

COMISION NACIONAL DE RIEGO

PROYECTO MAIPO
ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDROGEOLOGICO
MODELOS HIDROGEOLOGICOS

IPLA

I N D I C E

Pág.Nº

1.-	INTRODUCCION Y OBJETO DEL MODELO	
1.1	INTRODUCCION	1
1.1.1	Cuenca Maipo-Mapocho	1
1.1.2	Cuenca Chacabuco-Polpaico	1
1.2.3.	Cuenca Casablanca	2
1.2	OBJETO DEL MODELO	3
2.-	SELECCION DEL MODELO A EMPLEAR	4
3.-	DISCRETIZACION Y CONDICIONES DE BORDE	
3.1	DISCRETIZACION ESPACIAL	6
3.1.1	Cuenca Maipo-Mapocho	6
3.1.2	Cuenca Chacabuco-Polpaico	7
3.1.3	Cuenca Casablanca	8
3.2	DISCRETIZACION TEMPORAL	8
3.3	CONDICIONES DE BORDE	9
3.3.1	Cuenca Maipo-Mapocho	9
3.3.2	Cuenca Chacabuco-Polpaico	10
3.3.3	Cuenca Casablanca	10
4.-	PREPARACION DEL MODELO MATEMATICO	
4.1	INTRODUCCION	12
4.2	DEFINICION DE VARIABLES Y PARAMETROS DE ENTRADA	13
4.2.1	Datos Generales	13
4.2.2	Datos sobre Mallas Exteriores	14
4.2.3	Datos para el Contraste Piezométrico	15
4.2.4	Datos para la Simulación de la Relación Río-Acuífero	16
4.2.5	Datos sobre Vertientes	16
4.2.6	Datos sobre Bombeos e Infiltraciones	17

4.3	FORMATO DE ENTRADA DE DATOS	18
5.-	APLICACION DEL MODELO A LA CUENCA MAIPO-MAPOCHO	
5.1	DATOS DE ENTRADA	24
5.1.1	Aspectos Generales	24
5.1.2	Piezometría Inicial	24
5.1.3	Valores de T y S	26
5.1.3.1	Valores de T	26
5.1.3.2	Valores de S	27
5.1.4	Condiciones Topográficas	28
5.1.5	Infiltración por Regadío	28
5.1.5.1	Desde Aguas Superficiales	28
5.1.5.2	Desde Aguas Subterráneas	30
5.1.6	Infiltración por Lluvias	30
5.1.6.1	En Area Rural	30
5.1.6.2	En Area Urbana	32
5.1.7	Infiltración Proveniente de las Redes de Agua Potable y Alcantarillado	33
5.1.8	Bombeo de Pozos Profundos	34
5.1.8.1	Bombes para Agua Potable	35
5.1.8.2	Bombes para Regadío	35
5.1.8.3	Bombes para Industrias	37
5.2	PROCESO DE AJUSTE	48
5.2.1	Introducción	48
5.2.2	Relación de Pasadas	50
5.2.2.1	Pasada N° 1	50
5.2.2.2	Pasada N° 2	57
5.2.2.3	Pasada N° 3	63
5.2.2.4	Pasada N° 4	72
5.2.2.5	Pasada N° 5	85
5.2.2.6	Pasada N° 6	95
5.2.2.7	Pasada N° 7	104

5.2.3	Conclusiones	113
5.2.3.1	Esquema de Funcionamiento del Acuífero	113
5.2.3.2	Proposición de Pasadas de Simulación	129
5.2.3.3	Sugerencias para la Recopilación de Antecedentes del Acuífero	129
5.3	PROCESO DE SIMULACION	131
5.3.1	Introducción	131
5.3.2	Metodología de Cálculo	131
5.3.2.1	Riego para el Sector Norte	131
5.3.2.2	Nuevas Extracciones para Agua Potable	136
5.3.2.3	Drenaje de Paine y Viluco	136
5.3.3	Relación de Pasadas	141
5.4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	148
5.4.1	Conclusiones	148
5.4.2	Recomendaciones	149
6.-	APLICACION DEL MODELO A LA CUENCA CHACABUCO-POLPAICO	
6.1	DATOS DE ENTRADA	152
6.1.1	Aspectos Generales	152
6.1.2	Piezometría Inicial	152
6.1.3	Valores de T y S	153
6.1.3.1	Valores de T	153
6.1.3.2	Valores de S	154
6.1.4	Condiciones Topográficas	155
6.1.5	Infiltraciones por Regadío	155
6.1.6	Infiltraciones por Lluvias	157
6.1.7	Extracción por Bombeo	158

6.2	PROCESO DE AJUSTE	167
6.2.1	Introducción	167
6.2.2	Relación de Pasadas	168
6.2.2.1	Pasada Nº 1	168
6.2.2.2	Pasada Nº 2	173
6.2.2.3	Pasada Nº 3	179
6.2.2.4	Pasada Nº 4	183
6.2.2.5	Pasada Nº 5	188
6.2.2.6	Pasada Nº 6	194
6.2.2.7	Pasada Nº 7	201
6.2.2.8	Pasada Nº 8	210
6.2.3	Conclusiones	218
6.2.3.1	Esquema de Funcionamiento del Acuífero	218
6.2.3.2	Proposición de Pasadas de Simulación	230
6.2.3.3	Sugerencias para la Recopila- ción de Antecedentes del Acuí- fero	230
6.3	PROCESO DE SIMULACION	231
6.3.1	Introducción	231
6.3.2	Metodología de Cálculo	232
6.3.3	Relación de Pasadas	244
6.3.3.1	Pasada de Simulación Nº1	244
6.3.3.2	Pasada de Simulación Nº2	251
6.4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	254
6.4.1	Conclusiones	254
6.4.2	Recomendaciones	256

7.-	APLICACION DEL MODELO A LA CUENCA DE CASABLANCA	
7.1	DATOS DE ENTRADA	257
7.1.1	Aspectos Generales	257
7.1.2	Piezometría Inicial	257
7.1.3	Valores de T y S	259
	7.1.3.1 Valores de T	259
	7.1.3.2 Valores de S	260
7.1.4	Condiciones Topográficas	260
7.1.5	Infiltración por Regadío	261
7.1.6	Infiltración por Lluvias	264
7.1.7	Extracción por Bombeo	266
7.2	PROCESO DE AJUSTE	275
7.2.1	Introducción	275
7.2.2	Relación de Pasadas	276
	7.2.2.1 Pasada Nº 1	276
	7.2.2.2 Pasada Nº 2	282
7.2.3	Conclusiones	287
	7.2.3.1 Esquema de Funcionamiento del Acuífero	287
	7.2.3.2 Proposición de Pasadas de Simulación	296
	7.2.3.3 Sugerencias para la Recopilación de Antecedentes del Acuífero	296
7.3	PROCESO DE SIMULACION	298
7.3.1	Introducción	298
7.3.2	Metodología de Cálculo	299
	7.3.2.1 Simulación Nº 1	299
	7.3.2.2 Simulación Nº 2	304
7.3.3	Relación de Pasadas	308
	7.3.3.1 Pasada de Simulación Nº 1	308
	7.3.3.2 Pasada de Simulación Nº 2	315

7.4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	322
7.4.1	Conclusiones	322
7.4.2	Recomendaciones	323

A N E X O S :

ANEXO N° 1	: LOCALIZACION DE AFOROS Y VERTIENTES
ANEXO N° 2	: LISTADO DEL SIMAC-1
ANEXO N° 3	: DISCRETIZACION MATEMATICA DE LAS ECUACIONES QUE RIGEN EL ESCURRI- MIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

1.- INTRODUCCION Y OBJETO DEL MODELO

1.1 INTRODUCCION

1.2 OBJETO DEL MODELO

1.- INTRODUCCION Y OBJETO DEL MODELO

1.1 INTRODUCCION

1.1.1 Cuenca Maipo-Mapocho

El acuífero del Maipo-Mapocho, conforma uno de los principales embalses subterráneos del país, esto tanto por su extensión y volumen almacenado como por su situación geográfica, ya que se localiza bajo un gran centro de demanda tanto para usos domésticos como industriales y también agrícolas, aunque en menor grado. Tiene una superficie de 2.000 km² y una potencia media de relleno de 150 metros, con un volumen aproximado de agua de 10.000 mm³.

A pesar de tener todas estas ventajas, no se encuentra explotado, ni tampoco empleado como embalse regulador; esto probablemente se deba a que existe un desconocimiento de sus características y posibilidades de empleo.

Existen extensas zonas, con afloramientos de aguas subterráneas, las que debidamente saneadas se pueden recuperar para su empleo en la agricultura. Para ello se puede recurrir a dos acciones en paralelo, a saber, explotación de agua subterránea y construcción de zanj^us de drenaje.

Por otra parte existe una serie de sondeos para extracción de agua potable, explotación que podría ser incrementada sin perjuicio aparente para el embalse subterráneo.

1.1.2 Cuenca Chacabuco-Polpaico

El acuífero de Chacabuco-Polpaico, se encuentra localizado en el relleno aluvial de los ríos del mismo nombre, además de los esteros Quilapilún y Peldehue. Por su cercanía a Santiago, prin

cipal centro consumidor del país, y por la bondad de su clima, se ha ido desarrollando una floreciente agricultura, principalmente de carácter frutícola. Dado que sus ríos no tienen escurrimiento permanente, la agricultura de regadío ha debido establecerse con aguas traídas desde el río Aconcagua a través del Canal Chacabuco y además por medio de la extracción de agua subterránea.

La superficie regada actualmente bajo la zona en modelación alcanza a las 7.913 há; sin embargo, existen años de déficit hidrológico en los que los recursos de agua superficial son insuficientes, lo cual unido al tenor de la insuficiencia de los recursos de agua subterránea han creado un ambiente de inseguridad tanto en los usuarios como en la administración.

1.1.3 Cuenca Casablanca.

El acuífero llamado de Casablanca, corresponde a los rellenos aluviales del valle del Estero Casablanca y sus afluentes, los esteros de Tapihue, Lo Ovalle y Lo Orozco. El valle de Casablanca tiene sentido oriente-poniente aproximadamente y los valles laterales, sentido perpendicular a él, es decir, norte-sur. Esto conforma un embalse subterráneo que semeja a un tenedor con mango lateral.

El desarrollo agrícola del valle de Casablanca, con sus 8.340 há regadas actualmente, se ha basado en un uso combinado de los embalses subterráneos y superficiales. Así pues, existen cuatro embalses de acumulación de aguas lluvia de temporada en las caeceras de los esteros Casablanca, Tapihue, Lo Ovalle y Lo Orozco. Estos embalses permiten el regadío de los valles desde su sitio más cercano hacia aguas abajo, los que se complementan con agua subterránea extraída por medio de pozos y sondeos.

Uno de los factores limitantes del desarrollo agrícola del valle, lo constituyen los recursos hidráulicos.

1.2 OBJETO DEL MODELO

El modelo tiene por objeto llegar a construir una herramienta de cálculo por medio de una representación matemática de las características físicas que reproduzca en lo posible las condiciones de funcionamiento del embalse subterráneo, de tal modo de poder predecir el comportamiento de dicho embalse frente a diferentes condiciones de explotación.

La calidad y precisión de un modelo matemático, es una función de la bondad de los datos de entrada y de la calidad, duración y actualidad de las medidas de terreno que sirven de contraste en el proceso de simulación.

Esto en la práctica se logra mediante un proceso dinámico en el que se efectúa un primer ajuste con los datos existentes y posteriormente se continúa ajustando de acuerdo con los datos que se obtengan de la explotación misma del acuífero.

2.- SELECCION DEL MODELO A EMPLEAR.

2.- SELECCION DEL MODELO A EMPLEAR.

Existe en la actualidad una gran variedad de tipos de modelos hidrogeológicos que son aplicables para los fines que se persiguen. Los hay de tipo matemático o analógico, y dentro de los primeros los hay de régimen permanente y transitorio. En cada uno de éstos hay además varias estructuras matemáticas de simulación.

Para el acuífero cuaternario del relleno aluvial de las tres cuencas, se ha elegido un modelo matemático en régimen transitorio. Esto significa que todas las variables que intervienen son numéricas, que el proceso de cálculo se hace a nivel diario y en él intervienen todas las variables que conforman el acuífero, como asimismo todas las entradas y salidas de agua, tanto naturales como artificiales.

El acuífero que se ha modelado es monocapa, de carácter libre y se ha simulado para flujo bidimensional. La resolución matemática del programa se basa en el Método de Prickett y Lonquistt, de acuerdo con el contenido de la publicación "Selected Digital Computer Techniques for Groundwater Resources Evaluation" - Illinois State Water Survey - 1972.

El programa SIMAC 1, preparado por nuestra empresa, ha introducido algunas modificaciones, entre las que destacan aquellas que se refieren a usar la existencia de vertientes como un factor de contraste con la realidad, al permitírsele funcionar como tal a cualquier malla. Así, por lo tanto, si el modelo indica vertiente donde no la hay, se procede a modificar sus características.

Por otra parte el modelo permite :

- Salidas gráficas de los piezómetros de contraste y los de simulación, lo que permite hacer de inmediato las comparaciones.

- Impresión de los ascensos y descensos en cada malla para el período de simulación.
- Impresión del Balance Másico a nivel mensual en resumen anual, para cada una de las variables de entrada y salida.

3.- DISCRETIZACION Y CONDICIONES DE BORDE.

3.1 DISCRETIZACION ESPACIAL

3.2 DISCRETIZACION TEMPORAL

3.3 CONDICIONES DE BORDE

3.- DISCRETIZACION Y CONDICIONES DE BORDE.

El proceso de discretización tiene por objeto dividir espacialmente el modelo en celdas rectangulares de acuerdo con las características hidrogeológicas del embalse subterráneo, con las condiciones de borde y con la densidad de información disponible. Además se define la unidad de tiempo con la cual se desea trabajar.

3.1 DISCRETIZACION ESPACIAL.

3.1.1 Cuenca Maipo-Mapocho.

El acuífero del Maipo-Mapocho es muy extenso y en su interior se localizan una gran cantidad de cerros islas, ríos, esteros y situaciones de piedemonte que conforman las condiciones de borde del embalse subterráneo. La división en celdas debió tener en cuenta todas y cada una de estas condiciones de borde, con el objeto de poder simular propiamente las características físicas y de funcionamiento que se debe asignar a cada celda.

Las características más importantes se refieren a : los ríos Colina, Mapocho y Maipo que, o bien recargan agua al acuífero, o bien reciben agua desde éste; los cerros islas que conforman bordes impermeables; los piedemontes desarrollados que constituyen un límite con otro acuífero de diferente permeabilidad conectado hidráulicamente; las vertientes y los esteros La Berlina, El Gato, por ejemplo que corresponden a descargas naturales del embalse subterráneo.

Para los casos de los ríos Colina y Mapocho, en los sectores en que el lecho se encuentra sobre material impermeable, no se ha considerado la existencia de conexión entre ellos y el

acuífero, particularmente el lecho impermeable comienza en el cruce con la Carretera Panamericana hacia aguas abajo.

Existen además algunas zonas, que en general coinciden con las que disponen de abundante agua superficial, en las que no existen datos de pozos, norias o sondeos, o bien son muy escasos. Estas zonas se refieren a los sectores sur y poniente del modelo, como también al borde oriental entre las entradas de los ríos Maipo y Mapocho. En ellas se han definido mallas más bien extensas, debido a las razones antes explicadas.

En total el modelo tiene 1.188 mallas cuya superficie varía entre 100 y 900 hás y de ellas hay 856 activas, las que cubren los 2.000 km² de acuífero.

3.1.2 Cuenca Chacabuco-Polpaico.

Para el planteamiento y resolución matemática del problema, se dividió el acuífero en 325 mallas rectangulares de dimensiones variables entre 25 y 200 hás de superficie. De estas mallas hay 278 activas y el resto están fuera de los bordes. Hay 25 columnas y 13 filas, orientadas estas últimas en la dirección aproximada del eje de los ríos.

Para la discretización se ha tenido en cuenta :

- La configuración física del acuífero, de acuerdo con el plano hidrogeológico base.
- La densidad de información existente previa a la confección del modelo.
- La posible explotación a que se le sometería al acuífero.

- La escala de trabajo adoptada (1:50.000).

3.1.3 Cuenca Casablanca.

El embalse subterráneo de Casablanca, tienen la particularidad de estar constituido por un valle principal y tres valles estrechos laterales. Esto hace que exista una gran cantidad de condiciones de borde impermeable en el contacto entre el relleno aluvial y los cerros graníticos. Así pues la distancia entre los bordes no es muy amplia, lo que hace que el modelo tenga poca sensibilidad en comparación con otros de forma más rectangular.

En total el modelo tiene 400 mallas, cuya superficie varía entre 25 y 100 has, y de ellas hay 289 activas, las que cubren 110 km² de acuífero.

3.2 DISCRETIZACION TEMPORAL

Se ha elegido como unidad de tiempo para la simulación, un lapso de un mes. Esto de acuerdo con las características de funcionamiento del acuífero y con la precisión buscada en el proceso de simulación. Las razones que se tuvieron en cuenta para esta discretización son :

- La demanda agrícola y poblacional tiene una ley de variación mensual.
- Las infiltraciones que provienen del régimen de precipitaciones se localizan en determinados meses del año.
- Las infiltraciones de regadío, siguen el mismo régimen de variación de la demanda del agua para agricultura.

3.3 CONDICIONES DE BORDE

3.3.1 Cuenca Maipo-Mapocho.

Las condiciones de borde que se han tenido en cuenta se refieren a :

- Bordes laterales impermeables.
- Bordes laterales permeables.
- Situación de las vertientes
- Relación río-acuífero

El contacto entre el relleno aluvial y la roca fundamental, corresponde a un borde impermeable, ya que no hay circulación de agua en ninguno de los dos sentidos.

Existe un límite arbitrario, tanto en el sector poniente como en el borde oriente, y que corresponde a la continuidad de los valles de los ríos Lampa, Mapocho, Colina y Maipo; en dichos sitios hay una continuidad acuífera, por lo que corresponde a un borde de tipo permeable, que se simula permitiendo el paso del agua en ambos sentidos. Este mismo hecho sucede en las zonas de piedemonte, tales como la Quebrada de Ramón, las rinconadas de Lipanque, Lo Aguirre y otras.

Las vertientes constituyen una salida natural de agua desde el embalse subterráneo y representa como un borde, en el que la cota piezométrica tiene un máximo que coincide con el nivel de terreno.

Los ríos Lampa, Colina, Mapocho y Maipo presentan características en su lecho, tal que en determinados sectores se encuentran en comunicación hidráulica con el acuífero, permitiendo en consecuencia el paso de agua en ambos sentidos. En estos casos se le ha asignado un valor de K a la permeabilidad del lecho.

En otros casos, esto no ha sido posible, debido a la escasez de medidas de terreno, que ha impedido contar con elementos de contraste, y en tales casos se ha simulado como recarga concentrada en las mallas definidas como borde de río.

3.3.2 Cuenca Chacabuco-Polpaico.

Se han distinguido las siguientes condiciones :

- Borde lateral impermeable
- Borde lateral permeable
- Situación de vertientes

El borde lateral impermeable se consideró al límite en el cual existía un afloramiento rocoso de tipo impermeable.

El borde lateral permeable es aquel que permite ingreso y salida de agua hacia y desde el acuífero y corresponde a una continuidad de material permeable, generalmente debido a un relleno de piedemonte o a la salida hacia otro acuífero distinto.

Las vertientes no se han reconocido en el sector, sin embargo, se ha dejado en el modelo la posibilidad de que existan como elementos de contraste del mismo.

3.3.3 Cuenca de Casablanca.

Para la simulación del acuífero de Casablanca se han tenido en cuenta las siguientes condiciones de borde :

- Bordos laterales impermeables
- Bordos laterales permeables
- Situación de vertientes

Los bordes impermeables se producen en el contacto entre la roca basal y el relleno aluvial.

Los bordes permeables se producen en las continuidades de los rellenos aluviales de cada uno de los esteros mencionados y en las zonas de piedemonte.

Los esteros en general circulan sobre lechos impermeables, razón por la cual no se ha simulado la relación río-acuífero.

No se han localizado vertientes; sin embargo se ha impuesto al modelo, la posibilidad de que cada malla pueda serlo, con el objeto de tener un elemento adicional de contraste.

4.- PREPARACION DEL MODELO MATEMATICO.

4.1 INTRODUCCION

4.2 DEFINICION DE VARIABLES Y PA
RAMETROS DE ENTRADA

4.3 FORMATO DE ENTRADA DE DATOS

4.- PREPARACION DEL MODELO MATEMATICO.

4.1 INTRODUCCION.

La preparación del modelo matemático, consiste en producir un programa de computación que sea capaz de reproducir las condiciones de funcionamiento del embalse subterráneo y que permita operarlo introduciendo en él diferentes condiciones de explotación.

Para ello se tomó como base la publicación N° 55 del año 1971 del Illinois State Water Survey de los autores T.A. Prickett y C.G. Lonnquist, titulada "Selected Digital Computer Techniques for Groundwater Resource Evaluation". De ahí se ha obtenido la discretización matemática de las ecuaciones diferenciales que rigen el escurrimiento de las aguas subterráneas, que se incluye en el Anexo N° 3.

Sobre dicha base se preparó un modelo llamado SIMAC 1, adecuado por nuestra empresa para ser empleado en las simulaciones hidrogeológicas del embalse subterráneo de las cuencas Maipo-Mapocho, Chacabuco-Polpaico y Casablanca, labor que se cumplió durante los meses de Abril, Mayo y Junio del año 1983.

A continuación se describen las variables y parámetros que el modelo hidrogeológico requiere para su funcionamiento, incluyendo además el formato y orden de entrada de ellos.

En este caso se entrega un esquema de entrada de datos en tarjetas perforadas, el cual no requiere de modificaciones si el trabajo se realiza a través de un terminal.

4.2 DEFINICION DE VARIABLES Y PARAMETROS DE ENTRADA

4.2.1 Datos Generales.

Estos se refieren al número de mallas del modelo, sus dimensiones, identificación según un sistema de ejes (I,J) y valor por malla de los parámetros físicos principales: transmisibilidad, almacenamiento y cota piezométrica inicial.

Además se incluye el período de simulación, factores de corrección para los parámetros físicos y la cota de error para la convergencia del modelo.

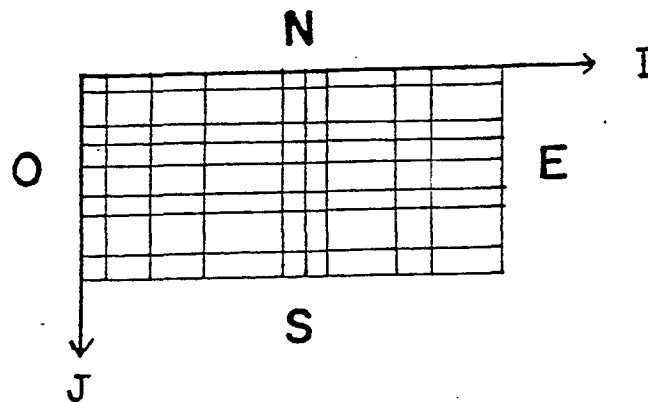
Las variables utilizadas por el modelo para estos datos son las siguientes :

TITULO	:	Título del trabajo.
LO	:	Número total de mallas activas, incluyendo las de condiciones de borde exteriores.
NC	:	Número de columnas (dirección I).
NR	:	Número de filas (dirección J).
ERROR	:	Cota para la convergencia del modelo. Suele tomarse $ERROR = 0,1 \times LO$ (metros).
NMESES	:	Nº de meses a simular.
IDIMX	:	Dimensión, en metros, de las mallas según la dirección I.
IDIMY	:	Dimensión, en metros, de las mallas según la dirección J.
FAC1	:	Factor que multiplica el valor original de la transmisibilidad, según la dirección I.
FAC2	:	Lo mismo que FAC1, pero con la transmisibilidad en la dirección J.
FACSF	:	Factor que multiplica el valor original del coeficiente de almacenamiento.

- T1 : Transmisibilidad según la dirección I para la malla (I,J) ($m^3/día/m$).
- T2 : Transmisibilidad según la dirección J para la malla (I,J) ($m^3/día/m$).
- SF : Coeficiente de almacenamiento para la malla (I,J) (0/1).
- H : Cota piezométrica en la malla (I,J) para el instante de tiempo \underline{t} . (m).

4.2.2 Datos sobre Mallas Exteriores.

Corresponde a la información sobre cuales son las mallas con condiciones de borde exteriores, y su orientación respecto de un sistema arbitrario. Este último se compone de las cuatro direcciones cardinales, que normalmente se ubican según el siguiente esquema :



Las variables utilizadas son :

- NMEN : N° de mallas exteriores que ingresan al modelo desde la dirección Norte.
- NMEE : N° de mallas exteriores que ingresan al modelo desde la dirección Norte, más las que lo hacen desde el Este.
- NMES : N° de mallas exteriores que ingresan al modelo por el Norte, más las del Este y Sur.
- NMEW : N° total de mallas exteriores.
- (IM,JM) : Coordenadas de cada malla exterior.

4.2.3 Datos para el Contraste Piezométrico.

Estos consisten en identificar las mallas elegidas para el contraste entre la piezometría medida y la modelada, además de las cotas piezométricas mensuales registradas en los pozos correspondientes.

Las variables empleadas son :

- ND : N° de mallas donde se hará el contraste piezométrico.
- (ID,JD) : Coordenadas de las mallas elegidas para este efecto.
- HOD : Cota piezométrica medida para cada malla (ID,JD); se requiere de un valor por mes (m).
- MES : Nombre de los meses en que se hará la simulación, partiendo con el mes elegido para su comienzo.

4.2.4 Datos para la Simulación de la Relación Río-Acuífero.

Se trata de identificar las mallas donde existe interrelación entre los cauces superficiales y el acuífero, incluyendo para cada una de ellas los parámetros que caracterizan esta relación.

Las variables utilizadas son :

- NQR : N° de mallas con relación río-acuífero
- (IR,JR) : Coordenadas de cada malla con relación río-aacuífero.
- RD : Cota del lecho del río para la malla (IR,JR) (m).
- RH : Cota del agua en el río para la malla (IR,JR) (m).
- R : Factor que caracteriza la permeabilidad del lecho del río para la malla (IR,JR).

$$R = \frac{K}{e} \times A \quad (\text{m}^3/\text{día}/\text{m})$$

donde K = permeabilidad del lecho (m/día)

e = espesor del lecho (m)

A = área del lecho ocupada por el río (m²)

4.2.5 Datos sobre Vertientes.

Se refiere a la información de las mallas donde existen afloramientos de la napa subterránea.

Se acostumbra suponer la posibilidad de afloramientos en todas

las mallas de la cuenca simulada, como un elemento más de contraste.

Las variables empleadas son :

NVER	:	Nº de mallas con vertientes
(IV,JV)	:	Coordenadas de cada malla con vertientes
RDV	:	Cota piezométrica mínima de vertimiento. Normalmente se toma igual a la cota de terreno (m).

4.2.6 Datos sobre Bombeos e Infiltraciones.

Se trata de la información sobre las diferentes fuentes de descarga y recargas desde la superficie del acuífero, incluyendo para cada caso el número de mallas afectadas, el volumen anual que se infiltra o bombea por cada una de las mallas y la distribución mensual de ese volumen.

Las variables que se agregan entonces son :

TITULR	:	Denominación de la fuente de descarga o recarga considerada.
NP	:	Nº de mallas con determinada recarga o descarga.
ICL	:	Clasificación del tipo de situación de que se trata (Ej. infiltraciones por lluvias, infiltraciones de riego, bombeos por industrias, etc.).
FC	:	Factor multiplicador del volumen anual de recarga o descarga. Sirve para modificar los <u>da</u> tos en forma global.

Para infiltraciones debe ser positivo, mientras que para los bombeos debe ser negativo (-1,0 si se quiere trabajar con los valores originales).

- FD : Coeficiente de distribución mensual del volu
men anual de recarga o descarga (un valor por
mes).
- (IP,JP) : Coordenadas de la malla afectada de una des-
carga o recarga determinada.
- P : Volumen anual que se infiltra o bombea, según
sea el caso, para la malla (IP,JP) (m3/año).

4.3 FORMATO DE ENTRADA DE DATOS.

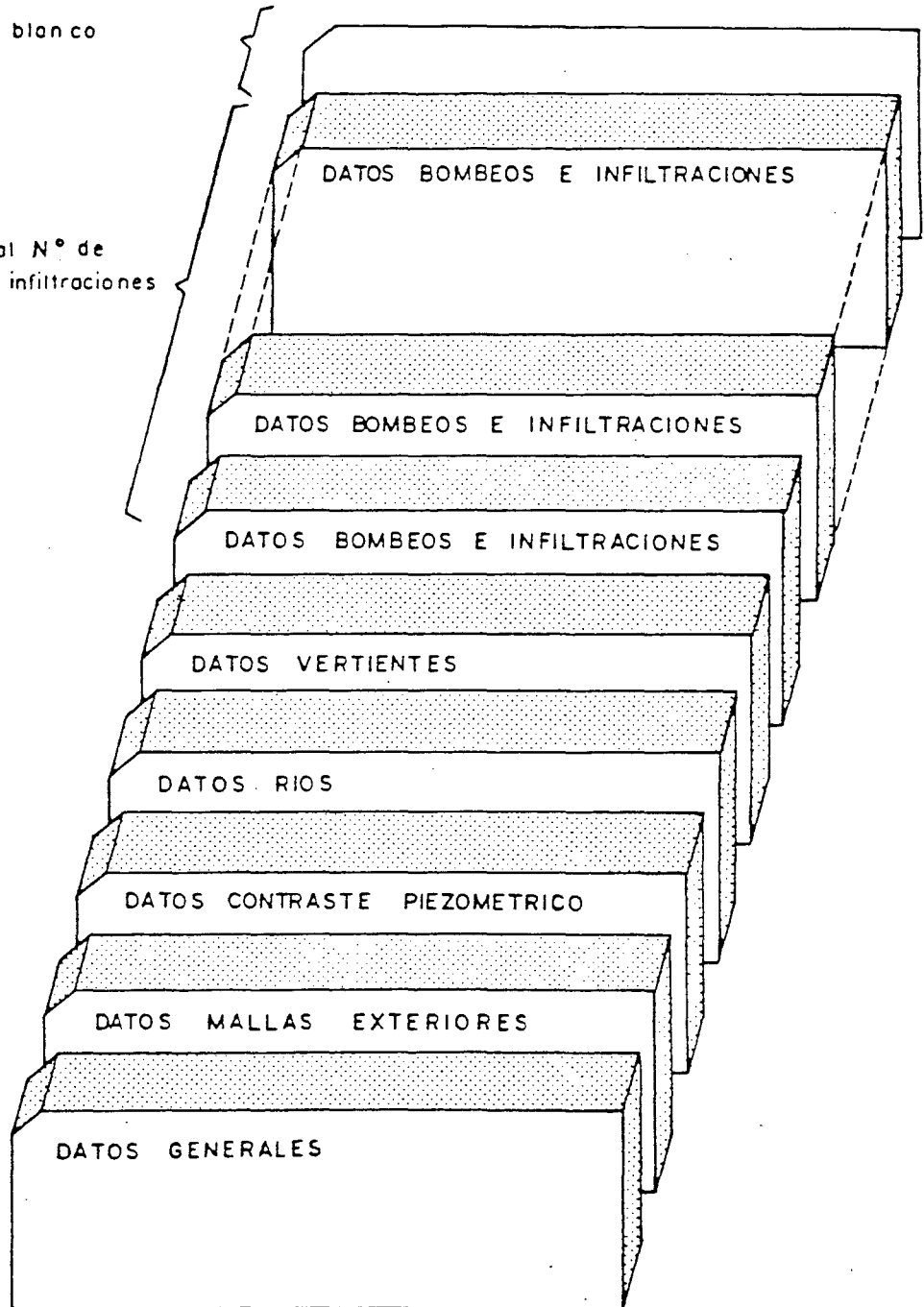
Se presenta a continuación los esquemas para el ingreso de los datos del modelo, al computador.

En primer lugar se indica el orden en que debe ubicarse los di
ferentes grupos de datos. Posteriormente, se da el formato de
entrada de cada variable y el orden de las tarjetas en cada gru
po.

ESQUEMA ENTRADA DE DATOS

Tarjeta en blanco

Se repite de acuerdo al N° de
fuentes de bombeos e infiltraciones
existentes.



DATOS GENERALES

I	J	T1	T2	SF	H
I3	I3	E6.1	E6.1	E6.1	F6.2

PARAMETROS FISICOS

LO TARJETAS

FAC1	FAC2	FAC3
F5.1	F5.1	F5.1

FACTORES DE CORRECCION DE
PARAMETROS FISICOS

1 TARJETA

IDIMY

IS

DIMENSION MALLAS DIRECCION J

NR TARJETAS

IDIMX

IS

DIMENSION MALLAS DIRECCION I

NC TARJETAS

LO	NC	NR	ERROR	MESES
I4	I3	I3	F6.1	I.4

DATOS GENERALES

1 TARJETA

TITULO

1 TARJETA

111
222
333
444
555
666
777
888
999
000

IM JM

I3 I3

MALLAS EXTERIORES OESTE
(NMEN - NMES - NMEE - NMEN) TARJETAS

IM JM

I3 I3

MALLAS EXTERIORES SUR
(NMES - NMEE - NMEN) TARJETAS

IM JM

I3 I3

MALLAS EXTERIORES ESTE
(NMEE - NMEN) TARJETAS

IM JM

I3 I3

MALLAS EXTERIORES NORTE
NMEN - TARJETAS

MALLAS EXTERIORES

NMEN
I3 I3

NMEE
I3 I3

NMES
I3 I3

NMEN
I3 I3

I TARJETA

DATOS CONTRASTE PIEZOMETRICO

HOD1	HOD2	HOD3	HOD4	HOD5	HOD6	HOD7	HOD8	HOD9	HOD10	HOD11	HOD12	COTA PIEZOM. MEDIDA ND TARJETAS
F6.0	F.60	F6.0	F6.0	F6.0	F6.0	F6.0	F6.0	F6.0	F6.0	F6.0	F6.0	111
ND TARJETAS												222
ID JD												333
I3 I3												444
MES1												555
MES2												666
MES3												777
MES4												888
MES5												999
MES6												111
MES7												222
MES8												333
MES9												444
MES10												555
MES11												666
MES12												777
1 TARJETA												888
MALLAS CONTRASTE PIEZOMETRICO												999
ND												111
I3												222
1 TARJETA												333
												444
												555
												666
												777
												888
												999

DATOS RIOS

[illegible]

DATOS VERTIENTES

[illegible]

DATOS BOMBEO E INFILTRACIONES

[illegible]

5.- APLICACION DEL MODELO A LA CUENCA
MAIPO-MAPOCHO.

- 5.1 DATOS DE ENTRADA
- 5.2 PROCESO DE AJUSTE
- 5.3 PROCESO DE SIMULACION
- 5.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.- APLICACION DEL MODELO A LA CUENCA MAIPO-MAPOCHO.

5.1 DATOS DE ENTRADA.

5.1.1 Aspectos Generales.

Los datos de entrada al modelo están constituidos por los valores iniciales de la piezometría, los valores de T y S asignados a cada malla, como también los volúmenes de infiltración por lluvias y riego, además de los volúmenes bombeados por cada malla.

Estos se definen con una periodicidad mensual puesto que así se ha elegido la discretización temporal.

La precisión requerida en estos datos iniciales debe estar en concordancia con la precisión exigida al modelo. No obstante, errores en la determinación de T, S y H_0 , son también advertidos en el modelo durante el proceso de colaje, en el cual se ajustan de acuerdo con un proceso de aproximaciones sucesivas.

Los valores colocados, tal y como se detallará más adelante, se basan tanto en las mediciones directas realizadas en el terreno, como en la interpretación hidrogeológica realizada por los especialistas.

5.1.2 Piezometría Inicial.

Los antecedentes sobre mediciones de niveles estáticos existentes en el Volumen IV, Estudio Hidrogeológico de la 1a. Fase fueron graficados para una mejor visualización del fenómeno de las fluctuaciones. En dicho estudio se cuenta con la información graficada, pero su escala de dibujo no era práctica para estos fines por lo cual se prefirió redibujar la información. Se dibujó y analizó información proveniente de 67 pozos profundos.

La información se dibujó para el período 1970-76 salvo dos de ellos que abarcaron desde 1960 a 1976.

Referente a la discretización temporal, expresada anteriormente, se requería elegir un período de un año con antecedentes mensuales; ello coincide con un ciclo de variaciones del nivel estático, en el cual se definen máximos y mínimos.

El análisis de la información y gráficos, permitió seleccionar el período 1974-75 como año de simulación, dado que la estadística recopilada es la con mayor información para año más reciente. Dentro de ese período anual, el mes de Marzo de 1974, por su ubicación en la curva de variación, resulta el de mayor interés para iniciar allí el período de simulación.

Las cotas de los puntos de medición del N.E. se obtuvieron del catastro de pozos, tanto de CORFO como del Estudio Hidrogeológico, Volumen IV, y fue revisada por las cotas del plano 1:50.000 del I.G.M. Con ello se obtuvieron las cotas del N.E. respecto al nivel del mar para Marzo de 1974 en 67 puntos.

La ubicación de los pozos en el plano, se obtuvo del Estudio Hidrogeológico referido anteriormente.

Dado que 67 puntos de control resultan insuficientes para trazar las curvas isopiezas en toda la cuenca Maipo-Mapocho que cubre el mallaje, fue necesario complementar la información adicional. Para ello se utilizaron dos metodologías de ampliación :

- 1° Se utilizaron relaciones entre niveles estáticos de pozos patrones (de los 67) con pozos que no tenían datos de niveles para Marzo 1974, pero sí en otros meses y otros años. La diferencia de cota relacionada, para otros meses entre ambos pozos, fue aplicada a la medición de Marzo de 1974 en el pozo conocido y así se obtuvo la cota del pozo sin antecedentes.

- 2° La forma de las curvas isopiezas, en aquellas zonas sin datos del N.E. fue extraída de la forma que tenían dichas curvas en el informe CORFO - IIG de 1970 "Hidrogeología de la Cuenca de Santiago", ajustándolas a las cotas obtenidas para Marzo 1974.

Las cotas del N.E., Marzo 1974, para cada celda se obtuvieron del plano de curvas isopiezas recién descrito, adjuntándose sus valores por cada celda en el esquema de la página 41.

5.1.3 Valores de T y S.

5.1.3.1 Valores de T.

Se analizó la información existente en el Volumen IV, Estudio Hidrogeológico y sus resultados, los que pueden observarse en plano correspondiente de dicho estudio.

Se procedió a contrastar esa información con datos de los terrenos atravesados y aplicando criterios de penetración parcial de sondeos. Además se estudiaron las carpetas de antecedentes de cada pozo, sus pruebas de bombeo y especialmente los cálculos de T efectuados en el Estudio Hidrogeológico, Volumen IV. Finalmente, se analizó la información presentada por IIG-CORFO en el informe de 1970 recién mencionado, la cual se encontraba resumida en el plano de caudales específicos.

Para relacionar los caudales específicos, expresados en l/s/m con valores de transmisibilidad, expresados en m³/día/m se utilizó la fórmula $T = \alpha \times CE$ en que a " α " se le asignó un valor de 200, el cual proviene de un resultado estadístico en que se han comparado los valores de "T" obtenidos en pruebas de bombeo con los valores de "CE".

Efecutado el análisis de todo el material descrito, se optó por considerar el plano de caudales específicos entregado en el informe IIG-CORFO como el más representativo de los valores de T. En el plano de C.E. en escala 1:100.000 se sobrepuso al mallaje, aplicándose a la vez la fórmula $T = \alpha \times C.E.$; se obtuvieron así los valores de T para cada celda, valores que aparecen en el plano de la página 39.

Esos valores serán los de partida del modelo, los que se irán ajustando en el proceso de calibración del modelo.

5.1.3.2 Valores de S.

Los valores de S fueron obtenidos al analizar pruebas de bombeo, según información recopilada para este estudio, la que principalmente está extractada de información proveniente de CORFO y algunas firmas perforistas. Esta información se contrastó con antecedentes similares obtenidos por nuestra firma en experiencias anteriores.

Se asignaron valores a cada celda, propios de la naturaleza del acuífero, que en este valle presenta características de acuífero libre, salvo la zona baja de Lampa y Colina con acuíferos a presión.

Se consideraron también aspectos tales como la evolución que el coeficiente S presentará para efectos de drenaje retardado, propios de un proceso de simulación y bombeos a largo plazo.

Los valores de S, asignados para cada celda, se presentan en el plano de la página 40 y serán los valores de entrada al modelo, los que se irán ajustando durante la calibración de éste.

5.1.4 Condiciones Topográficas.

La necesidad de conocer las cotas de terreno en las diferentes celdas, se debe a la necesidad de contrastar las salidas del modelo en relación con las ubicaciones de las vertientes, ya que el modelo asignará como vertientes a aquellas celdas donde el nivel del agua subterránea resulte superior al nivel del terreno.

Para obtener la cota del terreno de cada celda, se utilizó la información topográfica de los planos 1:50.000 del I.G.M. reduciendo éstos a 1:100.000 y calzándolos con el mallaje; obteniéndose así la cota del punto central de las celdas. Se consideró adecuada la escala 1:50.000 para la precisión de trabajo del modelo. El plano 1:10.000 de la C.N.R. se empleó en casos especiales y particularmente para resolver dudas.

5.1.5 Infiltraciones por Regadío.

5.1.5.1 Desde Aguas Superficiales.

Con el objeto de individualizar y calcular las áreas regadas en la cuenca y su potencial infiltración que recarga los acuíferos del valle, se consideró la información existente en el estudio de IPLA para la Dirección General de Aguas, titulado "Estudio Racionalización Primera Sección Río Maipo" - 1974.

En dicho estudio, se encuentran individualizadas las áreas de riego de cada canal proveniente de los ríos Maipo, Mapocho y Colina, tanto en superficie como en ubicación, la cual se encuentra dibujada en plano de escala 1:100.000, coincidente con la escala del Modelo.

A continuación se procedió a determinar la tasa de riego anual, para cada canal a nivel de su bocatoma, según antecedentes del

informe citado, para año de 50% de probabilidad de excedencia.

Tanto la ubicación de las áreas regadas por canal, como la tasa anual de riego, se pueden observar en el plano que se incluye en el Album del estudio.

Posteriormente se estudió y asignó para cada canal un porcentaje del agua de riego, a nivel de bocatoma, que se infiltra y pasa a recargar el acuífero, considerándose del orden del 30%. Para ello se tuvo en cuenta los tipos de suelos y sistemas de riego habituales, así como los valores que alcanza la tasa de riego, como también experiencias realizadas en canales y predios en zonas con similares características. Con todo lo anterior, se procedió a calcular el volumen anual de infiltración, por hectárea, de cada sector de riego. Sobreponiendo el plano descrito con las áreas de riego, al del mallaje, fue posible calcular el volumen anual infiltrado para cada celda, plano N° 69 del Album de Planos.

