

**Centro de Investigación Científica y de  
Educación Superior de Ensenada**



**MODELO PRELIMINAR DE FLUJO  
TRIDIMENSIONAL DEL ACUIFERO DE LA  
PLANICIE COSTERA DEL VALLE DE  
MANEADERO, B. C., MEXICO.**

**TESIS  
MAESTRIA EN CIENCIAS**

**CITLALLI SARMIENTO LOPEZ**

**ENSENADA B.C. MEXICO JULIO DE 1996**



**CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE EDUCACION  
SUPERIOR DE ENSENADA**

**DIVISION DE CIENCIAS DE LA TIERRA  
DEPARTAMENTO DE GEOFISICA APLICADA**

**MODELO PRELIMINAR DE FLUJO TRIDIMENSIONAL DEL ACUIFERO DE  
LA PLANICIE COSTERA DEL VALLE DE MANEADERO, B.C., MEXICO.**

**TESIS**

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado  
de MAESTRO EN CIENCIAS presenta:

**CITLALLI SARMIENTO LOPEZ**

Ensenada, Baja California, México. Julio de 1996

RESUMEN de la tesis de Citlalli Sarmiento López presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en GEOFISICA APLICADA con opción en GEOHIDROLOGIA. Ensenada, Baja California, México. Julio de 1996.

## **MODELO PRELIMINAR DE FLUJO TRIDIMENSIONAL DEL ACUIFERO DE LA PLANICIE COSTERA DEL VALLE DE MANEADERO, B.C., MEXICO.**

Resumen aprobado por:

Se planteó un modelo de flujo para el acuífero de la Planicie Costera del Valle de Maneadero, utilizando el programa MODFLOW, el cual considera al movimiento del flujo tridimensional. Para la calibración se realizaron varias corridas, en donde se variaron los parámetros del acuífero, tanto físicos (profundidad del basamento) como hidráulicos (transmisividad, permeabilidad y coeficiente de almacenamiento), así como también el caudal de extracción por pozos.

En el modelado se observó que los factores que tiene mayor sensibilidad hacia el MODFLOW, son la profundidad del basamento y el caudal de extracción por pozos. También se observa que la mayor recarga que tiene el acuífero es subterránea, con un promedio de  $16 \text{ Mm}^3/\text{año}$ , ligada a los cauces de los arroyos San Carlos y el Zorrillo.

El modelo propuesto es un principio para el conocimiento del comportamiento del acuífero del Valle de Maneadero, de esta manera se sabe en que líneas hay que seguir trabajando para afinarlo, para al final poder concretar propuestas de explotación, que sean beneficiosas, tanto para los agricultores como para el gobierno.

ABSTRACT of the Thesis of CITLALLI SARMIENTO LOPEZ, presented as partial requirement to obtain the MASTER IN SCIENCES degree in APPLIED GEOPHYSICS. Ensenada, Baja California, México. July, 1996

**PRELIMINARY MODEL OF TRIDIMENSIONAL FLOW OF THE  
AQUIFER OF THE PLANICIE COSTERA DEL VALLE DE  
MANEADERO, B.C., MEXICO.**

Abstract approved by:

A model of flow was constructed for the aquifer of the Planicie Costera del Valle de Maneadero, using the program MODFLOW which considers tridimensional flow. For the calibration was carried out several runs, where the parameters of the aquifer were varied, such as physical (depth of the basement) as hydraulic (transmissivity, permeability and coefficient of storage), as well as the discharge of extraction of wells.

It was observed that the factors that have high sensibility are the depth of the basement and the discharge of extraction of wells. It is also observed that the major recharge that has the aquifer is underground, with an average of 16 Mm<sup>3</sup>/year, close to the channels of the streams San Carlos and El Zorrillo.

The proposed model is a start for the knowledge of the behavior of the aquifer of the Valle de Maneadero, in this manner it is known in what lines one must continue work in order to tune it. The final model could state explicit proposals of exploration, beneficial for the farmers as well as for the government.

## **DEDICATORIA**

A Néctor y Carolina  
con todo mi cariño, porque sin ellos no  
hubiera podido realizar este anhelo.

A mi Papá y Mamá.

A Tonatiuh, Irasema  
y Nayelli.

## AGRADECIMIENTOS

A Jaime Herrera por haber sabido llevarme por los caminos de la ciencia y concluir de una manera coordinada la presente tesis, habiendome conducido con sabiduría y apoyo de todo tipo.

A los Drs. Arturo Martín y Juan Carlos Herguera, al M.C. Fernando Herrera Barrientos, por haber realizado las correcciones que consideraron pertinentes y por los comentarios que dieron al manuscrito de tesis.

A Rita Beltrán, Aime Herrera y Jasmín Herrera por el apoyo que me dieron para la terminación de la tesis.

A Mirna Sánchez, Reni Herrera, Rizi Herrera, Ninive Herrera y Fernanda Herrera, por que sin ellos no hubiera logrado esta realización.

A Luis Delgado Argote, por el apoyo brindado al comienzo de mis estudios en el C.I.C.E.S.E.

A mis compañeros y profesores por el apoyo que me brindaron durante el tiempo de estancia en el C.I.C.E.S.E.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, por el apoyo económico y las facilidades que me dieron durante mi estancia.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por haberme otorgado una beca-crédito para obtener el grado de Maestro en Ciencias.

## CONTENIDO

	Página
I INTRODUCCION	1
II GENERALIDADES	5
II.1 Objetivo	5
II.2 Localización del área de estudio	5
II.3 Geología	5
II.3.1 Rocas prebatolíticas	7
II.3.2 Rocas batolíticas	10
II.3.3 Rocas postbatolíticas	10
II.3.4 Secuencia sedimentaria del acuífero	11
II.4 Climatología	17
II.4.1 Precipitación pluvial	17
II.5 Hidrología superficial	20
II.6 Piezometría	20
III METODOLOGIA	28
III.1 Introducción	28
III.2 Descripción breve del programa(MODFLOW)	31
III.3 Obtención de parámetros para el modelado	35
III.3.1 Espesor del acuífero	35
III.3.2 Transmisividad hidráulica	38
III.3.3 Permeabilidad hidráulica	40
III.3.4 Coeficiente de almacenamiento	43
III.3.5 Discretización del acuífero	44
III.3.6 Caudal de extracción por pozos	46
III.3.7 Recarga subterránea	47
III.3.8 Recarga vertical	48
III.4 Modelo conceptual del acuífero	50
IV RESULTADOS	51
V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
LITERATURA CITADA	62
APENDICES:	
1. Planos de isovalores de elevación del nivel estático	63
2. Descripción detallada del programa (MODFLOW)	78
3. Valores de transmisividad	117
4. Datos de entrada para el MODFLOW	120
5. Datos de salida del MODFLOW	137



## LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	Localización del área de estudio.	6
2	Mapa geológico, tomado de Gastil (1975).	8
3	Columna estratigráfica.	9
4	Ubicación de pozos con cortes litológicos.	12
5	Cortes litológicos (pozos P.E.Z.A. 2, P.E.Z.A. 3, P.E.Z.A. 4).	13
6	Cortes litológicos (pozos 249, 275, 493 y 281).	14
7	Cortes litológicos (pozos San Carlos 4-B, P.E.Z.A. 1, San Carlos 3 y 356).	15
8	Ubicación de estaciones climatológicas.	18
9	Precipitación media mensual de las estaciones climatológicas: El Cipres, Ensenada, Maneadero y Punta Banda.	19
10	Hidrología superficial.	21
11	Precipitación anual de las estaciones climatológicas: El Ciprés, Ensenada, Maneadero y Punta Banda.	23
12	Promedio de piezometría, para la época de lluvia.	24
13	Promedio de piezometría, para la época de estiaje.	25
14	Profundidad promedio al N.E. (Ago74 - Nov 94).	27
15	Estructura principal del programa. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).	32
16	Clasificación de modulos con procedimientos. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).	36
17	Profundidad del basamento.	37
18	Prueba de bombeo, pozo 119. Para el cálculo de la transmisividad.	39
19	Isolíneas de transmisividad ( $m^2/día$ ).	41
20	Profundidad total de pozos con prueba de bombeo.	42
21	Discretización del acuífero.	45
22	Canales de paso para la época de lluvias y de estiaje.	49
23	Modelo conceptual del acuífero.	51
24	Simulación a 6 meses, arreglo de k y b, $s=0.2$ .	52
25	Simulación a 6 meses $s=0.01$ , k y b modificados.	54
26	Simulación a 3 meses con $s=0.01$ , k y b modificados.	55
27	Simulación a 1 mes, $s=0.01$ , $k=0.5$ m/día y $b=-100$ m.	57
28	Simulación a 3 años con $s=0.01$ , k y b modificados.	58
29	Ubicación de propuesta de localización de pozos exploratorios.	61

**LISTA DE FIGURAS  
(APENDICE 1)**

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1.1	Elevación del N.E., febrero 1974.	64
1.2	Elevación del N.E., agosto 1974.	65
1.3	Elevación del N.E., noviembre 1974.	66
1.4	Elevación del N.E., abril 1978.	67
1.5	Elevación del N.E., junio 1978.	68
1.6	Elevación del N.E., febrero 1979.	69
1.7	Elevación del N.E., mayo 1979.	70
1.8	Elevación del N.E., noviembre 1979.	71
1.9	Elevación del N.E., mayo 1980.	72
1.10	Elevación del N.E., agosto 1980.	73
1.11	Elevación del N.E., mayo 1982.	74
1.12	Elevación del N.E., marzo 1984.	75
1.13	Elevación del N.E., junio 1991.	76
1.14	Elevación del N.E., noviembre 1994.	77

**LISTA DE FIGURAS**  
**(APENDICE 2)**

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
2.1	Discretización hipotética de un sistema acuífero. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).	80
2.2	Localización de nodos. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).	82
2.3	Celda considerada en cálculos y celdas adyacentes. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).	84
2.4	Flujo de paso entre celda y celda. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).	85
2.5	Hidrograma de la celda i,j,k. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).	89
2.6	Distribución de códigos para celdas. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).	91
2.7	Diagrama de flujo de la distribución de los niveles durante la simulación. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).	93
2.8	División de tiempo de la simulación en períodos de stress y pasos de tiempo. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).	94
2.9	Especificación de los paquetes. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).	98
2.10	Cálculo de la conductancia a través de prismas. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).	101
2.11	Diagrama del cálculo de $V_{cont}$ , entre dos celdas de una misma unidad geohidrológica. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).	104
2.12	Estructura de los coeficientes diferentes de cero. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).	113
2.13	Descomposición de la matriz [A] en matrices triangulares [L*] y [U*]. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).	115

## LISTA DE TABLAS.

<u>Tabla.</u>		<u>Página.</u>
I	Series de tiempo de precipitación.	17
II	Descripción breve de los módulos.	34
III	Valores de permeabilidad, según Villanueva e Iglesias.	43
IV	Valores de coeficiente de almacenamiento.	43
V	Valores de extracción por bombeo. (Tomado de Mares Olmos, 1996).	46
VI	Cálculo del caudal de paso.	48

# MODELO PRELIMINAR DE FLUJO TRIDIMENSIONAL DEL ACUIFERO DE LA PLANICIE COSTERA DEL VALLE DE MANEADERO, B.C., MEXICO.

## I INTRODUCCION

Para entender el comportamiento del movimiento de las aguas subterráneas es muy importante la realización de modelos de flujo, los cuales quedan definidos por ser una simulación del flujo de agua subterránea, definido por una ecuación que representa los procesos físicos que ocurren en el sistema (Anderson, 1992).

Existen diferentes aplicaciones de un modelado, las cuales, según Anderson (1992), pueden ser:

- Predictivo: se utiliza para predecir el comportamiento futuro del acuífero, necesita calibración.
- Interpretativo: usado como herramienta de trabajo para el estudio de sistemas dinámicos, no requiere calibración.
- Genérico: analiza el flujo de un sistema hidrogeológico hipotético; puede ser usado como ayuda para la regularización de una región en específico, no requiere calibración.

En el proceso de modelado, es necesario seguir ciertas etapas (Lucena, 1991), las cuales son las mismas que para un estudio hidrogeológico.

Definición del problema: es necesario definir que tipo de respuestas se buscan y de que forma se han de obtener. Estas consideraciones determinan el enfoque general del

estudio y permiten definir hasta que punto el modelo puede ser esquematizado o simplificado.

Evaluación de los datos disponibles: es preciso decidir si la información de que se dispone es suficiente y su calidad adecuada para dar las respuestas solicitadas con el margen requerido.

Cuantificación del sistema: para la realización del modelo se debe definir en que tipo de discretización, geométrica y temporal se deben encajar los datos conocidos; que tipo de hipótesis teóricas se pueden utilizar para generalizar los datos disponibles; cuales son los parámetros significativos y cuales son la relaciones físicas entre ellos y finalmente; cual es el funcionamiento del sistema. Todo lo anterior representa el modelo conceptual del acuífero.

Simplificación del acuífero: normalmente un sistema hidrogeológico es muy complejo, entonces lo que se hace es simplificar el sistema, representando de una manera compatible las variaciones del sistema.

Verificación del modelo: aquí, es necesario tener en cuenta que se realizarán corridas del programa para observar si los resultados son similares a los datos reales. Por ejemplor, si se toma como dato inicial la piezometría de 1974 y se hace una predicción a 10 años, los resultados deben ser similares a la piezometría de 1984, de lo contrario el modelista debe estudiar cada parámetro y variarlo según los datos reales hasta que el modelo coincida.

Evaluación del modelo: una vez verificado el modelo, es necesario determinar sus limitaciones evaluando las hipótesis de partida y los datos utilizados. Como consecuencia, deberá definirse el campo de aplicación y el rango de validez del modelo dentro de cada posible simulación.

Existen diferentes tipos de modelos, según la forma en que resuelven la ecuación de flujo y según la forma de describir el sistema. Custodio (1983) hace la siguiente descripción de los diferentes modelos.

- Modelos analíticos: son los que dan la solución exacta de la ecuación diferencial por medio de funciones analíticas o tabulares. Sólo se ha resuelto para casos particulares y relativamente simples.
- Modelos matemáticos: son los que utilizan métodos numéricos para resolver la ecuación diferencial. El método más desarrollado es el de diferencias finitas, que obtiene la solución de la ecuación para una serie de puntos discretos en el espacio y en el tiempo. La ecuación diferencial se aproxima por una serie de ecuaciones algebraicas en que las incógnitas son la alturas piezométricas en los puntos escogidos. Las particularidades del método consisten en el planteamiento de esas ecuaciones y en la forma de solucionarlas. El método de elementos finitos discretiza el espacio en elementos rectangulares o poligonales y obtiene una ecuación algebraica para cada elemento en función de la altura piezométrica en cada uno de ellos y de los contiguos, así como de los parámetros físicos del acuífero. La resolución de ecuaciones lineales algebraicas en función de la altura

piezométrica de cada elemento, da una solución aproximada de la ecuación diferencial en una serie de puntos discretos.

- Modelos analógicos: resuelven la ecuación diferencial de manera indirecta. Para ello, se utiliza un fenómeno físico que esté representado por una ecuación diferencial del mismo tipo que la de los acuíferos. Los más importantes son los que utilizan la analogía eléctrica, ya sea los más simples de papel conductor o los más complejos de capacidades y resistencias. Las restricciones que se tendrán están dictadas por la facilidad o exactitud de reproducir el fenómeno físico por el instrumental de medida y por la magnitud de las variables con las que se opera.

En este estudio, se utilizó un modelo matemático, resuelto mediante el método de las diferencias finitas, en dos y tres dimensiones. Se utilizó para predecir las condiciones futuras del acuífero y para dar una propuesta de explotación y operación del acuífero de la planicie costera del Valle de Maneadero.

A partir de los modelos tendremos una visualización de los niveles actuales de demanda y se podrán proponer diversos escenarios de uso del acuífero, ya sea para uso agrícola o para consumo humano.

El modelo a utilizar se llama MODFLOW, fué creado por Michael G. McDonald y Arlen W. Harbaugh (1988) del Geological Survey de los Estados Unidos de Norteamérica para la investigación de los mantos acuíferos. Este se basa en el modelado por diferencias finitas en dos y tres dimensiones del flujo de aguas subterráneas; para lo anterior, se parte de las condiciones iniciales y de frontera del acuífero. Las primeras se obtienen a partir de los

registros históricos de la piezometría. Para la segunda, se parte de las condiciones geohidrológicas de la zona de estudio y de la existencia de datos referentes a pruebas de bombeo (para la obtención de los parámetros hidráulicos del acuífero).

## **II GENERALIDADES**

### **II.1 Objetivo**

Plantear un modelo tridimensional de flujo de las aguas subterráneas del acuífero costero del Valle de Maneadero, B.C., que explique la dinámica de sus aguas subterráneas ante diversos escenarios de cargas y descargas naturales e inducidas.

### **II.2 Localización del área de estudio**

El Valle de Maneadero se encuentra en la cuenca de Maneadero (según clasificación de la Comisión Nacional del Agua, 1990), en la costa occidental del estado de Baja California (figura 1). Se localiza entre las coordenadas geográficas  $31^{\circ}41'$  y  $31^{\circ}47'$  de latitud norte y  $116^{\circ}31'$  y  $116^{\circ}38'$  de longitud oeste. El área de estudio es la Planicie Costera del Valle de Maneadero, con una superficie de 33 km<sup>2</sup>, y está delimitada al norte por la Planicie Costera de la Bahía de Todos Santos; al sur por la Sierra de Punta Banda; al este por la “Sierra Tres Hermanos” (nombre asignado por la autora, por considerarlo apropiado) y al oeste por el Océano Pacífico (estero de Punta Banda).

### **II.3 Geología**

La geología regional del norte de la Península está definida por un gran evento orogénico ocurrido durante el Mesozoico (Jurásico Tardío-Cretácico), que consistió en el emplazamiento de rocas batolíticas asociadas a un arco volcánico (Gastil *et al.*, 1975). Las

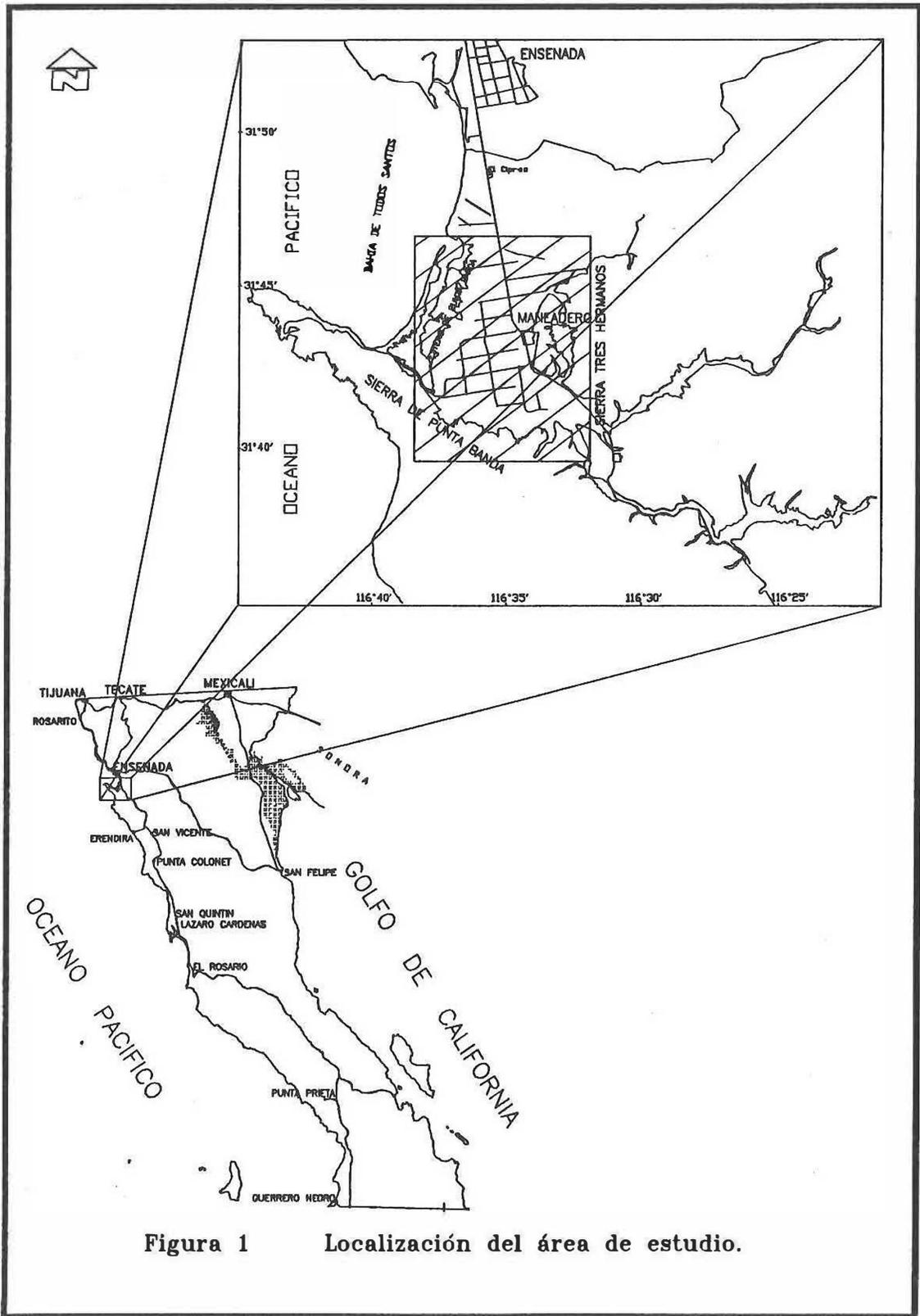


Figura 1 Localización del área de estudio.

rocas que afloran en el área alrededor del Valle de Maneadero se dividen en base a este evento en tres grandes grupos: prebatolíticas, batolíticas y postbatolíticas (véase las figuras 2 y 3).

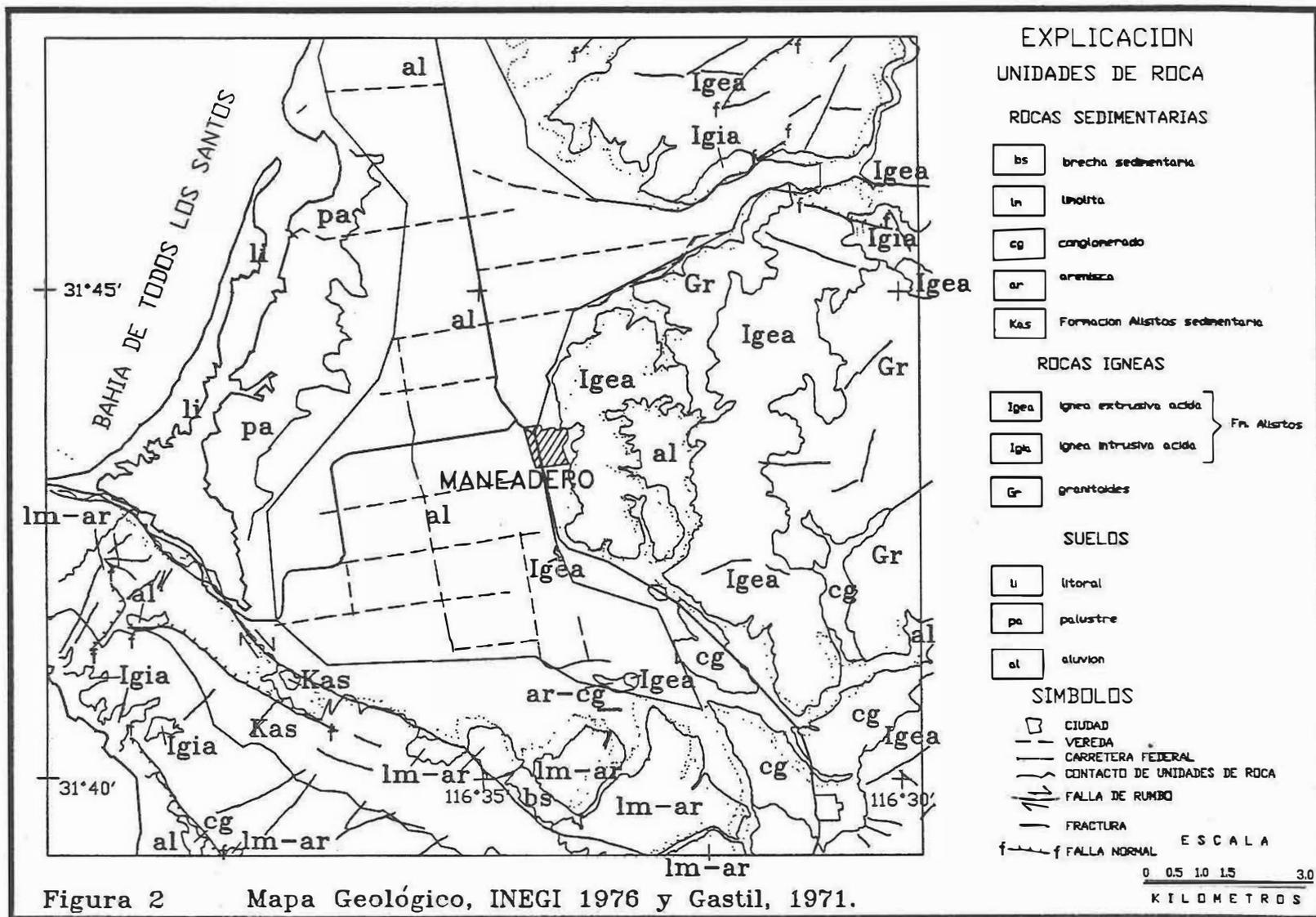
### **III.3.1 Rocas prebatolíticas**

Están representadas por depósitos volcánicos, volcanoclásticos y sedimentarios del Grupo Alisitos. Este grupo contiene depósitos de tobas, brechas andesíticas, calizas y areniscas volcánicas; con un espesor de aproximadamente 7500 m en el área tipo (al sur del cañon de Santo Tomás), donde existen 84 especies de moluscos clase bivalva, que definen una edad de Aptiano-Albiano (Allison, 1974).

Las rocas intrusivas en la localidad tipo son cuarzo-dioritas y dioritas. Los basaltos de olivino ocurren raramente en la parte superior de la Formación Alisitos, donde existe una gran presencia de basaltos amigdaloides (Allison, 1974).

Las calizas biohermales son coquinas construidas por pelecípodos y corales, los que se encontraron en posiciones de vida, intercalados en una matriz de chonchas rotas, representando secuencias estratigráficas tubulares de más de 200 m de espesor (Allison, 1974). Estas calizas dan el mayor volumen de material para la industria cementera de Baja California.

La parte inferior de la Formación Alisitos en la localidad tipo tiene un espesor aproximado de 2600 m. Esta caracterizada por tobas silíceas laminadas. Los afloramientos exhiben un ligero coloreamiento y apariencias bandeadas. Esta parte de la formación no



ERA	SISTEMA	SERIE	PISO	MANEADERO, B.C.
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE		ALUVION
		PLEISTOCENICA		
	TERCIARIO	PLIOCENICA		FLUJOS DE LAVA
		MIOCENICA		
		OLIGOCENICA		
		EOCENICA		
		PALEOCENICA		
MESOZOICO	CRETACICO	SUPERIOR	MAESTRICHTIANO	FORMACION ROSARIO
			CAMPANIANO	ROCAS BATOLITICAS
			SANTONIANO	
			CONIACIANO	
			TURONIANO	
			CENOMANIANO	
	INFERIOR	ALBIANO	FORMACION ALISITOS	
		APTIANO		
		NEOCOMIANO		
	JURASICO	SUPERIOR	TITHONIANO	
			KIMMERIDGIANO	
			OXFORDIANO	
			CALLOVIANO	

FIGURA 3

COLUMNA ESTRATIGRAFICA

incluyen calizas biohermales, pero contiene ostreas y otros bivalvos colectivos (Allison, 1974).

Hacia el Oriente del Valle de Maneadero, el Grupo Alisitos está representado por calizas (Gastil, 1975), aunque no existe una descripción de las mismas.

### **III.3.2 Rocas batolíticas**

La mayoría de estos plutones son de composición granodiorítica, diorítica y gabroica. Estas rocas son bajas en minerales oscuros y feldespatos potásicos (Gastil, 1975). Los afloramientos de este grupo de rocas se localizan en las partes altas de la Sierra Tres Hermanos. También existen dos pequeños afloramientos a las orillas del camino del arroyo San Carlos.

### **III.3.3 Rocas postbatolíticas**

Este grupo comprende rocas marinas del Cretácico Superior (Formación Rosario), rocas volcánicas del Cenozoico Superior asociadas a sedimentos no marinos; por último, terrazas marinas, aluvión cuaternario y abanicos aluviales, ubicados en la zona tipo en el Valle de Agua Blanca (Allen *et al.*, 1960).

La Formación Rosario, contiene rocas con granulometría muy diferente, varían desde conglomerados hasta lutitas, siendo predominante las limolitas. Debido a la gran cantidad de fósiles existentes, la edad de esta formación es Campaniano Tardío o Mastrichiano Temprano (Durham, 1950 y Bandy, 1952). Los afloramientos en la zona de estudio se localizan en las estribaciones de la península de Punta Banda, hacia el sureste del Valle de Maneadero.

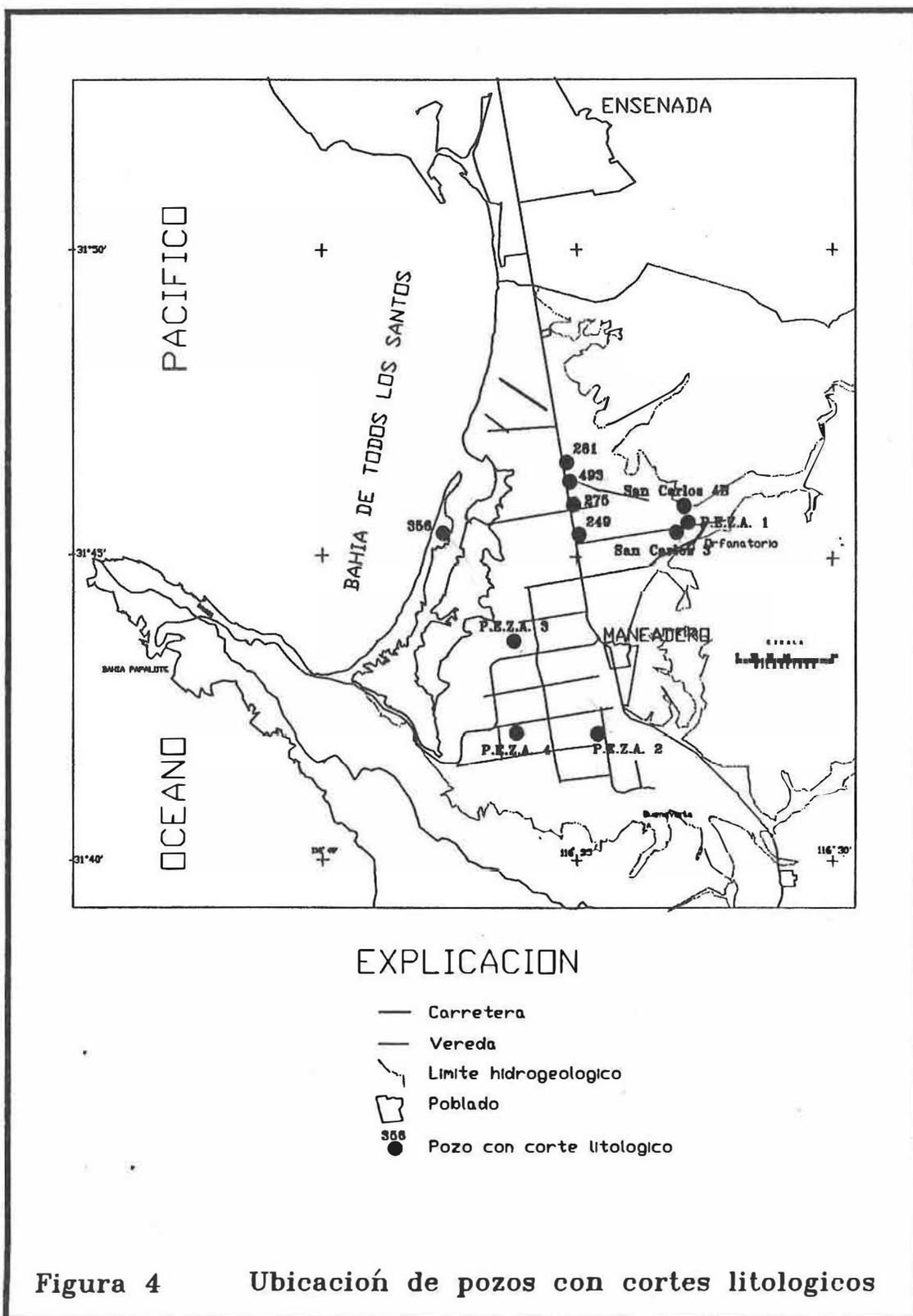
Los depósitos aluviales están compuestos por arcillas, arenas y gravas, observándose que las gravas se encuentran en los canales de los arroyos. Y conforme se disminuye el tamaño de grano, hacia las orillas de los arroyos se van depositando sedimentos de grano fino (arenas y limos), ésto se observa en los arroyos San Carlos y El Zorrillo (San Francisquito y/o Animas).

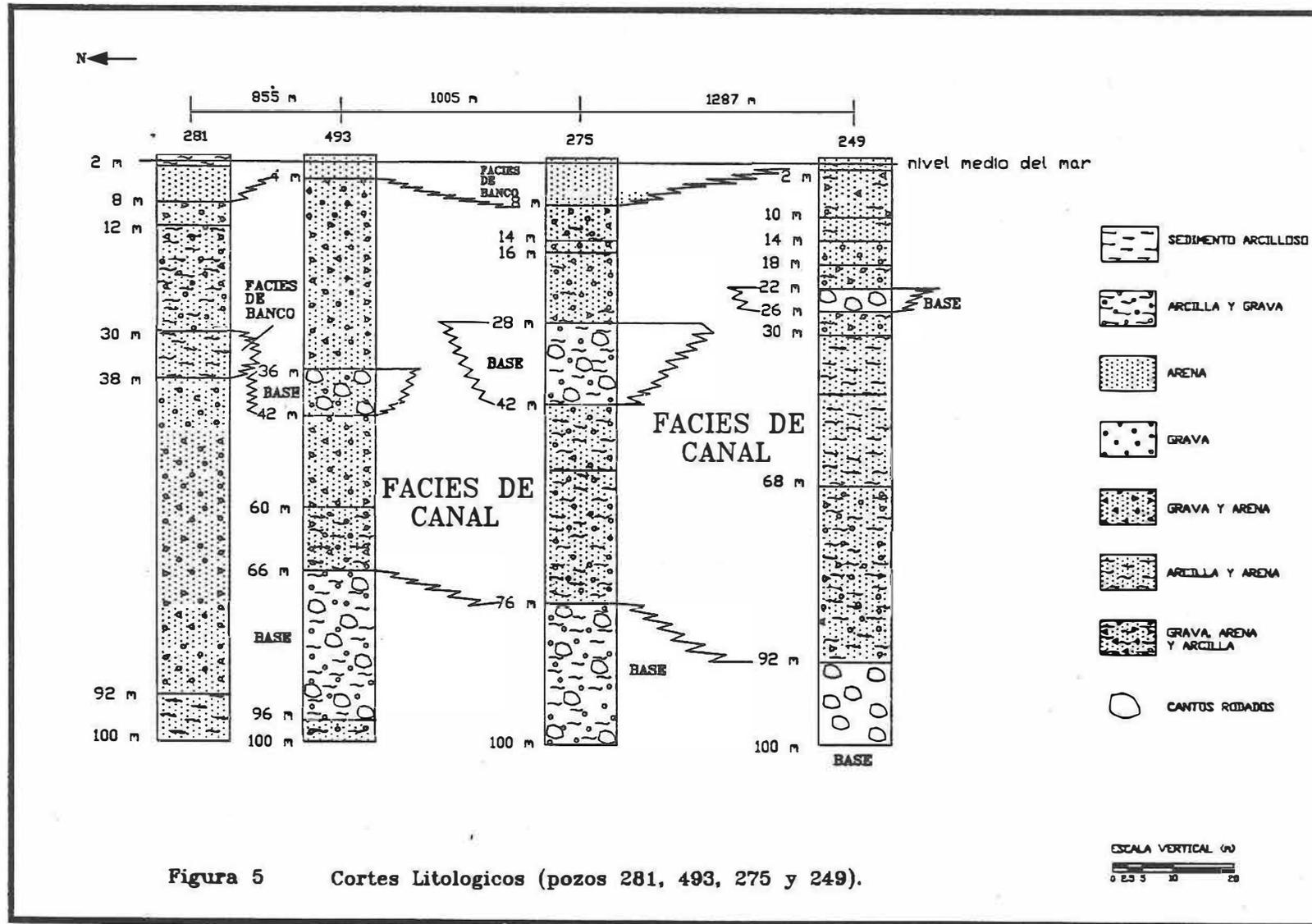
#### II.3.4 Secuencia sedimentaria del acuífero

Aquí se describe la secuencia de los sedimentos con base en su tamaño y por su permeabilidad. Esto es muy importantes en el modelado hidrogeológico porque nos definen la geometría del acuífero y delimita los paquetes confinantes de los libres.

En la zona de estudio sólo existen 11 pozos con cortes litológicos distribuidos conforme a la figura 4. Los P.E.Z.A. (pozo exploratorio en zona árida) 1, 2, 3 y 4 son pozos exploratorios. A partir de los pozos 281, 493, 275, 249, 356, San Carlos 3, P.E.Z.A. 2 y P.E.Z.A. 3, la autora ha realizado una interpretación (figuras 5, 6 y 7) que describe el subsuelo. No se utilizaron la totalidad de los pozos con cortes porque sólo se tomaron los que se encuentran aproximadamente en línea, para poder hacer la interpretación. Para apoyar dicha descripción también se utilizaron técnicas geofísicas (VLF, EM-34 y Dipolo-Dipolo; véase informe técnico del Valle de Maneadero, Herrera J. *et al.*, 1996).

En la figura 5 se observa la variación del cauce del arroyo San Carlos, en donde las gravas representan las facies de canal y, las arenas y arcillas las facies de banco de un sistema aluvial entrecruzado. En la figura 6 vemos que existe una facie marina representada por arenas fosilíferas que se acúñan hacia el Este; en la parte inferior del pozo





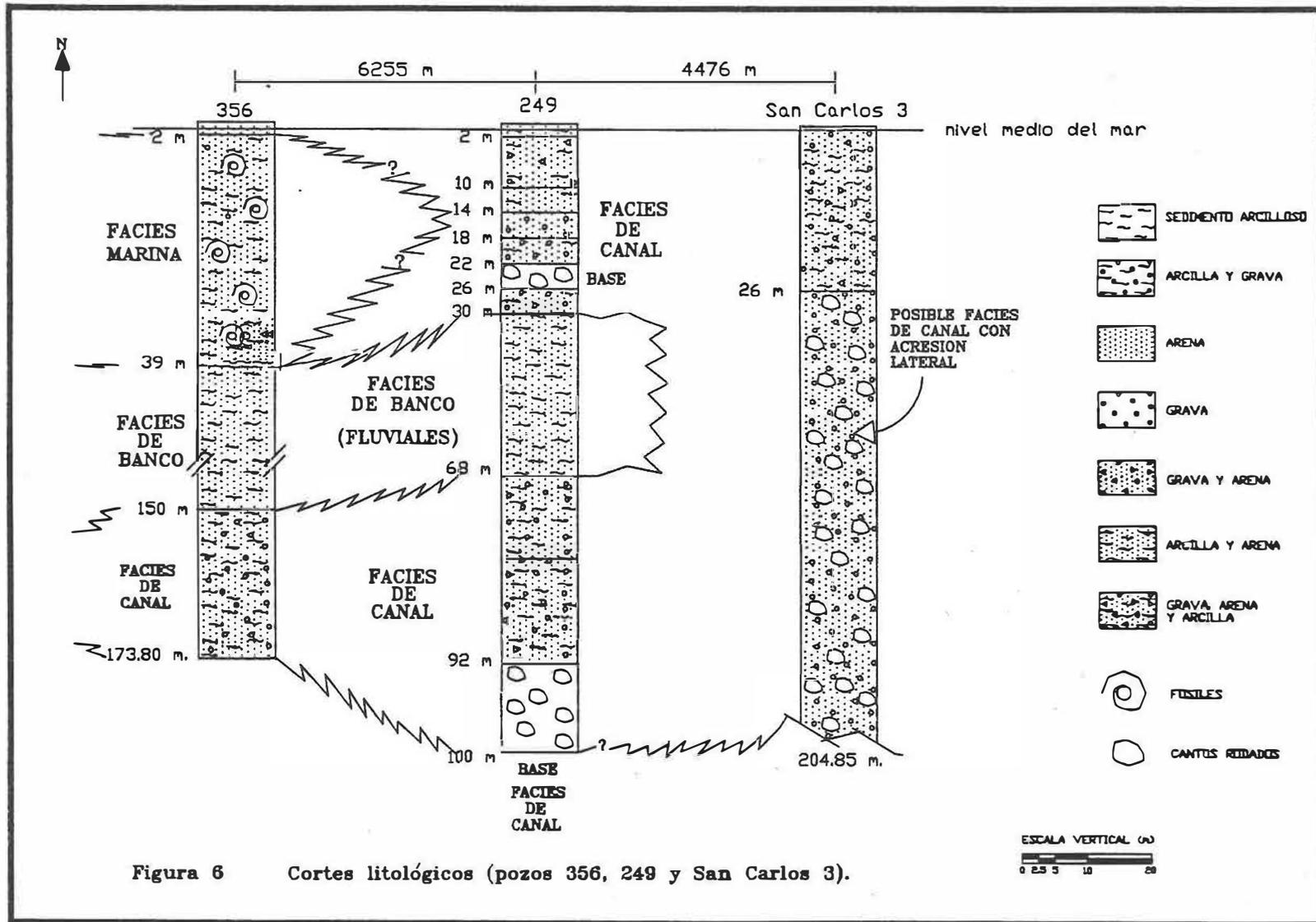


Figura 6 Cortes litológicos (pozos 356, 249 y San Carlos 3).

