogeológicas del sub-área. Como se muestra en el Cuadro 4.8.1, gran parte de los valores de capacidad específica de este sub-área son valores compuestos y corresponden a formaciones acuíferas distintas, como por ejemplo, una combinación del Grupo Volcánico Masaya y del Grupo Las Sierras Medio. Por consiguiente, la Fig. 4.8.3 se preparó, tentativamente, como promedio. Asimismo, el mapa de distribución representativo del valor de la capacidad específica se elaboró para todas las formaciones acuíferas de esta sub-área geohidrológica, por conveniencia del análisis del balance de agua.

Lo siguiente es un promedio de los valores de capacidad específica y una estimación de la transmisividad de los principales campos de pozos locales dentro del sub-área.

Area Occidental de Sabana Grande y Carlos Fonseca (8 pozos)

Formación acuífera principal : TQps(M)  
Ce : 363 m<sup>3</sup>/día/m 252 (l/min./m)  
T : 443 m<sup>2</sup>/día (3,07 x 10<sup>-1</sup> m<sup>2</sup>/min.)

Sabana Grande - Carlos Fonseca- Cofradía (15 pozos)

Formaciones acuíferas principales : QvM y TQps(M)  
Ce : 1.597 m<sup>3</sup>/día/m (1.109 l/min./m)  
T : 1.948 m<sup>2</sup>/día (1,35 m<sup>2</sup>/min.)

Las Mercedes incluyendo una parte de Carlos Fonseca  
(7 pozos)

Formaciones acuíferas principales : Qal, QvH/P y QvM

Ce : 184 m<sup>3</sup>/día/m (128 l/min./m)

T : 215 m<sup>2</sup>/día (1,49 x 10<sup>-1</sup> m<sup>2</sup>/min.)

Veracruz y sus alrededores (4 pozos)

Formaciones acuíferas principales : QvM y TQps(M)

Ce : 1.466 m<sup>3</sup>/día/m (1.018 l/min./m)

T : 1.794 m<sup>2</sup>/día (1,21 m<sup>2</sup>/min.)

Area suroccidental de Veracruz (6 pozos)

Formaciones acuíferas principales : QvM y TQps(M)

Ce : 279 m<sup>3</sup>/día/m (194 l/min./m)

T : 340 m<sup>2</sup>/día (2,36 x 10<sup>-1</sup> m<sup>2</sup>/min)

Ticuantepo (1 pozo)

Formación acuífera principal : TQps(M) y QvM

Ce : 391 m<sup>3</sup>/día/m (272 l/min./m)

T : 477 m<sup>2</sup>/día (3,31 x 10<sup>-1</sup> m<sup>2</sup>/min.)

Como se mencionó en "Perforaciones Exploratorias y Pruebas de Bombeo", el pozo de prueba J1-1 reveló la existencia de una formación algo diferente que el comúnmente conocido Grupo Las Sierras, con valores muy altos de capacidad específica de 19.464 m<sup>3</sup>/día/m (1.088 gpm/ft). Como resultado del espesor confirmado de la formación, de más de 220 metros, y sus características litológicas, se considera que esta formación es de los materiales volcánicos originales del Grupo Las Sierras, como se muestra en la Fig. 4.6.1. Sin embargo, la estructura hidrogeológica presumida del área debe ser revisada con estudios detallados en

el futuro. Por lo tanto, en el mapa de iso-valores de la capacidad específica (Fig. 4.8.3), no se tomó en consideración el valor de capacidad específica obtenido en el pozo de prueba JI-1.

La existencia de formaciones Terciarias se encuentra representada en los cortes transversales de las Fig. 4.1.8, 4.1.9.

#### 4.8.4 Ocurrencia de Agua subterránea

##### (1) Ocurrencia espacial del agua subterránea

###### 1) Sub-área occidental (Valle Los Brasiles)

Como ya se ha mencionado, las formaciones acuíferas principales de la sub-área constan de depósitos aluviales, materiales piroclásticos Cuaternarios y el Grupo Las Sierras Medio. Aquí la ocurrencia del agua subterránea está básicamente controlada por el sistema de fallas NNO-SSE de la escarpa de Falla de Mateare y por la forma de la superficie superior de las formaciones Terciarias y clasificadas como capas basales hidrogeológicamente impermeables (Fig. 4.8.2).

La forma de la superficie freática, del sub-área, se muestra en la Fig. 4.8.1, la cual es controlada por las condiciones topográficas y geológicas antes mencionadas. El agua subterránea del sub-área ocurre, en general, de forma no confinada. Por ejemplo, aunque el pozo exploratorio J-5 atravesó el Grupo Las Sierras Medio y alcanzó una formación acuífera principal, dentro de la formación El Salto, con la realización de mediciones diarias del nivel de agua, no se observaron fluctuaciones del nivel del agua en el pozo (Fig. 4.8.5).

###### 2) Sub-área central de Managua

Este sub-área, por sus condiciones topográficas, geológicas y cubierta vegetal tiene buena recarga. El área de captación de agua tiene unos 237 kilómetros cuadrados. La formación acuífera principal es el Grupo Las Sierras Medio. Un acuífero se encuentra en las zonas fracturadas, zonas meteorizadas y capas locales de escoria porosa con fragmentos de rocas presentes dentro de la formación. En general, el agua subterránea ocurre en estos acuíferos en condiciones libres o no confinada; aunque

ocasionalmente en condiciones de agua colgada y confinada.

La extracción de agua subterránea, en la sub-área, se ha incrementado para el uso doméstico e industrial de la ciudad de Managua. La Fig. 4.8.1 muestra que la forma del nivel freático es similar a la de la topografía y a la configurancia del techo de las formaciones Terciarias (Fig. 4.8.2), pero en detalle, las áreas deprimidas corresponden con las áreas de bombeo intensivo. El nivel del agua de Laguna de Asososca ha estado continuamente descendiendo, debido a una sobre explotación, con un promedio anual de 30 centímetros. En años recientes, el nivel de agua de la laguna de Asososca está casi tres metros, debajo del lago de Managua. En la situación antes señalada, el agua de la Laguna de Asososca puede contaminarse con el drenaje de petróleo desde la refinería, situada en la parte norte de la laguna de Asososca.

En este estudio, se recomendará una descarga óptima para evitar tal contaminación, basado en los resultados del análisis del balance de agua.

### 3) Sub-área oriental

Este sub-área geohidrológico tiene el potencial más alto para el desarrollo del agua subterránea del Area de Estudio debido a sus condiciones topográficas, hidrológicas y geológicas. Este sub-área puede ser dividido en el distrito de recarga de agua subterránea, y en el distrito de almacenamiento y escorrentía directa, aunque el último puede dividirse en dos cuencas hidrológicas: Ticuantepe aguas arriba y la cuenca Caldera de Masaya.

La cuenca Ticuantepe aguas arriba tiene un área de captación de agua de lluvia de 82 kilómetros cuadrados. La mayor parte del agua de lluvia que cae en el área montañosa de las Sierras de Managua fluye en forma de escorrentía directa hacia las quebradas. Parte de esa escorrentía se infiltra en el suelo y a través del Grupo Masaya y juega un papel importante como fuente de agua de esta sub-área geohidrológica.

La cuenca Caldera Masaya tiene un área de captación de agua de lluvia de 213 kilómetros cuadrados. Una gran parte del agua de lluvia que cae en el área montañosa de la Meseta de Carazo fluye hacia la Caldera de Masaya, en forma de escorrentía directa, a través de ríos estacionales. Gran parte del agua almacenada en la Caldera, como agua superficial, se infiltra a través de las paredes y fondo de la laguna y fluye



subterráneamente hacia el valle sepultado de Veracruz- Cofradía-Sabana Grande y también juega un papel importante como fuente de de este sub-área geohidrológico (Fig. 4.8.6).

El valle sepultado, arriba mencionado, es un valle antiguo formado mediante procesos fluviales y tectónicos que afectaron el Grupo Las Sierras Medio, antes de la erupción del Grupo Volcánico Masaya. Después de su formación, el valle fue rellenado con lava y con materiales piroclásticos del Grupo Volcánico Masaya. Su profundidad, a lo largo de la línea central, es casi de 100 metros en la parte sur, y de 150 metros en el norte; su ancho es de 4 kilómetros en el sur y de 8 kilómetros en el norte. Como se muestra en el mapa hidrogeológico (Fig. 4.1.7), y en las secciones hidrogeológicas transversales (Fig. 4.1.8, 4.1.12), se puede estimar que este valle sepultado se ha desarrollado bajo el control de dos sistemas de fallas activas de dirección NS y NE-SO. Existen, dentro del valle sepultado, muchos conos volcánicos y cráteres compuestos de colapso en Veracruz y su alineamiento volcánico está controlado principalmente por el sistema de fallas de orientación NS.

Como ya se ha mencionado, existen muchos manantiales en el área costera de las Mercedes. El mecanismo de estos manantiales se estima que está controlado por las diferencias de las características litológicas que existen entre el Grupo Volcánico Masaya (altamente permeable) y por los depósitos Aluviales (relativamente de baja permeabilidad) (ver Fig. 4.8.3). La descarga total de esos manantiales es de 1,3 m<sup>3</sup>/seg, (febrero de 1992), e individualmente el manantial de San Rafael tiene la descarga más alta ( 0,8 m<sup>3</sup>/seg). Tal descarga es casi igual al rendimiento del campo de pozos Carlos Fonseca (0,79 m<sup>3</sup>/seg.).

Como se muestra en la Fig. 4.8.6, la forma de la superficie freática, en el sub-área, está afectada por las condiciones topográficas y geológicas y por la forma del valle sepultado, así como por el sistema de fallas. De la observación de la Fig. 4.8.6, se puede ver de forma clara, el mecanismo de flujo de agua subterránea, en este área geohidrológico. La Fig. 4.8.5 muestra las fluctuaciones del nivel freático en las perforaciones exploratorias, hechas en este estudio. De la Figura se desprende que, en general, el agua subterránea ocurre de forma no confinada, y las condiciones de agua perchada (colgada) y confinada se dan de manera parcial.

La Fig. 4.8.7 y el Cuadro 4.8.5, representan la comparación

de las condiciones iniciales y actuales del campo de pozos Carlos Fonseca. Como se muestra en esta Figura, es evidente que el espacio entre los pozos no es apropiado y se pueden apreciar las interferencias entre ellos. Debido a las interferencias se ha originado un gran deterioro de la capacidad específica. Se estimó también, una reducción del nivel estático del agua entre 7,4 y 0,5 metros. Según el Cuadro 4.8.5, el promedio de deterioro de la capacidad específica de los pozos es 66,21 % y el promedio de abatimiento en los 9 pozos, a los que se realizó prueba de bombeo, es de 28,27 metros. Actualmente la capacidad de producción diaria del campo (13 pozos) es de 74.000 m<sup>3</sup>. Tal capacidad parece que se ha mantenido desde la condición original. La formación hidrogeológica, hasta ahora analizada, indica que la producción, arriba indicada, puede obtenerse con 8 pozos (capacidad específica: 27-30 m<sup>3</sup>/hora/m; descenso: 15-20 mts) debidamente espaciados.

El Cuadro 4.8.6 representa el radio de influencia de los 8 pozos de Carlos Fonseca, calculado con la fórmula de Theis, bajo las siguientes condiciones asumidas.

$$S = QW(u)/4+T \quad U = r^2S/4+T$$

Donde,

- s: caída de nivel por bombeo
- Q: tasa de bombeo(5.000 m<sup>3</sup>/día)
- S: coeficiente de almacenaje(0,10-0,15)
- t: tiempo desde el comienzo de bombeo(2 días)
- T: coeficiente de transmisibilidad(T=1,22 Sc)
- W(u): función de pozo(u es obtiene de una función)
- r: radio de influencia(a s=0,1 m)

Como se muestra en el Cuadro 4.8.6 y la Fig. 4.8.7, es evidente que el espaciamiento entre los pozos no es lo apropiado.

## (2) Mecanismo de flujo del agua subterránea

En este Estudio, se hizo un análisis de los componentes químicos y de las concentraciones de tritio representativas del agua con el objeto de estudiar el mecanismo de flujo del agua subterránea, y de evaluar el desarrollo potencial del agua subterránea en el Area de Estudio.

1) Características zonales de los componentes químicos del agua

Los resultados de los análisis se plasmaron en el diagrama trilineal y en el diagrama de Stiff, como se muestra en la Fig. 4.7.1 y 4.7.2 y son explicados en la sección 4.7.

Estas Figuras representan las muestras tomadas en zonas topográficamente bajas, como Sabana Grande y Managua, que han tenido larga permanencia en el acuífero y han sufrido cambios en los elementos de iones. Estos resultados se adaptan al ciclo de la recarga del área de captación hidrogeológica mencionado en la sección "Ocurrencia del Agua Subterránea".

2) Características generales de las concentraciones de tritio

Con el objeto de estimar la edad del agua subterránea y definir el mecanismo de flujo, se llevaron al Japón 7 muestras de agua para realizar el análisis de radio-isótopo ( $H_3$ ). Los resultados de los análisis aparecen en el Cuadro 4.8.7.

La determinación de la concentración de tritio (TU) es una técnica útil para estimar la edad del agua subterránea.

El tritio es un isótopo radiactivo de hidrógeno que tiene una vida media de 12,3 años. La ocurrencia de tritio en el agua del ciclo hidrológico proviene tanto de fuentes naturales como de fuentes producidas por el hombre. El tritio es producido en forma natural en la atmósfera terrestre debido a la interacción de neutrones producidos de rayos cósmicos con nitrógeno.

Hasta 1952, el contenido de tritio natural promedio en la precipitación a nivel mundial estaba en el rango de casi 5-20TU. Con el comienzo de las pruebas de bombas termonucleares en la atmósfera, a gran escala, en 1952 los contenidos de tritio en la precipitación aumentaron considerablemente. En 1962-1963 alcanzaron un máximo de casi 80.000 TU, en algunas localidades, lo que significó una cantidad mil veces mayor que los registros antes de las pruebas de bombas nucleares. Con las restricciones de las pruebas atmosféricas, los contenidos de tritio han venido declinando, pero aún está en concentraciones mayores de las que se producen de forma natural. El tritio es ampliamente usado para los datos de agua subterránea en los siguientes contextos:

- (a) Concentraciones de tritio muy bajas y cercanas al nivel de detectabilidad muestran que el agua es principalmente del período pre-ensayos termonucleares atmosféricos. Por otro lado, las concentraciones relativamente altas de tritio indican que el agua se origina parcial o totalmente de la precipitación post-ensayos termonucleares atmosféricos.
- (b) Para obtener una datación más precisa de tritio, se tienen que tomar en cuenta los cambios en el régimen de lluvia.

Asumiendo que ocurra el flujo de pistón, la datación del agua puede lograrse al aplicar la siguiente ecuación de decaimiento.

$$\ln(A) = \ln(B) - t/th \cdot \ln(2)$$

Donde,

- A : Concentración de tritio de la muestra
- B : Concentración de tritio en la precipitación (t años anteriores)
- t : Edad del agua
- th: Vida media del tritio (12,262 años).