Con la información obtenida en el estudio de IPLA para la Dirección General de Aguas, se procedió también a determinar la distribución mensual de la infiltración, adoptándose para la cuenca Maipo-Mapocho la siguiente:

=====	
Mes	%
Septiembre	8
Octubre	12
Noviembre	15
Diciembre	15
Enero	15
Febrero	15
Marzo	10
Abril	10
=====	
A ñ o	100
=====	

5.1.5.2 Desde Aguas Subterráneas.

Existen áreas de la Cuenca Maipo-Mapocho que son regadas con aguas subterráneas extraídas por bombeo desde pozos profundos, entre esas áreas deben distinguirse áreas regadas exclusivamente con aguas subterráneas, de áreas regadas en forma mixta por aguas superficiales y subterráneas, utilizándose las subterráneas como complemento de las superficiales.

Para el sector Norte del Mapocho, que se riega exclusivamente con aguas subterráneas (como ser Lampa) y para el sector de Colina que posee regadío mixto, se aplicó una infiltración proveniente del regadío con aguas subterráneas, equivalente a un 20% del volumen bombeado.

Para el sector al Sur del Mapocho, la infiltración provocada por el regadío con aguas subterráneas, se consideró nula ya que en ese sector las aguas subterráneas sólo se emplean en años de fuerte déficit de aguas superficiales y en esos casos la dotación de riego total por hectárea no cambia de la ya considerada para aguas superficiales. Además la encuesta del bombeo de pozos indicó que en este sector al Sur del Mapocho la utilización de los pozos era muy baja, inferior al 5%, esto en horas de bombeo respecto a horas anuales.

5.1.6 Infiltración por Lluvias.

5.1.6.1 En Area Rural.

Utilizando la estadística de precipitaciones, recogida de la estación Quinta Normal, se consideró como infiltración mensual proveniente de las lluvias, aquella que resultaba de aplicar la fórmula, determinada en forma empírica y aplicada con éxito en cuencas similares y en proceso de simulación.

$$I = 0,7 (P - 60 \text{ mm})$$

en que :

I = infiltración en mm/mes

P = precipitación mensual

Las precipitaciones mensuales para el año 1974-75 en la Estación Quinta Normal, fueron las siguientes :

Año	Mes	Precipitación (mm)
1974	Marzo	0,0
1974	Abril	0,0
1974	Mayo	99,7
1974	Junio	222,5
1974	Julio	35,3
1974	Agosto	14,1
1974	Septiembre	22,0
1974	Octubre	0,0
1974	Noviembre	17,7
1974	Diciembre	0,0
1975	Enero	0,0
1975	Febrero	0,0
<u>Total Marzo/74 - Febrero/75: 411,3 mm</u>		

Se obtuvo así para el año 1974, sólo dos meses con producción de infiltración, a saber : Mayo y Junio, con valores de :

$$I_{\text{Mayo}} = 0,7 (99,7 - 60) = 28 \text{ mm}$$

$$I_{\text{Junio}} = 0,7 (225,5 - 60) = \underline{116 \text{ mm}}$$

$$\text{Infiltración para año 1974} = 144 \text{ mm}$$

Por lo tanto existe infiltración proveniente de lluvias, sólo en aquellos meses en que la precipitación sobrepasa los 60 mm, por considerarse que bajo esta cifra el agua completa la capacidad del campo y luego se evapotranspira. El valor 0,7 indica una escorrentía superficial del 30% correspondiente a terrenos planos o semiplanos.

Ese valor de infiltración se aplicó a la superficie de cada celda, del área rural, obteniéndose así el volumen total anual infiltrado por este concepto en cada una de ellas.

Del volumen anual infiltrado, se consideró que un 20% lo hacía en el mes de Mayo y el 80% restante en Junio, siendo nulo en los 10 meses restante.

A diferencia de las otras cuencas modeladas, en ésta y debido a su magnitud y extensión, se procedió a afectar los valores de infiltración así obtenidos por un coeficiente que relaciona la precipitación del año 50% en Quinta Normal, con la precipitación del año 50% en otros puntos de la cuenca. Así tenemos que en una celda del sector Sur, donde la precipitación media alcanza a 550 mm, la infiltración se consideró 1,57 veces la infiltración del sector Quinta Normal, cuya precipitación media es de 350 mm.

5.1.6.2 En Area Urbana.

Para este caso se aplicó el mismo sistema de cálculos que para el área Rural, salvo el hecho de que a las celdas de esta área se las ha afectado por un coeficiente que tiene relación con el área factible de infiltrar en relación al área total de la celda.

Se ha considerado un factor de 50%, correspondiendo ello a superficie de jardines y suelos sin pavimentos.

Con relación al centro urbano de Santiago y alrededores, que tiene casi la totalidad de su superficie cubierta con techumbres y pavimentos, se prefirió no innovar en el coeficiente de 50%, debido a la poca representatividad de esta área en el total de la cuenca cubierta por el mallaje ya que no sobrepasa dos celdas.

Los volúmenes anuales de infiltración por lluvias, en todas las celdas de la cuenca Maipo-Mapocho, se pueden observar en el plano esquemático de la página 43.

5.1.7 Infiltración Proveniente de las Redes de Agua Potable y Alcantarillado.

El agua potable se distribuye en la ciudad por medio de una extensa red de tuberías matrices, submatrices y de repartición. Dentro de ellas el agua se encuentra a presión produciéndose fugas de agua por grietas o fisuras; uniones sin suficiente aprete de juntas; piezas en mal estado, etc.

La Empresa Metropolitana de Obras Sanitarias (EMOS), se encuentra efectuando un estudio de pérdidas de agua en la compleja red que abastece la ciudad de Santiago; se estima que las pérdidas totalizan un 40% de las aguas que ingresan a la red.

Para los efectos del Modelo se considera que un 30% de las aguas que ingresan a la red, se fugan de ella y entran a recargar el acuífero, valor medio obtenido de experiencias en otras redes urbanas de semejante antigüedad y condiciones de suelos.

EMOS calcula en 15 m³/s el caudal medio que ingresa a la red de agua potable y por lo tanto 4,5 m³/s recargarían el acuífero, es decir 142 millones de m³ al año.

Se considera que este volumen anual se distribuye uniformemente en los 12 meses del año y a la vez uniformemente en el área cubierta por la ciudad, 460 km². Con ello se obtiene una infiltración por este concepto, de 260 m³ mensuales por há de ciudad.

Igual dotación de infiltración se ha considerado para el sector de Las Condes abastecido por la Empresa Lo Castillo y para los sectores abarcados por Pueblos de la Cuenca.

5.1.8 Bombeo de Pozos Profundos.

Se analizó el catastro de pozos entregado por IPLA para este proyecto de la C.N.R., tanto en lo que a antecedentes del pozo se refiere como a su ubicación en el plano. En el caso de dudas, se revisó el catastro de CORFO y antecedentes recopilados por nuestra firma, efectuando las correcciones correspondientes.

Los pozos fueron divididos en dos categorías: los en uso (según catastro) y los sin uso, de estudio y abandonados, por otra parte. En cuanto a los en uso se dividieron según su finalidad, en agua potable, regadío e industriales.

Para estas tres finalidades o usos, se organizó y efectuó una encuesta destinada a conocer el volumen mensual extraído de él en un período de 12 meses.

La encuesta se efectuó sobre la base de los últimos 12 meses o del último período de riego. Podrá discutirse que este período no represente adecuadamente el año medio de los últimos tiempos y en especial 1974-1975, debido al período de recesión por una parte y a la especial condición hidrológica del año 1982, de gran precipitación.

Estos aspectos fueron considerados en la selección de los factores de utilización que se explicarán para regadío e industrias.

5.1.8.1 Bombeos para Agua Potable.

En el caso del agua potable, se agruparon los pozos por Empresa de Abastecimiento: EMOS, Lo Castillo y Rurales, entre los cuales y por su importancia se destaca MAIPU.

Se procedió a solicitar los antecedentes a las respectivas Empresas de Agua Potable, lográndose una extraordinaria aceptación. Se obtuvo así el volumen mensual bombeado para cada recinto, en aproximadamente el 80 a 90% de los casos. Se consideró directamente estos valores en la celda correspondiente.

En aquellos casos sin antecedentes, especialmente Rurales, se asignó una dotación de 200 a 300 lt/habitante día para poblaciones censadas, contrastado ello con la capacidad de los pozos.

Se presenta un plano con los volúmenes totales anuales, para cada celda del mallaje, extraídos por bombeo y utilizados como agua potable, estos datos se encuentran en el plano esquemático de la página 47.

La distribución mensual del volumen anual obtenido para cada celda, se obtuvo de las estadísticas obtenidas de los principales centros o empresas de bombeo, tales como: MAIPU, Lo Castillo y EMOS en Lo Valledor y otros recintos. Se adjunta el gráfico y la tabla de distribución adoptada.

5.1.8.2 Bombeos para Regadío.

Del listado de pozos que se utilizan en regadío, se efectuó una selección para encuestarlos, cubriendo un 20% de ellos y que éstos abarcasen todas las áreas de la cuenca.

Se efectuó la encuesta directa en terreno, se analizó y se calcularon los volúmenes mensuales extraídos en cada uno de los pozos encuestados.

En base al caudal de prueba del pozo encuestado, según catastro, se procedió a calcular un "factor de utilización", factor que representa el N° de m³ bombeados respecto al total de m³ anuales factibles según catastro. Este factor fue ubicado en el plano de la cuenca, observándose así que en el área de Lampa y bajo Colina el factor era cercano al 40%; en Colina y áreas al Norte del Mapocho era cercano al 20% y al Sur del Mapocho sobrepasaba el 5%.

Se procedió entonces a calcular el volumen anual bombeado por cada pozo en base al sistema que se detalla:

- ubicar el pozo en la celda correspondiente.
- asignar al pozo el caudal del catastro.
- asignar los siguientes factores de utilización de pozos :
 - . áreas regadas sólo con aguas subterráneas : 40%
 - . áreas de riego mixto al Norte del Mapocho : 20%
 - . áreas de riego mixto, al Sur del Mapocho : 5%
- obtener el volumen anual bombeado por cada pozo, mediante su caudal unitario asignado, el número de horas anuales y el factor de utilización.
- obtener el volumen anual total de cada celda, como integración de los pozos allí existentes. Se presenta un plano con estos valores.

Finalmente se procedió a determinar una distribución mensual para dicho volumen anual.

Mes	%
Septiembre	8
Octubre	12
Noviembre	15
Diciembre	15
Enero	15
Febrero	15
Marzo	10
Abril	10
A ñ o	100

5.1.8.3 Bombeos para Industrias.

Primeramente se procedió a agrupar los pozos industriales de la cuenca, según tipo de industria, tales como: cuero y calzado, tintorerías, textiles, cervecerías, etc.

Una vez hecho lo anterior se efectuó una selección de aproximadamente el 30% de los pozos para encuestarlos, procediéndose primeramente a enviarles cartas para explicarles el motivo del trabajo y solicitarles el dato, continuándose después con reiteradas visitas a las industrias, tendientes a lograr respuestas. Es necesario hacer presente que éste fue el sector con mayor dificultad para encuestarlo y que a la vez entregó menor información.

Con los antecedentes recopilados se procedió a calcular el "factor de utilización", en igual forma que para los pozos agrícolas, separándolos por tipo de industria.

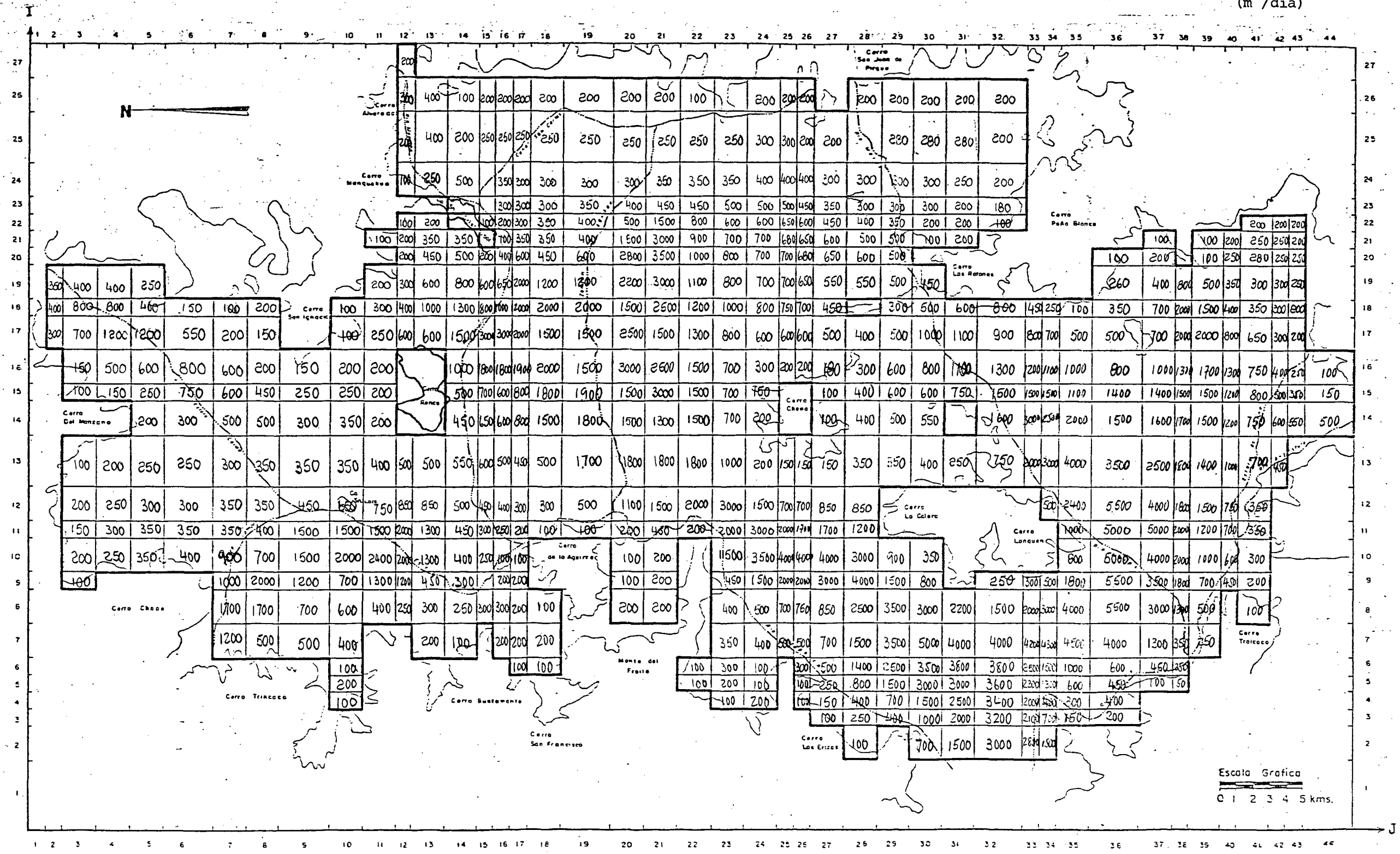
Se obtuvo así el volumen anual extraído por cada pozo, mediante la multiplicación de su caudal unitario, el número de horas

anuales y el factor de utilización de su tipo de industrias. Por ubicación de los pozos en las respectivas celdas, se obtuvo el volumen anual de agua para industrias extraídos des de cada celda, valores que pueden observarse en el plano de la página 46.

Se optó por considerar que la distribución mensual de este volumen anual, era pareja, es decir, que en cada mes se extraía $1/12$ del volumen anual.

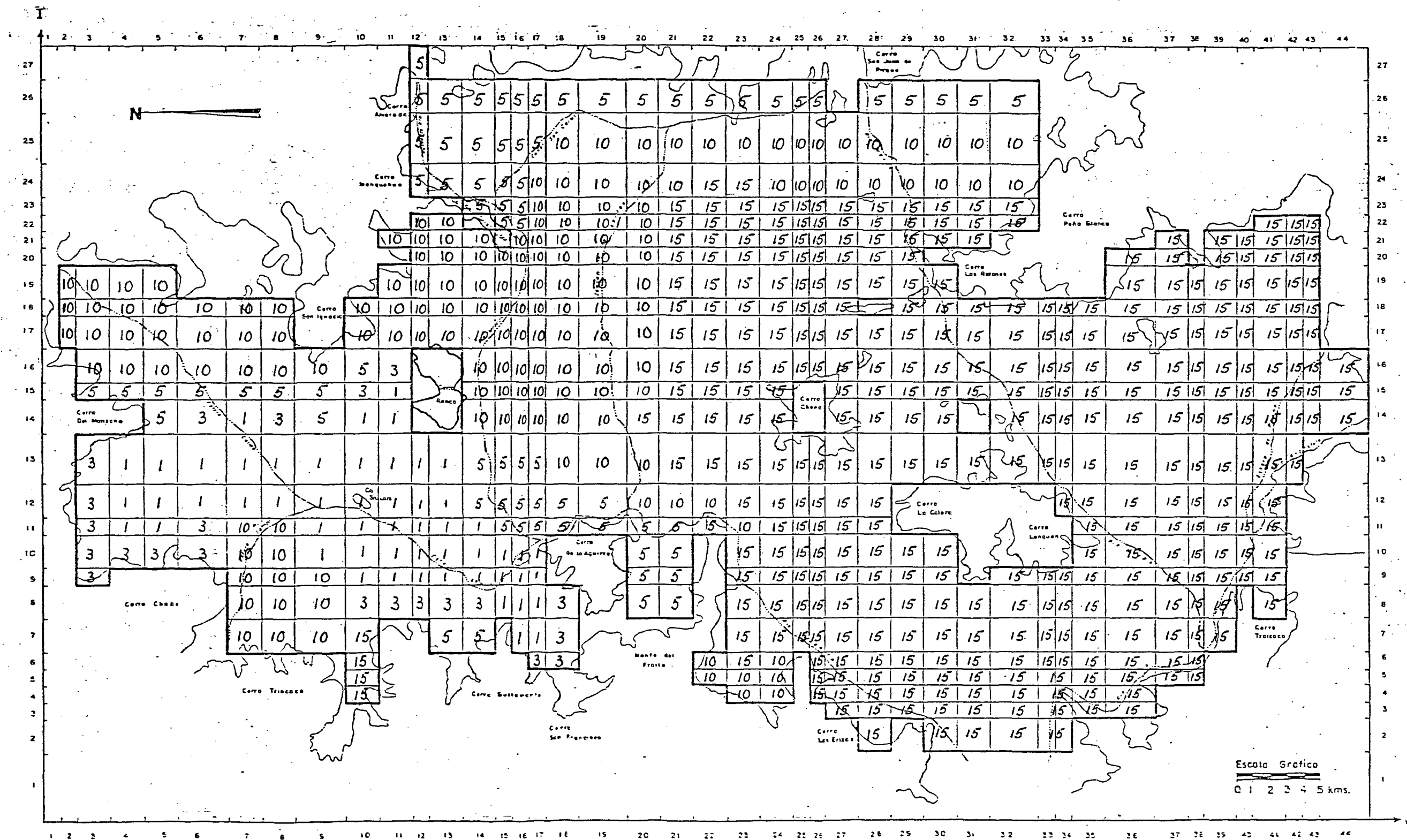
MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

DATOS DE ENTRADA
TRANSMISIVIDAD
(m²/día)



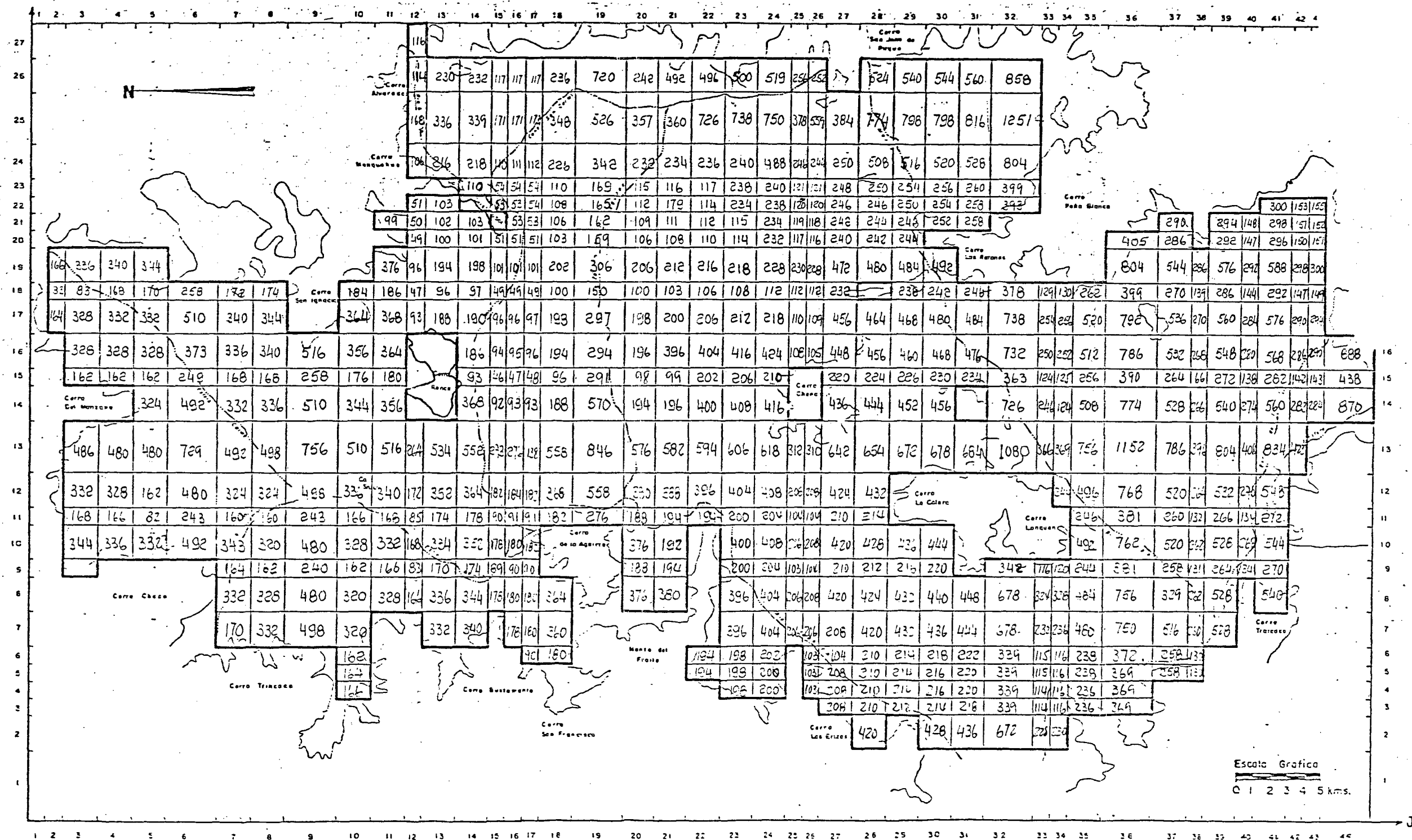
MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

DATOS DE ENTRADA
 COEF. ALMACENAMIENTO
 (miles m³/año)



MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

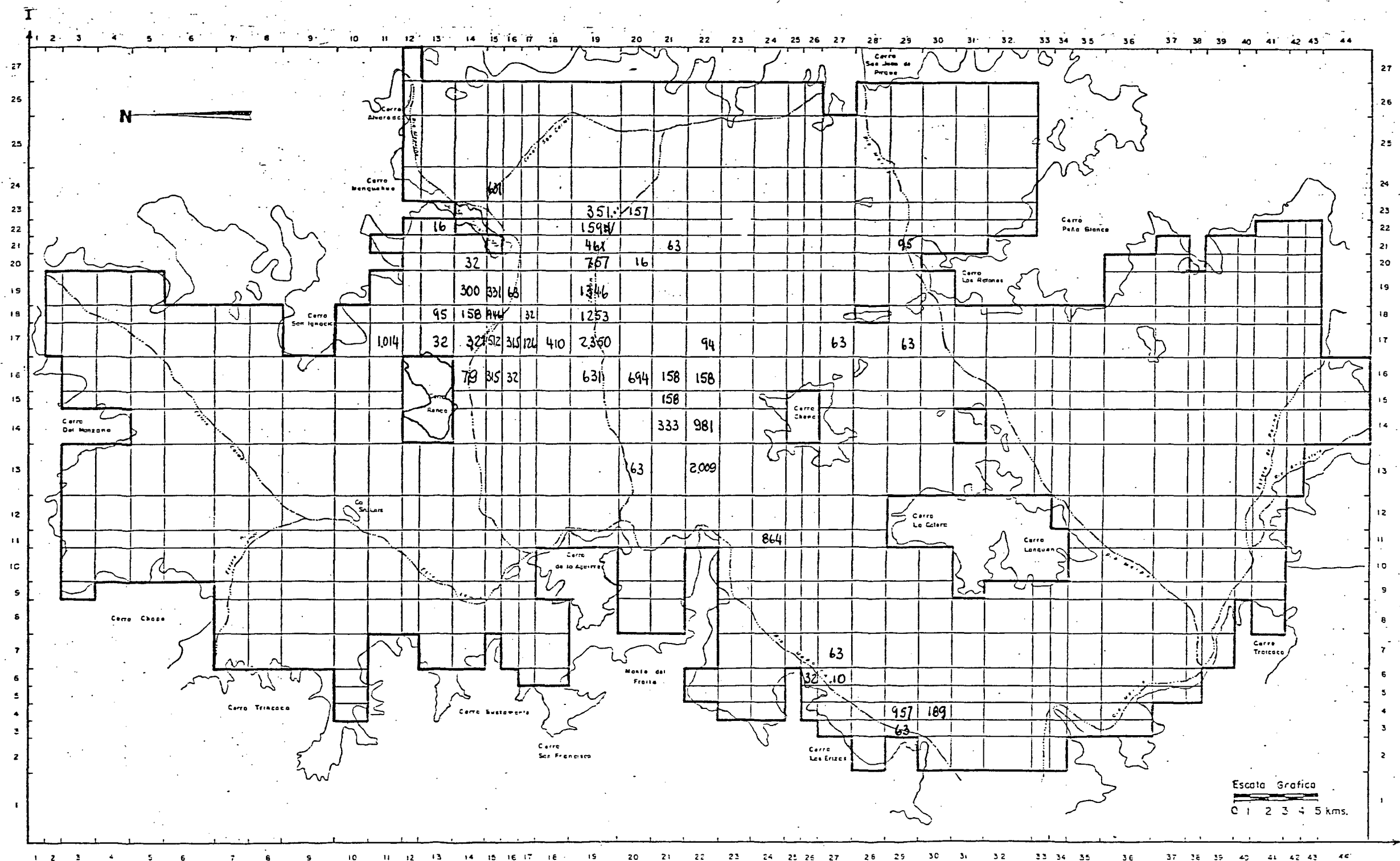
DATOS DE ENTRADA
INFILTRACION POR LLUVIA
(miles m³/año)



ALAMOS Y PERALTA
 INGENIEROS CONSULTORES LTDA.
 RECURSOS HIDRAULICOS AGUAS SUBTERRANEAS REGADIO AGUA POTABLE E INDUSTRIAL

MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

DATOS DE ENTRADA
 BOMBEO PARA INDUSTRIAS
 (miles m³/año)



5.2 PROCESO DE AJUSTE

5.2.1 Introducción.

El proceso de ajuste o calaje tiene como objetivo lograr una representación matemática del acuífero, lo más ajustado posible a su realidad física.

Para esto se procede por aproximaciones sucesivas, cambiando los valores de las características hidráulicas y de borde del acuífero, de manera de lograr una semejanza entre las variaciones piezométricas observadas en terreno con las obtenidas de salida del modelo, así como también de ajustar lo mejor posible los elementos del balance másico a la realidad observada.

Para efectuar este análisis, en cada una de las 7 pasadas de ajuste realizadas, se han empleado las siguientes tablas y planos, que se incluyen en cada caso :

- Tabla Resumen del Balance Másico
- Plano del Balance Másico
- Plano del Contraste Piezométrico
- Planos con los cambios en los datos de entrada, efectuados para la pasada.

Su contenido puede sintetizarse en lo siguiente :

- La Tabla Resumen del Balance Másico consiste en un cuadro que condensa la información mensual y anual del acuífero simulado, para los distintos elementos que componen el balance volumétrico.
- El Plano del Balance Másico contiene el detalle, por cada malla del modelo de los elementos del balance que la simulación entrega como resultados. Estos son: las entradas y salidas del área modelada desde y hacia otras cuencas y

los volúmenes aflorados desde las vertientes, junto con aquellos que salen directamente a los ríos o esteros.

- El Plano de Contraste Piezométrico incluye en el malla-je del modelo, los gráficos de variación de niveles medios y simulados para los piezómetros de contraste. Estos son la base de discusión del funcionamiento del modelo y junto con el Balance Másico, determinan los cambios que se hacen de una pasada a otra.
- Los Planos con cambios corresponden a los nuevos valores, por cada malla, que los parámetros de modelación toman al ser modificados para mejorar el ajuste del modelo. Se entiende que aquellos parámetros no modificados permanecen sin variaciones respecto a la pasada anterior.

Para la obtención de elementos de contraste con mediciones de terreno, se han empleado los registros de variación piezométrica a nivel mensual, para el año de simulación elegido, a saber 1974-75.

Sin embargo, el acuífero Maipo-Mapocho posee una serie de descargas naturales por medio de vertientes, localizadas en las cercanías de las riberas de las partes bajas de los ríos Maipo y Mapocho y a todo lo largo del estero Angostura. Dado que en volumen constituyen una descarga muy importante, se ha hecho necesario tenerlas en cuenta en el proceso de ajuste del modelo. Por desgracia, no se cuenta con una individualización de cada una de ellas ni tampoco con un registro periódico de los caudales. Debido a ello fue necesario efectuar un rápido inventario de las más importantes, procediendo a su localización y medida de caudales. Se eligió como mes de las medidas Julio y Agosto debido a que los caudales medidos no se encuentran afectados por los desagües de riego, siendo además más fácil su localización.

Esta prospección se encuentra detallada en el anexo N° 1 y los resultados más importantes se pueden resumir como sigue:

- Salidas sector Mapocho = 7,7 m³/s
- Salidas estero La Berlina, antes junta con Angostura = 2,3 m³/s
- Salidas estero Angostura entre confluencia con La Berlina y río Maipo = 6,5 m³/s.
- Salidas sector Bajo Maipo, estero El Gato y Gatica = 6,5 m³/s.

Todos estos datos se han tenido en cuenta en el proceso de ajuste, constituyendo un elemento de referencia muy útil y en cierto modo indispensable.

5.2.2 Relación de Pasadas.

5.2.2.1 Pasada N° 1.

Se efectuó el 28.10.83 con los datos de entrada preparados según lo descrito en el punto 5.1.

Del Balance Másico se obtiene el cuadro que sigue:

=====	
	Vol. (Mm ³ /año)
ENTRADAS AL ACUIFERO	
- Río	10.670
- Infiltraciones de riego	550
- Infiltraciones por lluvias	199
- Infiltraciones desde red de agua potable	<u>136</u>
T o t a l	11.555

=====	
	Vol. (Mm ³ /año)
=====	
SALIDAS DESDE EL ACUIFERO	
- Bombeos	206
- Mallas exteriores	10
- Vertientes	<u>390</u>
T o t a l	606
VARIACIONES DE ALMACENAMIENTO	1.958
=====	

Como se ve las infiltraciones de río son exorbitantes, entrando al acuífero un volumen incluso superior al que circula por los cauces desde donde se producirían estas infiltraciones. Es evidente que esta situación es irreal y queda reflejado tanto en el Balance Másico como en el Contraste Piezométrico.

Esto último puede verse en el plano correspondiente, que para las mallas ubicadas bajo cauces de esteros o ríos que infiltren, el nivel permanece constante e igual al nivel del espejo de agua del río. Esto significa que el río infiltra tanto como para conectar la superficie de la napa subterránea, con la del espejo de agua de su cauce.

Este exceso de infiltraciones de río se traduce también en un descuadre del balance másico, es decir, en que la diferencia de las entradas y salidas del acuífero no resulte igual a las variaciones de almacenamiento. La explicación del fenómeno está en que la precisión con que el modelo trabajó en esta pasada, no admite tan violentas infiltraciones, como las del río en este caso. La solución al problema está en afinar el criterio de convergencia en el programa de computación, lo que se hará de ser necesario.

Las entradas y salidas a nivel anual, no deben necesariamente balancearse. El exceso de ingresos provoca un almacenamiento positivo en el embalse subterráneo, lo que se traduce en un ascenso de niveles. Si las salidas son mayores que las entradas, se produce el fenómeno inverso. Esto sucede en todas y cada una de las pasadas. Ahora bien, si la inexactitud se refiere a la cifra indicada como balance másico total, esta es en general menor del 2% referida al volumen anual de en tradas o salidas, cantidad que se encuentra dentro de los márgenes de precisión del modelo. Tiene su origen en las discre tizaciones y en el criterio de convergencia introducido en el modelo para su funcionamiento matemático.

Ahora bien, para resolver los problemas vistos en esta pasada se han planteado los cambios que siguen.

- a) Eliminar como mallas con relación río-acuífero, todas aqu ellas en que se ha supuesto que el río infiltra. De aquí en adelante este efecto se simulará como una infiltración fija, calculada según las pautas dadas en el informe IPLA "Estudio de Aguas Subterráneas de Santiago", 1974. Allí se ha obtenido para las infiltraciones del río Maipo entre La Obra y la Puntilla de Lonquén, una curva de caudal infil trado en función del caudal pasante en La Obra. Con ella y la estadística de los caudales medios mensuales en la sec ción indicada, se ha determinado que el volumen infiltrado en el período 1974-75 para el río Maipo sería de:

$$V = 140,0 \text{ (Mm}^3\text{/año)}$$

Esta infiltración se distribuiría mensualmente según los siguientes factores :

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
α %	5	0	0	5	5	0	0	5	20	20	20	20

y ha sido discretizada para cada malla del río en forma proporcional al área que éste ocupa en la malla correspondiente.

Para los demás cauces infiltrantes de la cuenca, que son el río Mapocho entre su entrada al área modelada (Las Condes) y la zona de Renca, y los Esteros Colina y Lampa en su parte alta, no se cuenta con estudios como el del río Maipo.

En vista de ello, y a falta de mayores antecedentes, se han supuesto para el río Mapocho una infiltración proporcional a la del río Maipo, en un factor que corresponde a la relación de caudales medios anuales del período 1940-1970.

Con esto se obtiene un volumen anual de infiltración de $V = 8,0$ (Mm³/año), que se distribuiría mensualmente según los coeficientes que siguen :

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
$\alpha \%$	0	0	0	10	15	5	5	15	25	20	5	0

En forma análoga al río Maipo, la distribución por mallas se ha hecho proporcionalmente al área ocupada por el río en cada malla de río.

Para el caso del Estero Colina se ha supuesto una infiltración del 10% del caudal medio anual, lo que da un volumen de $V = 3,0$ (Mm³/año). Este se distribuiría mensualmente de igual forma que en el río Mapocho.

Para el Estero Lampa, se ha supuesto una infiltración del 10% de su caudal medio anual, lo que da un volumen de $V = 2,1$ (Mm³/año), distribuidos mensualmente de acuerdo a los siguientes factores :

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
α %	0	0	0	25	25	25	25	0	0	0	0	0

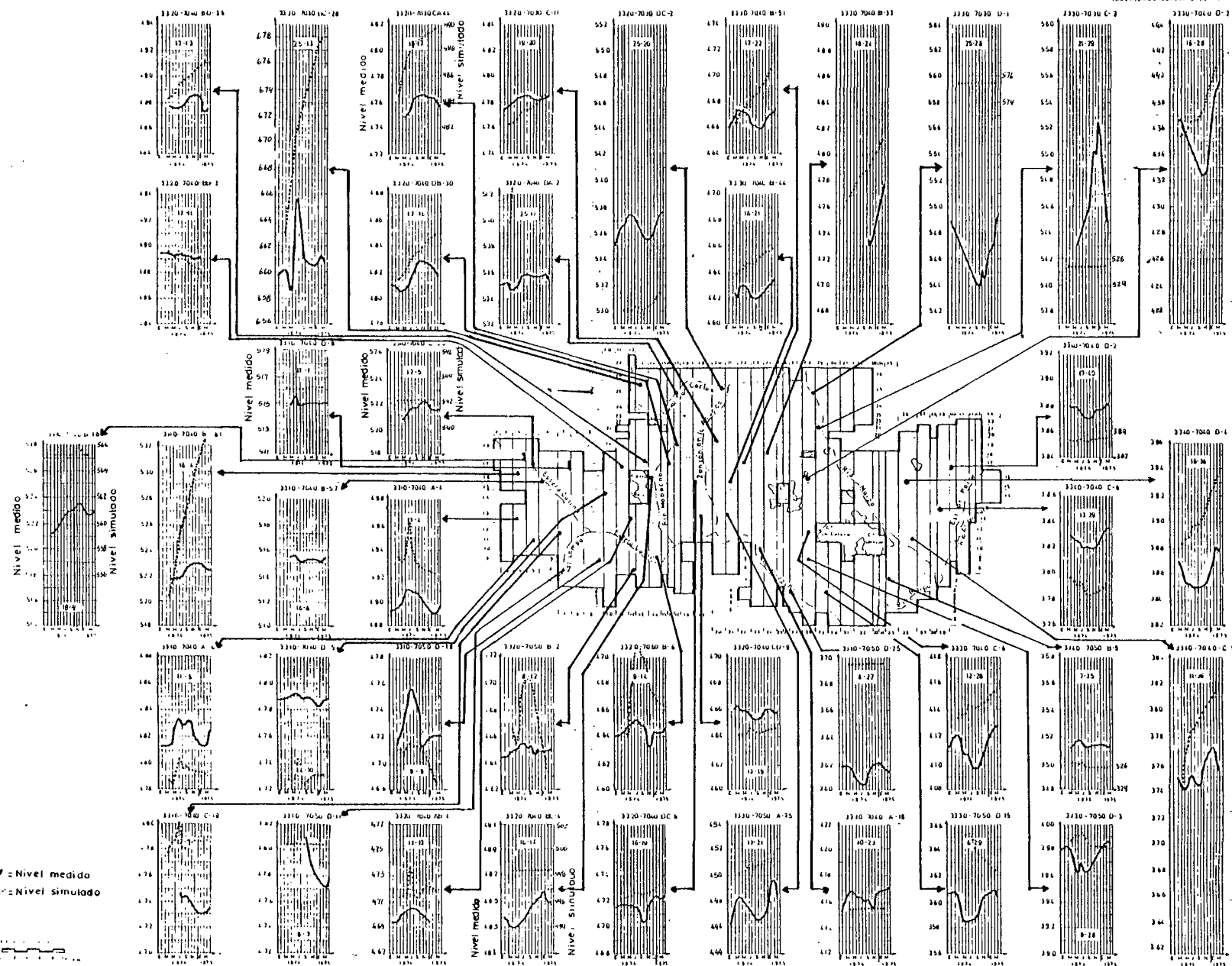
- b) Para las zonas donde el río recibiría aguas desde el acuífero, se ha replanteado la cota del lecho en cada malla de acuerdo a perfiles longitudinales de los ríos, trazados a partir de los planos 1:10.000 de la C.N.R. Asimismo, se ha bajado el coeficiente de permeabilidad del lecho, para permitir que los afloramientos de la napa ocurran más bien a las vertientes que a los ríos directamente. Con esto se pretende obtener del modelo mayores salidas por vertientes, tratando que sus valores sean más parecidos a los medidos en el terreno.
- c) Para reforzar esto último, se ha estudiado más a fondo la piezometría inicial y las cotas de terreno en las zonas de descarga del acuífero. De este análisis se ha concluido que las cotas de terreno de los pozos según catastro, tiene serias diferencias con las cotas que se obtienen de las planchetas I.G.M. 1:50.000

Esto conduce a imprecisiones particularmente importantes en las zonas de descarga del acuífero, donde los niveles piezométricos son poco profundos. La situación podría corregirse solamente mediante una nivelación adecuada, pero como esto escapa a los límites del trabajo, se ha optado por considerar como correctas las isopiezas de los datos de entrada y deducir las cotas de terreno a partir de ellas superpuestas a un plano de isoprofundidad.

Estos son los cambios principales para la 2a. Pasada, que es la que se analiza a continuación.

CONTRASTE PIEZOMETRICO PASADA N° 1

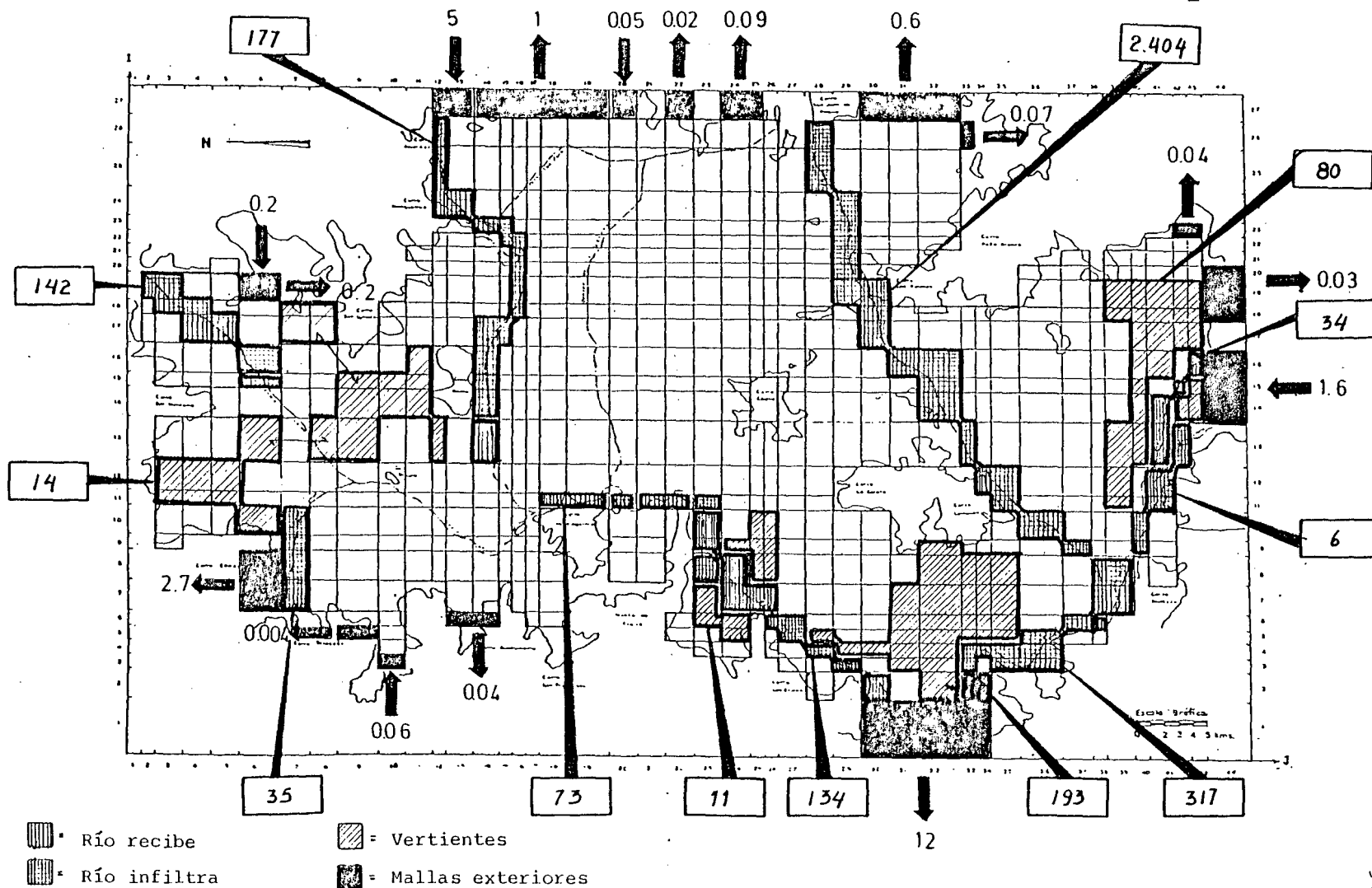
ALAMOS Y PENALTA
INTERIOR CONSUMIBLES



MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

BALANCE MASICO ($Mm^3/año$)

PASADA N° 1



5.2.2.2 Pasada N° 2.

Se efectuó el 24.11.83 dando para el balance másico el cuadro que sigue :

=====	
	Vol. (Mm3/año)
=====	
ENTRADAS AL ACUIFERO	
- Infiltraciones de riego	550
- Infiltraciones por lluvias	199
- Infiltraciones desde la red de agua potable	136
- Infiltraciones desde ríos y esteros	<u>153</u>
T o t a l	1.038
SALIDAS DESDE EL ACUIFERO	
- Bombeos	206
- Mallas exteriores	45
- Vertientes	158
- Río	<u>171</u>
T o t a l	580
VARIACIONES DE ALMACENAMIENTO	449
=====	

De estos valores, están bajo lo esperado las salidas por mallas exteriores, por vertientes y por el río. En cambio, el almacenamiento parece ser excesivo.