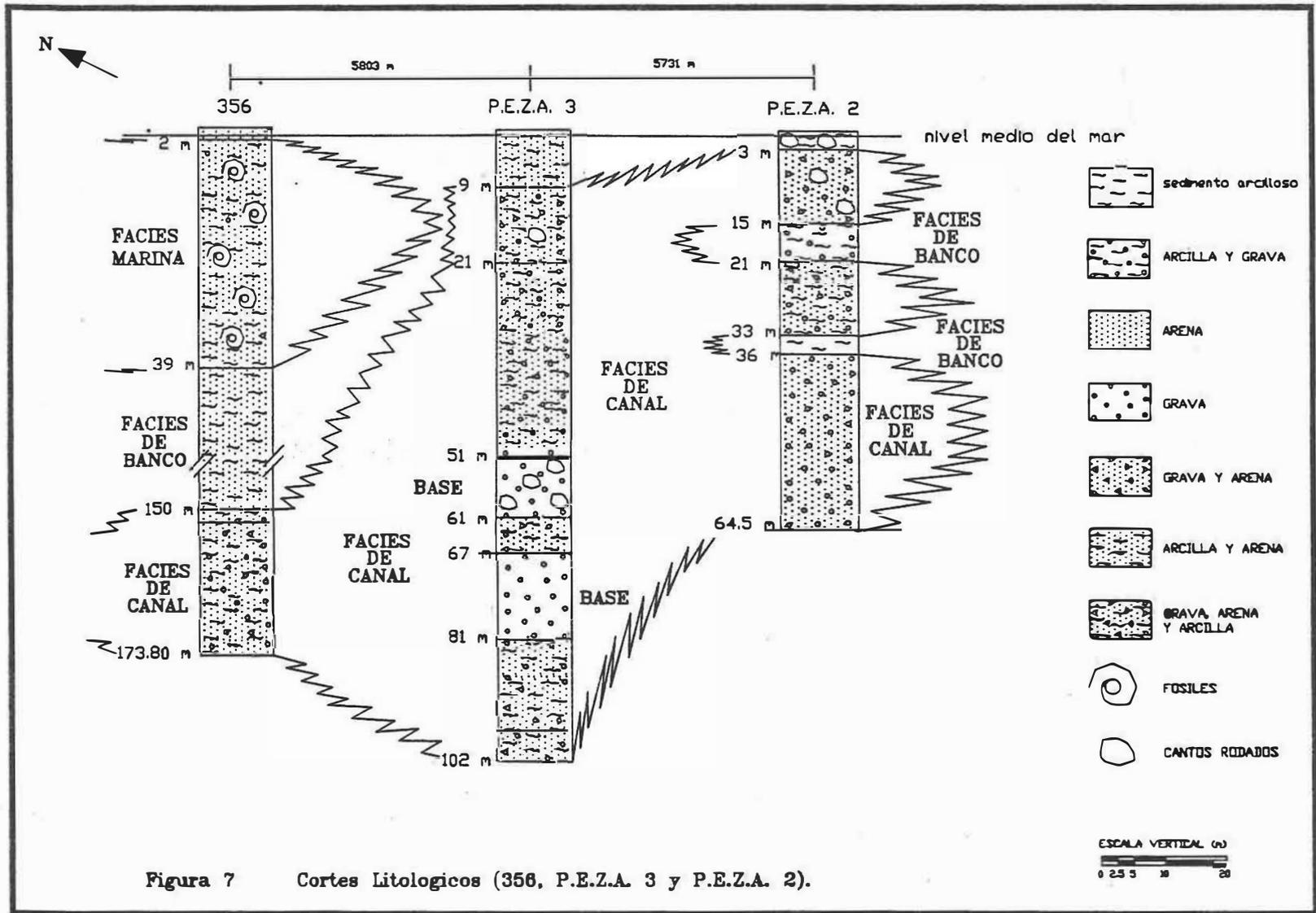


Figura 7 Cortes Litologicos (356, P.E.Z.A. 3 y P.E.Z.A. 2).

356 existen gravas arenosas, lo que pudiera representar facies de canal con acreción lateral. En la figura 7 observamos la misma cuña de facies marinas hacia el Este, donde existen facies de canal intercaladas con facies de banco.

De las descripciones litológicas, observaciones de campo y medidas geofísicas se puede decir que en la Planicie Costera del Valle de Maneadero en la vertical se tiene la siguiente litología: se encuentra una primera capa arcilloarenosa, con un espesor de aproximadamente 2 m. En las proximidades de los arroyos la primera capa está compuesta por arenas, teniendo espesores variables entre 4 y 8 m.

Subyaciendo a las capas superficiales hay una alternancia de gravas, arenas y arcillas, en donde predominan las gravas, estos materiales constituyen el acuífero y alcanzan un espesor de hasta 550 m, según el modelo gravimétrico (Cruz Flacón, 1986). En cortes litológicos y en las secciones de VLF, EM-34 y Dipolo-Dipolo (Herrera Barrientos *et al.*, 1996) no se encontraron en profundidad cuerpos que se pudieran considerarse como impermeables. A partir de los resultados de la perforación de los pozos P.E.Z.A. 1 y P.E.Z.A. 4 se cortaron rocas ígneas a 56 y 104.75 m, ubicados hacia el Sur-Este (figura 4), lo que nos indica que conforme nos acercamos a las faldas de las sierras la base del valle se hace más superficial. Por la descripción litológica, se puede decir que el acuífero objeto de estudio es libre. Con relación a la obtención de la profundidad del basamento se hará una explicación más detallada en el capítulo III.

## II.4 Climatología

La región se considera de clima desértico, con temperaturas medias que varían de 12.5°C a 14.9°C en otoño-invierno y de 15.0°C a 24.6°C en primavera-verano, en los últimos dos años se han presentado lluvias extraordinarias, es decir, que la cantidad de lluvia es mucho mayor que la promedio; la precipitación pluvial media anual es de 260 mm, considerando los últimos 20 años.

### II.4.1 Precipitación pluvial

Se cuenta con la información de cuatro estaciones climatológicas: Ensenada, El Ciprés, Maneadero y Punta banda; la ubicación de las mismas se puede observar en la figura 8. En la estación de Maneadero existen años con meses en los que no hay datos.

Las series de tiempo con las que se trabajó fueron:

Tabla I. Series de tiempo de precipitación.

ESTACION	SERIES DE TIEMPO
ENSENADA	1974 - 1993
EL CIPRES	1977 - 1993
MANEADERO	1978 - 1993
PUNTA BANDA	1978 - 1993

Se obtuvo la precipitación media mensual (es la media de las precipitaciones recibidas en un cierto mes, durante una serie de años) y la precipitación anual (suma de las precipitaciones mensuales para cada año), de los datos de la tabla I. De las gráficas de precipitación media mensual de las cuatro estaciones (figura 9), se definió que el período de lluvias es de noviembre a marzo y el período de estiaje es de abril a octubre en la Planicie

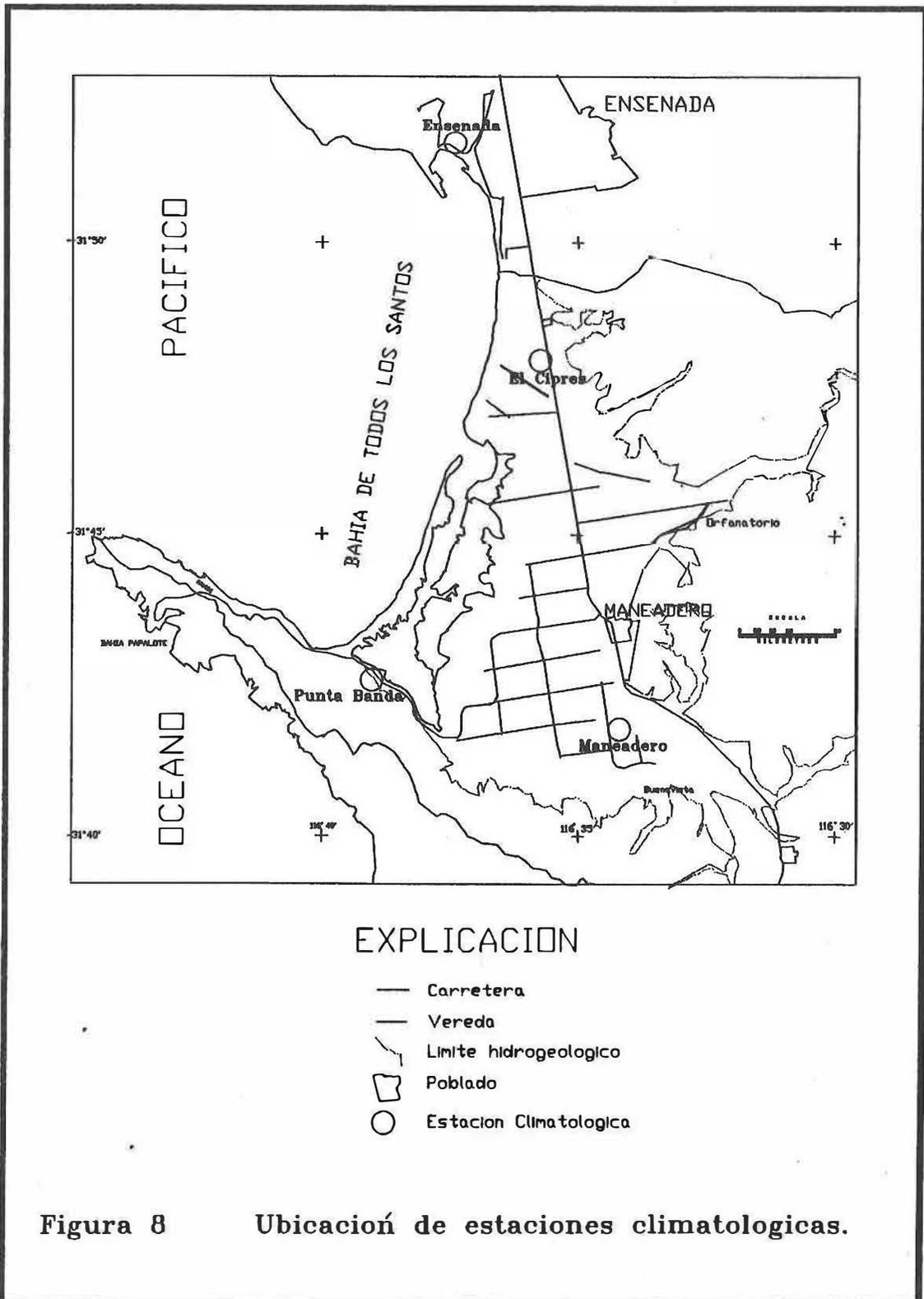


Figura 8 Ubicación de estaciones climatológicas.

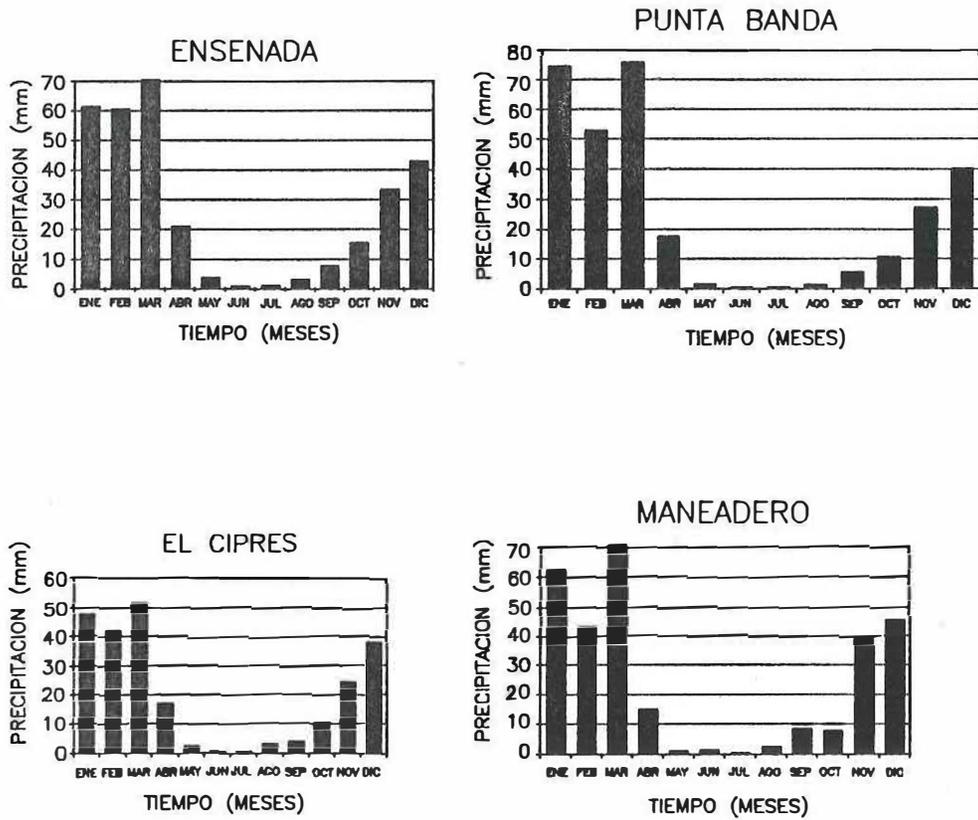


Figura 9 Precipitación media mensual de las estaciones climatológicas: El Cipres, Ensenada, Maneadero y Punta Banda.

Costera del Valle de Maneadero. Este dato se usará como criterio en la selección de la piezometría para el modelado.

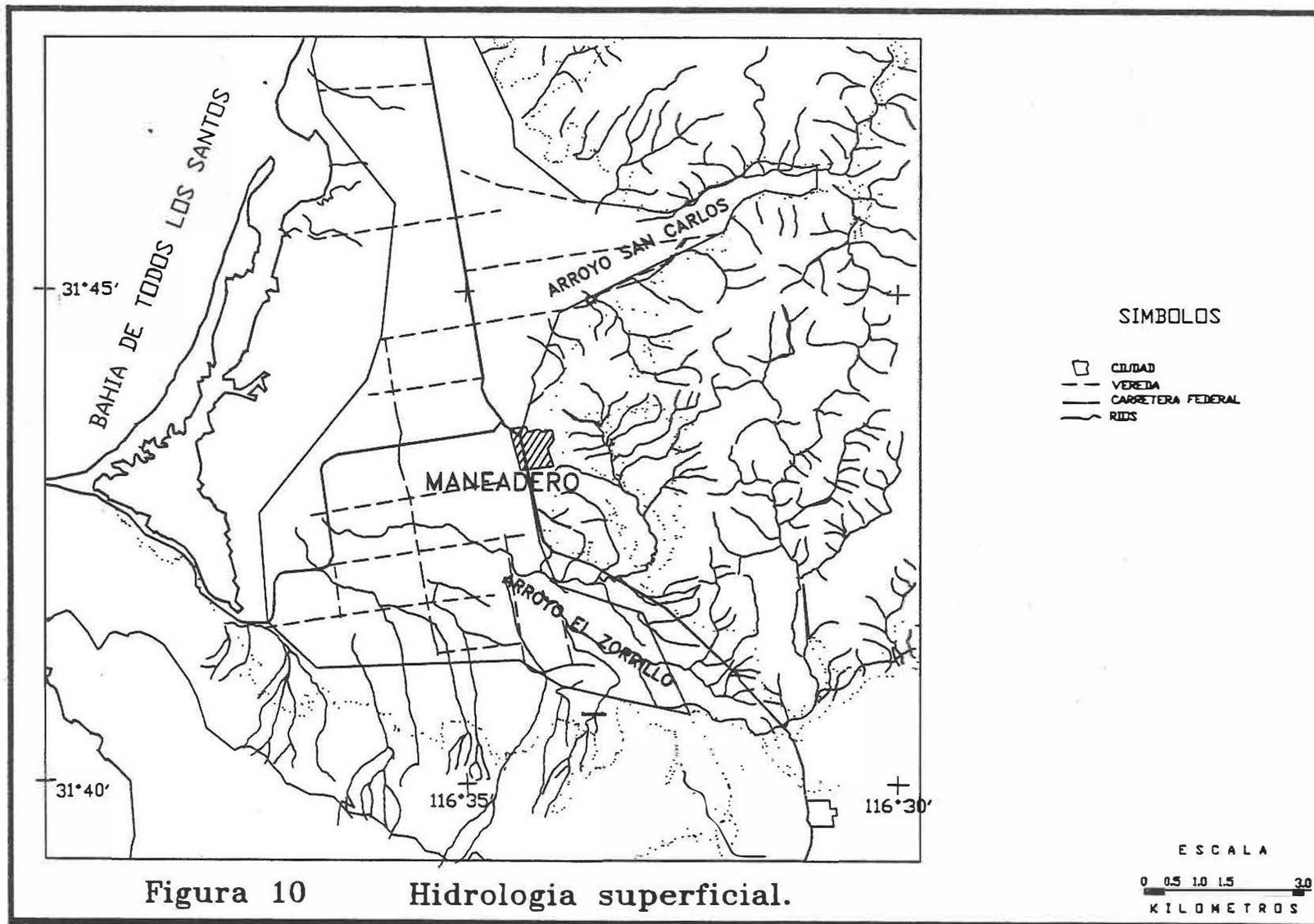
## **II.5 Hidrología superficial**

La hidrología superficial se rige por dos arroyos, San Carlos y El Zorrillo (figura 10), el primero se localiza en la porción norte del Valle de Maneadero y el segundo en la parte sur del mismo. Los arroyos son intermitentes y sólo aportan agua al acuífero en tiempos de lluvia y en tiempos de estiaje están secos.

Unicamente, existe una estación de aforo en el arroyo San Carlos, ubicada en la naciente del arroyo, donde existen datos desde 1961 a 1991. Para este período hay un volumen escurrido promedio de  $4 \text{ Mm}^3/\text{año}$ , ésto sin considerar el caudal extraordinario de 1983 y parte de 1984..

## **II.6 Piezometría**

Una parte fundamental para la realización de un modelo de flujo es contar con un registro amplio de la elevación de los niveles estáticos (es el nivel del agua del acuífero sin bombeo) de la región, denotado de aquí en adelante por N.E. Aquí se cuenta con datos desde febrero de 1974 hasta noviembre de 1994 (véase las figuras del apéndice A). Para obtener la piezometría se realizó una nivelación topográfica de 105 pozos, con teodolito y distanciómetro electrónicos de la casa SOKKIA, corrigiendo por cambios barométricos. Ésta se hizo como parte de las actividades del proyecto “Evaluación del avance de la intrusión salina del Valle de Maneadero, B.C.”, auspiciado por el C.I.C.E.S.E, clave 642106, aún sin publicar.



Para la nivelación se efectuó un traslado del nivel medio del mar (n.m.m.) del Recinto Portuario de Ensenada al valle de Maneadero (mojonera GEOF-1); así, las alturas piezométricas son referidas al n.m.m. Dichas alturas son la diferencia de la altura de brocal del pozo y la profundidad al N.E. Considerando los registros de la piezometría de 1974 a 1994, en el apéndice 1 (figuras 1.1 a 1.14) se muestran las alturas piezométricas para los diversos meses de los años comprendidos en el periodo antes señalado. En esas figuras se observa la dirección de flujo subterráneo, el cual es predominantemente por los arroyos San Carlos y el Zorrillo con descarga hacia el mar.

Para la piezometría de 1974 (figura 1.1, 1.2 y 1.3) se observan niveles por debajo del n.m.m., los cuales están asociados a un año de poca precipitación (100 mm), véase la figura 1.1. En 1978 existen niveles por encima del n.m.m. (figura 1.5), los cuales se asocian con un año de notable precipitación (680 mm). En 1979 los bombeos son acusados en la porción NE y SE de la planicie costera, lo cual se asocia a un año de precipitación media (250 mm). En 1980 (figuras 1.9 y 1.10) vuelven a recuperarse los niveles freáticos y la precipitación anual aumenta respecto al año anterior. El año 1984 (figura 1.12) es de recuperación de niveles, los cuales se deben en gran parte a la notable precipitación de 1983 (500 mm). Del análisis anterior se observa que existe una correlación entre la precipitación y el aumento y/o disminución de las alturas piezométricas. Las afecciones locales en los N.E. son debidas a cambios en las propiedades hidráulicas del acuífero, así como del régimen de extracción.

La figura 12 corresponde a la altura piezométrica promedio para el período de lluvias. Esta gráfica, respecto a la época de estiaje (figura 13), marca una mayor elevación en los

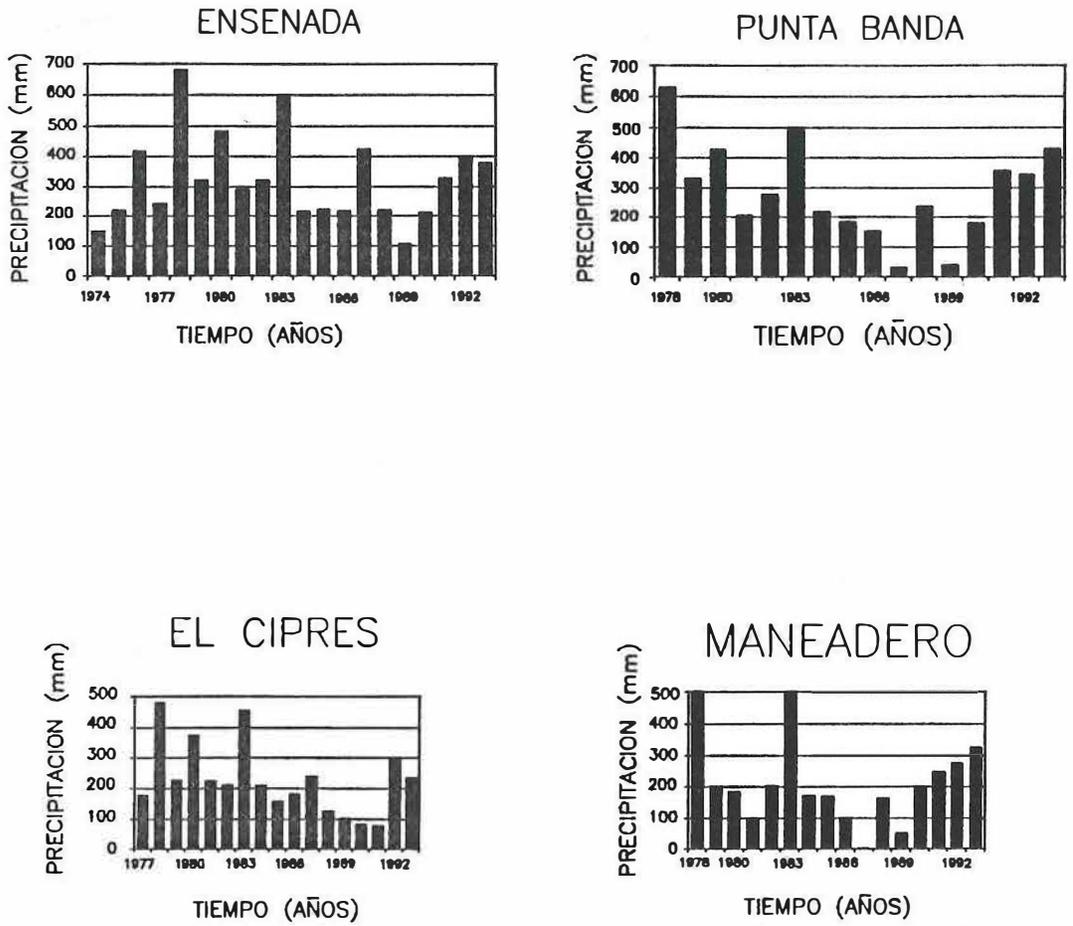


Figura 11 Precipitación anual de las estaciones climatológicas: El Cipres, Ensenada, Maneadero y Punta Banda.

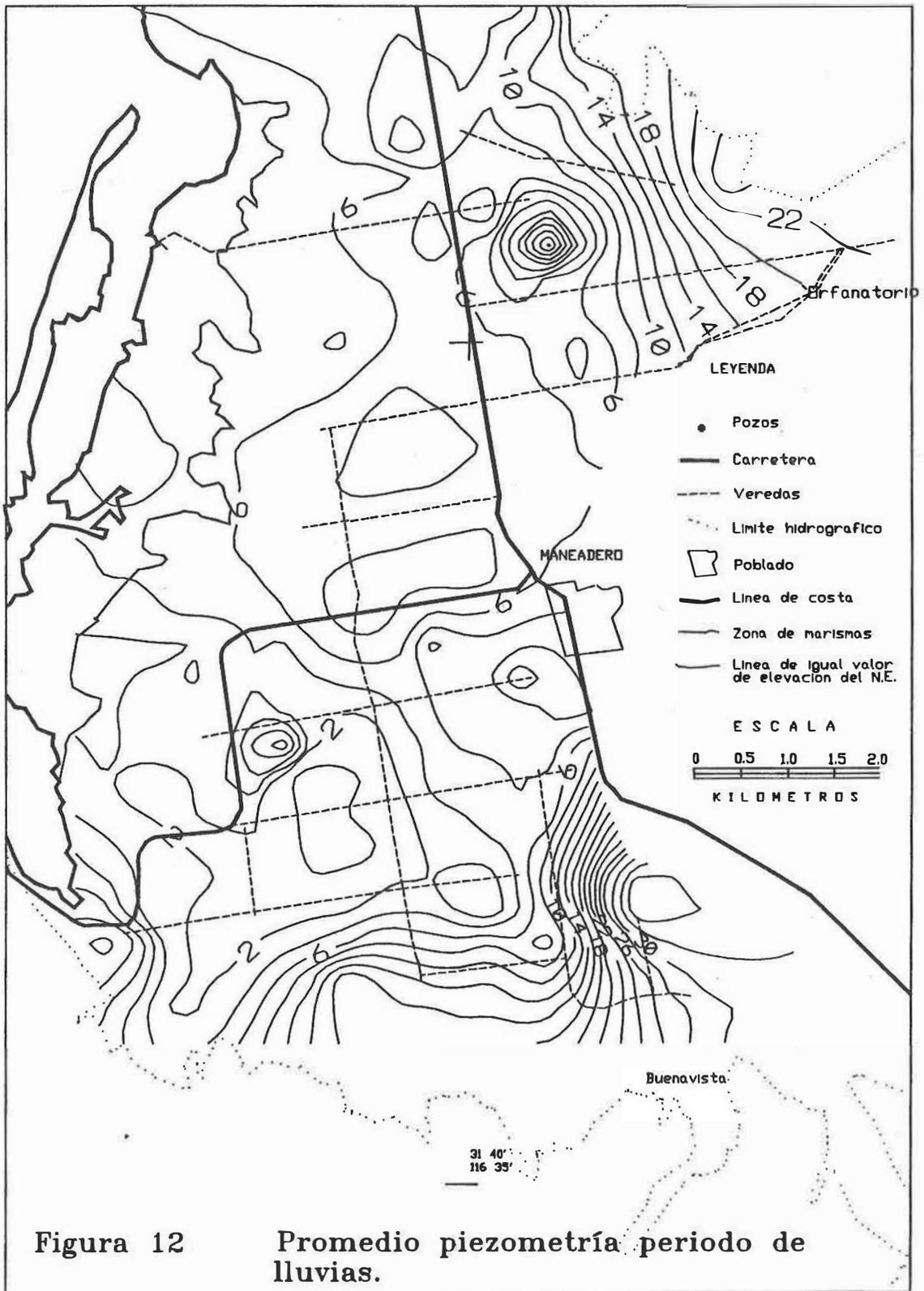
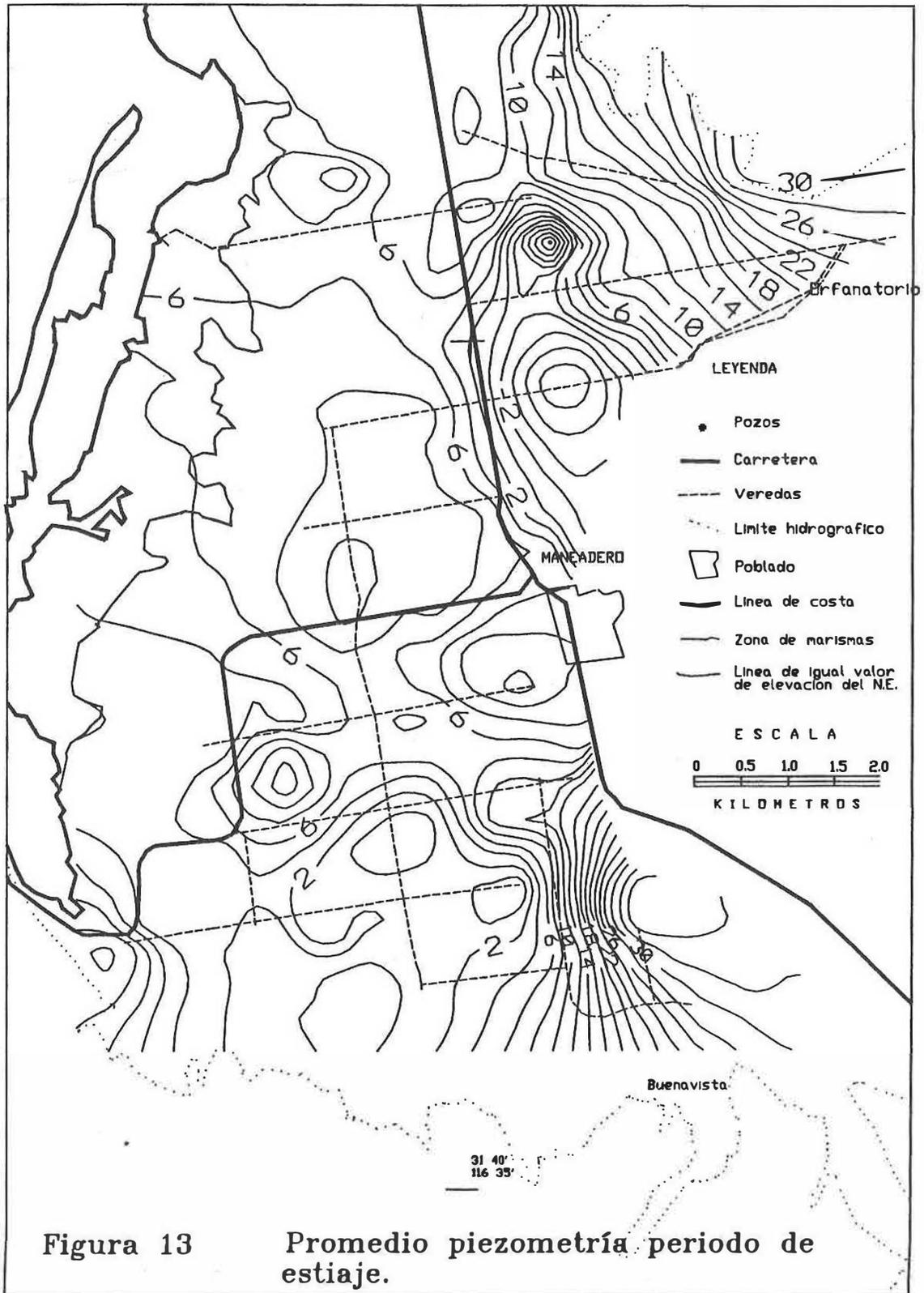


Figura 12

Promedio piezometría periodo de lluvias.



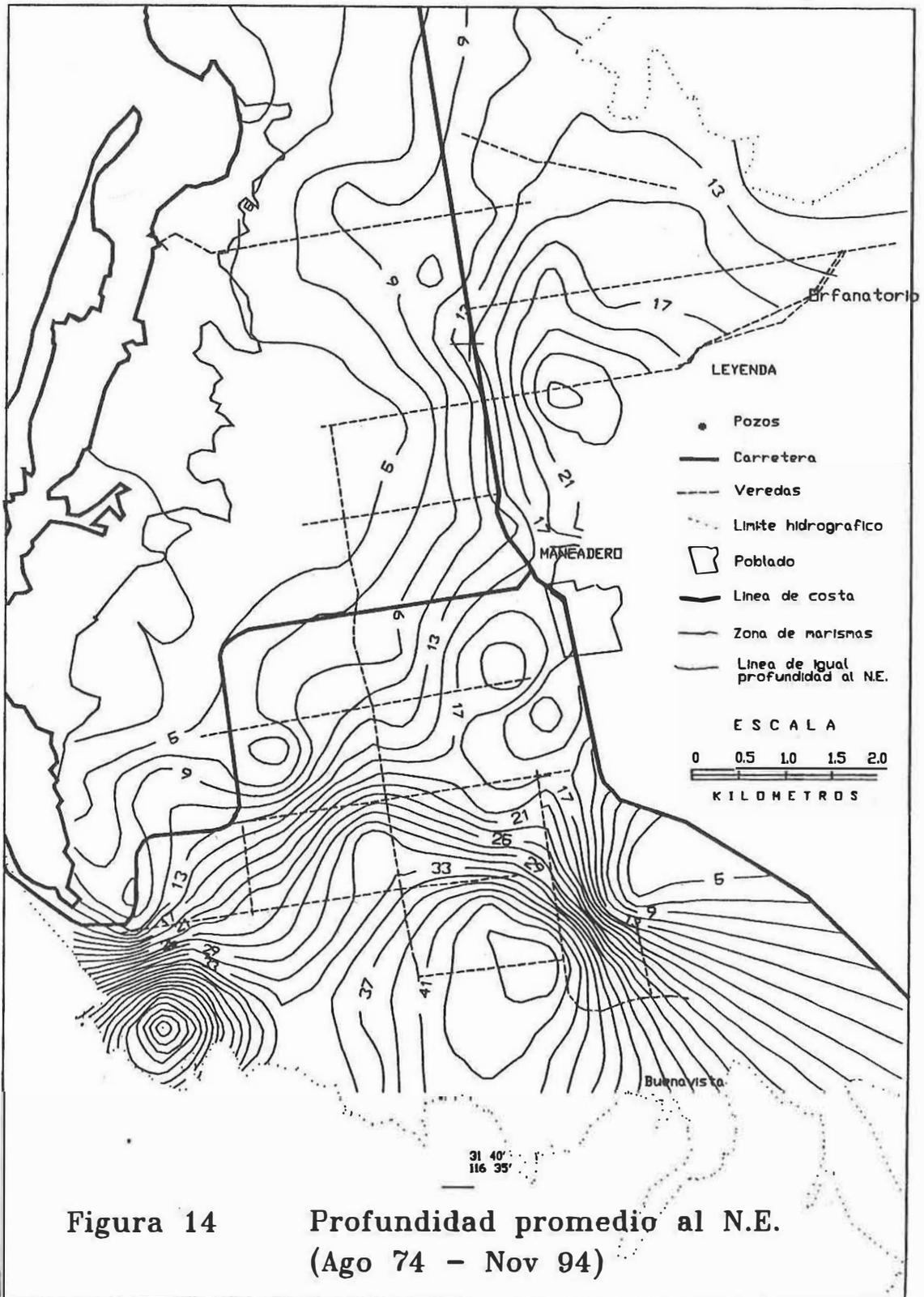
N.E., lo cual señala el efecto de la infiltración subterránea asociado a lluvias y quizá a los flujos subsuperficiales.

La profundidad al N.E. del acuífero es un dato que conviene conocer, puesto que está asociado en gran medida a costos de bombeo, perforación y a problemas de vulnerabilidad del acuífero, entre otros.

La figura 14 muestra la profundidad promedio del N.E. considerando la serie 1974 - 1994. Nótese que este nivel alcanza su mayor profundidad en las proximidades de la península de Punta Banda. También se observa que la profundidad decrece a medida que se aproxima a la zona de costa.

El conocimiento de la piezometría en el modelado de flujo es un dato importante, ya que la ecuación matemática que gobierna el flujo, es la ecuación de difusión que, para su solución se requiere del conocimiento de las condiciones iniciales, las cuales vendrán dadas por cierta piezometría, por ejemplo la de febrero de 1974.

Es necesario conocer una serie históricas de éstas para que, durante el proceso de modelado (etapa calibración) se logre la consistencia entre los resultados obtenidos con el modelo numérico y las observaciones. Respecto a esto, tomando en cuenta que el año hidrogeológico se puede separar en un período de lluvias y otro de estiaje, también podemos calcular la piezometría de estiaje y de lluvias, las cuales se obtienen de la media aritmética de las series que constituyen cada período. Las series promediadas representan apropiadamente las evoluciones piezométricas. Respecto a los cambios locales y/o puntuales de la piezometría, ésta se verá suavizada excepto que sea de notable intensidad como se observa



en las figuras 12 y 13. Este compromiso se asume en este trabajo, ya que el primer intento es tener el comportamiento piezométrico del acuífero y, posteriormente, a medida que se vaya avanzando en el conocimiento y comportamiento del acuífero, habrá que considerar las afecciones locales y/o puntuales.

La figura 13 es la altura piezométrica para el periodo de estiaje. Se observan las direcciones principales del flujo subterráneo, las cuales corresponden al arroyo San Carlos y el Zorrillo. También se observan depresiones locales de la piezometría (figura 14), las cuales como se verá más adelante, están asociadas a áreas de transmisividad hidráulica, aunque también son objeto de bombeos intensos.

### III METODOLOGIA

#### III.1 Introducción

El programa se fundamenta en la solución de la ecuación de flujo.

$$\nabla \cdot (\mathbf{q}) + W = -Ss \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

en la cual

$$\mathbf{q} = -k \nabla h$$

donde  $k$ ,  $\mathbf{q}$ ,  $W$ ,  $Ss$ ,  $h$  y  $t$ , son la conductividad hidráulica (L/T), la descarga específica (L/T), el flujo volumétrico por unidad de volumen, el coeficiente de almacenamiento específico (1/L), la altura piezométrica (L) y la variable tiempo (t), respectivamente.

En general  $Ss$  y  $k$  son funciones que dependen del espacio, es decir,  $k = k(x,y,z,t)$  y  $Ss = Ss(x,y,z)$ . Estos o combinación entre ellos y el espesor saturado del acuífero se conocen

como parámetros hidrogeológicos. En éstos está incluida la geología y las propiedades del fluido (Custodio y Llamas, 1983). En este caso:

$$k = \frac{\kappa \rho_w g}{\mu} \quad (2)$$

donde:

$\kappa$  = es la permeabilidad intrínseca del medio, la cual depende del tamaño de los granos, forma de éstos y su gradación.

$\rho_w$  = es la densidad del agua subterránea.

$g$  = es la gravedad en algún punto del acuífero.

$\mu$  = viscosidad del fluido.

Según Domenico y Schwartz (1990):

$$S_s = \rho_w g [(1-n)\beta_p + \eta\beta_w] \quad (3)$$

donde:

$\eta$  = es la porosidad del acuífero.

$\beta_p$  = es la compresibilidad de la matriz granular.

$\beta_w$  = es la compresibilidad del agua.

Habrán cambios en las alturas piezométricas si alguno de los módulos de compresibilidad antes mencionados es diferente de cero, así que, ante cambios en los estados de esfuerzo del sistema agua-red granular, habrá cambios en la altura piezométrica como respuesta a éstos.

Como ya se indicó, en  $k$  y  $S_s$  está contenida la geología del acuífero granular y la acción del fluido, que en su conjunto, vía ecuación 1, marcarán el comportamiento de las

variaciones espaciales y temporales de  $h$  en sus 3 componentes rectangulares  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , de ahí que se diga flujo tridimensional.

En la ecuación 1 el término  $W$  representa un flujo volumétrico por unidad de volumen que entra o sale al sistema. Este puede representar la acción de pozos de extracción y/o inyección, así como otras fuentes y/o sumideros. La ecuación 1 describe el flujo de agua subterránea en régimen variable en un medio heterogéneo y anisótropo.

Como no existe solución analítica a la ecuación 1, una manera de aproximar su solución es mediante el método de las diferencias finitas, el cual consiste en sustituir las derivadas parciales mediante desarrollo en serie de Taylor hasta los términos lineales. Una vez hecho esto y aplicado sobre los elementos de discretización del acuífero, se obtienen un sistema de ecuaciones algebraicas simultáneas, las cuales se resuelven mediante métodos numéricos. En este caso, se usa el método implícito de las direcciones alternadas (Prickett y Lonquist, 1971). La solución de la ecuación 1 es a través de un programa de cómputo, en este caso se utilizará el realizado por McDonald y Harbaugh, 1988, del U. S. Geological Survey, cuyo paquete de cómputo comercial es presentado por Geraghty and Miller, Inc y se conoce como MODFLOW. Este ha sido y es ampliamente utilizado en la literatura. Cabe hacer notar que en el plantamiento matemático de la ecuación 1, se ha considerado que la densidad del fluido no tiene cambios espaciales. Respecto a los temporales, si puede tenerlos. Lo anterior no representa una limitante para el caso aquí tratado (acuífero costero), ya que la ecuación 1 en forma discreta es válida; ya que la aplicación a cada celda presupone densidad del fluido constante espacialmente, más sin embargo entre celda y celda ésta puede ser

diferente. Por otra parte, aquí se pretende modelar la altura piezométrica ( $h$ ) y no la interface salina.