La Fig. 4.8.8 muestra una síntesis de los registros de tritio en la precipitación en Madison, Wisconsin (U.S.A). El tritio en la precipitación de Madison fue de casi 8-10 unidades, antes de 1953, alcanzó el máximo de más de 4.500 TU durante 1962, y declinó a 20-30 TU en 1982. En vista que en Nicaragua no existe una estación que realice mediciones del contenido de tritio en las precipitaciones, se asume que el tritio en la precipitación de Managua puede ser similar al de Madison.

Asumiendo que el movimiento del agua subterránea en un acuífero sigue el flujo de pistón, para obtener la curva de decaimiento de las unidades de tritio y estimar la edad del agua subterránea del Area de Estudio, se puede usar la ecuación arriba descrita, como se muestra en la Fig. 4.8.9.

### 3) Mecanismo de Flujo del Agua Subterránea

La Fig. 4.8.6 muestra el mecanismo de flujo del agua

subterránea en el Area de Estudio, el cual fue preparado desde los puntos de vista topográfico, hidrológico e hidrogeológico.

Basados en las características zonales de los componentes químicos del agua, en las características generales de la concentración de tritio y en la Fig. 4.8.6, se hacen las consideraciones sobre el mecanismo de flujo del agua subterránea en el Area de Estudio, que se resumen de la manera siguiente:

- (a) Las lagunas de Masaya y de Asososca son alimentadas verticalmente y lateralmente con aguas subterráneas provenientes del Grupo Las Sierras Medio, cuyas edades geológicas se estiman entre 35 a 45 años.
- (b) También se puede estimar que el agua subterránea de Ticuantepe y la parte suroeste de Veracruz tiene un mecanismo de flujo similar al de las Lagunas de Masaya y de Asososca.
- (c) Si se asume que los manantiales de IRENA y del Río Mocuana son abastecidos principalmente con agua subterránea infiltrada a través del fondo y paredes de la Caldera de Masaya, que fluyen a través de un valle sepultado relleno por materiales del Grupo Volcanico Masaya, así como también a lo largo de las zonas de fractura controladas por el sistema de fallas NNE-SSO, se puede estimar que las edades geológicas del agua subterránea son de 8,5 y de 4,0 años, respectivamente (Fig. 4.8.6 y Fig. 4.8.9).
- (d) Como se muestra en la Fig. 4.8.6, el agua subterránea del campo de pozos Sabana Grande es abastecida con aguas subterráneas infiltradas a través del fondo y paredes de Caldera de Masaya y con aguas infiltradas en el extremo inferior de las Sierras de Managua que consiste del Grupo Las Sierras Medio. Por lo tanto, sus unidades de tritio muestran un valor relativamente bajo (1,29 TU) comparado con el de IRENA y con los manantiales del Río Mocuana.
- (e) Como resultado de las consideraciones arriba mencionadas, se puede decir que el agua subterránea almacenada en el Grupo Las Sierras Medio tiene como característica una baja renovación; por otro lado, el agua subterránea almacenada en el Grupo Volcánico

Masaya tiene alta capacidad de renovación.

Asumiendo que una distancia de transición de agua subterránea entre la Caldera de Masaya (área de recarga) y los manantiales (área de descarga) es de 14 km., la tasa de flujo del agua subterránea varía entre 9,6 m/día (14.000 m/4 años) y 4,5 m/día (14.000 m/8,5 años). Por otro lado, si asumimos que la distancia transicional del agua subterránea descargada en las Lagunas de Masaya y Asososca es de aproximadamente 10 km, se estima que la tasa de flujo del agua subterránea será de 0,78 m/día (tasa de circulación : 35 años) a 0,61 m/día (tasa de circulación : 45 años).

Estas tasas de flujo pueden usarse para muchas cuencas de agua subterránea del mundo, que estén compuestas de rocas volcánicas jóvenes.

Quadro 4.8.1 Registro de Pozos existentes (1)

Area Geo-Hidrologica : Sub-Area Oeste (Valle Los Brasiles)											
Pozo No.	Eleva. (m)	Profun. Perfo. (m)	Posicion de Rejilla		Acuifero	Descar. (Q: m <sup>3</sup> /h)	Datos de Pruebas de Bombeo				Observa.
			Sup. (NT-m)	Inf. (NT-m)			ND (NT-m)	NE (NT-m)	CE(Q/s) (m <sup>3</sup> /h/m)	T (m <sup>3</sup> /dia)	
INAA 1	—	134	74.9	121.6	Qa1, QvH&QvP	114	53.34	59.43	18.92	554	
INAA 2	—	125			Qa1, QvH&QvP	114	53.34	65.07	9.72	285	
INAA 3	—	—	80.5	128.3	Qa1, QvH&QvP	—	—	—	13.40	392	
INAA 6	142	213.41	113	210	Qa1, QvH&QvP	213.83	95.12	97.81	79.50	2,327	
PASI-9J			91								
PB-02	—	152			Qa1, QvH&QvP	250	—	—	47.44	1,389	
PB-04	—	122	49	120	Qa1, QvH&QvP	250	40.23	49.23	27.81	814	
PB-05	—	152			Qa1, QvH&QvP	250	—	—	17.61	516	
PB-07	—	122			Qa1, QvH&QvP	250	—	—	22.35	654	
PB-08	—	122	67	102	Qa1, QvH&QvP	250	33.53	44.83	22.12	648	
PB-09	—	122	63	133	Qa1, QvH&QvP	—	—	—	33.09	969	
61	—	—			Qa1, QvH&QvP	—	—	—	16.70	489	
5042									28.06	821	Promedio de 11 Pozos
IA-89 (240)	—	173.74	134	171	TQps (M)	3.86	128.02	128.71	5.40	158	
Pas 6-1 INAA-61	342	305	125	301.8	TQps (M)	178	108.82	142.40	5.30	155	
			140.2						5.35	157	Promedio de 2 Pozos

Registro de Pozos existentes (2)  
 Cuadro 4.8.1  
 Area Geo-Hidrologica : Sub-Area Central de Managua (Campo de Pozos # 1 Volcanico Asososca-Ticomio)

Pozo No.	Eleva. (m)	Profun. Perfo. (m)	Posicion de Rejilla		Acuifero	Descar. (Q: m <sup>3</sup> /h)	Datos de Pruebas de Bombeo				Observa.
			Sup. (NT-m)	Inf. (NT-m)			ND (NT-m)	NE (NT-m)	CE(Q/s) (m <sup>3</sup> /h/m)	T (m <sup>3</sup> /dia)	
PPA-3A	47.38	82.30			TQps (M)	161	6.52	15.94	17.09	500	
T4857 IA89	—	60.96	33.53	57.91	TQps (M)	136	17.07	23.22	22.04	645	
PPA-14	—	76.20			TQps (M)	129.9	20.94	32.20	11.50	340	
UNIDAS-13 (4882)	—	56			TQps (M)	165	19.80	26.50	24.62	720	
UNIDAS-5	—	61			TQps (M)	515	4.87	15.77	47.25	1,383	
PPA-15A	61	42	23.8	42.0	TQps (M)	32	22.86	41.06	2.25	66	
UNIDAS-31	—	45		18.2	TQps (M)	18	27.10	32.00	3.67	107	
PPA-16W	80	67			TQps (M)	102	28.96	32.24	31.16	912	
T5203 IA-90	80	45	28.96	44.20	TQps (M)	114	27.73	28.18	(249.00)	(7,290)	Eliminado del Promedio
5080 PB-2-1	90.36	183	70	180	TQps (M)	342	50.90	61.37	32.66	956	
PPA-M2	145.39	198		79	TQps (M)	33	106.40	107.55	28.87	845	
PPA-3A	47.38	82			TQps (M)	161	6.52	15.94	17.06	500	
4294 PAS6-2 (INAA-63)	147	235	125	225	TQps (M)	91	105.76	113.46	11.79	345	
PAS6-10 (INAA-58)	195	247	183	271	TQps (M)	91	161.59	169.85	10.99	322	
INAA-43					TQps (M)	88	159.84	168.95	9.66	282	



Cuadro 4.8.1 Registro de Pozos existentes (3)

Pozo No.	Eleva. (m)	Profun. Perfo. (m)	Posicion de Rejilla		Acuifero	Datos de Pruebas de Bombeo				Observa.	
			Sup. (NT-m)	Inf. (NT-m)		Descar. (Q: m <sup>3</sup> /h)	Dato de Pruebas de Bombeo		T (m <sup>3</sup> /dia)		
							ND (NT-m)	NE (NT-m)			CE(Q/s) (m <sup>3</sup> /h/m)
INAA-44	—	259	183	253	TQps(M)	113	152.59	183.71	10.16	297	
INAA-45	—	289	174	286.5	TQps(M)	145	151.07	158.56	19.36	566	
PAS3-1 (INAA-85)	250	335	207	332	TQps(M)	45	19.51	22.05	17.88	524	
INAA-59	—	283	216	277	TQps(M)	74	160.32	173.10	5.79	169	
1640 PPC-88	480	356.6	262	356.6	TQps(M)	79.45	247.5	—	6.90	200	
									17.40	509	Promedio de 19 Pozos

Quadro 4.8.1 Registro de Pozos existentes (4)

Area Geo-Hidrologica : Sub-Area Central Managua (Campo de Pozos # 1 Managua Central)												
Pozo No.	Eleva. (m)	Profun. Perfo. (m)	Posicion de Rejilla		Acuifero	Descar. (Q: m <sup>3</sup> /h)	Datos de Pruebas de Bombeo			T (m <sup>3</sup> /dia)	Observa.	
			Sup. (NT-m)	Inf. (NT-m)			ND (NT-m)	NE (NT-m)	CE(Q/s) (m <sup>3</sup> /h/m)			
PB-5-1	63	154	35.1	139	TQps(M)	230	28.96	32.94	66.09	1,935		
PB-5-2 INAA-7	59	183	42.7	180	TQps(M)	227	22.25	40.72	12.31	360		
INAA-8	—	183	42.7	88.4	TQps(M)	186	23.88	38.28	12.92	378		
INAA-53	—	152	76.2	97.5	TQps(M)	102	61.57	96.13	2.95	86		
4980 PA5-12	86	244			TQps(M)	227	60.96	72.90	19.01	556		
4679 1A-88	—	189	30.48	179.23	TQps(M)	136	12.80	35.61	5.97	175		
PB-5-3 (INAA-9)	57.4	152.4	40.0	128	TQps(M)	267 ( 140	20.06 18.29	34.02 24.51	19.13 21.53	560 630		
4249 PB-5-4	66.60	152	70.5	149	TQps(M)	204	18.29	57.02	5.65	165		
INAA-54	—	213	70.1	80.7	TQps(M)	116	39.93	47.79	14.76	432		
4294 PA-88	117.40	155	73.1	155	TQps(M)	182	54.88	59.60	38.47	1,126		
4699 1A-88	321.00	274	182.9	252.7	TQps(M)	68	175.00	178.10	21.98	644		
UNIDAS-17	—	76			TQps(M)	202	10.7	42.7	6.30	184		
5184 1A-90	—	152	24.38		TQps(M)	137	10.97	27.38	9.18	269		
UNIDAS-21	—	71			TQps(M)	125	9.15	26.04	7.40	216		
UNIDAS-19	—	108			TQps(M)	82	13.70	40.15	3.10	91		
INAA-32 (UNIDAS-43)	—	181			TQps(M)	102	81.40	89.02	13.40	392		

Quadro 4.8.1 Registro de Pozos existentes (5)

Area Geo- Hidrológica : Sub-Area Central Managua (Campo de Pozos # 2 Managua Central)												
Pozo No.	Eleva. (m)	Profun. Perfo. (m)	Posicion de Rejilla		Acuifero	Descar. (Q: m <sup>3</sup> /h)	Datos de Pruebas de Bombeo				Observa.	
			Sup. (NT-m)	Inf. (NT-m)			ND (NT-m)	NE (NT-m)	CE(Q/s) (m <sup>3</sup> /h/m)	T (m <sup>3</sup> /dia)		
INAA-33	—	—			TQps (M)	97	85.34	102.10	5.81	170		
INAA-34	—	—			TQps (M)	146	81.85	87.90	24.13	706		
INAA-35 (UNIDAS-8)	—	204	115.8	137.2	TQps (M)	98	85.94	104.48	5.28	154		
UNIDAS-22	—	61			TQps (M)	68	32.00	36.57	14.90	436		
4952 1A-89	60	76	27.43	73.15	TQps (M)	36	21.30	31.13	3.69	108		
INAA-11 (A-56)	70	213	48.8	210.3	TQps (M)	227	22.74	49.05	8.63	253		
UNIDAS-89	—	155	146.3		TQps (M)	68	—	—	12.74	373		
INAA-41	—	—			TQps (M)	82	50.59	63.52	6.34	185		
INAA-42	—	—			TQps (M)	43	49.46	79.25	1.44	42		
INAA-38	—	243	143	152	TQps (M)	86	96.75	134.23	2.29	67		
INAA-37 (UNIDAS-88)	—	171			TQps (M)	38	79.00	79.49	79.00	2,313		
PAS-6-8 T-4294	245.8	335	207	326	TQps (M)	163	161.60	167.11	29.65	868		
PAS-8-1 (INAA-51)	130.0	213	85	207	TQps (M)	204	61.28	72.46	18.03	528		
UNIDAS-70	—	137	121.9		TQps (M)	20	85.30	98.30	1.57	46		
PAS-8-7 (4294)	190	244			TQps (M)	159	94.19	144.68	3.17	93		
3489 1A-84	—	152			TQps (M)	144	79.25	100.66	5.33	156		

Cuadro 4.8.1 Registro de Pozos existentes (6)

Area Geo-Hidrologica : Sub-Area Central Managua (Campo de Pozos # 3 Managua Central)													
Pozo No.	Eleva. (m)	Profun. Perfo. (m)	Posicion de Rejilla		Acuifero	Descar. (Q: m <sup>3</sup> /h)	Datos de Pruebas de Bombeo				Observa.		
			Sup. (NT-m)	Inf. (NT-m)			ND (NT-m)	NE (NT-m)	CE(Q/s) (m <sup>3</sup> /h/m)	T (m <sup>3</sup> /dia)			
INAA-12 (PB-9-8)	72	213	51.8	61	TQps (M)	214	33.65	43.15	22.57	661			
INAA-39 (PAS-10-6)	125	280.5	82.3	180	TQps (M)	216	59.45	83.64	8.9	261			
INAA-48	—	183	134	179	TQps (M)	77	84.11	105.34	3.62	106			
PAS-85 4980	170	305	186	302	TQps (M)	136	103.70	144.42	3.34	98			
5397 1A-90	255	183	122	180	TQps (M)	6	106.68	174.04	(0.08)	(2.34)	Eliminado del Promedio		
UNIDAS-122	—	91	—	—	TQps (M)	138	12.30	32.49	6.85	200			
5376 1A-91	56	122	30.5	117.3	TQps (M)	36.3	15.24	31.13	3.69	108			
1783 1A-76	—	122	76.2	118.9	TQps (M)	91	13.11	37.49	3.72	109			
5158 1A-90	75	91	39.6	88.4	TQps (M)	49	32.00	50.34	2.67	78			
PB-9-10 4294	80	189	61	140	TQps (M)	227	30.05	45.66	21.39	626			
UNIDAS-66	—	85	—	—	TQps (M)	—	53.30	—	22.30	653			
2673 1A-85	95	152.4	45.7	134	TQps (M)	193.3	34.1	56.73	8.54	250			
INAA-65	—	—	82.3	—	TQps (M)	97	152.69	160.99	11.69	342			
INAA-52	—	280	85.3	277.6	TQps (M)	151	65.97	78.76	11.81	345			
INAA-50	—	198	158.5	—	TQps (M)	72	134.72	179.83	1.60	47			
INAA-49 (PAS-84)	213	299	155	295	TQps (M)	127	131.37	140.03	14.67	429			