Esto queda ciertamente reflejado en los piezómetros de contraste, notándose en la zona Centro y Sur de la cuenca que los niveles simulados o suben o se mantienen fijos, mientras que los medidos descienden durante los meses de invierno.

La interpretación del fenómeno está en que en los meses de invierno el acuífero descarga, lo que faltaría reflejar en la simulación y que produce el exceso de almacenamiento y el déficit de salidas antes mencionados.

En todo caso la mejoría respecto de la 1a. Pasada es evidente y podría decirse que en la zona Norte del acuífero la simulación tiene un cierto parecido con la realidad.

Los cambios planteados para la 3a. Pasada son los que siguen y tienen como finalidad principal corregir la situación de las zonas Centro y Sur, planteada anteriormente.

- a) Cambio generalizado de la transmisibilidad, tendiendo a darle más salida al acuífero hacia las zonas de descarga.
- b) Trazado de nuevas isopiezas y ajuste de las curvas de nivel del terreno, en los sectores donde se han medido salidas por vertientes. La intención de este cambio es reforzar lo hecho con las transmisibilidades para que salga más agua por vertientes.

Cabe señalar que estas nuevas isopiezas respetan todos los puntos con medidas utilizados en el trazado original de ellas, pero por existir amplias zonas sin información se ha tenido que suponer la situación en estos sectores.

- c) Aumento del coeficiente de almacenamiento en parte de la zona Norte, de modo de conseguir fluctuaciones más amortiguadas para los niveles del sector.

Los planos con los nuevos valores de la transmisibilidad, el coeficiente de almacenamiento, piezometría inicial y cota de terreno, pueden verse al final del análisis de la 3a. Pasada.

RESUMEN BALANCE MASICO PASADA N° 2

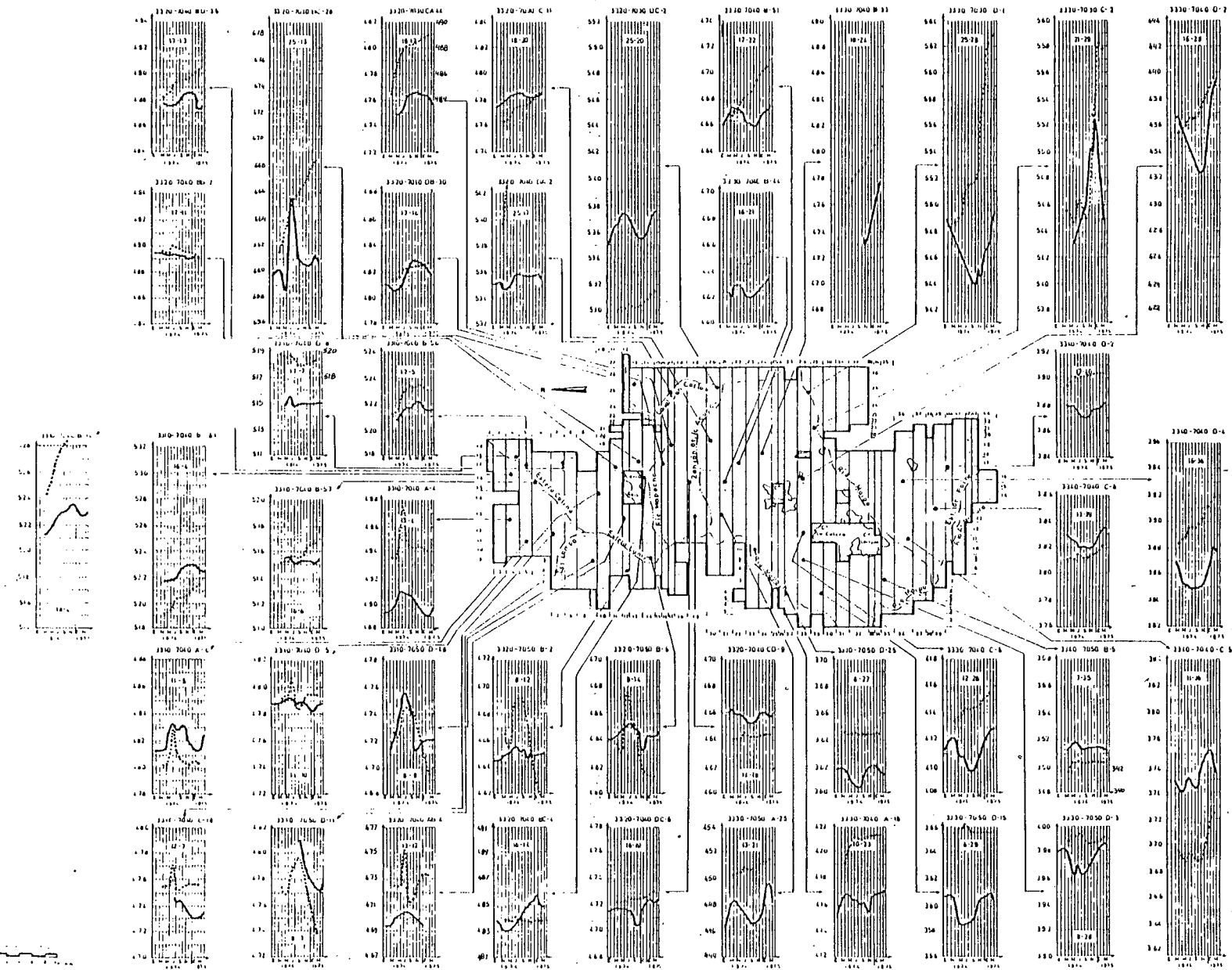
VALORES EN MILLONES M3

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	TOTAL ANUAL
MALLAS EXTERIORES	-4.48	-4.10	-3.89	-3.86	-3.79	-3.67	-3.59	-3.54	-3.51	-3.49	-3.48	-3.46	-44.87
RIO	-34.83	-17.39	-13.62	-15.47	-12.44	-9.86	-9.84	-10.51	-11.25	-11.65	-11.64	-11.94	-170.65
VERTIENTES	-5.40	-6.28	-10.46	-25.13	-16.49	-9.63	-10.77	-12.74	-14.34	-15.06	-15.62	-16.26	-158.19
ALMACENAMIENTO	9.39	16.81	12.90	123.85	-22.88	-20.86	14.17	37.39	78.02	77.15	75.26	45.31	448.53
BOMBEO DE RIEGO	-10.11	-10.11	0.0	0.0	0.0	0.0	-8.09	-12.13	-15.16	-15.16	-15.16	-15.16	-101.16
BOMBEO DE AGUA POTABLE	-7.40	-6.58	-5.76	-5.35	-4.94	-5.76	-6.17	-6.56	-7.40	-8.64	-9.46	-8.23	-82.27
BOMBEO DE INDUSTRIAS	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-22.50
INF. DE RIEGO POR CANALES	53.25	53.25	0.0	0.0	0.0	0.0	42.60	63.90	79.87	79.87	79.87	79.87	532.50
INF. DE RIEGO POR AGUAS SUB	1.73	1.73	0.0	0.0	0.0	0.0	1.36	2.08	2.60	2.60	2.60	2.60	17.31
INFILTRACIONES DE LLUVIAS	0.0	0.0	39.71	158.84	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	198.55
INF. DESDE LA RED DE A.P.	12.21	10.85	9.50	8.82	8.14	9.50	10.17	10.85	12.21	14.24	15.60	13.57	135.66
INFILTRACIONES ESTERO LAMPA	0.0	0.0	0.0	0.52	0.52	0.52	0.52	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.10
INFILTRACIONES ESTERO COLIN	0.0	0.0	0.0	0.30	0.45	0.15	0.15	0.45	0.75	0.60	0.15	0.0	3.02
INFILTRACIONES RIO MAPOCHO	0.0	0.0	0.0	0.80	1.20	0.40	0.40	1.20	2.00	1.60	0.40	0.0	6.00
INFILTRACIONES RIO MAIPO	6.98	0.0	0.0	6.98	6.98	0.0	0.0	6.98	34.89	34.89	34.89	6.98	139.55
BALANCE TOTAL	0.68	0.69	0.71	0.73	0.64	0.64	0.74	0.76	0.77	0.75	0.80	0.79	6.65

VALORES POSITIVOS INDICAN ENTRADAS AL ACUIFERO

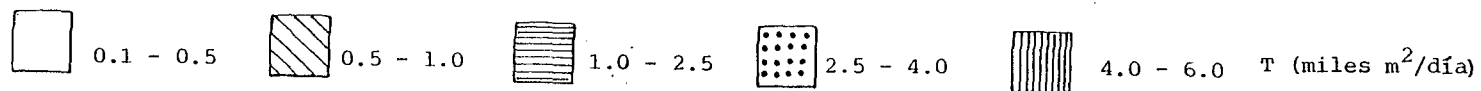
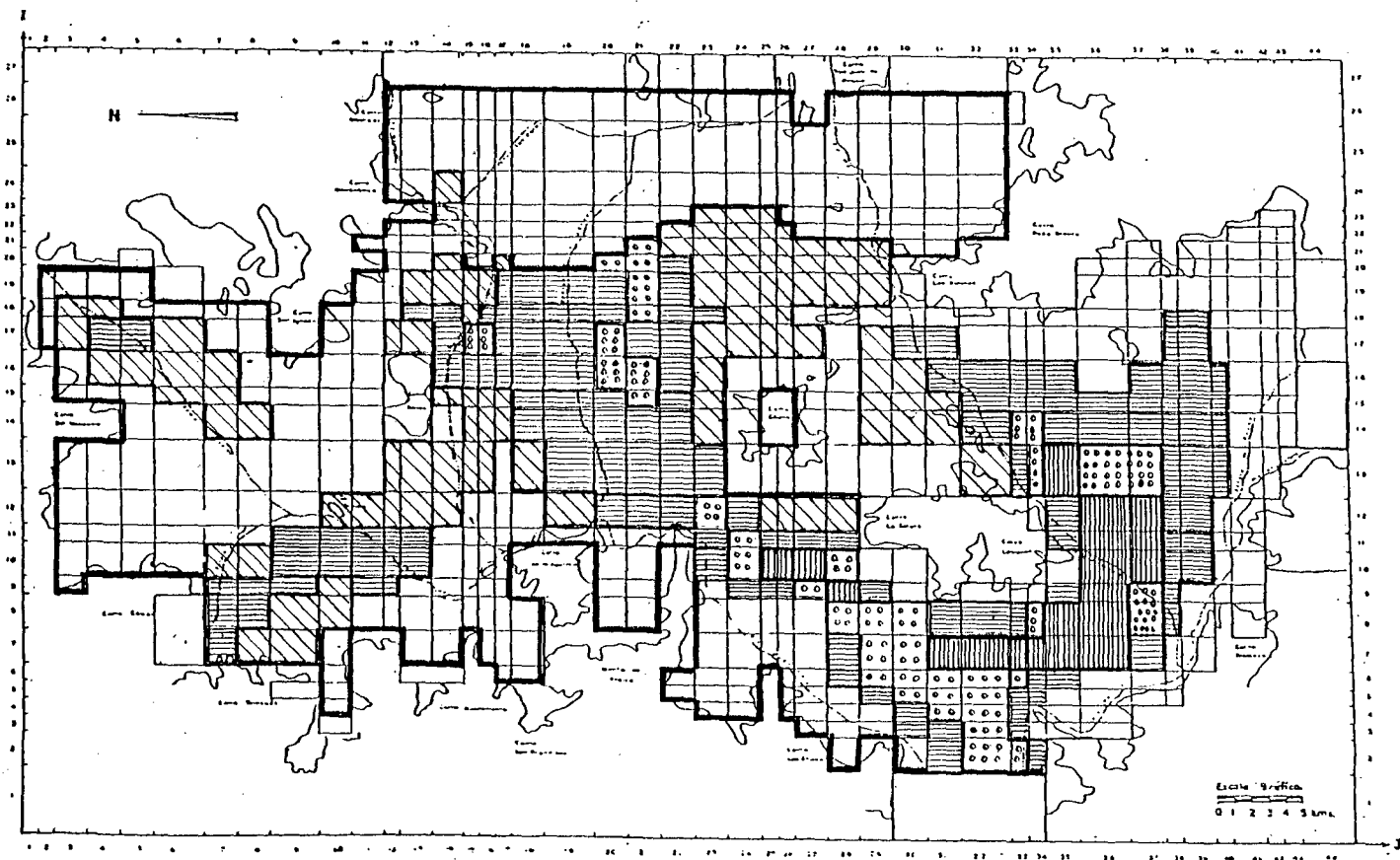
MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO-MAPOCHO CONTRASTE PIEZOMETRICO PASADA N° 2

ALAMOS Y PERALTA
INGENIEROS CONSULTORES LTDA



MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

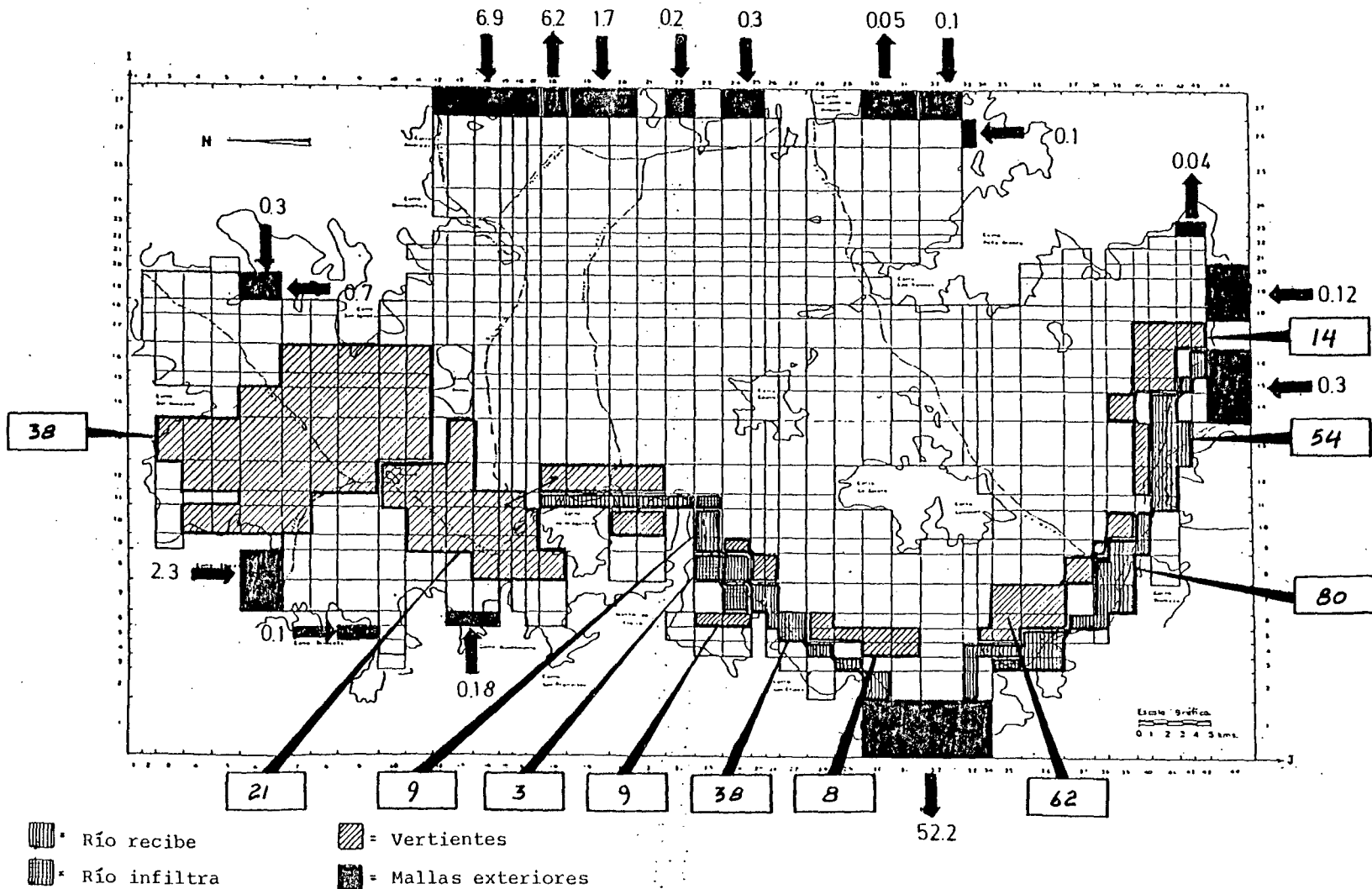
TRANSMISIVIDAD (MILES M²/DIA) PASADA N²



MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

BALANCE MASICO ($Mm^3/año$)

PASADA N° 2



5.2.2.3 Pasada N° 3.

Se efectuó el 15.12.83 y sus elementos del balance másico se resumen a continuación.

=====	
	Vol. (Mm3/año)
=====	
ENTRADAS AL ACUIFERO	
- Infiltraciones de riego	550
- Infiltraciones por lluvias	199
- Infiltraciones desde la red de agua potable	136
- Infiltraciones desde ríos y <u>es</u> <u>teros</u>	<u>153</u>
T o t a l	1.038
SALIDAS DESDE EL ACUIFERO	
- Bombeos	206
- Mallas exteriores	4
- Vertientes	383
- Río	<u>157</u>
T o t a l	750
VARIACIONES DE ALMACENAMIENTO	277
=====	

Respecto de la Pasada N° 2 se nota una disminución apreciable del almacenamiento, así como también un importante incremento en las salidas por vertientes.

Las salidas al río permanecen casi iguales, mientras que las que se tienen por mallas exteriores parecieran disminuir. Esto sin embargo ocurre porque el resultado que se entrega es un balance entre las entradas y salidas laterales, y al aumentar la transmisibilidad, como se ha hecho, suben las entradas manteniéndose el volumen original de las salidas. Esto queda particularmente claro en el plano del Balance Másico que se acompaña al final de la pasada. Allí puede verse también, que las vertientes de la zona Sur comienzan a concentrarse precisamente en los sectores donde se ha registrado su presencia en las salidas a terreno. Falta aún por reproducir los volúmenes que se espera salgan por ellas, estando ya cerca de la realidad lo que ocurre en la zona del Estero El Gato, frente a la puntilla de Naltahua.

En efecto, allí se midió en Julio de 1983 un caudal de $Q = 4,4 \text{ (m}^3/\text{s)}$. El modelo por su parte, da allí vertientes por un volumen $V = 110 \text{ (Mm}^3/\text{año)}$, equivalente a un caudal continuo cercano a los $3,5 \text{ (m}^3/\text{s)}$.

En cuanto a los piezómetros, hay cambios relevantes respecto de la pasada anterior, en la zona Norte donde se cambió el valor del coeficiente de almacenamiento y en el sector Malloco-Talagante donde se subió la transmisibilidad. En ambos casos se observa una mejoría. En el resto de la cuenca no hay grandes variaciones, manteniéndose en gran medida la situación de la Pasada N° 2.

Para subsanar estos problemas se han planteado para la 4a. Pasada los cambios que siguen.

- a) Nuevos valores de transmisibilidad, subiéndola en los sectores donde debe haber vertientes.

La idea es producir un mayor tiraje del agua almacenada en el acuífero en las zonas media y alta de la cuenca para que salga por las vertientes. Con esto aumentarían los volúmenes vertidos y bajarían, como ocurre en la realidad, los niveles de invierno.

- b) Aumento de la infiltración de riego al doble en la región ubicada al Sur de la línea que une el cerro Los Ratones, los cerros de Chena y Padre Hurtado. La intención de este cambio es aumentar los volúmenes aflorados por vertientes y aquellos que salen subterráneamente desde la cuenca hacia el Poniente.

La región afectada por este cambio, denominada sector Sur, queda claramente indicada en uno de los planos ubicado al final del análisis de la 4a. Pasada.

- c) Nueva distribución de las infiltraciones de riego. Esta quedaría de la siguiente manera :

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
α %	0	0	0	0	0	0	10	20	30	30	10	0

Esto se hace después de analizar más a fondo la situación de los niveles medidos y comprobar que en general la recarga de riego está más concentrada que lo supuesto hasta ahora.

- d) Desfase de la lluvia en un sector que incluye el de riego Sur, sumando a una franja que va desde la línea que une el cerro Chena y el cerro Renca hasta la cordillera, en el sentido poniente-oriente y que llega hasta el cerro Renca por el Norte.

Este sector está indicado con mayor claridad en el plano correspondiente, al final del análisis de la 4a. Pasada.

La nueva distribución de infiltración por lluvias es :

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
α %	0	0	0	0	0	0	20	80	0	0	0	0

- e) Aumento de las infiltraciones del río Mapocho en las mallas que se ubican frente al cerro Renca, de modo de conseguir que los niveles en esta zona suban como lo hacen los medidos, en vez de bajar como lo hacen los simulados.
- f) Eliminación de las infiltraciones por lluvias en parte de la zona Norte, para tratar de disminuir los volúmenes que salen por vertientes en la región y que parecen excesivos.

De todas formas si realmente no hay vertientes en la zona, sí existe evapotranspiración, fenómeno que en este caso quedaría simulado como vertientes.

La región donde se eliminan las lluvias está claramente indicada en el plano correspondiente, al final del análisis de la 4a. Pasada.

RESUMEN BALANCE MASICO PASADA, N° 3

VALORES EN MILLONES M3

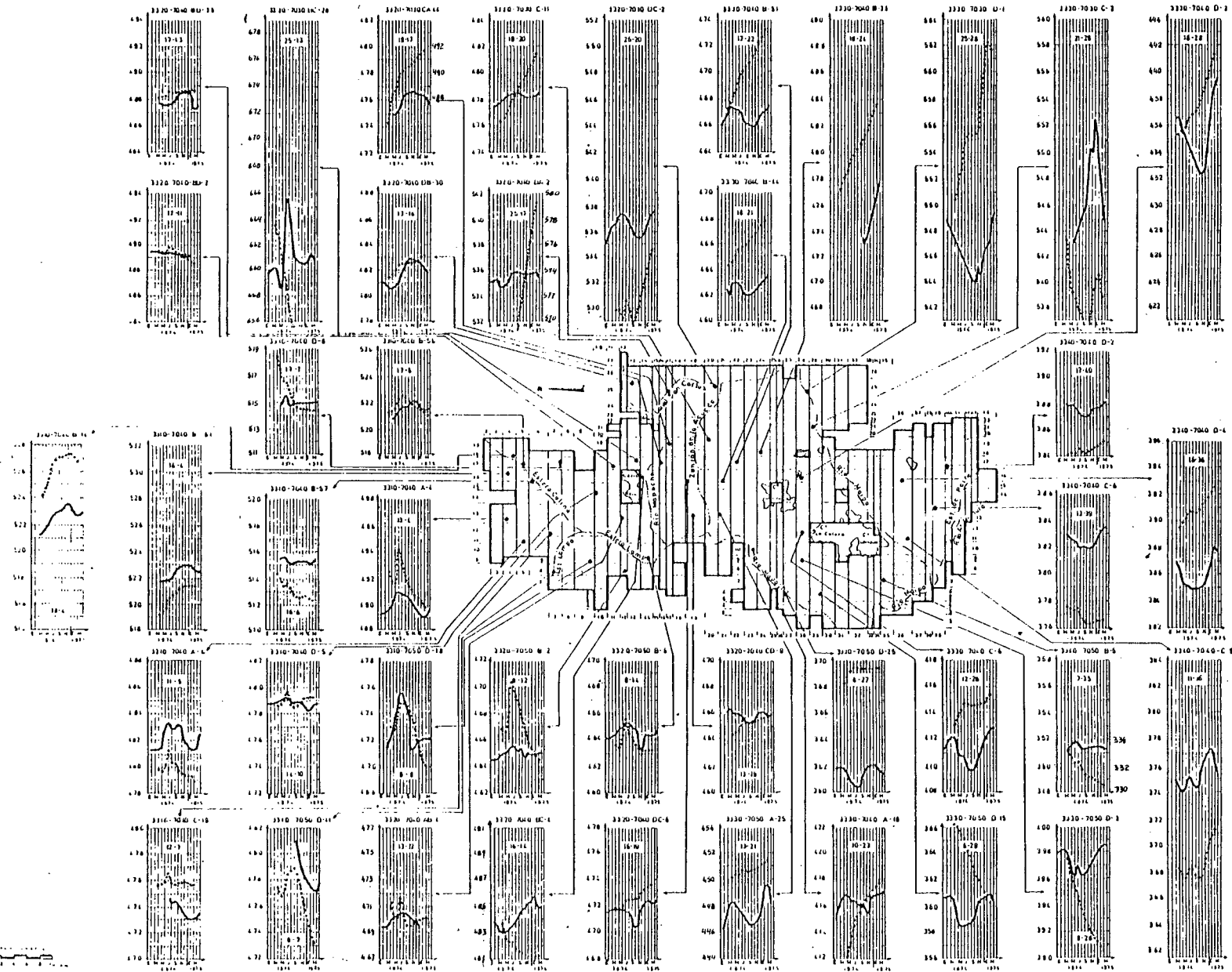
MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	TOTAL ANUAL
MALLAS EXTERIORES	-0.56	-0.52	-0.42	-0.45	-0.41	-0.53	-0.27	-0.23	-0.19	-0.15	-0.11	-0.06	-3.70
RIJ	-6.29	-11.41	-12.03	-14.81	-13.65	-12.26	-12.57	-13.64	-14.62	-15.08	-15.34	-15.53	-157.25
VERTIENTES	-29.82	-30.38	-32.56	-44.60	-36.53	-28.81	-26.75	-29.65	-30.59	-30.63	-30.48	-30.37	-363.22
ALMACENAMIENTO	17.30	4.11	-4.29	108.31	-40.88	-39.20	-3.28	20.67	61.74	21.51	60.34	31.00	277.43
BOMBEO DE RIEGO	-10.11	-10.11	0.0	0.0	0.0	0.0	-6.09	-12.13	-15.16	-15.16	-15.16	-15.16	-101.10
BOMBEO DE AGUA POTABLE	-7.40	-6.58	-5.76	-5.35	-4.94	-5.70	-6.17	-6.56	-7.40	-8.64	-9.40	-8.23	-82.27
BOMBEO DE INDUSTRIAS	-1.87	-1.87	-1.37	-1.87	-1.37	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-22.50
INF. DE RIEGO POR CANALES	53.25	53.25	0.0	0.0	0.0	0.0	42.60	63.90	75.37	79.87	79.87	79.87	532.50
INF. DE RIEGO POR AGUAS SUB	1.73	1.73	0.0	0.0	0.0	0.0	1.36	2.66	2.60	2.60	2.60	2.60	17.31
INFILTRACIONES DE LLUVIAS	0.0	0.0	59.71	158.84	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	198.55
INF. DESDE LA RED DE A.P.	12.21	10.85	9.50	8.82	8.14	9.50	10.17	10.85	12.21	14.24	15.60	13.57	135.60
INFILTRACIONES ESTERO LAMPA	0.0	0.0	0.0	0.52	0.52	0.52	0.52	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.10
INFILTRACIONES ESTERO COLIN	0.0	0.0	0.0	0.30	0.45	0.15	0.15	0.45	0.75	0.60	0.15	0.0	3.02
INFILTRACIONES RIO MAPOCHO	0.0	0.0	0.0	0.80	1.20	0.40	0.40	1.20	2.00	1.60	0.40	0.0	8.00
INFILTRACIONES RIO MAIPO	6.96	0.0	0.0	6.96	0.0	0.0	0.0	0.98	34.39	34.85	34.85	6.96	139.55
BALANCE TOTAL	0.52	0.65	0.80	0.61	0.78	0.73	0.78	0.70	0.70	0.76	0.76	0.72	5.32

VALORES POSITIVOS INDICAN ENTRADAS AL ACUIFERO

MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

CONTRASTE PIEZOMETRICO PASADA N° 3

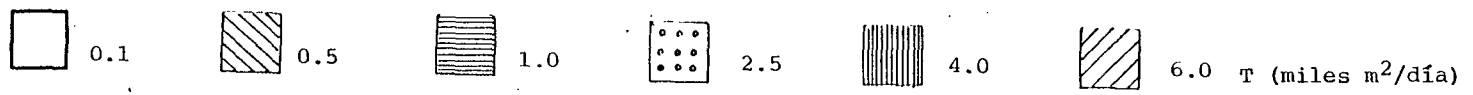
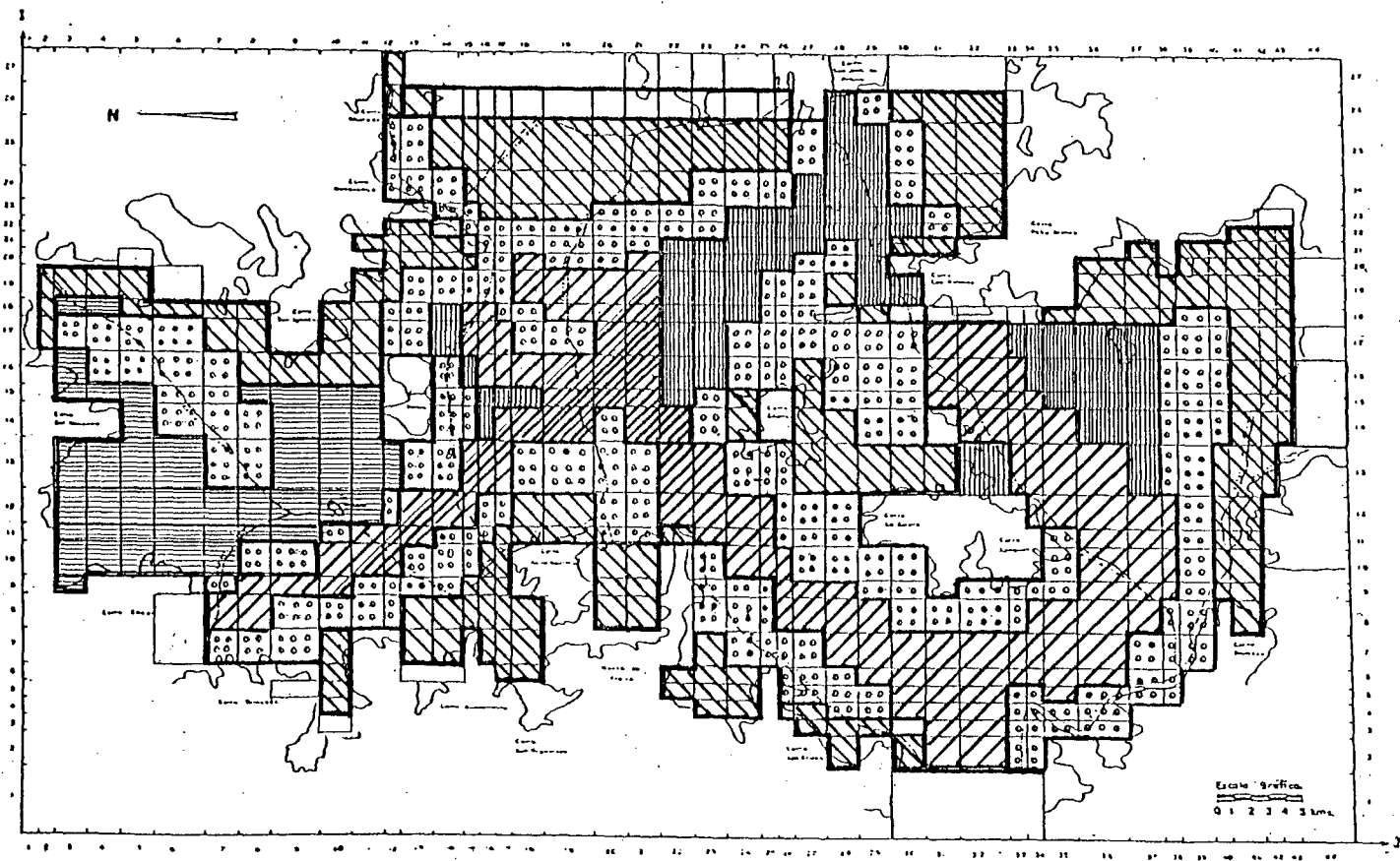
ALAMOS Y PERALTA
INGENIEROS CONSULTORES S.A.



MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

TRANSMISIVIDAD (miles m²/día)

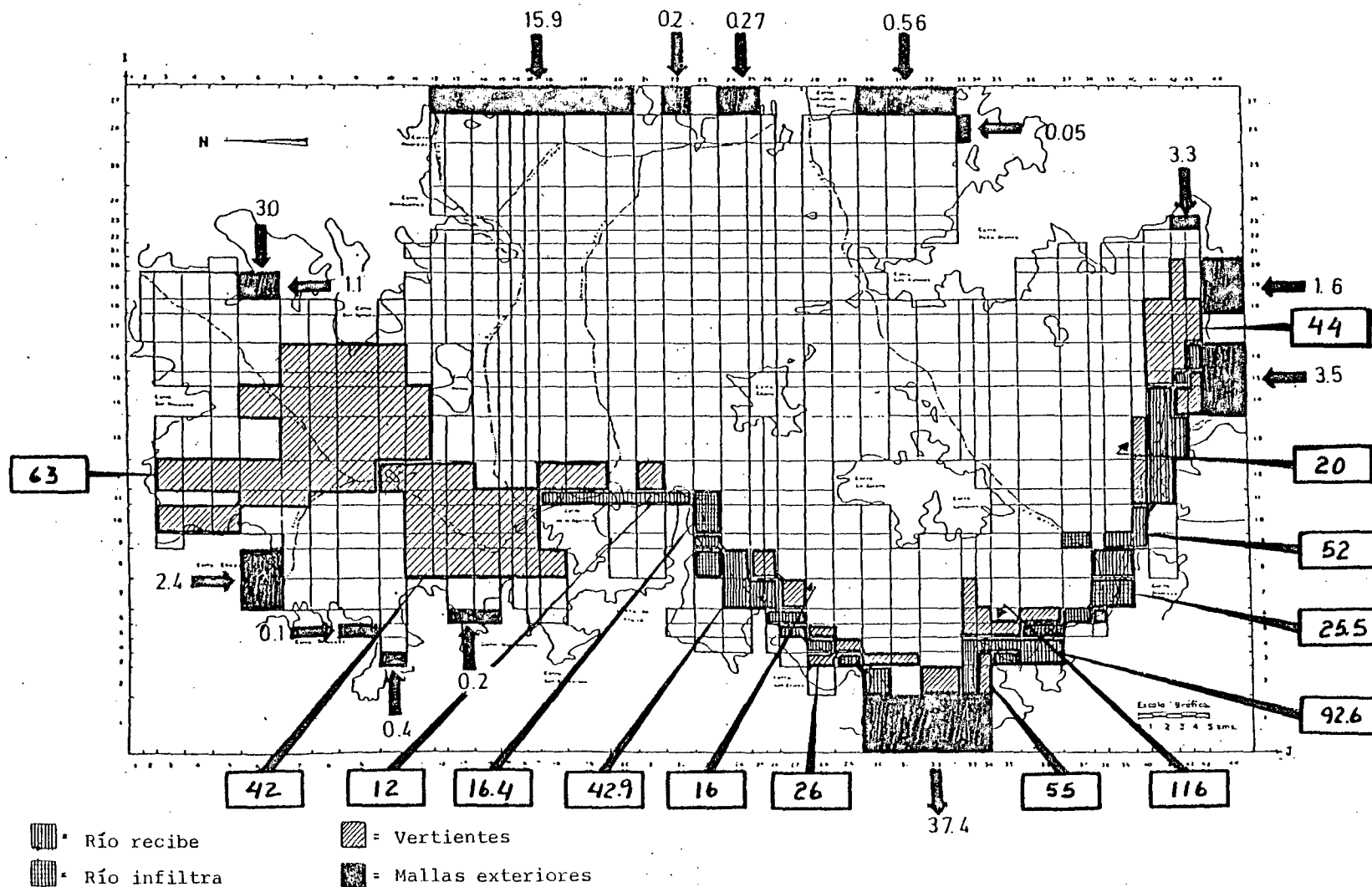
PASADA N° 3



MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

BALANCE MASICO ($Mm^3/año$)

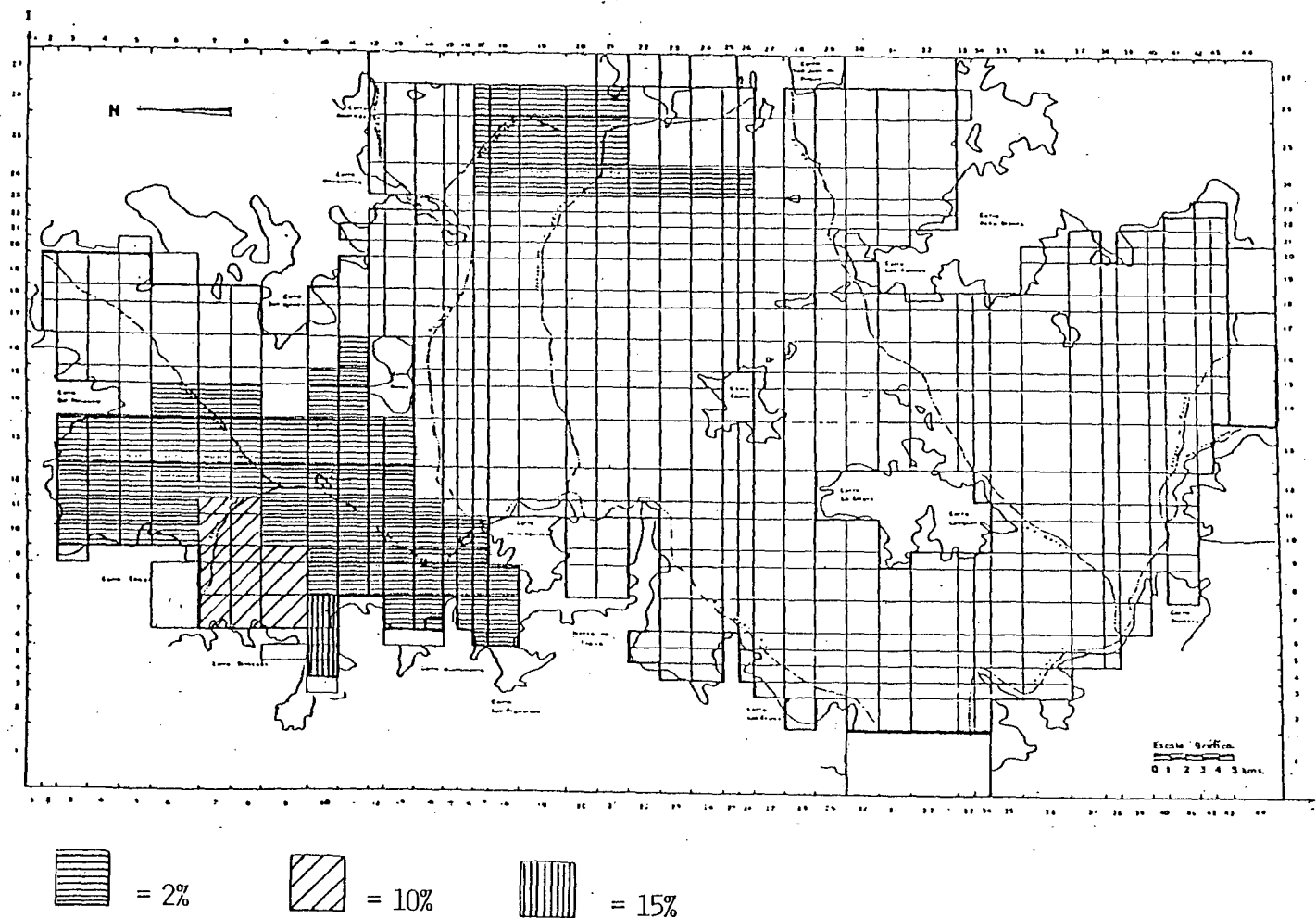
PASADA N° 3



MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO

PASADA N° 3



5.2.2.4 Pasada N° 4.

Se efectuó el 20.12.83 con los siguientes resultados para el Balance Másico.

=====	
	Vol. (Mm3/año)
=====	
ENTRADAS AL ACUIFERO	
- Infiltraciones de riego	864
- Infiltraciones por lluvias	188
- Infiltraciones desde la red de agua potable	136
- Infiltraciones desde ríos y es <u>ter</u> os	<u>153</u>
T o t a l	1.341
SALIDAS DESDE EL ACUIFERO	
- Bombeos	206
- Mallas exteriores	10
- Vertientes	450
- Río	<u>200</u>
T o t a l	866
VARIACIONES DE ALMACENAMIENTO	473
=====	

Un análisis de estos valores indica que de los 300 (Mm3/año) de infiltraciones de riego adicionales incluídos en esta pasada, cerca del 65% se queda almacenado en el acuífero, mientras que el resto sale por las vertientes y al río. Esto indica que la medida de doblar el riego en la zona Sur, no ha cumplido plenamente su objetivo, que es, obtener mayores sa-

lidas por vertientes, ríos y mallas exteriores. Esto último tampoco se ha logrado, ya que se tiene un volumen de salidas subterráneas muy parecido al de la pasada anterior.

En cuanto a la localización de vertientes, puede verse en el Plano del Balance Másico que hay aumentos significativos en los volúmenes que salen en los sectores de Peñaflor y Paine. En este sentido sí que se ha tenido un avance, ya que precisamente son estos los lugares donde se han medido grandes vertientes. Sin embargo, de acuerdo a los aforos realizados en estos sitios, se debería esperar volúmenes aún mayores para estas vertientes.