El MODFLOW es un programa que realiza en forma tridimensional el modelado de flujo, con ésto se indica que éste toma en cuenta los cambios de  $h$  en las direcciones  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Dichos cambios se dan no necesariamente debido a cambios litológicos, sino que, aún en condiciones de homogeneidad y anisotropía se presentan en zonas de carga y descarga inducidas y/o naturales, así como por la configuración del basamento hidrogeológico. Por ejemplo en el caso de un acuífero homogéneo y anisótropo sujeto a un régimen de bombeo, el cono de abatimiento representa cambios en  $h$  en sus tres componentes ( $x$ ,  $y$  y  $z$ ). Por lo tanto, aquí hay tridimensionalidad en el flujo.

El MODFLOW se utiliza para la investigación de los mantos acuíferos, y está basado en el modelado por diferencias finitas en dos y tres dimensiones para flujo de aguas subterráneas. El programa se escribió originalmente en Fortran 66 (McDonald y Harbaugh, 1988), pero ha sido modificado usando el Fortran 77. Aquí se usa la versión modificada.

### **III.2 Descripción breve del programa**

El programa se divide en varios paquetes (véase la tabla II) y éstos se subdividen en módulos, cada uno de ellos sirve para resolver un aspecto de la simulación asociado a la ecuación 1.

La estructura principal del programa se encuentra resumida en la figura 15. El período de simulación se divide en varios períodos de cálculo, resultando de ésto cierto número de pasos de tiempo.

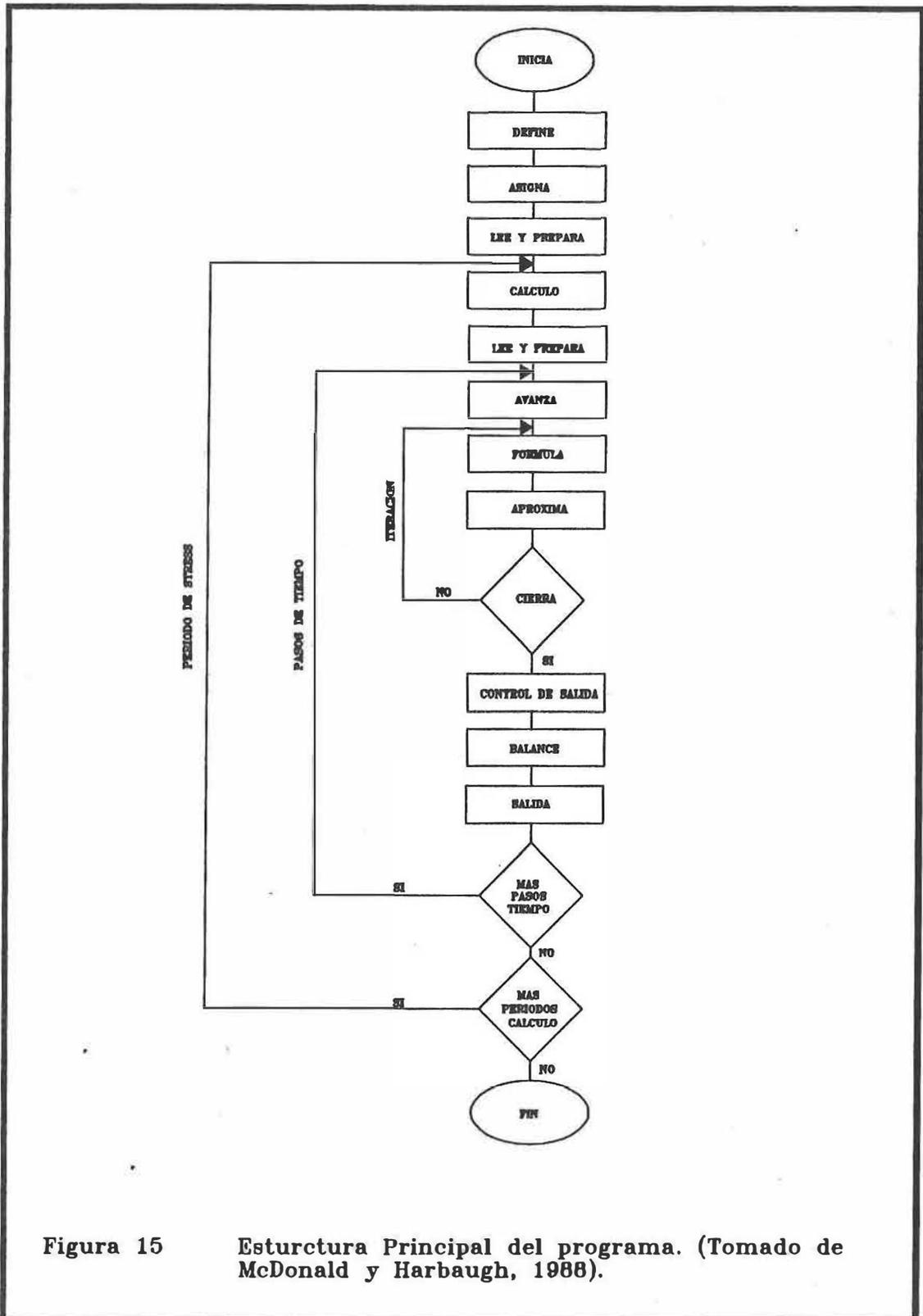


Figura 15

Esturctura Principal del programa. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).

Cada rectángulo de la figura 15 es un “procedimiento”. En Define, se indica: tamaño del modelo, tipo de simulación (estacionario o transitorio), número de períodos de cálculo, las opciones hidrológicas y la solución a utilizar. En el procedimiento Asigna, se define la memoria requerida. En el procedimiento Lec y Prepara, todos los datos que no son función del tiempo son leídos. Aquí se incluye: condiciones de frontera, niveles iniciales, transmisividad, conductividad hidráulica, rendimiento específico, coeficiente de almacenamiento, número de capas y sus bases, y los parámetros que se requieren para la solución.

En el procedimiento Cálculo se asigna el número de pasos (NSTP, por sus siglas en inglés). En el procedimiento de Lee y Prepara, se leen todos los datos pertenecientes a un período de cálculo, como por ejemplo, tasas de recarga o bombeo. En Avanza, la longitud del paso es calculada. Posterior a éste continúa la iteración, la cual contiene el procedimiento Formula. Este determina la conductancia y los coeficientes para cada nodo, Aproxima, incluye las aproximaciones a la solución del sistema de ecuaciones lineales para cada nivel. El proceso iterativo se cierra cuando se alcanza el máximo número de iteraciones requeridas. Al final de las iteraciones, el procedimiento Control de Salida determina la disposición de los niveles, los términos de entradas y salidas y de flujo entre celda y celda. En el procedimiento Balance, todas las entradas y salidas son calculadas y los flujos celda a celda son impresos o grabados. En el procedimiento Salida, se imprimen o se graban los niveles, los descensos, las entradas y las salidas.

El programa principal es muy simple y los módulos son llamados directamente, para que el programa incorpore los procesos hidrológicos a utilizar en la simulación.

Existe una clasificación de los módulos con los “procedimientos”, la cual puede observarse en la figura 16. Los renglones corresponden a los procedimientos y las columnas a los paquetes. Con una X se indica la utilización de ese módulo y la ausencia de ésta indica que el procedimiento no es utilizado. Los paquetes que tienen una S como subíndice indica que se utilizan submódulos; éstos son módulos secundarios que son utilizados en un sólo paquete. Si tienen una U como subíndice, indica que los módulos primarios utilizan módulos secundarios, los cuales pueden ser utilizados por muchos paquetes.

En la tabla II hay una breve descripción de todos los módulos que se podrían llegar a utilizar para la simulación.

Tabla II. Descripción breve de los módulos.

PAQUETE	ABREVIATURA	DESCRIPCION
Básico	BAS	Se dan los paquetes a utilizar; también se especifican las fronteras, la longitud de los pasos, el establecimiento de las condiciones iniciales y la impresión de resultados.
Flujo de bloque central	BCF	Calcula los términos de las ecuaciones de diferencias finitas, el flujo entre celda y celda, y el flujo almacenado.
Pozos	WEL	Adiciona los términos de flujo de pozos a las ecuaciones.
Recarga	RCH	Adiciona los términos de recarga a las ecuaciones.
Ríos	RIV	Adiciona los términos de flujo de ríos a las ecuaciones.
Drenaje	DRN	Adiciona los términos de flujo de drenaje a las ecuaciones.

Evapotranspiración	EVT	Adiciona los términos de evapotranspiración a las ecuaciones.
Nivel general de los bordes	GHB	Adiciona los términos de nivel general de los bordes a las ecuaciones.
Relaciones acuífero-corriente	STR	Adiciona los términos de flujo existente entre el acuífero y una corriente a las ecuaciones.
Procedimiento altamente implícito	SIP	Solución al sistema de ecuaciones diferencias finitas utilizando el procedimiento altamente implícito.
Sobrerrelajación sucesiva	SOR	Solución al sistema de ecuaciones diferencias finitas utilizando el procedimiento de sobrerrelajación sucesiva.

### III.3 Obtención de parámetros para el modelado

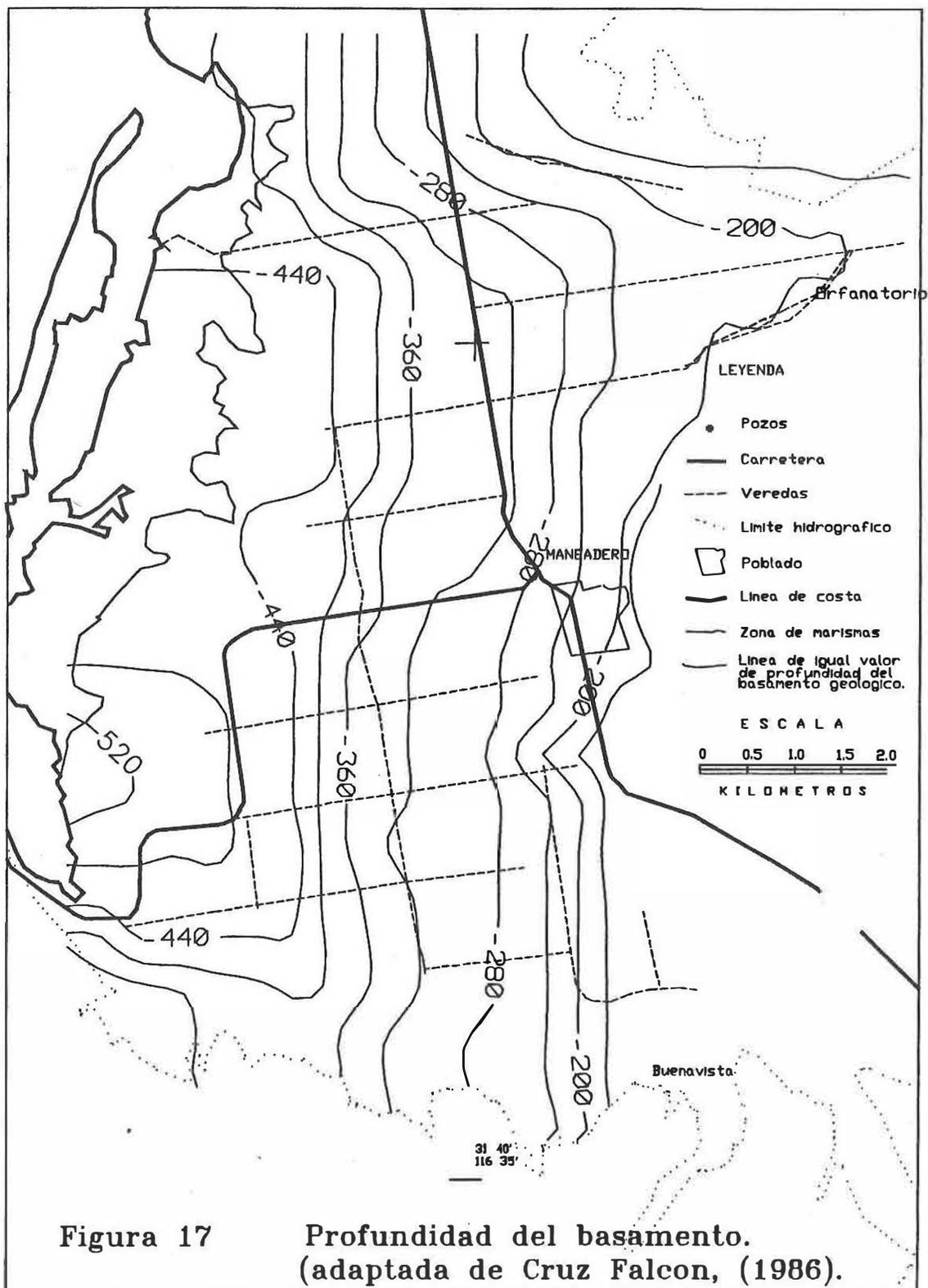
#### III.3.1 Espesor del Acuífero

El espesor del acuífero puede ser detectado mediante métodos directos (cortes litológicos) e indirectos (geofísicos). Debido a que no se encontró el basamento geohidrológico en los pozos, se realizaron estudios geofísicos a lo largo de dos veredas perpendiculares a la línea de costa (Herrera *et al.*, 1996). Sin embargo tampoco se encontró el basamento hidráulico.

Como basamento inicial, se utilizó la profundidad del basamento obtenida por Cruz Falcón (1986) mediante gravimetría. La figura 17 muestra una configuración del basamento, el cual representaría el valor máximo, ya que es el basamento geológico, por lo que el hidrogeológico estará por encima de éste. Por otra parte, debido a la compactación litológica, los sedimentos a profundidad podrían comportarse como basamento hidrogeológico, por encima del basamento geológico.

PROCEDIMIENTOS	PAQUETES DE FLUJO								PAQUETES DE SOLUCION	
	PAQUETES DE CALCULO									
	B A S	B C F	W E L	R C H	R I V	D R N	E V T	G H B	S I P	S O R
DEFINE (DF)	X									
ASIGNA (AL)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LEE Y PREPARA (RP)	X <sub>U</sub>	X <sub>US</sub>								
CALCULO (ST)	X									
LEE Y PREPARA (RP)			X	X <sub>U</sub>	X	X	X <sub>U</sub>	X		
AVANZA (AD)	X									
FORMULA (FM)	X	X <sub>S</sub>	X	X	X	X	X	X		
APROXIMA (AP)									X <sub>S</sub>	X <sub>S</sub>
CONTROL SALIDA (OC)	X									
BALANCE (BD)		X <sub>US</sub>	X <sub>U</sub>							
SALIDA (OT)	X <sub>U</sub>									

Figura 16 Clasificación de módulos con procedimientos.  
(Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).



### III.3.2 Transmisividad hidráulica

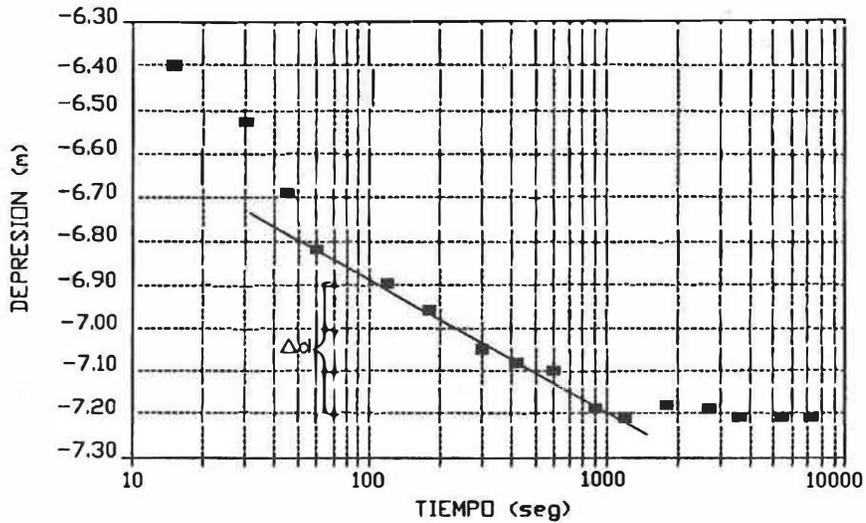
Este parámetro hidráulico del acuífero, se obtuvo a través de pruebas de bombeo realizadas en los años 70's por la Comisión Nacional del Agua.

Se graficaron y analizaron 58 pruebas de bombeo, mediante el método de Jacob para acuíferos confinados, éste es a caudal constante y régimen variable. En el método se grafican en escala semilogarítmica el tiempo y la depresión del N.E. La primera en ordenadas y la segunda en abscisas, posteriormente se ajusta una recta a los puntos obtenidos, para calcular la pendiente en un ciclo logarítmico, la cual nos servirá para el cálculo de la transmisividad (T), para ejemplo véase la figura 18.

El método de Jacob es una particularización del método de Theis (Villanueva Martínez e Iglesias López, 1984), cuando  $u < 0.1$ ;  $u = r^2 S / 4 T t$ , donde  $r$  es la distancia al pozo de observación,  $t$  es el tiempo,  $S$  es el coeficiente de almacenamiento y  $T$  es la transmisividad hidráulica. Los valores obtenidos de  $T$  están un tanto subestimados, ya que la aproximación de Jacob como se indicó es para acuíferos confinados. En nuestro caso partimos de la simplificación de acuífero libre, por lo que en la corrección de los descensos observados, la pendiente de la curva tiempo versus descenso disminuirá y por lo tanto  $T$  aumentará. Para realizar dicha corrección se necesita conocer el espesor saturado total del acuífero.

Para la aplicación del método de Jacob se utilizó la sugerencia que hace Custodio (1983): "si los descensos no son grandes (15 %) en relación con el espesor saturado del acuífero y si el drenaje es instantáneo y proporcional al descenso producido, son aplicables las mismas fórmulas de los acuíferos confinados".

PRUEBA DE BOMBEO POZO 119  
ETAPA DE ABATIMIENTO



$$T = 0.183 \frac{Q}{\Delta d}$$

$$T = 0.183 \frac{0.027 \text{ m}^3/\text{s}}{0.32 \text{ m}}$$

$$T = 0.015 \text{ m}^2/\text{s}$$

Figura 18 Prueba de bombeo, pozo 119. Para el cálculo de la transmisividad.

En el apéndice 3 se encuentran todos los valores de transmisividad hidráulica y en la figura 19 se graficaron las curvas de igual valor de T. Se puede apreciar que existen zonas de T alta, los cuales son sometidos a intensos bombeos.

Debe tomarse en cuenta que los pozos donde se realizaron las pruebas de bombeo para el cálculo de la transmisividad, no atraviesan todo el acuífero y tampoco se sabe que tramos de la tubería están perforados, véase la figura 20, donde se muestran las isolíneas de profundidad de los pozos; por lo tanto, los datos obtenidos no reflejan las condiciones totales del mismo.

### **III.3.3 Permeabilidad hidráulica**

También es llamada conductividad hidráulica (K), se define como el caudal que atraviesa una sección unitaria de acuífero bajo la influencia de un gradiente hidráulico unitario. K puede ser determinada en laboratorio (análisis granulométrico), a partir de datos de campo y con un permeámetro. Apartir de la relación  $T = Kb$ , donde b es el espesor saturado del acuífero, se obtiene K, únicamente despejándola.

La permeabilidad es una medida dependiente de la granulometría, la forma y el tamaño de los granos del acuífero; pero no representa, como la transmisividad, las posibilidades de ceder agua. Un acuífero muy permeable, pero de poco espesor, puede ser poco transmisivo y como consecuencia, los pozos no serían muy caudalosos (Villanueva Martínez e Iglesias López, 1986). En la tabla III se da una calificación cualitativa de los valores de K.

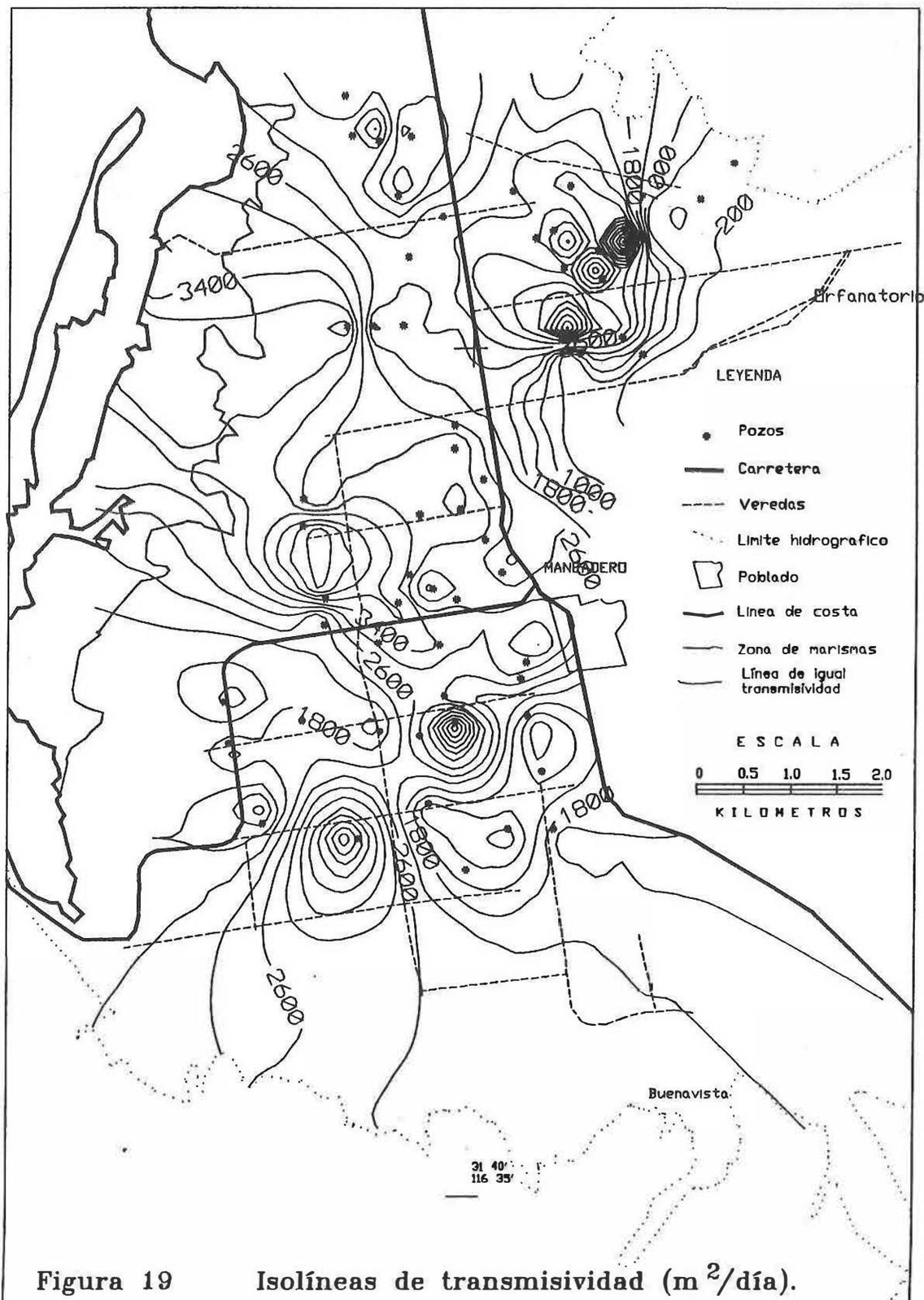


Figura 19

Isolíneas de transmisividad ( $m^2/día$ ).

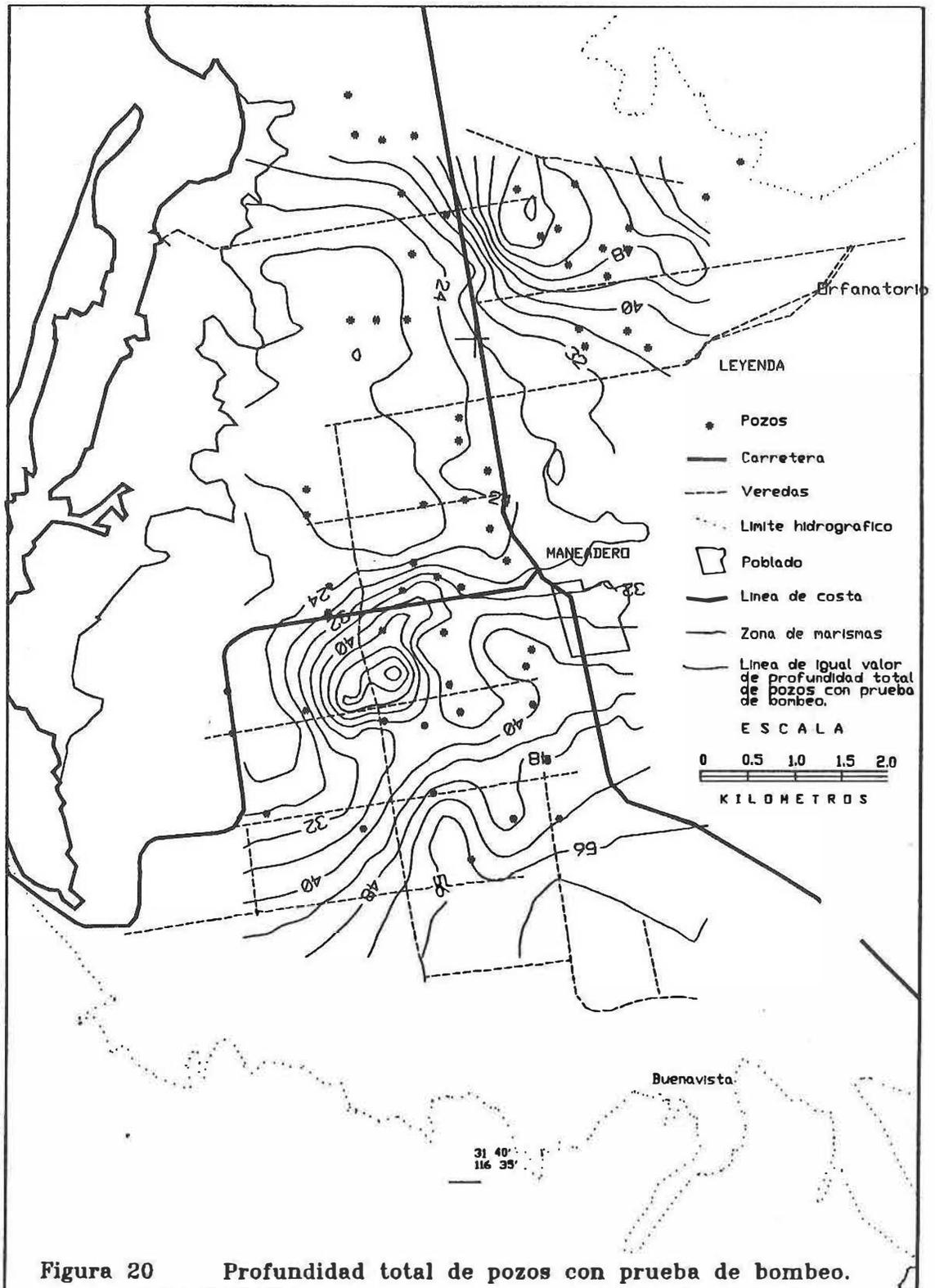


Figura 20 Profundidad total de pozos con prueba de bombeo.

Tabla III. Valores de permeabilidad, según Villanueva e Iglesias (1984).

K (m/día)	Calificación estimativa
$K < 10^{-2}$	Muy baja
$10^{-2} < K < 1$	Baja
$1 < K < 10$	Media
$10 < K < 100$	Alta
$K > 100$	Muy alta

### III.3.4 Coeficiente de almacenamiento

El coeficiente de almacenamiento (S) es un parámetro hidráulico, el cuál nos indica la capacidad que tiene el acuífero de liberar o almacenar agua. En un acuífero libre (acuífero de la planicie costera del Valle de Maneadero), S es igual a la porosidad efectiva, debido a que el agua liberada está en función del drenaje gravitacional del agua en los sedimentos (porosidad).

La dificultad para el cálculo práctico de S es debida a que se necesitan pozos testigos al de bombeo durante las pruebas de aforo, situación que no se dá fácilmente, por lo que este dato se conoce sólo para algunas pruebas. Aunque existen métodos para calcular S con un solo pozo, estos datos suelen no ser fiables y, salvo casos muy especiales se recomienda en la literatura (Villanueva Martínez e Iglesias López, 1984) hacerlo.

Los valores de S para el Valle de Maneadero (acuífero libre), se dan en la tabla IV; dentro de este intervalo se tomaron valores para utilizarlos en la simulación.

Tabla IV. Valores de coeficiente de almacenamiento (S).

POZO	COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO
191	$2.8 \times 10^{-4}$

POZO	COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO
206	$6.2 \times 10^{-3}$
216	$2.3 \times 10^{-5}$
228	$4.9 \times 10^{-4}$
235	$8.9 \times 10^{-3}$
236	$2.0 \times 10^{-4}$
254	$1.3 \times 10^{-4}$
259	$6.1 \times 10^{-6}$
319	$4.9 \times 10^{-5}$
321	$9.6 \times 10^{-2}$
322	$6.5 \times 10^{-3}$

### III.3.5 Discretización del acuífero

La discretización del acuífero, se puede realizar de dos formas, regular e irregularmente. La primera se utiliza cuando no se tiene valores puntuales para los parámetros medidos (T, K y S), o cuando los pozos están equiespaciados, también cuando al construir la rejilla cabe un pozo en una celda. La discretización irregular se realiza cuando los pozos están distribuidos a lo largo del Valle de forma irregular, ésto es, que en algunas partes se amontonan y en otras hay muy pocos. En nuestro caso, se realizó una discretización regular, tomando en cuenta la distribución de pozos, resultando una malla de 38 renglones y 29 columnas (véase la figura 21).



### III 3. 6 Caudal de extracción por pozos

El valor del caudal de extracción (descarga) por bombeo, se obtuvo a través de la Comisión Nacional del Agua (C.N.A., 1991), mediante un trabajo que realizó en 1974 la compañía Técnicas Modernas de Ingeniería. En este trabajo titulado “Estudio Geohidrológico del Valle de Maneadero, B.C.”, se obtuvo un volumen de  $19.1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$  para riego y  $5.0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$  para abastecer de agua potable la Cd. de Ensenada. Este cálculo se obtuvo de los datos de 213 pozos y se tiene un volumen de extracción total de  $24.0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ .

Mares Olmos (1996) calculó la extracción en  $30 \text{ Mm}^3/\text{año}$ , considerando la información de los últimos cinco años (tabla V) de la Promotoría de Maneadero, de la Coordinación de Programación, Informática y Estadística, perteneciente a la Delegación Estatal en Baja California, Distrito de Desarrollo Rural 001-EDA, de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Dicho caudal de extracción se obtuvo considerando la superficie regada y el espesor de la lámina de agua que típicamente utiliza cada regadío de los diversos cultivos de la Planicie Costera del Valle de Maneadero.

Tabla V. Valores de extracción por bombeo. (Tomado de Mares Olmos, 1996).

Período	Extracción pozos agrícolas ( $\text{Mm}^3$ )	Extracción pozos CESPE ( $\text{Mm}^3$ )
90 - 91	24.4	7.0
91 - 92	28.0	7.0
92 - 93	26.1	7.0

<b>Período</b>	<b>Extracción pozos agrícolas (Mm<sup>3</sup>)</b>	<b>Extracción pozos CESPE (Mm<sup>3</sup>)</b>
93 - 94	20.6	7.0
94 - 95	19.2	7.0
<b>Promedio</b>	<b>23.60</b>	<b>7.0</b>

La obtención de valores puntuales exactos o reales de los caudales de extracción se puede realizar mediante varios métodos. Uno sería mediante el cálculo a través del diámetro de la tubería, donde el caudal es el cuadrado del diámetro de la tubería. Otro método más exacto es poner medidores en cada pozo, pero sale muy caro y además los campesinos los quitan o los descomponen. Un método muy factible de realizar y para el cual sólo se necesitaría tiempo es, traducir los consumos eléctricos a horas de bombeo; si la Comisión Federal de Electricidad tiene registros de por lo menos 15 años atrás, se podría obtener con exactitud el caudal que se utilizó para cada período.

### **III.3. 7 Recarga subterránea**

Esta recarga se obtiene en función del plano de piezometría, lo que se realiza es la obtención del caudal de paso en cierto canal, aquí se obtuvieron dos canales de entrada, uno en el cauce del arroyo San Carlos y el otro en el arroyo el Zorrillo (tabla VI). Para cada una de las épocas de los promedios de piezometría se tienen los mismos canales.

La fórmula que se aplica para estos casos es:

$$Q = ibT \quad (4)$$

donde:

$Q$  = caudal de paso ( $m^3/día$ ).

$i$  = gradiente hidráulico.

$b$  = ancho del canal (m).

$T$  = transmisividad del canal ( $m^2/día$ ).

En la tabla VI se observan los cálculos para los canales antes mencionados.

Tabla VI. Cálculo del caudal de paso.

CANAL	EPOCA	$i$	$b$ (m)	$T$ ( $m^2/día$ )	$Q$ ( $m^3/día$ )
1	lluvia	0.010666	2600	300	8320
2	lluvia	0.004	2000	2600	20800
1	estiaje	0.013333	2600	300	10400
2	estiaje	0.0088	2000	2600	45760

La figura 22 muestra los canales 1 y 2 para los promedios de piezometría de la época de estiaje y de lluvias.

El caudal de paso, es la recarga subterránea que recibe el acuífero y es de suma importancia, ya que en nuestro caso es la principal fuente de recarga del acuífero de Maneadero.

### III.3. 8 Recarga vertical

Esta recarga está referida a la precipitación pluvial que llega a infiltrarse. La infiltración es el proceso, por el cual el agua penetra en el suelo a través de la superficie de la tierra y queda retenida por él o alcanza el nivel estático incrementando el volumen del acuífero (Custodio, 1983). A continuación se da una lista de los factores que influyen a la infiltración:

- La compactación natural o inducida del terreno.

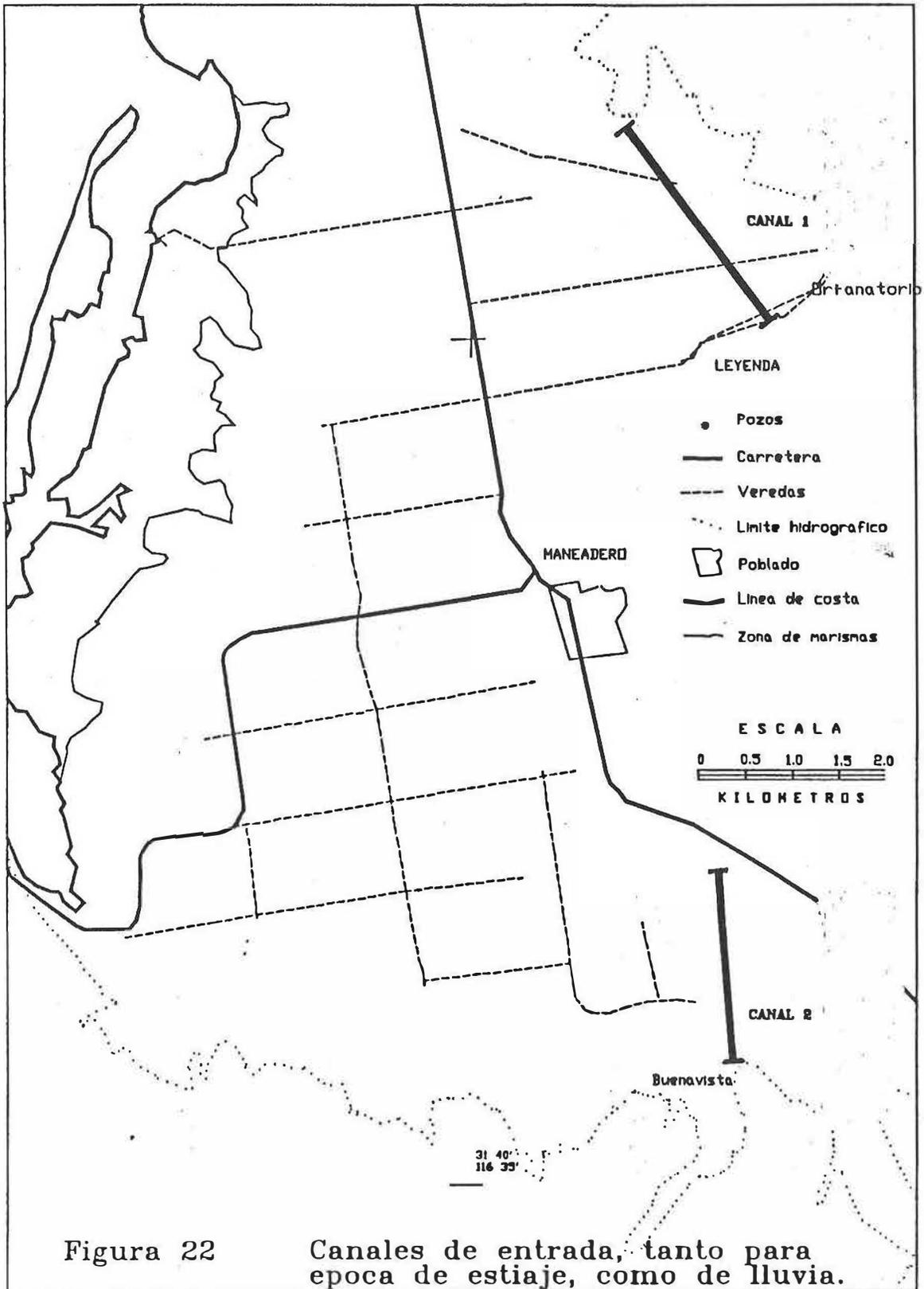


Figura 22

Canales de entrada, tanto para epoca de estiaje, como de lluvia.

- El tipo y la cantidad de vegetación o cultivo.
- La pendiente del terreno.
- El fracturamiento de la roca.
- Textura y estructura del terreno.
- Calor específico del terreno.
- Humedad inicial del terreno.
- Espesor de la lámina del agua.
- Intensidad de la lluvia.
- Turbidez del agua.
- Contenido de sales.

También es posible el cálculo de la infiltración mediante el posicionamiento de infiltrómetros, de lisímetros y del análisis de hidrogramas en cuencas pequeñas (menores de 10 km<sup>2</sup>). Debido a que no se cuenta con información de aparatos de medición y de los factores que influyen en la infiltración, en el presente trabajo se estimó la velocidad de infiltración por recarga de lluvia con las variaciones de S.

#### **III.4 Modelo conceptual del acuífero**

Teniendo definidos los parámetros hidráulicos, las condiciones de frontera, los gastos de recarga y descarga del acuífero, y la geometría del acuífero, entonces procederé a describir el esquema conceptual del acuífero.

Las fronteras tipo impermeable son: al sur, la península de Punta Banda; al este, la Sierra Tres Hermanos; y al norte, la planicie de Todos Santos.

La Bahía de Todos Santos es la frontera de potencial constante.

En la figura 23 se muestra el modelo conceptual del acuífero de la planicie costera de Maneadero. En este modelo queda sintetizada la información que se ha discutido previamente. Respecto a la evapotranspiración, ésta se considera despreciable, ya que los niveles freáticos están por debajo de los 5 m, por lo que a esas profundidades dicho término es poco significativo (Prickett y Lonquist, 1971).