Cuadro 4.8.1 Registro de Pozos existentes (7)

Area Geo-Hidrologic : Sub-Area Central Managua (Campo de Pozos # 4 Managua Central )												
Pozo No.	Eleva. (m)	Profun. Perfo. (m)	Posicion de Rejilla		Acuifero	Descar. (Q: m <sup>3</sup> /h)	Datos de Pruebas de Bombeo				Observa.	
			Sup. (NT-m)	Inf. (NT-m)			ND (NT-m)	NE (NT-m)	CE(Q/s) (m <sup>3</sup> /h/m)	T (m <sup>3</sup> /dia)		
										13.36	391	Promedio de 47 Pozos
										14.52	425	Promedio de Managua Central sub-area 66 Pozos



Cuadro 4.8.1 Registro de Pozos existentes (9)

Area Geo-Hidrologica : Sub-Area Este (Sabana Grande - Carlos Fonseca - Cofradia) 2												
Pozo No.	Eleva. (m)	Profun. Perfo. (m)	Posicion de Rejilla		Acuifero	Descar. (Q:m/h)	Datos de Pruebas de Bombeo				Observa.	
			Sup. (NT-m)	Inf. (NT-m)			ND (NT-m)	NE (NT-m)	CE(Q/s) (m <sup>3</sup> /h/m)	T (m <sup>3</sup> /dia)		
			Longitud de Rejilla (m)									
INAA-31 (SG-5)	68.5	198	27.4	134.0	QvM&TQps(M)	354	17.07	32.07	23.62	692		
SG-7	75.2	273	88.3		QvM&TQps(M)	271	20.81	25.47	48.73	1,426		
UNIDAS-61	—	55			QvM	28	17.70	21.30	7.70	225		
UNIDAS-62	—	56			QvM	41	21.30	22.70	28.60	837		
UNIDAS-58	—	219			QvM&TQps(M)	137	9.50	10.10	227.80	6,670		
UNIDAS-52	—	169			QvM&TQps(M)	227	6.70	7.46	298.80	8,749		
4718	—	79	27.4	76.2	QvM	114	9.14	13.00	29.40	861		
IA-88	—	76	48.8		QvM	159	20.87	22.87	79.5	2,328		
4786	—	76	27.4	73.1	QvM	216	13.72	19.32	38.55	1,129		
5E-88	—	76	42.7		QvM	300	10.67	25.76	19.88	582		
INAA-17 (CF-1)	64.59	151	47.8	151.5	QvM&TQps(M)	216	13.72	19.32	38.55	1,129		
INAA-18 (CF-2)	62.04	152	33.5	147.8	QvM&TQps(M)	300	10.67	25.76	19.88	582		
INAA-19 (CF-3)	62.05	110	42.1	104.5	QvM	463	10.67	25.66	30.87	904		
INAA-20 (CF-4)	61.97	108	38.1	103.6	QvM	382	10.36	16.46	62.64	1,834		
INAA-21 (CF-5)	61.87	152	33.5	148.1	QvM&TQps(M)	404	10.67	20.82	39.83	1,166		
INAA-22 (CF-6)	62.09	104	34.4	101.5	QvM	375	8.64	19.72	33.50	981		
INAA-24 (CF-8)	61.82	104	37.2	71.6	QvM	463	9.60	25.76	28.57	836		
			19.8						66.53	1,948		Promedio de 15 Pozos

Cuadro 4.8.1 Registro de Pozos existentes (10)

Pozo No.	Eleva. (m)	Profun. Perfo. (m)	Posicion de Rejilla		Acuifero	Descar. (Q: m <sup>3</sup> /h)	Datos de Pruebas de Bombeo				Observa.
			Sup. (NT-m) Longitud de Rejilla (m)	Inf. (NT-m)			ND (NT-m)	NE (NT-m)	CE(Q/s) (m <sup>3</sup> /h/m)	T (m <sup>3</sup> /dia)	
INAA-14 (CF-9)	76.27	183	61.0	82.3	Qa1 (&QvM)	93	30.63	48.16	5.29	155	
INAA-15 (CF-12)	—	130	45.7	112.8	Qa1 (&QvM)	—	20.89	—	3.02	88	
UNIDAS-49	—	37			Qa1 (&QvM)	79	3.00	27.53	3.22	94	
UNIDAS-54	—	36			Qa1 (&QvM)	4	3.30	3.61	12.70	372	
UNIDAS-55	—	42			Qa1 (&QvM)	34	7.90	32.18	1.40	41	
4718 2B-88	—	69	39.62	59.44	Qa1 (&QvM)	159	4.57	18.18	11.67	341	
4745 3C-88	52	61	21.3	64.0	Qa1 (&QvM)	139	12.49	22.22	16.34	478	
				39.6					7.66	224	Promedio de 7 Pozos



Cuadro 4.8.1 Registro de Pozos existentes (11)

Area Geo-Hidrologica Sub-Area (Veracruz-Ticuanatepe) 4												
Pozo No.	Eleva. (m)	Profun. Perfo. (m)	Posicion de Rejilla		Acuifero	Descar. (Q.m <sup>3</sup> /h)	Datos de Pruebas de Bombeo				Observa.	
			Sup. (NT-m)	Inf. (NT-m)			ND (NT-m)	NE (NT-m)	CE(Q/s) (m <sup>3</sup> /h/m)	T (m <sup>3</sup> /dia)		
UNIDAS-76	139	92.6			QvM	107	41.72	46.72	21.40	626		
UNIDAS-85					Tqps (M) (Sheared zone)				45.80	1,341	Valle de Veracruz	
UNIDAS-121		62.0			QvM	214.3	25.22	26.63	152.30	4,459	Promedio CE : 61.10	
UNIDAS-108					QvM				24.90	729		
UNIDAS-93					QvM&Tqps (M)				16.30	477	Ticuanatepe	
B-2-74		122.0	69	114	QvM&Tqps (M)	121	62.22	67.71	22.00	644		
INAA-72			45									
D-2-85		152.5	62	107	QvM&Tqps (M)	92	54.29	68.17	14.00	409	Promedio CE : 15.23	
INAA-71			45									
N-3-89		97.6			QvM&Tqps (M)	204.4	48.80	69.79	9.70	284		
INAA-76												
J-1-85		187.9	102	159	TQps (M)		80.83		7.23	211		
INAA-69			57									
N-1-84		152.5	108	159	TQps (M)	129.45	67.71	85.71	7.19	210	Promedio CE : 8.03	
INAA-74			51									
N-2-89		97.6	75.3	89.7	TQps (M)	204.39	48.80	69.97	9.65	282		
INAA-75			14.4									

Cuadro 4.8.1 Registro de Pozos existentes (12)

Pozo No.	Eleva. (m)	Profun. Perfo. (m)	Posición de Rejilla		Acuífero	Descar. (Q: m <sup>3</sup> /h)	Datos de Pruebas de Bombeo					Observa.
			Sup. (NT-m) Longitud de Rejilla (m)	Inf. (NT-m)			ND (NT-m)	NE (NT-m)	CE(Q/s) (m <sup>3</sup> /h/m)	T (m <sup>3</sup> /día)		
2		21.3			Deposit Cuaternary For. Masachap del Oligoceno	13.63	2.13	11.74	1.42	41.5		
3		21.3				19.31	6.25	7.77	12.67	370.9		
D-1		18.6				12.49	7.01	9.75	4.55	133.2		
D-2		18.6				9.08	7.32	10.67	2.68	78.5		
D-3		21.9				6.81	10.18	12.68	2.56	74.9		
		20.3				12.26	6.59	10.52	4.78	140	Promedio de 5 Pozos	
1		90.2			Formac. Masachapa Oligoceno	4.32	4.57	24.08	0.22	6.5		
I-1		109.7				5.68	5.27	45.59	0.15	4.4		
		100.0				5.00	4.42	34.83	0.19	5.5	Promedio de 2 Pozos	
7		71.6			Form. Brito del Eoceno	6.81	18.90	24.38	1.24	36.4		

**Cuadro 4.8.2 Características del Acuífero Actual en el Grupo Medio Las Sierras**

Condiciones del Pozo	No. de Perforaciones Exploratorias		
	JI-1	JI-4	JI-5
Capas de Escoria (caídas/flujo) (m)	45.72 <sup>*1</sup>	C/C	C/C
Capas de Ceniza (caídas/flujo) (m)	74.67 <sup>*1</sup>	C/C	C/C
Otros Flujos Piroclásticos (m)	9.14 <sup>*1</sup> (Lava porosa)	C/C	C/C
Aglomerados Meterorizados con Suelo Fossil (m)	27.43 <sup>*1</sup>	28.10	36.50 <sup>*2</sup>
Aglomerados Fracturados (m)	—	48.50	37.75
Longitud Total de Rejilla	84.12	71.00	54.00
Nivel Estático (NT-m)	104.24	94.28	100.18
Nivel de Bombeo (NT-m)	105.00	106.17	102.01
Descarga Constante (m <sup>3</sup> /día)	1,482.51	1,471.68	1,471.68
Capacidad Específica (m <sup>3</sup> /día/m)	19,464.48	123.77	804.19
Transmisividad (m <sup>3</sup> /día)			

(C/C: sin confirmar)

\*1 Estas litofases se estima que son un volcanico inicial del Grupo las Sierras.

\*2 Incluyendo capas basales de arenisca gruesa y conglomerados finos la Formacion El Salto.

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

INFORMACION	LITOFASES	Grado de humedad (ohm/m)			Observaciones
		Seco	Humedad Capilar	Saturado	
Depositos Aluv. con Material Piroclástico	Capas Arcillosas	45 - 90			
	Capas Arenosas	60 - 800		8 - 25	
	Capas de Grava		100 - 200	- 25	
Cuaternario	Pómez o Escoria		100 - 200	- 25	
	Depositos Piroclást. (Escoria)	170 - 880			
Grupo Volcánico Masaya	Flujos Piroclásticos	90 - 120		25 - 50	
	Flujos de lava Brechada				Afectado por Solucion Hidrotermica
	Flujos de Lava (Compacta)	100 - 200	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	
	Arenisca Tobacea poco consolidada y limo				Afectado por Solucion Hidrotermica
Formación El Salto					
Formación Brito (?)	Arenisca y Lutita			57 - 456	

Cuadro 4.8.4 Resultados de la Prospeccion Electrica (1) ( Schlumberger's )

Prospec.	Division Geologica de Resistividad														Elevacion			
	NO.	Prof. (m)	Capa I		Capa II		Capa III		Capa IV		Capa V		Capa VI		Capa VII		NT	Base
			m~m	$\rho$ -a	m~m	$\rho$ -a	m~m	$\rho$ -a	m~m	$\rho$ -a	m~m	$\rho$ -a	m~m	$\rho$ -a	m~m	$\rho$ -a		
S-1	400	0~3	14	3~7	122	7~20	55	20~135	23	135~400	1.3						58	-77
S-2	400	0~7.4	12	7.4~32	35	32~180	15	180~300	5	300~400	L<5						48	-252
S-3	500	0~3	140	3~16	70	16~18	9	18~140	20	140~170	4	170~270	28	270~500	1	72	-198	
S-4	500	0~6	102	6~18	189	18~160	126	160~320	68	320~500	14					160	-160	
S-5	400	0~3.1	78	3.1~13.5	702	13.5~66	120	66~350	28	360~400	210					100	-260	
S-6	500	0~7	15	7~41	45	41~60	23	60~165	8	165~370	10	370~500	190			50	-320	
S-7	400	0~2.8	41	2.8~35	96	35~240	24	24~350	10	350~400	57					80	-270	
S-8	500	0~5	88	5~26	108	26~41	700	41~130	408	130~170	3	170~500	3			148	-22	
S-9	750	0~6	70	6~25	130	25~52	87	52~84	161	84~160	69	160~320	17	320~750	153	110	-50	
S-10	750	0~6	113	6~9.6	61	9.6~27	142	27~86	116	86~170	29	170~500	7	500~750	133	140	-30	
S-11	750	0~6	82	6~42	410	42~130	137	130~450	24	450~750	456					170	+40	
S-12	500	0~5	206	5~13.5	833	13.5~68	313	68~160	78	160~400	16	400~500	H			175	+15	
S-13	750	0~4.5	158	4.5~9	53	9~39	158	39~150	40	150~410	10	410~750	990			240	+90	
S-14	400	0~6	33	6~14	18	14~49	72	49~86	39	86~160	117	160~290	63	290~400	9	50	-240	
S-15	750	0~4.5	56	4.5~5.8	224	5.8~36	149	36~180	223	180~260	96	260~440	96	440~750	19	210	-50	
S-16	750	0~6	87	6~7.2	261	7.2~72	140	72~340	210	340~480	210	480~750	23			260	-80	
S-17	750	0~4	103	4~19	412	19~66	176	66~280	59	280~370	59	370~750	10			200	-80	
S-18	750	0~5	120	5~26	180	26~170	120	170~220	180	220~370	60	370~750	3			160	-210	
S-19	400	0~6	1000	6~19	176	19~33	528	33~45	226	45~98	528	98~320	105	320~400	6	160	-160	
S-20	750	0~6	65	6~7.4	325	7.4~19	604	19~80	151	80~140	50	140~470	27	470~750	8	202	+62	
S-21	500	0~4.6	136	4.6~60	253	60~180	63	180~500	9							175	-5	

Cuadro 4.8.4 Resultados de la Prospección Eléctrica (2) ( Schlumberger's )