Para los piezómetros de contraste, como puede verse en el plano correspondiente, hay importantes mejorías en la zona Sur-Poniente de la cuenca. Aquí se ha logrado que los niveles simulados desciendan en los meses de invierno y suban en la primavera, como lo hacen los niveles medidos. Para el resto de la cuenca no hay mayores diferencias con la 3a. Pasada, manteniéndose un alza sostenida de los niveles en el sector Oriente de la cuenca y en la zona de Calera de Tango.

Ahora, para la 5a. Pasada, se ha planteado como objetivo principal reforzar los cambios hechos para la pasada que se analiza, es decir, aumentar las salidas por vertientes y disminuir el exceso de almacenamiento. Junto con esto, ya como modificaciones de mayor detalle, se han estudiado algunos cambios para la zona de Lampa Alto, donde parece haber bombeo excesivo o falta de recarga, y otros para el centro de la ciudad de Santiago, donde da la impresión de existir una fuerte recarga desde el río Mapocho.

El resumen de estos cambios se entrega a continuación, pudiendo encontrarse los planos correspondientes al final del análisis de la 5a. Pasada.

Los cambios son :

- a) Nuevos valores de la transmisibilidad. El sentido de este cambio, además de los objetivos generales anteriores, es :
 - Abrir paso a la zona de Calera de Tango, para que descargue hacia Peñaflor y no a Buin como se suponía has ahora.
 - Cerrar la zona de Las Condes, en la ciudad de Santiago, para evitar el excesivo descenso de niveles que allí se tiene.
- b) Nuevas isopiezas en las zonas de descarga del acuífero. Esta vez se han usado las planchetas I.G.M. 1:25.000 para darle cota de terreno a los pozos. Por su parte, para las cotas de las vertientes se han usado las planchetas directamente.

Con este último ajuste se pretende considerar las isopiezas como correctas y mantenerlas sin modificaciones para las pasadas que sigan.

Cabe señalar que en este último trazado se ha hecho un cambio importante, que consiste en permitir el paso de las aguas subterráneas de Calera de Tango a Peñaflor. Esta hipótesis se complementa con lo hecho al respecto con la transmisibilidad en ese sector, y aunque no puede ser comprobada, por no existir pozos en la zona, parece ser la más razonable. Esto queda reforzado especialmente por la morfología del sector, particularmente por los cerros ubicados al Norte del cerro Lonquén, que no permitirían el paso del agua subterránea de Calera de Tango al Sur.

- c) División en tres zonas para la distribución mensual de las infiltraciones por lluvias. Las nuevas distribuciones son en cada caso :

- Sector Norte :

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
α %	0	0	0	40	30	20	10	0	0	0	0	0

- Sector Oriente :

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
α %	0	0	0	0	0	0	0	0	60	30	10	0

- Sector Sur-Poniente :

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
α %	0	0	0	0	0	0	60	30	10	0	0	0

Los límites de cada sector quedan claramente definidos en el plano correspondiente, junto con los demás que tienen los cambios para la 5a. Pasada.

- d) Modificaciones de las distribuciones mensuales de las infiltraciones de riego, en los mismos sectores definidos para las infiltraciones por lluvias, de acuerdo con :

- Sector Norte : se mantiene la actual, es decir,

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
α %	0	0	0	0	0	0	10	20	30	30	10	0

- Sector Oriente :

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
α %	10	5	0	0	0	0	0	10	25	20	15	15

- Sector Sur :

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
α %	0	0	0	0	0	0	10	15	20	20	20	15

- e) Redistribución de las infiltraciones del Estero Colina según los siguientes porcentajes :

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
α %	0	0	0	0	5	5	10	30	30	20	0	0

- f) Duplicación de las infiltraciones de riego en la zona de Lampa Alto. El detalle del sector involucrado se incluye en los planos de la 5a. Pasada.

- g) Aumento de las infiltraciones del río Mapocho en el tramo que va entre la Plaza Italia y el Cerro Renca. El aumento es bastante significativo, duplicando las infiltraciones originales donde se suponía existía esta recarga, e incluyendo el tramo revestido como infiltrante.

La distribución mensual de estos volúmenes viene dada por:

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
α %	0	0	5	20	20	15	15	10	10	5	0	0

- h) Para el resto del río Mapocho, es decir, el tramo que va desde la entrada Oriente del modelo hasta la Plaza Italia, se ha supuesto la siguiente distribución mensual.

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
α %	0	0	0	30	50	0	0	0	0	5	5	10

Esto significa que en este caso se estaría considerando en el río un régimen predominantemente pluvial.

RESUMEN BALANCE MASICO PASADA N° 4

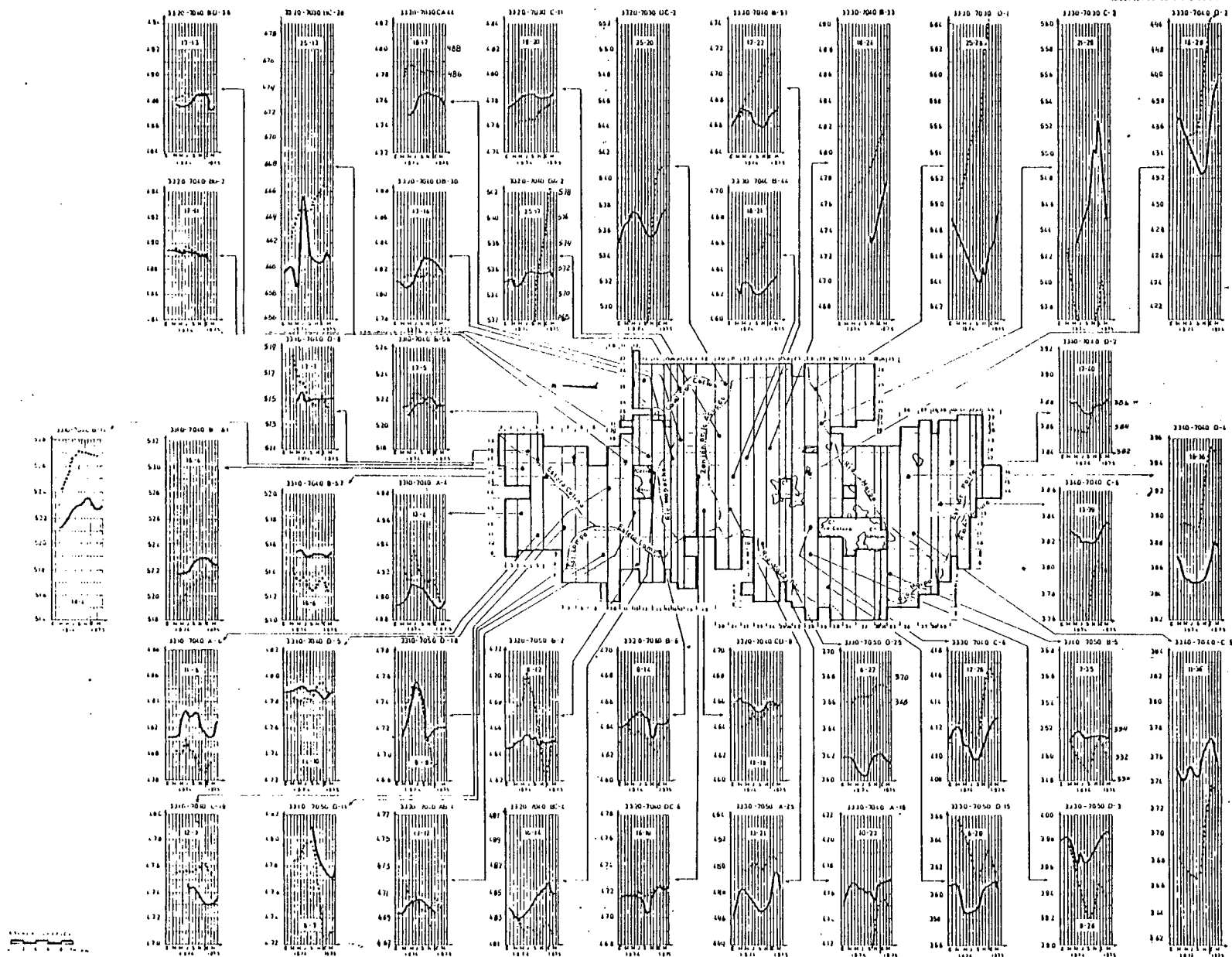
VALORES EN MILLONES M3

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	TOTAL ANUAL
MALLAS EXTERIORES	-0.66	-0.75	-0.73	-0.75	-0.75	-0.73	-0.76	-0.88	-0.93	-0.93	-0.86	-0.79	-5.51
RIO	-5.77	-11.23	-12.39	-12.91	-12.39	-12.27	-14.86	-21.61	-25.63	-27.32	-23.86	-19.49	-155.74
VERTIENTES	-28.16	-26.74	-29.26	-33.04	-30.43	-27.44	-31.47	-43.65	-53.62	-61.42	-49.65	-35.01	-445.91
ALMACENAMIENTO	-25.27	-36.92	-31.66	1.30	-32.86	-37.79	60.15	209.93	190.09	180.57	41.26	-45.43	473.37
BOMBEO DE RIEGO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-10.11	-20.22	-30.33	-30.33	-10.11	0.0	-101.10
BOMBEO DE AGUA POTABLE	-7.40	-6.58	-5.76	-5.35	-4.94	-5.76	-6.17	-6.56	-7.40	-8.64	-9.46	-8.23	-82.27
BOMBEO DE INDUSTRIAS	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-22.50
INF. DE RIEGO SECTOR SUR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	62.92	125.84	188.76	188.76	62.92	0.0	629.20
INF. DE RIEGO NORTE-CENTRO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.79	43.58	65.37	65.37	21.79	0.0	217.90
INF. DE RIEGO POR AGUAS SUB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.73	3.46	5.19	5.19	1.73	0.0	17.31
INF. LLUVIAS SECTOR SUR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.07	112.27	0.0	0.0	0.0	0.0	140.34
INF. LLUVIAS SECTOR NORTE	0.0	0.0	9.46	37.85	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.31
INF. DESDE LA RED DE A.P.	12.21	10.85	9.50	8.82	8.14	9.50	10.17	10.85	12.21	14.24	15.60	13.57	135.66
INFILTRACIONES ESTERO LAMPA	0.0	0.0	0.0	0.52	0.52	0.52	0.52	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.10
INFILTRACIONES ESTERO COLIN	0.0	0.0	0.0	0.30	0.45	0.15	0.15	0.45	0.75	0.60	0.15	0.0	3.02
INFILTRACIONES RIO MAPOCHO	0.0	0.0	0.0	1.34	2.00	0.67	0.67	2.00	3.34	2.67	0.67	0.0	13.35
INFILTRACIONES RIO MAIPO	6.98	0.0	0.0	6.98	6.98	0.0	0.0	6.98	34.89	34.89	34.89	6.98	159.55
BALANCE TOTAL	0.59	0.61	0.61	0.59	0.58	0.57	0.64	0.66	0.64	0.66	0.69	0.66	7.43

VALORES POSITIVOS INDICAN ENTRADAS AL ACUIFERO

CONTRASTE PIEZOMETRICO PASADA N° 4

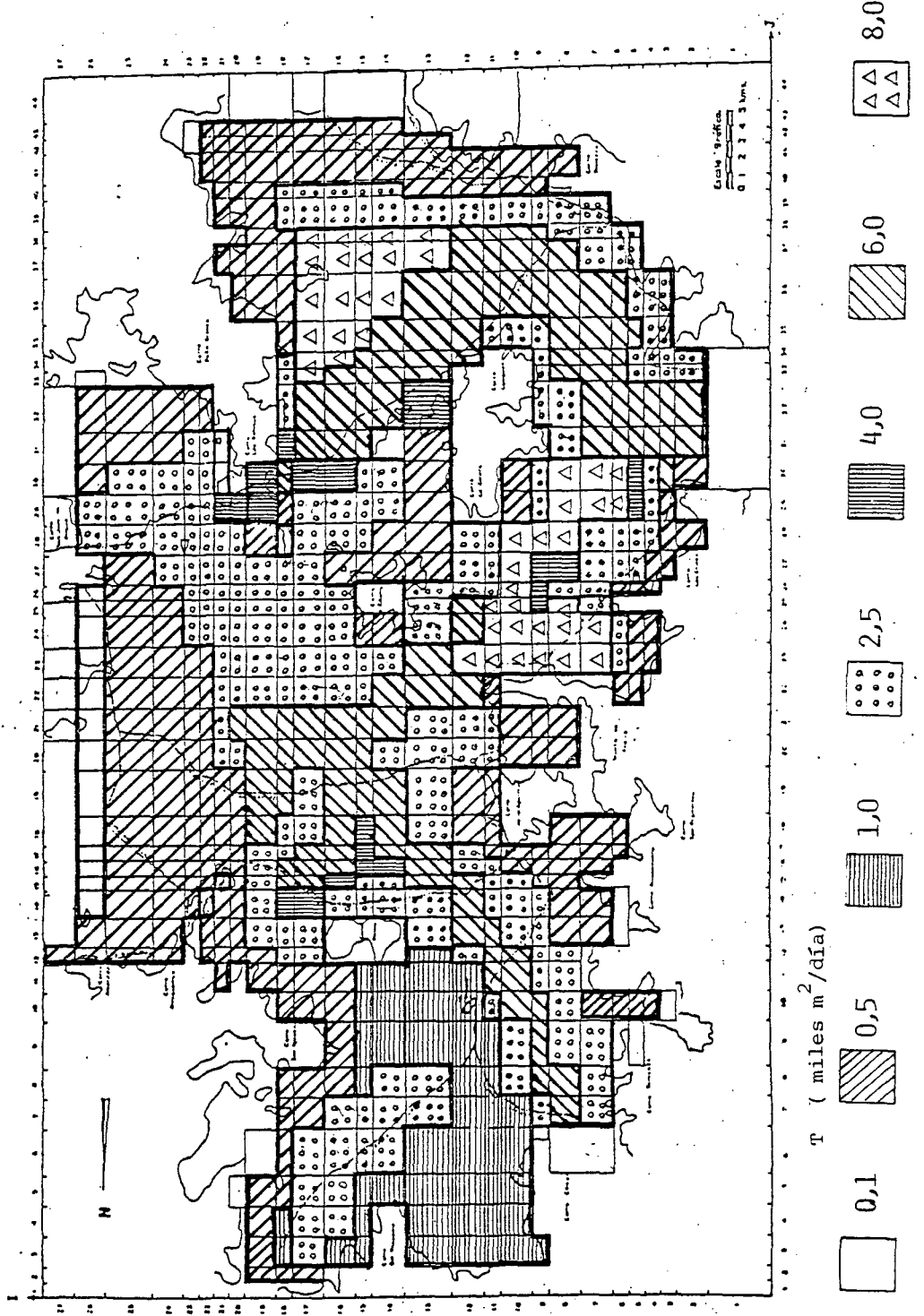
ALAMOS Y PERALTA
IN-101-000 CONTINUED



ALAMOS Y PERALTA
INGENIEROS CONSULTORES LTDA.
SANTO DOMINGO DE LOS RIOS
CALLE BOLIVAR 100

MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

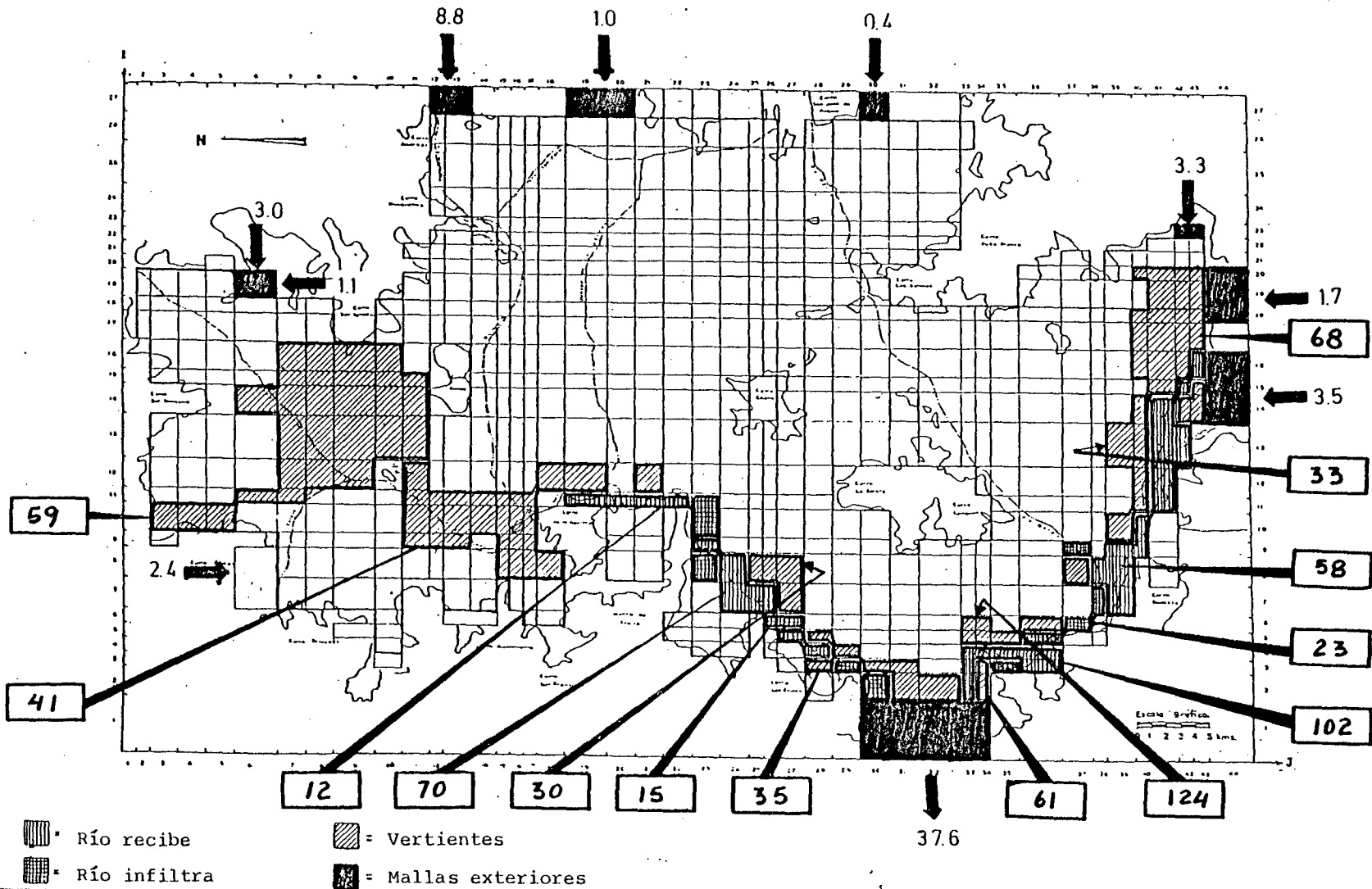
TRANSMISIVIDAD (miles $m^2/día$) PASADA N° 4



MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

BALANCE MASICO ($Mm^3/año$)

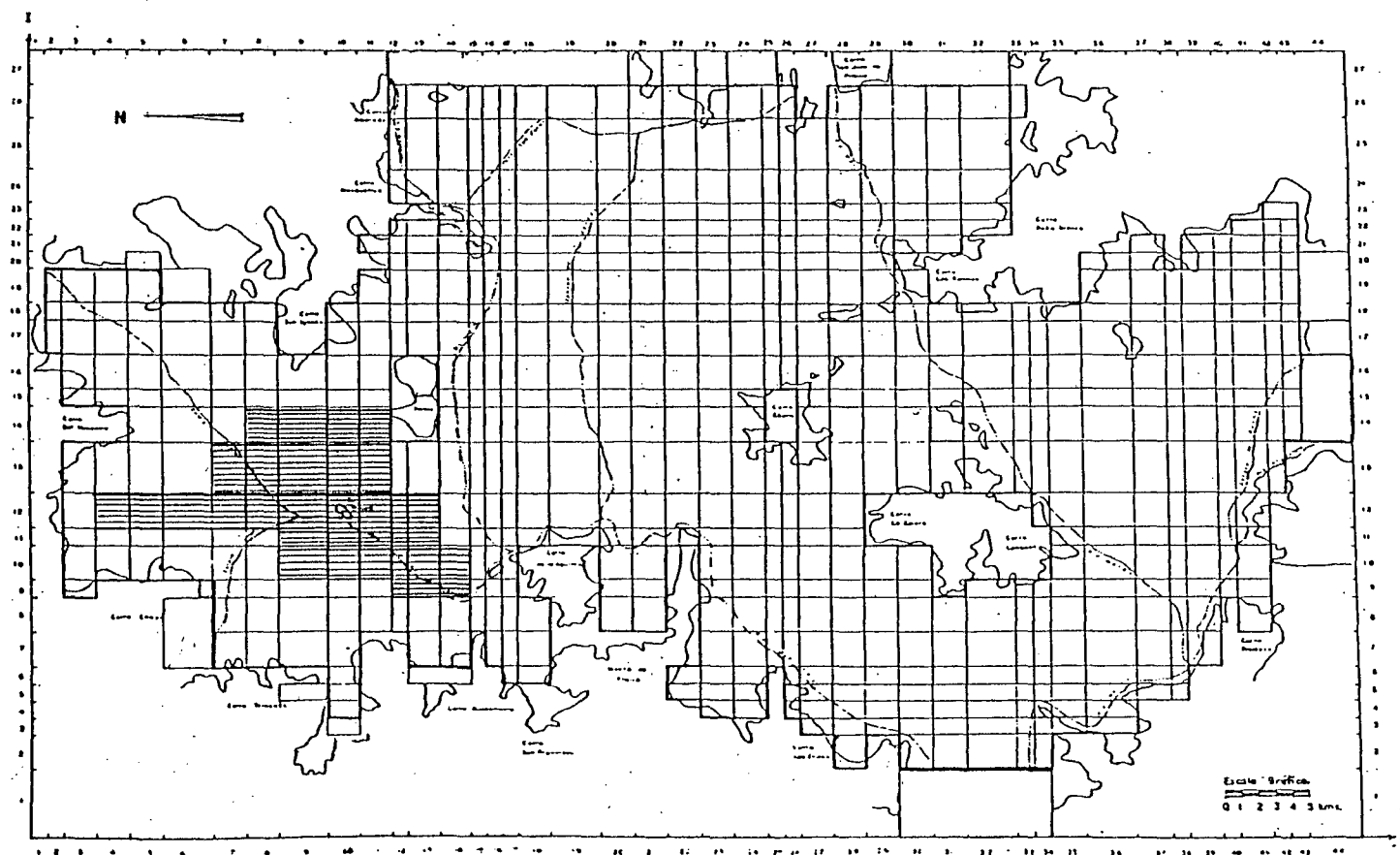
PASADA N° 4



MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

SECTORES SIN LLUVIAS

PASADA N° 4



Sector sin lluvias.

5.2.2.5 Pasada N° 5.

Se efectuó el 20.12.83 obteniéndose los siguientes resultados para el Balance Másico.

=====	
	Vol. (Mm3/año)
=====	
ENTRADAS AL ACUIFERO	
- Infiltraciones de riego	839
- Infiltraciones por lluvias	239
- Infiltraciones desde la red de agua potable	136
- Infiltraciones desde ríos y <u>es</u> <u>teros</u>	<u>181</u>
T o t a l	1.395
SALIDAS DESDE EL ACUIFERO	
- Bombeos	206
- Mallas exteriores	43
- Vertientes	456
- Río	<u>119</u>
T o t a l	824
VARIACIONES DE ALMACENAMIENTO	564
=====	

Comparando estos valores con los de la pasada anterior, no hay cambios significativos.

Sin embargo, al entrar al Plano del Balance Másico se nota que las vertientes se han ubicado mucho mejor. Efectivamente, de una situación relativamente dispersa en la zona Sur

para la Pasada N° 4, se ha pasado a una con sectores de descarga bien definidos y que además, coinciden con la realidad observada del fenómeno.

Otro avance notable consiste en las salidas subterráneas por El Monte que han subido al doble, alcanzando ya un volumen total de 76 (Mm3/año). Esto se acerca bastante más a la realidad estimada de 150 (Mm3/año), más aún si se considera que las vertientes justo antes de la salida totalizan 53 (Mm3/año) valor que, sumado a las descargas subterráneas propiamente tales, da un total de casi 130 (Mm3/año).

Por el lado del contraste piezométrico puede señalarse lo siguiente :

- Hay una notable mejoría para todos los piezómetros ubicados en las cercanías del río Mapocho, en la zona del centro de la ciudad de Santiago. Esto indica que efectivamente el río Mapocho tendría gran importancia como mecanismo de recarga del sector.
- Hay una mejoría leve, pero sostenida, para los piezómetros ubicados en la zona de Maipú y Malloco.
- Hay un empeoramiento en casi todos los piezómetros localizados al Norte del río Mapocho (sector Norte).

En ellos se observa un alza de niveles en los meses de Noviembre a Enero. Este problema se debe sin embargo a un error en los datos de entrada, según se pudo comprobar, consistente en simular además de la lluvia de invierno, otra en los meses de verano.

Esta casual circunstancia ha servido de todas maneras para comprobar la sensibilidad del modelo en este sector, junto con indicar la necesidad de esta recarga en la zona alta del Estero Colina, donde curiosamente mejoró el ajuste de algunos piezómetros.

Para la 6a. Pasada se han planteado como objetivos principales los mismos de la pasada anterior, para lo cual se han hecho los cambios que siguen:

- a) Nuevos valores de la transmisibilidad.
- b) Corrección del error en las infiltraciones por lluvias en el sector Norte.
- c) Modificación de las infiltraciones en el Estero Colina, duplicándola en todas las mallas que corresponda, excepto en la (17,4) y (17,5) donde se ha cuadruplicado, y la (15,6) y (16,6) donde se ha disminuído su valor a la cuarta parte.

Esto se ha hecho para afinar el ajuste y es consecuencia del error fortuito de hacer llover en Noviembre en la zona como se hizo en esta pasada.

- d) Disminución a la mitad de las infiltraciones del río Mapocho, en su tramo revestido. La razón de este cambio es que se ha visto que en el sector los niveles medidos suben, pero no tanto como lo hace los simulados.
- e) Eliminación total de las infiltraciones de riego en parte del sector Norte, indicado en detalle en plano adjunto con el análisis de la Pasada N° 6.

Esta hipótesis quedaría justificada por la gran capa de arcilla que cubre la superficie del terreno, que no permitiría las infiltraciones. Esto mismo ocurriría para las infiltraciones por lluvias, las que, sin embargo, no se eliminarán. La razón de ello es que la lluvia ingresa al acuífero en esta zona por el pidemonte, pero, por estar la napa confinada, el efecto de estas infiltraciones se nota casi simultáneo en todo el sector bajo la capa de arcilla.

En estas condiciones, una forma de simular la situación es suponer infiltraciones de lluvias por toda el área, como se ha hecho.

Como respaldo a estas suposiciones están los niveles piezométricos, que registran el efecto de las infiltraciones por lluvias en invierno y no se alteran en absoluto con las infiltraciones de riego.

- f) Desfase de las infiltraciones de riego en 5 meses en la zona Oriente. Con esto su distribución mensual queda :

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
$\alpha\%$	20	15	15	10	5	0	0	0	0	0	10	25

y hace coherente esta situación con la planteada para las infiltraciones por lluvias en el sector. Este desfase de 5 meses responde a la situación de los niveles medidos y tiene su justificación en la profundidad a que se encuentran los niveles de la napa respecto al terreno.

- g) Para el sector Sur una nueva distribución mensual de las infiltraciones por lluvias, de acuerdo a :

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
$\alpha\%$	0	0	0	0	10	20	30	30	10	0	0	0

RESUMEN BALANCE MASICO PASADA N° 5

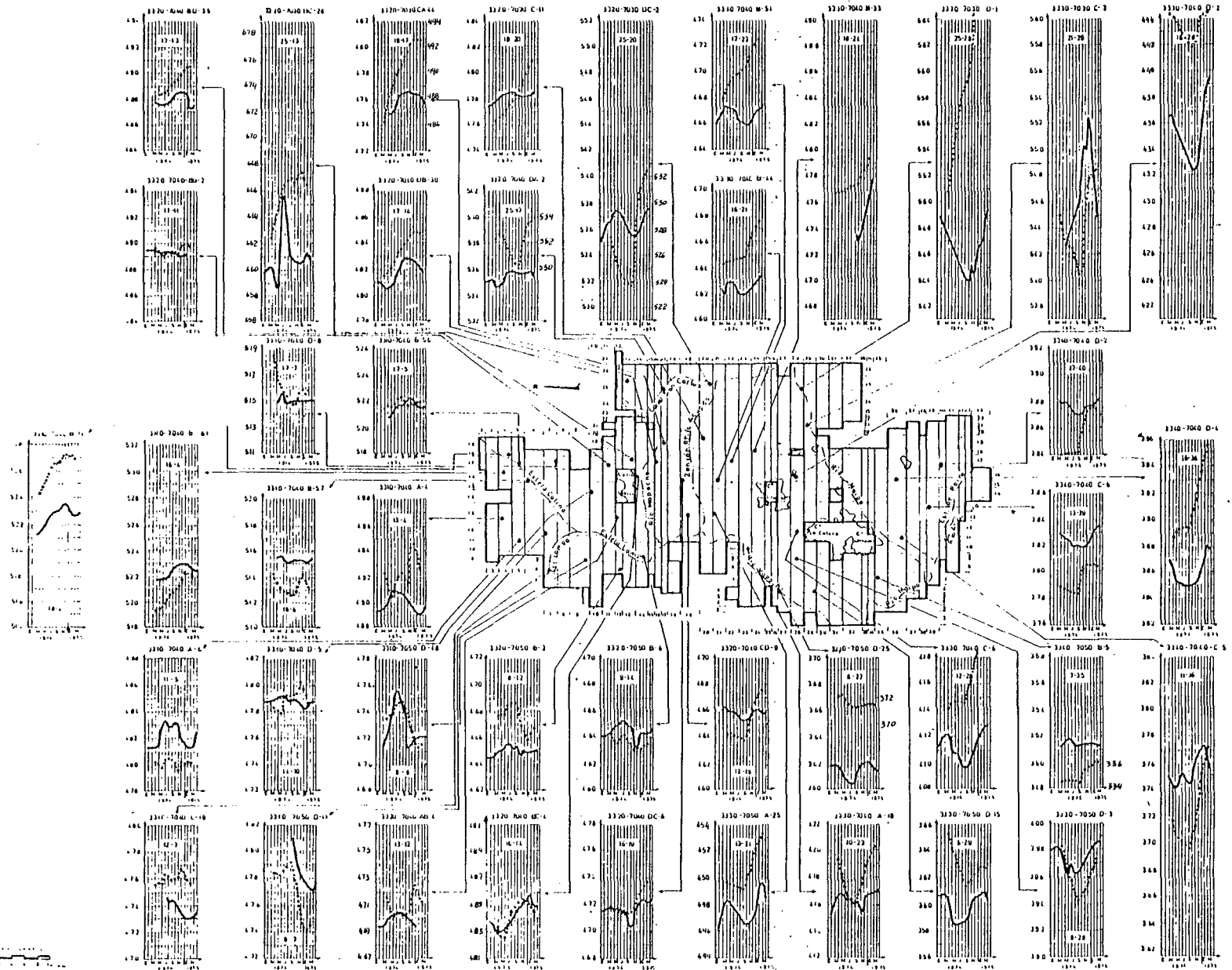
VALORES EN MILLONES M3

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	TOTAL ANUAL
MALLAS EXTERIORES	-3.42	-3.43	-3.39	-3.38	-3.38	-3.37	-3.48	-3.55	-3.72	-3.85	-3.96	-3.97	-42.87
RIO	0.11	-4.05	-5.04	-5.63	-5.96	-5.88	-10.96	-14.36	-16.14	-16.86	-17.46	-16.83	-119.09
VERTIENTES	-17.97	-25.86	-26.67	-29.39	-31.04	-29.44	-36.02	-41.61	-54.03	-57.96	-55.22	-50.50	-456.20
ALMACENAMIENTO	7.12	-22.07	-32.43	-6.15	-10.34	-23.85	70.25	60.86	196.00	139.36	112.57	52.46	563.78
BOMBEO DE RIEGO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-10.11	-20.22	-30.33	-30.33	-10.11	0.0	-101.10
BOMBEO DE AGUA POTABLE	-7.40	-6.58	-5.76	-5.35	-4.94	-5.76	-6.17	-6.58	-7.40	-8.64	-9.46	-8.23	-82.27
BOMBEO DE INDUSTRIAS	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-22.50
INF. RIEGO SECTOR NORTE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.67	11.74	17.61	17.61	5.67	0.0	58.70
INF. RIEGO SECTOR ORIENTE	19.16	9.58	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.16	47.91	38.33	28.75	28.75	151.64
INF. RIEGO SECTOR SUR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	56.43	84.65	112.86	112.86	84.65	0.0	564.32
INF. DE RIEGO POR AGUAS SUB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.39	4.78	7.16	7.16	2.39	0.0	23.88
INF. LLUVIAS ZONA NORTE	0.0	0.0	0.0	16.29	12.22	8.15	4.07	0.0	24.44	12.22	4.07	0.0	40.73
INF. LLUVIAS ZONA ORIENTE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.60	19.80	6.60	0.0	66.00
INF. LLUVIAS ZONA SUR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.93	27.47	9.16	0.0	0.0	0.0	91.55
INF. DESDE LA FED DE A.P.	12.21	10.85	9.50	6.82	6.14	9.50	10.17	10.85	12.21	14.24	15.00	13.57	135.66
INFILTRACIONES ESTERO LAMPA	0.0	0.0	0.0	0.52	0.52	0.52	0.52	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.10
INFILTRACIONES ESTERO COLIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.15	0.15	0.30	0.91	0.91	0.60	0.0	0.0	3.02
INF. RIO MAPOCHO BAJO	0.0	0.0	1.46	5.86	5.86	4.39	4.39	2.93	2.93	1.46	0.0	0.0	29.30
INF. RIO MAPOCHO ALTO	0.0	0.0	0.0	2.01	3.35	0.0	0.0	0.0	0.34	0.34	0.34	0.67	6.70
INFILTRACIONES RIO MAIPO	6.98	0.0	0.0	6.98	6.98	0.0	0.0	6.98	34.84	34.84	34.84	6.98	139.35
BALANCE TOTAL	0.07	0.71	0.65	0.53	0.39	0.25	0.24	0.41	0.52	0.65	0.72	0.75	6.51

MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

CONTRASTE PIEZOMETRICO PASADA N° 5

ALAMOS Y PÉRALTA
INGENIEROS CONSULTORES LTDA

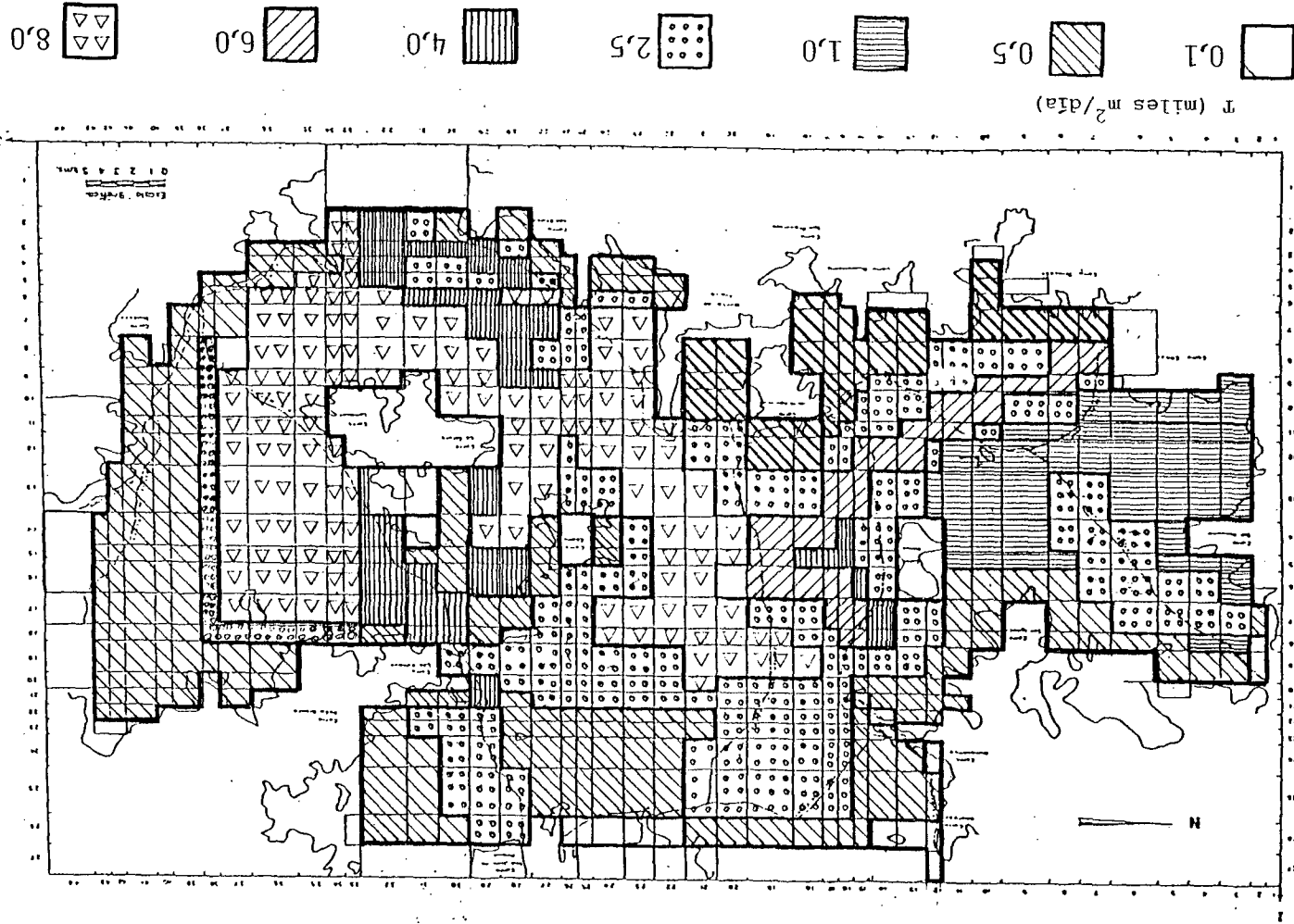


ALAMOS Y FERNALTA TRANSMISIVIDAD (miles m²/dia) MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO PASADA N° 5

ALAMOS Y FERNALTA

TRANSMISIVIDAD (miles m²/dia)

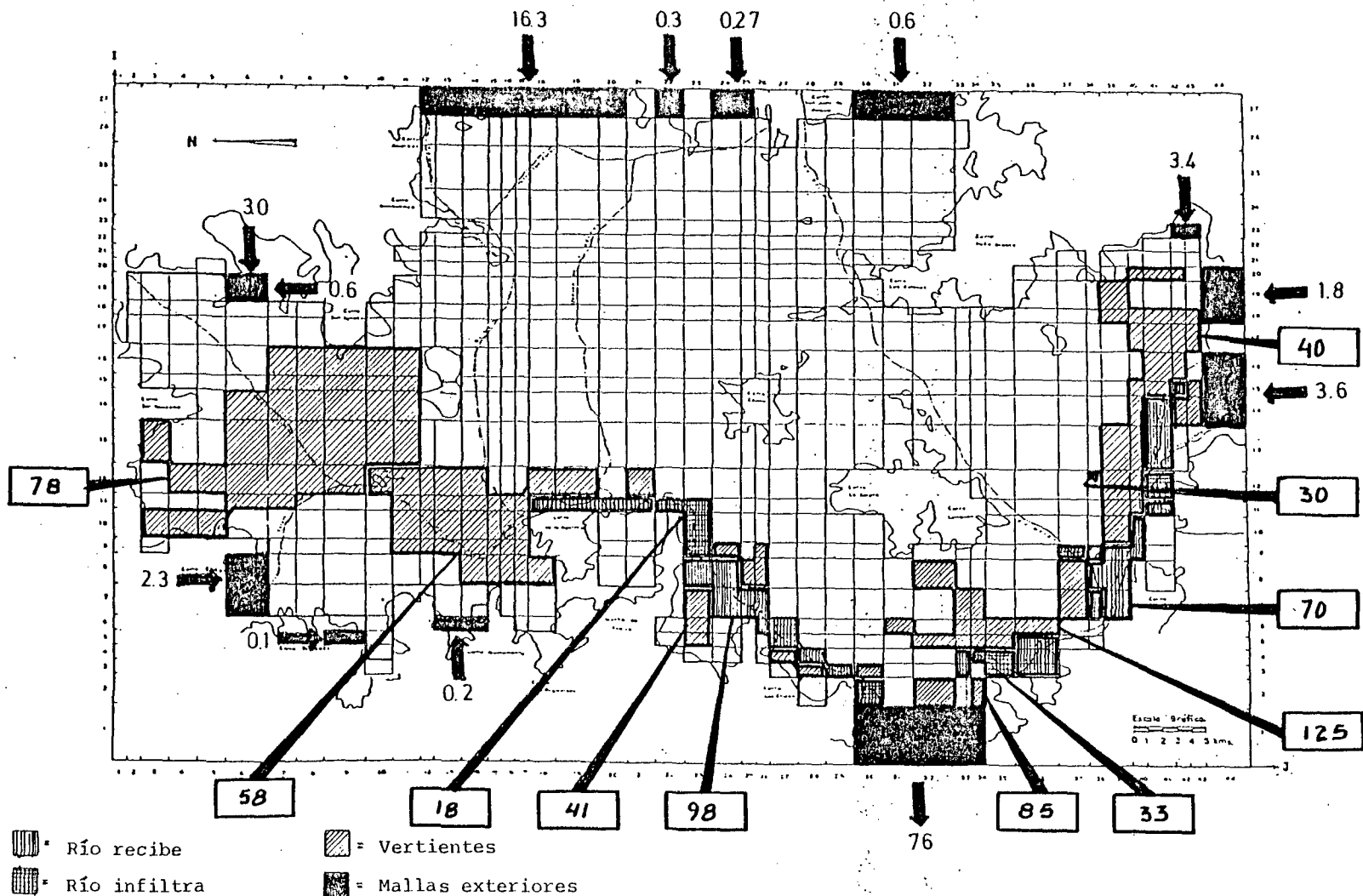
PASADA N° 5



MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

BALANCE MASICO ($\text{Mm}^3/\text{año}$)