#### **IV RESULTADOS**

Se realizaron varias corridas con el programa MODFLOW. En éstas se variaron diversos parámetros del modelo y las condiciones iniciales. Los experimentos numéricos de calibración fueron:

1. Se consideró como condición inicial la piezometría promedio del período de estiaje (véase figura 13); la profundidad del basamento hidráulico obtenido por gravimetría (descrito en el apartado III.3.1); la transmisividad calculada mediante ensayos de bombeo (véase apartado III.3.2); el coeficiente de almacenamiento (S) obtenido según el punto III.3.4. En las celdas donde se desconoce se asignó el valor reportado en la literatura se asignó el valor de 0.08, para esta litología. El caudal de extracción fué de  $1084.3 \text{ m}^3/\text{día}$  en cada uno de los 101 pozos piloto, cuya suma anual de éstos es de  $40 \text{ Mm}^3$ , cantidad reportada por C.N.A. (1991). La recarga subterránea indicada en el apartado III.3.8 se modeló mediante una batería de pozos en el arroyo San Carlos y el Zorrillo. La simulación fué a 3 meses. La figura 24 muestra el resultado del modelado con estos parámetros, en ella se observa el comportamiento de las aportaciones

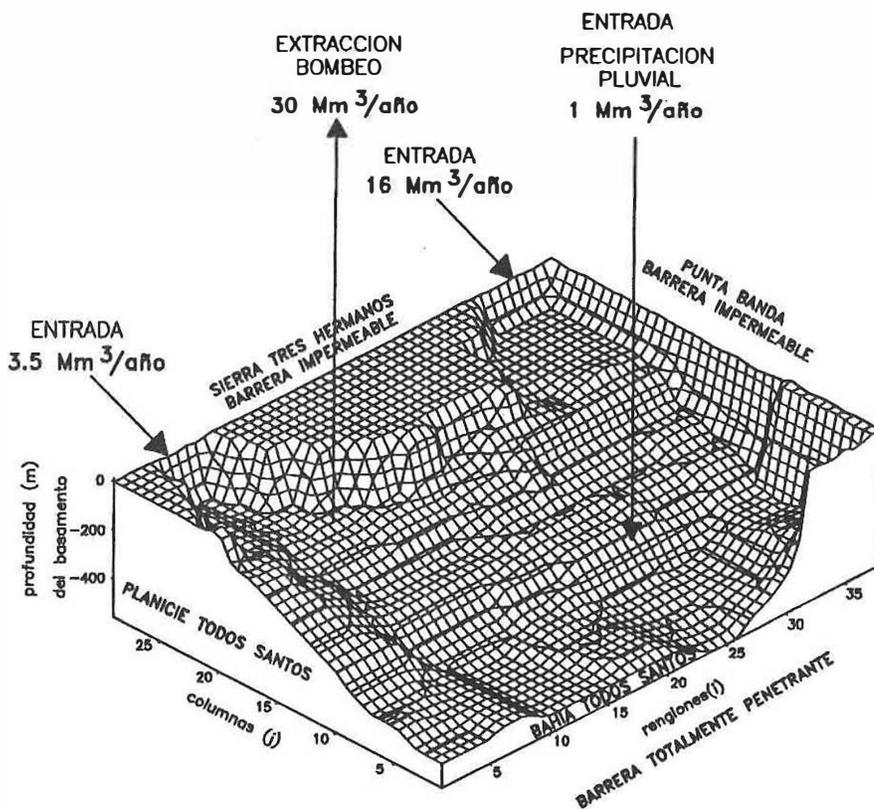
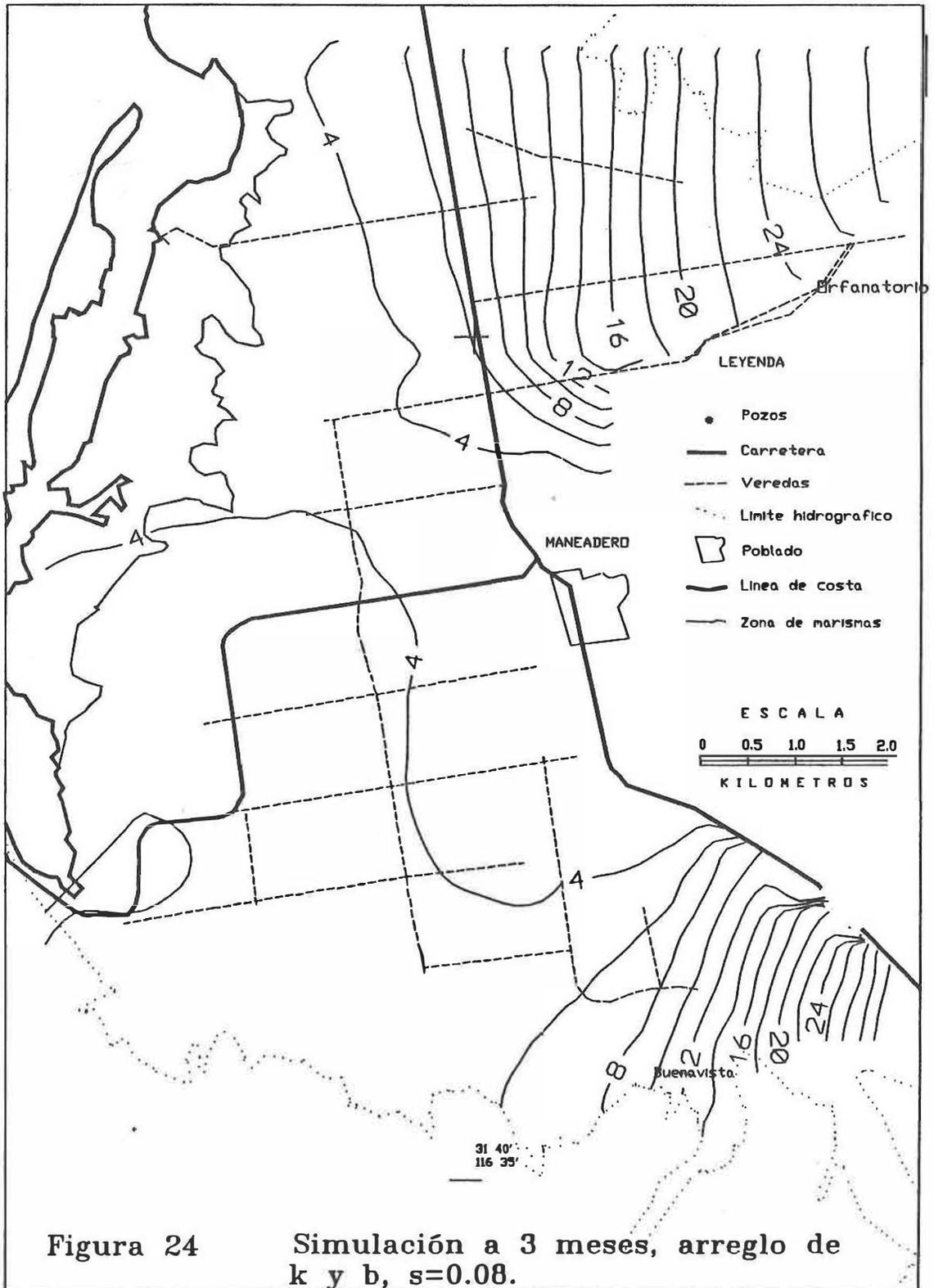


Figura 23

Modelo conceptual del acuífero de la Planicie Costera del Valle de Maneadero, B.C. Vista al SE.



subterráneas principales. Las depresiones locales que se observan en el plano de piezometría promedio del período de lluvias cabe señalar que, no se pueden reproducir ya que se está sobrestimando el espesor de sedimentos y el coeficiente de almacenamiento. Lo anterior se verificó en otras pruebas en las cuales se variaron dichos parámetros.

2. Se tomaron los mismos parámetros que el ejemplo anterior excepto lo siguiente:

el basamento se modificó restándole 100 m a cada valor de cada celda. Lo anterior debido a que por la compactación litostática es de esperarse una disminución en el coeficiente de almacenamiento y en la conductividad hidráulica de las porciones más profundas del acuífero. Respecto a  $S$ , se consideró de 0.01 lo cual corresponde, conforme a la literatura, con el límite inferior de acuíferos libres. La simulación se realizó a 3 meses. La figura 25 muestra las tendencias principales de los cauces de los arroyos San Carlos y el Zorrillo, las cuales coinciden en general con los datos observados. Respecto a la depresión local de la porción noreste, ésta se logró reproducir debido a la modificación del basamento, lo cual sugiere que en efecto, el basamento hidrogeológico es menos profundo que el basamento geológico. En el apéndice 4 (datos de entrada) y 5 (datos de salida), se muestra la base de datos utilizada conforme al formato del MODFLOW.

3. Los parámetros del modelado son los mismos que el caso anterior, excepto el período de modelación, el cual en este experimento es de 3 meses. En la figura 26 se observan dichos resultados, nótese que en el periodo a 6 meses (figura 25) las alturas piezométricas

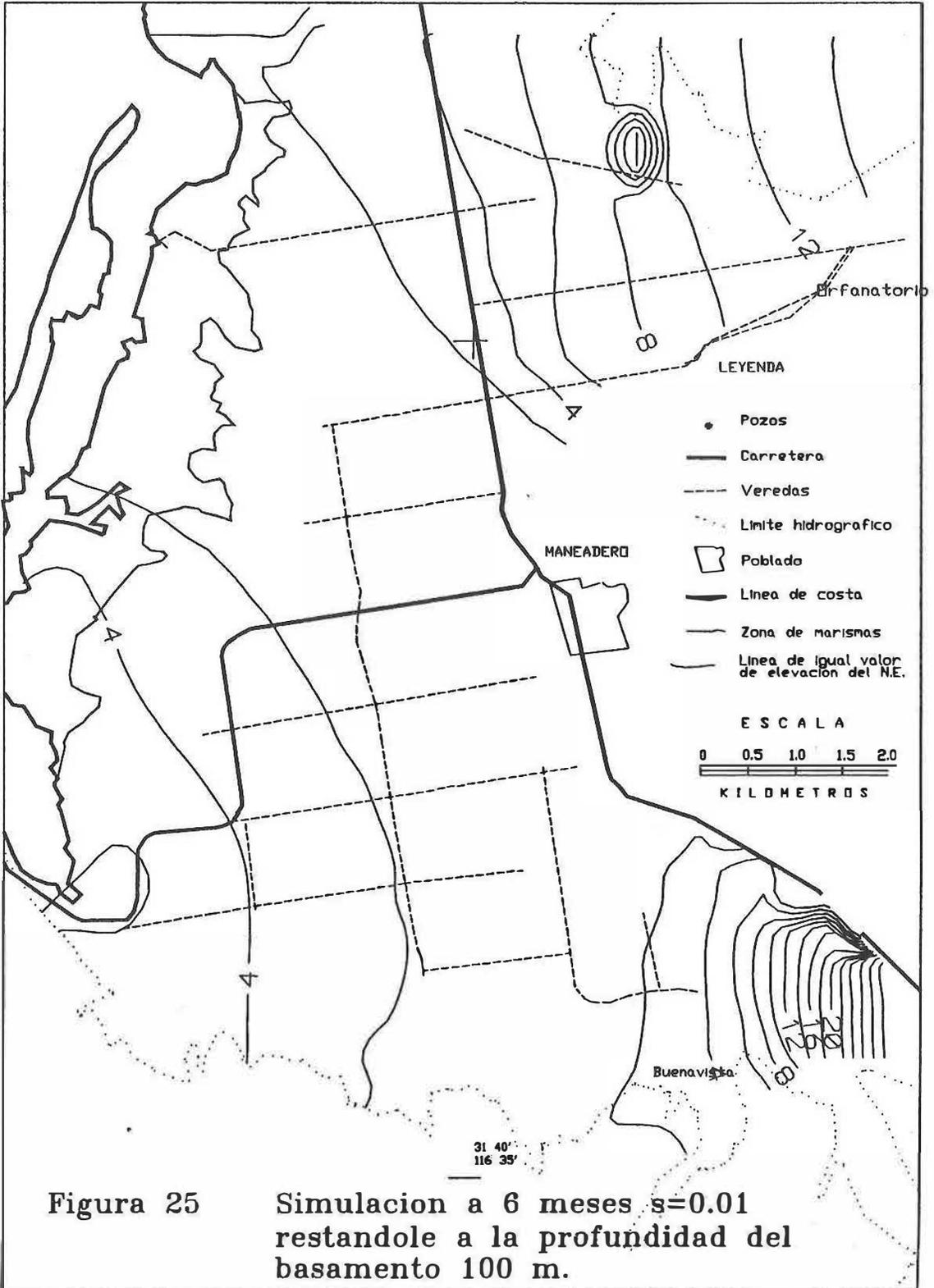
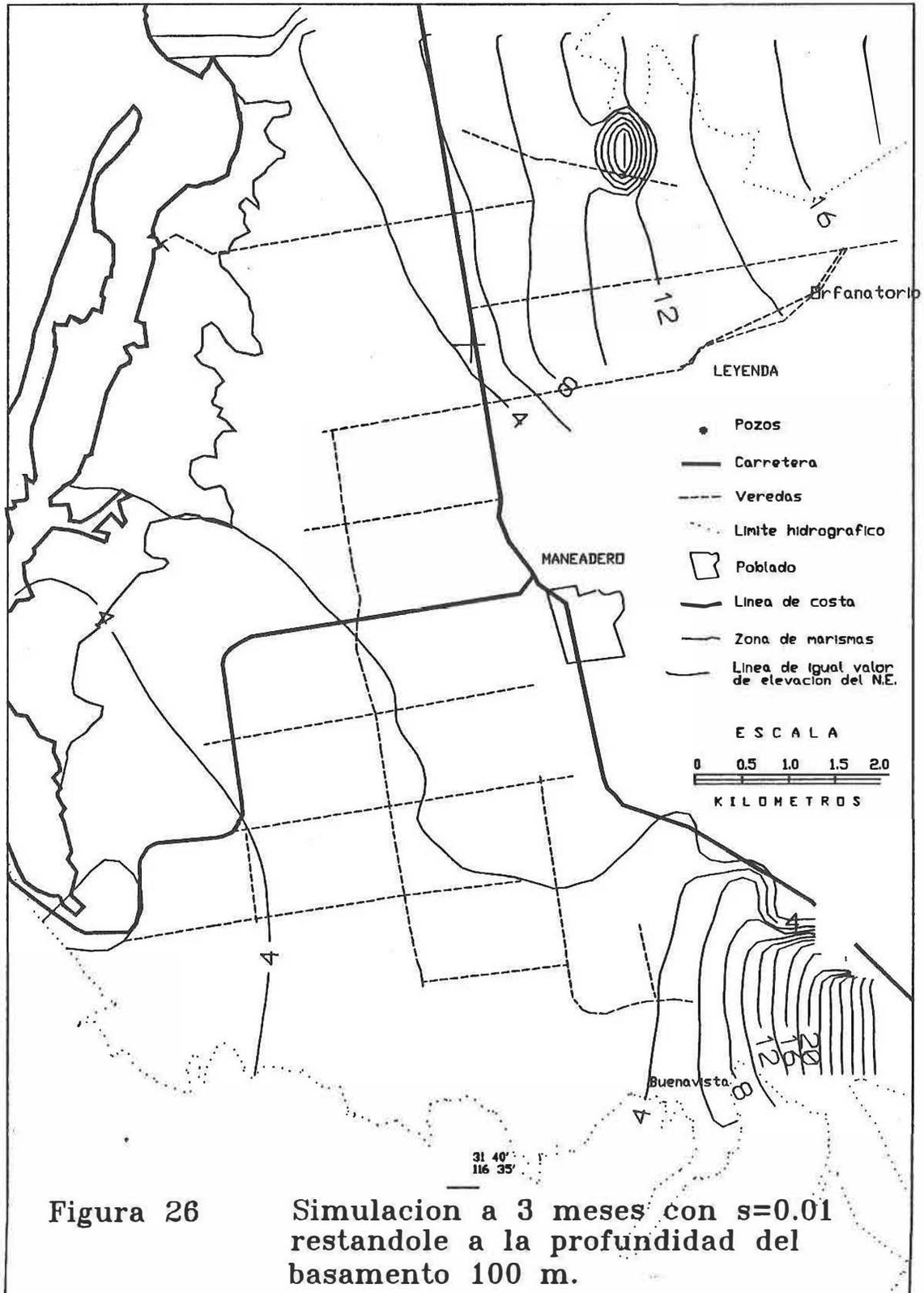


Figura 25

Simulacion a 6 meses  $s=0.01$   
restandole a la profundidad del  
basamento 100 m.



tienen una altura menor con respecto a la de 3 meses (figura 26), lo anterior se debe al mayor periodo de bombeo. Las alturas piezométricas menores son equivalentes a profundidades mayores respecto al nivel del suelo.

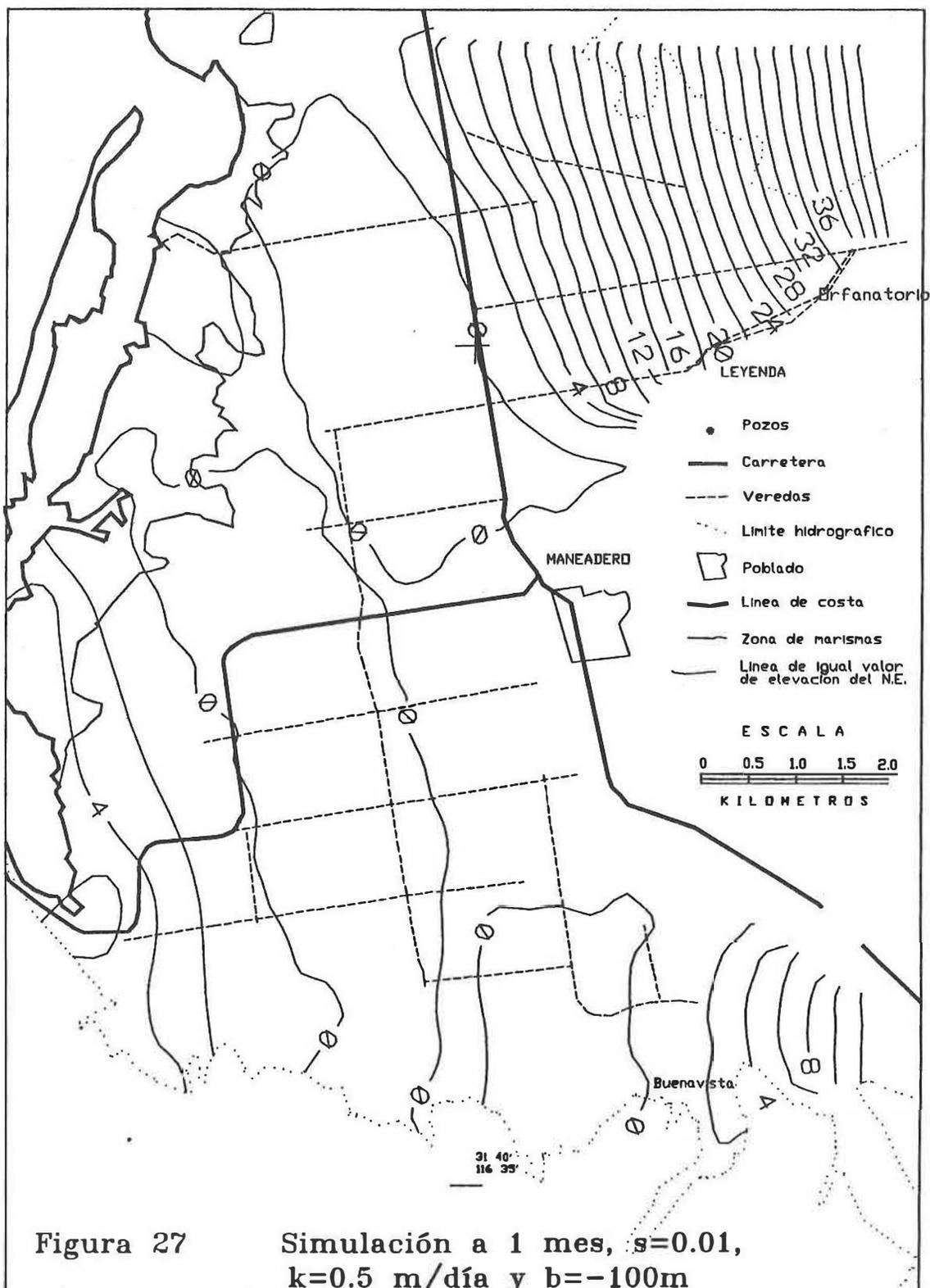
4. Se consideró un coeficiente de almacenamiento de 0.01, la conductividad hidráulica de 0.5 m/día, una profundidad del basamento de 100 m, y la simulación se realizó a un mes. La figura 27 muestra las tendencias principales de flujo de los arroyos San Carlos y el Zorrillo. Empiezan a aparecer depresiones, lo cual es un indicador de que el espesor con propiedades hidráulicas del acuífero no corresponde al basamento geológico.

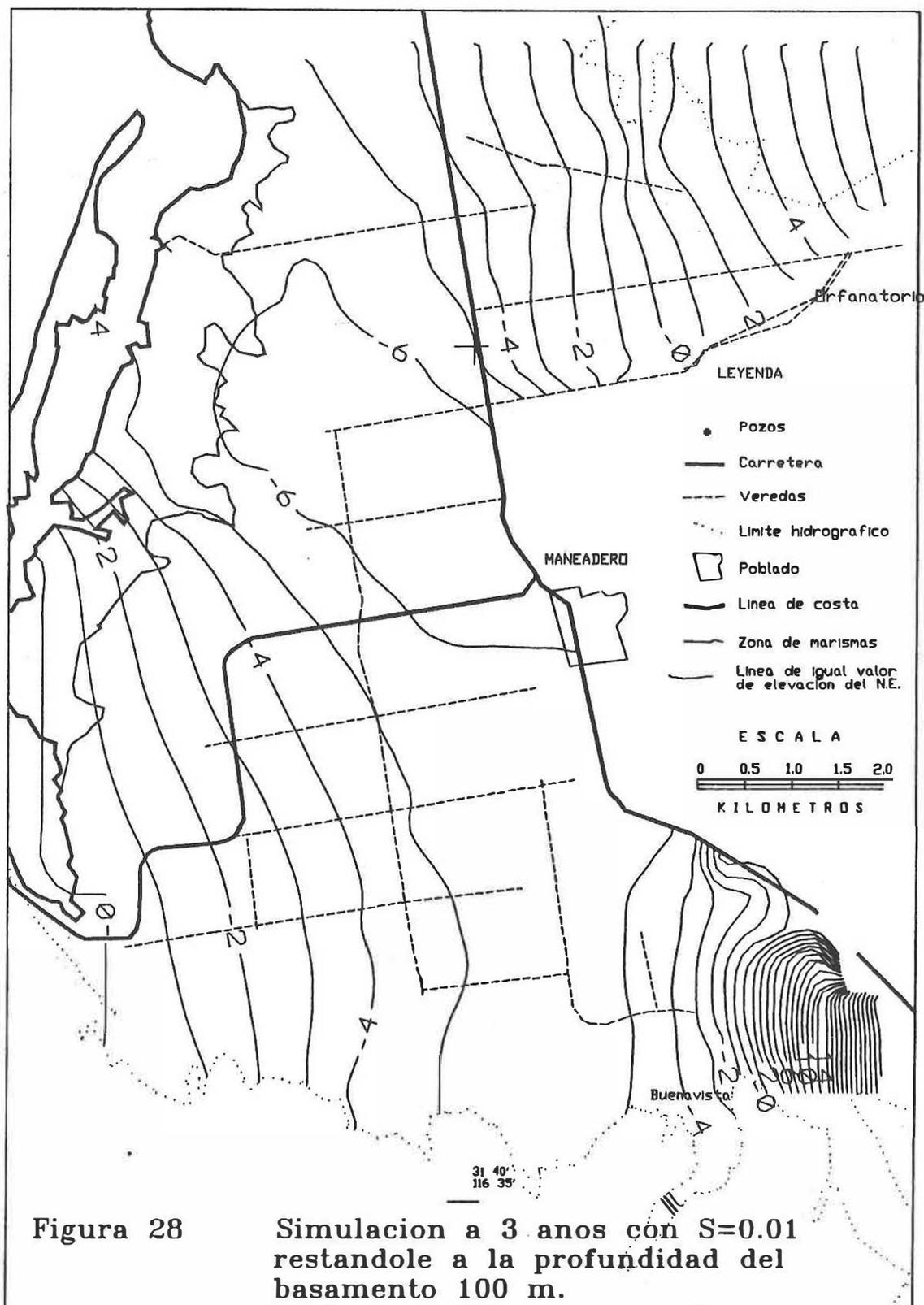
En las descripciones de los los casos anteriores, se muestran algunas de las múltiples corridas del MODFLOW.

Respecto al carácter predictivo del modelo, cabe decir que se pueden plantear diversos escenarios, por ejemplo:

- a) Caudales de extracción constante en periodos de sequía, es decir, periodos de explotación prolongados. Modificación de los caudales de extracción debido a la tecnificación del campo, aumentos en el área de cultivos y/o incremento en el consumo humano en el uso del agua.
- b) Inyección por aguas negras tratadas.

Estos son algunos de los escenarios que se pueden plantear con el modelo aquí propuesto. A manera de ejemplo se considerará el caso a), el cual prevalece en la región norte del país. En este experimento se utilizó un tiempo de simulación de tres años, y caudales de extracción de 830 m<sup>3</sup>/día para los 101 pozos piloto. En la práctica, se ha visto





que los caudales de extracción de la planicie costera para efectos de regadío han disminuído (Mares Olmos, 1996), por lo que un escenario como éste, bien puede representar una situación que puede darse en el área estudiada. Se consideró una recarga subterránea de  $56160 \text{ m}^3/\text{día}$ , véase apartado III.3.8, una S de 0.01 y los valores de k y b descritos en el ejemplo 2. Los resultados obtenidos se observan en la figura 28, en este modelo se abaten los niveles piezométricos 6 m hacia la porción central de la planicie costera. Esta depresión propicia el avance de la intursión salina. En los cauces de los arroyos San Carlos y el Zorrillo, las alturas piezométricas disminuyen a tal grado que están por debajo del nivel medio del mar, lo cual representaría una zona vulnerable a la intrusión salina.

## V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones:

- Se ha propuesto un modelo numérico de flujo, el cual tiene la característica de simular el comportamiento hidráulico del acuífero. El modelo reproduce las tendencias de las alturas piezométricas, ésta es su limitación y compromiso que se ha establecido en el planteamiento del problema.
- Para lograr reproducir accidentes locales (espacial y temporalmente), en la piezometría es necesario afinar algunos parámetros y variables, los cuales son:  
  
La profundidad del basamento, caudales de extracción, propiedades hidráulicas y variaciones litológicas en la vertical.
- Se observó que variando la profundidad del basamento, los resultados modelados son sensibles incluso a oscilaciones de alta frecuencia de la piezometría.

Las recomendaciones propuestas son:

- Se debe hacer una campaña para el cálculo de Q por alguno de los métodos propuestos anteriormente (véase el apartado III.3.6).
- Se deben realizar pozos exploratorios, los cuales tengan la columna litológica con la descripción granulométrica y se les realicen pruebas de bombeo y registro de pozos. La localización propuesta para estos pozos se observa en la figura 29, ésta se propone en función de los datos que se tienen, y con estos nuevos pozos se ampliarían los datos de geología del subsuelo y a la mejor comprensión de las condiciones estratigráficas de la zona en cuestión.
- Realizar una campaña con métodos geofísicos de exploración profunda sensible a la detección del basamento geohidrológico. Esto podría hacerse utilizando el método transitorio electromagnético en el dominio del tiempo.
- Se debería realizar un muestreo a lo largo y ancho de todo el Valle de Maneadero, para pruebas de mecánica de suelos que darían valores del coeficiente de almacenamiento y conductividad hidráulica y así se afinaría el término de la infiltración por lluvia.

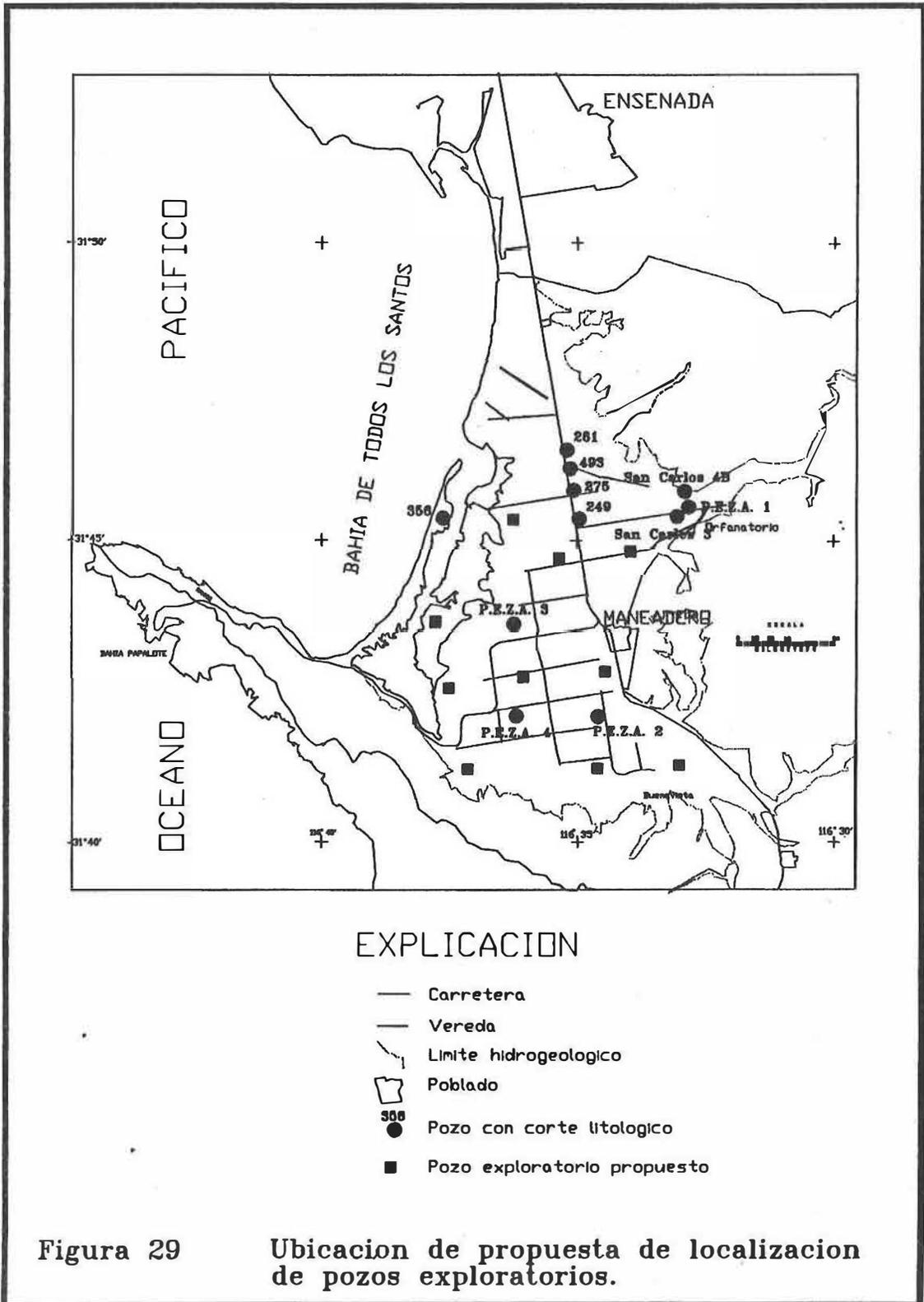


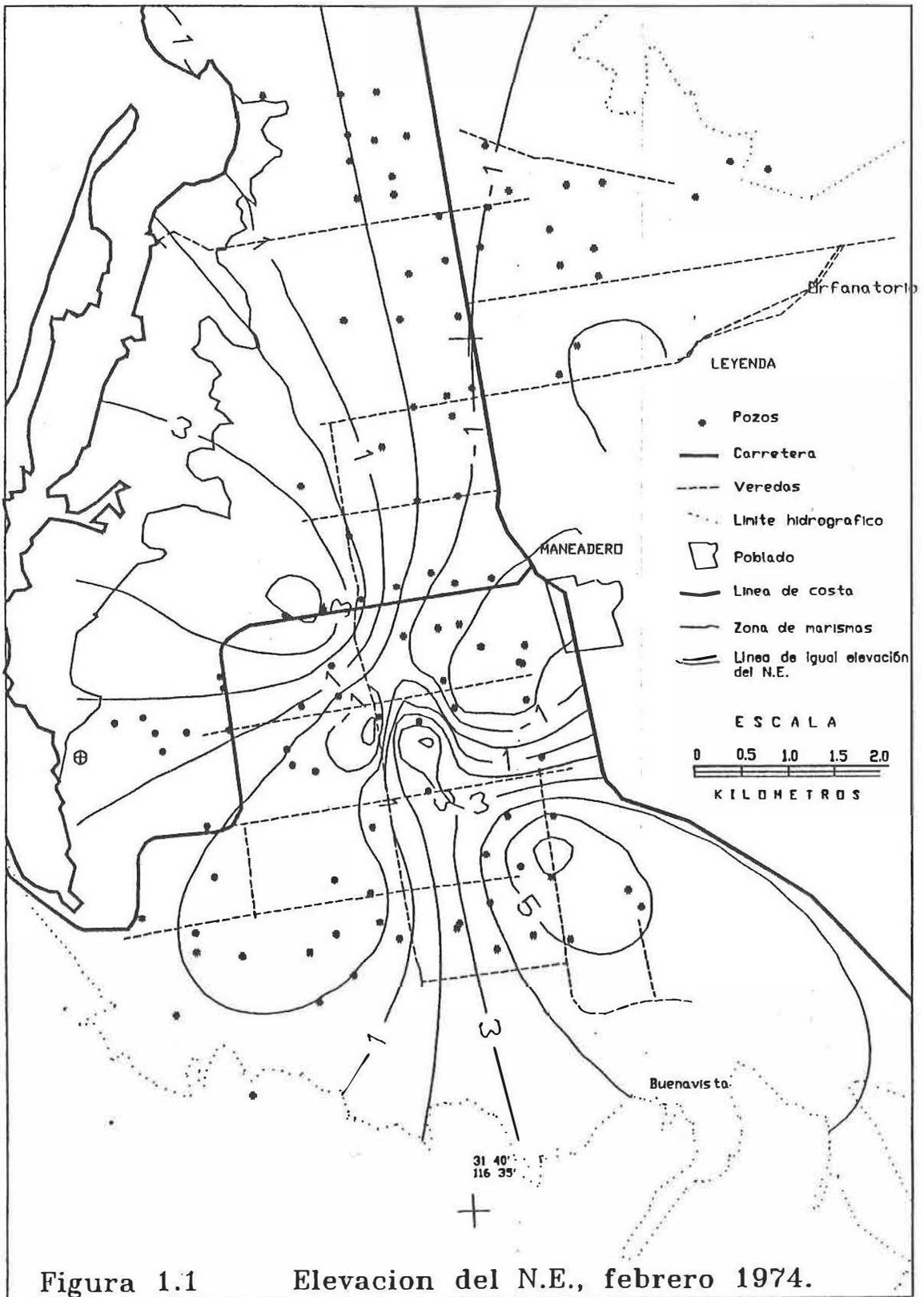
Figura 29

Ubicacion de propuesta de localizacion de pozos exploratorios.

## LITERATURA CITADA

- Allen, Sivel y Stheli. 1960. Agua Blanca fault- A major transverse structure of northern Baja California. México. Bulletin of the Geological Society of America. 71:457-482.
- Anderson, M.P. y W.W. Woessner. 1992. Applied groundwater modeling, simulation of flow and advective transport. Academic Press. San Diego. 381 pp.
- CNA. 1991. Estudio de actualización piezométrica y geoquímica del valle de Maneadero, B.C. Gerencia Estatal en Baja California.
- Cruz Falcón A. 1986. Gravimetría de la cuenca del arroyo San Carlos Ensenada, B.C. Tesis Maestría. CICESE. Ensenada. 82 pp.
- Custodio E., M.R. Llamas. 1983. Hidrología subterránea, tomo I y II. Ediciones Omega. España. 1157 pp.
- Domenico, P. A. y F. W. Schwartz. 1990. Physical and chemical hydrogeology. John Wiley and Sons. U.S.A. 824 pp.
- Gastil, R.G., R.P. Phillips y E.C. Allison. 1975. Reconnaissance geology of the State of Baja California. Geological Society of America. Colorado, U.S.A.
- Herrera B. J., C. Sarmiento L. y F. Herrera B. 1996. Informe Técnico de Valle de Maneadero. CICESE. México. No publicado.
- INEGI. Carta geológica Maneadero. 1974.
- Lucena C.B. 1991. Apuntes del curso: Hidrogeología aplicada, modelos matemáticos de simulación directa. España.
- McDonald M.G. y A.W. Harbaugh. 1988. A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. Scientific Software Group. Washington, D.C. 512 pp.
- Mares O. M. A. 1996. Propuesta preliminar de manejo del acuífero costero del valle agrícola de Maneadero, B.C. Tesis Maestría. COLEF Y CICESE. México. No publicada.
- Prickett, T.A. y C.G. Lonquist. 1972. Selected digital computer techniques for groundwater resource evolution. Illinois State Water Survey. Urbana. Bulletin 55. 62pp.
- Villanueva, M. y A. Iglesias. 1984. Pozos y acuíferos, técnicas de evaluación mediante ensayos por bombeo. Instituto Geológico Minero de España. España. 462 pp.

**APENDICE 1**



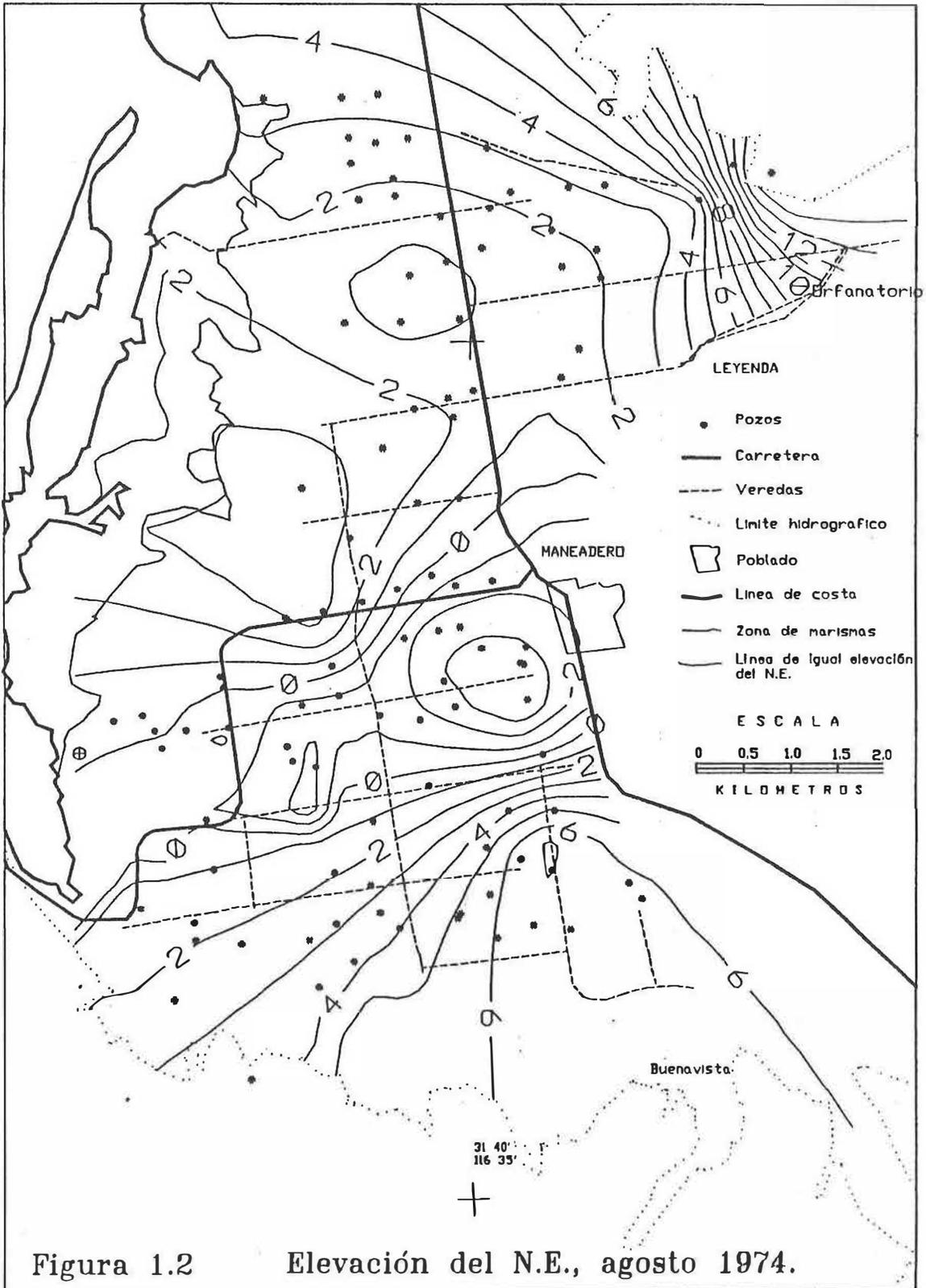
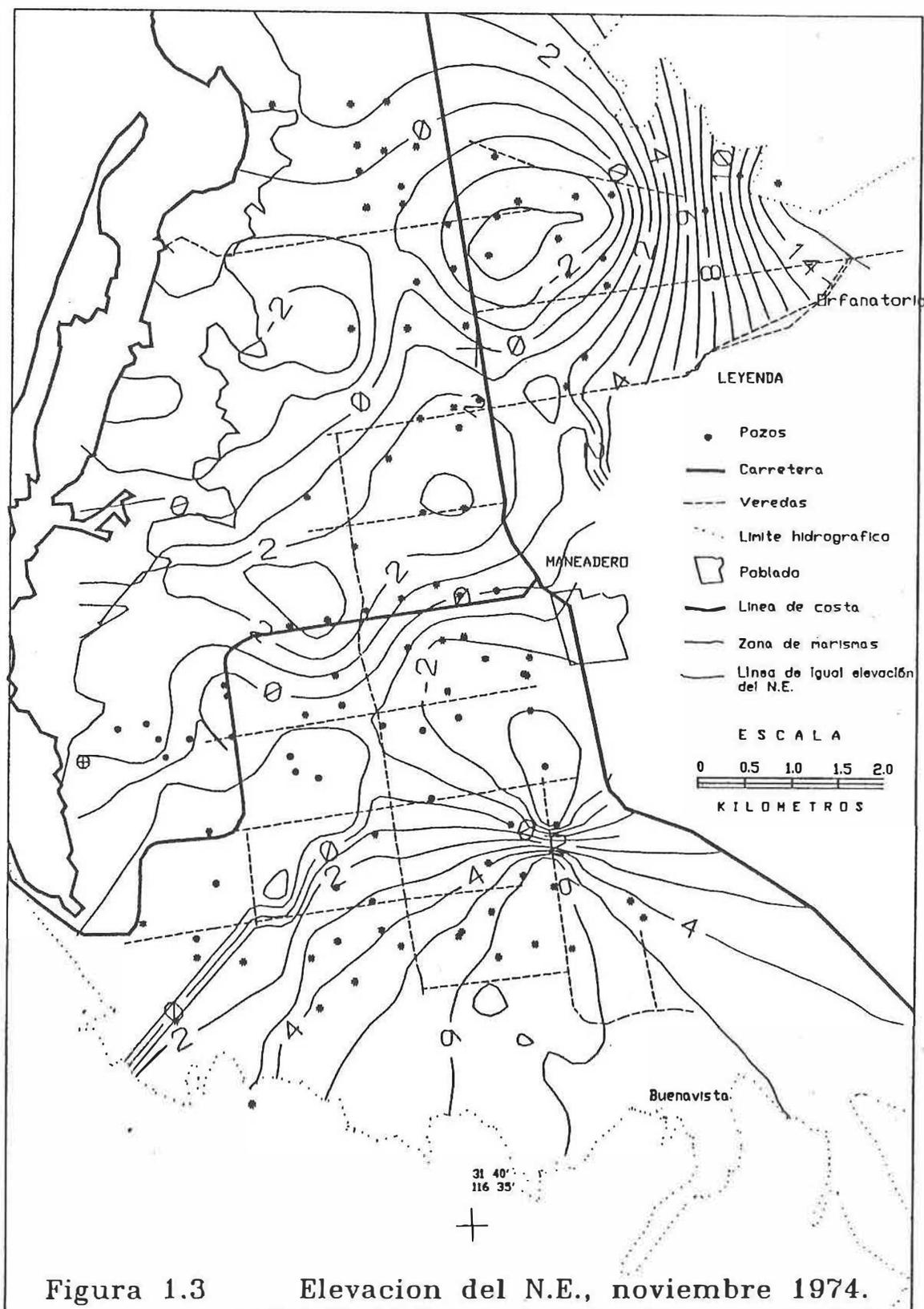
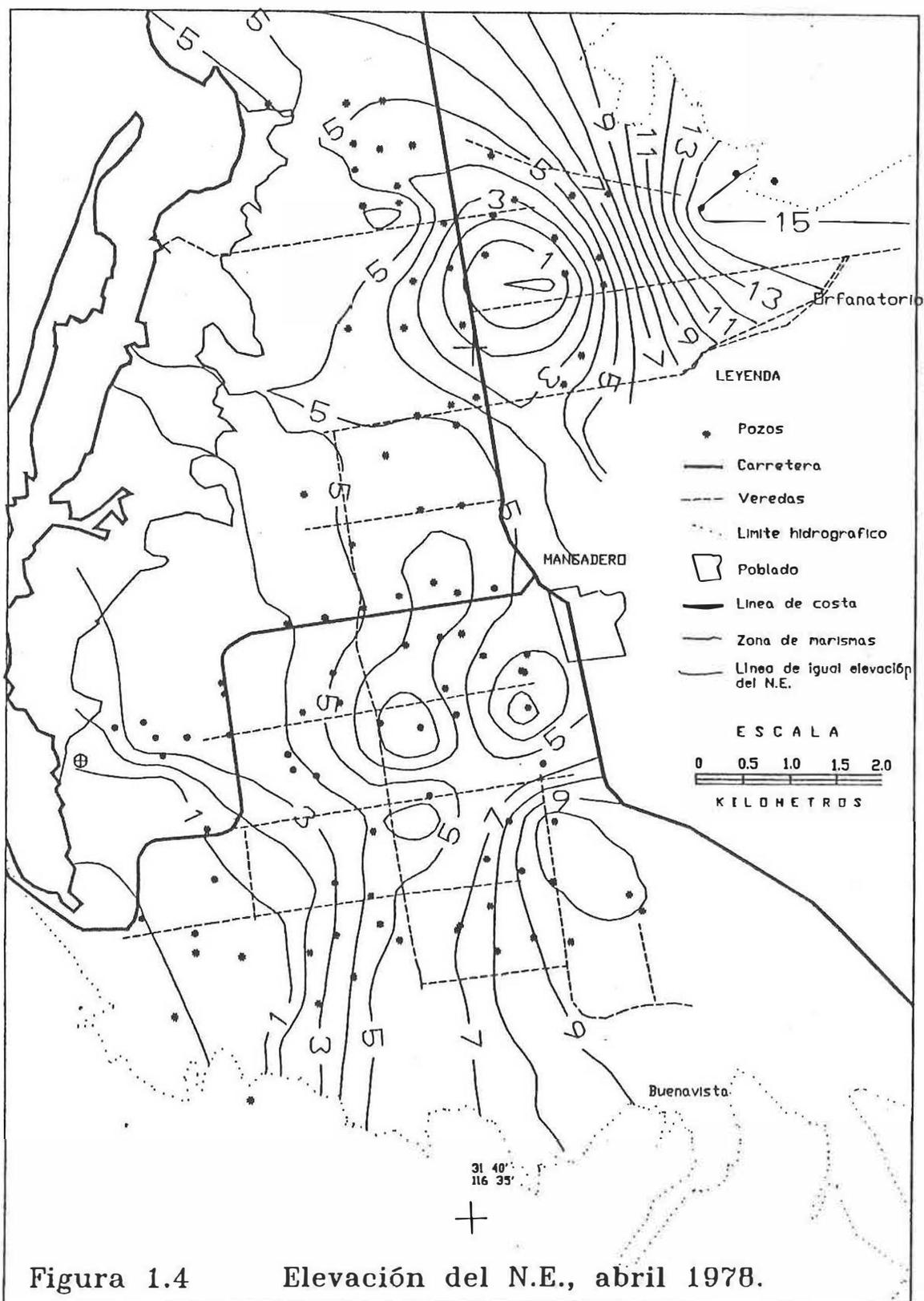


Figura 1.2 Elevación del N.E., agosto 1974.