Prospec. NO.	Prof. (m)	Division Geologica de Resistividad																		Elevacion ( m )	
		Capa I		Capa II		Capa III		Capa IV		Capa V		Capa VI		Capa VII		ρ-a	NT	Base			
		m~m	ρ-a	m~m	ρ-a	m~m	ρ-a	m~m	ρ-a	m~m	ρ-a	m~m	ρ-a	m~m	ρ-a						
S-22	750	0~6	171	6~7.6	513	7.6~64	220	64~370	31	370~750	3	195~330	12	330~750	4		99	-271			
S-23	750	0~6	69	6~9	12	9~56	10	56~150	12	150~195	4	195~330	12	330~750	4		70	-260			
S-24	500	0~5	133	5~8	399	8~42	100	42~140	25	140~330	31	330~500	13				74	-256			
S-25	500	0~3	30	3~12	13	12~62	30	62~80	16	80~130	24	130~360	6	350~500	5		58	-302			
S-26	750	0~3	22	3~12	44	12~24	36	24~70	44	70~130	22	130~195	18	195~750	4		80	-115			
S-27	750	0~6	128	6~15	156	15~43	52	43~145	13	145~250	16	250~350	7	350~750	21		85	-165			
S-28	750	0~3	110	3~7.4	220	7.4~31	1246	31~240	415	240~750	13						110	-130			
S-29	750	0~6	29	6~7.4	54	7.4~280	18	280~750	4								215	-65			
S-30	750	0~5	50	5~32	117	32~160	50	160~750	9								128	-32			
S-31	500	0~5	35	5~6.4	105	6.4~18	57	18~34	63	34~70	42	72~135	78	135~500	20		78	-57			
S-32	500	0~4	58	4~8.2	232	8.2~35	58	35~120	15	120~380	6	380~500	L<6				71	-49			
S-33	750	0~4	64	4~23	119	23~54	97	54~88	119	88~165	40	165~750	10				200	+35			

Cuadro 4.8.5 Comparación de las Condiciones Originales y Actuales en el Campo de Pozos Carlos Fonseca Amador

Pozo No.	Original (a)		Actual (b)		Deteriorado $\frac{a-b}{a}$ ( % )	Actual Tabla (14/10/92) (m)
	C.E. m <sup>3</sup> /h/m	Fecha de la Prueba	C.E. m <sup>3</sup> /h/m	Fecha de la Prueba		
No. 1	38.51	10. 7.73	3.19	11. 9.91	91.72	31.94
No. 2	19.89	19. 9.74	11.92	? 5.82	40.07	33.75
No. 3	30.84	7.10.73	10.93	18.11.91	64.56	31.74
No. 4	64.80	17. 4.75	21.15	? 5.82	67.36	—
No. 5	39.85	19. 9.73	15.27	? 5.82	61.65	23.28
No. 6	33.52	23. 3.74	8.28	27.11.91	75.30	24.12
No. 7	13.41	18. 3.74	6.85	? 5.82	48.92	30.66
No. 8	28.53	1. 7.76	8.22	18.11.91	71.19	—
No.12	5.81	? 5.82	3.02	27.11.91	48.02	25.80
No.13	4.39	? 5.82	3.81	18.11.91	13.21	18.72
No.15	14.15	28.10.82	6.58	27. 8.91	53.50	34.42
Average	26.69	(293.62)	9.02	(99.22)	66.21	28.27

\* La Capacidad Especifica de 8 Pozos Perforados entre 1973-1976 fue de 32.67m<sup>3</sup>/h/m(original).

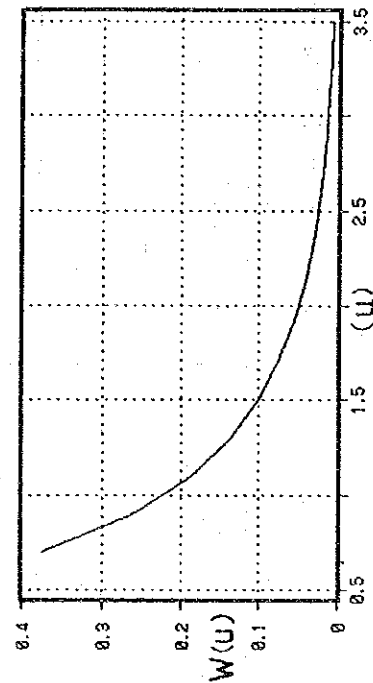
Cuadro 4.8.6 Radio de influencia (r) de campo de pozos Carlos Fonseca

Pozo No.	Fecha de la Prueba	E.C. (m <sup>3</sup> /h/m)	T		Q (m <sup>3</sup> /day)	s (m)	t (h)	W(u)	u	S	r (m)	observa.
			(m <sup>3</sup> /day)	(m <sup>3</sup> /h)								
NO-1	19/9/73	38.50	1127.28	46.97	5000	0.1	48	0.283	0.88	0.10	282	
											230	
NO-2	19/9/74	19.89	582.37	24.26	5000	0.1	48	0.146	1.18	0.10	234	
											191	
NO-3	7/10/73	30.84	902.99	37.62	5000	0.1	48	0.227	1.0	0.10	269	
											219	
NO-4	17/4/75	64.80	1897.34	79.06	5000	0.1	48	0.477	0.62	0.10	307	
											250	
NO-5	19/9/73	39.85	1166.81	48.62	5000	0.1	48	0.293	0.85	0.10	282	
											230	
NO-6	28/3/74	33.52	981.46	40.89	5000	0.1	48	0.246	0.95	0.10	273	
											223	
NO-7	18/3/74	13.41	392.64	16.36	5000	0.1	48	0.099	1.49	0.10	153	
											125	
NO-8	1/7/76	28.53	835.36	34.81	5000	0.1	48	0.21	1.03	0.10	262	
											214	

$$s = \frac{QW(u)}{4\pi T}$$

$$u = \frac{r^2 S}{4tT}$$

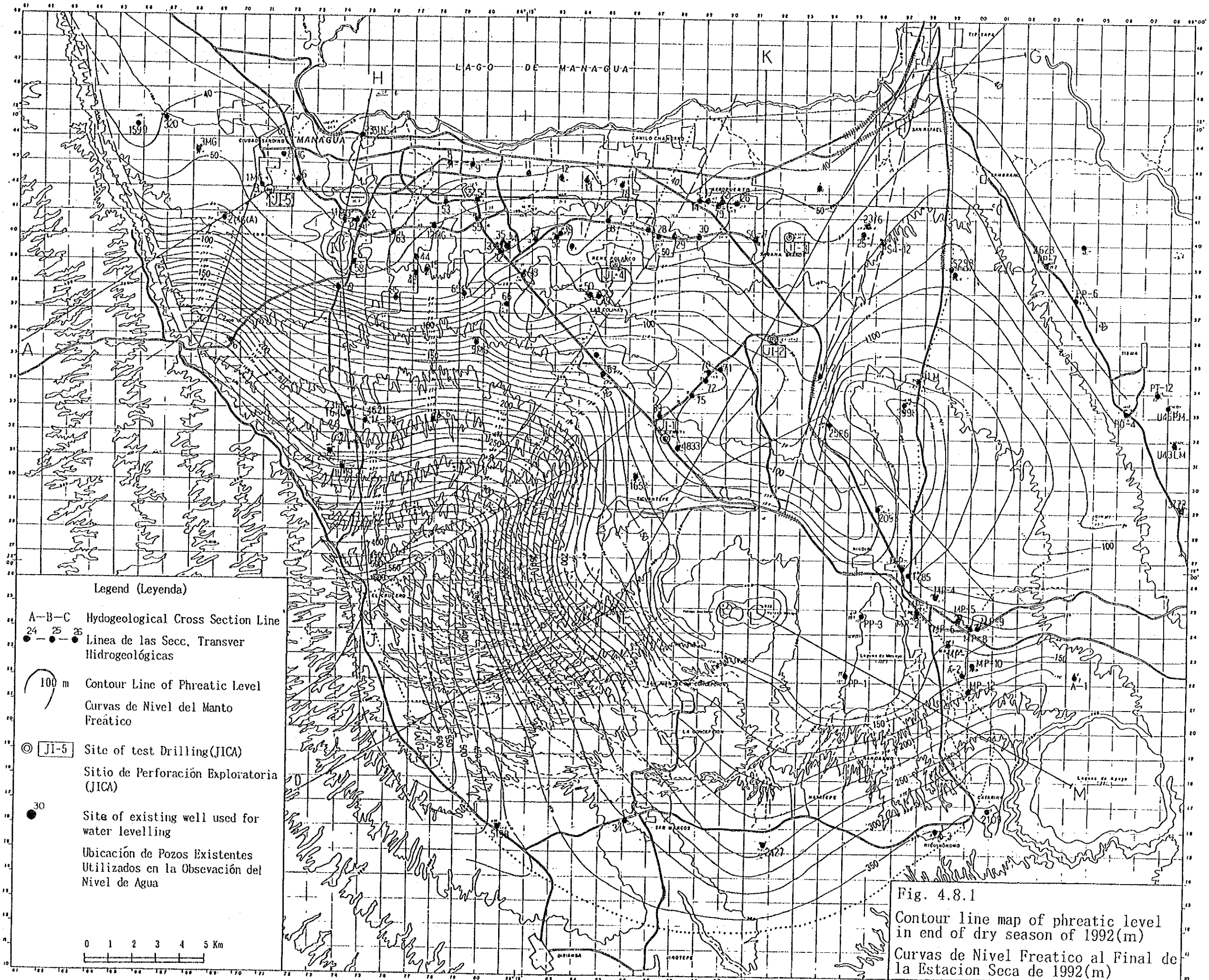
- s : Descenso abatimiento
- Q : Caudal de bombeo
- W(u) : Funcion del pozo
- S : Coeficiente de almacenamiento
- r : Radio de influencia
- t : Tiempo de bombeo
- T : Transmisibilidad





Cuadro 4.8.7 Concentraciones de Tritio

Muestra #	Lugar de Muestreo	Fecha de Muestreo	Acuifero Principal	Unidades de Tritio
JI-T-1	Laguna de Masaya	1992 Junio	TQps (M) y TQp1	2.46 ( $\pm 0.25$ )
JI-T-2	Laduna de Asososca	1992 Junio	TQps (M)	1.78 ( $\pm 0.24$ )
JI-T-3	IRENA (Spring)	1992 Marzo	QvM y TQps(M)	1.51 ( $\pm 0.20$ )
JI-T-4	Ticuantepe (Well)	1992 Junio	TQps (M) y QvM	1.13 ( $\pm 0.21$ )
JI-T-5	Veracruz (INAA's No. 70 well)	1992 Marzo	TQps (M) y QvM	1.17 ( $\pm 0.21$ )
JI-T-6	Rio Mocuana (Spring)	1992 Marzo	QvM y TQps(M)	1.96 ( $\pm 0.23$ )
JI-T-7	Sabana Grande (INAA's No. 5 well)	1992 Marzo	QvM y TQps(M)	1.29 ( $\pm 0.21$ )



Legend (Leyenda)

- A-B-C Hydrogeological Cross Section Line
- Linea de las Secc. Transver Hidrogeológicas
- 100 m Contour Line of Phreatic Level  
Curvas de Nivel del Manto Freático
- ⊙ 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 Observación del Nivel de Agua

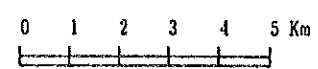
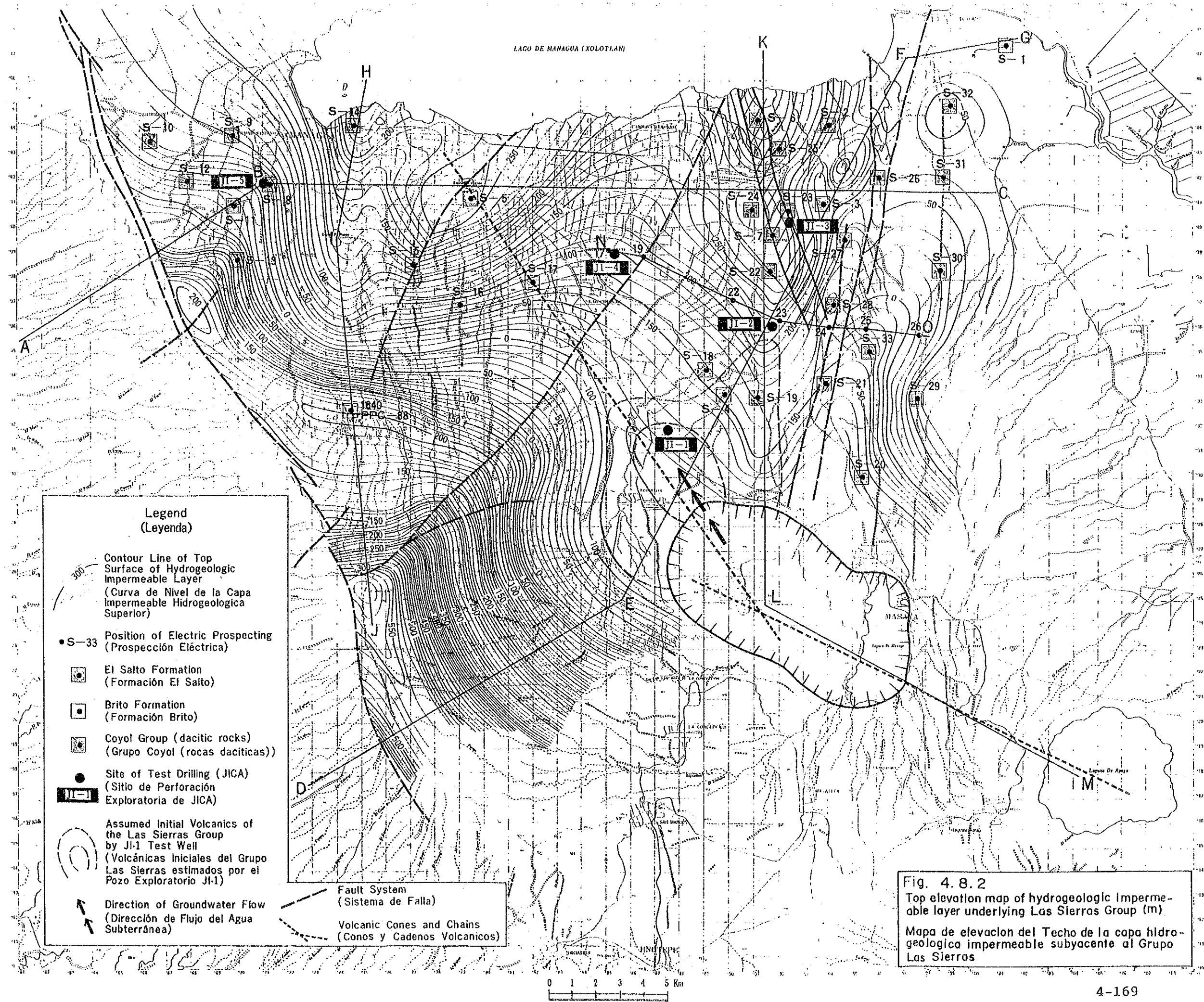