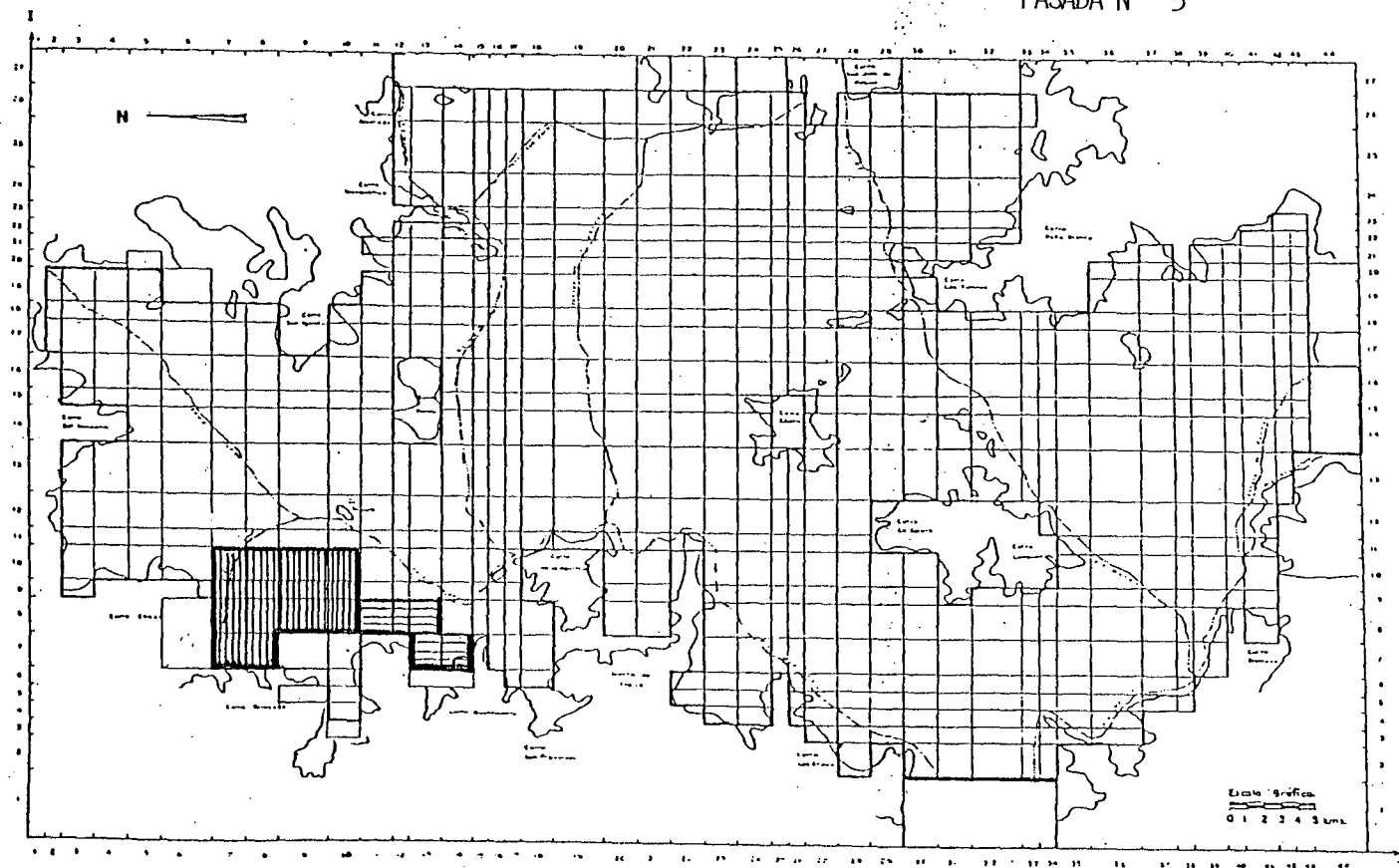
PASADA N° 5



MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

MODIFICACIONES A INFILTRACIONES POR RIEGO Y COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO

PASADA N° 5



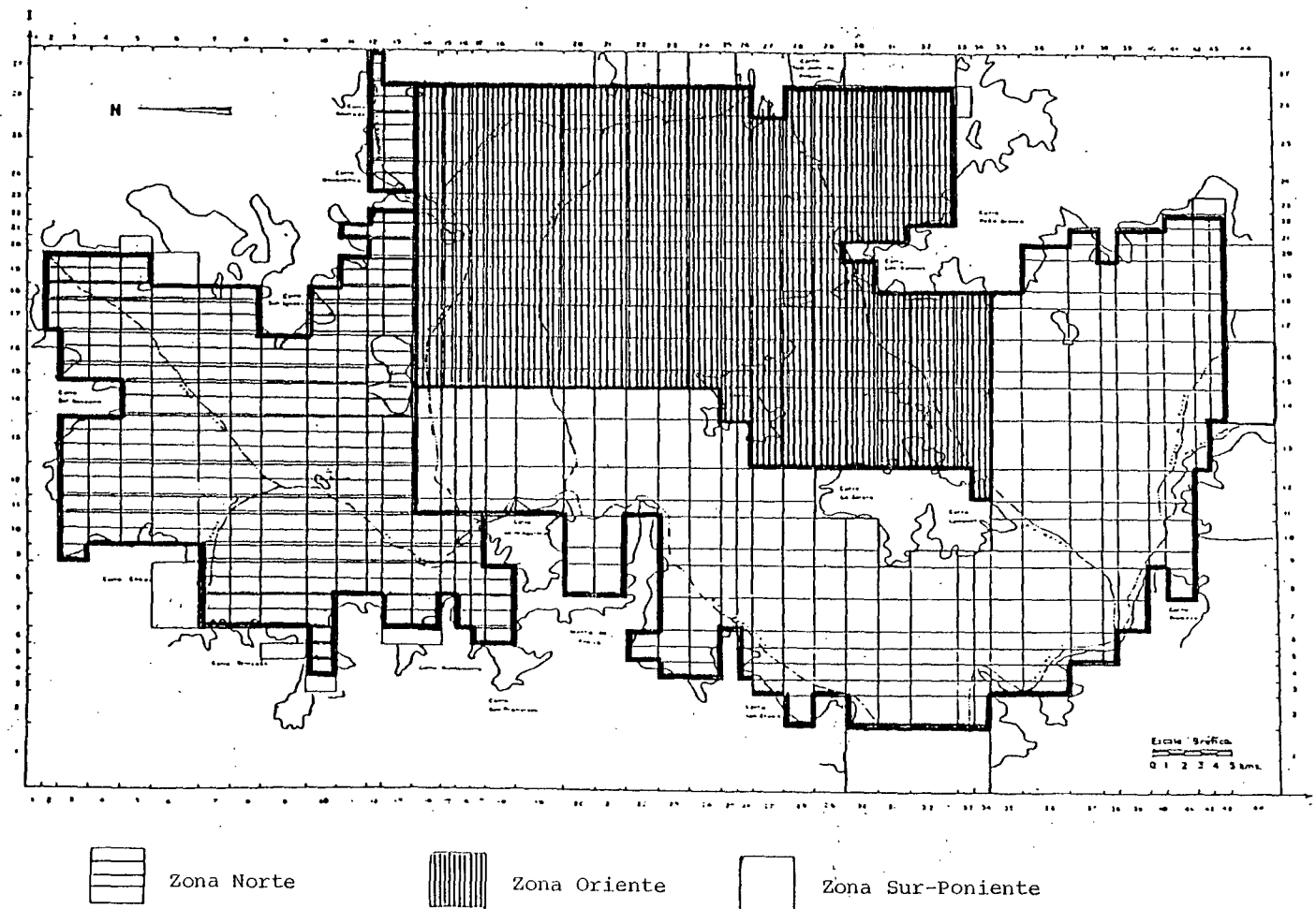
Zona con Riego x 2



Zona con Almacenamiento = 5%

MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

DIVISION DE SECTORES DE LLUVIA Y RIEGO PASADA N° 5



5.2.2.6 Pasada N° 6.

Se efectuó el 02.01.84 con los siguientes resultados para el Balance Másico.

=====	
	Vol. (Mm3/año)
=====	
ENTRADAS AL ACUIFERO	
- Infiltraciones de riego	825
- Infiltraciones por lluvias	197
- Infiltraciones desde la red de agua potable	136
- Infiltraciones desde ríos y esteros	<u>177</u>
T o t a l	1.335
SALIDAS DESDE EL ACUIFERO	
- Bombeos	206
- Mallas exteriores	44
- Vertientes	497
- Río	<u>153</u>
T o t a l	900
VARIACIONES DE ALMACENAMIENTO	430
=====	

Comparando estos resultados con los de la pasada anterior se nota una mejoría, que se refleja en el aumento de vertientes y salidas al río y en la disminución del almacenamiento.

En el detalle del Balance Másico se ha tenido un notable avance en cuanto a la ubicación de las vertientes, pudiendo decir se que prácticamente todas las localizadas en terreno están representadas más o menos bien por el modelo.

El contraste piezométrico, por su parte, muestra el avance del ajuste en buena parte de los piezómetros. Es digna de destacar la mejoría del sector Santiago-Sur y Maipú, donde se ha disminuído el alza constante de niveles, insinuándose en la simulación el descenso observado en la primavera.

Para completar el proceso de ajuste se ha programado una 7a. Pasada, con los siguientes objetivos :

- Disminuir el almacenamiento excesivo, que se manifiesta principalmente en los siguientes sectores: el que está al Sur del río Maipo, en una franja que va desde el cerro Chena a Peñaflor, y en la zona alta de la cuenca entre la Quebrada de Macul y el río Maipo.
- Aumentar todavía más las salidas por vertientes en Peñaflor, Paine y Viluco.
- Tratar de afinar el ajuste de los piezómetros.

Para ello se han planteado los siguientes cambios :

- a) Nuevos valores de la transmisibilidad.
- b) Bajar las infiltraciones de riego a la mitad en el sector que está al Sur del río Maipo.
- c) Poner como distribución de las infiltraciones por lluvias de los sitios con niveles de la napa relativamente superficiales (menores de 20 m), la siguiente:

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
α %	0	0	0	40	30	20	10	0	0	0	0	0

Estos sitios coinciden con el sector Sur y se había supuesto hasta ahora que recibía las infiltraciones por lluvias

a partir del mes de Septiembre, ya que los niveles medidos no reflejan otra cosa. Actualmente se piensa que al acuífero llega rápidamente el efecto de las lluvias, como es razonable suponer dada la alta permeabilidad de estos terrenos y lo poco profundo de los niveles de la napa.

Esta recarga no se notaría en los piezómetros debido a la altísima transmisibilidad del acuífero en este sector, que provocaría la rápida evacuación de estas aguas hacia las vertientes.

- d) Subir al doble las infiltraciones del río Mapocho alto, tratando de seguir las fluctuaciones del piezómetro de la malla (25,13).
- e) Poner como distribución de lluvias en la zona influenciada por las infiltraciones del río Mapocho bajo, la que sigue:

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
α %	0	0	0	0	0	0	60	30	10	0	0	0

La intención del cambio es mejorar la situación de los piezómetros ubicados en la zona. Las mallas afectadas en este caso se indican en los planos al final de la 7a. Pasada.

- f) Disminución a la mitad de las infiltraciones del río Maipo en las mallas (25,28) y (26,28).
- g) Eliminación de la infiltración de riego en la parte alta de la cuenca, en una franja que abarca desde el Zanjón de la Aguada hasta Puente Alto en el sentido norte-sur y desde el canal San Carlos hasta la zona urbana de la ciudad de Santiago en la dirección oriente-poniente. La justificación de la medida estaría en avance de la ciudad hacia esta zona.

Los límites precisos del área involucrada se incluyen en los planos al final del análisis de la 7a. Pasada.

RESUMEN BALANCE MASICO PASADA N° 6

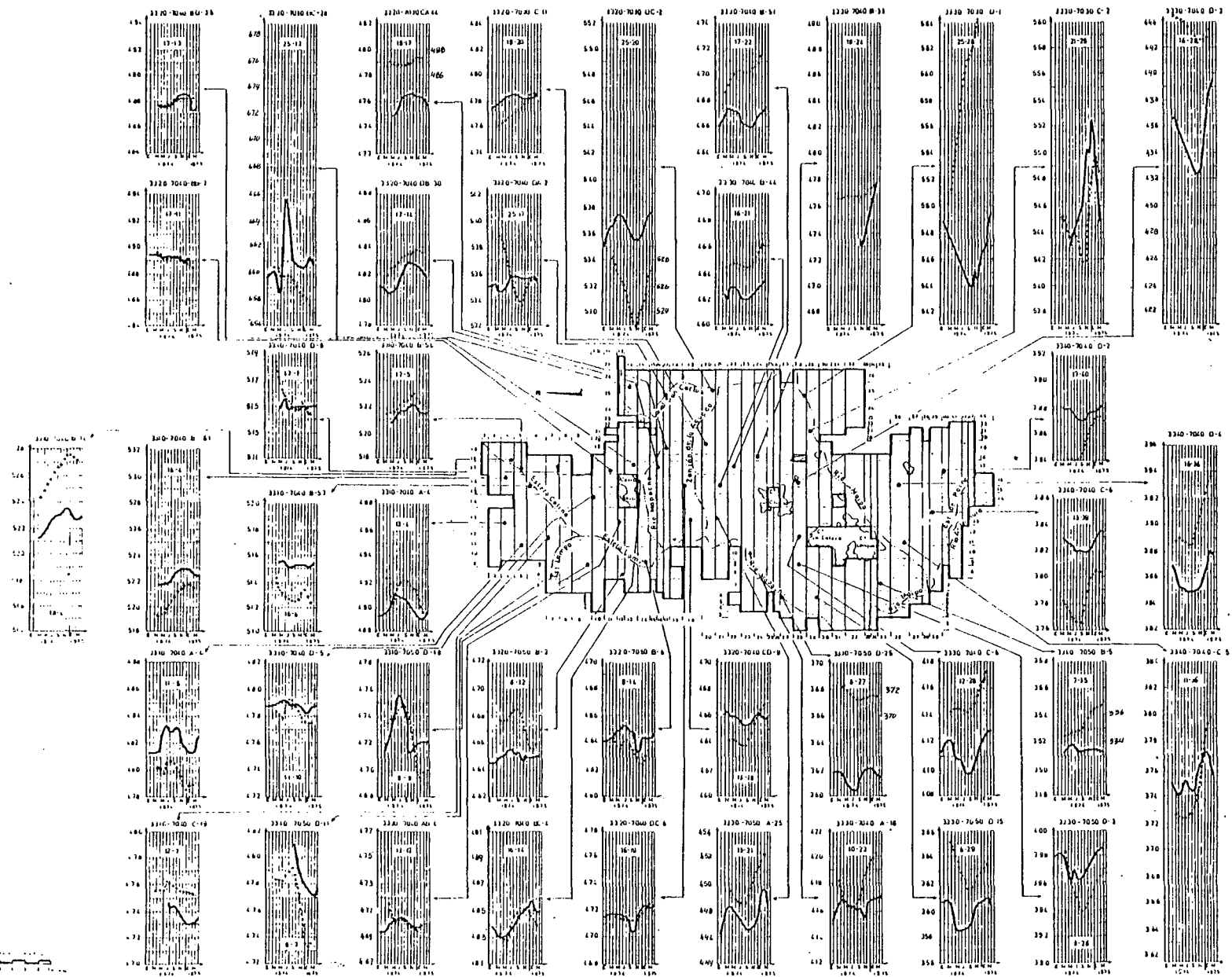
VALORES EN MILLONES M3

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	TOTAL ANUAL
MALLAS EXTERIORES	-3.57	-3.60	-3.58	-3.59	-3.60	-3.61	-3.67	-3.71	-3.78	-3.83	-3.89	-3.96	-44.39
RIO	-1.25	-6.24	-7.56	-8.35	-9.26	-10.07	-13.20	-16.72	-19.12	-20.07	-20.73	-20.68	-152.67
VERTIENTES	-22.25	-30.71	-31.12	-34.51	-36.50	-36.56	-40.47	-45.96	-51.06	-54.56	-57.46	-56.22	-497.33
ALMACENAMIENTO	20.27	-10.24	-11.11	4.30	-1.67	-17.91	33.73	52.22	119.60	85.32	92.23	62.81	429.55
BOMBEO DE RIEGO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-10.11	-20.22	-30.33	-30.33	-10.11	0.0	-101.10
BOMBEO DE AGUA POTABLE	-7.40	-6.58	-5.76	-5.35	-4.94	-5.76	-6.17	-6.58	-7.40	-8.64	-9.46	-8.23	-82.27
BOMBEO DE INDUSTRIAS	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-22.50
INF. RIEGO SECTOR NORTE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.48	8.95	13.43	13.43	4.46	0.0	44.77
INF. RIEGO SECTOR ORIENTE	38.33	28.75	28.75	19.16	9.58	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.16	47.91	191.64
INF. RIEGO SECTOR SUR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	56.43	84.65	112.86	112.86	84.65	56.43	564.32
INF. DE RIEGO POR AGUAS SUB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.39	4.78	7.16	7.16	2.39	0.0	23.86
INF. LLUVIAS ZONA NORTE	0.0	0.0	0.0	16.29	12.22	8.15	4.07	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.73
INF. LLUVIAS ZONA ORIENTE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.41	19.71	6.57	0.0	65.69
INF. LLUVIAS ZONA SUR	0.0	0.0	0.0	0.0	9.00	17.99	6.99	26.99	9.00	0.0	0.0	0.0	89.96
INF. DESDE LA RED DE A.P.	12.21	10.85	9.50	8.62	8.14	9.50	10.17	10.65	12.21	14.24	15.60	13.57	135.66
INFILTRACIONES ESTERIO LAMPA	0.0	0.0	0.0	0.52	0.52	0.52	0.52	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.10
INFILTRACIONES ESTERIO COLIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.31	0.31	0.61	1.84	1.84	1.22	0.0	0.0	6.12
INF. RIO MAPOCHO BAJO	0.0	0.0	1.11	4.44	4.44	3.33	3.33	2.22	2.22	1.11	0.0	0.0	22.20
INF. RIO MAPOCHO ALTO	0.0	0.0	0.0	2.01	3.35	0.0	0.0	0.0	0.34	0.34	0.34	0.67	6.70
INFILTRACIONES RIO MAIPO	6.98	0.0	0.0	6.76	6.56	0.0	0.0	6.98	34.39	34.65	34.65	6.98	124.55
BALANCE TOTAL	0.89	0.84	0.57	0.26	0.04	-0.17	-0.21	-0.03	0.19	0.40	0.54	0.61	3.90

MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

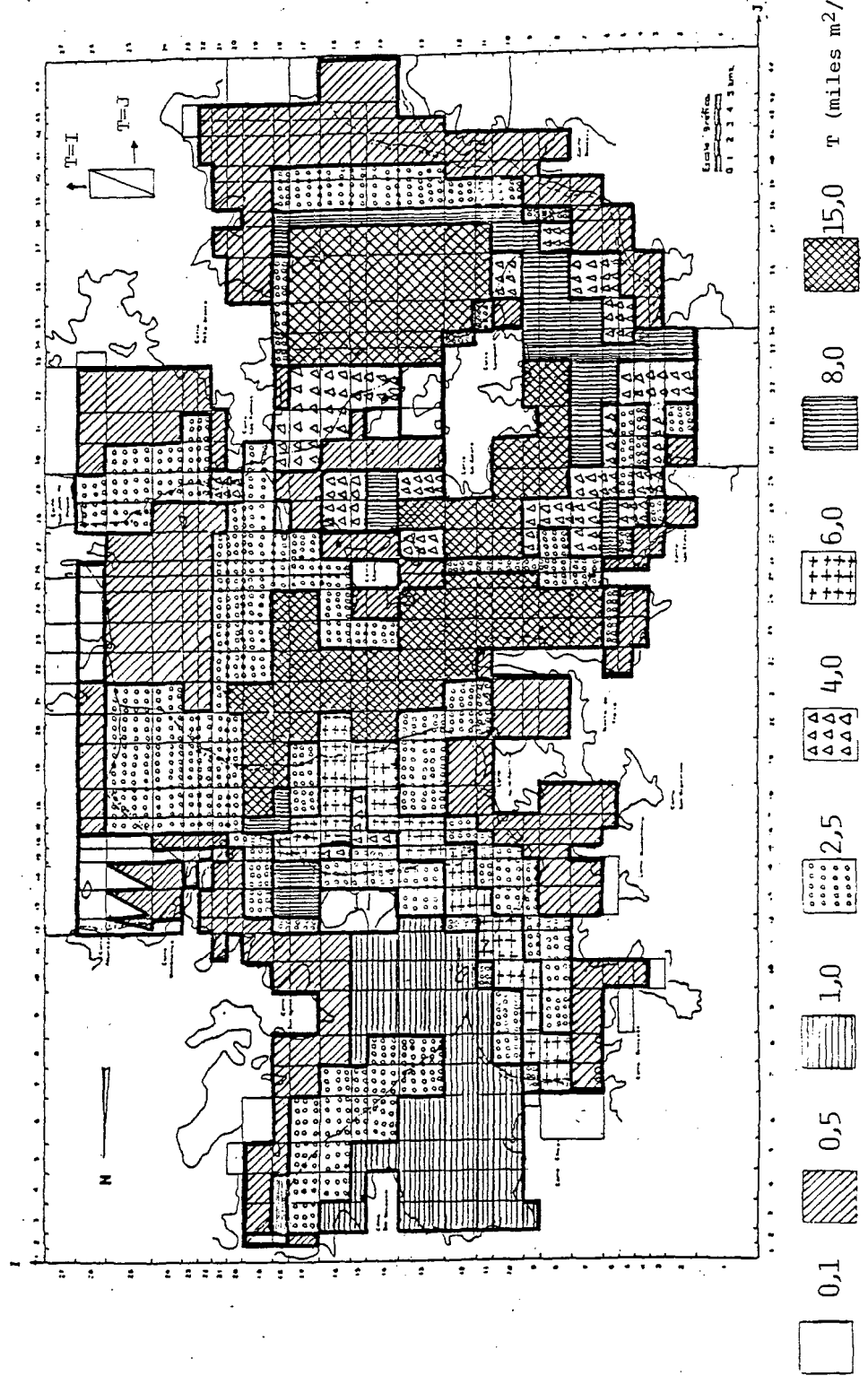
CONTRASTE PIEZOMETRICO PASADA N° 6

ALAMOS Y PERALTA
INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.



ALAMOS Y PERALTA
 INGENIEROS CONSULTORES LTDA.
 ASISTENTE TECNICA
 ASISTENTE TECNICA
 ASISTENTE TECNICA
MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

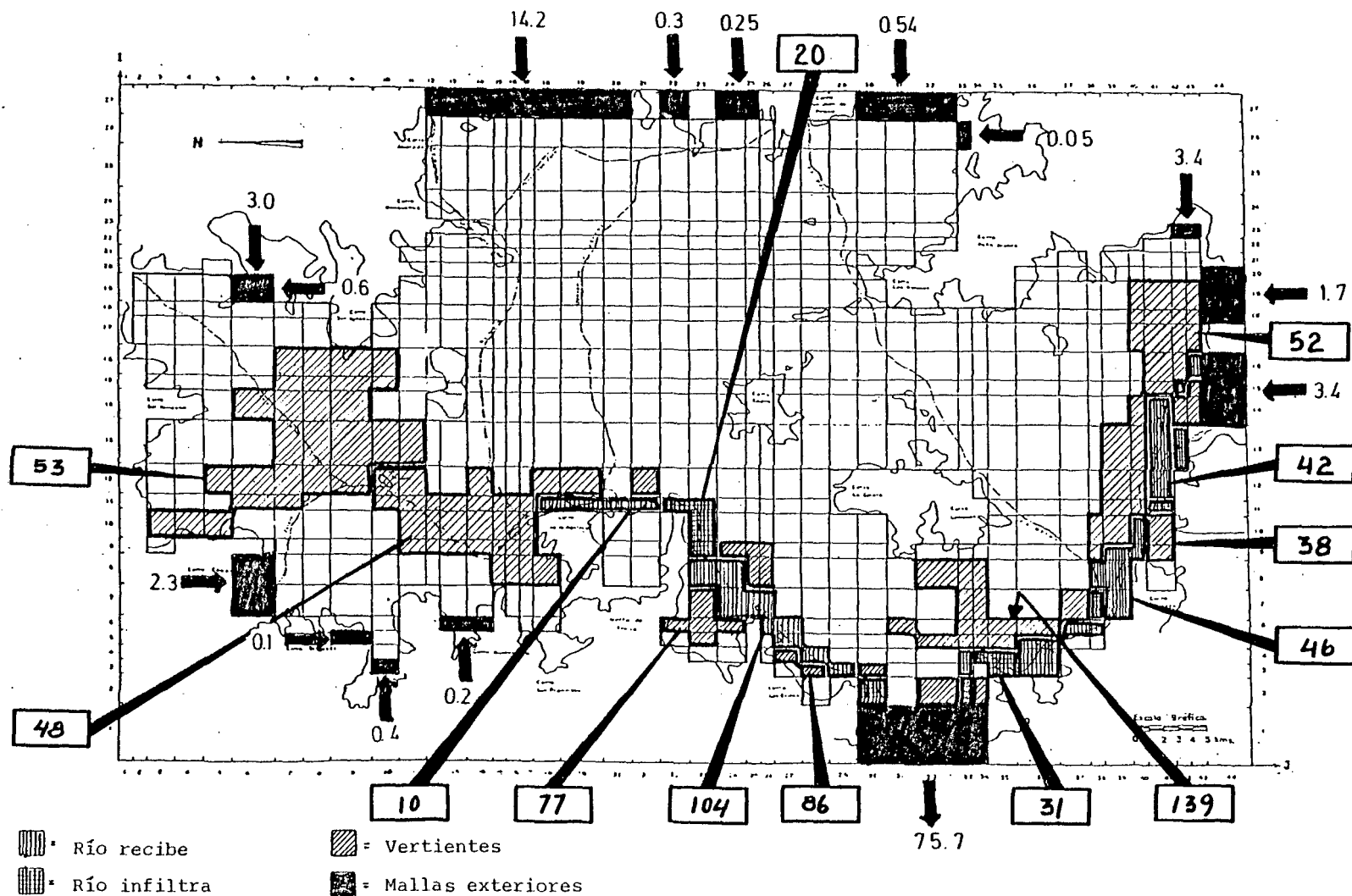
TRANSMISIVILIDAD (miles $m^2/día$) PASADA N° 6



MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

BALANCE MASICO ($Mm^3/año$)

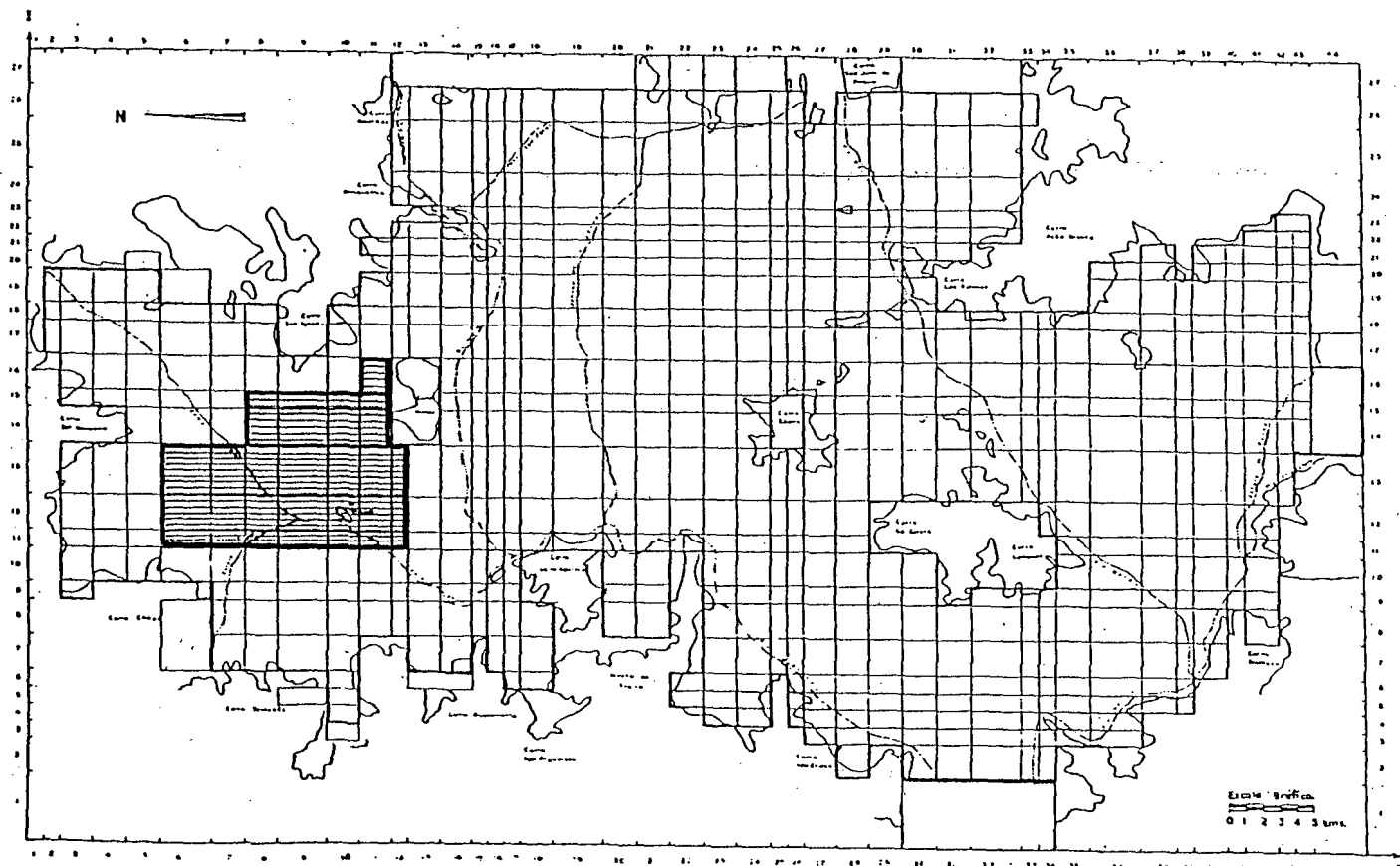
PASADA N° 6



MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

SECTOR SIN RIEGO EN ZONA NORTE

PASADA N° 6



Sector sin Riego zona norte

5.2.2.7 Pasada N° 7.

Se efectuó el 05.01.84 con los siguientes resultados para el Balance Másico.

=====	
	Vol. (Mm3/año)
=====	
ENTRADAS AL ACUIFERO	
- Infiltraciones de riego	687
- Infiltraciones por lluvias	197
- Infiltraciones desde la red de agua potable	136
- Infiltraciones desde ríos y esteros	<u>177</u>
T o t a l	1.197
SALIDAS DESDE EL ACUIFERO	
- Bombeos	206
- Mallas exteriores	44
- Vertientes	491
- Río	<u>208</u>
T o t a l	949
VARIACIONES DE ALMACENAMIENTO	244
=====	

Respecto de la pasada anterior es digno de destacar el descenso, casi a la mitad , del almacenamiento.

Por otro lado, el contraste piezométrico claramente representa, para los distintos sectores de comportamiento homogéneo del acuífero, los fenómenos de recarga y descarga, reflejados en la variación estacional de niveles. Más aún, el ajuste es óptimo en varios piezómetros, particularmente en los ubicados al Norte y en las cercanías del río Mapocho.

Con esto se dará por ajustado el modelo. Es evidente que hay muchos aspectos que podrían ser mejorados, pero para ello sería necesario disponer de información más detallada y abundante que la que se ha tenido en este caso. Con esto se quiere decir que la modelación de acuíferos es un proceso dinámico, que permite poco a poco ir afinando la precisión del conocimiento y modelación matemática del comportamiento de las napas subterráneas.

El modelo que aquí se ha desarrollado ha significado un rastreo zona a zona del comportamiento del acuífero, y permite así para más adelante un conocimiento más claro de dónde y qué es necesario investigar.

A continuación se entregan las conclusiones del proceso de ajuste del modelo. Allí se entrega, primeramente, un esquema del funcionamiento del acuífero, a la luz de los resultados obtenidos. Posteriormente se indican las pasadas de simulación que ha parecido interesante efectuar, para luego sugerir una lista de los aspectos en que sería necesario hacer nuevas investigaciones.

RESUMEN BALANCE MASICO PASADA N° 7

VALORES EN MILLONES M3

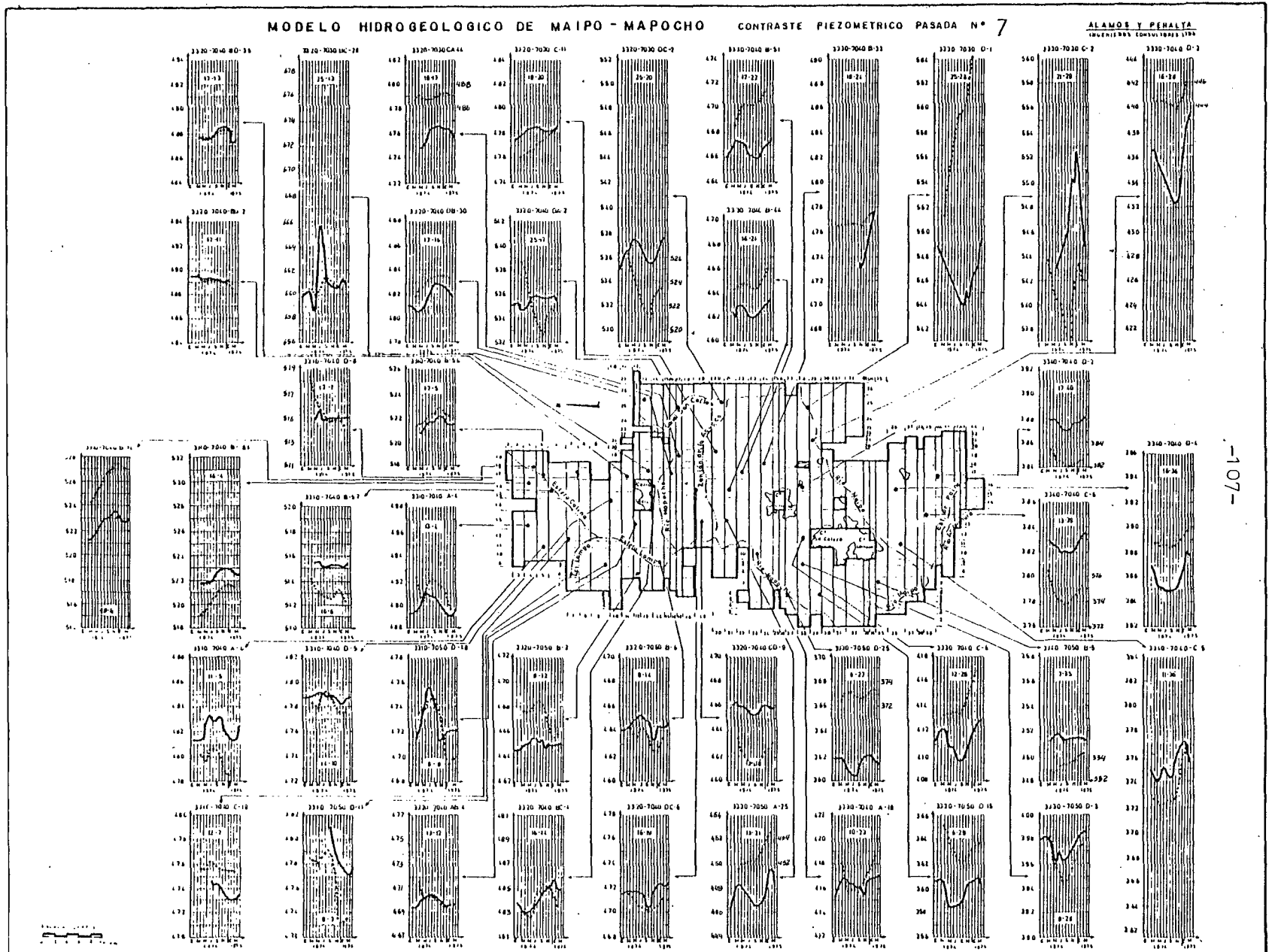
MESES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	TOTAL ANUAL
MALLAS EXTERIORES	-3.57	-3.58	-3.55	-3.61	-3.64	-3.63	-3.64	-3.64	-3.70	-3.74	-3.79	-3.85	-43.93
RIE	-3.72	-11.00	-13.42	-16.26	-17.32	-17.03	-18.17	-19.56	-21.44	-22.72	-23.61	-23.36	-207.59
VERTIENTES	-25.46	-34.87	-34.61	-39.91	-42.80	-40.93	-41.26	-42.37	-45.36	-47.49	-48.31	-47.53	-490.89
ALMACENAMIENTO	8.76	-23.27	-24.56	25.57	3.28	-29.53	0.03	9.74	90.01	65.97	72.31	45.16	243.47
BOMBEO DE RIEGO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-10.11	-20.22	-30.33	-30.33	-10.11	0.0	-101.10
BOMBEO DE AGUA POTABLE	-7.40	-6.58	-5.76	-5.35	-4.94	-5.76	-6.17	-6.58	-7.40	-8.64	-9.46	-8.23	-82.27
BOMBEO DE INDUSTRIAS	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-22.50
INF. RIEGO SECTOR NORTE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.48	8.95	13.43	13.43	4.48	0.0	44.77
INF. RIEGO SECTOR ORIENTE	32.82	24.61	24.61	16.41	8.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.41	41.02	164.08
INF. RIEGO SECTOR PONIENTE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.54	48.81	65.08	65.08	65.08	48.81	325.42
INF. RIEGO SECTOR SUR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.87	19.30	25.73	25.73	25.73	19.30	128.65
INF. DE RIEGO POR AGUAS SUB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.39	4.78	7.16	7.16	2.39	0.0	23.88
INF. LLOVIAS ZONA NORTE	0.0	0.0	0.0	16.18	12.13	8.09	4.04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.45
INF. LLOVIAS ZONA ORIENTE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.49	19.24	6.41	0.0	64.15
INF. LLOVIAS ZONA SUR	0.0	0.0	0.0	35.89	26.92	17.95	8.97	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.73
INF. LLOVIAS ZONA CENTRO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.26	0.63	0.21	0.0	0.0	0.0	2.10
INF. DESDE LA RED DE A.P.	12.21	10.85	9.50	8.82	8.14	9.50	10.17	10.85	12.21	14.24	15.60	13.57	135.66
INFILTRACIONES ESTERO LAMPA	0.0	0.0	0.0	0.52	0.52	0.52	0.52	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.10
INFILTRACIONES ESTERO COLIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.31	0.31	0.61	1.84	1.84	1.22	0.0	0.0	6.12
INF. RIO MAPOCHO BAJO	0.0	0.0	1.11	4.44	4.44	3.33	3.33	2.22	2.22	1.11	0.0	0.0	22.20
INF. RIO MAPOCHO ALTO	0.0	0.0	0.0	4.02	6.70	0.0	0.0	0.0	0.67	0.67	0.67	1.34	13.41
INFILTRACIONES RIO MAIPO	6.66	0.0	0.0	6.66	6.66	0.0	0.0	6.66	33.29	33.29	33.29	6.66	133.15
BALANCE TOTAL	0.90	0.84	0.58	0.38	0.19	0.02	-0.06	0.06	0.22	0.44	0.60	0.71	4.88

VALORES POSITIVOS INDICAN ENTRADAS M3 AL SISTEMA

MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

CONTRASTE PIEZOMETRICO PASADA N° 7

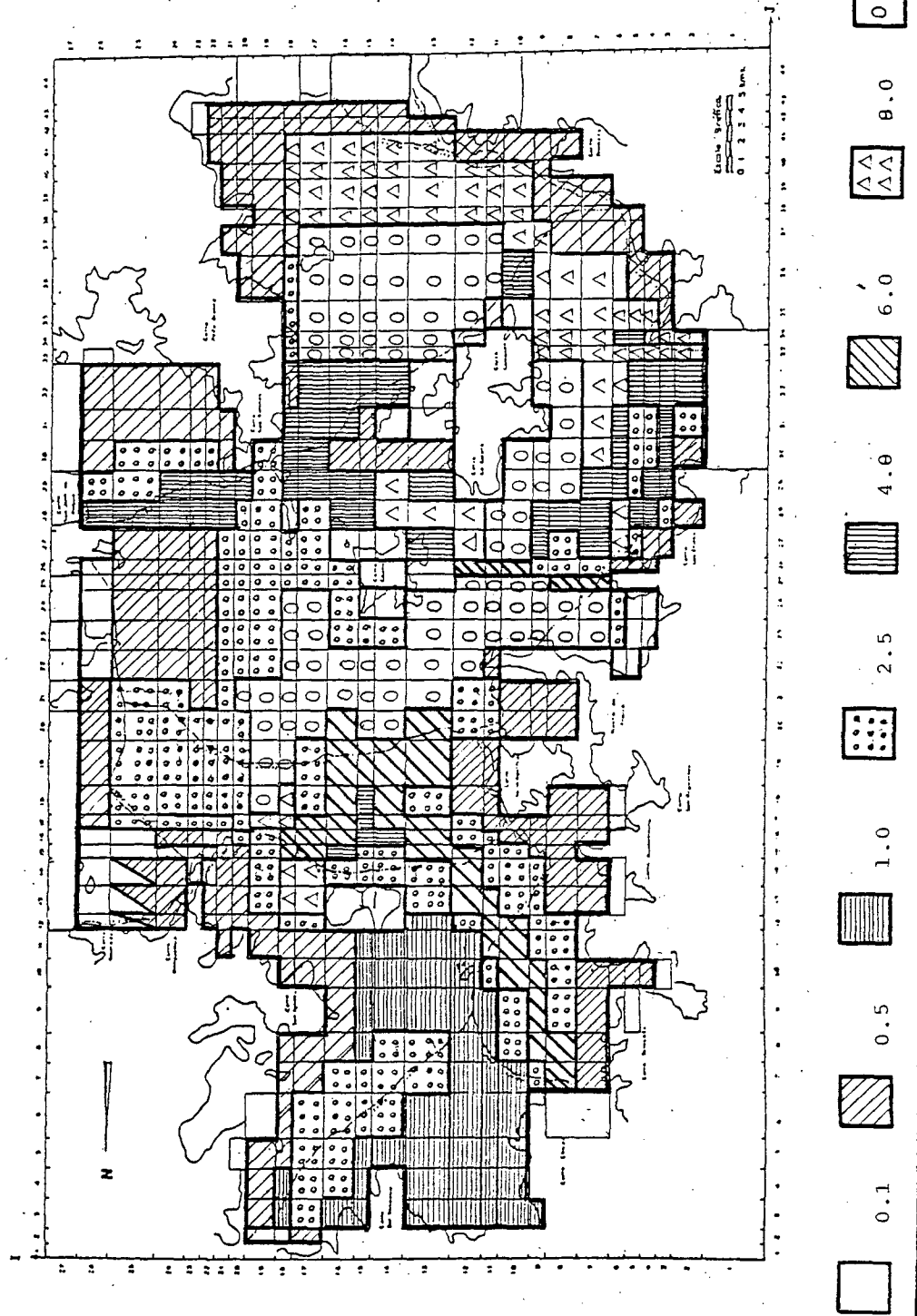
ALAMOS Y PENALTA
INGENIERIA CONSULTORIA 1979