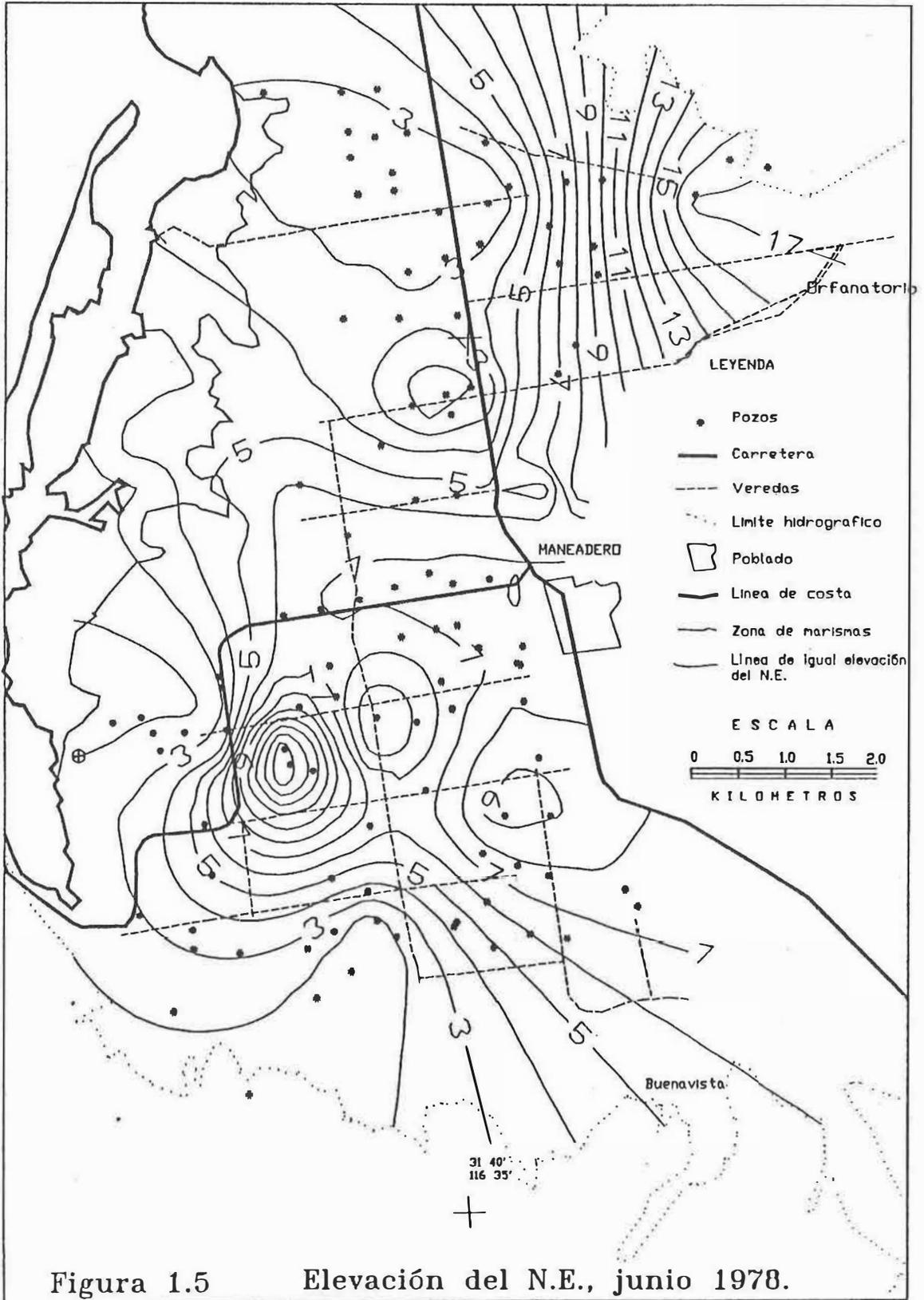
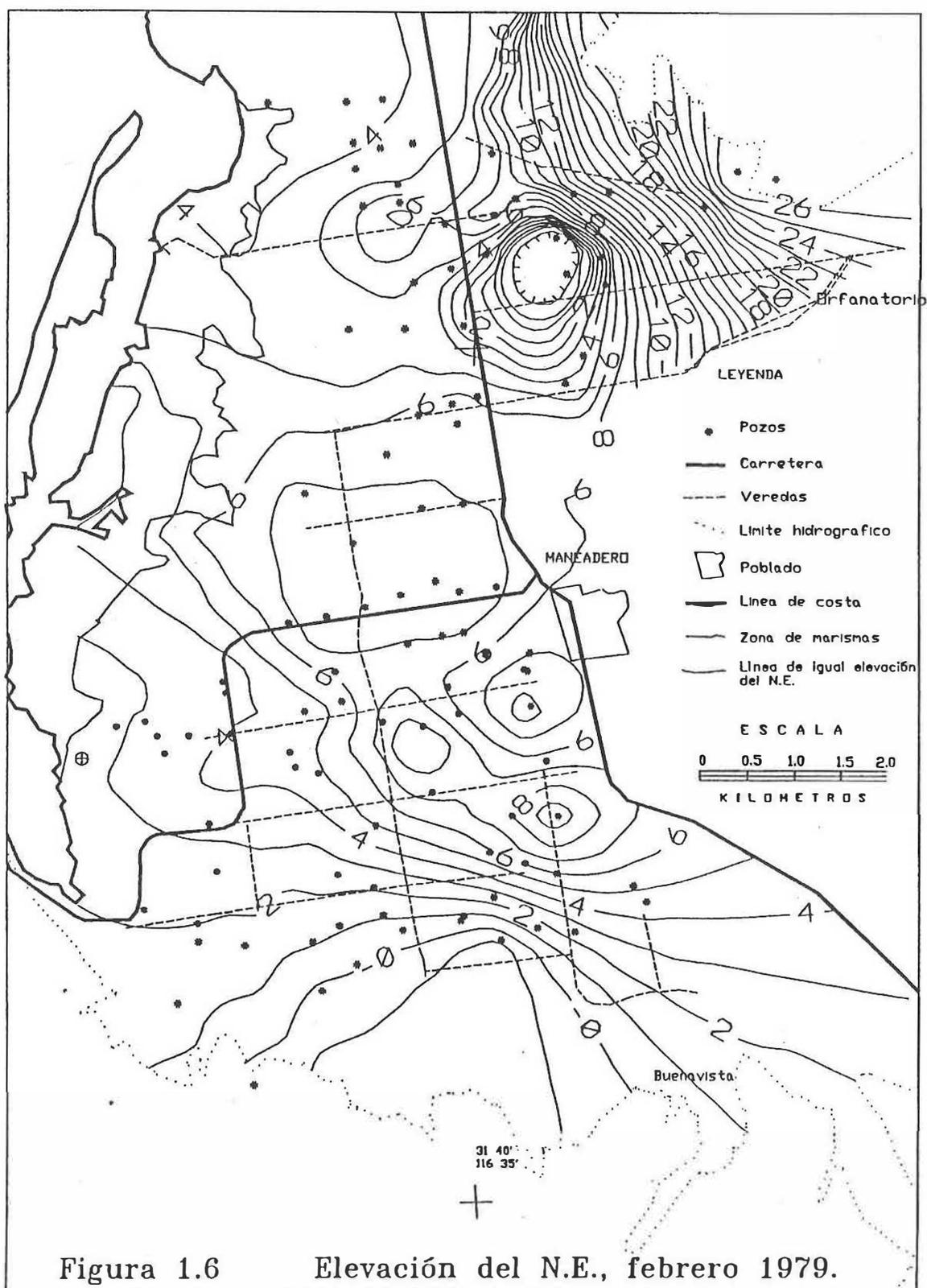


Figura 1.5 Elevación del N.E., junio 1978.



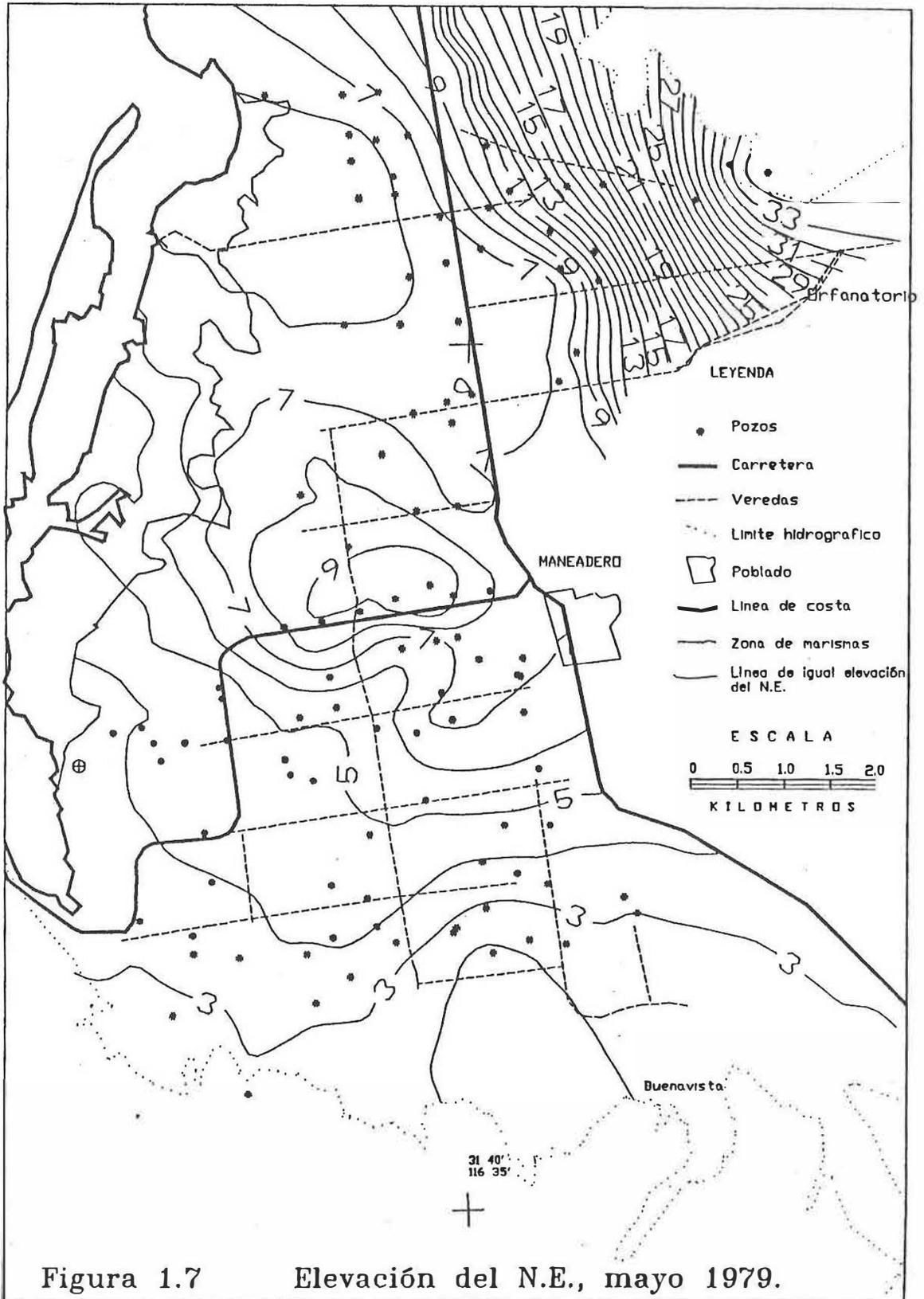
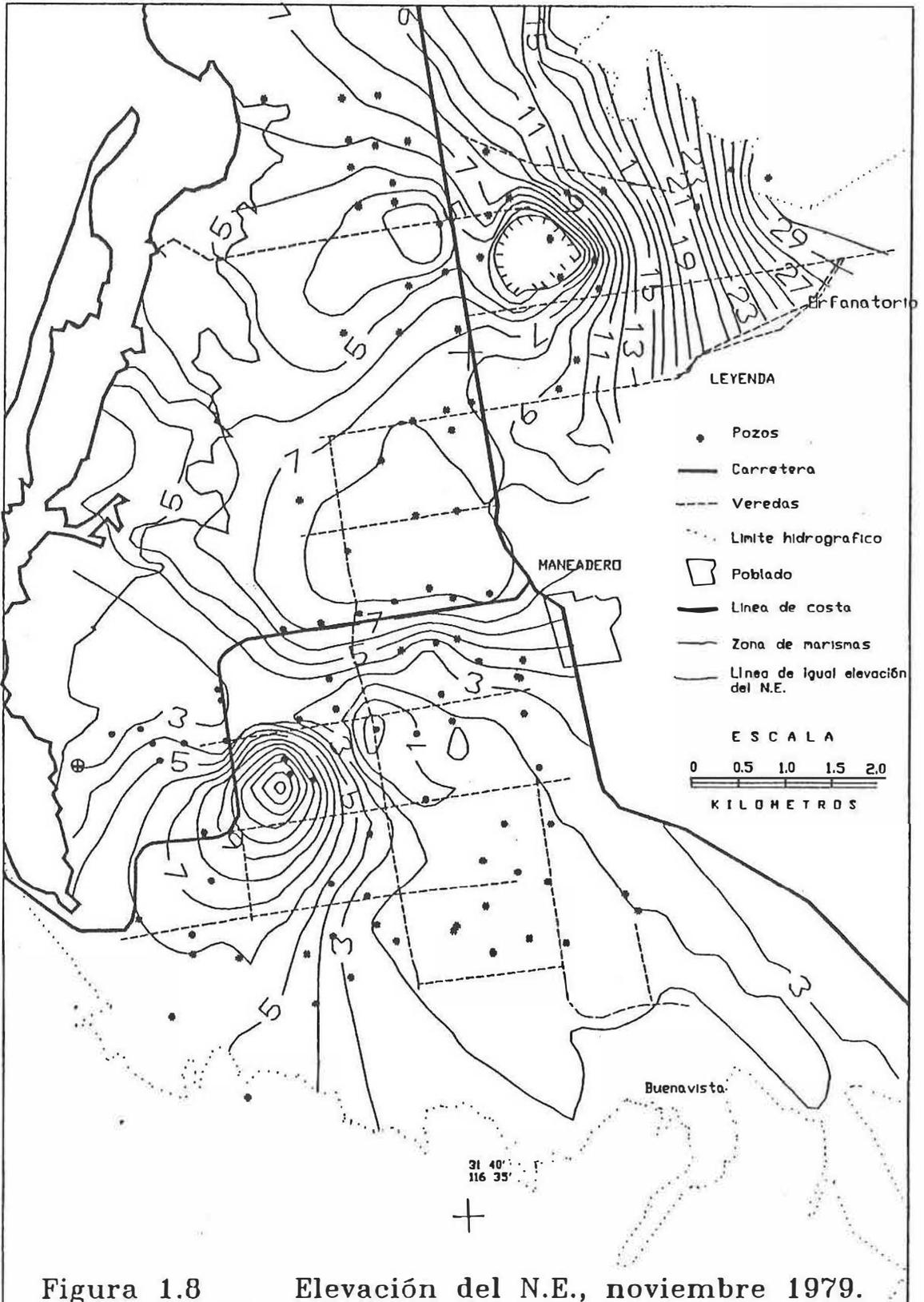
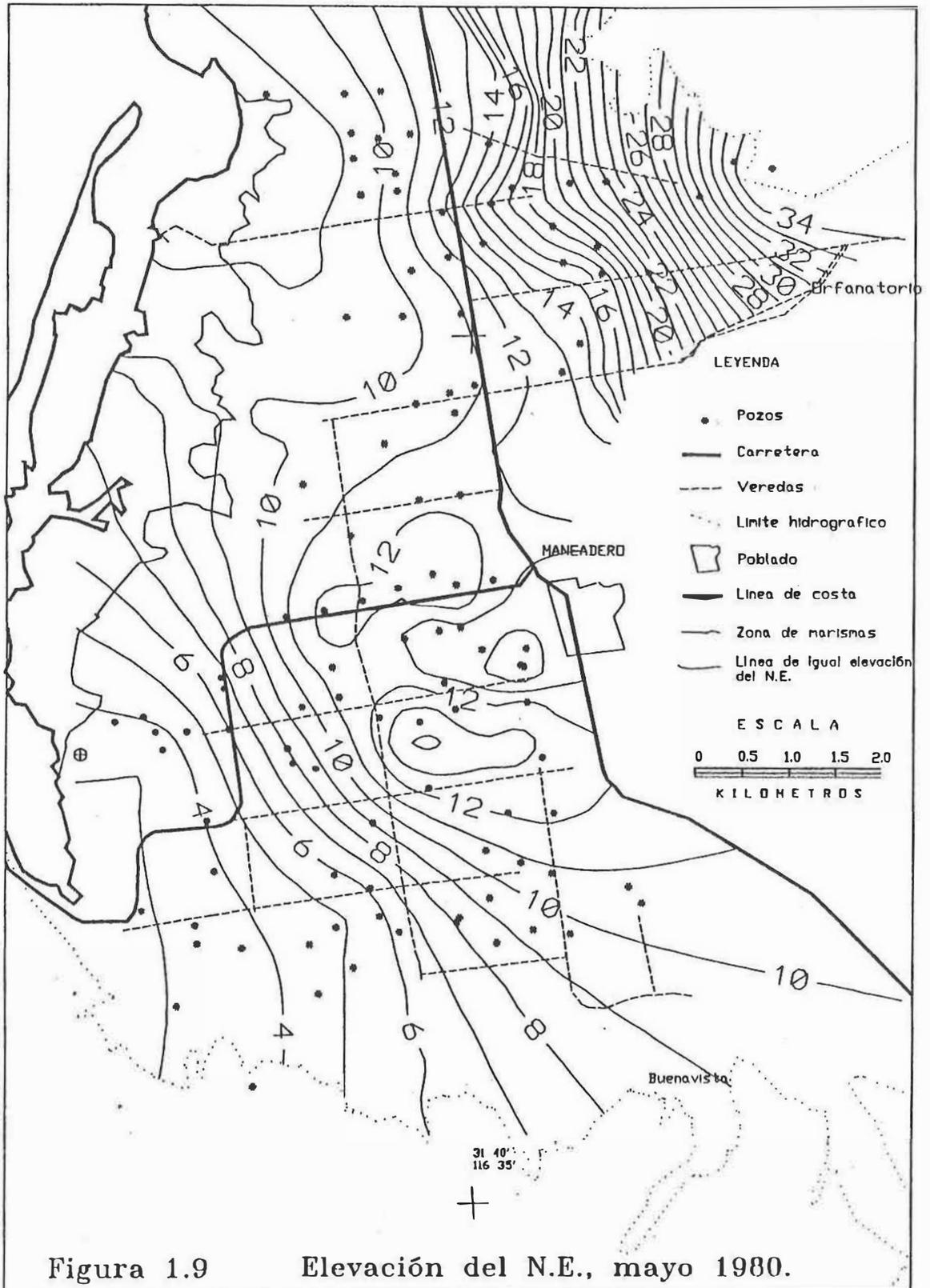
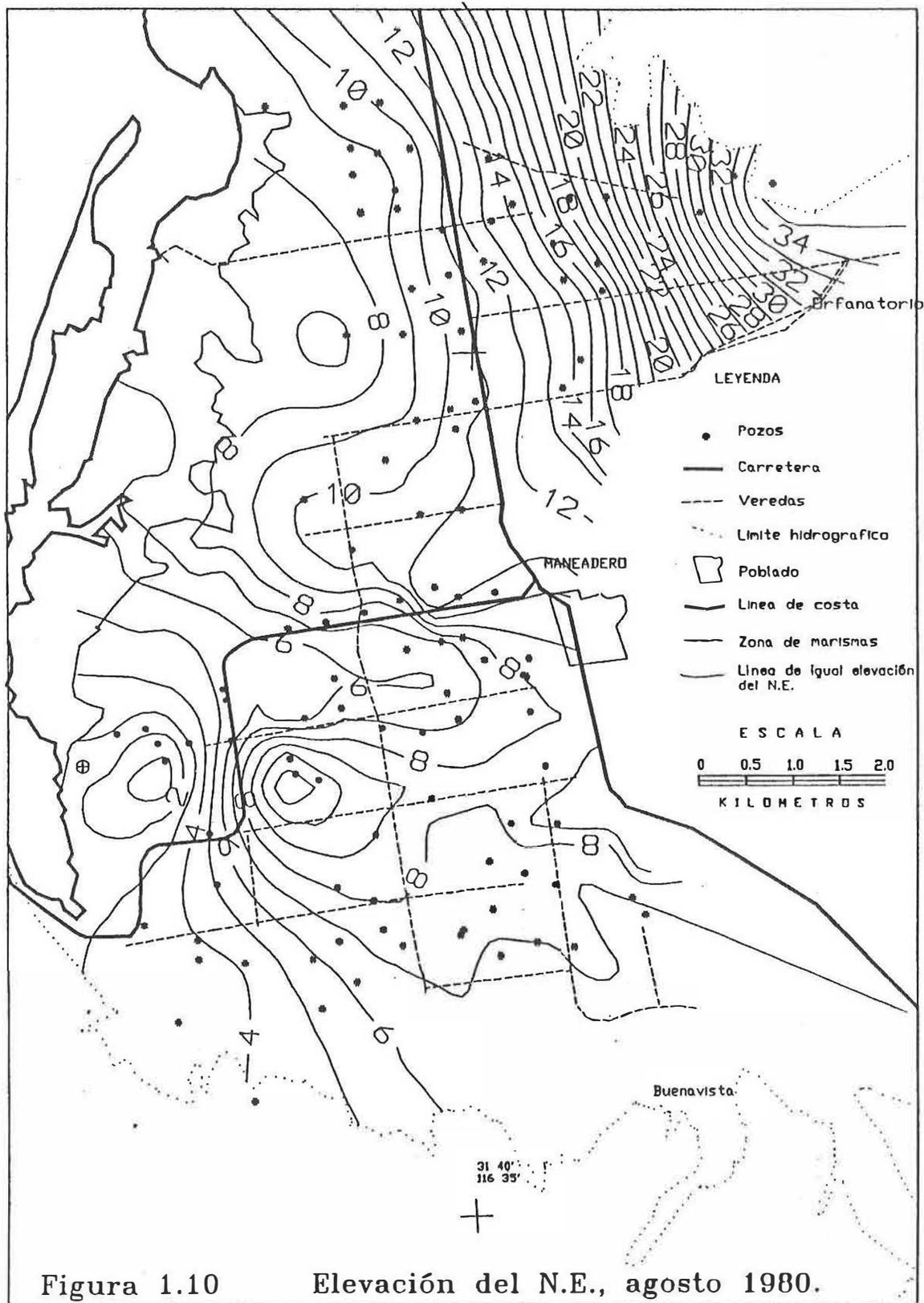
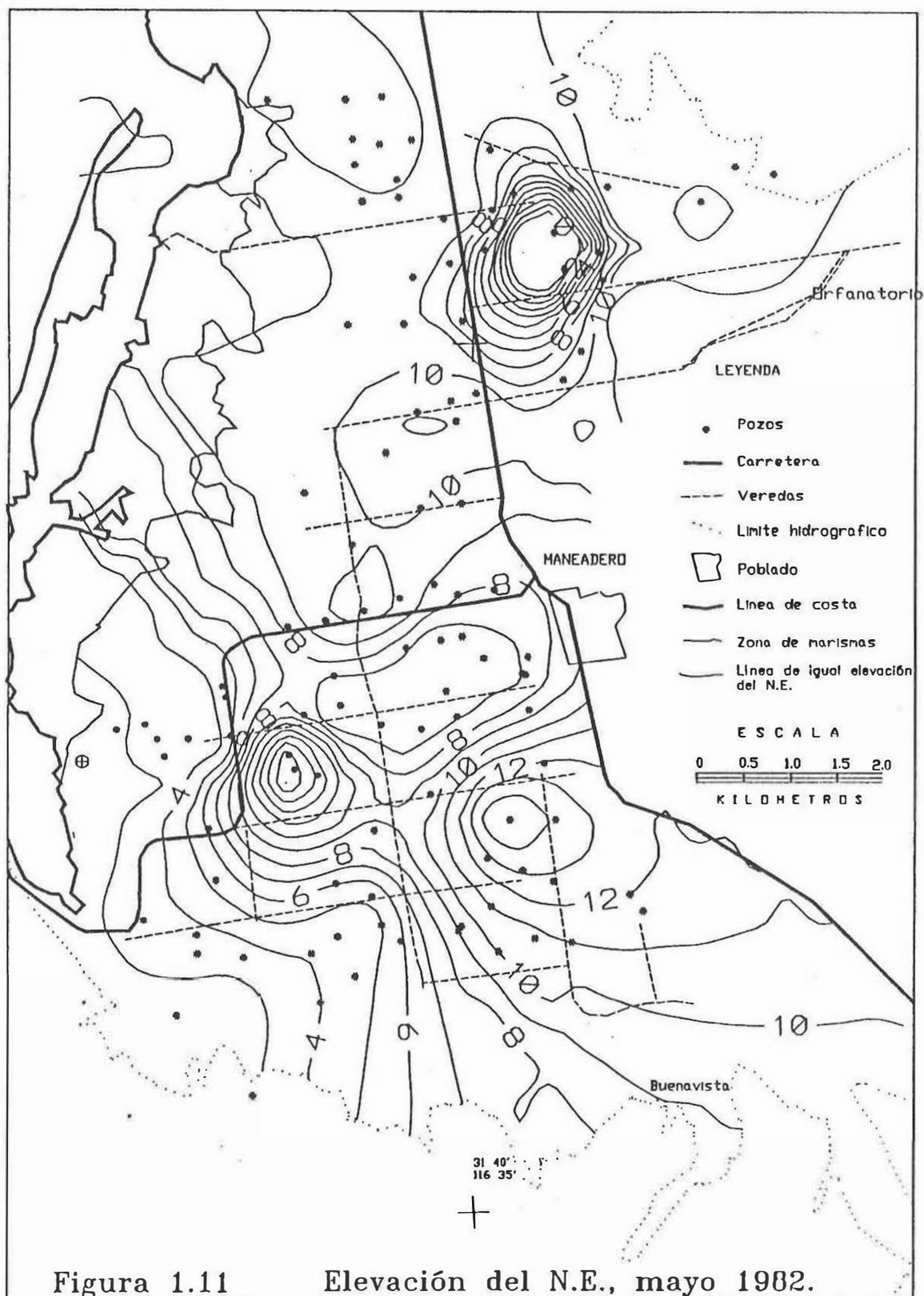


Figura 1.7 Elevación del N.E., mayo 1979.









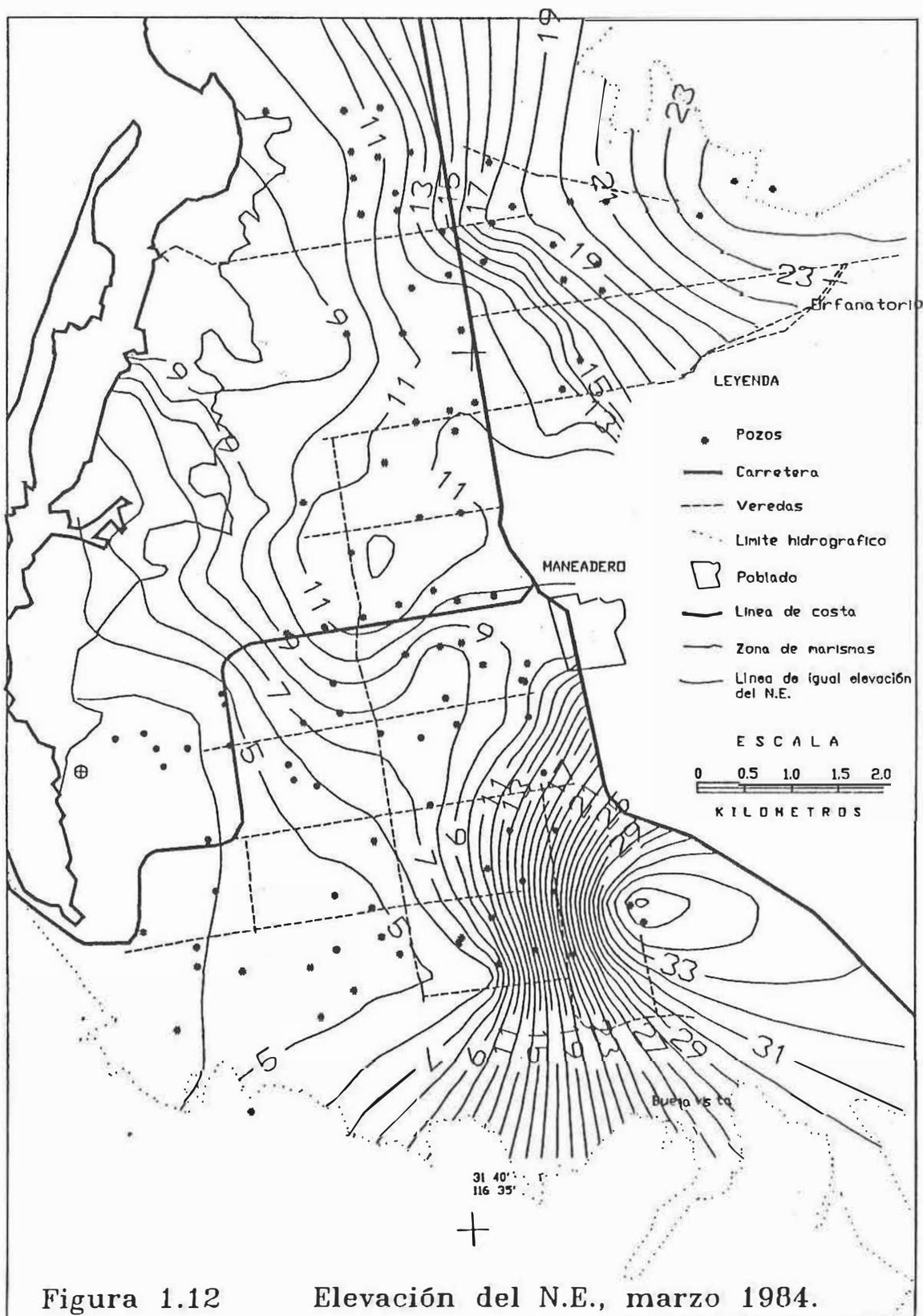
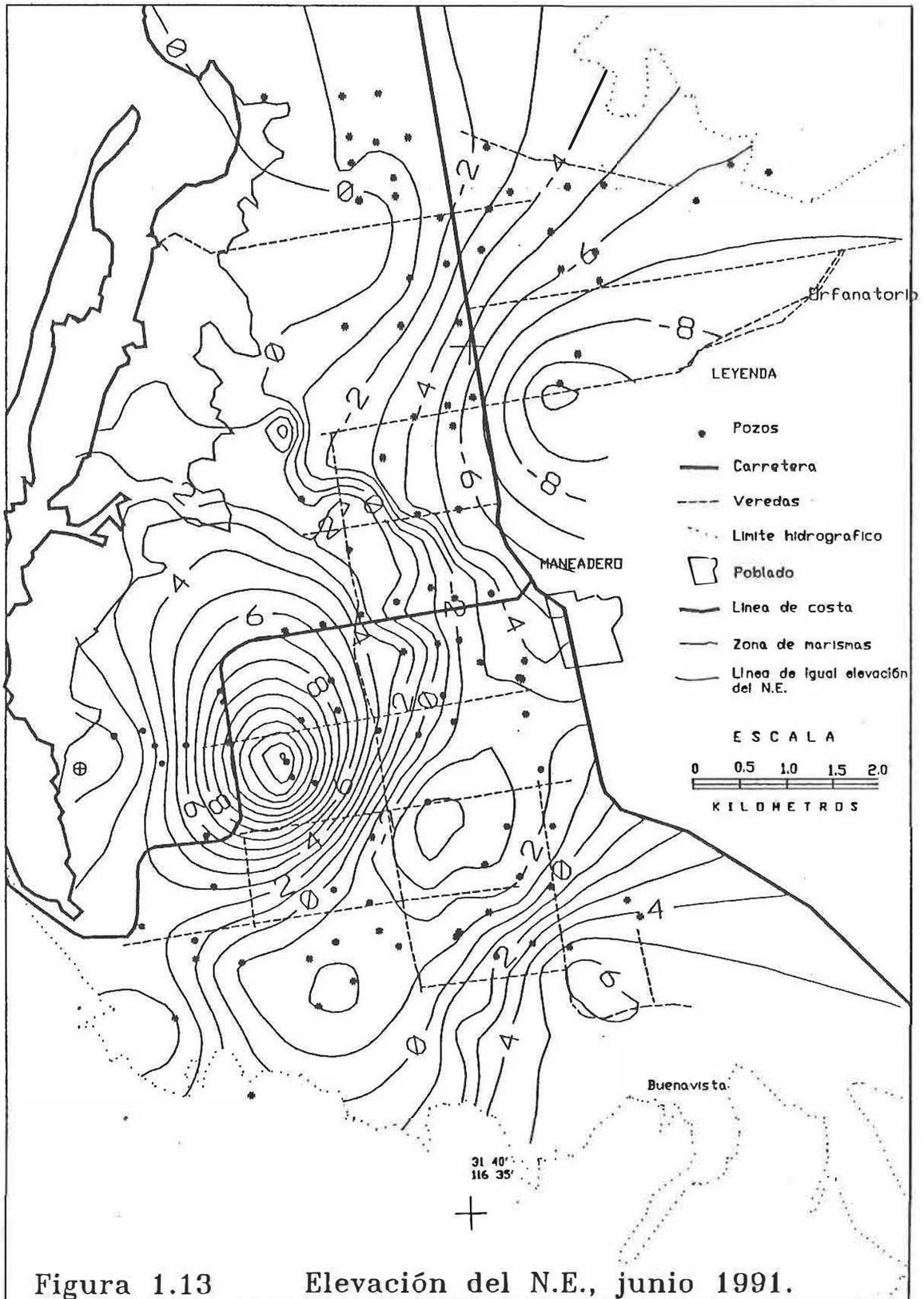


Figura 1.12

Elevación del N.E., marzo 1984.



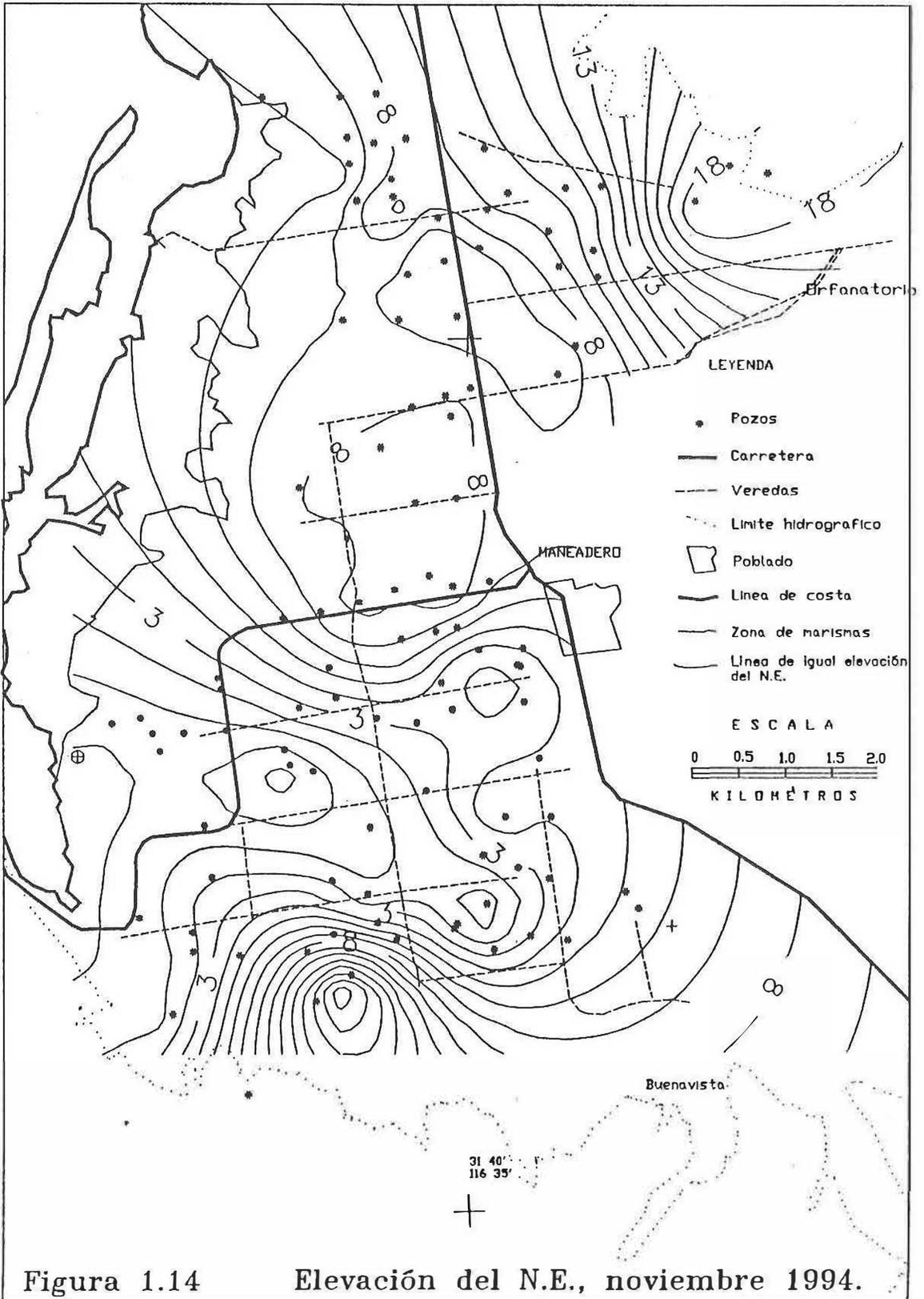


Figura 1.14 Elevación del N.E., noviembre 1994.