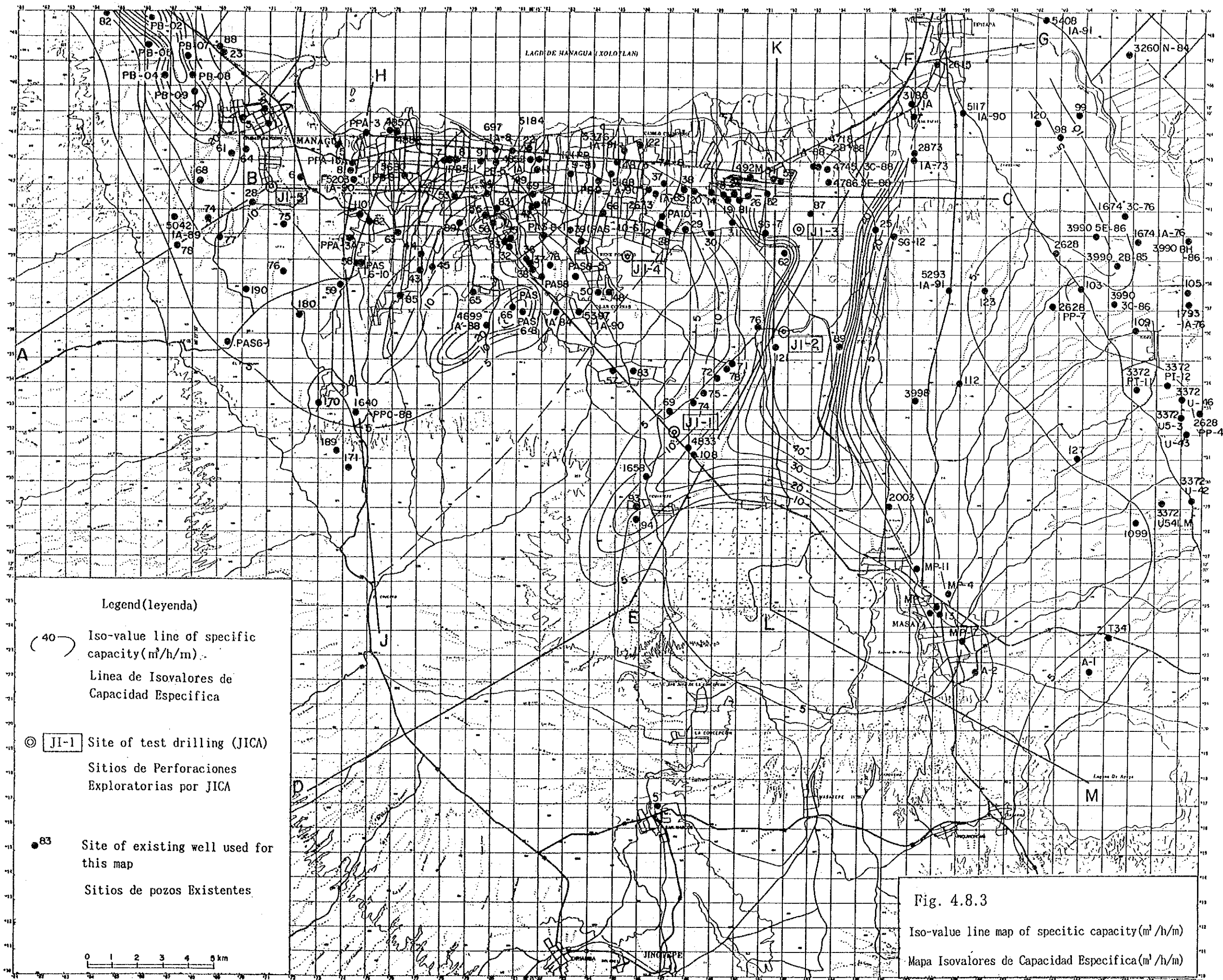
Fig. 4.8.1  
Contour line map of phreatic level in end of dry season of 1992(m)  
Curvas de Nivel Freático al Final de la Estación Seca de 1992 (m)



- Legend (Leyenda)**
- Contour Line of Top Surface of Hydrogeologic Impermeable Layer (Curva de Nivel de la Capa Impermeable Hidrogeologica 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)
  - 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 Volcanicos)

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

0 1 2 3 4 5 Km



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

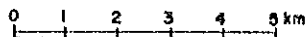
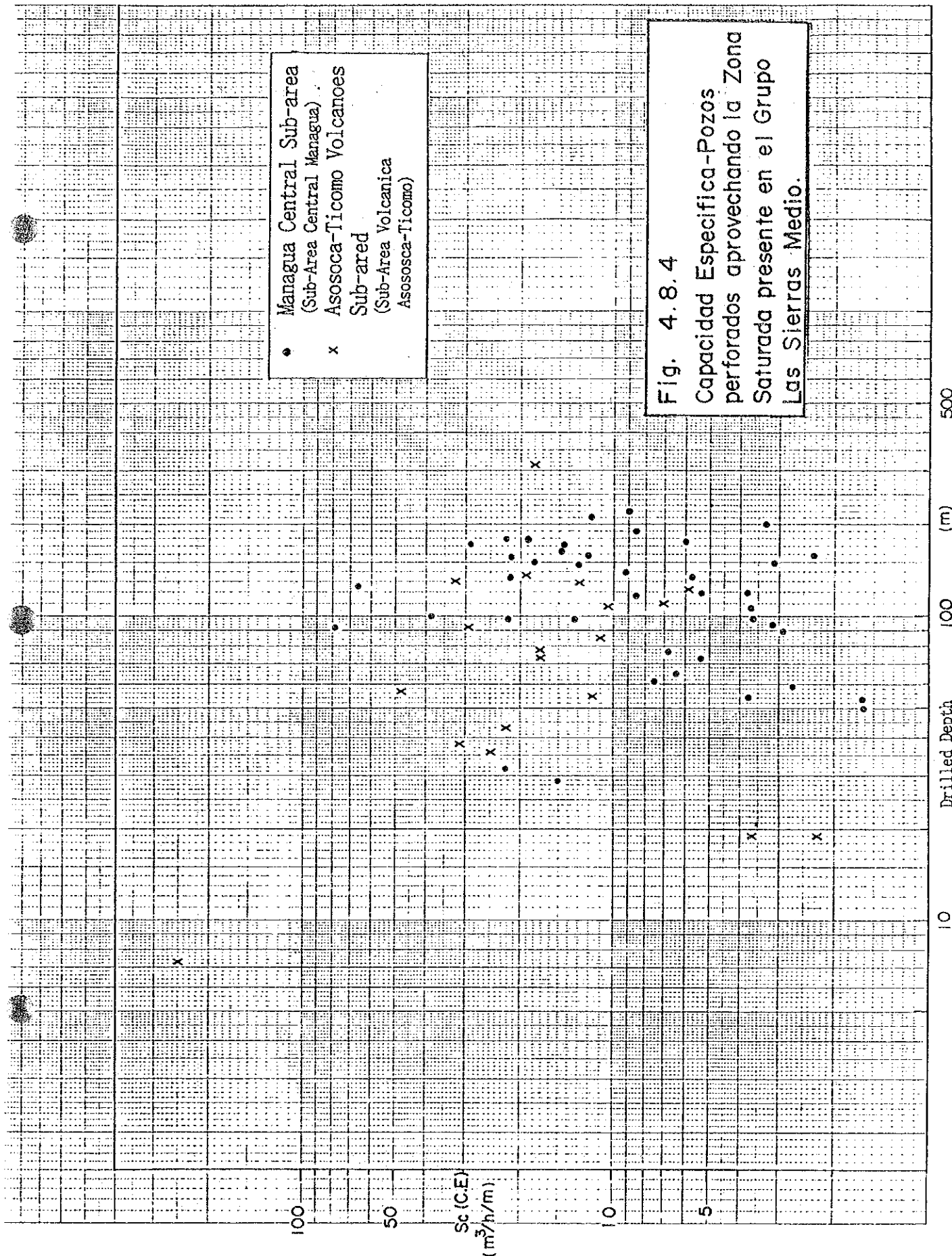


Fig. 4.8.3  
 Iso-value line map of specific capacity ( $m^3/h/m$ )  
 Mapa Isovalores de Capacidad Específica ( $m^3/h/m$ )





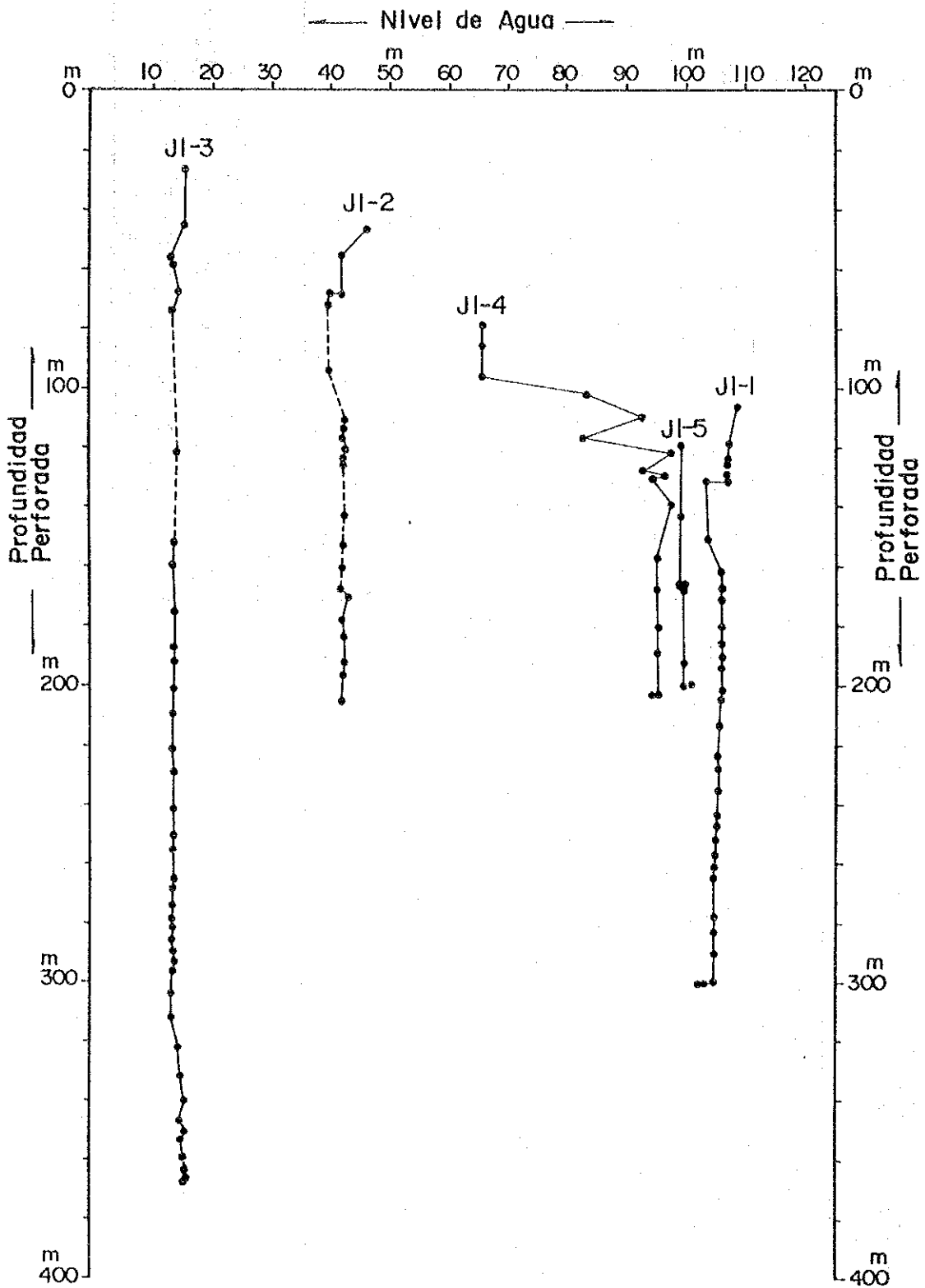
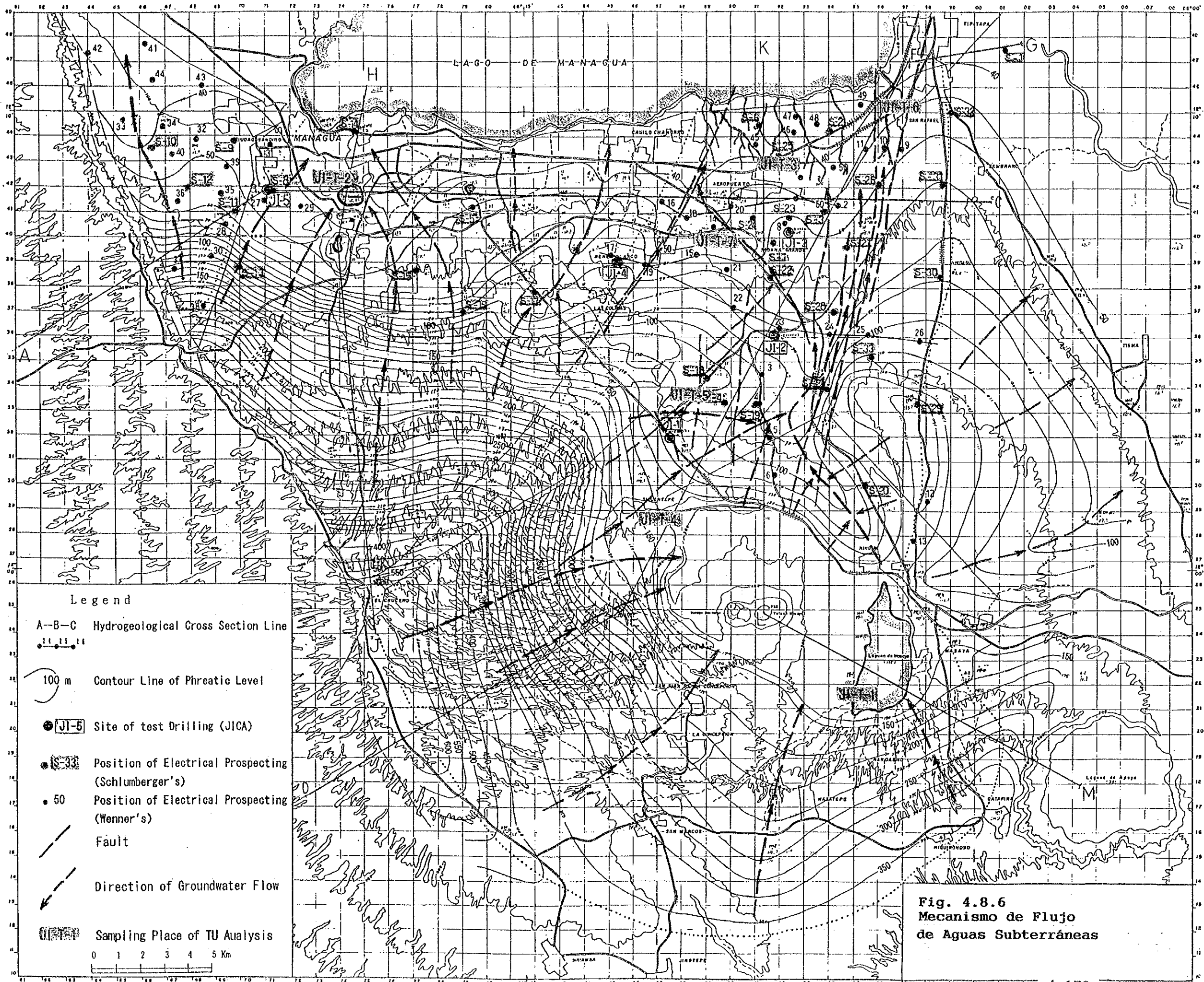