ALAMOS Y PERALTA
 TERCEROS CONSIDERABLES 1982
 REGIONES INSTRUCCIONES
 REGIONES INSTRUCCIONES
 REGIONES INSTRUCCIONES

MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

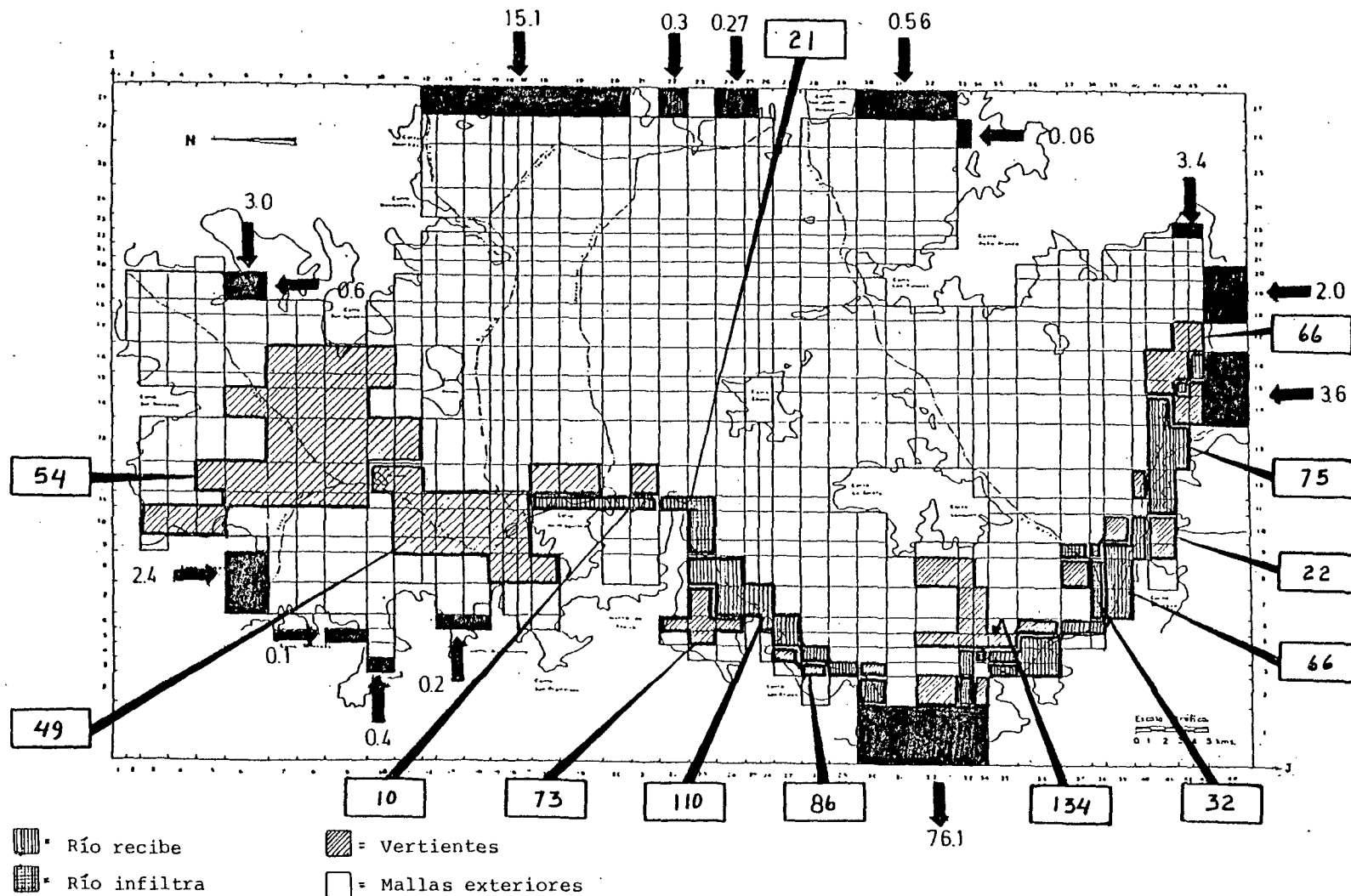
TRANSMISIVIDAD (miles m²/día) PASADA N° 7



MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

BALANCE MASICO ($Mm^3/año$)

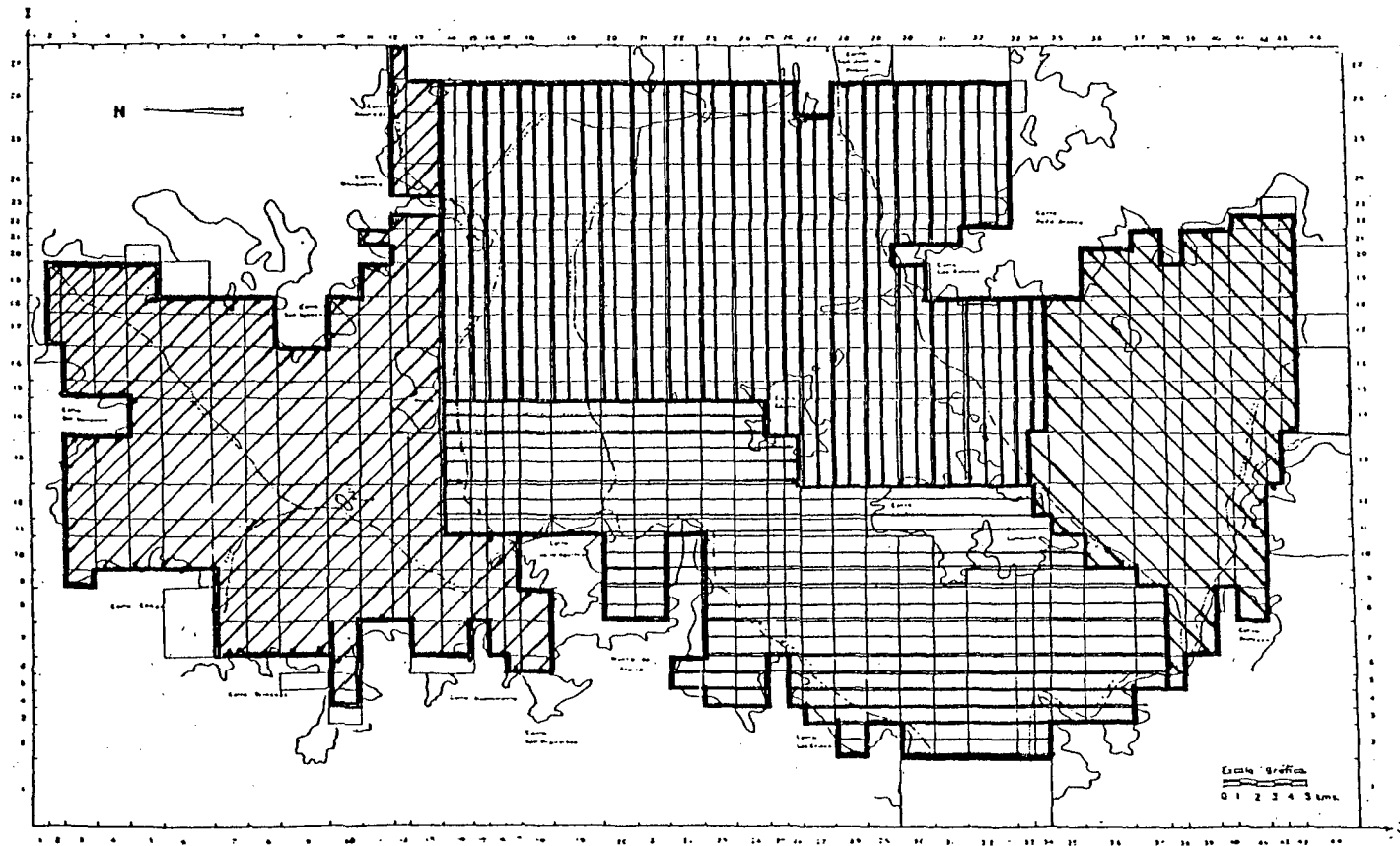
PASADA N° 7



MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

DIVISION POR SECTORES DE RIEGO

PASADA N° 7



ZONA NORTE



ZONA ORIENTE



ZONA PONIENTE

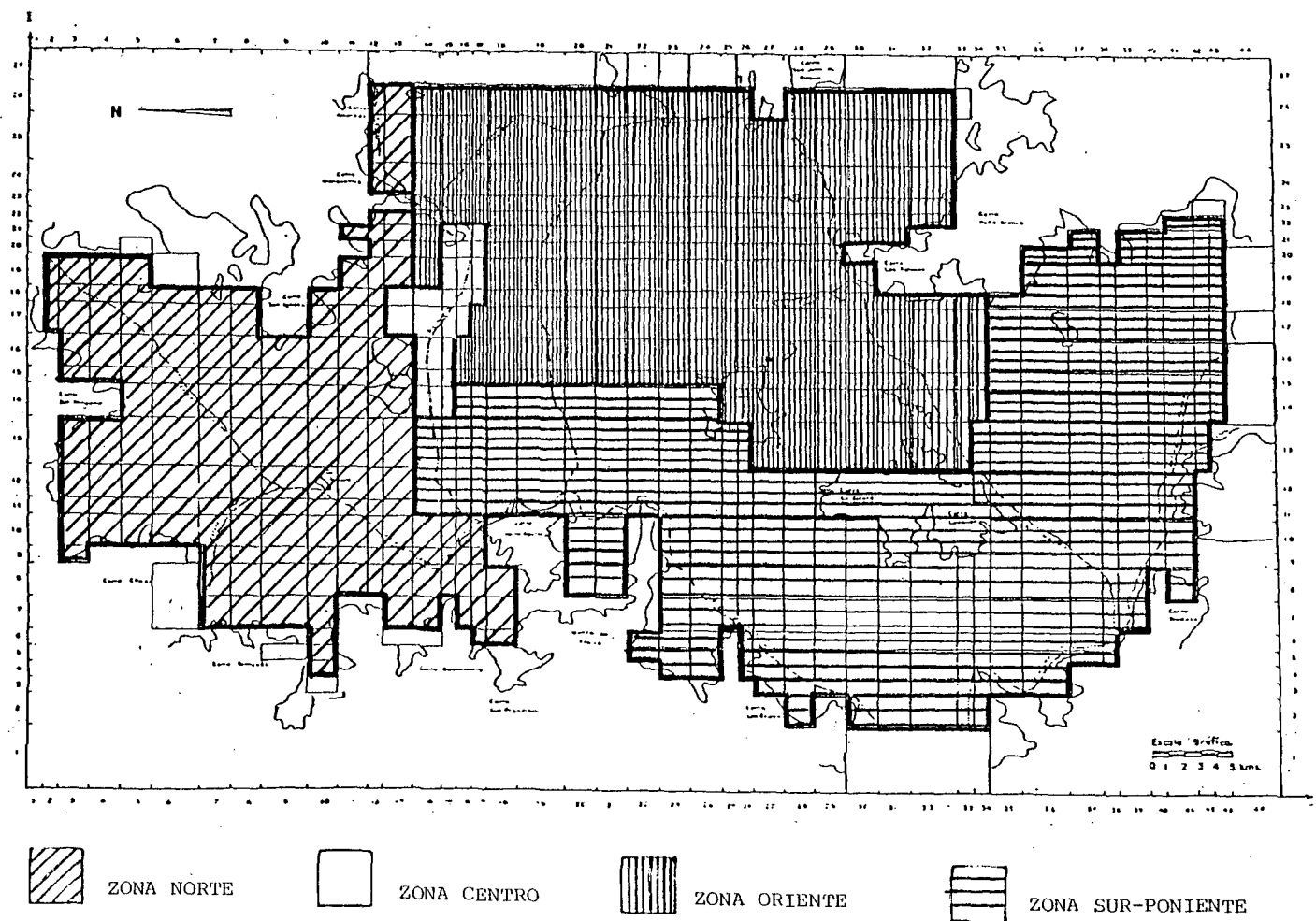


ZONA SUR

MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

DIVISION POR SECTORES DE LLUVIAS

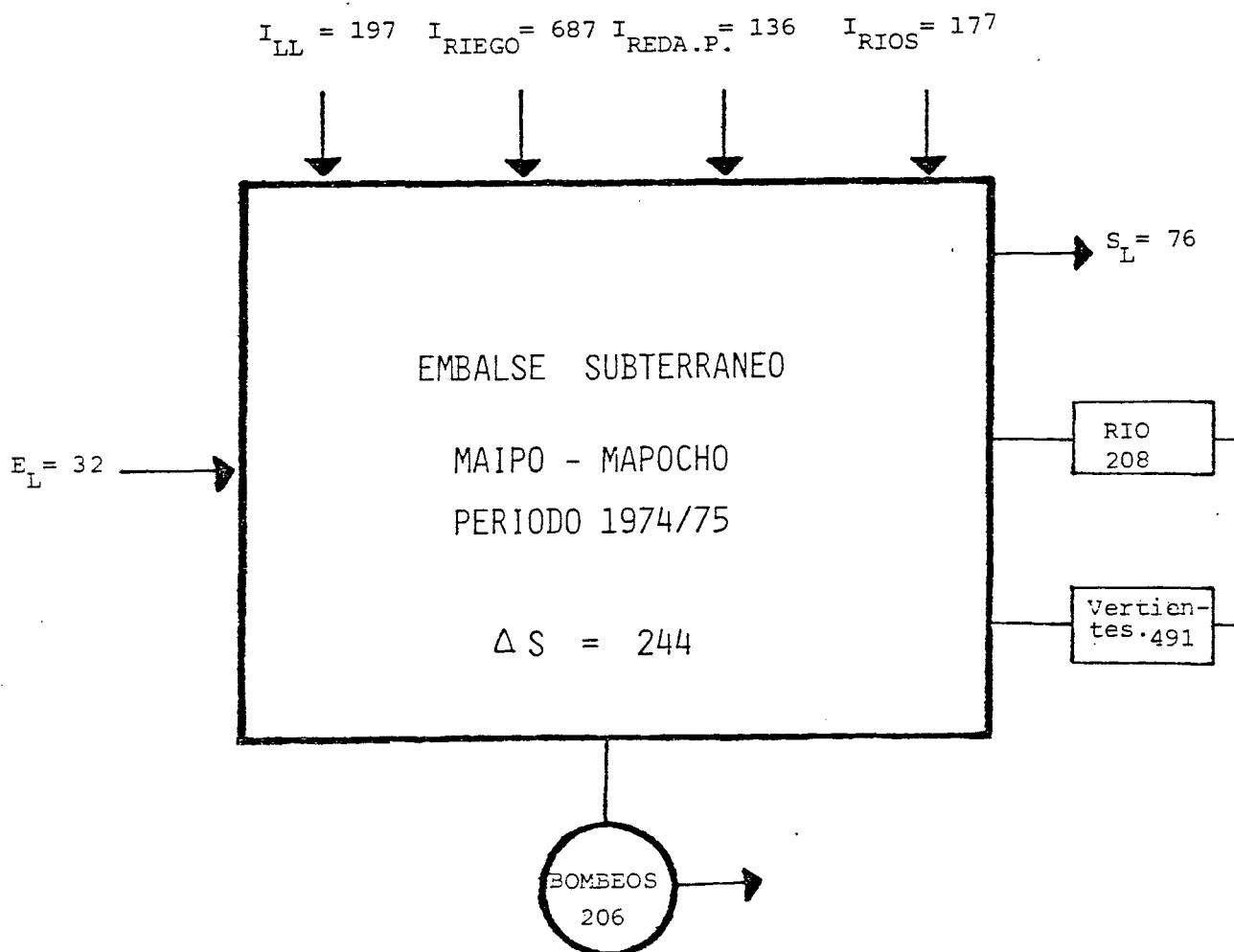
PASADA N° 7



5.2.3 Conclusiones.

5.2.3.1 Esquema de Funcionamiento del Acuífero.

El esquema de funcionamiento que se presenta a continuación, se basa exclusivamente en los resultados entregados por la simulación del acuífero, hecha por el modelo



Valores en (Millones m^3 /año).

Donde:

I_{LL}	→	Infiltraciones por lluvias
I_{RIEGO}	→	Infiltraciones de riego
$I_{RED\ A.P.}$	→	Infiltraciones desde la red de agua potable
I_{RIOS}	→	Infiltraciones desde ríos y esteros.
E_L	→	Entradas subterráneas al acuífero
S_L	→	Salidas subterráneas desde el acuífero.
$RIOS$	→	Descargas directas de la napa a cauces de ríos y esteros.
$VERTIENTES$	→	Descargas de la napa a través de vertientes.
Δ_S	→	Variaciones de almacenamiento.

Este esquema se refiere al comportamiento global del acuífero. Un análisis más profundo indica que en el acuífero pueden distinguirse 3 grandes sectores de funcionamiento relativamente homogéneo.

Estos coinciden con los sectores de lluvias, definidos para la Pasada N° 7, que pueden verse entre los planos al final del análisis de esa pasada.

Las principales características de cada uno de estos sectores se comentan a continuación.

- Zona Norte :

Las fuentes de recarga más importantes serían :

- . Infiltraciones desde los esteros Colina y Lampa en su curso alto.
- . Infiltraciones por lluvias y riego en la zona del piedemonte. En la parte central de este sector la napa es tá confinada bajo una capa fuertemente impermeable, que impediría el ingreso de estos recursos al acuífero.

Las fuentes de descarga principales serían :

- . Extracciones por bombeos para riego.
- . Evapotranspiración, en aquellos lugares donde los nive les estáticos son poco profundos, es decir, casi todo el sector.
- . Afloramiento por vertientes.
- . Salidas subterráneas al resto de la cuenca.

- Zona Oriente :

Las fuentes de recarga serían :

- . Infiltraciones por lluvias
- . Infiltraciones por riego
- . Infiltraciones desde el río Mapocho, que son muy influ- yentes en el comportamiento de la napa ubicada bajo el centro de Santiago.
- . Infiltraciones desde el río Maipo, que son muy importan tantes y constituyen una poderosa fuente de recarga para el tramo localizado al sur de la línea Puente Alto - Cerros de Chena.
- . Infiltraciones desde la red de agua potable.

- . Entradas laterales desde el piedemonte cordillerano.
- . Entradas subterráneas desde el resto de la cuenca.

Las descargas principales son :

- . Bombeos para agua potable e industria.
- . Salidas laterales hacia el resto de la cuenca.

Los niveles estáticos de este sector son los más profundos de la cuenca, presentándose siempre a más de 30 metros y alcanzando máximos no menores de 150 metros.

Este hecho es de gran importancia en los mecanismos de recarga del acuífero, ya que el efecto de las infiltraciones desde la superficie viene a notarse en la napa subterránea varios meses después.

- Zona Sur :

Las fuentes de recarga más importantes serían :

- . Entradas subterráneas desde el resto de la cuenca.
- . Infiltraciones por lluvias.
- . Infiltraciones por regadío.

Por el lado de las descargas destacan :

- . Salidas por vertientes.
- . Salidas a ríos y esteros.

Estos dos elementos constituyen, volumétricamente, la mayor fuente de egresos desde el embalse subterráneo, totalizando 100 millones de metros cúbicos por año.

- . Evapotranspiración, en los lugares donde los niveles estáticos son casi superficiales.
- . Salidas subterráneas hacia el poniente que, fuera de los límites del modelo, afloran a la superficie, constituyendo parte importante de los recursos del río Maipo aguas abajo de la localidad de El Monte.
- . Bombeos para riego.

Con esto se completa el esquema de funcionamiento del embalse subterráneo, sin pretender que ésta sea más que una visión muy general y sintetizada del asunto.

A continuación se entrega el RESUMEN DEL BALANCE MASICO para la última pasada de ajuste y los planos con los valores finales que los diferentes parámetros de modelación han tomado en definitiva.

RESUMEN BALANCE MASICO PASADA N° 7

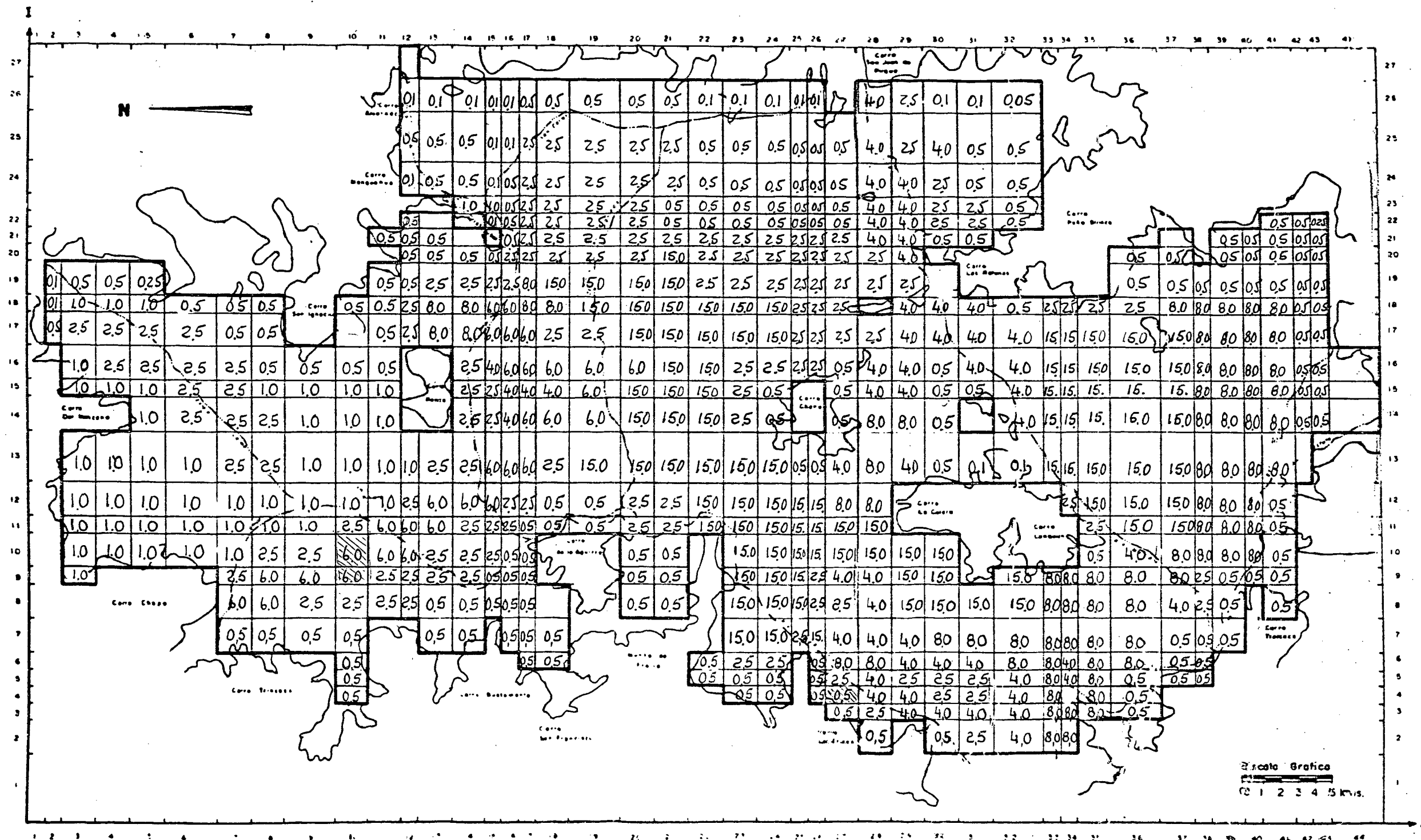
VALORES EN MILLONES M3

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	TOTAL ANUAL
MALLAS EXTERIORES	-3.57	-3.58	-3.55	-3.61	-3.64	-3.63	-3.64	-3.64	-3.70	-3.74	-3.79	-3.85	-43.93
RIO	-3.72	-11.00	-13.42	-16.26	-17.32	-17.03	-18.17	-19.56	-21.44	-22.72	-23.61	-23.36	-207.59
VERTIENTES	-25.46	-34.87	-34.61	-39.91	-42.80	-40.93	-41.26	-42.37	-45.36	-47.49	-48.31	-47.53	-490.89
ALMACENAMIENTO	8.76	-23.27	-24.56	25.57	3.28	-29.53	0.03	9.74	90.01	65.97	72.31	45.16	243.47
BOMBEO DE RIEGO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-10.11	-20.22	-30.33	-30.33	-10.11	0.0	-101.10
BOMBEO DE AGUA POTABLE	-7.40	-6.58	-5.76	-5.35	-4.94	-5.76	-6.17	-6.58	-7.40	-8.64	-9.46	-8.23	-82.27
BOMBEO DE INDUSTRIAS	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-22.50
INF. RIEGO SECTOR NORTE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.48	8.95	13.43	13.43	4.48	0.0	44.77
INF. RIEGO SECTOR ORIENTE	32.82	24.61	24.61	16.41	8.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.41	41.62	164.08
INF. RIEGO SECTOR PONIENTE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.54	48.81	65.08	65.08	65.08	48.81	325.42
INF. RIEGO SECTOR SUR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.87	19.30	25.73	25.73	25.73	19.30	128.65
INF. DE RIEGO POR AGUAS SUB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.39	4.78	7.16	7.16	2.39	0.0	23.88
INF. LLUVIAS ZONA NORTE	0.0	0.0	0.0	16.18	12.13	8.09	4.04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.45
INF. LLUVIAS ZONA ORIENTE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.49	19.24	6.41	0.0	64.15
INF. LLUVIAS ZONA SUR	0.0	0.0	0.0	35.89	26.92	17.95	8.97	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.73
INF. LLUVIAS ZONA CENTRO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.26	0.63	0.21	0.0	0.0	0.0	2.10
INF. DESDE LA RED DE A.P.	12.21	10.85	9.50	8.82	8.14	9.50	10.17	10.85	12.21	14.24	15.60	13.57	135.66
INFILTRACIONES ESTERO LAMPA	0.0	0.0	0.0	0.52	0.52	0.52	0.52	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.10
INFILTRACIONES ESTERO COLIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.31	0.31	0.61	1.84	1.84	1.22	0.0	0.0	6.12
INF. RIO MAPOCHO BAJO	0.0	0.0	1.11	4.44	4.44	3.33	3.33	2.22	2.22	1.11	0.0	0.0	22.20
INF. RIO MAPOCHO ALTO	0.0	0.0	0.0	4.02	6.70	0.0	0.0	0.0	0.67	0.67	0.67	1.34	13.41
INFILTRACIONES RIO MAIPO	6.66	0.0	0.0	6.66	6.66	0.0	0.0	6.66	33.29	33.29	33.29	6.66	133.15
BALANCE TOTAL	0.93	0.86	0.58	0.38	0.19	0.02	-0.06	0.06	0.22	0.44	0.60	0.71	4.88

VALORES POSITIVOS INDICAN ENTREGAS AL VALLE

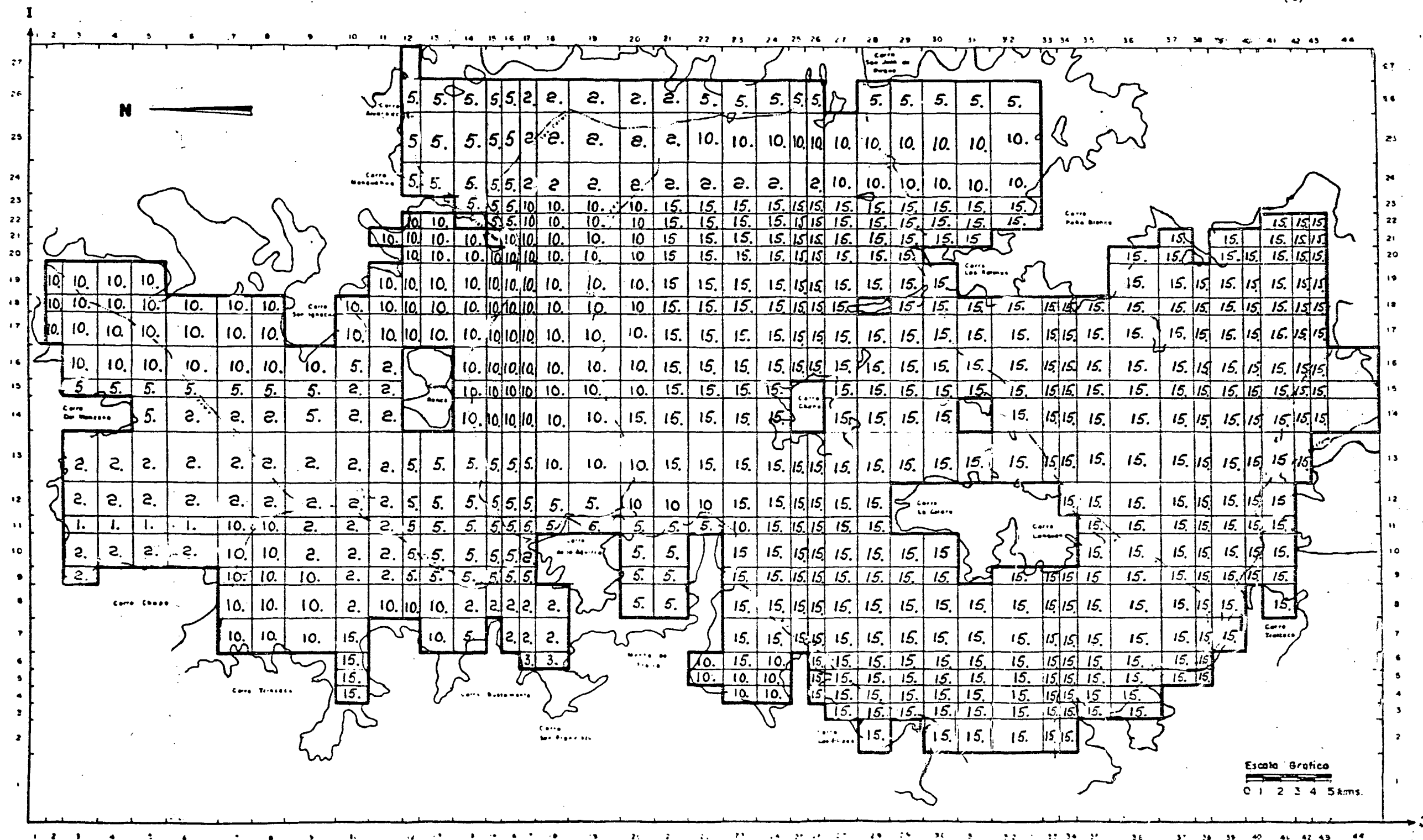
MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

VALORES FINALES AJUSTE
TRANSMISIVIDAD
(miles m²/día)



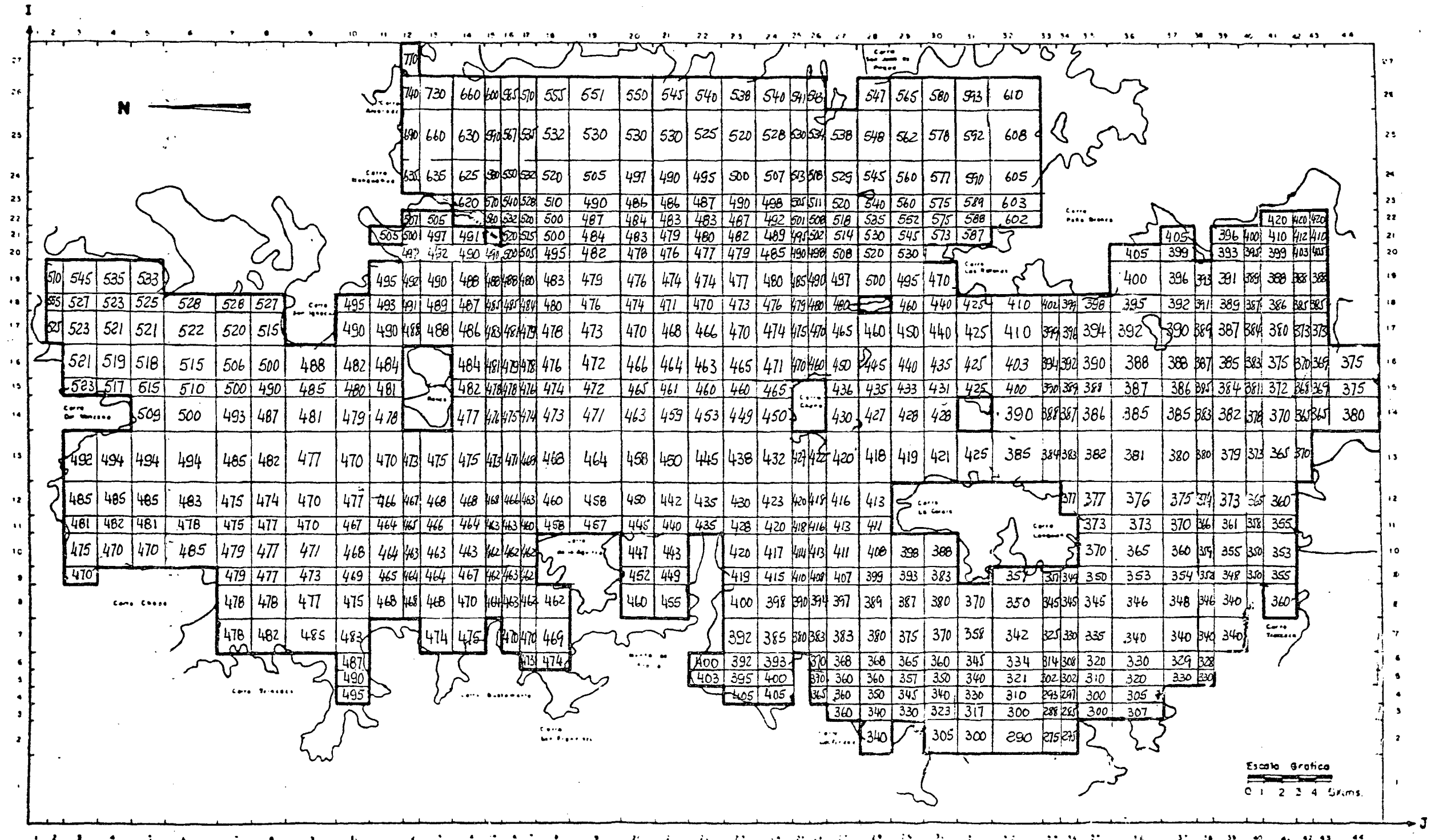
MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

VALORES FINALES AJUSTE
COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO S
(%)



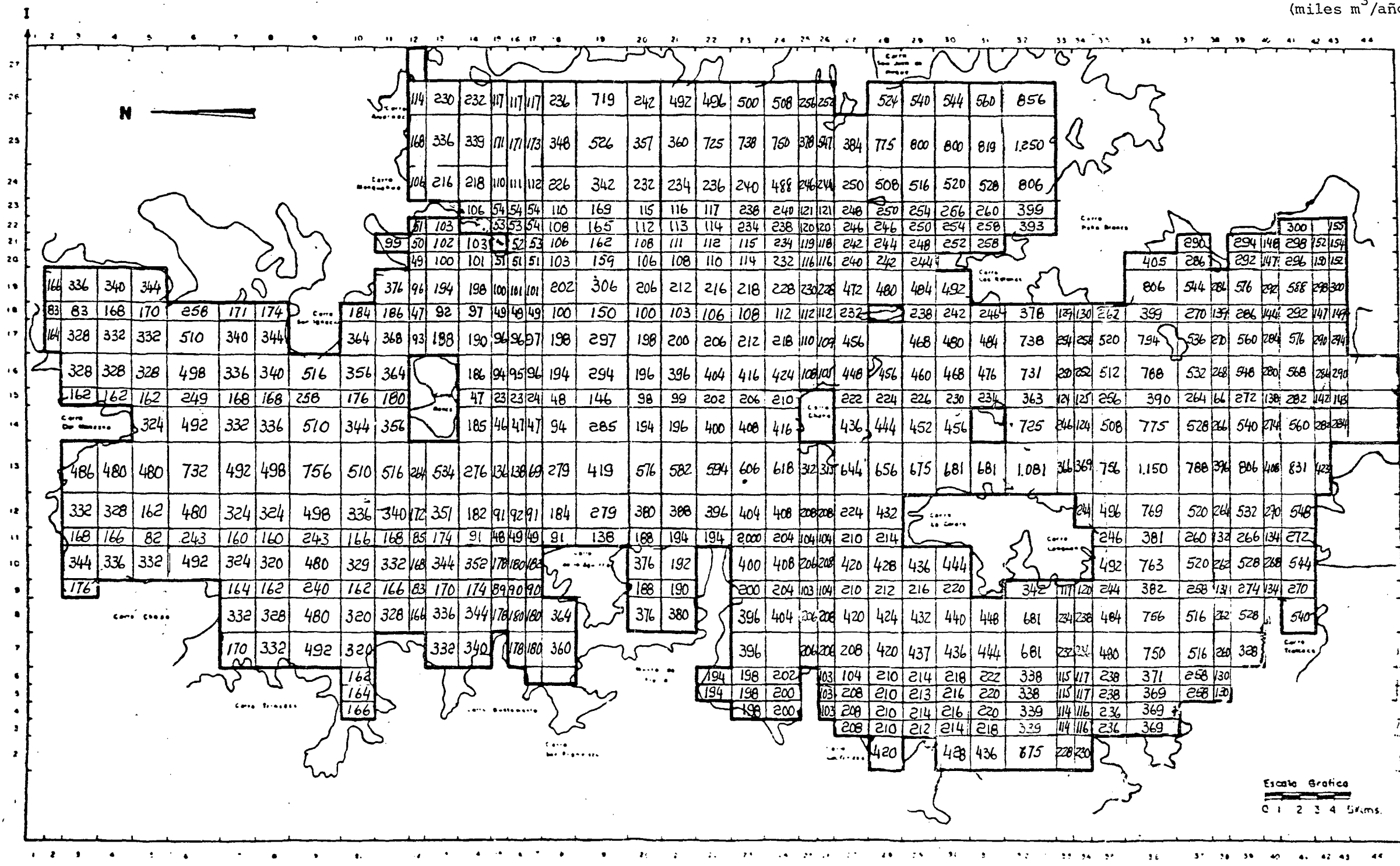
MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

VALORES FINALES AJUSTE
PIEZOMETRIA INICIAL
(metros)



MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

VALORES FINALES AJUSTE
INFILTRACIONES POR LLUVIAS
(miles m³/año)



5.2.3.2 Proposición de Pasadas de Simulación.

Para la simulación se ha considerado interesante conocer la respuesta del acuífero frente a 3 nuevas situaciones.

La primera corresponde a la puesta en riego de todas las tierras ubicadas al Norte del río Mapocho. La segunda se refiere a una explotación mucho más intensa de las plantas de agua potable de la cuenca. Por último, se quiere plantear un saneamiento global de las tierras de Paine y Viluco, que suelen convertirse en pantanos en los años lluviosos.

Ahora bien, conociendo las características del funcionamiento del embalse subterráneo de la cuenca, estas tres simulaciones pueden perfectamente realizarse en forma simultánea, por cuanto los sectores involucrados en ellos actúan en forma relativamente independiente el uno del otro.

En consecuencia, se sugiere hacer una sola pasada de simulación que junte las tres nuevas condiciones.

5.2.3.3 Sugerencias para la Recopilación de Antecedentes del Acuífero.

Tal como se ha dicho al finalizar el proceso de ajuste, para un mejor conocimiento del acuífero, es necesario contar con datos de terreno más completos, actuales, y medidos en un lapso común de tiempo.

Para el caso concreto del embalse subterráneo Maipo-Mapocho, el proceso de modelación del acuífero ha señalado como muy necesaria la siguiente información :

- Localización exhaustiva de norias y vertientes.
- Selección de las vertientes más importantes y campaña de aforos mensuales de las mismas.

- Una Campaña de Geofísica de resistividad eléctrica a la escala 1:50.000, para definir la ubicación de la roca basal, límite inferior del acuífero, e identificar paquetes de mayor o menor permeabilidad dentro del acuífero.
- Una campaña de nivelación topográfica, con precisión de 1 cm, que incluya :
 - . Sondeos
 - . Pozos
 - . Norias
 - . Vertientes
 - . Fondos de ríos y esteros
- Una campaña de medición sistemática de niveles estáticos en un número seleccionado de pozos y norias.
- Registro exhaustivo de volúmenes extraídos por pozos y sondeos.
- Perforación de algunos sondeos de reconocimiento en aquellos lugares donde se cuenta con muy poca información del acuífero.
- Construcción de algunas norias para la medición de niveles estáticos en los sectores donde éstos son poco profundos.
- Campaña de análisis del riego, que incluya :
 - . Medidas de caudales derivados por canales.
 - . Medidas de caudales aplicados a los predios y caudales salientes como sobrantes.
 - . Experiencia de infiltraciones en canales y esteros, mediante aforos diferenciales, en sitios convenientemente elegidos.

5.3 PROCESO DE SIMULACION.

5.3.1 Introducción.

De acuerdo a lo propuesto en el capítulo anterior, se ha programado una pasada de simulación.

Esta incluye simultáneamente, una explotación más intensiva del acuífero en el sector ubicado al Norte del río Mapocho para incorporar al riego zonas sin cultivar, mayores bombeos para el abastecimiento de agua potable y el drenaje de vegas y pantanos de las tierras de Paine y Viluco, en el extremo Sur de la cuenca.

A continuación se describe la metodología seguida para obtener los nuevos datos de entrada.

Se acompaña al final los planos con los valores por malla de los nuevos datos de entrada. (pág. 137 a 140).

5.3.2 Metodología de Cálculo.

5.3.2.1 Riego para el Sector Norte.

- a) En primer lugar se ha identificado todas las mallas que no se riegan, o bien aquellas donde sólo se hace parcialmente. Para cada una de ellas se ha medido la superficie total regable, como también la parte que es regada por canales.
- b) Luego se ha obtenido los volúmenes bombeado por malla, de acuerdo a lo indicado por la encuesta realizada para el presente estudio. Con este dato y suponiendo que el riego con aguas subterráneas se efectúa con una dotación de 10.000 (m³/há/año), se ha calculado el área que los pozos riegan en cada malla.

- c) A continuación y con los datos de los dos puntos anteriores, se ha determinado la superficie sin riego. Posteriormente, y suponiendo también una dotación de 10.000 (m³/há/año), se ha podido finalmente calcular los volúmenes adicionales de bombeo por malla.
- d) Las infiltraciones de riego para este sector se han calculado suponiendo que un 20% del volumen bombeado vuelve al acuífero por infiltración.

El detalle del cálculo de los volúmenes de bombeo adicionales se incluye a continuación en el Cuadro N° 5.1.

CUADRO 5.1 : DETALLE DEL CALCULO DE LOS VOLUMENES DE BOMBEO ADICIONALES

MALLA I J	SUP. TOTAL REGABLE (Há)	SUP. REGADA POR CANAL (Há)	VOL. BOMBEO DISPONIBLE (miles m ³ año)	SUP. SIN RIEGO (Há)	VOL. BOMBEO ADICIONAL (miles m ³ año)
17-10	220	110	-	110	-1.100
16-10	400	250	-	150	-1.500
16-9	550	250	-	300	-3.000
15-10	200	100	-	100	-1.000
15-9	300	25	-	275	-2.750
15-8	200	150	-	50	- 500
14-11	400	370	505	0	+ 205
14-10	400	200	-	200	-2.000
14-9	600	30	-	570	-5.700
14-8	400	200	-	200	-2.000
13-12	300	150	189	130	-1.300
13-11	600	400	315	168	-1.680
13-10	600	200	189	380	-3.800
13-9	900	200	-	700	-7.000
13-8	600	550	-	50	- 500
13-7	600	500	391	60	- 600
13-6	900	750	442	106	-1.058
13-5	600	350	2.018	48	- 480
13-4	600	450	981	50	- 500
13-3	450	300	-	150	-1.500
12-15	200	120	-	80	- 800
12-14	320	100	-	220	-2.200
12-13	220	150	372	33	- 330
12-12	120	60	-	60	- 600
12-11	400	110	1.640	126	-1.260
12-10	320	80	757	164	-1.640
12-9	600	200	2.094	190	-1.900
12-8	400	250	-	150	-1.500
12-7	400	200	-	200	-2.000
12-6	600	150	-	450	-4.500

NOTA : Los valores positivos del bombeo adicional indican que el volumen actualmente bombeado excede la demanda de riego requerida.