**APENDICE 2**

A continuación se hace una descripción del método:

El movimiento del agua se basa en la ecuación diferencial parcial inhomogénea siguiente:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (5)$$

donde:

$K_{xx}$ ,  $K_{yy}$  y  $K_{zz}$  = valores de la conductividad hidráulica a lo largo de los ejes X, Y y

Z.

$h$  = nivel piezométrico.

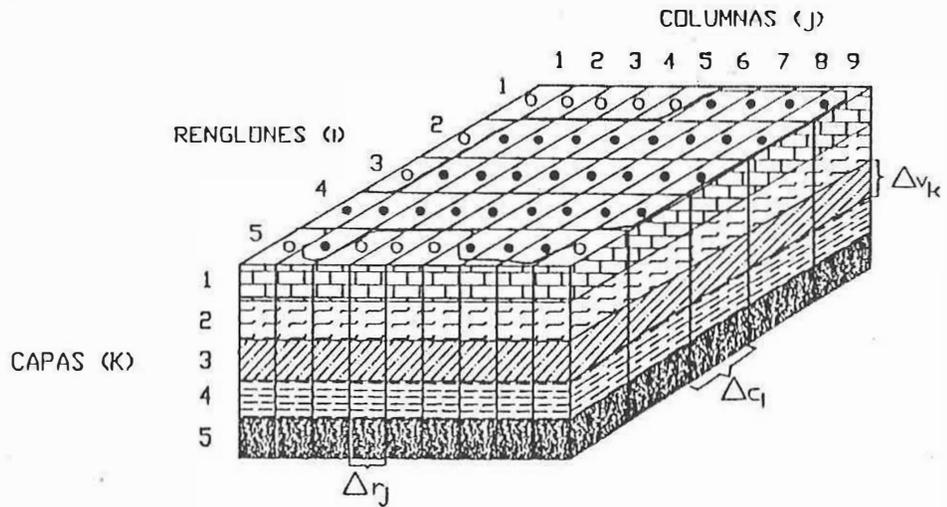
$W$  = flujo por unidad de volumen (entradas y salidas).

$S_s$  = coeficiente de almacenamiento.

$t$  = tiempo.

La ecuación (5) describe el movimiento del flujo del agua subterránea en un medio heterocéneo y anisotrópico en estado transitorio. La solución analítica no es fácil y sólo en casos hipotéticos se han obtenido soluciones analíticas, así que una manera de evaluar la ecuación (5) es mediante el análisis numérico. Aquí se utilizan las diferencias finitas, por lo que el sistema continuo de la ecuación (5) es remplazado por un conjunto finito de puntos discretos en tiempo y espacio, y las derivadas parciales de  $h$  son remplazadas por términos diferenciales en esos puntos.

Posterior a la elección del método para resolver la ecuación de flujo, es necesario realizar la discretización del acuífero (figura 2.1), ésta se hace en términos de columnas,



### EXPLICACION

- Borde del acuífero.
- Celda activa.
- o Celda inactiva.
- $\Delta r_j$  Dimensión de la celda a lo largo del renglón.  
El subíndice (j) indica el número de la columna.
- $\Delta c_i$  Dimensión de la celda a lo largo de la columna.  
El subíndice (i) indica el número del renglón.
- $\Delta v_k$  Dimensión de la celda a lo largo de las capas.  
El subíndice (k) indica el número de la capa.

Figura 2.1

Discretización hipotética de un sistema acuífero. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).

renglones y capas (en el caso tridimensional), utilizando los subíndices  $i$ ,  $j$  y  $k$  respectivamente. La simbología utilizada en la figura 2.1 esta definida por: el ancho de las celdas en la dirección de las columnas ( $j$ ), se designa como  $\Delta r_j$ ; el ancho de las celdas en la dirección de los renglones ( $i$ ), se designa como  $\Delta c_i$ ; y el espesor de las celdas ( $k$ ), se designa como  $\Delta v_k$ .

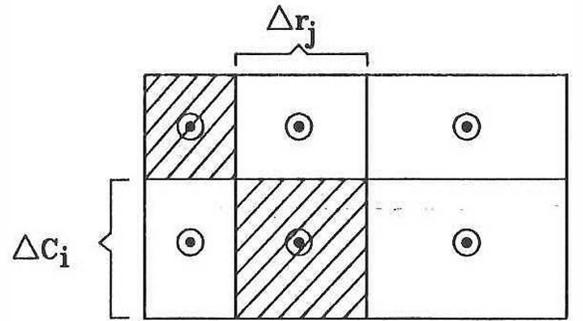
Existen dos maneras de localizar los “nodos” (véase la figura 2.2). En dos dimensiones se tiene la rejilla de bloque central y la de punto central, en ambas las líneas paralelas deberán ser ortogonales. En la rejilla del bloque central, los nodos se encuentran en el centro de las celdas. En la rejilla del punto central, los nodos se encuentran en la intersección de las líneas que conforman las celdas.

Como podemos observar en la figura 2.2 (a), las distancias  $i+1/2$  e  $i-1/2$  son constantes y esos puntos coinciden con los nodos. Sin embargo, en la figura 2.2 (b), la rejilla es irregular, por lo tanto las distancias  $i+1/2$  e  $i-1/2$  no son constantes y no corresponden al nodo; esto causa un error en los cálculos (Anderson y Woessner, 1991), por lo que nosotros utilizamos la rejilla del bloque central, para que la solución sea más exacta.

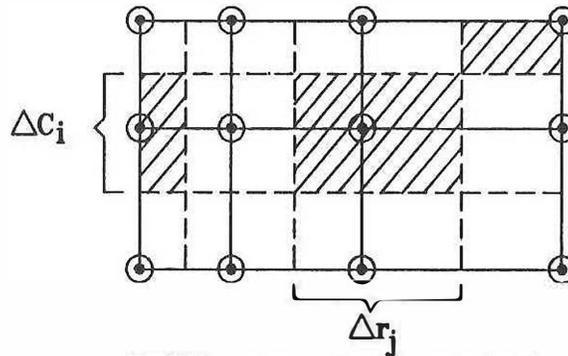
Ahora, para desarrollar la ecuación de flujo en diferencias finitas, se aplica la ecuación de continuidad sobre cierta celda, ésta nos dice que la suma de todos los flujos tanto de entrada como de salida, debe ser igual a la razón de cambio de almacenamiento dentro de la celda, si en lo anterior se considera que la densidad del agua es constante, se obtiene:

$$\sum Q_i = S_s \frac{\Delta h}{\Delta t} \Delta V \quad (6)$$

donde:



Rejilla con bloque centrado



Rejilla con punto central

### Explicación

- ⊙ Nodos
- Líneas de la rejilla
- - - Bordes de la celda con punto central
- //// Celda asociada al nodo seleccionado

Figura 2.2

Localización de nodos. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).

$\sum Q_i$  = flujo total en la celda.

$S_s$  = almacenaje específico (equivalente al  $S_s$  de la ecuación 1) =  $\frac{S}{\Delta V}$ .

$\frac{\Delta h}{\Delta t}$  = cambio de nivel en un intervalo de tiempo largo.

$\Delta V$  = cambio de volumen de la celda.

Tomando en cuenta que existen celdas adyacentes (figura 2.3) a la que estamos considerando en los cálculos, incorporaremos la Ley de Darcy en nuestras consideraciones, para calcular el flujo de paso entre celda y celda (figura 2.4).

$$q_{i,j-1/2,k} = KR_{i,j-1/2,k} \Delta C_i \Delta V_k \frac{(h_{i,j-1,k} - h_{i,j,k})}{\Delta r_{j-1/2}} \quad (7)$$

donde:

$q_{i,j-1/2,k}$  = descarga volumétrica entre las celdas  $i,j,k$  e  $i,j-1,k$ .

$h_{i,j,k}$  = nivel entre la celda  $i,j,k$  e  $i,j-1,k$ .

$KR_{i,j-1/2,k}$  = conductividad hidráulica a lo largo de los renglones entre los nodos  $i,j,k$  e  $i,j-1,k$ .

$\Delta C_i \Delta V_k$  = área de la celda en la dirección de los renglones.

$\Delta r_{j-1/2}$  = distancia entre los nodos  $i,j,k$  e  $i,j-1,k$ .

Ecuaciones similares a la anterior, se tendrán para el cálculo del flujo de las otras cinco caras del volumen elemental.

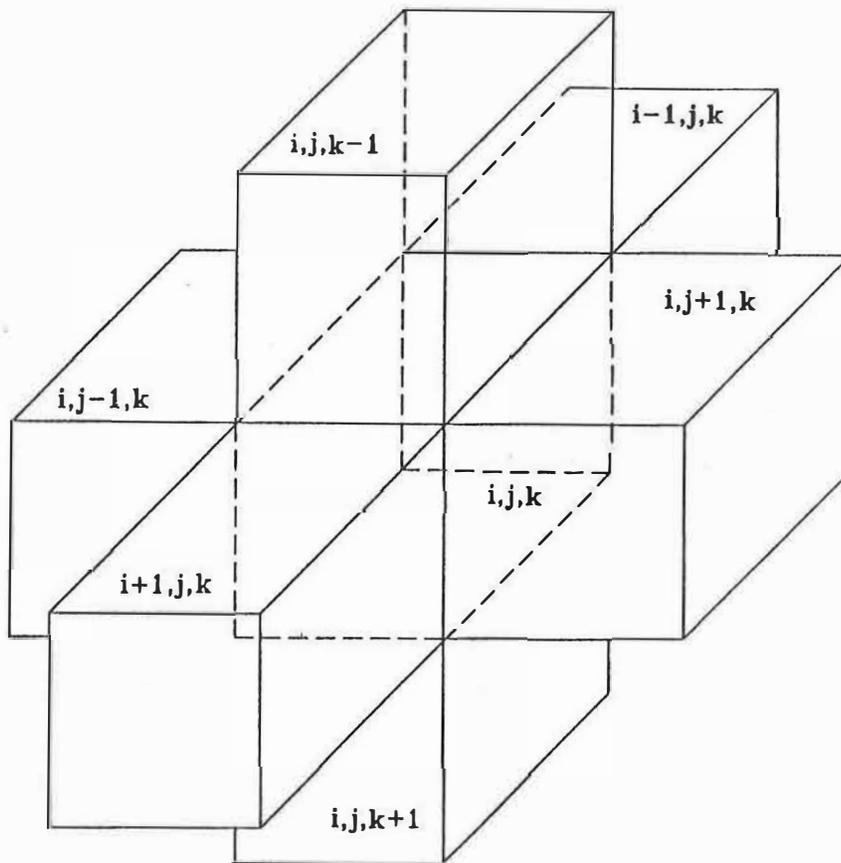


Figura 2.3 Celda considerada en cálculos y celdas adyacentes. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).

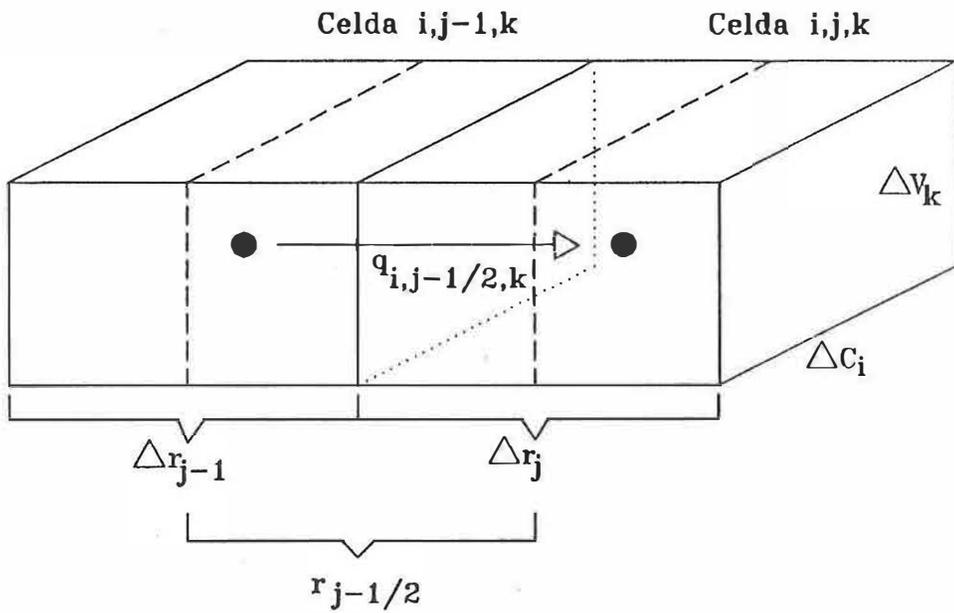


Figura 2.4

Flujo de paso entre celda y celda. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).

La ecuación anterior se puede simplificar aplicando el concepto de conductancia hidráulica o simplemente conductancia, tendríamos:

$$CR_{i,j-1/2,k} = KR_{i,j-1/2,k} \Delta C_i \Delta V_k / \Delta r_{j-1/2} \quad (8)$$

donde:

$CR_{i,j-1/2,k}$  = conductancia en el renglón  $i$  y la capa  $k$ , entre los nodos  $i,j-1,k$  e  $i,j,k$ .

La conductancia es el producto de la conductividad hidráulica y el área de flujo, entre la distancia entre los nodos.

Si sustituimos la ecuación 8 en la 7, tendríamos:

$$q_{i,j-1/2,k} = CR_{i,j-1/2,k} (h_{i,j-1,k} - h_{i,j,k}) \quad (9)$$

Para las otras caras se tendría que hacer lo mismo, lo único que cambiaría serían los subíndices.

La ecuación 9 y las ecuaciones para las otras caras, representan el flujo de entrada hacia la celda  $i,j,k$  de las 6 celdas adyacentes a ella. Aunque estas entradas no representan la recarga por ríos, drenajes, evapotranspiración y pozos, para estos se necesitan términos adicionales. Lo anterior es por que esos aportes dependen del nivel que se recibe en la celda, pero independiente de todos los niveles del acuífero. Estas entradas están representadas por:

$$a_{i,j,k,n} = p_{i,j,k,n} h_{i,j,k} + q_{i,j,k,n} \quad (10)$$

donde:

$a_{i,j,k,n}$  = flujo de la fuente externa dentro de la celda  $i,j,k$ .

$p_{i,j,k,n}$  = constante ( $L^2/t$ ).

$q_{i,j,k,n}$  = constante ( $L^3/t$ ).

$n$  = número de entradas.

En general, si son  $N$  fuentes externas que afectan a una sola celda, el flujo combinado es expresado por:

$$QS_{i,j,k} = \sum_{n=1}^N a_{i,j,k,n} = \sum_{n=1}^N p_{i,j,k,n} h_{i,j,k} + \sum_{n=1}^N q_{i,j,k,n} \quad (11)$$

donde:

$$\sum_{n=1}^N p_{i,j,k,n} = P_{i,j,k}$$

$$\sum_{n=1}^N q_{i,j,k,n} = Q_{i,j,k}$$

Ahora, para un flujo externo total, expresado para la celda  $i,j,k$ , tendríamos:

$$QS_{i,j,k} = P_{i,j,k} h_{i,j,k} + Q_{i,j,k} \quad (12)$$

Aplicando la ecuación de continuidad (6), contando con las seis caras adyacentes y flujos externos, nos quedaría:

$$\begin{aligned} & q_{i,j-1/2,k} + q_{i,j+1/2,k} + q_{i-1/2,j,k} + q_{i+1/2,j,k} \\ & + q_{i,j,k-1/2} + q_{i,j,k+1/2} + QS_{i,j,k} = SS_{i,j,k} \frac{\Delta h_{i,j,k}}{\Delta t} \Delta r_j \Delta C_i \Delta V_k \end{aligned} \quad (13)$$

donde:

$$\frac{\Delta h_{i,j,k}}{\Delta t} = \text{aproximación de diferencia finita de la derivada del nivel con respecto al}$$

tiempo.

$$SS_{i,j,k} = \text{coeficiente de almacenamiento de la celda } i,j,k.$$

$\Delta r_j \Delta C_i \Delta V_k$  = volumen de la celda  $i, j, k$ .

Si sustituimos las ecuaciones (8 y las que se generaron para las otras caras) y (12) en la (13), tendríamos:

$$\begin{aligned} & CR_{i,j-1/2,k}(h_{i,j-1,k} - h_{i,j,k}) + CR_{i,j+1/2,k}(h_{i,j+1,k} - h_{i,j,k}) \\ & + CC_{i-1/2,j,k}(h_{i-1,j,k} - h_{i,j,k}) + CC_{i+1/2,j,k}(h_{i+1,j,k} - h_{i,j,k}) \\ & + CV_{i,j,k-1/2}(h_{i,j,k-1} - h_{i,j,k}) + CV_{i,j,k+1/2}(h_{i,j,k+1} - h_{i,j,k}) \\ & + P_{i,j,k} h_{i,j,k} + Q_{i,j,k} = SS_{i,j,k} (\Delta r_j \Delta C_i \Delta V_k) \Delta h_{i,j,k} / \Delta t \end{aligned} \quad (14)$$

donde:

CC = conductancia a través de los renglones (i).

CV = conductancia a través de las capas (k).

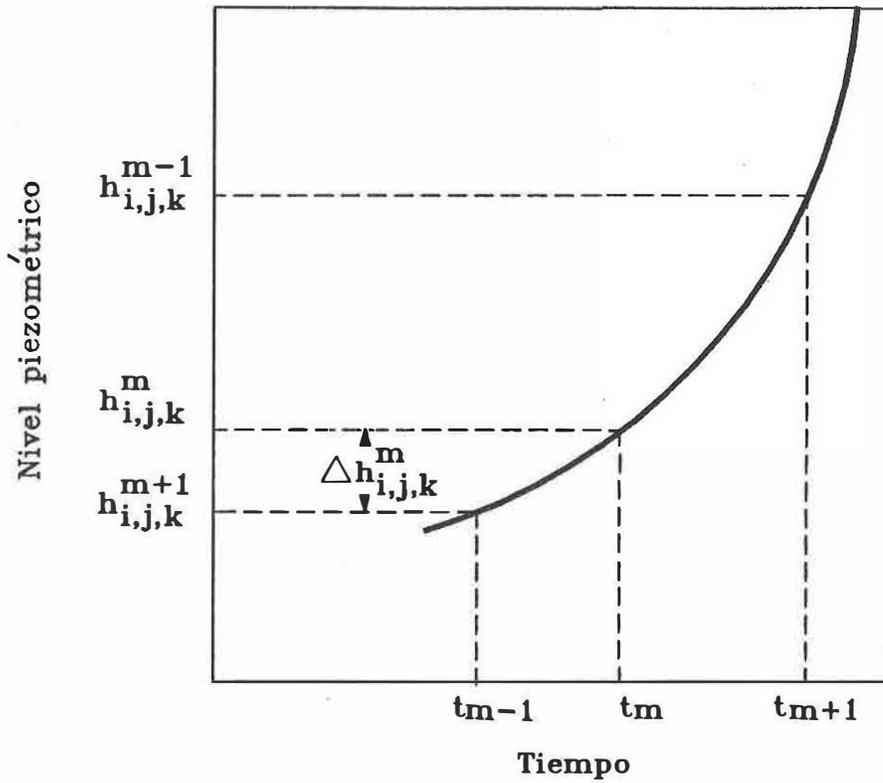
La aproximación de las diferencias finitas se pueden realizar hacia adelante o hacia atrás (figura 2.5), la primera causa inestabilidad numérica (se hace cada vez mayor el error); en la segunda es estable y el error disminuye con el tiempo. Entonces reescribiendo la ecuación (10), en base a lo anterior tenemos:

$$\begin{aligned} & CR_{i,j-1/2,k}(h_{i,j-1,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CR_{i,j+1/2,k}(h_{i,j+1,k}^m - h_{i,j,k}^m) \\ & + CC_{i-1/2,j,k}(h_{i-1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CC_{i+1/2,j,k}(h_{i+1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) \\ & + CV_{i,j,k-1/2}(h_{i,j,k-1/2}^m - h_{i,j,k}^m) + CV_{i,j,k+1/2}(h_{i,j,k+1/2}^m - h_{i,j,k}^m) \\ & + P_{i,j,k} h_{i,j,k}^m + Q_{i,j,k} = SS_{i,j,k} (\Delta r_j \Delta C_i \Delta V_k) \frac{(h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1})}{t_m - t_{m-1}} \end{aligned} \quad (15)$$

donde:

$m$  y  $m-1$  = punto evaluado.

$t_m$  y  $t_{m-1}$  = tiempo donde es evaluado.



### Explicación

$t_m$  tiempo donde es evaluado

$h_{i,j,k}^m$  nivel piezométrico del nodo  $i,j,k$  al tiempo  $t_m$

Figura 2.5 Hidrograma de la celda  $i,j,k$ . (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).

Parte de la ecuación (15) la conocemos y parte no (los 7 niveles al tiempo  $t_m$ ); esto es, parte de la predicción, por lo tanto se resuelve el sistema de ecuaciones simultáneamente.

Es importante hacer notar que el conjunto de ecuaciones de diferencias finitas es reformulado a cada paso de tiempo; esto es, que a cada tiempo un nuevo sistema de ecuaciones es resuelto.

El método iterativo utilizado en este paquete es el criterio de convergencia. Después de cada iteración los valores absolutos de nivel son comparados con el criterio de convergencia y si es grande la diferencia la iteración continua, sin embargo, si la diferencia es muy pequeña entonces se dice que ya es convergente y el proceso termina.

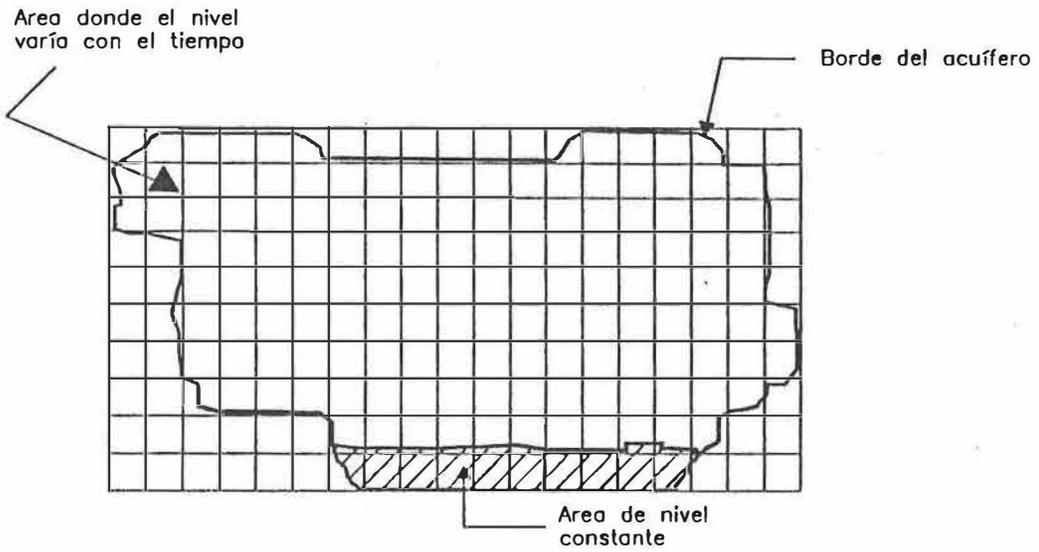
En los siguientes apartados, se describirán los paquetes que se utilizaron para la simulación del flujo en el acuífero de la planicie costera del Valle de Maneadero.

### **Modulo básico**

Aquí se marcan los módulos a utilizar en el modelo. Se leen los datos del número de columnas, renglones, capas y períodos de cálculo. El espacio asignado en la memoria para los arreglos; se leen y establecen la discretización en tiempo; se dan los niveles iniciales para cada paso de tiempo; se calculan las entradas y salidas de agua; y se controla la salida de resultados del modelo.

### **Arreglo de las fronteras**

El arreglo de las fronteras (IBOUND) contiene los códigos que definen a las celdas con nivel variable, celdas con nivel constante y las celdas inactivas o de flujo nulo. La figura 2.6 especifica la distribución de códigos para cada celda del modelo.



0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0

Códigos IBOUND

- < 0 nivel constante
- = 0 no flujo
- > 0 nivel variable

Figura 2.6 Distribución de códigos para celdas. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).

### **Condiciones iniciales**

Una distribución de niveles al inicio de cada paso de tiempo es requerida para calcular la distribución de los niveles al final de ese paso de tiempo, véase la figura 2.7. Para cada paso de tiempo después del primero, la distribución de niveles al inicio de cada paso de tiempo es igual a la distribución de niveles al final del paso de tiempo anterior. Para el primer paso de tiempo los niveles son especificados por el usuario. Esos niveles son utilizados únicamente para el cálculo del primer paso de tiempo; sin embargo, también pueden ser salvados en el arreglo STRT y usados para el cálculo de los descensos.

### **Discretización de tiempo**

El tiempo de simulación es dividido en períodos de cálculo y en pasos de tiempo (figura 2.8). Para cada período de cálculo, los pasos de tiempo tienen una progresión geométrica. El usuario especifica la longitud del período de cálculo, el número de pasos de tiempo y la longitud de los mismos. Dándole esos parámetros, el programa calcula la longitud de cada paso de tiempo en cada período de cálculo.

### **Balance**

Incluye todos los flujos de entrada y de salida de agua de una región. Aquí se trata de un balance volumétrico porque contiene volúmenes de agua y tazas de flujo volumétrico; estrictamente no es un balance de masas, por lo tanto este término puede usarse en referencia de otros modelos.

Generalmente la solución numérica de las ecuaciones no siempre es correcta; en particular las respuestas iterativas se detienen antes con una aproximación de la solución. El

Niveles iniciales (STRT)

Nuevos niveles (HNEW) son los niveles calculados al final de cada paso de tiempo. Cada iteración produce una nueva calculo.

Niveles antiguos (HOLD) son los niveles al inicio de cada paso de tiempo.

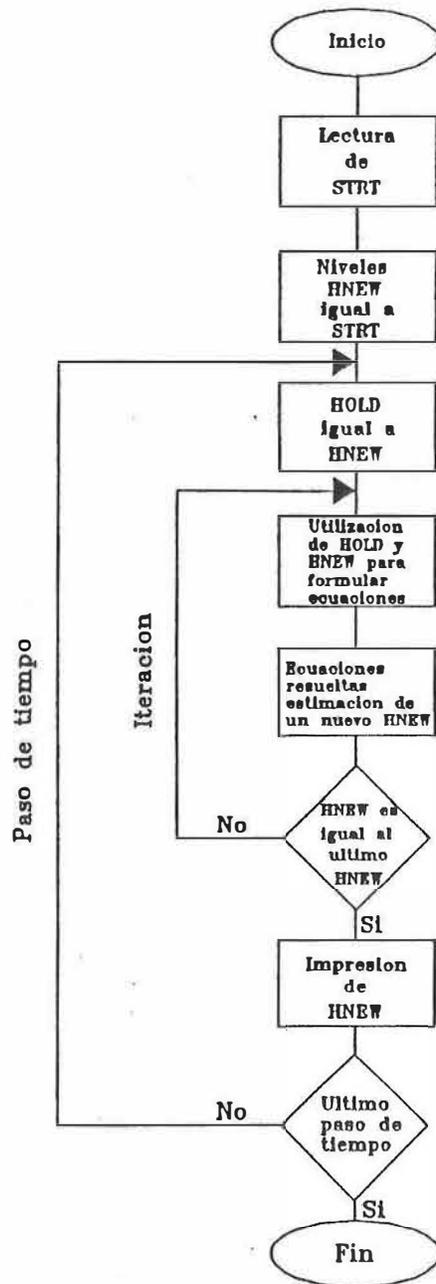
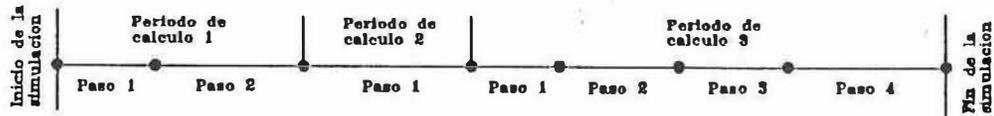


Figura 2.7

Diagrama de flujo de la distribución de los niveles durante la simulación. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).



$$\text{Delt (1)} = \frac{\text{PERLEN} \cdot (1 - \text{TSMULT})}{1 - \text{TSMULT} ** \text{NSTP}}$$

$$\text{Delt (m + 1)} = \text{TSMULT} \cdot \text{Delt (m)}$$

Especificado por el usuario

PERLEN Longitud del período de calculo

TSMULT Multiplo del paso

NSTP Número de pasos en el período de calculo

Calculado por el programa

Delt (m) Longitud del paso m

Figura 2.8

División del tiempo de simulación en períodos de calculo y pasos de tiempo. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).

balance provee una indicación de la aceptación de la solución. La resolución del sistema de ecuaciones consiste en un flujo continuo de cada celda del modelo. Entonces existe un flujo total de entrada y otro de salida; esto es, la diferencia entre las entradas y las salidas es igual al cambio en el almacenamiento. En este programa el balance es calculado independientemente del proceso de resolución de las ecuaciones y en este sentido da una evidencia de una solución válida.

Cada paquete calcula su contribución al balance. El balance total es impreso al final pero no incluye los términos de flujos internos; es decir, el flujo entre celda y celda. El flujo de entrada y salida del almacenamiento es considerado parte de balance total porque la acumulación en el almacenamiento efectivo remueve agua del sistema de flujo y el almacenamiento de salida aumenta el flujo de agua, entonces se transfiere agua dentro y fuera del régimen del acuífero.

### **Datos de entrada**

Para cada simulación:

1.- Dato: Encabezado

Formato: 20A4

2.- Dato: Encabezado

Formato: 12A4

3.- Dato: NLAY NROW NCOL NPER ITMUNI

Formato: I10 I10 I10 I10 I10

4.- Dato: IUNIT

Formato: 24I3

5.- Dato: IAPART ISTRT

Formato: I10 I10

6.- Dato: IBOUND (NCOL, NROW)

Modulo: U2DINT

(Un arreglo para cada capa de la rejilla)

7.- Dato: HNOFLO

Formato: F10.0

8.- Dato: Shead (NCOL, NROW)

Modulo: U2DREL

(Un arreglo para cada capa de la rejilla)

9.- Dato: PERLEN NSTP TSMULT

Formato: F10.0 I10 I10

ENCABEZADO: es el titulo de la impresión de salida. Puede tener hasta 132 caracteres,

80 en el primer registro y 52 en el segundo. Ambos registros pueden quedar en blanco.

NLAY: número de capas del modelo.

NROW: número de renglones del modelo.

NCOL: número de columnas del modelo.

NPER: número de períodos de cálculo en la simulación.

ITMUNI: indica la unidad de tiempo utilizada en los datos del modelo.

IUNIT: indica los paquetes a utilizar en la simulación, véase la figura 2.9.

IAPART: indica cuando el arreglo BUFF es diferente del arreglo RHS.

ISTRRT: indica si los niveles iniciales son salvados o no. Si son salvados si se calculan los descensos.

IBOUND: es el arreglo de las fronteras.

HNOFLO: es el valor del nivel de las celdas inactivas durante la simulación.

Shead: es el nivel al inicio de la simulación.

PERLEN: longitud del período de cálculo.

NSTP: número de pasos en el período de cálculo.

TSMULT: multiplicador de la longitud de los pasos, véase la figura 2.8.

### **Modulo control de salida**

En este módulo se da la instrucción de impresión o salvado de los datos de descensos y niveles, así como también de los volúmenes de entrada y salida.

Para cada simulación:

1.- Dato:	IHEDFM	IDDNFM	IHEDUN	IDDNUN
Formato:	I10	I10	I10	I10

Para cada paso de tiempo:

2.- Dato:	INCODE	IHDDFL	IBUDFL	ICBCFL
Formato:	I10	I10	I10	I10

3.- Dato:	Hdpr	Ddpr	Hdsv	Ddsv
Formato:	I10	I10	I10	I10

## PAQUETES

BCF	WEL	DRN	RIV	EVT		GHB	RCH	SIP		SOR	OC		STR
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

## REGISTRO O UNIDAD DE ENTRADA

11	12						13	14			15		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

- 1 Flujo de bloque centrado, leído en la unidad
- 2 Pozos, leído en la unidad
- 3 Drenaje, inactivo
- 4 Rios, inactivo
- 5 Evapotranspiracion, leído en la unidad
- 6 Reservado para acuíferos transitorios, inactivo
- 7 Nivel general de fronteras, leído en la unidad
- 8 Recarga, leído en la unidad
- 9 Procedimiento altamente implícito, leído en la unidad
- 10 Sin usar
- 11 Sobrerelajacion sucesiva, inactivo
- 12 Control de salida, leído en la unidad
- 13 Sin usar
- 14 Relaciones acuífero-corriente, leído en la unidad

**Figura 2.9** Especificación de los paquetes. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).

IHEDFM: formato de impresión de los niveles.

IDDNFM: formato de impresión de los descensos.

IHEDUN: indica si los niveles son salvados en disco.

IDDNUN: indica si los descensos son salvados en disco.

INCODE: código de salida de los descensos y niveles. Se determina si se utiliza el registro número 3. Si es menor a cero el registro 3 no es leído. Si es igual a cero, sólo hay un registro. Y si es mayor a cero, hay un registro por cada capa.

IHDDFL: bandera de salida de los niveles y descensos. Si es igual a cero los niveles y los descensos no son impresos o salvados en disco. Si es diferente de cero, los niveles y descensos son impresos o salvados de acuerdo para las especificaciones dadas para cada capa en el registro 3.

IBUDFL: bandera de impresión de los volúmenes de entrada y salida. Si es cero no se imprimen y si es diferente de cero son impresos.

ICBCFL: bandera de flujo entre celda y celda. Si es cero no se imprimen, si es diferente de cero son impresos.

Hdpr: bandera de salida de la impresión de los niveles. Si es cero los niveles no son salvados para la capa correspondiente y si es diferente de cero si son impresos.

Ddpr: bandera de salida de la impresión de los descensos. Si es cero los descensos no son impresos para la capa correspondiente y si es diferente de cero si son impresos.

Hdsv: bandera de salida para salvar los niveles. Si es cero los niveles no son salvados para la capa correspondiente y si es diferente de cero si son salvados.

Ddsv: bandera de salida para salvar los descensos. Si es cero los descensos no son salvados para la capa correspondiente y si es diferente de cero si son salvados.

### **Modulo *bloque de flujo central***

Aquí se calculan las componentes de la conductancia de la ecuación de diferencias finitas, determinando el flujo de las celdas adyacentes; también, la tasa de movimiento del agua y del almacenamiento. Para éstos, se asume que el nodo está localizado al centro de cada celda.

La conductancia se define por un prisma de material y por una dirección. Un medio anisotrópico se caracteriza por tener tres direcciones de conductividad hidráulica, por lo tanto la conductancia va a tener tres direcciones principales.

Si un prisma de material poroso se subdivide en dos o más prismas en la secuencia de la dirección de flujo (figura 2.10). La conductancia equivalente para el prisma completo es la tasa de flujo entre el cambio de nivel a través del prisma.

$$C = \frac{Q}{h_A - h_B} \quad (16)$$

donde:

C = conductancia equivalente.

Q = tasa de flujo.

$h_A - h_B$  = cambio de nivel a través del prisma.

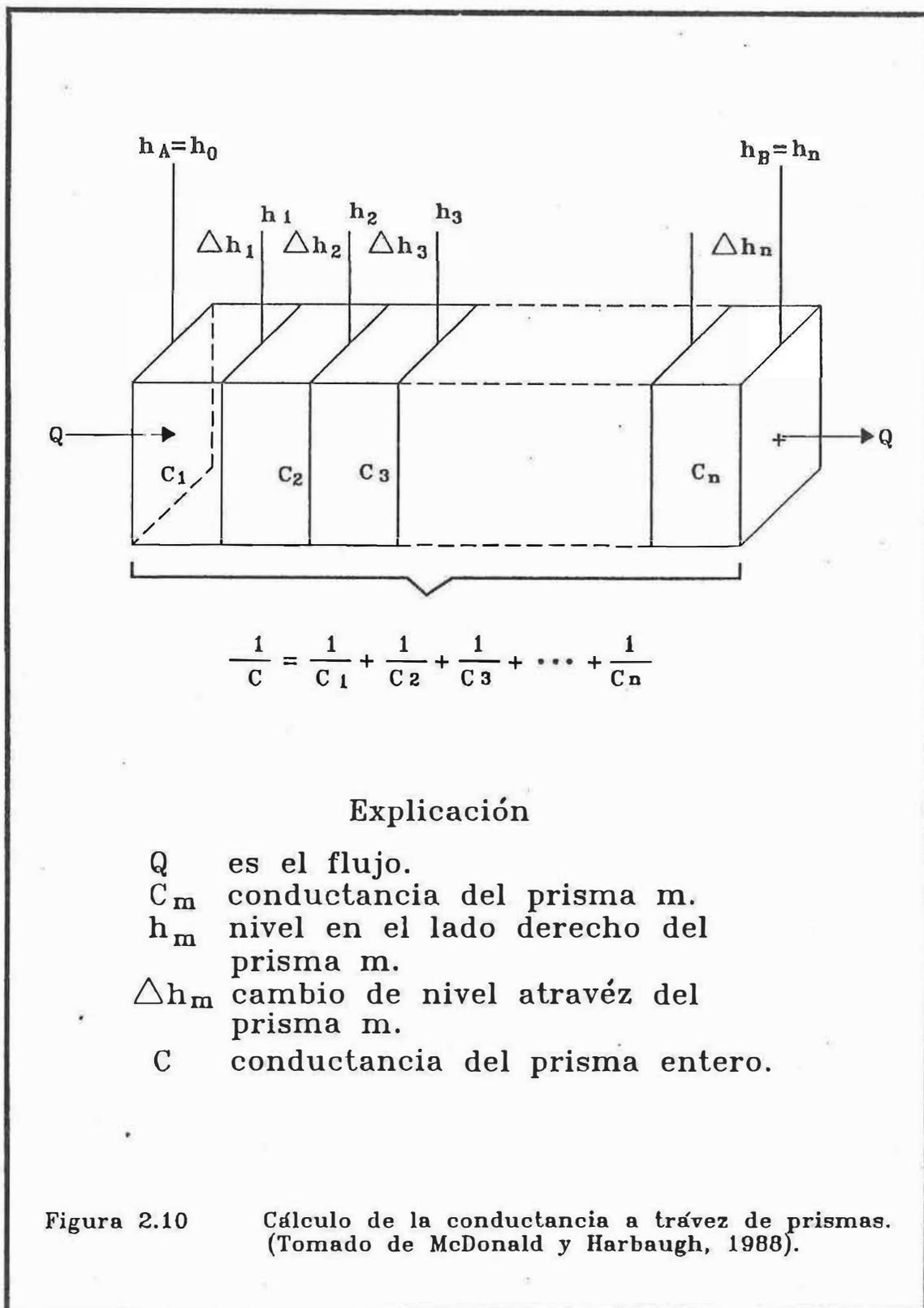


Figura 2.10

Cálculo de la conductancia a través de prismas.  
 (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).

Para calcular la conductancia horizontal de un acuífero libre es necesario conocer primero la transmisividad, entonces la conductancia se calcula de la transmisividad y las dimensiones de las celdas usando las siguientes ecuaciones:

$$CR_{i,j+1/2,k} = 2DEL C_i \frac{TR_{i,j,k} TR_{i,j+1,k}}{TR_{i,j,k} DELR_{j+1} + TR_{i,j+1,k} DELR_j} \quad (17)$$

$$CC_{i+1,j,k} = 2DEL R_j \frac{TC_{i,j,k} TC_{i+1,j,k}}{TC_{i,j,k} DELC_{i+1} + TC_{i+1,j,k} DELC_i} \quad (18)$$

donde:

CR = conductancia atravez de los renglones.

CC = conductancia atravez de las columnas.

DEL C = ancho de los renglones.

DEL R = ancho de las columnas.

TR = transmisividad atravez de los renglones.

TC = transmisividad atravez de las columnas.

La transmisividad en las columnas es el producto de la transmisividad en los renglones por un factor de anisotropía, el cual es constante para cada capa.

Para calcular la conductancia vertical, se toma en cuenta el espesor de la capa, g, obteniéndose la siguiente ecuación:

$$C_g = \frac{K_g DEL R_j DEL C_i}{\Delta Z_g} \quad (19)$$

donde:

$C_g$  = conductancia de la capa g.

$K_g$  = conductividad hidráulica de la capa g,

$\Delta Z_g$  = espesor de la capa g.