Fig.4.8.5 Fluctuaciones de Niveles de Aguas Subterráneas

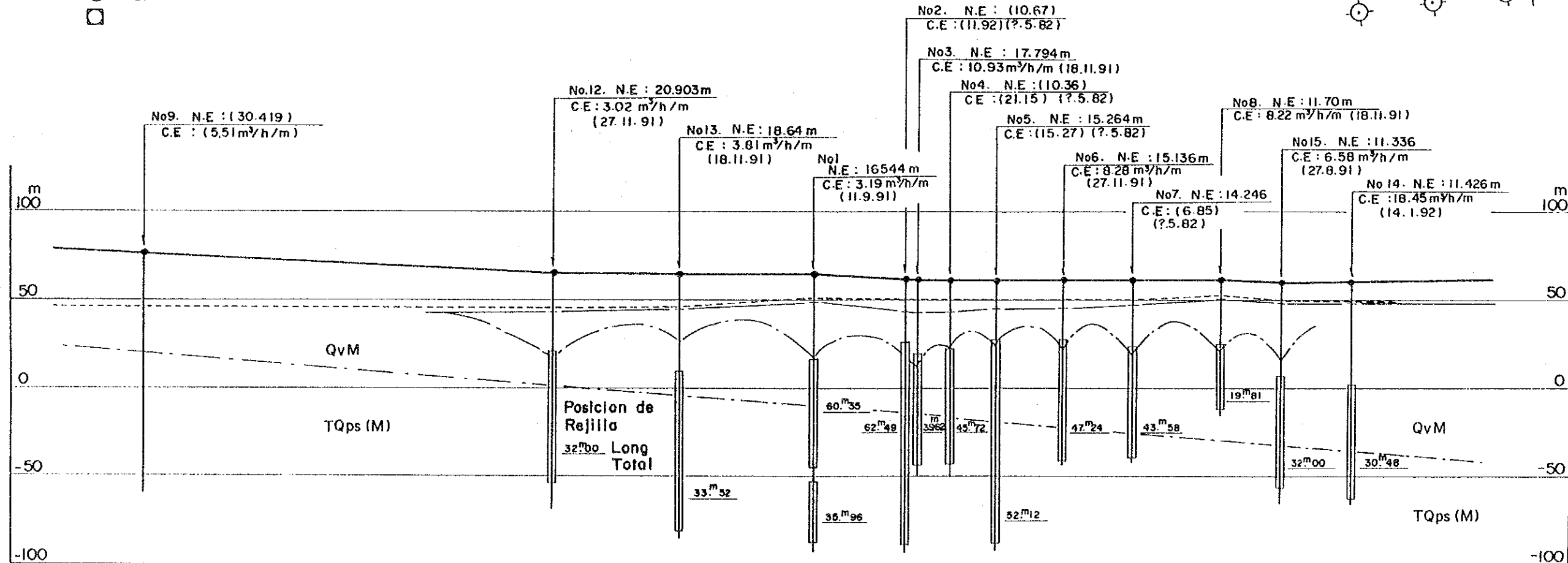
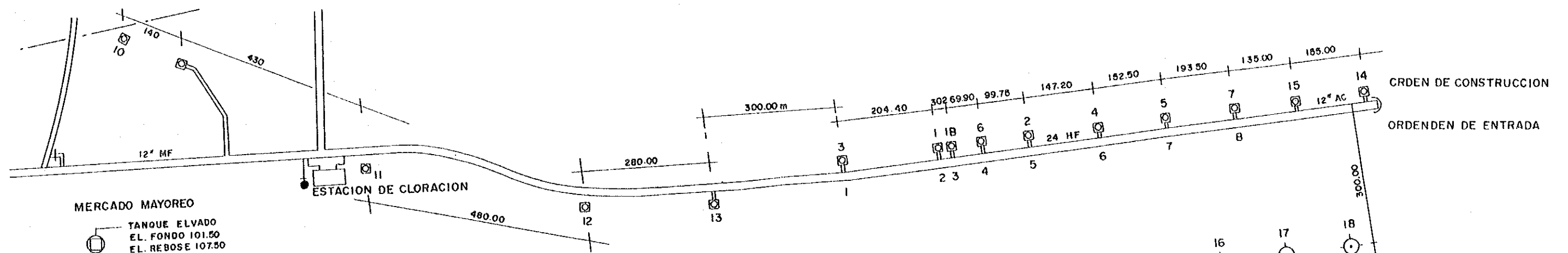






- Legend**
- A-B-C Hydrogeological Cross Section Line
  - 100 m Contour Line of Phreatic Level
  - JI-5 Site of test Drilling (JICA)
  - S-33 Position of Electrical Prospecting (Schlumberger's)
  - 50 Position of Electrical Prospecting (Wenner's)
  - Fault
  - Direction of Groundwater Flow
  - TU Sampling Place of TU Analysis
- 0 1 2 3 4 5 Km

**Fig. 4.8.6**  
**Mecanismo de Flujo**  
**de Aguas Subterráneas**



27. 4. 82 C.E: 5.51 m³/h/m	? .5.82 C.E: 5.81 m³/h/m	? / 5 / 82 C.E: 4.39 m³/h/m	10. 7. 73 C.E: 38.51 m³/h/m	19. 9. 74 C.E: 19.89 m³/h/m	7. 10. 73 C.E: 30.84 m³/h/m	17. 4. 75 C.E: 64.80 m³/h/m	18. 3. 71 C.E: 13.41 m³/h/m	28. 10. 82 C.E: 14.15 m³/h/m	1. 7. 76 C.E: 28.53 m³/h/m	28. 3. 74 C.E: 33.52 m³/h/m	19. 9. 73 C.E: 39.85 m³/h/m
-------------------------------	-----------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	--------------------------------

----- N.E. Original  
 ———— N.E. Actual (03-04-92)  
 - - - - N.E. Actual (14-10-92)

Fig. 4.8.7  
 Campo de pozos Carlos Fonseca.



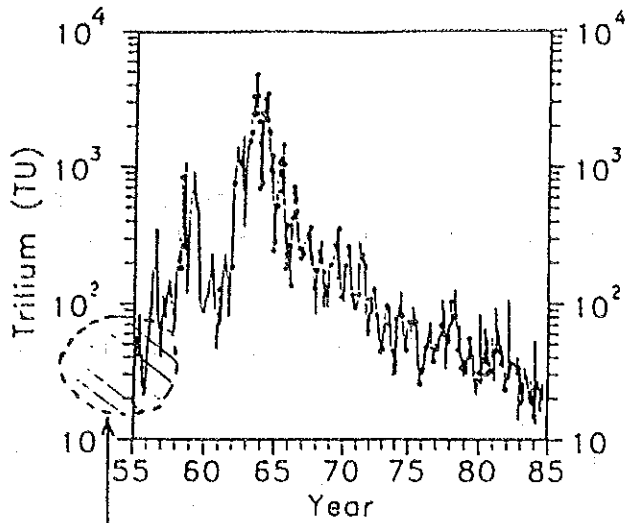


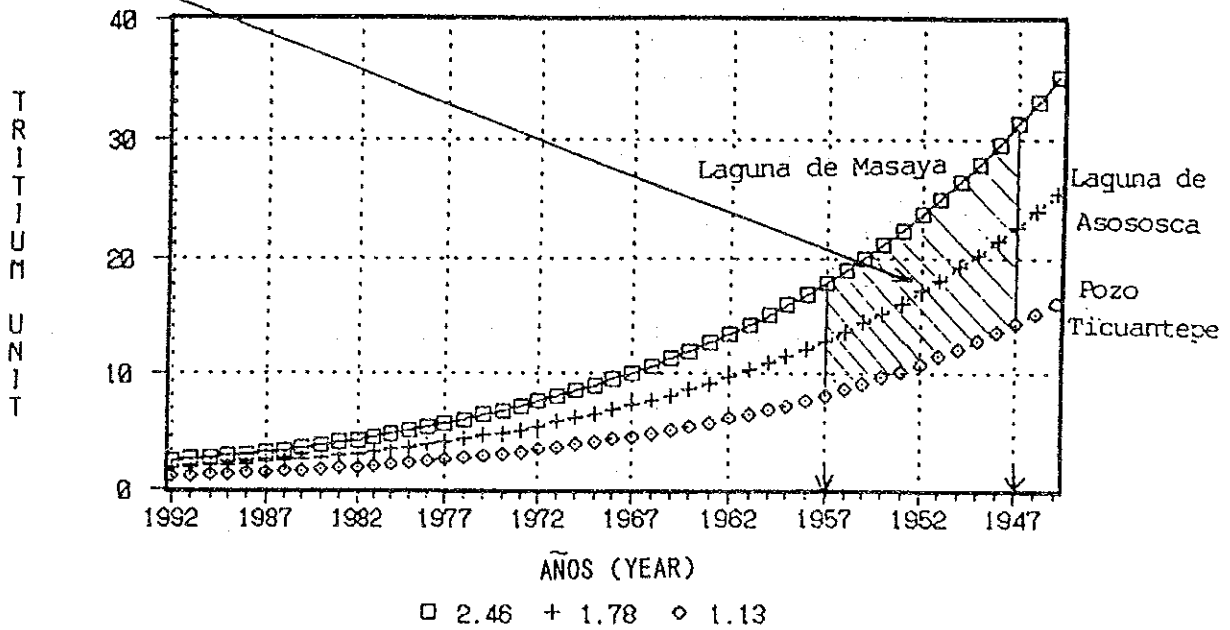
Fig. 4.8.8

Registros sintetizado de Tritio en las Precipitaciones de Madison Wisconsin.

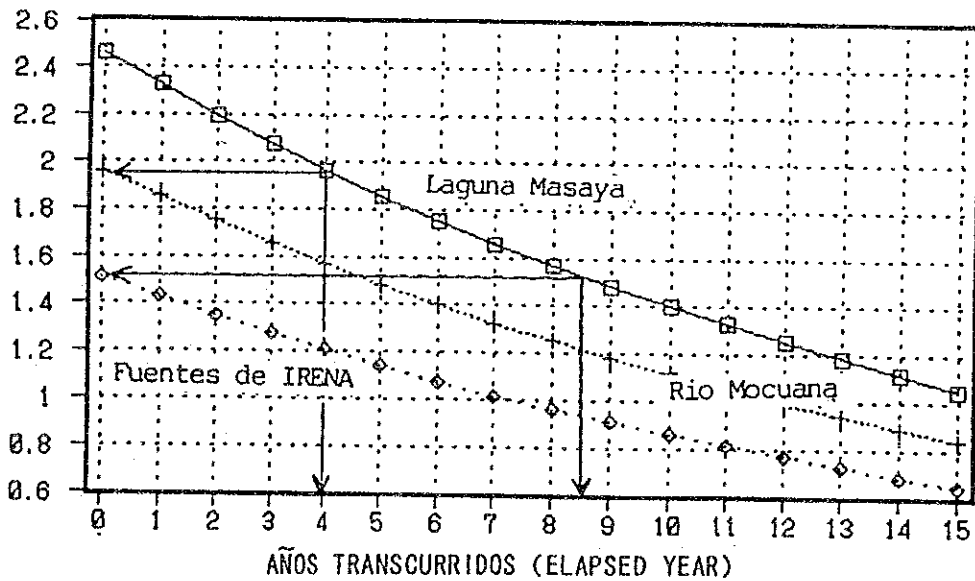
Fig. 4.8.8 Synthesized record of tritium in precipitation at Madison, Wisconsin. Points indicate actual measurements at Madison.

Fig. 4.8.9 Historia de la unidad Tritio.

Fig. 4.8.9 HISTORY OF TRITIUM UNIT



TRITIUM UNIT



□ 2.46 + 1.96 ◊ 1.51

#### 4.9 Base de Datos

La información recogida y observada en meteorología, hidrogeología, y calidad del agua ha sido ordenada en un sistema de base de datos por computadora.

El sistema de base de datos está constituido básicamente por dos softwares "Lotus 1,2,3" y "dBase III".

Un resumen de los datos de entrada se presenta a continuación

(1) Meteorología

- Temperatura Mensual
- Precipitación Mensual
- Evaporación Mensual
- Humedad Relativa Mensual
- Velocidad Mensual.

(2) Inventario de Pozos

(3) Calidad del agua

Parte del inventario de pozos se adjunta en el Data Book.

## CAPITULO 5 EVALUACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS



## CAPITULO 5 EVALUACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

### 5.1 Introduccion

Para evaluar la disponibilidad de agua subterránea, es importante cuantificarla en base a las condiciones hidrogeológicas regionales.

Los términos "Almacenamiento" y "Rendimiento" son generalmente utilizados para determinar el potencial de agua subterráneas. El primero se refiere a la cantidad toda almacenada de agua subterránea en el acuífero, el segundo a la cantidad de agua subterránea que puede ser extraída de este, es decir describen el estado "Estático" y el "Dinámico" del acuífero respectivamente.

En el caso de explotación del agua subterránea, el "Rendimiento" tiene que ser analizado detenidamente ya que dentro del Area de Estudio han habido extracciones considerables de agua subterránea, aquí radica la importancia del determinar el "Rendimiento" optimo para evitar drásticos descensos en los niveles de agua subterránea.

El concepto "Monto admisible de explotación" del agua subterránea, se refiere generalmente al "Rendimiento de seguridad de la cuenca subterránea". Los siguientes y terminos son tambien utilizados:

\* Rendimiento Sostenido

Es la cantidad de agua que puede ser extraída de una explotación continua de la cuenca subterránea.

\* Rendimiento no sostenido

Este término está basado en considerar al agua subterránea como un recurso no renovable así como el petróleo y el gas. Tal es el caso de un acuífero confinado totalmente aislado el cual no puede ser explotado continuamente.

\* Nivel de Agua Crítico

Este concepto está íntimamente relacionado con el de



Rendimiento de seguridad, pero solo centra su atención en el descenso causado por el bombeo. El nivel de agua crítico es el causado por la extracción óptima determinada por el Rendimiento de seguridad del acuífero.

La forma, el método de como determinar el Rendimiento de seguridad, es aún objeto de discusión. Los factores que a continuación se numeran están generalmente involucrados en su regulación:

- a) El Rendimiento de seguridad no debe sobrepasar la recarga (Factor Recarga)
- b) El costo de bombeo (extracción) debe ser menor que el costo de otras alternativas de abastecimiento de agua. (Factor Económico).
- c) El descenso (Abatimiento) producido por el bombeo no debe provocar que la calidad del agua se deteriore. (Factor Calidad)
- d) La explotación del agua subterránea debe reguirse por las reglamentaciones legales existentes.  
El cuadro a continuación resume los factores involucrados en el rendimiento seguro mencionados anteriormente.