CUADRO 5.1 (CONT.)

MALLA		SUP. TOTAL REGABLE	SUP. REGADA POR CANAL	VOL. BOMBEO DISPONIBLE	SUP. SIN RIEGO	VOL. BOMBEO ADICIONAL
I	J	(Há)	(Há)	(miles m ³ /año)	(Há)	(miles m ³ /año)
12-5		230	30	-	200	-2.000
12-4		380	280	442	50	- 500
12-3		400	50	934	57	-2.570
11-16		60	40	-	20	- 200
11-15		100	10	-	90	- 900
11-14		200	-	-	200	-2.000
11-13		200	180	-	20	- 200
11-12		100	80	-	20	- 200
11-11		200	10	694	120	-1.200
11-10		200	110	-	90	- 900
11-9		300	225	-	75	- 750
11-8		200	-	-	200	-2.000
11-7		200	-	-	200	-2.000
11-6		300	-	-	300	-3.000
11-5		400	100	252	275	-2.750
11-4		175	75	-	100	-1.000
11-3		175	10	-	165	-1.650
10-16		200	10	-	190	-1.900
10-15		200	-	-	200	-2.000
10-14		400	-	-	400	-4.000
10-13		400	100	631	237	-2.370
10-12		200	25	-	175	-1.750
10-11		400	-	820	318	-3.180
10-10		400	-	1.577	242	-2.420
10-9		600	-	4.389	160	-1.600
10-8		400	-	971	303	-3.030
10-7		400	-	1.097	290	-2.900
10-6		600	-	2.838	316	-3.160
10-5		400	-	1.253	275	-2.750
10-4		300	-	-	300	-3.000

NOTA: Los valores positivos del bombeo adicional indican que el volumen actualmente bombeado excede la demanda de riego requerido.

CUADRO 5.1 (CONT.)

MALLA	SUP. TOTAL REGABLE	SUP. REGADA POR CANAL	VOL. BOMBEO DISPONIBLE	SUP. SIN RIEGO	VOL. BOMBEO ADICIONAL
I J	(Há)	(Há)	(miles m ³ /año)	(Há)	(miles m ³ /año)
10-3	350	-	505	300	-2.995
9-15	100	-	-	100	-1.000
9-14	200	80	1.260	0	+ 60
9-13	200	150	757	0	+ 260
9-12	100	15	-	85	- 850
9-11	200	-	1.261	74	- 740
9-10	200	-	-	200	-2.000
9-9	300	-	870	213	-2.130
9-8	200	-	3.784	0	+1.784 //
9-7	200	-	1.154	85	- 846
9-3	100	-	2.229	0	+1.229
8-12	190	100	946	0	+ 46
8-11	400	-	3.280	70	- 700
8-10	400	-	2.018	198	-1.980
8-9	600	-	2.914	310	-3.100
8-8	400	-	3.343	65	- 650
8-7	400	-	5.160	0	+1.160
7-10	350	-	1.943	156	-1.560
7-9	600	-	2.775	322	-3.220
7-8	375	-	-	375	-3.750
7-7	200	-	5.563	0	+3.563
6-10	175	-	-	175	-1.750
5-10	200	-	-	200	-2.000
4-10	150	-	-	150	-1.500

NOTA : Los valores positivos del bombeo adicional indican que el volumen actualmente bombeado excede la demanda de riego requerida.

5.3.2.2 Nuevas Extracciones para Agua Potable.

Pensando en una condición más o menos real respecto a las futuras demandas de agua potable, se ha decidido simular un bombeo tres veces superior al actual.

La localización de los nuevos pozos requeridos para este efecto, será la misma de los actuales. Con ello se simula una situación más desfavorable para el acuífero, aunque ajustada a la realidad, ya que hasta ahora los pozos de abastecimiento de agua potable se han concentrado sólo en los recintos contemplados para este fin.

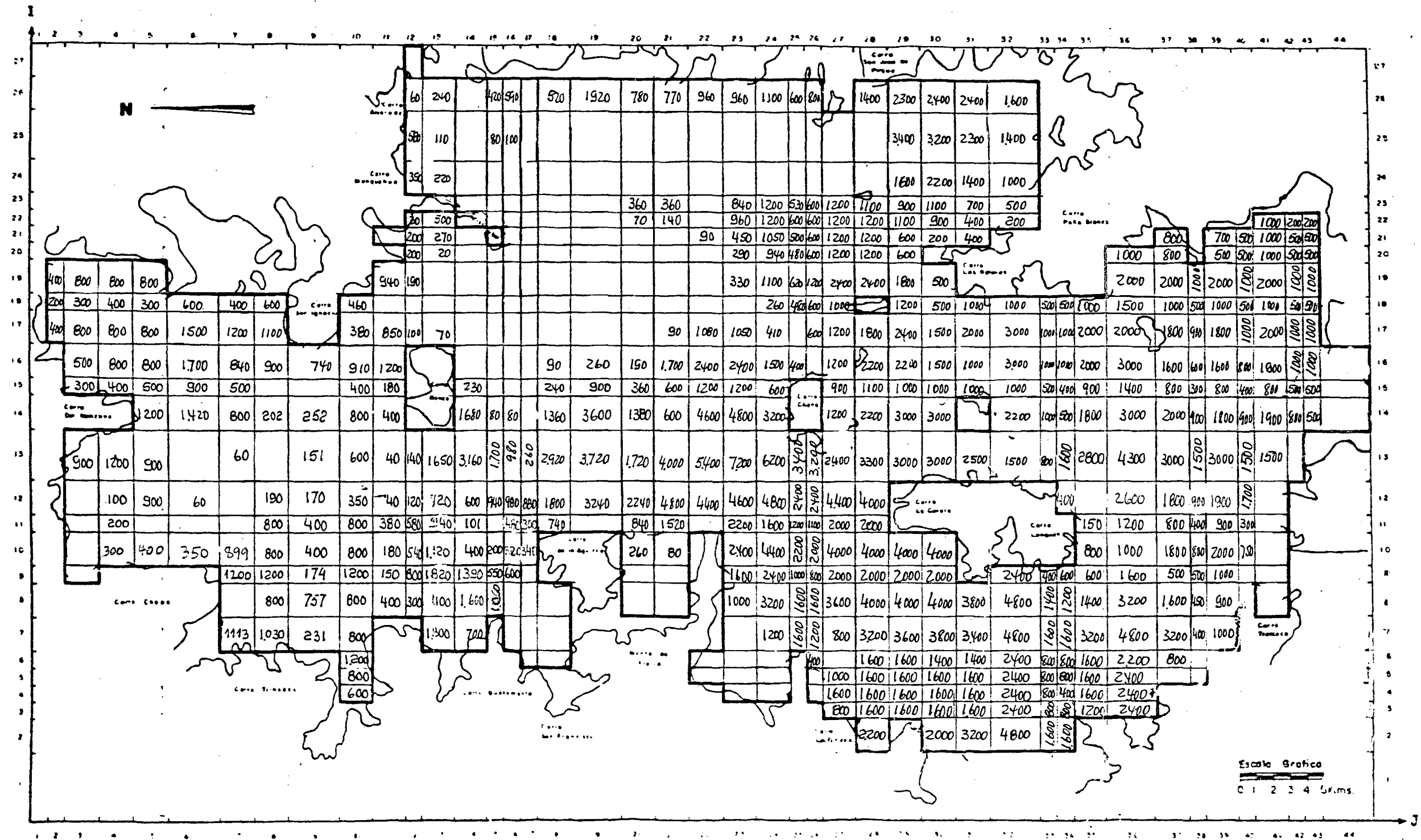
5.3.2.3 Drenaje de Paine y Viluco.

Por ser frecuentes las reveniciones, o inundaciones por efecto de las aguas subterráneas, en los años lluviosos, se ha considerado de interés estudiar el saneo de esta zona.

Para ello se ha bajado la cota de las vertientes en 3 metros, a lo largo de tres líneas de drenaje. Una de ellas coincide con el Estero La Berlina, que ya sirve de dren del sector Paine. Las otras dos serían grandes canales que descargarán al Estero Paine. La ubicación precisa por malla de estos drenes se encuentra en el plano que va a continuación (pág. 140).

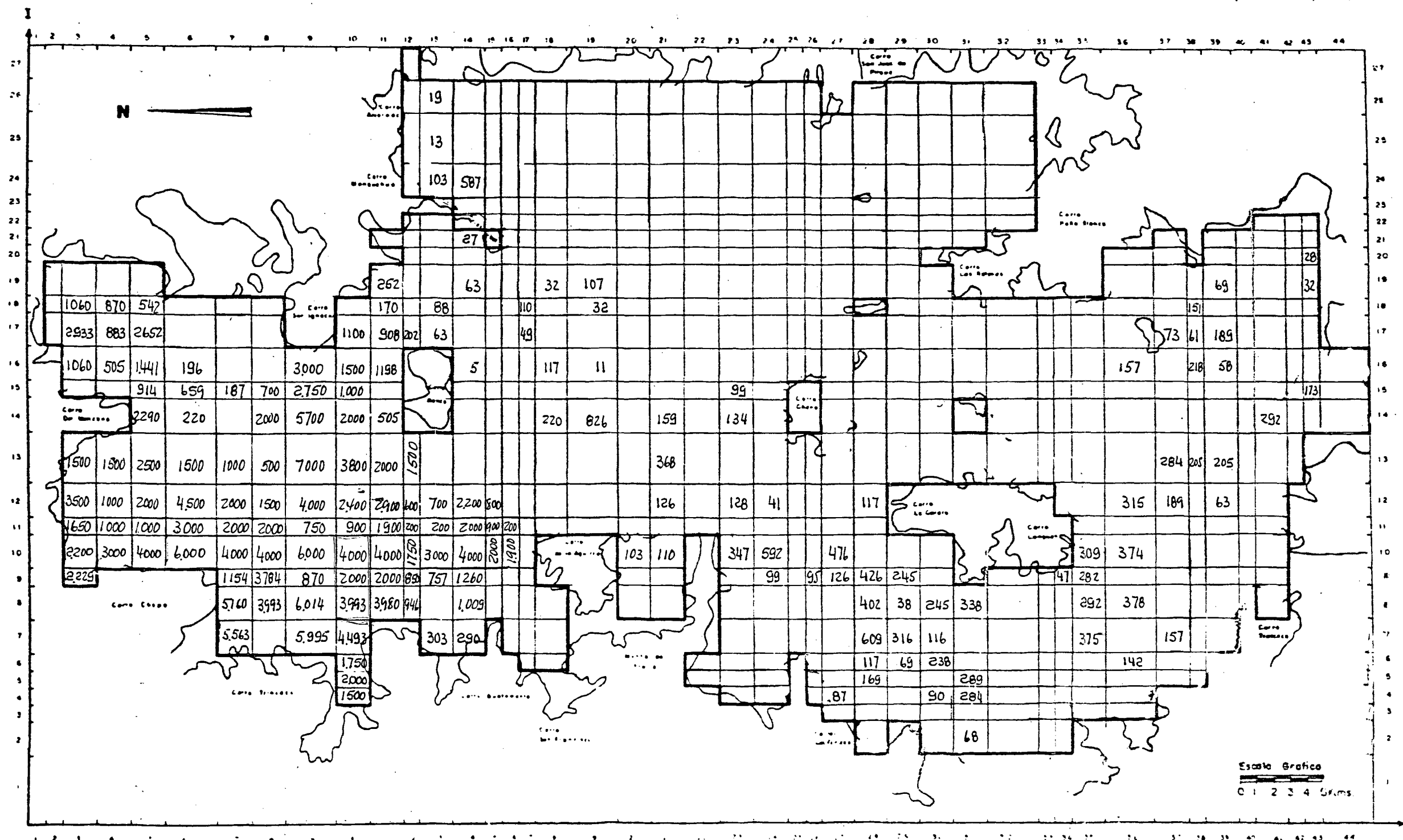
MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

PASADA DE SIMULACION
INFILTRACIONES DE RIEGO
(miles m³/año)



MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

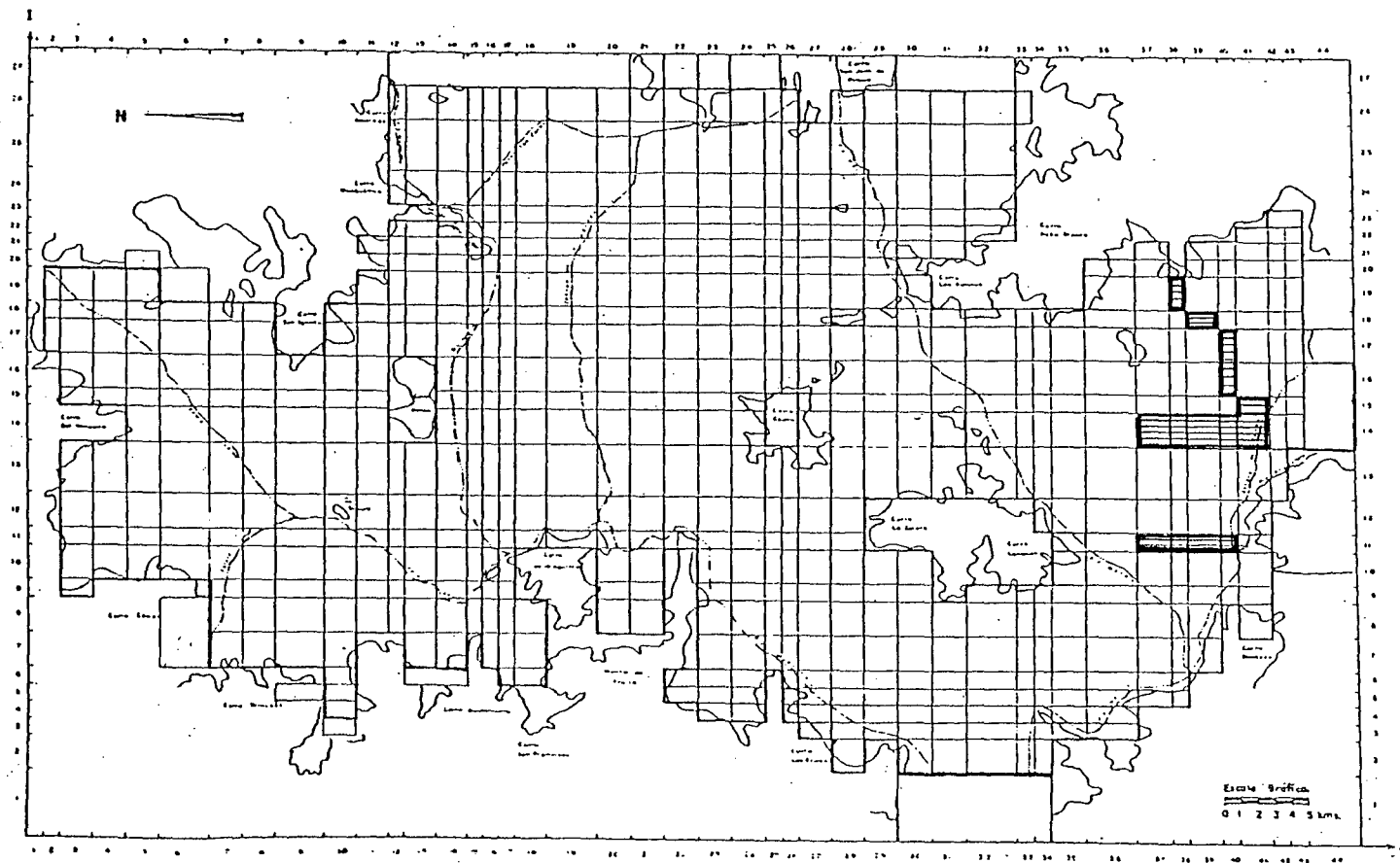
PASADA DE SIMULACION
BOMBEO PARA RIEGO
(miles m³/año)




MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

DRENES PASADA DE SIMULACION

16-01-84



 MALLAS CON SIMULACION DE DRENES

5.3.3 Relación de Pasadas.

La pasada de simulación se efectuó el 16.01.84 con los siguientes resultados para el Balance Másico.

=====	
	Vol. (Mm3/año)
=====	
ENTRADAS AL ACUIFERO	
- Infiltraciones de riego	707
- Infiltraciones por lluvias	196
- Infiltraciones desde la red de agua potable	136
- Infiltraciones desde ríos y esteros	<u>177</u>
T o t a l	1.216
SALIDAS DESDE EL ACUIFERO	
- Bombeos	504
- Mallas exteriores	43
- Vertientes	469
- Río	<u>195</u>
T o t a l	1.211
VARIACIONES DE ALMACENAMIENTO	0
=====	

Comparando estos resultados con los de la última pasada de ajuste (N° 7) sale que los 300 (Mm3/año) adicionales de bombeo que se ha solicitado al acuífero, son suplidos en un 82% por el almacenamiento, un 7% por las infiltraciones de riego y el restante 11% por la merma de afloramientos a las vertientes.

El análisis del plano, que se adjunta (pág. N° 146), del descenso de niveles respecto de la Pasada N° 7, sin las nuevas explotaciones, indica lo siguiente :

- Los nuevos bombeos de riego en el sector Norte del acuífero, producen que los niveles bajen entre 3 y 16 metros. La zona más crítica es la de Batuco, con descensos entre 10 y 16 metros. Esto no debería extrañar ya que este sitio es un rincón alejado de las recargas desde los esteros Lampa y Colina y fuera del flujo subterráneo principal.

En el resto del sector los descensos no superan los 9 metros, siendo el valor promedio unos 6 metros.

Como conclusión se saca que en el sector podría explotarse más intensamente el recurso subterráneo. Debería tenerse cuidado eso sí, con la zona de Batuco. Los beneficios de un mayor bombeo son indudables. Podría en prímer lugar ponerse en riego una extensa zona agrícola, actualmente improductiva, y que por añadidura se localiza muy próxima al gran centro de consumo que es la ciudad de Santiago. Adicionalmente, el descenso de niveles producidos por estas extracciones, significaría el saneo de vastas extensiones, que hoy se encuentran empantanadas debido a lo superficiales que se hayan los niveles freáticos.

- El bombeo adicional para el abastecimiento de agua potable significa un descenso que en promedio no pasa de los 3 metros y que como máximo alcanza los 4 metros. El área cubierta por este efecto abarca la región al sur del río Mapocho hasta los cerros de Chena, en el sentido Norte-Sur y al Poniente de la Avda. Vicuña Mackenna hasta los cerros de Lo Aguirre, en el sentido Oriente-Poniente.

Como conclusión, no habría ningún problema en explotar más intensamente el acuífero en todo este sector.

En cuanto a la concentración del bombeo que significa el sistema empleado por las empresas de agua potable, al parecer no produciría depresiones localizadas; por lo menos no a la escala empleada en este modelo.

- Los drenes simulados en el extremo Sur de la cuenca no significan en absoluto alteraciones en los niveles del sector. Como consecuencia, no debería esperarse que una solución como ésta, de carácter supuestamente global, sea realmente efectiva.

Ahora, al comparar el plano del Balance Másico, (pág. N°147 que se incluye al final de este análisis, con el de la 7a. Pasada de ajuste, correspondiente a la situación sin explotación, se puede señalar lo siguiente :

- Los bombeos adicionales del sector Norte significan que las vertientes bajan al 70% de su valor original. Con seguridad, si la simulación durase dos años, estos afloramientos habrían disminuído aún mucho más.
- En cambio los mayores bombeos para agua potable no se reflejan en absoluto en el Balance Másico. Esto indica que su efecto queda confinado al área donde se efectúa la explotación, sin afectar el resto del acuífero.
- En cuanto a los drenes del sector Sur, su efecto se manifiesta en mayores salidas por vertientes y menores por el río. Esto es precisamente lo esperado, ya que significa que los afloramientos se están recogiendo antes de salir al río y por lo tanto, dejan una franja paralela al río con los niveles más profundos.

En resumen, la pasada de simulación señala :

- a) Que el acuífero es perfectamente capaz de abastecer demandas futuras de agua potable, sin verse mayormente afectado. Más aún, la explotación más intensiva de los actuales recintos de bombeo tiene un radio de acción bien delimitado y en ningún caso altera el acuífero más allá de un área restringida.
- b) Que las áreas no cultivadas del sector Norte de la cuenca, bien podrían ser regadas con aguas subterráneas. El efecto de una medida de esta naturaleza quedaría confinado a la zona ubicada al Norte del río Mapocho produciendo allí descensos plenamente aceptables. Estos descensos, sin embargo, lejos de ser perjudiciales, más bien son favorables, por permitir el saneo de muchas tierras no cultivables debido a lo superficial de los niveles de la napa.
- c) Que el drenaje de las localidades de Paine y Viluco requiere de obras mucho mayores que las planteadas en esta simulación.

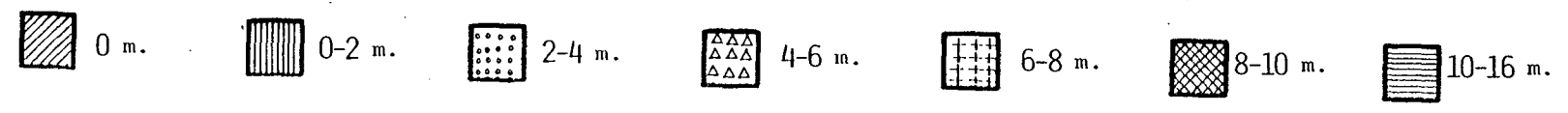
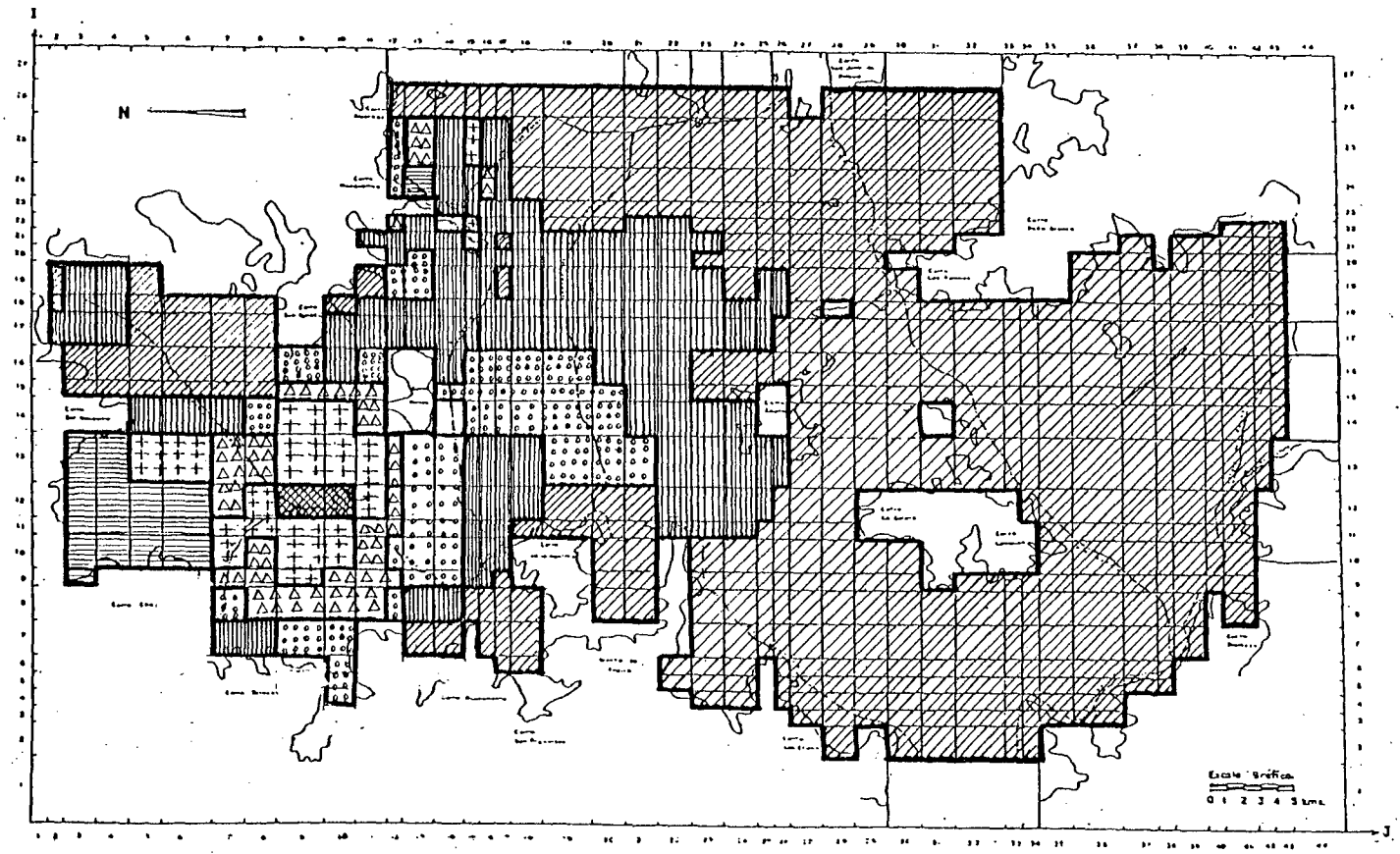
RESUMEN BALANCE MASICO PASADA DE SIMULACION

VALORES EN MILLONES M3

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	TOTAL ANUAL
MALLAS EXTERIORES	-3.56	-3.56	-3.53	-3.58	-3.61	-3.59	-3.60	-3.58	-3.60	-3.60	-3.62	-3.66	-43.08
RIO	-3.41	-10.41	-12.66	-15.40	-16.42	-16.07	-17.16	-18.41	-20.16	-21.34	-22.12	-21.79	-195.34
VERTIENTES	-27.90	-35.68	-35.54	-40.64	-43.23	-41.44	-38.28	-37.62	-40.43	-42.51	-43.49	-42.71	-465.44
ALMACENAMIENTO	-8.15	-36.61	-36.20	15.06	-6.08	-40.54	-19.56	-20.08	47.58	21.28	48.61	35.34	0.64
BOMBEO DE RIEGO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-23.45	-46.91	-70.36	-70.36	-23.45	0.0	-234.53
BOMBEO DE AGUA POTABLE	-22.21	-19.75	-17.28	-16.04	-14.61	-17.28	-18.51	-19.75	-22.21	-25.92	-28.38	-24.68	-246.82
BOMBEO DE INDUSTRIAS	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-1.87	-22.50
INF. RIEGO SECTOR NORTE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.48	8.95	13.43	13.43	4.48	0.0	44.77
INF. RIEGO SECTOR ORIENTE	32.82	24.61	24.61	16.41	8.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.41	41.62	164.08
INF. RIEGO SECTOR PONIENTE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.54	48.81	65.08	65.08	48.81	32.54	325.42
INF. RIEGO SECTOR SUR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.87	19.30	25.73	25.73	19.30	12.87	126.65
INF. RIEGO AGUAS SUBT.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.41	8.83	13.24	13.24	4.41	0.0	44.15
INF. LLUVIAS ZONA NORTE	0.0	0.0	0.0	16.18	12.13	8.09	4.04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.45
INF. LLUVIAS ZONA ORIENTE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.49	19.24	6.41	0.0	64.15
INF. LLUVIAS ZONA SUR	0.0	0.0	0.0	35.89	26.92	17.95	8.97	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.73
INF. LLUVIAS ZONA CENTRO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.26	0.63	0.21	0.0	0.0	0.0	2.10
INF. DESDE LA RED DE A.P.	12.21	10.85	9.50	8.82	8.14	9.50	10.17	10.85	12.21	14.24	15.60	13.57	135.66
INFILTRACIONES ESTERCO LAMPA	0.0	0.0	0.0	0.52	0.52	0.52	0.52	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.10
INFILTRACIONES ESTERCO COLIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.31	0.31	0.61	1.84	1.84	1.22	0.0	0.0	6.12
INF. RIO MAPOCHO BAJQ	0.0	0.0	1.11	4.44	4.44	3.33	3.33	2.22	2.22	1.11	0.0	0.0	22.20
INF. RIO MAPOCHO ALTQ	0.0	0.0	0.0	4.02	6.70	0.0	0.0	0.0	0.67	0.67	0.67	1.34	13.41
INFILTRACIONES RIO MAIPO	6.66	0.0	0.0	6.66	6.66	0.0	0.0	6.66	33.29	33.29	33.29	6.66	133.15
BALANCE TOTAL	0.89	0.81	0.55	0.37	0.18	-0.02	-0.09	0.04	0.21	0.40	0.55	0.65	4.54

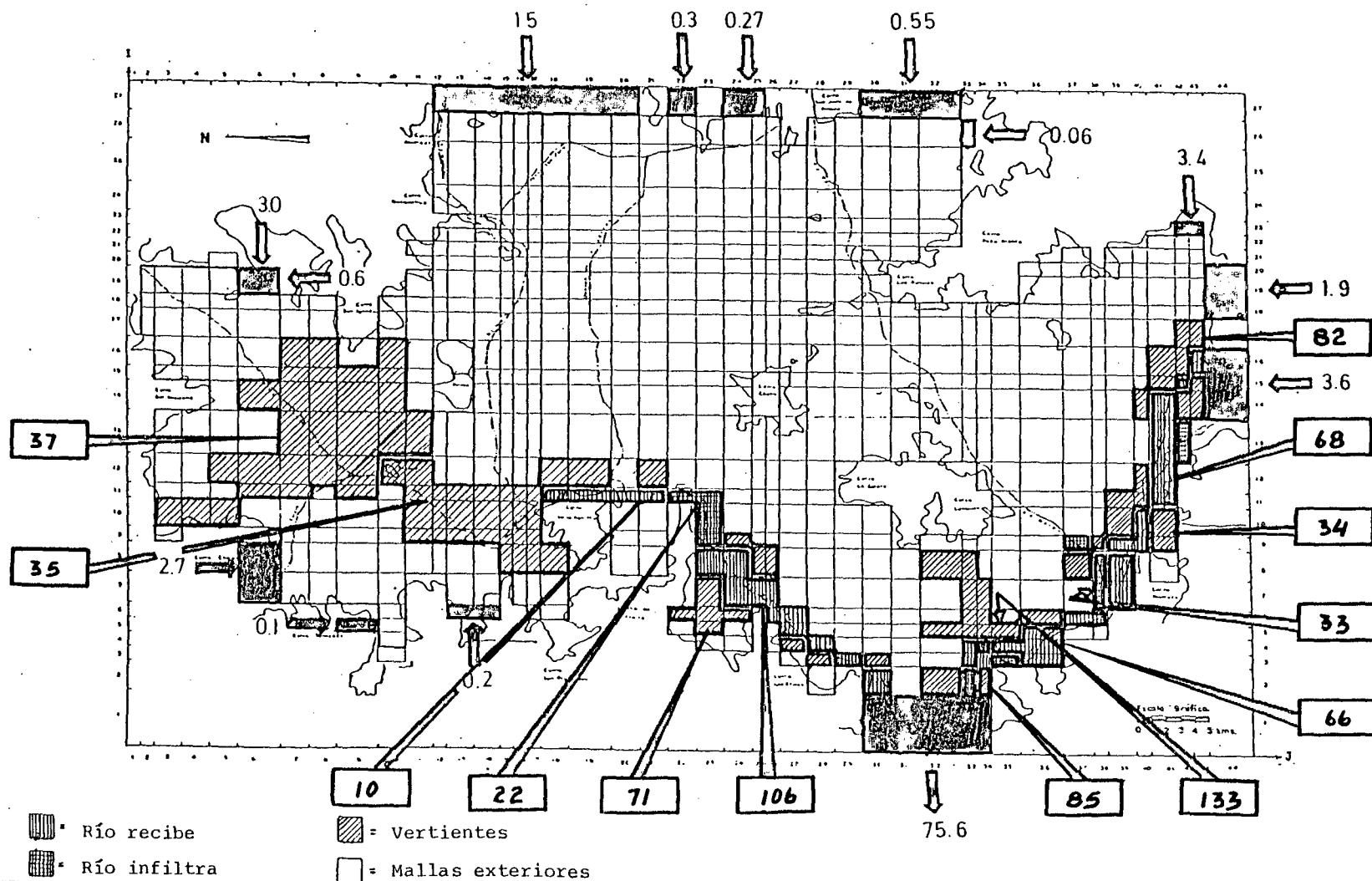
VALORES POSITIVOS INDICAN ENTRADAS AL ACUIFERO

MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO DESCENSOS DE NIVELES PASADA DE SIMULACION



MODELO HIDROGEOLOGICO DE MAIPO - MAPOCHO

BALANCE MASICO ($Mm^3/año$) - PASADA DE SIMULACION



5.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.4.1 Conclusiones.

El modelo matemático construido para reproducir las características hidrogeológicas del acuífero de Maipo-Mápocho, es una herramienta adecuada y útil para estudiar el comportamiento actual y futuro del embalse subterráneo, frente a diversas condiciones de explotación.

Como resultado del proceso de ajuste se ha identificado para el acuífero, tres grandes zonas de comportamiento hidrogeológico relativamente homogéneo. Estas se han denominado Norte, Oriente y Sur, localizándose la primera al Norte del río Mapocho, la segunda abarcando toda la ciudad de Santiago hasta San Bernardo, incluidos los faldeos precordilleranos y la última, tomando la superficie que está al Sur de los Cerros de Chena y al poniente de la ciudad.

La zona Norte se caracteriza por sus niveles subterráneos poco profundos y el confinamiento a que está sometida la napa en gran parte de su extensión. Las recargas ocurren fundamentalmente por las infiltraciones desde los esteros Lampa y Colina y las producidas por las lluvias, que ingresan al acuífero esencialmente por el piedemonte. Las descargas se manifiestan tanto por bombeos, destinados principalmente al riego, como salidas por vertientes y evapotranspiración directa.

La zona Oriente presenta niveles estáticos más bien profundos, recargando el acuífero las lluvias, las infiltraciones de riego, las provenientes de los ríos Maipo y Mapocho y las pérdidas desde la red de agua potable. Las descargas principales son el bombeo para agua potable e industrias y las salidas subterráneas al resto de la cuenca.

La zona Sur, como la Norte, tiene niveles estáticos superficiales en su mayor parte. Su principal característica hidrogeológica es, sin embargo, constituir la región de descarga del embalse subterráneo, las que se verifican a través de numerosas vertientes. Como ingresos al acuífero, se cuentan las infiltraciones por lluvias y regadío, éstas últimas muy importantes, además de los aportes subterráneos provenientes del resto de la cuenca. Fuera de las vertientes, se cuentan como salidas desde el acuífero, los bombeos para regadío y los egresos subterráneos hacia el Poniente.

El proceso de simulación ha estudiado simultáneamente, una explotación más intensiva del acuífero en la zona Norte con fines de riego, el abastecimiento de futuras demandas de agua potable con recursos provenientes del embalse subterráneo y el drenaje de tierras agrícolas en las localidades de Paine y Viñuco, en el extremo Sur de la cuenca.

Como resultado se ha obtenido que la napa subterránea admite sin dificultades las nuevas explotaciones, provocando el riego de la zona Norte un descenso medio de niveles de 7 metros, mientras que el abastecimiento adicional de agua potable significaría sólo 3 metros promedio de desnivel.

En cuanto al saneo del sector Sur, los drenes propuestos con este fin son claramente insuficientes. Esto indicaría la necesidad de una red de drenaje mucho más amplia, extensa y profunda que la actualmente disponible.

5.4.2 Recomendaciones.

Tal como se ha comentado en el punto 5.2 de este informe, el proceso de modelación es por naturaleza dinámico y requiere, para mejorar la representación matemática del acuífero, de datos de terreno más completos y abundantes.

Es por ello que, a la luz del mayor conocimiento del acuífero que otorga el modelo desarrollado, se sugiere una serie de campañas de terreno para la recopilación de nuevos antece-
dentes, que permitan en el futuro un conocimiento más acabado del embalse subterráneo.

La información adicional que, a juicio nuestro debiera recopilarse, implica lo siguiente :

- Ubicación de la roca basal e identificación de paquetes de mayor y menor permeabilidad dentro del acuífero. Para esto lo más adecuado es una campaña de geofísica de resistividad eléctrica.
- Localización exhaustiva de norias y vertientes, para lue
go aforar y medir niveles estáticos en un número selec-
cionado de ellas.
- Cota de terreno precisa y concordante de sondeos, pozos, norias, vertientes y fondos de ríos y esteros. Para ello sería necesario el desarrollo de una campaña de nivela-
ción.
- Medición sistemática de niveles estáticos en un número se
lecto de pozos y norias.
- Perforación de algunos sondeos y norias de reconocimiento, para los sectores con escasa información hidrogeológica.
- Una campaña de análisis de riego, que incluya: mediciones de los caudales derivados por canales y los aplicados a los predios, además de experiencias de infiltraciones en predios tipo.
- Una encuesta exhaustiva de los volúmenes extraídos por po
zos, tanto en aquellos destinados a regadío, como los que se emplean en el abastecimiento de agua potable e indus-
trias.

Por último, cabe señalar como de gran importancia, el que las campañas de aforos de vertientes, de medida de niveles estáticos, análisis de riego y encuesta de los volúmenes bombeados, se hagan en forma simultánea y por un período no inferior a un año.

6.- APLICACION DEL MODELO A LA CUENCA
CHACABUCO - POLPAICO

6 APLICACION DEL MODELO A LA CUENCA CHACABUCO-POLPAICO

6.1 DATOS DE ENTRADA

6.1.1 Aspectos Generales

Los datos de entrada al modelo están constituidos por los valores iniciales de la piezometría, los valores de T y S asignados a cada malla, como también los volúmenes de infiltración por lluvias y riego, además de los volúmenes bombeados por cada malla.

Estos se definen con una periodicidad mensual puesto que así se ha elegido la discretización temporal.

La precisión requerida en estos datos iniciales debe estar en concordancia con la precisión exigida al modelo. No obstante, errores en la determinación de T, S y H_0 , son también advertidos en el modelo durante el proceso de calaje, en el cual se ajustan de acuerdo con un proceso de aproximaciones sucesivas.

Los valores colocados, tal y como se detallará más adelante, se basan tanto en las mediciones directas realizadas en el terreno, como en la interpretación hidrogeológica realizada por los especialistas.

6.1.2 Piezometría Inicial

Primeramente se analizó la información existente sobre fluctuaciones de niveles estáticos, obtenida ésta del estudio hidrogeológico previ efectuado en la 1a. Etapa.

La información abarca el período 1965 - 1981, contándose con 16 pozo con información aceptable.

Por lo expresado anteriormente con referencia a la discretización temporal, se requería elegir un período de 1 año con antecedentes mensuales, ello coincide con un ciclo de variaciones del nivel estático en el cual se definen máximos y mínimos.

Efectuado el análisis pudo constatar que para la parte baja del valle, sector con bombeo más intenso, los máximos se dan en Agosto y los mínimos en Marzo. Esta situación varía acorde con condiciones locales del resto del valle, es así como en la parte alta del valle los máximos se dan a fines del verano.

En general puede decirse que la fluctuación estacional del N.E tiene una amplitud media de 2 mts, dependiendo y variando acorde con la pluviometría anual y la ubicación del pozo en el valle.

El análisis permitió seleccionar el período 1974-1975 como año de simulación dado que la estadística recopilada es la con mayor información para año más reciente. A la vez se seleccionó el mes de Marzo de 1974 como el mes de inicio del período de simulación debido a su ubicación en la curva de variación.

La cota del punto de medida se obtuvo de las curvas planimétricas de planos 1 a 10.000 de la C.N.R., ello contrastado con cotas obtenidas por nivelación directa efectuadas éstas por CORFO en años anteriores. Se obtuvieron así las cotas, relativas a nivel del mar, del nivel estático para Marzo 1974 en 16 ubicaciones. Debe hacerse presente que las ubicaciones de pozos se obtuvieron del informe hidrogeológico referido anteriormente.

Apoyado en estos puntos, se trazaron las izopiezas Marzo 74 que se acompañan, obteniéndose de allí los valores correspondientes para cada celda del mallaje.

De dicho plano y la comparación de éste con el plano que contiene las cotas del terreno, se obtuvo además un plano de profundidades del N.E. relativas al terreno y de este último se obtuvieron los valores de N.E. respecto a terreno para cada celda de la malla.

6.1.3 Valores de T y S

6.1.3.1 Valores de T

Se analizó la información existente en el informe hidrogeológico y sus resultados vertidos en el plano N°18 de dicho informe "Áreas de Isotransmisibilidad".

Se contrastó dicha información con la entregada por la U. de Chile en el estudio "Técnicas Isotópicas en Estudios Hidrogeológicos, Aplicación a la Cuenca Chacabuco-Polpaico" de los autores Orphanopoulous S. y Guillermo Cabrera F., 1982.

Además se estudió la representatividad de los valores de T en función de la penetración de los pozos en el acuífero. A la vez se consideró la posible disminución de la transmisibilidad por efectos de depresión del nivel estático, valor más realista en un proceso de simulación de largo plazo.

Efectuado el análisis anterior, se determinó utilizar los datos del informe vertidos en el plano N°18, asignándose para cada tramo de isotransmisividad, el valor medio de dicho tramo.

Por superposición del mallaje al plano N°18 se obtuvieron los valores de T de cada celda, expresados en miles de m²/día.

Se acompaña el plano del mallaje con los valores de T para cada celda. Estos valores serán los de partida del modelo, los que se irán ajustando en el proceso de calibración del modelo.

6.1.3.2 Valores de S

Del estudio del informe Orphanopoulus y Cabrera, U. de Chile, 1982, se deducen antecedentes hidrogeológicos que permiten suponer valores del coeficiente de almacenamiento.

Estos valores de S así configurados, fueron analizados y contrastados con pruebas de bombeo y con antecedentes similares obtenidos por nuestra firma en experiencias anteriores.

Se asignaron valores a cada celda, propios de la naturaleza del acuífero, que en este valle presenta características de acuífero libre y considerando la evolución que dicho coeficiente presentará para efectos de drenaje retardado, propios de un proceso de simulación y bombeos a largo plazo.

Los valores de S asignados por celda se presentan en el plano de la página N°162 y serán los valores de entrada al modelo, los que se irán ajustando durante la calibración de éste.

6.1.4 Condiciones Topográficas

Para obtener la cota de terreno de cada celda se ha utilizado la topografía del plano 1 a 10.000 de la C.N.R. Se efectuaron reducciones a 1:50.000 y se sobrepuso el mallaje, obteniéndose así la cota del punto central de las celdas.