La ecuación (19) es para una sola capa, cuando se trata de la conductancia vertical equivalente, para todos los intervalos de entre los nodos  $i,j,k$  y  $i,j,k+1$ , se utiliza la ecuación siguiente:

$$V_{\text{cont}_{i,j,k+1/2}} = \frac{1}{\sum_{g=1}^n \frac{\Delta Z_g}{K_g}} \quad (20)$$

donde:

$$V_{\text{cont}} = \frac{C_{i,j,k+1/2}}{\text{DELR}_j \text{DEL}C_i}$$

El programa multiplica al término  $V_{\text{cont}}$  por el área de la celda y obtiene la conductancia vertical. Los valores de  $V_{\text{cont}}$  pueden ser también dados externamente y así es como se aplica la ecuación anterior. Los cálculos anteriores se aplican cuando se trata de dos dimensiones, para el arreglo tridimensional véase la figura 2.11.

Utilizando la figura 2.11, donde una sola unidad geohidrológica presenta dos celdas distintas, la ecuación (20), quedaría de la siguiente forma:

$$V_{\text{cont}_{i,j,k+1/2}} = \frac{K_{z_{i,j}}}{\Delta Z_{k+1/2}} \quad (21)$$

donde:

$\Delta Z_{k+1/2}$  = es la suma de  $\frac{\Delta V_k}{2}$  y  $\frac{\Delta V_{k+1}}{2}$ , en donde  $\Delta V$  es el espesor de la capa.

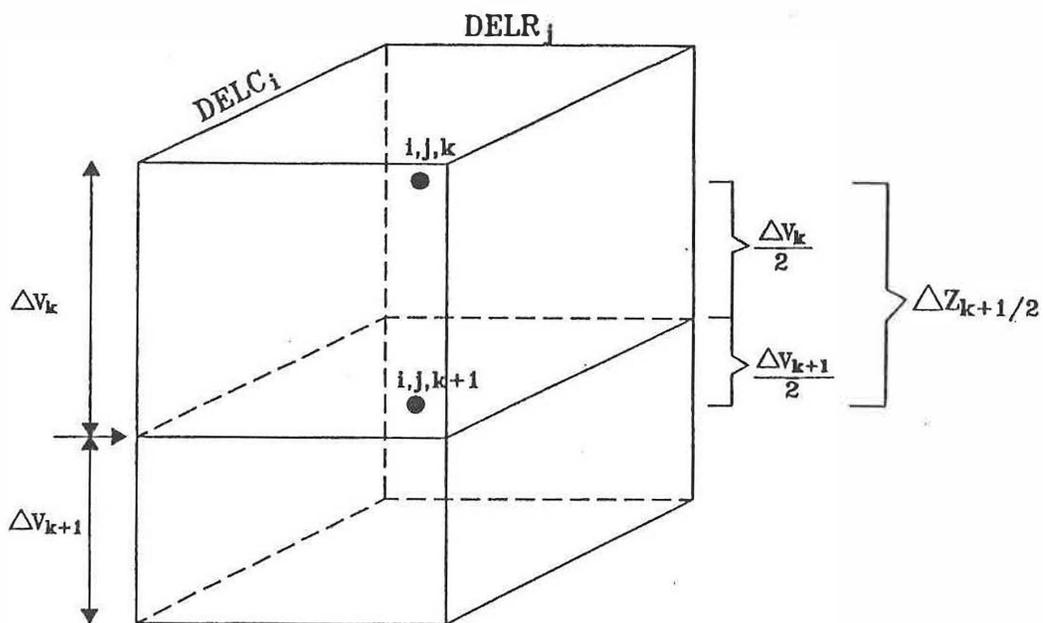


Figura 2.11

Diagrama del cálculo de  $V_{cont}$ , entre dos celdas de una misma unidad geohidrológica. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).

Las variables que se utilicen en este paquete dependen del tipo de capa que asignemos (LAYCON). En donde según el código utilizado se puede especificar la transmisividad, o que ésta se calcule en cada iteración mediante el producto de la conductividad hidráulica y el espesor saturado, también el cálculo de la conductancia vertical.

Hay cuatro tipos de LAYCON, en nuestro caso se utiliza la número 1, en donde la capa utilizada está en condiciones de acuífero libre. Aquí se necesitan los valores de la transmisividad, el espesor del acuífero y la conductividad hidráulica. También se puede especificar si la simulación es transitorio o de estado estacionario.

Los datos de entrada se escriben en el formato siguiente:

Para cada simulación:

1.- Dato: ISS IBCFCB

Formato: I10 I10

2.- Dato: LAYCON (máximo 80 capas).

Formato: 40I2

(Si son menos de 40 capas se utiliza un registro, de otra manera se utilizarán dos registros).

3.- Dato: TRPY (NLAY)

Módulo: UIDREL

4.- Dato: DELR (NCOL)

Módulo: UIDREL

5.- Dato: DELC (ROW)

Módulo: U1DREL

SI LA SIMULACION ES TRANSITORIA:

6.- Dato: sf1 (NCOL,NROW)

Módulo: U2DREL

SI LAYCON ES CERO O DOS:

7.- Dato: Tran (NCOL,NROW)

Módulo: U2DREL

SI LAYCON ES UNO O TRES:

8.- Dato: HY (NCOL,NROW)

Módulo: U2DREL

9.- Dato: BOT (NCOL,NROW)

Módulo: U2DREL

SI NO HAY CAPA BASE:

10.- Dato: Vcont (NCOL.NROW)

Módulo: U2DREL

SI LA SIMULACION ES TRANSITORIA Y LAYCON ES DOS O TRES:

11.- Dato: sf2 (NCOL,NROW)

Módulo: U2DREL

SI LAYCON ES DOS O TRES:

12.- Dato: TOP (NCOL,NROW)

Módulo: U2DREL

ISS: indica el tipo de proceso. Si es cero es transitorio, si es diferente de cero es estado estacionario.

IBCFCB: bandera de flujo entre celda y celda. Si es mayor a cero los términos son salvados. Si es cero los términos no son salvados. Si es menor a cero los términos son impresos.

LAYCON: indica el tipo de capa.

0 = confinado

1 = libre

2 = libre sobre confinado. La transmisividad es constante.

3 = libre sobre confinado. La transmisividad es variable.

TRPY: factor de anisotropía.

DELR: ancho de los renglones.

DELC: ancho de las columnas.

sf1: coeficiente de almacenamiento.

Tran: transmisividad a lo largo de los renglones.

HY: conductividad hidráulica a lo largo de los renglones.

BOT: elevación de la base del acuífero.

Vcont: conductividad hidráulica vertical.

sf2: coeficiente de almacenamiento secundario.

TOP: elevación del acuífero superior. Sólo es leído cuando LAYCON es dos o tres.

### Módulo pozos

Aquí se describirá la presencia de pozos, su gasto (Q) durante los períodos de cálculo que será independiente del área de la celda y el nivel de la misma. Se puede encontrar con un Q negativo, indicativo de descarga, si es positivo indica recarga.

Al inicio de cada período de cálculo, se leen los valores de cada pozo (columna, renglón y Q). A cada iteración, la matriz de ecuaciones es formulada y resuelta. Para cada celda es mejor que exista un sólo pozo y si existen varios pozos se dará un Q total para esa celda.

Si existen varias capas, el programa calcula la descarga multicapa, dividiendo en capas individuales. Para poder realizar lo anterior, se utiliza el método en donde Q es proporcional a la transmisividad de la capa.

$$\frac{Q_1}{Q_w} = \frac{T_1}{\sum T} \quad (22)$$

donde:

$Q_1$  = descarga del pozo en la capa 1.

$Q_w$  = descarga del pozo en el período de cálculo.

$T_1$  = transmisividad de la capa 1.

$\sum T$  = suma de transmisividades de las capas que atravieza el pozo.

Este módulo da una aproximación de los efectos de la descarga de un pozo, él cuál atravieza varias capas.

Para cada simulación:

1.- Dato:      MXWELL    IWELCB

Formato:    I10            I10

2.- Dato: ITMP

Formato: I10

3.- Dato: Capa Renglón Columna Q

Formato: I10 I10 I10 I10

Se utiliza un registro para cada pozo. Si ITMP es cero el paso 3 no se utiliza.

MXWELL: máximo número de pozos.

IWELCB: si es mayor a cero indica que el flujo entre celda y celda es registrado siempre que ICBCFL (ver control de salida) sea designado. Si es cero el flujo no es impreso ni salvado. Si es menor a cero, el pozo de recarga es impreso según el control de salida.

ITMP: contador. Si es menor a cero, los datos del último período de cálculo son reutilizados. Si es mayor o igual a cero, existen descargas diferentes durante el período de stress activo.

Capa: número de capas que contiene el modelo.

Renglón: número de renglón donde se encuentra el pozo.

Columna: número de columna donde se encuentra el pozo.

Q: un valor positivo indica recarga y uno negativo descarga.

### **Módulo *recarga***

En este módulo se simula la recarga distribuida en toda el área del acuífero. Generalmente la recarga es el resultado de la infiltración de la precipitación al sistema acuífero. En el programa se define de la siguiente manera:

$$Q_{Ri,j} = I_{i,j} \text{DEL}R_j \text{DEL}C_i \quad (23)$$

donde:

$Q_{Ri,j}$  = recarga aplicada a una celda horizontal (i,j), expresada en unidades de volumen por tiempo.

$I_{i,j}$  = flujo de recarga (unidades de longitud por tiempo), aplicable al área del mapa ( $\text{DEL}R_j \text{DEL}C_i$ ) de la celda.

En este módulo, también se puede simular recarga artificial.

Para cada simulación:

1.- Dato: NRCHOP IRCHCB

Formato: I10 I10

Para cada período de stress:

2.- Dato: INRECH INIRCH

Formato: I10 I10

3.- Dato: RECH(NCOL,NROW)

Módulo: U2DREL

Si la opción de recarga es la dos:

4.- Dato: IRCH(NCOL,NROW)

Módulo: U2DINT

**NRCHOP:** código de opción de recarga. La recarga es definida en un arreglo

bidimensional, RECH, con un sólo valor para cada columna vertical.

1 - la recarga es sólo hasta el tope de la capa.

2 - la distribución vertical de la recarga es especificada en IRCH.

3 - la recarga es aplicada a una celda activa en cada columna vertical. Un nivel constante intercepta la recarga y previene la infiltración.

IRCHCB: número de unidad. Si es mayor a cero los término de flujo entre celda y celda son grabados siempre que ICBCFL (ver control de salida) sea designado. Si es menor o igual a cero, los términos de flujo no son salvados o impresos.

INRECH: bandera de lectura de RECH. Si es mayor o igual a cero, RECH es leído. Si es menor a cero, se utiliza el valor de la recarga del anterior período de cálculo.

INIRCH: bandera de lectura de IRCH. Cuando NRCHOP es dos: si INIRCH es mayor o igual a cero, los arreglos de capas (IRCH) son leídos; si es menor a cero el arreglo IRCH del período de cálculo anterior es utilizado. Cuando NRCHOP es uno o tres, INIRCH es ignorado.

RECH: el flujo de recarga, sólo es leído cuando INRECH es mayor o igual a cero.

IRCH: arreglo de capas que define la capa de cada columna vertical cuando la recarga es aplicada. Sólo es leído si NRCHOP es dos y INIRCH es mayor o igual a cero.

### **Módulo *procedimiento altamente implícito***

En este módulo se describe el método “procedimiento altamente implícito” (S.I.P., por sus siglas en inglés), el cuál resuelve un sistema de ecuaciones lineales simultáneas mediante

iteración. La ecuación de diferencias finitas para una sola celda ,  $i,j,k$ , es de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 & CV_{i,j,k-1/2}h_{i,j,k-1} + CC_{i-1/2,j,k}h_{i-1,j,k} + CR_{i,j-1/2,k}h_{i,j-1,k} \\
 & + (-CV_{i,j,k-1/2} - CC_{i-1/2,j,k} - CR_{i,j-1/2,k} - CR_{i,j+1/2,k} \\
 & - CC_{i+1/2,j,k} - CV_{i,j,k+1/2} + HCOF_{i,j,k})h_{i,j,k} \\
 & + CR_{i,j+1/2,k}h_{i,j+1,k} + CC_{i+1/2,j,k}h_{i+1,j,k} \\
 & + CV_{i,j,k+1/2}h_{i,j,k+1} = RHS_{i,j,k}
 \end{aligned} \tag{24}$$

Como la ecuación anterior hay otras cinco, una para cada lado de la celda. Este juego de ecuaciones se pueden reescribir de acuerdo a la notación de S.I.P. de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 & Z_{i,j,k}h_{i,j,k-1} + B_{i,j,k}h_{i-1,j,k} + D_{i,j,k}h_{i,j-1,k} + E_{i,j,k}h_{i,j,k} \\
 & + F_{i,j,k}h_{i,j+1,k} + H_{i,j,k}h_{i+1,j,k} + S_{i,j,k}h_{i,j,k+1} = Q_{i,j,k}
 \end{aligned} \tag{25}$$

donde:

$E_{i,j,k}$  = equivale a la expresión que está entre paréntesis de la ecuación 24.

Las ecuaciones similares a la 25 se pueden resumir en forma de matriz:

$$[A]\{h\} = \{q\} \tag{26}$$

donde:

$[A]$  = matriz de los coeficientes del nivel.

$\{h\}$  = vector de valores del nivel.

$\{q\}$  = vector de los términos de la derecha de la ecuación 25.

Los coeficientes de la ecuación 25 se observan en forma de matriz en la figura 2.12, siendo éstos diferentes de cero.

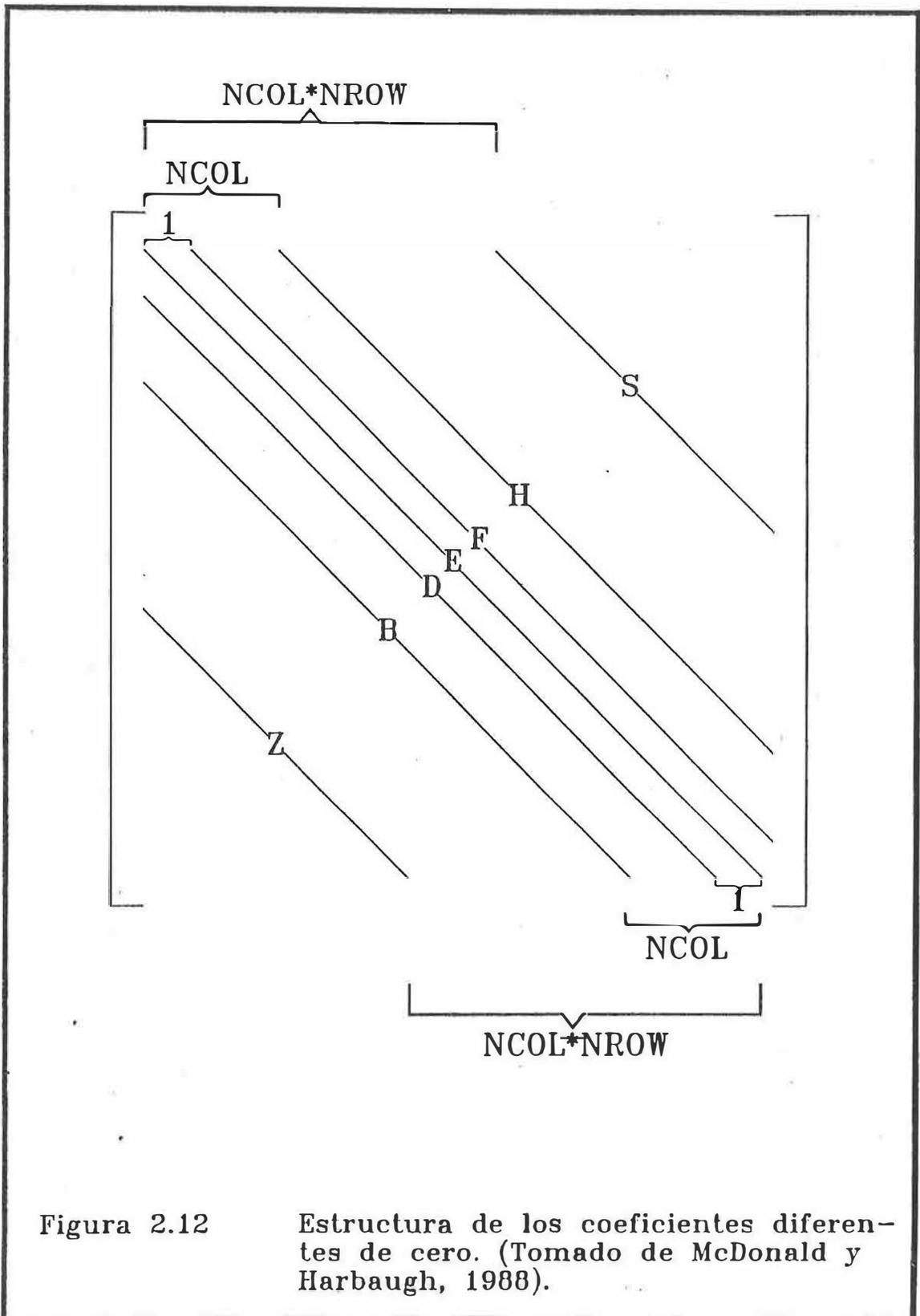


Figura 2.12

Estructura de los coeficientes diferentes de cero. (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).

La matriz  $[A]$  de la ecuación 26, puede factorizarse en dos matrices  $[L^*]$  y  $[U^*]$ , definiendo a  $[L^*]$  como la parte triangular inferior y  $[U^*]$  como la parte superior. lo anterior se puede observar en la figura 2.13.

Ahora, se necesita calcular el vector  $\{RES^l\}$  utilizando el vector  $\{q\}$ , la matriz  $[A]$  y los niveles de la iteración anterior; resolver la ecuación 27 utilizando la sustitución hacia adelante y hacia atrás obteniendo el vector  $\{h^l - h^{l-1}\}$  y sumando el vector  $\{h^{l-1}\}$  al vector  $\{h^l - h^{l-1}\}$  se obtiene el vector  $\{h^l\}$ . Siendo éstos los pasos esenciales para la resolución del S.I.P.

$$[L][U]\{h^l - h^{l-1}\} = \{RES^l\} \quad (27)$$

donde:

$$\{RES^l\} = \{q\} - [A]\{h^{l-1}\}$$

Para cada simulación:

1.- Dato:      MXITER    NPARAM

Formato:      I10          I10

2.- Dato:      ACCL    HCLOSE    IPCALC    WSEED    IPRSIP

Formato:    F10.0    F10.0          I10          F10.0          I10

**MXITER:** máximo número de tiempos durante la iteración en un paso de tiempo. Cinco iteraciones generalmente son suficientes.

**NPARAM:** número de parámetros de la iteración. Cinco son suficientes.

**ACCL:** parámetro de aceleración.

$$\begin{array}{c}
 [A] \\
 \left[ \begin{array}{ccc} 1 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 2 \\ 3 & 2 & -2 \end{array} \right]
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \{h\} \\
 \left[ \begin{array}{c} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \end{array} \right]
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 \{q\} \\
 \left[ \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ -3 \end{array} \right]
 \end{array}$$

$$\begin{array}{c}
 [L^*] \\
 \left[ \begin{array}{ccc} 1 & 0 & 0 \\ -1 & 3 & 0 \\ 3 & -4 & -1 \end{array} \right]
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 [U^*] \\
 \left[ \begin{array}{ccc} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{array} \right]
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \{h\} \\
 \left[ \begin{array}{c} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \end{array} \right]
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 \{q\} \\
 \left[ \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ -3 \end{array} \right]
 \end{array}$$

Figura 2.13 Descomposicion de la matriz  $[A]$  en matrices triangulares  $[L^*]$  y  $[U^*]$ . (Tomado de McDonald y Harbaugh, 1988).

HCLOSE: criterio de convergencia.

IPCALC: si es cero el dato de inicio es dado por el usuario y si es uno el dato de inicio es calculado por el programa.

WSEED: se utiliza sólo cuando IPCALC es cero.

IPRSIP: intervalo de impresión para el S.I.P.

**APENDICE 3**

<b>POZO</b>	<b>TRANSMISIVIDAD m<sup>2</sup>/d</b>
89	2505.60
91	419.47
93	1209.60
100	5702.40
106	534.82
107	317.52
108	3110.40
109	2073.60
110	5702.40
111	2462.40
112	3326.40
113	5529.60
114	1209.60
115	2937.60
117	7646.40
119	2073.60
123	5961.60
147	3240.00
148	2102.40
149	3888.00
152	3542.40
157	1987.20
178	2116.80
180	3494.24
181	3196.80
186	2678.40
188	3628.80
191	5054.40
193	2635.20
195	3067.20
201	3369.60
202	2073.60
206	1987.20
209	4795.20
211	2289.60
213	711.94
215	3024.00

<b>POZO</b>	<b>TRANSMISIVIDAD m<sup>2</sup>/d</b>
216	1944.00
218	1555.20
226	250.56
228	3024.00
232	2462.40
235	1339.20
236	685.15
238	337.82
242	376.27
244	247.97
250	2332.80
253	2937.60
259	2592.00
261	3196.80
277	946.51
278	827.28
280	1123.20
309	2851.20
311	951.26
317	3067.20
321	278.21

**APENDICE 4**



.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
6.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	6.000
7.000	9.000	11.00	15.00	18.00	.0000	.0000
25.00	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
5.000	6.000	7.000	7.000	7.000	7.000	6.000
7.000	9.000	11.00	14.00	17.00	19.00	21.00
24.00	27.00	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
4.000	4.000	6.000	7.000	7.000	7.000	7.000
7.000	8.000	11.00	14.00	15.00	17.00	19.00
22.00	26.00	30.00	30.00	.0000	.0000	.0000
.0000						
5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
3.000	2.000	5.000	7.000	7.000	7.000	8.000
9.000	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	16.00
18.00	23.00	28.00	30.00	30.00	30.00	30.00
.0000						
5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
4.000	3.000	4.000	6.000	7.000	8.000	10.00
6.000	3.000	3.000	5.000	9.000	11.00	13.00
15.00	16.00	23.00	26.00	28.00	28.00	28.00
.0000						
5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
5.000	5.000	4.000	5.000	7.000	7.000	10.00
8.000	.0000	-6.000	-4.000	6.000	10.00	12.00
13.00	16.00	20.00	22.00	25.00	25.00	26.00
.0000						
6.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
5.000	5.000	5.000	6.000	7.000	8.000	9.000
8.000	.0000	-2.000	.0000	6.000	9.000	11.00
13.00	15.00	17.00	20.00	22.00	23.00	24.00
.0000						
6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	5.000	5.000
5.000	6.000	5.000	6.000	6.000	8.000	8.000
6.000	-1.000	-1.000	1.000	6.000	8.000	9.000
11.00	12.00	15.00	18.00	19.00	.0000	.0000
.0000						
5.000	6.000	7.000	7.000	7.000	6.000	6.000
6.000	6.000	6.000	5.000	5.000	6.000	6.000
1.000	.0000	-2.000	.0000	2.000	4.000	6.000
10.00	11.00	14.00	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
5.000	5.000	6.000	7.000	7.000	7.000	7.000
7.000	7.000	7.000	6.000	5.000	5.000	2.000
1.000	-2.000	-4.000	-5.000	-5.000	-1.000	2.000



.0000						
3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	5.000	5.000
5.000	6.000	7.000	7.000	6.000	3.000	1.000
1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	3.000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
4.000	5.000	6.000	7.000	7.000	4.000	2.000
.0000	.0000	1.000	2.000	3.000	4.000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	7.000	6.000
5.000	4.000	4.000	4.000	4.000	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	5.000
5.000	5.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000
7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
3.000	3.000	3.000	3.000	5.000	6.000	10.00
12.00	9.000	7.000	5.000	5.000	4.000	6.000
8.000	10.00	10.00	10.00	14.00	18.00	18.00
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
3.000	3.000	3.000	4.000	5.000	7.000	9.000
9.000	8.000	5.000	2.000	2.000	2.000	4.000
8.000	8.000	14.00	17.00	18.00	22.00	22.00
22.00	22.00	22.00	22.00	.0000	.0000	.0000
.0000						
4.000	3.000	3.000	4.000	4.000	5.000	6.000
6.000	4.000	2.000	.0000	.0000	.0000	2.000
6.000	6.000	14.00	18.00	24.00	26.00	26.00
26.00	26.00	26.00	26.00	.0000	.0000	.0000
.0000						
5.000	3.000	3.000	3.000	3.000	4.000	4.000
4.000	2.000	1.000	.0000	.0000	.0000	1.000
3.000	3.000	5.000	6.000	20.00	27.00	31.00
32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	.0000	.0000
.0000						
6.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
.0000	.0000	4.000	12.00	20.00	30.00	34.00
34.00	34.00	33.00	33.00	33.00	32.00	.0000
.0000						
8.000	7.000	6.000	4.000	3.000	3.000	2.000
2.000	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000
.0000	1.000	4.000	12.00	20.00	30.00	34.00
34.00	34.00	33.00	33.00	33.00	32.00	32.00
.0000						

.0000	10.00	7.000	4.000	3.000	2.000	1.000
1.000	2.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2.000	2.000	4.000	10.00	18.00	27.00	32.00
33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	32.00	32.00
.0000						
.0000	10.00	7.000	4.000	3.000	2.000	1.000
1.000	1.000	.0000	.0000	1.000	1.000	2.000
3.000	3.000	7.000	11.00	16.00	22.00	28.00
30.00	32.00	33.00	33.00	32.00	32.00	32.00
.0000						
.0000	10.00	7.000	4.000	3.000	2.000	1.000
1.000	.0000	.0000	.0000	1.000	1.000	2.000
3.000	5.000	6.000	10.00	14.00	20.00	25.00
28.00	30.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00
.0000						
.0000	10.00	7.000	4.000	3.000	2.000	1.000
1.000	.0000	.0000	.0000	1.000	1.000	3.000
4.000	5.000	7.000	10.00	14.00	18.00	25.00
28.00	28.00	29.00	31.00	31.00	31.00	31.00
.0000						
.0000	10.00	7.000	4.000	3.000	2.000	1.000
1.000	.0000	.0000	.0000	1.000	2.000	3.000
4.000	6.000	8.000	11.00	14.00	16.00	24.00
26.00	26.00	28.00	30.00	30.00	30.00	30.00
.0000						
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	1.000	1.000	2.000	3.000	4.000
6.000	8.000	10.00	12.00	14.00	16.00	22.00
24.00	25.00	26.00	28.00	29.00	29.00	30.00
.0000						
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
90.00	11.5000					

**MAN.opc**

Archivo de control de salida

-1	-1	24	23
0	1	1	0
1	1	1	1
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0

**MAN.sip**

Archivo de procedimiento altamente implícito

50 5  
1.0000 .10000E-04 0.10000E-03 9

MAN.wel

Archivo de pozos

117	0	
117		
1	2	7 -830.
1	2	10 -830.
1	2	11 -830.
1	3	10 -830.
1	3	11 -830.
1	3	12 -830.
1	4	10 -830.
1	5	12-1660.
1	6	11 -830.
1	6	13 -830.
1	4	15 -830.
1	5	16 -830.
1	6	15 -830.
1	7	15 -830.
1	5	18 -830.
1	5	19 -830.
1	7	17 -830.
1	7	19 -830.
1	8	18 -830.
1	8	19 -830.
1	6	23 -830.
1	4	24 -830.
1	5	25 -830.
1	12	18 -830.
1	10	10 -830.
1	10	12 -830.
1	10	14 -830.
1	12	15 -830.
1	13	14-1660.
1	13	13 -830.
1	15	11 -830.
1	16	8 -830.
1	16	13 -830.
1	16	14 -830.
1	18	10 -830.
1	19	15 -830.
1	19	14 -830.
1	19	13 -830.
1	20	12 -830.
1	20	11 -830.
1	20	9 -830.
1	21	8 -830.
1	23	6-1660.

1	24	2 -830.
1	25	6 -830.
1	25	4 -830.
1	25	3-1660.
1	24	3 -830.
1	28	5 -830.
1	21	14 -830.
1	21	13 -830.
1	21	12 -830.
1	22	10 -830.
1	22	17 -830.
1	22	16 -830.
1	22	15 -830.
1	23	14 -830.
1	23	10 -830.
1	24	8 -830.
1	24	11 -830.
1	24	14 -830.
1	24	13 -830.
1	24	17 -830.
1	25	8 -830.
1	26	8 -830.
1	26	9 -830.
1	26	17 -830.
1	27	13 -830.
1	28	11 -830.
1	28	16 -830.
1	28	18 -830.
1	30	5 -830.
1	30	10 -830.
1	30	11 -830.
1	29	15 -830.
1	29	16 -830.
1	30	18 -830.
1	30	20 -830.
1	31	21 -830.
1	31	15 -830.
1	32	14-1660.
1	32	16 -830.
1	32	17 -830.
1	32	18 -830.
1	31	11 -830.
1	32	12 -830.
1	32	10 -830.
1	33	10 -830.
1	32	9 -830.
1	34	9 -830.
1	33	6 -830.
1	31	3 -830.
1	32	5-1660.
1	35	4 -830.

```

1 37 7-830.
1 5 28 1300.
1 6 28 1300.
1 7 28 1300.
1 8 28 1300.
1 5 29 1300.
1 6 29 1300.
1 7 29 1300.
1 8 29 1300.
1 31 28 3269.
1 32 28 3269.
1 33 28 3269.
1 34 28 3269.
1 35 28 3269.
1 36 28 3269.
1 37 28 3269.
1 31 29 3269.
1 32 29 3269.
1 33 29 3269.
1 34 29 3269.
1 35 29 3269.
1 36 29 3269.
1 37 29 3269.

```

**MAN8.bcf**  
 Archivo de bloque centrado

0 0

1

```

0 .100E+01
0 .300E+03
0 .300E+03
0 .100E-01
11 .100E+01(7G11.4) 12
7.430 7.430 6.290 6.770 7.330 7.330 7.330
8.000 7.200 9.000 12.60 12.00 14.40 18.00
26.70 44.00 88.00 .0000 .0000 .0000 .0000
.0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000
.0000
8.000 7.430 7.430 6.770 7.330 7.330 7.330
8.000 7.200 7.780 12.60 12.00 14.40 18.00
29.30 44.00 88.00 88.00 88.00 .0000 .0000
28.60 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000
.0000
8.000 8.000 8.000 8.000 8.670 7.330 7.330
8.000 8.800 9.720 17.30 6.310 4.800 18.00
29.30 44.00 88.00 104.0 104.0 51.40 40.00
28.60 17.10 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000
.0000
8.570 8.570 8.000 8.620 8.620 8.670 8.670
8.000 8.800 9.000 10.30 4.000 4.800 18.00

```

29.30	34.70	52.00	120.0	104.0	36.00	20.00
12.00	6.000	4.940	4.000	.0000	.0000	.0000
.0000						
9.140	9.140	8.570	9.230	9.230	9.330	9.330
9.450	8.800	9.000	10.30	4.060	12.00	14.40
17.60	20.70	30.00	32.00	40.00	36.00	12.00
7.000	7.000	4.000	3.000	3.000	3.000	3.000
.0000						
9.850	9.850	9.850	9.850	9.850	9.230	10.00
9.330	10.40	11.00	11.00	11.00	13.30	14.70
20.80	20.80	24.00	24.00	42.00	34.70	4.490
4.670	5.010	2.670	2.000	2.000	2.000	2.000
.0000						
9.850	9.850	9.850	9.850	9.850	9.850	9.850
9.230	10.90	10.40	8.800	10.20	11.00	13.00
13.70	16.00	17.30	8.930	33.60	50.50	6.850
6.000	2.000	2.000	1.500	1.500	1.500	1.500
.0000						
10.50	10.50	9.850	9.850	10.50	10.50	10.50
10.50	10.50	9.230	8.670	8.800	9.780	13.00
12.00	12.00	14.90	19.00	6.050	4.800	6.000
6.000	2.000	2.000	1.500	1.500	1.500	1.500
.0000						
10.90	10.90	9.710	9.710	10.30	10.90	10.90
10.90	10.90	10.50	8.670	8.000	8.890	11.60
10.70	13.00	24.00	28.00	20.80	16.00	8.000
1.600	2.000	1.500	1.500	1.500	.0000	.0000
.0000						
10.70	10.70	10.10	10.10	10.10	10.70	10.70
10.70	12.00	13.50	5.850	7.950	9.780	10.70
11.60	13.00	24.00	39.20	33.60	24.20	10.00
2.000	2.000	1.500	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
10.70	10.70	10.70	10.70	10.70	10.70	10.70
10.70	10.90	10.50	8.670	8.800	9.780	9.780
8.890	9.000	5.710	1.850	.8000	3.200	2.500
2.000	2.000	2.000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
10.10	10.10	10.70	10.70	10.70	10.70	10.70
10.10	9.710	9.230	8.670	10.40	9.780	9.780
9.780	9.000	8.000	6.670	4.800	3.200	2.000
2.000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
9.070	9.070	10.10	10.70	10.70	10.10	10.10
9.600	9.710	9.230	9.330	10.40	11.60	10.10
9.780	11.00	12.00	8.000	4.800	4.000	2.000
2.000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
8.000	8.000	9.070	10.10	10.10	9.600	10.30
9.710	8.760	8.620	9.330	12.00	13.30	15.00
11.60	11.00	12.00	11.20	10.00	6.000	2.000



.0000						
1.330	1.410	1.410	1.500	2.500	6.130	5.870
6.290	6.670	8.800	9.780	11.60	15.00	17.00
14.90	6.670	4.270	8.000	16.00	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
1.330	1.410	1.410	1.500	1.500	2.670	2.670
5.710	8.670	10.40	11.60	9.780	5.000	5.000
5.710	4.000	3.200	8.000	16.00	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
1.000	1.000	1.000	1.040	1.040	1.040	1.170
5.870	11.30	16.80	15.10	11.00	3.520	3.000
2.290	2.670	8.000	44.00	88.00	88.00	88.00
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
1.070	1.070	1.070	1.070	1.070	1.070	2.670
6.930	14.00	22.80	18.70	11.00	5.000	5.000
3.430	2.790	8.000	50.10	104.0	104.0	104.0
104.0	104.0	104.0	104.0	.0000	.0000	.0000
.0000						
2.860	2.860	2.780	2.780	2.670	2.670	6.030
8.220	11.30	15.30	13.60	9.780	11.00	6.050
5.710	6.670	17.60	52.00	52.00	52.00	52.00
104.0	104.0	104.0	104.0	.0000	.0000	.0000
.0000						
4.670	4.670	4.000	4.000	5.140	6.290	7.430
8.570	10.00	10.90	12.00	11.60	11.00	11.00
12.60	14.70	17.60	44.00	52.00	52.00	52.00
104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	.0000	.0000
.0000						
5.600	5.600	4.670	4.670	6.000	7.550	8.670
8.620	8.620	10.20	11.20	11.60	13.00	11.00
12.60	14.70	17.60	48.00	52.00	104.0	104.0
104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	.0000
.0000						
.0000	6.220	6.220	7.200	8.800	8.420	9.120
9.330	9.330	10.20	11.20	12.40	13.00	12.00
12.60	14.70	17.60	44.00	48.00	104.0	104.0
104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0
.0000						
.0000	7.000	9.000	8.000	8.800	8.730	8.730
9.450	10.20	11.20	12.40	14.00	13.00	13.70
16.00	16.00	19.20	48.00	44.00	.0000	104.0
104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0
.0000						
.0000	8.000	8.890	8.000	8.800	8.420	8.420
9.120	9.820	11.20	12.40	14.00	13.00	13.70
16.00	16.00	19.20	48.00	48.00	.0000	96.00
104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0
.0000						

.0000	8.510	8.510	8.000	8.800	8.780	8.780
9.450	10.20	11.20	12.40	14.00	13.00	13.70
16.00	16.00	19.20	48.00	48.00	96.00	88.00
96.00	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0
.0000						
.0000	8.510	8.510	8.000	8.800	8.000	8.730
9.450	10.20	11.20	12.40	14.00	13.00	13.70
16.00	16.00	19.20	48.00	48.00	96.00	96.00
88.00	96.00	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0
.0000						
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	11.20	12.40	14.00	13.00	13.70
16.00	16.00	19.20	48.00	48.00	96.00	96.00
96.00	88.00	96.00	104.0	104.0	104.0	104.0
.0000						
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
11	.100E+01(7G11.4)			12		
-350.0	-350.0	-350.0	-325.0	-300.0	-300.0	-300.0
-275.0	-250.0	-200.0	-175.0	-150.0	-125.0	-100.0
-75.00	-50.00	-25.00	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
-350.0	-350.0	-350.0	-325.0	-300.0	-300.0	-300.0
-275.0	-250.0	-200.0	-175.0	-150.0	-125.0	-100.0
-75.00	-50.00	-25.00	-25.00	-25.00	.0000	.0000
-35.00	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
-350.0	-350.0	-350.0	-325.0	-300.0	-300.0	-300.0
-275.0	-250.0	-200.0	-175.0	-150.0	-125.0	-100.0
-75.00	-50.00	-25.00	-25.00	-25.00	-35.00	-35.00
-35.00	-35.00	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
-350.0	-350.0	-350.0	-325.0	-325.0	-300.0	-300.0
-275.0	-250.0	-200.0	-175.0	-150.0	-125.0	-100.0
-75.00	-75.00	-50.00	-25.00	-25.00	-50.00	-50.00
-50.00	-50.00	-50.00	-50.00	.0000	.0000	.0000
.0000						
-350.0	-350.0	-350.0	-325.0	-325.0	-300.0	-300.0
-275.0	-250.0	-200.0	-175.0	-175.0	-150.0	-125.0
-125.0	-125.0	-100.0	-100.0	-75.00	-50.00	-50.00
-50.00	-50.00	-50.00	-50.00	-50.00	-50.00	-50.00
.0000						
-325.0	-325.0	-325.0	-325.0	-325.0	-325.0	-300.0
-300.0	-250.0	-200.0	-200.0	-200.0	-175.0	-150.0
-125.0	-125.0	-125.0	-125.0	-100.0	-75.00	-75.00
-75.00	-75.00	-75.00	-75.00	-75.00	-75.00	-75.00
.0000						



-335.0	-325.0	-300.0	-250.0	-250.0	-225.0	-225.0
-225.0	-200.0	-150.0	-125.0	-100.0	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
-375.0	-350.0	-350.0	-350.0	-350.0	-350.0	-335.0
-335.0	-325.0	-300.0	-250.0	-225.0	-225.0	-225.0
-200.0	-175.0	-150.0	-125.0	-100.0	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
-375.0	-350.0	-350.0	-350.0	-350.0	-350.0	-350.0
-325.0	-300.0	-300.0	-250.0	-225.0	-225.0	-200.0
-200.0	-175.0	-125.0	-125.0	-100.0	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
-375.0	-350.0	-350.0	-350.0	-350.0	-350.0	-350.0
-325.0	-300.0	-300.0	-250.0	-225.0	-200.0	-200.0
-175.0	-150.0	-150.0	-100.0	-75.00	-50.00	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
-375.0	-375.0	-375.0	-375.0	-375.0	-375.0	-350.0
-350.0	-300.0	-250.0	-225.0	-225.0	-200.0	-200.0
-175.0	-150.0	-125.0	-100.0	-75.00	-50.00	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
-400.0	-400.0	-400.0	-385.0	-385.0	-375.0	-375.0
-350.0	-300.0	-250.0	-225.0	-225.0	-200.0	-200.0
-175.0	-150.0	-125.0	-100.0	-50.00	-25.00	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
-425.0	-425.0	-400.0	-400.0	-400.0	-375.0	-375.0
-350.0	-300.0	-250.0	-225.0	-225.0	-200.0	-200.0
-175.0	-150.0	-125.0	-50.00	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
-450.0	-425.0	-425.0	-400.0	-400.0	-375.0	-375.0
-350.0	-300.0	-250.0	-225.0	-225.0	-200.0	-200.0
-150.0	-100.0	-50.00	-50.00	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
-450.0	-425.0	-425.0	-400.0	-400.0	-375.0	-375.0
-350.0	-300.0	-250.0	-225.0	-225.0	-200.0	-200.0
-175.0	-150.0	-125.0	-50.00	-25.00	-450.0	-425.0
-425.0	-400.0	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
-450.0	-425.0	-425.0	-400.0	-400.0	-375.0	-375.0
-350.0	-300.0	-250.0	-225.0	-225.0	-200.0	-200.0
-175.0	-150.0	-125.0	-50.00	-25.00	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
-400.0	-400.0	-400.0	-385.0	-385.0	-385.0	-375.0
-375.0	-300.0	-250.0	-225.0	-200.0	-200.0	-200.0

-175.0	-150.0	-125.0	-50.00	-25.00	-25.00	-25.00
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						
-375.0	-375.0	-375.0	-375.0	-375.0	-375.0	-375.0
-375.0	-300.0	-250.0	-225.0	-200.0	-200.0	-200.0
-175.0	-150.0	-125.0	-50.00	-25.00	-25.00	-25.00
-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	.0000	.0000	.0000
.0000						
-350.0	-350.0	-360.0	-360.0	-375.0	-375.0	-365.0
-365.0	-300.0	-275.0	-250.0	-225.0	-200.0	-200.0
-175.0	-150.0	-125.0	-50.00	-50.00	-50.00	-50.00
-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	.0000	.0000	.0000
.0000						
-300.0	-300.0	-350.0	-350.0	-350.0	-350.0	-350.0
-350.0	-300.0	-275.0	-250.0	-225.0	-200.0	-200.0
-175.0	-150.0	-125.0	-50.00	-50.00	-50.00	-50.00
-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	.0000	.0000
.0000						
-250.0	-250.0	-300.0	-300.0	-300.0	-300.0	-300.0
-325.0	-325.0	-275.0	-250.0	-225.0	-200.0	-200.0
-175.0	-150.0	-125.0	-50.00	-50.00	-25.00	-25.00
-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	.0000
.0000						
.0000	-225.0	-225.0	-250.0	-250.0	-285.0	-285.0
-300.0	-300.0	-275.0	-250.0	-225.0	-200.0	-175.0
-150.0	-125.0	-50.00	-50.00	-25.00	-25.00	-25.00
-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00
.0000						
.0000	-200.0	-200.0	-250.0	-250.0	-275.0	-275.0
-275.0	-275.0	-250.0	-225.0	-200.0	-200.0	-175.0
-150.0	-150.0	-125.0	-50.00	-50.00	.0000	-25.00
-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00
.0000						
.0000	-225.0	-225.0	-250.0	-250.0	-285.0	-285.0
-285.0	-285.0	-250.0	-225.0	-200.0	-200.0	-175.0
-150.0	-150.0	-125.0	-50.00	-50.00	.0000	-25.00
-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00
.0000						
.0000	-235.0	-235.0	-250.0	-250.0	-275.0	-275.0
-275.0	-275.0	-250.0	-225.0	-200.0	-200.0	-175.0
-150.0	-150.0	-125.0	-50.00	-50.00	-25.00	-25.00
-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00
.0000						
.0000	-235.0	-235.0	-250.0	-250.0	-275.0	-275.0
-275.0	-275.0	-250.0	-225.0	-200.0	-200.0	-175.0
-150.0	-150.0	-125.0	-50.00	-50.00	-25.00	-25.00
-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00
.0000						
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	-250.0	-225.0	-200.0	-200.0	-175.0
-150.0	-150.0	-125.0	-50.00	-50.00	-25.00	-25.00

-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00
.0000						
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000						

**APENDICE 5**

1 U.S. GEOLOGICAL SURVEY MODULAR FINITE-DIFFERENCE GROUND-WATER MODEL

0MODELO DE FLUJO DEL ACUIFERO DE LA PLANICIE COSTERA DEL VALLE DE MANEADERO, B.C., JUNIO 1996. PERIODO ESTIAJE

1 LAYERS 38 ROWS 29 COLUMNS

1 STRESS PERIOD(S) IN SIMULATION

MODEL TIME UNIT IS DAYS

0I/O UNITS:

ELEMENT OF IUNIT: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

I/O UNIT: 11 12 0 0 0 0 0 0 19 0 0 22 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0BAS1 -- BASIC MODEL PACKAGE, VERSION 1, 9/1/87 INPUT READ FROM UNIT 1

ARRAYS RHS AND BUFF WILL SHARE MEMORY.