Rendimiento de Seguridad	Rendimiento Sostenido	<----->	Rendimiento No sostenido
Características del Acuífero	No confinado	<----->	Confinado
Circulación	Rápida	<----->	Lenta
Renovación	Renovable	<----->	No renovable
Criteros	Balance Hidrogeológico (Leyes reguladoras del uso del agua subterránea, calidad del agua)	<----->	Riesgo Económico

Aún tomando en cuenta todos los factores mencionados, el "Rendimiento de seguridad" puede no significar la protección de la condición natural del medio ambiente, entonces es necesario tomar en cuenta el standard permisible de contaminación (Factor de Impacto Ambiental). Por tanto es recomendable utilizar el término "Rendimiento Permisible". Dicho término se define como una categoría socio-económica aceptada por los habitantes tomando en consideración los riesgos y beneficios obtenidos por el bombeo.

Expuesto lo anterior, los siguientes Factores deben tomarse en cuenta durante la discusión sobre el Manejo del Agua Subterránea en la ciudad de Managua:

- a) La estructura hidrogeológica, el potencial de recarga, el Balance hídrico en la cuenca hidrogeológica son macro factores que deben ser considerados.
- b) La intrusión de agua proveniente del lago de Managua hacia la laguna de Asososca y pozos de abastecimiento es un factor crítico a tomar en consideración.
- c) La intrusión de desperdicios industriales hacia la laguna de Asososca.

## 5.2 Balance Hidrico

### 5.2.1 Precipitación Superficial y Coeficiente de Recarga

Cuantificar la "Recarga" es esencial para poder evaluar el potencial de agua subterránea en un área determinada, para tal fin es necesario tomar en cuenta varios factores tales como, el uso de la tierra y tipo de vegetación, geología, pendiente del terreno, la intensidad de precipitación, evapotranspiración etc. Sin embargo, existe falta de datos de campo necesarios para rectificar el movimiento de agua subterránea, tales como la precipitación y la escorrentía superficial.

Con el objeto de estimar la recarga superficial en el Area de Estudio se dividió en celdas de 1 km x 1 km, a cada una de ellas se le asigno un valor de precipitación anual y un coeficiente de recarga. Las celdas fueron utilizadas en el modelo de simulación, el cual sera más detalladamente explicado en la próxima sección.

La precipitación puntual fue directamente utilizada para estimar la distribución areal de esta. La Fig. 5.2.1 muestra las areas asignadas a cada estación meteorológica, analizadas en la Sección 3.2. Debido que en el área comprendida entre las estaciones Aropuerto y Masaya no había una estación adecuada, se le asignó el promedio anual registrado.

El coeficiente de recarga de la precipitación anual fue tratado en el informe "Field and Modeling studies of Groundwater Pollution of Laguna Asososca, Managua, Nicaragua", hecho por David Norman Bethune en el año de 1991. Es informe comparó varios métodos con el objeto de estimar la recarga constante de agua subterránea, obtuvo que entre 22-30% de la precipitación promedio anual se infiltraba en dependencia de la elevación topográfica.

El informe titulado "Cuarta Etapa del Plan Maestro de Agua Potable para Managua", realizado por Hidrotecnia en 1988, efectuó un balance hídrico en el área Sabana Grande-Cofradia-Veracruz, y como resultado se obtuvieron tres rangos de coeficientes de recarga en dependencia de la condiciones de precipitación, un 215 a 20% para los años lluviosos, un 10 a 15% para años normales y un 5 a 10% para los años secos.

En relación a la clasificación geológica de los afloramientos los porcentajes de infiltración estimados, en el estudio realizado por Hidrotecnia, fueron los siguientes:

Geología	Porcentaje de Infiltración (%)
Qal	20
Qvh	50
QvM	35
Tps	15
TQps	15

Tomando en consideración los resultados obtenidos en dichos estudios, el Area de Estudio fué dividida en los siguientes 6 bloques y asignados los coeficientes de recarga (Porcentajes), y basándose en el mapa hidrogeológico (Fig. 4.1.7) y la calibración, analizada en la proxima sección, como sigue:

Tipo	Coefficiente (Porcentaje) de Recarga (%)
Agua	0
Area Urbana	10
Qal	20
Qvh	40
Qvp, Qva, QvM	
(Superficie llana)	25
(Superficie inclinada)	20
TQps (S,M), TQpl	
(Superficie llana)	15
(Superficie inclinada)	10

La Fig. 5.2.2 muestra la distribución del coeficiente (Porcentaje) de recarga.

El coeficiente en la areas montañosas fué reducido a 5% debido a que la pendientes pronunciadas producen una gran escorrentia superficial que lleva las aguas precipitados, das a las partes más planas, en las cuales una parte será infiltrada (recarga) y la otra para la evaporación.

La recarga en lagunas Masaya y Asososca y la zona de manantiales en Sabana Grande, es depreciable ya que la evaporación en las lagunas y la evapotranspiración de los pantanos y de las áreas saturadas es mayor que la cantidad de precipitación anual.

El metodo utilizado para la estimación de la recarga es somero en este etapa, tiene que ser considerado con los nuevos datos monitorados en el futuro.

#### 5.2.2 Balance Hídrico

Una estimación somera del balance hídrico en el Area de estudio puede ser calculada en base al coeficiente de recarga mencionado anteriormente, con la precipitación anual y las extracciones (descarga) analizada en el Capítulo 3.2-4.

La sub-area occidental (I) que Ciudad Sandino y sus alrededores, el sub-area Managua Central (II) cubre la parte central de la ciudad de Managua y el sub-area oriental (III) se extiende desde Sabana Grande-Cofradia hasta el limite sur del Area de Estudio.

Los cálculos se efectuaron con los datos de precipitación anual y el coeficiente de recarga en cada celda. La precipitación anual es el valor con un 50% de probabilidad, que corresponde al promedia de precipitación anual.

Los resultados de los cálculos se presentan a continuación:

Balance Hídrico Anual

Cuenca Hidrogeológica	I	II	III
Area (Km <sup>2</sup> )	54	237	499
Precipitación Anual (mm)	1151	1211	1289
Coefficiente (%)	18,0	18,1	21,0
Recarga anual subterránea (millones de M <sup>3</sup> )	11,19	51,95	135,07
Potencial anual de Agua Subterránea (millones de M <sup>3</sup> )	8,9	41,6	108,0
Descarga en 1991 (Extracciones)	3,1	69,5	39,2
Balance	5,8	-27,9	68,8

Para la precipitación anual (mm) y el coeficiente de recarga (%) se utilizó el promedio aritmetico calculado en cada cuenca.

En concordancia con el analisis estadístico de la Sección 3.2, la probabilidad de una precipitación no exedente en un quinquenio era de alrededor de un 80% de la precipitación promedio, por lo tanto, el valor potencial estimado el calculado de acuerdo a este porcentáje.

Estos resultados arrojan los siguientes valoraciones:

- (a) El sobre'bombeo en la cuenca II es claramente notorio, con las extracciones (descarga) realizadas en 1991.

Se necesita una reducción de alrededor de unos 27 millones de M<sup>3</sup> para estabilizar el ciclo hidrológico.

- (b) En la cuenca I se encontró una disponibilidad potencial de agua de alrededor de 6 millones de M<sup>3</sup>.

- (c) En la cuenca III se estimó una disponibilidad potencial de agua de casi 70 millones de M<sup>3</sup>.

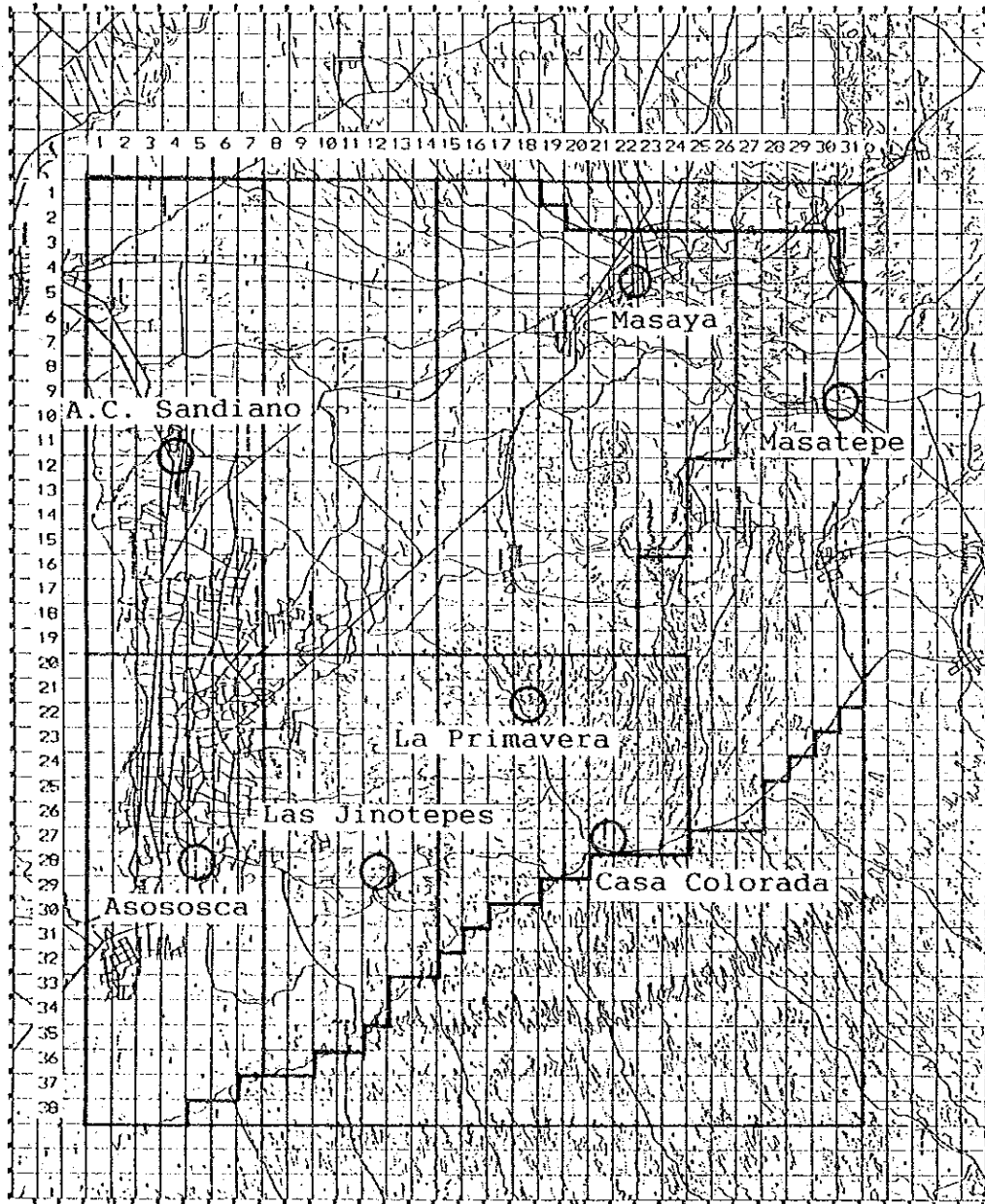
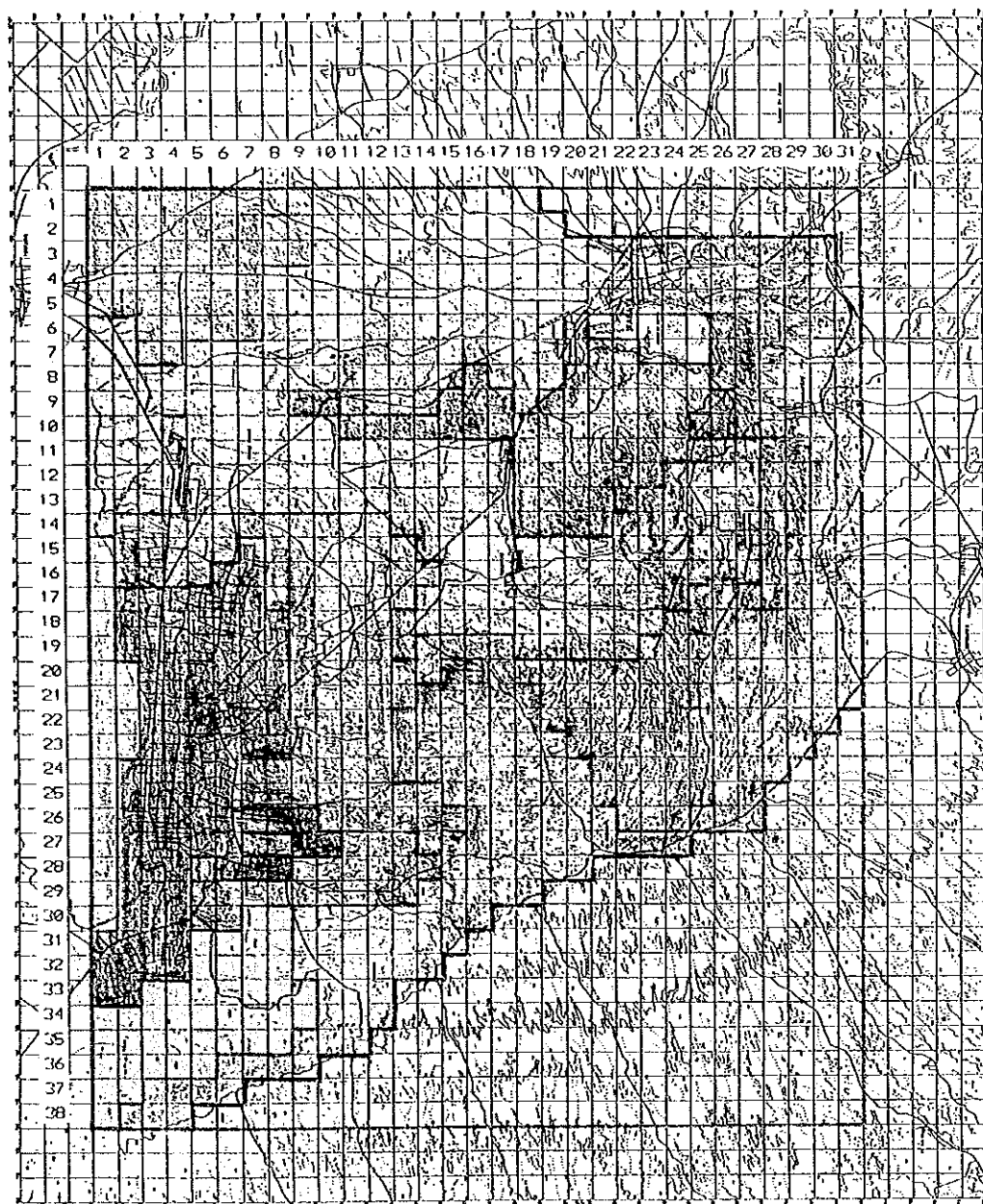


Fig. 5.2.1 Bloque de Precipitación



- |   |              |   |                  |
|---|--------------|---|------------------|
|  | Area hídrica |  | QvH              |
|  | Area Urbana  |  | QvP, QvA, QvM    |
|  | Qal          |  | TQps(S, M), TQpl |

Fig. 5.2.2 Bloque de Recarga





### 5.3 Modelo de Aguas Subterráneas

Se realizó un modelo de flujo de aguas subterráneas basado en los análisis hidrogeológicos para un reducido número de sistemas acuíferos del área estudiada. Este modelo se realiza para predecir futuros movimientos de aguas subterráneas y específicamente para:

- (a) Describir las condiciones hidrogeológicas que son consecuencia de esa disminución tan acusada del nivel de aguas subterráneas.
- (b) Estimar el movimiento de aguas subterráneas resultante de proyectos alternativos de utilización o regulación de futuros acuíferos.