START HEAD WILL BE SAVED

9989 ELEMENTS IN X ARRAY ARE USED BY BAS

9989 ELEMENTS OF X ARRAY USED OUT OF 60000

0BCF1 -- BLOCK-CENTERED FLOW PACKAGE, VERSION 1, 9/1/87 INPUT READ FROM UNIT 11

TRANSIENT SIMULATION

LAYER AQUIFER TYPE

1 1

3307 ELEMENTS IN X ARRAY ARE USED BY BCF

13296 ELEMENTS OF X ARRAY USED OUT OF 60000

0WEL1 -- WELL PACKAGE, VERSION 1, 9/1/87 INPUT READ FROM 12

MAXIMUM OF 117 WELLS

468 ELEMENTS IN X ARRAY ARE USED FOR WELLS

13764 ELEMENTS OF X ARRAY USED OUT OF 60000

0SIP1 -- STRONGLY IMPLICIT PROCEDURE SOLUTION PACKAGE, VERSION 1, 9/1/87 INPUT READ FROM UNIT 19

MAXIMUM OF 50 ITERATIONS ALLOWED FOR CLOSURE

5 ITERATION PARAMETERS

4613 ELEMENTS IN X ARRAY ARE USED BY SIP

18377 ELEMENTS OF X ARRAY USED OUT OF 60000

1MODELO DE FLUJO DEL ACUIFERO DE LA PLANICIE COSTERA DEL MANEADERO, B.C., JUNIO 1996. PERIODO ES

VALLE DE

0

BOUNDARY ARRAY FOR LAYER 1 WILL BE READ ON UNIT 1 USING FORMAT: (40I2)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29

0 1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 2 -1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0
0 3 -1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
0 4 -1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0
0 5 -1 -1 -1 -1 -1 -1 1
0 6 -1 -1 -1 -1 1
0 7 -1 -1 -1 -1 1
0 8 -1 -1 -1 -1 1





0 21	3.000	3.000	4.000	4.000	5.000	5.000	5.000	6.000	7.000	9.000
	8.000	7.000	6.000	5.000	4.000	2.000	2.000	2.000	2.000	3.000
	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 22	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	5.000	5.000	5.000	6.000	7.000
	7.000	6.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	3.000
	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 23	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	4.000	5.000	6.000
	7.000	7.000	4.000	2.000	.0000	.0000	1.000	2.000	3.000	4.000
	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 24	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	4.000	5.000	6.000
	7.000	8.000	7.000	6.000	5.000	4.000	4.000	4.000	4.000	.0000
	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 25	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	5.000	5.000	5.000	7.000
	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	.0000
	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 26	3.000	3.000	3.000	3.000	5.000	6.000	10.00	12.00	9.000	7.000
	5.000	5.000	4.000	6.000	8.000	10.00	10.00	10.00	14.00	18.00
	18.00	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 27	3.000	3.000	3.000	4.000	5.000	7.000	9.000	9.000	8.000	5.000
	2.000	2.000	2.000	4.000	8.000	8.000	14.00	17.00	18.00	22.00
	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 28	4.000	3.000	3.000	4.000	4.000	5.000	6.000	6.000	4.000	2.000
	.0000	.0000	.0000	2.000	6.000	6.000	14.00	18.00	24.00	26.00
	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 29	5.000	3.000	3.000	3.000	3.000	4.000	4.000	4.000	2.000	1.000
	.0000	.0000	.0000	1.000	3.000	3.000	5.000	6.000	20.00	27.00
	31.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	.0000	.0000	.0000	
0 30	6.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	2.000	1.000	1.000
	1.000	1.000	1.000	1.000	.0000	.0000	4.000	12.00	20.00	30.00
	34.00	34.00	34.00	33.00	33.00	33.00	32.00	.0000	.0000	
0 31	8.000	7.000	6.000	4.000	3.000	3.000	2.000	2.000	1.000	1.000
	2.000	1.000	1.000	1.000	.0000	1.000	4.000	12.00	20.00	30.00
	34.00	34.00	34.00	33.00	33.00	33.00	32.00	32.00	.0000	
0 32	.0000	10.00	7.000	4.000	3.000	2.000	1.000	1.000	2.000	2.000
	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	2.000	4.000	10.00	18.00	27.00
	32.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	32.00	32.00	.0000	
0 33	.0000	10.00	7.000	4.000	3.000	2.000	1.000	1.000	1.000	.0000
	.0000	1.000	1.000	2.000	3.000	3.000	7.000	11.00	16.00	22.00
	28.00	30.00	32.00	33.00	33.00	32.00	32.00	32.00	.0000	
0 34	.0000	10.00	7.000	4.000	3.000	2.000	1.000	1.000	.0000	.0000
	.0000	1.000	1.000	2.000	3.000	5.000	6.000	10.00	14.00	20.00
	25.00	28.00	30.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	.0000	
0 35	.0000	10.00	7.000	4.000	3.000	2.000	1.000	1.000	.0000	.0000
	.0000	1.000	1.000	3.000	4.000	5.000	7.000	10.00	14.00	18.00
	25.00	28.00	28.00	29.00	31.00	31.00	31.00	31.00	.0000	
0 36	.0000	10.00	7.000	4.000	3.000	2.000	1.000	1.000	.0000	.0000
	.0000	1.000	2.000	3.000	4.000	6.000	8.000	11.00	14.00	16.00
	24.00	26.00	26.00	28.00	30.00	30.00	30.00	30.00	.0000	
0 37	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	1.000
	1.000	2.000	3.000	4.000	6.000	8.000	10.00	12.00	14.00	16.00
	22.00	24.00	25.00	26.00	28.00	29.00	29.00	30.00	.0000	

0 38 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000  
 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000  
 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000

0 HEAD PRINT FORMAT IS FORMAT NUMBER -1 DRAWDOWN PRINT FORMAT IS FORMAT  
 NUMBER -1

0 HEADS WILL BE SAVED ON UNIT 24 DRAWDOWNS WILL BE SAVED ON UNIT 23

0 OUTPUT CONTROL IS SPECIFIED EVERY TIME STEP

0 COLUMN TO ROW ANISOTROPY = 1.000000

0 DELR = 300.0000

0 DELC = 300.0000

0 PRIMARY STORAGE COEF = .1000000E-01 FOR LAYER 1

0

HYD. COND. ALONG ROWS FOR LAYER 1 WILL BE READ ON UNIT 11

USING FORMAT: (7G11.4)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
0 1	7.430	7.430	6.290	6.770	7.330	7.330	7.330	8.000	7.200	9.000
	12.60	12.00	14.40	18.00	26.70	44.00	88.00	.0000	.0000	.0000
	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 2	8.000	7.430	7.430	6.770	7.330	7.330	7.330	8.000	7.200	7.780
	12.60	12.00	14.40	18.00	29.30	44.00	88.00	88.00	88.00	.0000
	.0000	28.60	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 3	8.000	8.000	8.000	8.000	8.670	7.330	7.330	8.000	8.800	9.720
	17.30	6.310	4.800	18.00	29.30	44.00	88.00	104.0	104.0	51.40
	40.00	28.60	17.10	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 4	8.570	8.570	8.000	8.620	8.620	8.670	8.670	8.000	8.800	9.000
	10.30	4.000	4.800	18.00	29.30	34.70	52.00	120.0	104.0	36.00
	20.00	12.00	6.000	4.940	4.000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 5	9.140	9.140	8.570	9.230	9.230	9.330	9.330	9.450	8.800	9.000
	10.30	4.060	12.00	14.40	17.60	20.70	30.00	32.00	40.00	36.00
	12.00	7.000	7.000	4.000	3.000	3.000	3.000	3.000	.0000	
0 6	9.850	9.850	9.850	9.850	9.850	9.230	10.00	9.330	10.40	11.00
	11.00	11.00	13.30	14.70	20.80	20.80	24.00	24.00	42.00	34.70
	4.490	4.670	5.010	2.670	2.000	2.000	2.000	2.000	.0000	
0 7	9.850	9.850	9.850	9.850	9.850	9.850	9.850	9.230	10.90	10.40
	8.800	10.20	11.00	13.00	13.70	16.00	17.30	8.930	33.60	50.50
	6.850	6.000	2.000	2.000	1.500	1.500	1.500	1.500	.0000	
0 8	10.50	10.50	9.850	9.850	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	9.230
	8.670	8.800	9.780	13.00	12.00	12.00	14.90	19.00	6.050	4.800
	6.000	6.000	2.000	2.000	1.500	1.500	1.500	1.500	.0000	
0 9	10.90	10.90	9.710	9.710	10.30	10.90	10.90	10.90	10.90	10.50
	8.670	8.000	8.890	11.60	10.70	13.00	24.00	28.00	20.80	16.00
	8.000	1.600	2.000	1.500	1.500	1.500	.0000	.0000	.0000	
0 10	10.70	10.70	10.10	10.10	10.10	10.70	10.70	10.70	12.00	13.50
	5.850	7.950	9.780	10.70	11.60	13.00	24.00	39.20	33.60	24.20

	10.00	2.000	2.000	1.500	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 11	10.70	10.70	10.70	10.70	10.70	10.70	10.70	10.70	10.90	10.50
	8.670	8.800	9.780	9.780	8.890	9.000	5.710	1.850	.8000	3.200
	2.500	2.000	2.000	2.000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 12	10.10	10.10	10.70	10.70	10.70	10.70	10.70	10.10	9.710	9.230
	8.670	10.40	9.780	9.780	9.780	9.000	8.000	6.670	4.800	3.200
	2.000	2.000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 13	9.070	9.070	10.10	10.70	10.70	10.10	10.10	9.600	9.710	9.230
	9.330	10.40	11.60	10.10	9.780	11.00	12.00	8.000	4.800	4.000
	2.000	2.000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 14	8.000	8.000	9.070	10.10	10.10	9.600	10.30	9.710	8.760	8.620
	9.330	12.00	13.30	15.00	11.60	11.00	12.00	11.20	10.00	6.000
	2.000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 15	7.470	7.470	8.000	9.070	9.710	10.30	10.30	9.710	8.570	8.620
	10.00	12.00	13.30	15.10	11.90	11.00	14.70	14.40	14.00	10.00
	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 16	7.470	7.470	8.000	8.570	8.570	9.710	10.70	10.10	8.110	11.30
	13.60	13.60	14.20	16.00	13.30	13.00	16.00	17.60	18.00	10.00
	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 17	6.930	8.000	8.000	8.000	8.570	9.710	12.50	12.50	16.20	14.00
	15.20	13.60	13.30	13.30	13.60	13.00	16.00	20.80	22.00	.0000
	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 18	4.800	7.430	8.000	8.000	8.570	9.710	12.50	14.90	15.70	14.00
	15.20	16.10	13.30	12.40	13.00	12.10	17.30	20.80	26.00	.0000
	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 19	4.800	5.140	7.430	7.430	8.000	8.570	9.710	12.90	16.80	14.00
	15.20	16.00	9.340	13.00	13.00	14.90	24.00	24.00	26.00	.0000
	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 20	4.800	5.140	5.140	5.140	7.430	7.430	7.430	8.000	6.620	11.30
	13.60	17.30	17.00	16.20	17.10	20.00	22.70	30.00	34.70	40.00
	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 21	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800	5.710	5.710	6.670	10.40
	13.10	15.10	17.70	15.00	17.10	22.70	30.40	30.00	34.70	40.00
	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 22	2.500	2.500	2.500	2.600	2.600	2.670	2.670	2.860	3.330	8.800
	11.60	13.30	15.00	13.00	14.90	20.70	20.80	26.00	40.00	80.00
	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 23	1.410	1.410	1.500	1.500	1.500	2.050	2.670	5.710	3.330	4.000
	9.780	11.60	15.00	12.30	11.80	13.30	16.00	20.00	.0000	.0000
	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 24	1.330	1.410	1.410	1.500	1.500	2.670	5.330	5.920	6.670	4.000
	5.370	11.60	16.60	28.50	17.30	10.00	6.340	4.000	.0000	.0000
	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 25	1.330	1.410	1.410	1.500	2.500	6.130	5.870	6.290	6.670	8.800
	9.780	11.60	15.00	17.00	14.90	6.670	4.270	8.000	16.00	.0000
	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 26	1.330	1.410	1.410	1.500	1.500	2.670	2.670	5.710	8.670	10.40
	11.60	9.780	5.000	5.000	5.710	4.000	3.200	8.000	16.00	.0000
	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
0 27	1.000	1.000	1.000	1.040	1.040	1.040	1.170	5.870	11.30	16.80
	15.10	11.00	3.520	3.000	2.290	2.670	8.000	44.00	88.00	88.00







0.37	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	-250.0
	-225.0	-200.0	-200.0	-175.0	-150.0	-150.0	-125.0	-50.00	-50.00	-25.00
	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	-25.00	.0000	
0.38	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	
NODE (LAYER,ROW,COL) 1 1 18 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0										
NODE (LAYER,ROW,COL) 1 5 29 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0										
NODE (LAYER,ROW,COL) 1 6 29 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0										
NODE (LAYER,ROW,COL) 1 7 29 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0										
NODE (LAYER,ROW,COL) 1 8 29 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0										
NODE (LAYER,ROW,COL) 1 23 19 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0										
NODE (LAYER,ROW,COL) 1 23 20 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0										
NODE (LAYER,ROW,COL) 1 24 19 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0										
NODE (LAYER,ROW,COL) 1 26 20 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0										
NODE (LAYER,ROW,COL) 1 26 21 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0										
NODE (LAYER,ROW,COL) 1 27 22 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0										
NODE (LAYER,ROW,COL) 1 27 23 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0										
NODE (LAYER,ROW,COL) 1 27 24 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0										
NODE (LAYER,ROW,COL) 1 27 25 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0										
NODE (LAYER,ROW,COL) 1 29 26 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0										
NODE (LAYER,ROW,COL) 1 30 27 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0										
NODE (LAYER,ROW,COL) 1 31 28 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0										
NODE (LAYER,ROW,COL) 1 31 29 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0										
NODE (LAYER,ROW,COL) 1 32 29 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0										
NODE (LAYER,ROW,COL) 1 33 20 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0										
NODE (LAYER,ROW,COL) 1 33 29 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0										
NODE (LAYER,ROW,COL) 1 34 20 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0										

NODE (LAYER,ROW,COL) 1 34 29 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0  
 NODE (LAYER,ROW,COL) 1 35 29 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0  
 NODE (LAYER,ROW,COL) 1 36 29 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0  
 NODE (LAYER,ROW,COL) 1 37 29 ELIMINATED BECAUSE ALL CONDUCTANCES TO NODE ARE 0  
 0

SOLUTION BY THE STRONGLY IMPLICIT PROCEDURE

0 MAXIMUM ITERATIONS ALLOWED FOR CLOSURE = 50  
 ACCELERATION PARAMETER = 1.0000  
 HEAD CHANGE CRITERION FOR CLOSURE = .10000E-04  
 SIP HEAD CHANGE PRINTOUT INTERVAL = 9

0 5 ITERATION PARAMETERS CALCULATED FROM SPECIFIED WSEED = .00010000 :

1 .0000000E+00 .9000000E+00 .9900000E+00 .9990000E+00 .9999000E+00  
 STRESS PERIOD NO. 1, LENGTH = 90.00000

NUMBER OF TIME STEPS = 1

MULTIPLIER FOR DELT = 1.500

INITIAL TIME STEP SIZE = 90.00000

0 117 WELLS

LAYER	ROW	COL	STRESS RATE	WELL NO.
1	2	7	-830.00	1
1	2	10	-830.00	2
1	2	11	-830.00	3
1	3	10	-830.00	4
1	3	11	-830.00	5
1	3	12	-830.00	6
1	4	10	-830.00	7
1	5	12	-1660.0	8
1	6	11	-830.00	9
1	6	13	-830.00	10
1	4	15	-830.00	11
1	5	16	-830.00	12
1	6	15	-830.00	13
1	7	15	-830.00	14
1	5	18	-830.00	15
1	5	19	-830.00	16
1	7	17	-830.00	17
1	7	19	-830.00	18
1	8	18	-830.00	19

1	8	19	-830.00	20
1	6	23	-830.00	21
1	4	24	-830.00	22
1	5	25	-830.00	23
1	12	18	-830.00	24
1	10	10	-830.00	25
1	10	12	-830.00	26
1	10	14	-830.00	27
1	12	15	-830.00	28
1	13	14	-1660.0	29
1	13	13	-830.00	30
1	15	11	-830.00	31
1	16	8	-830.00	32
1	16	13	-830.00	33
1	16	14	-830.00	34
1	18	10	-830.00	35
1	19	15	-830.00	36
1	19	14	-830.00	37
1	19	13	-830.00	38
1	20	12	-830.00	39
1	20	11	-830.00	40
1	20	9	-830.00	41
1	21	8	-830.00	42
1	23	6	-1660.0	43
1	24	2	-830.00	44
1	25	6	-830.00	45
1	25	4	-830.00	46
1	25	3	-1660.0	47
1	24	3	-830.00	48
1	28	5	-830.00	49
1	21	14	-830.00	50
1	21	13	-830.00	51
1	21	12	-830.00	52
1	22	10	-830.00	53
1	22	17	-830.00	54
1	22	16	-830.00	55
1	22	15	-830.00	56
1	23	14	-830.00	57
1	23	10	-830.00	58
1	24	8	-830.00	59
1	24	11	-830.00	60
1	24	14	-830.00	61
1	24	13	-830.00	62
1	24	17	-830.00	63
1	25	8	-830.00	64
1	26	8	-830.00	65
1	26	9	-830.00	66
1	26	17	-830.00	67
1	27	13	-830.00	68
1	28	11	-830.00	69
1	28	16	-830.00	70

1	28	18	-830.00	71
1	30	5	-830.00	72
1	30	10	-830.00	73
1	30	11	-830.00	74
1	29	15	-830.00	75
1	29	16	-830.00	76
1	30	18	-830.00	77
1	30	20	-830.00	78
1	31	21	-830.00	79
1	31	15	-830.00	80
1	32	14	-1660.0	81
1	32	16	-830.00	82
1	32	17	-830.00	83
1	32	18	-830.00	84
1	31	11	-830.00	85
1	32	12	-830.00	86
1	32	10	-830.00	87
1	33	10	-830.00	88
1	32	9	-830.00	89
1	34	9	-830.00	90
1	33	6	-830.00	91
1	31	3	-830.00	92
1	32	5	-1660.0	93
1	35	4	-830.00	94
1	37	7	-830.00	95
1	5	28	1300.0	96
1	6	28	1300.0	97
1	7	28	1300.0	98
1	8	28	1300.0	99
1	5	29	1300.0	100
1	6	29	1300.0	101
1	7	29	1300.0	102
1	8	29	1300.0	103
1	31	28	3269.0	104
1	32	28	3269.0	105
1	33	28	3269.0	106
1	34	28	3269.0	107
1	35	28	3269.0	108
1	36	28	3269.0	109
1	37	28	3269.0	110
1	31	29	3269.0	111
1	32	29	3269.0	112
1	33	29	3269.0	113
1	34	29	3269.0	114
1	35	29	3269.0	115
1	36	29	3269.0	116
1	37	29	3269.0	117

0

48 ITERATIONS FOR TIME STEP 1 IN STRESS PERIOD 1  
 0 MAXIMUM HEAD CHANGE FOR EACH ITERATION:

0 HEAD CHANGE LAYER,ROW,COL HEAD CHANGE LAYER,ROW,COL

```

--
 10.23 ( 1, 29, 18) 6.136 ( 1, 30, 16) -9.030 ( 1, 30, 26) -4.177 ( 1, 9, 18) 3.727 ( 1,
25, 15)
 -1.010 ( 1, 23, 10) -1.807 ( 1, 25, 15) -9.549 ( 1, 36, 21) -4.707 ( 1, 30, 26) -1.780 ( 1,
33, 19)
 -5.579 ( 1, 35, 20) -2.913 ( 1, 22, 19) -6.012 ( 1, 31, 27) -4.893 ( 1, 32, 4) -5.981 ( 1,
30, 26)
 -1.136 ( 1, 33, 19) -7.086E-01 ( 1, 32, 18) -8.040E-01 ( 1, 33, 17) -2.061 ( 1, 30, 26) -7.616E-01
( 1, 33, 19)
 -3.712E-01 ( 1, 20, 20) .1698E-01 ( 1, 22, 11) -2.706E-01 ( 1, 31, 27) .2686E-01 ( 1, 31, 3) -
.3107E-01 ( 1, 30, 26)
 -5.392E-02 ( 1, 33, 19) .5343E-02 ( 1, 24, 14) -7.117E-02 ( 1, 16, 20) -3.917E-02 ( 1, 37, 14) -
.2104E-02 ( 1, 16, 10)
 -8.043E-03 ( 1, 16, 20) -7.848E-03 ( 1, 17, 19) -1.084E-02 ( 1, 20, 20) -1.177E-02 ( 1, 28, 11) -
.6994E-03 ( 1, 20, 20)
 -2.429E-03 ( 1, 20, 20) -1.1681E-03 ( 1, 26, 17) -1.1486E-03 ( 1, 32, 18) -6.472E-03 ( 1, 30, 26) -
.2392E-03 ( 1, 33, 19)
 -7.743E-04 ( 1, 20, 20) -4.975E-04 ( 1, 22, 19) -7.225E-04 ( 1, 31, 27) -5.863E-04 ( 1, 31, 7) -
.7551E-04 ( 1, 30, 26)
 -1.452E-04 ( 1, 33, 19) .1094E-04 ( 1, 24, 14) -9.633E-05 ( 1, 34, 16)

```

0  
0HEAD/DRAWDOWN PRINTOUT FLAG = 1 TOTAL BUDGET PRINTOUT FLAG = 1 CELL-BY-CELL FLOW TERM FLAG = 0

0OUTPUT FLAGS FOR ALL LAYERS ARE THE SAME:

HEAD DRAWDOWN HEAD DRAWDOWN  
PRINTOUT PRINTOUT SAVE SAVE

```

1 1 1 1
1 HEAD IN LAYER 1 AT END OF TIME STEP 1 IN STRESS PERIOD 1

```

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
0 1	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.48	4.05	3.59	3.12	2.84
0 2	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.42	4.04	3.57	2.97	2.69
0 3	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.52	4.07	3.59	2.98	2.69
0 4	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.57	4.14	3.67	3.12	2.86
0 5	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.58	4.19	3.78	3.34	2.94
0 6	5.00	5.00	5.00	5.00	4.95	4.83	4.55	4.22	3.86	3.45	3.12	2.99
0 7	5.00	5.00	5.00	5.00	4.97	4.82	4.56	4.25	3.92	3.57	3.19	3.19
0 8	6.00	5.00	5.00	5.00	5.11	4.91	4.62	4.29	3.96	3.63	3.30	3.30
0 9	6.00	6.00	6.00	6.00	5.53	5.09	4.69	4.32	3.98	3.65	3.32	3.32
0 10	5.00	6.00	7.00	7.00	5.91	5.23	4.74	4.33	3.95	3.60	3.26	3.26
0 11	5.00	5.00	6.00	7.00	5.88	5.20	4.70	4.29	3.93	3.58	3.22	3.22
0 12	5.00	5.00	5.50	5.79	5.42	4.98	4.57	4.20	3.84	3.49	3.12	3.12
0 13	5.00	5.00	5.19	5.24	5.03	4.72	4.37	4.03	3.70	3.35	2.98	2.98
0 14	5.00	5.00	5.00	4.92	4.73	4.45	4.14	3.83	3.51	3.17	2.81	2.81
0 15	5.00	5.00	4.86	4.70	4.47	4.19	3.90	3.59	3.30	2.96	2.59	2.59

0 16	5.00	5.00	4.76	4.52	4.24	3.95	3.64	3.30	3.05	2.78	2.51
0 17	5.00	5.00	4.67	4.35	4.03	3.72	3.42	3.13	2.87	2.63	2.40
0 18	5.00	5.00	4.57	4.19	3.84	3.53	3.24	2.96	2.72	2.44	2.25
0 19	5.00	5.00	4.41	4.00	3.64	3.34	3.06	2.79	2.55	2.30	2.07
0 20	4.00	5.00	4.13	3.70	3.38	3.11	2.84	2.57	2.25	2.07	1.82
0 21	3.00	3.00	3.36	3.27	3.07	2.81	2.55	2.22	2.07	1.88	1.72
0 22	3.00	2.89	2.91	2.81	2.61	2.31	2.17	1.98	1.84	1.62	1.64
0 23	3.00	2.53	2.27	2.18	1.95	1.34	1.68	1.68	1.66	1.47	1.61
0 24	3.00	1.87	1.29	1.52	1.56	1.44	1.52	1.48	1.63	1.67	1.60
0 25	3.00	2.03	.846	1.02	1.38	1.35	1.50	1.50	1.72	1.86	1.91
0 26	3.00	2.38	1.77	1.59	1.58	1.58	1.67	1.69	1.84	2.03	2.11
0 27	3.00	2.80	2.37	2.05	1.84	1.90	2.02	2.07	2.14	2.23	2.30
0 28	4.00	3.51	2.95	2.44	1.78	2.16	2.29	2.30	2.33	2.39	2.44
0 29	5.00	4.08	3.32	2.79	2.43	2.42	2.44	2.45	2.47	2.54	2.69
0 30	6.00	4.21	3.32	2.81	2.43	2.49	2.52	2.56	2.60	2.64	2.87
0 31	.000	3.43	2.95	2.72	2.51	2.54	2.60	2.66	2.73	2.87	3.11
0 32	.000	3.10	2.88	2.66	2.38	2.54	2.66	2.76	2.81	3.01	3.41
0 33	.000	2.94	2.83	2.70	2.59	2.57	2.76	2.90	3.04	3.25	3.70
0 34	.000	2.87	2.80	2.72	2.71	2.76	2.89	3.05	3.20	3.56	3.99
0 35	.000	2.84	2.78	2.65	2.76	2.86	3.01	3.20	3.45	3.81	4.23
0 36	.000	2.84	2.80	2.76	2.81	2.92	3.07	3.29	3.59	4.02	4.42
0 37	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	4.28	4.55
0 38	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

1

HEAD IN LAYER 1 AT END OF TIME STEP 1 IN STRESS PERIOD 1

	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0 1	2.73	2.70	2.71	2.74	2.80	2.85	.000	.000	.000	.000	.000
0 2	2.66	2.68	2.69	2.73	2.81	2.92	3.08	3.21	.000	.000	5.26
0 3	2.46	2.60	2.63	2.66	2.75	2.89	3.06	3.28	3.69	4.32	5.09
0 4	2.57	2.55	2.54	2.48	2.63	2.79	2.95	3.17	3.56	4.24	5.19
0 5	2.26	2.46	2.48	2.45	2.47	2.65	2.76	2.96	3.34	4.15	5.45
0 6	2.72	2.48	2.45	2.33	2.43	2.54	2.72	2.90	3.14	4.05	5.47
0 7	2.89	2.64	2.49	2.31	2.36	2.35	2.55	2.81	3.07	3.88	5.21
0 8	2.97	2.70	2.51	2.39	2.35	2.34	2.33	2.46	3.05	3.87	5.15
0 9	2.95	2.67	2.46	2.36	2.32	2.34	2.40	2.56	2.86	3.39	4.91
0 10	2.79	2.57	2.30	2.26	2.24	2.30	2.39	2.54	2.75	3.17	4.47
0 11	2.82	2.51	2.26	2.12	2.07	2.03	1.93	2.05	2.51	3.02	4.06
0 12	2.74	2.38	2.09	1.87	1.85	1.72	1.39	1.58	1.96	2.43	2.98
0 13	2.60	2.18	1.84	1.83	1.76	1.66	1.52	1.54	1.68	1.98	2.42
0 14	2.49	2.18	1.95	1.84	1.74	1.64	1.56	1.53	1.55	1.69	.000
0 15	2.37	2.11	1.92	1.81	1.71	1.63	1.56	1.53	1.52	.000	.000
0 16	2.26	1.97	1.81	1.75	1.68	1.62	1.57	1.53	1.52	.000	.000
0 17	2.18	1.96	1.80	1.71	1.65	1.60	1.56	1.54	.000	.000	.000
0 18	2.04	1.85	1.69	1.61	1.59	1.56	1.55	1.53	.000	.000	.000
0 19	1.86	1.61	1.48	1.43	1.50	1.52	1.53	1.53	.000	.000	.000
0 20	1.64	1.54	1.46	1.44	1.46	1.48	1.50	1.52	1.52	.000	.000
0 21	1.53	1.43	1.37	1.40	1.42	1.45	1.49	1.51	1.52	.000	.000
0 22	1.58	1.52	1.45	1.37	1.37	1.39	1.50	1.51	1.52	.000	.000
0 23	1.64	1.60	1.54	1.60	1.60	1.58	1.70	.000	.000	.000	.000

0 24	1.73	1.70	1.75	1.90	2.04	2.01	3.03	.000	.000	.000	.000
0 25	1.93	1.94	2.03	2.29	2.83	3.88	5.53	7.01	.000	.000	.000
0 26	2.15	2.20	2.48	2.92	3.89	5.32	7.32	8.36	.000	.000	.000
0 27	2.38	2.42	3.11	3.95	5.47	7.49	8.79	9.64	10.5	11.1	.000
0 28	2.70	3.15	3.79	4.64	5.88	7.97	9.01	9.88	10.7	11.5	12.5
0 29	3.07	3.60	4.26	5.08	6.46	8.04	9.05	10.0	10.9	11.8	12.7
0 30	3.36	3.95	4.69	5.58	6.70	7.94	9.02	10.1	11.1	12.1	12.9
0 31	3.62	4.19	4.85	5.67	6.75	7.94	9.10	10.2	11.4	12.3	13.1
0 32	3.82	4.40	4.92	5.88	6.71	7.82	9.02	10.2	11.6	12.7	13.5
0 33	4.18	4.74	5.41	6.26	7.14	8.12	9.00	9.63	.000	13.3	13.8
0 34	4.47	5.04	5.74	6.55	7.43	8.35	9.19	9.81	.000	13.5	14.0
0 35	4.70	5.27	5.97	6.78	7.66	8.61	9.56	10.6	11.9	13.1	13.9
0 36	4.88	5.44	6.14	6.95	7.84	8.81	9.81	10.9	12.0	13.0	13.9
0 37	4.98	5.53	6.22	7.04	7.93	8.91	9.92	11.0	12.0	13.0	13.8
0 38	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

1 HEAD IN LAYER 1 AT END OF TIME STEP 1 IN STRESS PERIOD 1

	23	24	25	26	27	28	29
0 1	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 2	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 3	5.73	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 4	6.47	8.07	10.8	.000	.000	.000	.000
0 5	7.05	9.59	13.2	21.0	27.3	32.9	.000
0 6	6.88	10.5	15.3	21.4	27.4	33.2	.000
0 7	7.49	11.2	15.8	21.4	27.4	33.4	.000
0 8	7.53	11.0	15.4	20.5	27.1	33.3	.000
0 9	7.20	10.2	14.5	17.5	.000	.000	.000
0 10	6.32	7.78	.000	.000	.000	.000	.000
0 11	5.78	6.79	.000	.000	.000	.000	.000
0 12	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 13	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 14	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 15	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 16	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 17	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 18	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 19	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 20	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 21	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 22	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 23	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 24	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 25	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 26	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 27	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 28	13.2	13.6	13.9	.000	.000	.000	.000
0 29	13.3	13.8	14.1	.000	.000	.000	.000
0 30	13.6	14.1	14.7	15.2	.000	.000	.000
0 31	13.8	14.5	15.1	15.7	16.3	.000	.000



1                    DRAWDOWN IN LAYER 1 AT END OF TIME STEP 1 IN STRESS PERIOD 1

	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0 1	-2.73	-2.70	-2.71	-2.74	-2.80	-2.85	.000	.000	.000	.000	.000
0 2	4.34	4.32	3.31	4.27	6.19	8.08	11.9	14.8	.000	.000	19.7
0 3	4.54	4.40	3.37	4.34	6.25	8.11	10.9	13.7	15.3	16.7	18.9
0 4	4.43	4.45	4.46	4.52	5.37	8.21	11.0	11.8	13.4	14.8	16.8
0 5	4.74	4.54	5.52	6.55	7.53	8.35	9.24	10.0	10.7	11.9	12.5
0 6	4.28	5.52	7.55	3.67	.571	.458	2.28	6.10	7.86	8.95	9.53
0 7	4.11	4.36	7.51	5.69	-2.36	-8.35	-6.55	3.19	6.93	8.12	7.79
0 8	4.03	5.30	6.49	5.61	-2.35	-4.34	-2.33	3.54	5.95	7.13	7.85
0 9	3.05	5.33	5.54	3.64	-3.32	-3.34	-1.40	3.44	5.14	5.61	6.09
0 10	2.21	3.43	3.70	-1.26	-2.24	-4.30	-2.39	-5.39	1.25	2.83	5.53
0 11	2.18	2.49	-.256	-1.12	-4.07	-6.03	-6.93	-7.05	-3.51	-1.02	1.94
0 12	3.26	1.62	-1.09	-1.87	-4.85	-8.72	-9.39	-8.58	-5.96	-2.43	2.486E-02
0 13	5.40	3.82	2.16	.171	-7.76	-8.66	-8.52	-8.54	-5.68	-3.98	-2.42
0 14	5.51	3.82	2.05	.162	-5.74	-7.64	-6.56	-6.53	-5.55	-1.69	.000
0 15	5.63	3.89	2.08	-.810	-3.71	-5.63	-5.56	-5.53	-4.52	.000	.000
0 16	6.74	6.03	4.19	.246	-1.68	-3.62	-3.57	-4.53	-1.52	.000	.000
0 17	6.82	7.04	6.20	4.29	2.35	.403	-2.56	-3.54	.000	.000	.000
0 18	6.96	7.15	6.31	5.39	3.41	2.44	.454	-1.53	.000	.000	.000
0 19	7.14	7.39	6.52	4.57	3.50	3.48	3.47	.473	.000	.000	.000
0 20	6.36	6.46	4.54	2.56	1.54	1.52	1.50	1.48	1.48	.000	.000
0 21	5.47	4.57	3.63	2.60	.579	.552	.511	.492	1.48	.000	.000
0 22	4.42	1.48	-.448	-.369	-.365	-.391	.498	1.49	1.48	.000	.000
0 23	5.36	2.40	.462	-1.60	-1.60	-.581	.296	.000	.000	.000	.000
0 24	6.27	5.30	4.25	3.10	1.96	1.99	.974	.000	.000	.000	.000
0 25	5.07	5.06	4.97	4.71	4.17	3.12	1.47	-1.022E-02	.000	.000	.000
0 26	2.85	1.80	3.52	5.08	6.11	4.68	2.68	5.64	.000	.000	.000
0 27	-.380	-.421	.890	4.05	2.53	6.51	8.21	8.36	11.5	10.9	.000
0 28	-2.70	-3.15	-1.79	1.36	.116	6.03	8.99	14.1	15.3	14.5	13.5
0 29	-3.07	-3.60	-3.26	-2.08	-3.46	-3.04	-3.05	10.0	16.1	19.2	19.3
0 30	-2.36	-2.95	-3.69	-5.58	-6.70	-3.94	2.98	9.88	18.9	21.9	21.1
0 31	-2.62	-3.19	-3.85	-5.67	-5.75	-3.94	2.90	9.76	18.6	21.7	20.9
0 32	-2.82	-3.40	-3.92	-3.88	-4.71	-3.82	.984	7.81	15.4	19.3	19.5
0 33	-3.18	-3.74	-3.41	-3.26	-4.14	-1.12	2.00	6.37	889.	14.7	16.2
0 34	-3.47	-4.04	-3.74	-3.55	-2.43	-2.35	.808	4.19	889.	11.5	14.0
0 35	-3.70	-4.27	-2.97	-2.78	-2.66	-1.61	.437	3.42	6.07	11.9	14.1
0 36	-3.88	-3.44	-3.14	-2.95	-1.84	-.806	1.19	3.13	4.02	11.0	12.1
0 37	-2.98	-2.53	-2.22	-1.04	6.887E-02	1.09	2.08	3.03	3.99	9.04	10.2
0 38	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

1                    DRAWDOWN IN LAYER 1 AT END OF TIME STEP 1 IN STRESS PERIOD 1

	23	24	25	26	27	28	29
0 1	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 2	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 3	21.3	.000	.000	.000	.000	.000	.000

0 4	19.5	21.9	19.2	.000	.000	.000	.000
0 5	15.9	18.4	16.8	8.97	2.70	-2.89	.000
0 6	9.12	12.5	10.7	6.55	.586	-5.19	.000
0 7	8.51	8.84	6.22	3.62	-2.35	-7.37	.000
0 8	7.47	5.96	4.60	1.55	-4.08	-9.32	.000
0 9	4.80	4.84	3.52	1.45	.000	.000	.000
0 10	4.68	6.22	.000	.000	.000	.000	.000
0 11	3.22	3.21	.000	.000	.000	.000	.000
0 12	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 13	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 14	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 15	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 16	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 17	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 18	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 19	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 20	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 21	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 22	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 23	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 24	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 25	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 26	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 27	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
0 28	12.8	12.4	12.1	.000	.000	.000	.000
0 29	18.7	18.2	17.9	.000	.000	.000	.000
0 30	20.4	18.9	18.3	17.8	.000	.000	.000
0 31	20.2	18.5	17.9	17.3	15.7	.000	.000
0 32	18.9	18.2	17.6	16.9	15.2	14.2	.000
0 33	17.6	17.9	17.3	15.6	14.9	14.1	.000
0 34	15.4	15.8	15.1	14.4	13.7	12.9	.000
0 35	13.3	13.6	14.9	14.2	13.5	12.8	.000
0 36	11.3	12.6	13.9	13.1	12.4	11.7	.000
0 37	10.3	10.5	11.8	12.1	11.4	11.7	.000
0 38	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

0DRAWDOWN WILL BE SAVED ON UNIT 23 AT END OF TIME STEP 1, STRESS PERIOD 1  
0

VOLUMETRIC BUDGET FOR ENTIRE MODEL AT END OF TIME STEP 1 IN  
STRESS PERIOD 1

0 CUMULATIVE VOLUMES	L**3	RATES FOR THIS TIME STEP	L**3/T
IN:		IN:	
---		---	
STORAGE =	.28596E+07	STORAGE =	31773.
CONSTANT HEAD =	.32549E+07	CONSTANT HEAD =	36166.
WELLS =	.22333E+07	WELLS =	24814.
0 TOTAL IN =	.83478E+07	TOTAL IN =	92753.

0	OUT:	OUT:
	----	----
	STORAGE = .54501E+06	STORAGE = 6055.7
	CONSTANT HEAD = .33280E+06	CONSTANT HEAD = 3697.7
	WELLS = .74700E+07	WELLS = 83000.
0	TOTAL OUT = .83478E+07	TOTAL OUT = 92753.
0	IN - OUT = -11.500	IN - OUT = -.13281
0	PERCENT DISCREPANCY = .00	PERCENT DISCREPANCY = .00

0

## TIME SUMMARY AT END OF TIME STEP 1 IN STRESS PERIOD 1

	SECONDS	MINUTES	HOURS	DAYS	YEARS
TIME STEP LENGTH	.777600E+07	129600.	2160.00	90.0000	.246407
STRESS PERIOD TIME	.777600E+07	129600.	2160.00	90.0000	.246407
TOTAL SIMULATION TIME	.777600E+07	129600.	2160.00	90.0000	.246407

1