#### 5.3.1 Generalidades

Debido a que las aguas subterráneas son un recurso esencialmente invisible, los estudios sobre el movimiento de las aguas subterráneas bajo condiciones naturales y artificiales requieren técnicas de modelaje. Muchos tipos de modelos se han desarrollado y usado para este propósito. Estos modelos se pueden subdividir en cuatro categorías fundamentales, modelos de soporte poroso, modelos análogos diversos, modelos análogos eléctricos, y modelos computarizados digitales para solución numérica de ecuaciones de flujo de acuíferos.

En estos últimos años, los modelos computarizados digitales han ganado aceptación al permitir la administración más eficiente del recurso aguas subterráneas. Estas herramientas tienen capacidad para ayudar en la toma de decisiones en relación con los usos tanto potenciales como actuales de los sistemas de aguas subterráneas.

Los modelos de flujo consisten en un sistema de ecuaciones diferenciales que representan el flujo de aguas subterráneas.

La exactitud en la predicción mediante un modelo de aguas subterráneas depende de cuánto se aproxime el modelo a la situación real. Como los sistemas acuíferos son en sí mismos complejos e impredecibles, la construcción de modelos requiere siempre de simplificaciones y suposiciones. Es muy importante

tomar conciencia acerca de esto incluso si se han tomado técnicas numéricas sofisticadas y estas se han desarrollado en computadoras de gran velocidad.

### 5.3.2 Modelo de Flujo de Agua Subterránea

#### (1) Concepto del Modelo

El modelo digital utilizado para el estudio es un modelo cuasi tridimensional (Q3P). Su concepto básico consiste en que el agua del acuífero confinado principal se nutre de una corriente lateral que cruza el acuífero, y por una corriente vertical a través del "acuitard" de una capa freática superior.

El flujo de agua en una cuenca de agua subterránea es naturalmente tridimensional. Pero, si el descenso del nivel de agua de las cargas hidrostáticas piezométricas por la descarga de agua subterránea es pequeño, la corriente de aguas subterráneas puede tratarse como lateral de dos dimensiones. Esto se debe a que la corriente vertical se fuga a través de capas de confinación y la compresión desde las capas arcillosas es insignificante.

Por otra parte, el descenso elevado del nivel de agua de las cargas hidrostáticas piezométricas hace el patrón de flujo de aguas subterráneas más complicado y tridimensional. El modelo tridimensional es el más apropiado para simular el flujo de aguas subterráneas. Es sin embargo difícil simular el flujo tridimensional de aguas subterráneas debido a la estructura compleja de una cuenca de agua subterránea, la no adecuación de los datos de salida, la limitación de las técnicas de solución numérica y la capacidad de memoria de las computadoras. Sin embargo, el modelo cuasi tridimensional ha sido desarrollado y ampliamente usado para fines prácticos.

#### (2) Ecuación del Flujo de Aguas Subterráneas

Omitiendo el componente vertical en el acuífero principal y el componente horizontal en la capa de confinación, resulta la ecuación básica del movimiento del sistema, que se expresa a continuación:

$$T \left( \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} + W(x, y, t)$$

(5.1)

En donde:

T: Transmisividad,  $L^2 / T$ .

S: Coeficiente de almacenamiento, adimensional.

h: Carga hidráulica, L.

t: Tiempo, T.

x,y: Coordenadas espaciales, L.

W(x,y,t): Volumen de flujo por unidad de área, L/T.

W(X,Y,t) puede expresarse como:

$$W(x,y,t) = Qd(x,y,t) + k' / b' (h-H) \quad (5.2)$$

Donde:

Qd (x,y,t): Coeficiente de carga o descarga, L/T.

k': Permeabilidad de la capa confinada (aquítard), L.

b: Espesor de la capa de confinación (aquítar), L.

H: Nivel de agua freática, L.

El segundo término de la derecha de la ecuación (5.2) es la fuga a través de la capa de confinación desde el acuífero freático definido por Hantush y Jacob (1955).

Las ecuaciones (5.1) y (5.2) se pueden resolver mediante el método de diferencias finitas o de elemento finito. Una sección esquemática de referencia cruzada del modelo de aguas subterráneas cuasi tridimensional aparece en la Fig. 5.3.1.

Este estudio emplea la aproximación de elemento finito usando elementos rectangulares para simular el modelo de cuenca de aguas subterráneas. La Fig. 5.3.2 muestra el proceso convencional de un modelo Q3P.

(3) Datos de Entrada Requeridos y Datos de Salida

Los datos de entrada requeridos para un modelo de Q3P son los siguientes.

\* Marco para el modelo

Datos del elemento  
Datos de nodo  
Condiciones límites  
Parámetros de control de Modelo

\* Marco hidrogeológicos

Transmisividad  
Coeficiente de Almacenamiento  
Grosor de la capa de confinación (aquitard)  
Permeabilidad de la capa de confinación  
Nivel del agua freática  
Cargas hidrostáticas piezométricas iniciales  
Datos de recarga directa

\* Utilización de aguas subterráneas

Datos sobre extracción

Las datos de salida del modelo son:

- La distribución de las cargas piezométricas en cada momento
- El cambio de las cargas hidrostáticas piezométricas para nodos específicos
- El balance de los componentes del agua en un área determinada.

#### (4) Supuestos del Modelo

El modelo supone que los parámetros hidrogeológicos como la transmisividad, el coeficiente de almacenamiento y la dispersión no se ven afectados por cambios de las cargas piezométricas. El modelo debe suponer también que los parámetros y las condiciones límites no cambian en todo el tiempo. La dispersión en la capa de confinación (aquítard) se omite en este modelo porque se aplica una recarga directa.

Para realizar el análisis con el modelo de simulación se debe considerar la recarga, la descarga de bombeo y los parámetros del acuífero de acuerdo condiciones de campo reales.

#### 5.3.3 Condición de Frontera y Parámetros Modelo

El marco general de trabajo se preparó en base a la información hidrogeológica (Sección 4.8).

A continuación se presentan los principales conceptos del modelo (Fig. 5.3.3 & 5.3.4).

- (a) Se utilizó como elemento unidad un mapa de red topográfica (de escala 1:50.000) de 1 Km por 1 Km.
- (b) El modelo comprende toda el Area de Estudio, sin embargo la Ciudad Sandino se omitió debido a la limitada capacidad de memoria de la computadora (ver la Figura 5.3.3).
- (c) En el modelo se utiliza un acuífero no confinado con recarga directa. La profundidad de acuitardo y su infiltración no es significativa en el Supuesto del Modelu como se menciona.
- (d) Como se muestra en la Fig. 5.3.4, las condiciones de la cuenca de captación están compuestas por un divisoría de flujo y una carga hidrostática constante. La cuenca de captación en las montañas del oeste y del sur se considera como un límite de flujo bifurcado. En el caso de la cuenca de captación del oeste, su límite es muy claro por las condiciones existentes. Sin embargo, los límites de la cuenca del sur de Carazo son muy complicados y existe alguna posibilidad

de que el agua subterránea fluya hacia el este.

- (e) Como se mencionó en la sección del nivel del agua subterránea, el nivel del agua del lago de Managua se ve afectado por la pluviosidad, evaporación y recargas de aguas subterráneas. Para resumir, la carga de agua a este lago se supone constante. Cuando se realizó la calibración, se incluyó una carga de agua constante en el valor promedio de abril. El promedio de los últimos diez años será utilizado para futuras predicciones.
- (f) La zona de manantiales está también considerada como límite de carga constante de agua.
- (g) El límite este se considera como un límite móvil constituido por una elevación del nivel de agua subterránea que es afectada por el flujo del lago Masaya y la zona de bombeo del campo de irrigación de Tisma. Para poder alcanzar esta condición, se modifican los parámetros (coeficiente de almacenamiento o transmisividad) como valores ficticios por la calibración.
- (h) El año de inicio es 1972 y la verificación se llevará a cabo durante 20 años. En 1972, la carga de agua inicial se consideró el nivel freático de 1992 realizado con la calibración en estado constante.

#### 5.3.4 Parámetros de Acuíferos

##### (1) Coeficiente de Almacenamiento

Básicamente se adoptó un coeficiente de almacenamiento del 10% (las áreas de sabana Grande y alrededores del lago Asososca dieron valores del 20% y 15% respectivamente) debido a que el coeficiente de almacenamiento del acuífero no confinado en el Área de Estudio es geológicamente estimado entre 5% - 20%. El rendimiento específico se muestra en la Figura 5.3.5.

##### (2) Transmisividad

La transmisividad está basada en el mapa de capacidad específica mostrado en la Fig. 4.8.3. La transmisividad se puede

estimar mediante la siguiente fórmula:

$$T = 1,22 \times 24 \times Sc$$

Adicionalmente, los siguientes puntos deberán ser considerados para poder modificar estos parámetros.

- (a) El área de Sabana Grande tiene una alta potencialidad de transmisividad estimada en un mínimo de 1.500 m<sup>2</sup>/día, este valor se puede incrementar por anomalía del sistema que corre desde el Volcán Masaya al río Mocuana.
- (b) Se considera que el área alrededor de la Laguna de Asososca tiene una alta transmisividad. Con respecto al modelo de análisis de esta área, existen los dos estudios siguientes:
  - "Balance Hidrogeológico de la Laguna de Asososca" realizado por la Universidad Autónoma de Nicaragua en 1989. Se realizó un balance del almacenamiento de agua a través de la verificación del nivel de agua en la temporada seca. La transmisividad de esta área fue calculada como 2.400-6.600 m<sup>2</sup>/día.
  - "Estudios de Campo y Modelaje de la Contaminación de las Aguas Subterráneas de la Laguna de Asososca, Managua, Nicaragua", realizado por David Norman Bethune en 1991. Se llevó a cabo el modelado de un flujo de agua subterránea de dos dimensiones bajo un estado constante. La conductividad hidráulica fue de 0,07-4,0 m/día en la zona montañosa y de 10-400 en zonas bajas.
- (c) De acuerdo con el mapa Sc, exactamente en el centro de Managua entre la laguna de Tiscapa y el oeste del aeropuerto no se puede esperar un índice elevado de transmisividad.
- (d) Las áreas de tierras bajas de Sabana Grande tienen una baja transmisividad. Sin embargo, muchos manantiales brotan aquí y producen en la zona numerosos pantanos y regiones húmedas, excepto en el área del río Mocuana. Por lo tanto, se puede dar un valor elevado para lograr la condición existente.



- (e) El límite oriental tratará de adaptarse a la tabla existente de agua mediante un coeficiente de almacenamiento elevado. Sin embargo, un coeficiente alto se dió básicamente para acuíferos no confinados, por lo que la transmisividad será modificada para poder alcanzar las condiciones existentes.

### 5.3.5 Calibración

El objetivo de la calibración consiste en verificar la realidad del "modelo" con "los parámetros" suministrados por el análisis hidrogeológico detallado.

Esta inspección se desarrolla prácticamente tomando en cuenta el nivel de agua estudiado, la descarga de agua por extracción y la recarga estimada. Con respecto a los parámetros hidráulicos, van a ser modificados durante estas pruebas y se seleccionarán los más adecuados.

#### (1) Simulación de Estados Permanentes y No Permanentes

La calibración se realizó inicialmente a partir de las condiciones de estado permanente para identificar las cargas de agua iniciales y los parámetros del modelo.

Las cargas hidráulicas piezométricas fueron observadas en puntos seleccionados como muestra la Fig. 5.3.6. Las condiciones descritas corresponden a 1972 e incluyen la descarga de agua por extracción y las precipitaciones. Los tiempos de cálculo fueron de 20 años.

Por otra parte, la información sobre el manto freático en algunas zonas del Area de Estudio es resultado de la investigación realizada por Hazen y Sawyer en 1971 y se tomó como base el "Proyecto de Investigación de Aguas Subterráneas en la Región del Pacífico", Naciones Unidas, 1972.

Comparando estos mapas y la información sobre el manto freático preparada en este estudio se considera que el manto freático apropiado en 1992 se preparó con el método de tanteo. Este trabajo se desarrolló hasta que el cambio de la carga piezométrica fue insignificante.

La simulación de estado no permanente se llevó a cabo desde 1972 a 1992 para revisar la disminución de las cargas piezométricas debido a un incremento de la extracción de agua en el centro de la ciudad de Managua. Se realizaron 20 cálculos y cada uno de ellos comprendía un período de un año (365 días) desde 1972 a 1992.

## (2) Resultados de la Calibración

Las Fig. 5.3.7 y 5.3.8 son las distribuciones finales de los coeficientes de almacenamiento y transmisividad.

La condición de almacenamiento se determinó con los resultados del tanteo y están entre el 5% y el 20%.

La transmisividad en las áreas de Sabana Grande y la laguna de Asososca fue aumentada aproximadamente  $10.000 \text{ m}^2/\text{día}$  con zonas estimadas de fractura.

Para simular la condición existente en el límite este, se establece un valor,  $15.000$ , ya que el coeficiente de almacenamiento es mayor en toda el área y no es suficiente para cambiar el manto freático a condición actual. Por tanto, la condición oriental se realizó usando parámetros ficticios, y se necesitó utilizar otros trabajos.

Se establecen valores altos de  $12.000 \text{ m}^2/\text{día}$  para el lago Masaya, el área volcánica y la zona S-N desde el área volcánica al río Mocuana.

Las condiciones hidrogeológicas detalladas de esta zona se mencionan en la Sección 3.8. El mismo valor se le otorgó al área cercana al sitio de la perforación exploratoria JICA-1, situada al norte de Ticuantepe, porque se confirmó su alta potencialidad con los resultados de las pruebas de bombeo.

Fueron seleccionados como puntos de observación aquellos nodos que se encontraban más cerca de los limnigrafos para comprobar las variaciones de nivel del agua subterránea.

La Fig. 5.3.9 muestra el Manto freático inicial simulado bajo un estado permanente para 1972, y la variación del nivel del agua subterránea en los puntos de observación durante 20 años. El nivel del agua subterránea en toda el Área de Estudio tuvo una recuperación de unos cuantos metros.