Las cotas de terreno en las diferentes celdas son necesarias para contrastar las salidas del modelo con las ubicaciones reales de las vertientes, ya que el modelo asignará como vertientes a aquellas celdas donde el nivel del agua subterránea resulte superior al nivel del terreno.

6.1.5 Infiltración por Regadío

Con el objeto de definir la zona regada en Chacabuco y Polpaico, se utilizó información entregada por el estudio hidrológico en el cual se clasificaron los suelos según su tipo de riego, destacándose tres clases principales:

- Riego I a IV
- Riego eventual, y
- Secano arable

Separadamente fue necesario confeccionar un plano con la red de riego (proveniente de Mosaicos IREN) y ubicar allí los pozos profundos.

Al sobreponer ambos planos, en escala 1 a 50.000, fue posible definir sectores regados sólo con aguas superficiales, otros regados sólo con aguas subterráneas y otros que se riegan con aguas superficiales complementadas con aguas subterráneas en los períodos de escasez de las primeras. Este plano N°68, indica el tipo de agua de riego utilizada y según la trama, la clasificación de riego dada por el estudio hidrológico.

Cuantificando la superficie regada según esos parámetros, se obtiene:

- Riego I a IV	4.745 hás
- Riego eventual	2.850 "
- Secano arable (bajo canal)	<u>318 "</u>
Total	7.913 hás
- Con aguas superficiales	2.888 hás
- Con aguas subterráneas	1.082 "
- Con aguas mixtas	<u>3.943 "</u>
Total	7.913 hás

Como tasas de infiltración probable se asignaron:

- 4.000 m³/há/año a los terrenos regados con aguas superficiales, lo que representa aproximadamente un 30% de la tasa anual de riego.
- 2.000 m³/há/año a los terrenos regados con aguas subterráneas, lo que representa aproximadamente un 20% de la tasa anual de riego con estas aguas y
- 3.000 m³/há/año a los terrenos regados con aguas de ambas fuentes, siendo ello un promedio de las tasas anuales de riego para los casos anteriores.

Dichos valores, totales anuales se distribuirán en el período total de riego de acuerdo con la siguiente escala:

=====	
Mes	%
Sep	8
Oct	12
Nov	15
Dic	15
Ene	15
Feb	15
Mar	10
Abr	10
=====	
Año	100
=====	

Los volúmenes totales anuales infiltrados por efectos de regadío en cada celda del mallaje y calculados de acuerdo con la metodología descrita, aparecen en el plano que se acompaña en página N°164.

6.1.6 Infiltración por Lluvias

Del agua que se precipita como lluvia sobre la cuenca en estudio, parte de ella cae sobre los cerros y terrenos ubicados fuera del mallaje y parte cae sobre los suelos del área modelada.

Se considerará como infiltración proveniente de las precipitaciones, el porcentaje de ellas que cayendo sobre los terrenos planos del valle, percola y recarga el acuífero.

Las precipitaciones que, cayendo sobre cerros y laderas exteriores al valle, también producirán infiltraciones, pero para los efectos del modelo ellas serán consideradas como aporte lateral.

El porcentaje de las precipitaciones que percola en el valle se determinará aplicando la siguiente relación: determinada en forma em pírica y aplicada con éxito en cuencas similares y en procesos de modelación.

$$I = 0,7 (P - 60 \text{ mm}), \text{ en que:}$$

I = Infiltración mensual, en mm.

P = Precipitación mensual, en mm.

Por lo tanto existirá infiltración proveniente de lluvias, sólo en aquellos meses en que la precipitación sobrepase los 60 mm, por considerarse que bajo esta cifra el agua completa la capacidad de campo y luego se evapotranspira. El valor 0,7 indica una escorrentía superficial del 30% correspondiente a terrenos planos.

Para el año 1974, elegido como año de calibración, la precipitación en la zona, medida en la estación pluviométrica de Rungue, acusa los siguientes valores:

Mes	P (mm)
Mayo	89,6
Junio	253,1
Julio	21,1
Agosto	4,6
Septiembre	14,9
Octubre	1,0
Noviembre	17,5
T o t a l	402,0

Aplicando la relación anterior, se tiene:

$$I_{\text{Mayo}} = 20,7 \text{ mm}$$

$$I_{\text{Junio}} = 135,2 \text{ mm}$$

$$I_{\text{Año}} = 156,0 \text{ mm}$$

Se adoptan los siguientes valores medios:

$$I_{\text{Mayo}} = 20,0 \text{ mm}$$

$$I_{\text{Junio}} = 140,0 \text{ mm}$$

$$I_{\text{Año}} = 160,0 \text{ mm}$$

Dicho valor de infiltración anual, provoca volúmenes anuales infiltrados en cada celda del mallaje que pueden observarse en el plano adjunto. De ello el 12,5% infiltrará en Mayo y el 87,5% en Junio.

6.1.7 Extracción por Bombeo

Contando con el catastro de pozos y ubicación de ellos, según Plano N°18, se procedió a seleccionar algunos pozos a los cuales se les efectuó una encuesta tendiente a determinar el volumen anual de agua bombeado.

La encuesta abarcó aproximadamente el 20% de los pozos de riego, además de los pozos destinados a agua potable e Industrias (cemento Polpaico). Los pozos encuestados cubren diversas ubicaciones en el va

lle y diversos caudales unitarios (l/s), con el objeto de lograr una muestra representativa.

Los antecedentes obtenidos permitieron conocer dotaciones de riego para superficies regadas con aguas subterráneas.

La encuesta se efectuó por consulta directa al usuario referente al período de riego 82-83 ya que se consideró difícil, por no decir imposible, obtener resultados del año de calibración 1974. Debe tenerse en cuenta que el año recién pasado presenta condiciones especiales en cuanto a año hidrológico y en cuanto a factores económicos especiales derivados de la recesión, por lo cual el bombeo se redujo notoriamente. Estas consideraciones fueron tomadas en cuenta en el análisis de la encuesta.

Para determinar el volumen anual bombeado en cada uno de los pozos en uso en el valle, se procedió según el criterio siguiente:

- a) Cuando el pozo había sido encuestado y la información parecía confiable (tasa de riego razonable), se utilizó el dato recogido en terreno.
- b) Cuando se desconfió de la información obtenida, se utilizó el dato de la superficie bajo riego y se aplicó la dotación de riego obtenida por bombeo en pozos vecinos.
- c) Para pozos no encuestados, se ponderó el volumen obtenido en el pozo encuestado más cercano, por la relación de caudales de las pruebas de bombeo entre ese pozo y el de interés.

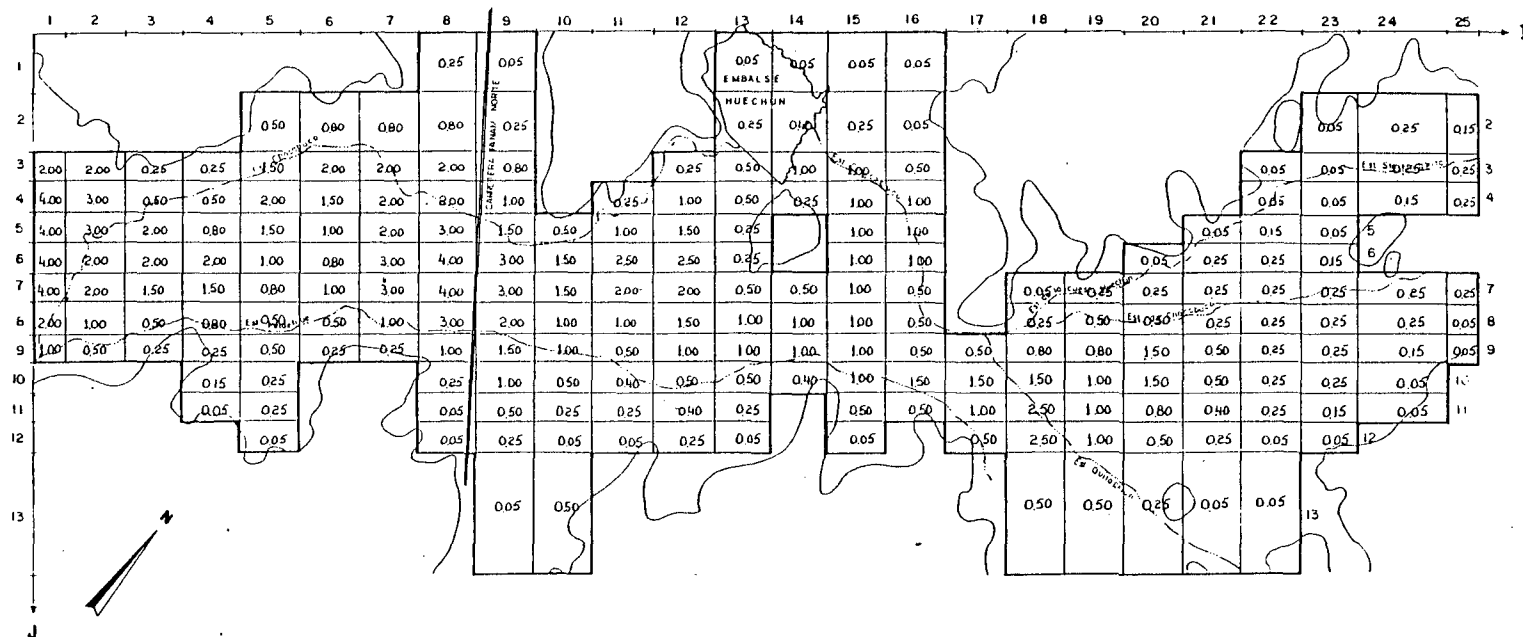
En base a lo anterior se obtuvieron los volúmenes anuales extraídos por bombeo para cada celda del mallaje, los que pueden apreciarse en el plano adjunto en la página N°165.

La distribución mensual de los volúmenes bombeados obedece a la siguiente tabla, la que en gran medida se obtuvo de la encuesta realizada.

=====	
Mes	%
Septiembre	8
Octubre	12
Noviembre	15
Diciembre	15
Enero	15
Febrero	15
Marzo	10
Abril	10
=====	
A ñ o	100 *
=====	

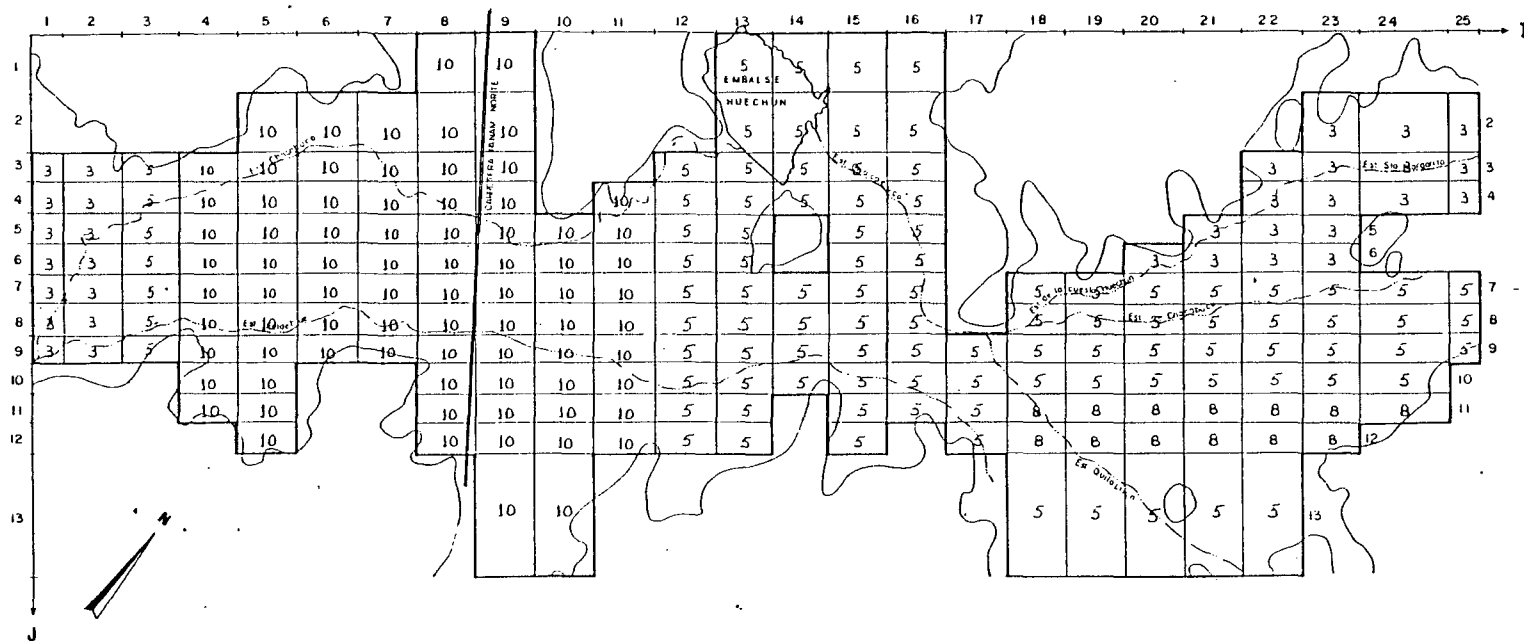
MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO POLPAICO

VALORES DE T (miles m²/día)



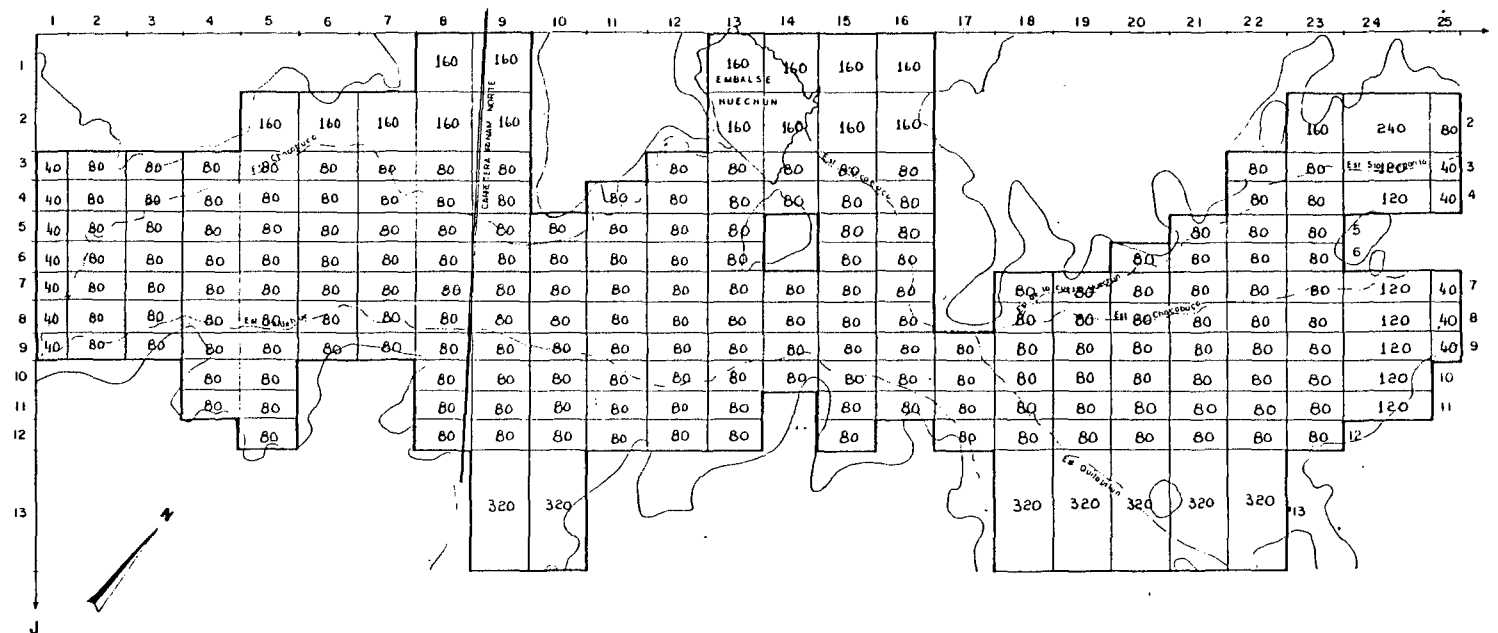
MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

VALORES DE S (%)



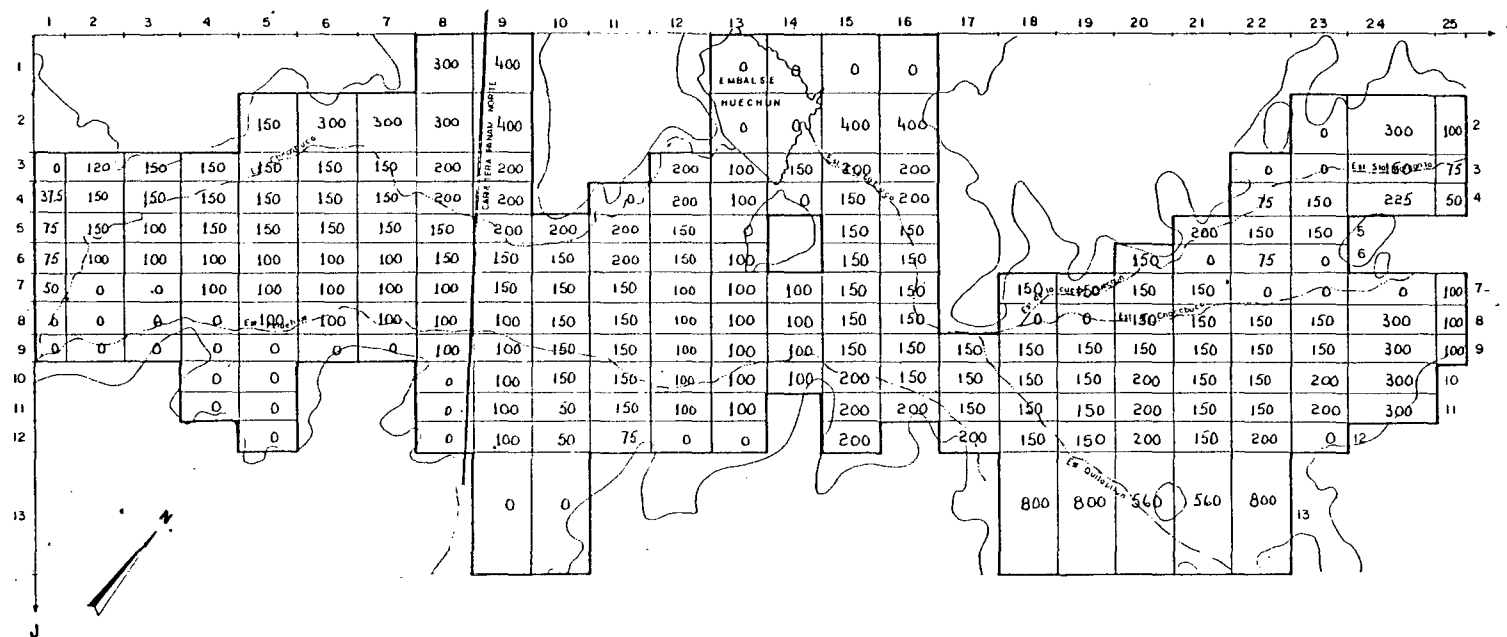
MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

VOLUMENES ANUALES INFILTRADOS POR LLUVIAS (miles m³/año)



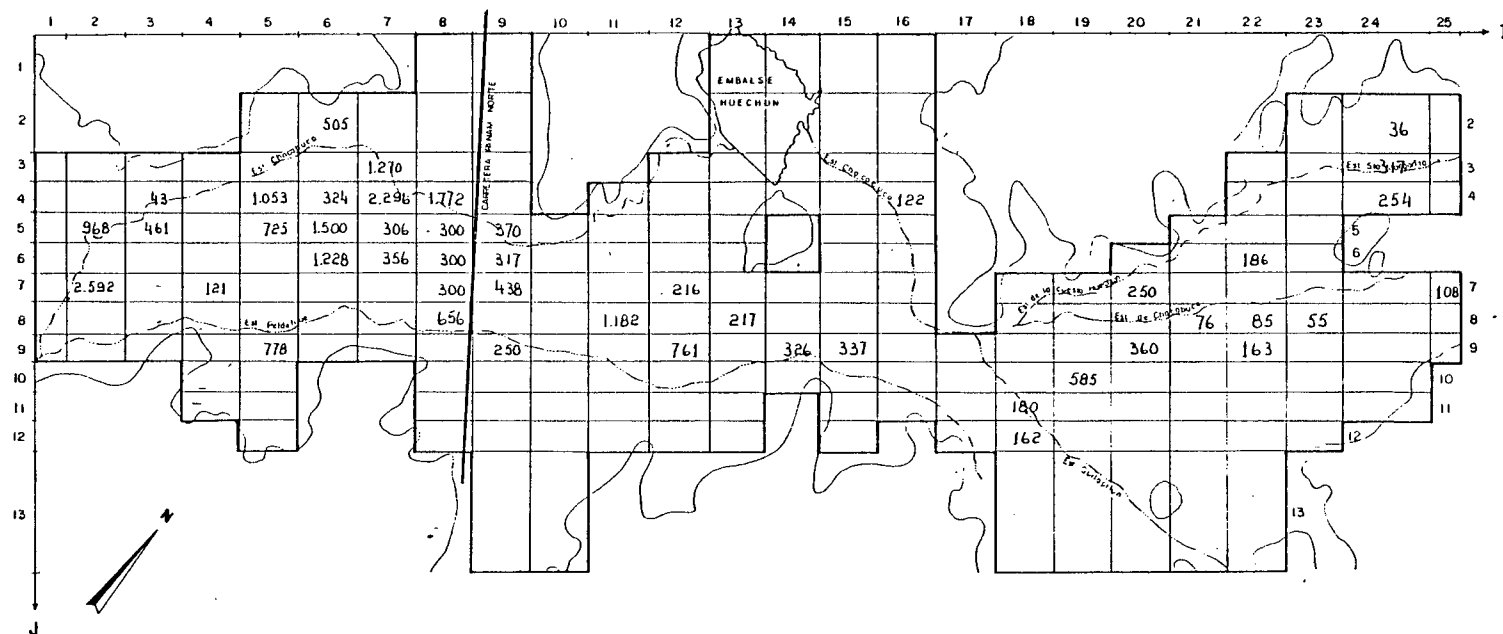
MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

VOLUMENES TOTALES ANUALES INFILTRADOS POR REGADIO (miles m³/año)

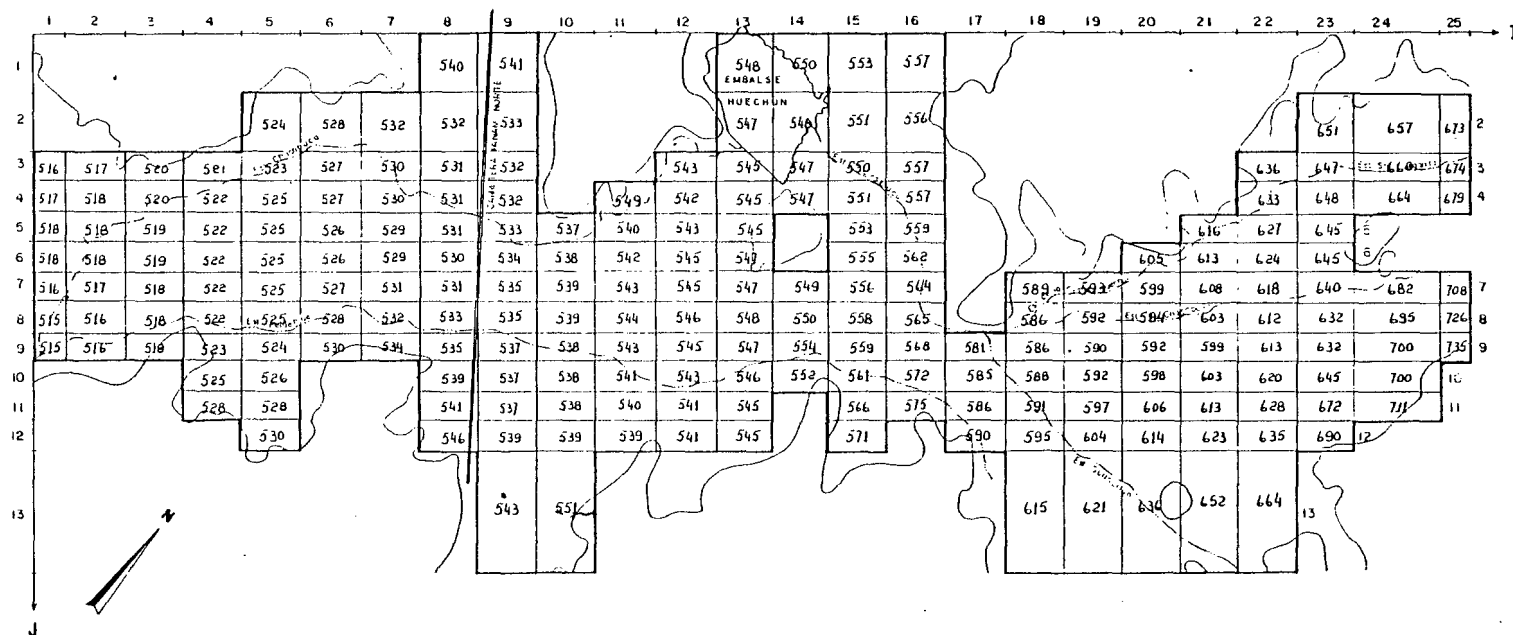


MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

VOLUMENES ANUALES EXTRAIDOS POR BOMBEO (miles m³/año)



MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO PIEZOMETRIA MARZO 74 (m)



6.2 PROCESO DE AJUSTE

6.2.1 Introducción

El proceso de ajuste o calaje tiene como objetivo lograr una representación matemática del acuífero, lo más ajustado posible a su realidad física.

Para esto se procede por aproximaciones sucesivas, cambiando los valores de las características hidráulicas y de borde del acuífero, de manera de lograr una semejanza entre las variaciones piezométricas observadas en terreno con las obtenidas de salida del modelo, así como también de ajustar lo mejor posible los elementos del balance másico a la realidad observada.

Para efectuar este análisis, en cada una de las 8 pasadas de ajuste realizadas, se han empleado las siguientes tablas y planos, que se incluyen en cada caso:

- Tabla Resumen del Balance Másico.
- Plano del Balance Másico.
- Plano del Contraste Piezométrico.
- Planos con los cambios en los datos de entrada, efectuados para la pasada.

Su contenido puede sintetizarse en lo siguiente:

- La tabla resumen del Balance Másico consiste en un cuadro que condensa la información mensual y anual del acuífero simulado, para los distintos elementos que componen el balance volumétrico.
- El plano del Balance Másico contiene el detalle, por cada malla del modelo, de los elementos del balance que la simulación entrega como resultados. Estos son: las entradas y salidas al área modelada desde y hacia otras cuencas, y los volúmenes aflorados desde las vertientes, junto con aquellos que salen directamente a los ríos o esteros.

- El Plano de Contraste Piezométrico incluye en el mallaje del modelo, los gráficos de variación de niveles medios y simulados para los piezómetros de contraste. Estos son la base de discusión del funcionamiento del modelo y, junto con el Balance Másico, determinan los cambios que se hacen de una pasada a otra.
- Los planos con cambios corresponden a los nuevos valores, por cada malla, que los parámetros de modelación toman al ser modificados para mejorar el ajuste del modelo. Se entiende que aquellos parámetros no modificados permanecen sin variaciones respecto a la pasada anterior.

Estando claros estos antecedentes, se incluye a continuación la discusión de cada pasada. Cabe señalar previamente que en el caso de Chacabuco-Polpaico no se ha simulado la relación río-acuífero, dado que no hay cauces en la cuenca simulada que interactúen con el acuífero recibiendo afloramientos desde la napa subterránea.

Asimismo, no aparecen en esta zona vertientes, y aunque el modelo permite que éstas existan si las cotas piezométricas sobrepasan las de terreno, no ocurrió tal cosa durante ninguna de las pasadas de ajuste. Este hecho significa, aún cuando sólo sea cualitativamente, un respaldo adicional para el correcto ajuste del modelo.

6.2.2 Relación de Pasadas

6.2.2.1 Pasada N°1

Se efectuó el día 17/10/83 con los datos de entrada descritos anteriormente, en el punto 5.1.

Del Resumen del Balance Másico se obtiene el siguiente cuadro de valores anuales.

	<u>Vol. (Mm3/año)</u>
ENTRADAS AL ACUIFERO	
- Mallas exteriores	15,3
- Infiltraciones de riego	25,0
- Infiltraciones por lluvias	<u>17,2</u>
TOTAL	57,5

SALIDAS DESDE EL ACUIFERO

- Bombeos	25,1
-----------	------

VARIACIONES DE ALMACENAMIENTO	32,0
-------------------------------	------

De los elementos de este balance son salidas del modelo, y no da tos de entrada, las variaciones de almacenamiento y las mallas ex teriores. Ambos valores, como se puede ver en el cuadro anterior, son bastante altos, y quedan en parte explicados por el exceso de entradas laterales (subterráneas) desde el Valle de Peldehue, que totalizan 12,2 (Mm3/año) según puede observarse en el plano del Balance Másico.

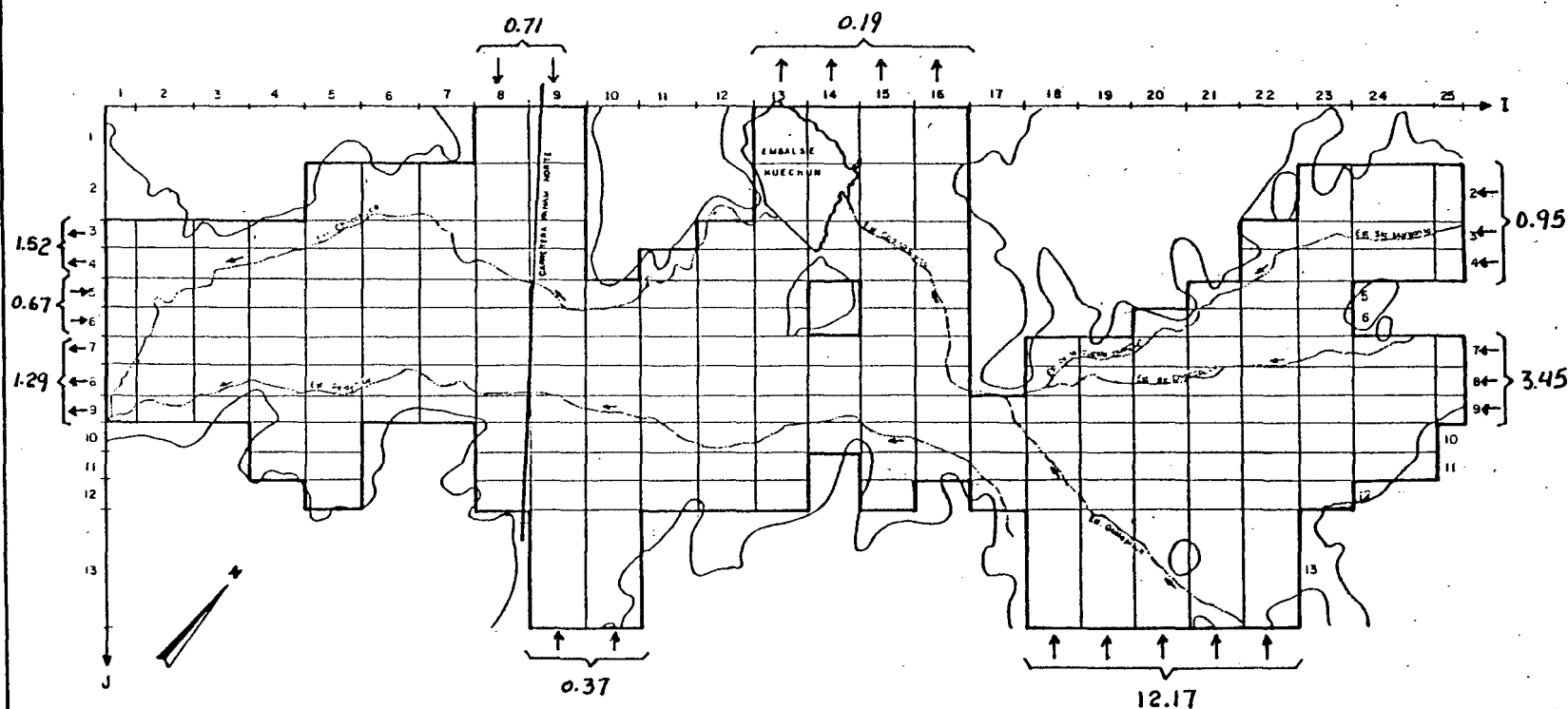
En cuanto al contraste piezométrico, como puede verse en el plano correspondiente, se tiene que en los piezómetros ubicados aguas arriba de la Carretera Panamericana los niveles simulados reaccio nan de manera muy diferente a lo medido, mientras que los ubicados en el resto de la cuenca, en la Zona de Polpaico, los niveles si mulados y medidos tienen un cierto parecido entre sí.

Para corregir estas divergencias, tanto las de niveles como aque- llas de entradas laterales excesivas, se ha planteado como cambio para la 2a. pasada, nuevos valores de transmisibilidad. Ellos pue den verse en el plano de transmisibilidades de la Pasada N° 2.

Con este pretende cerrarse las entradas desde Peldehue, y abrir el paso en la Angostura de Quilapilún para que la zona alta de la cuen ca pueda descargar hacia la zona de Polpaico. Así se espera que los niveles simulados de las zonas altas no sigan subiendo, como ocurrió en la 1a. Pasada.

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

BALANCE MASICO (Mm^3 / año) PASADA N°1



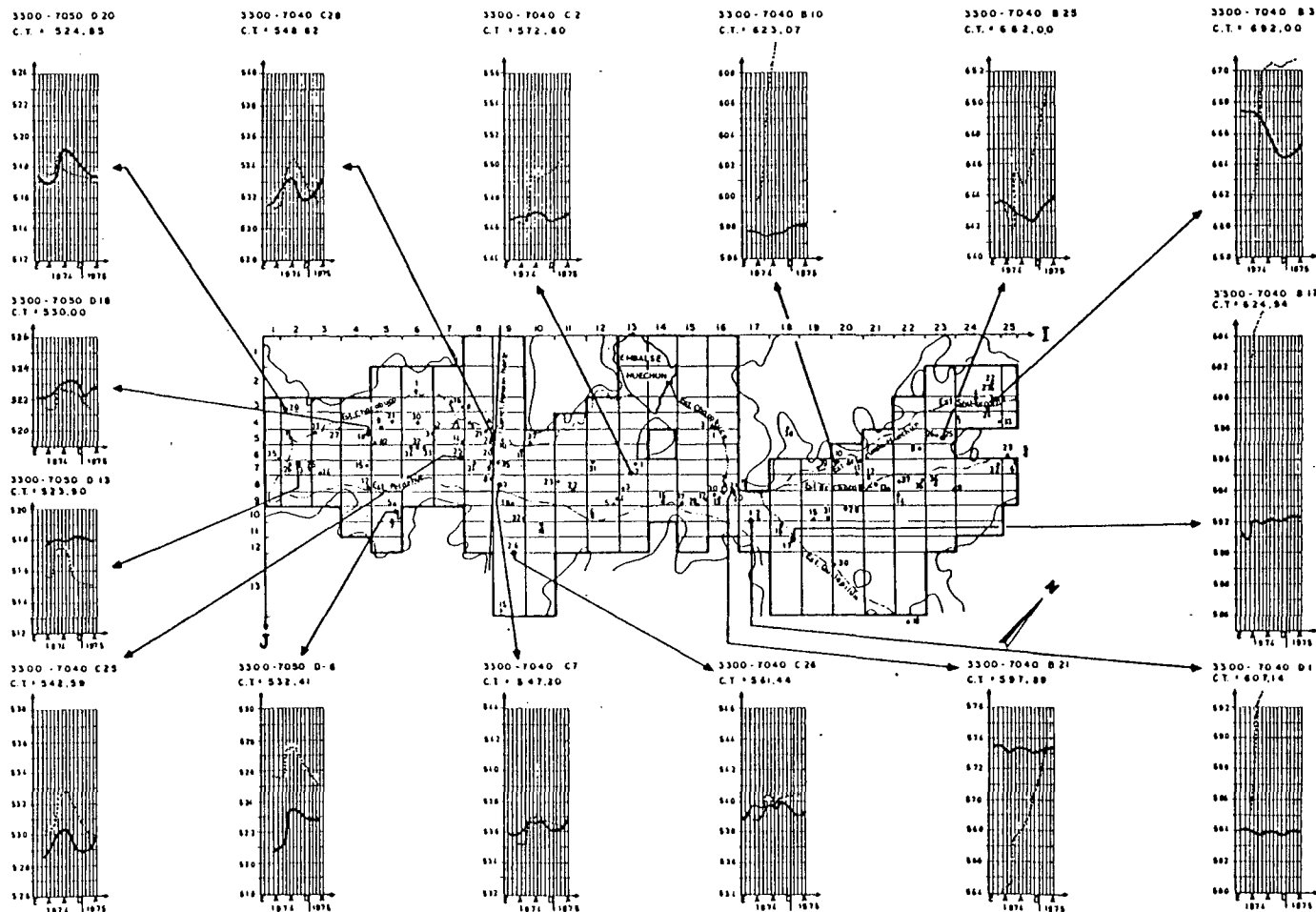
Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km.

NIVEL MEDIDO = 
NIVEL SIMULADO = 

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

ESCALA GRAFICA
0 10 20 30 m

CONTRASTE PIEZOMETRICO PASADA N°1



3630906

RESUMEN BALANCE MASICO PASADA N° 1

VALORES EN MILLONES M3

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	TOTAL ANUAL
MALLAS EXTERIORES	2.3	2.1	1.6	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.0	15.3
RIO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VERTIENTES	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ALMACENAMIENTO	2.3	2.0	3.8	15.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	32.0
BOMBEO	-2.5	-2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.0	-3.0	-3.8	-3.8	-3.8	-3.8	-25.2
INFILTRACIONES DE RIEGO	2.5	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	3.0	3.8	3.8	3.8	3.8	25.0
INFILTRACIONES POR LLUVIAS	0.0	0.0	2.1	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.1
BALANCE TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5

~~VALORES POSITIVOS INDICAN ENTRADAS AL ACUIFERO~~

6.2.2.2 Pasada N°2

Se llevó a cabo el 23/11/83, dando como resultado del Balance Másico el cuadro que sigue:

Vol (Mm3/año)

ENTRADAS DEL ACUIFERO

- Mallas exteriores	12,7
- Infiltraciones de riego	25,0
- Infiltraciones por lluvias	<u>17,2</u>
TOTAL	54,9

SALIDAS DESDE EL ACUIFERO

- Bombeos	25,1
-----------	------

VARIACIONES DE ALMACENAMIENTO	29,3
-------------------------------	------

Según esto, puede verse que se mantienen prácticamente inalterables los problemas de la 1a. Pasada; las entradas laterales y variaciones de almacenamiento siguen siendo excesivas. Sin embargo, las entradas subterráneas desde Peldehue han bajado a 4,7 (Mm3/año), aunque las entradas desde el sector superior de la cuenca (zona de Chacabuco) han subido a 10 (Mm3/año), (en la 1a. Pasada se tenía sólo 4,5 Mm3/año), según puede verse en plano del Balance Másico.

Esto se nota también en el contraste piezométrico, observándose una mejoría en los piezómetros ubicados junto al Estero Peldehue en la Angostura de Quilapilún (mallas(17,20) y 18,12)).

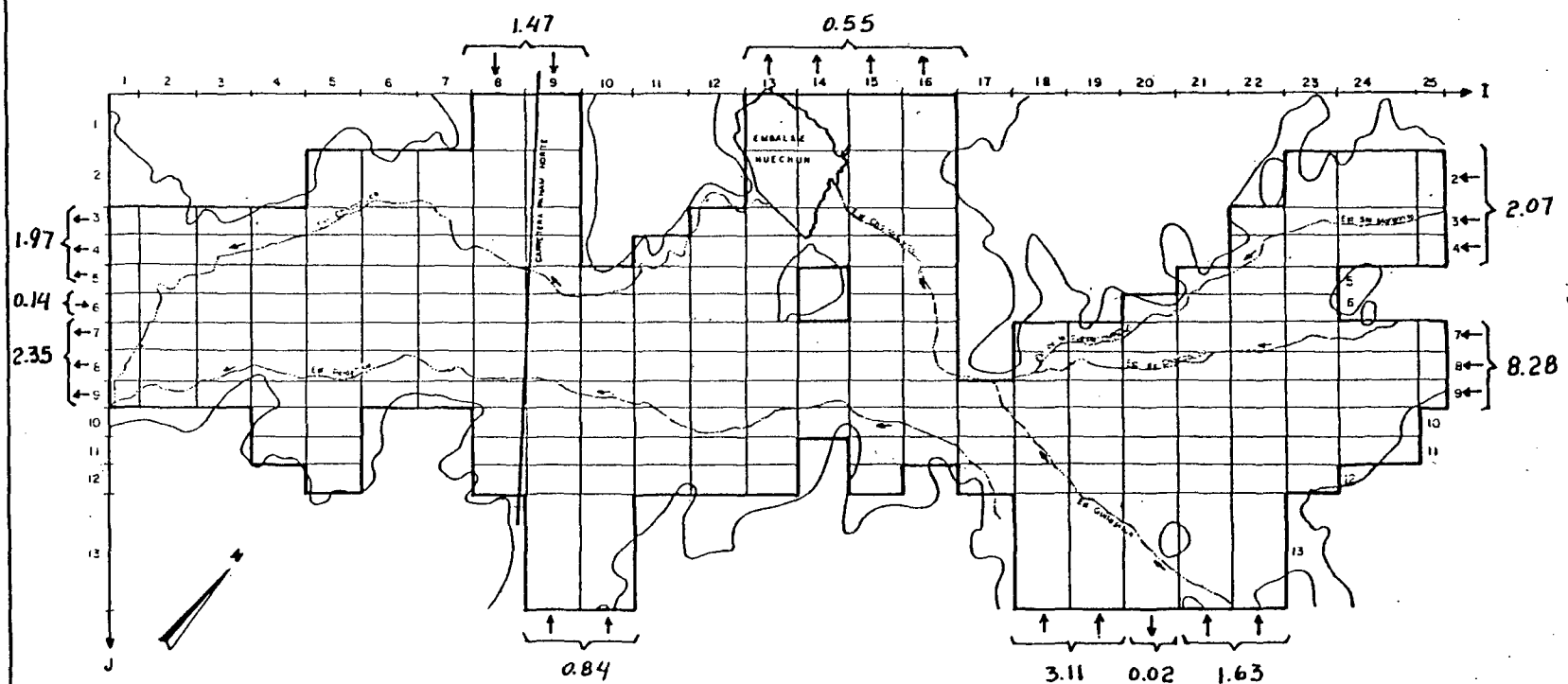
De todas maneras, no puede decirse que el ajuste haya mejorado en forma relevante. Por ello se ha planeado dos pasadas de sensibilidad. Con ellas se pretende estudiar la reacción del modelo frente a cambios drásticos, para así poder orientar y afinar el calaje en las pasadas que sigan.

Las pasadas de sensibilidad programadas son:

- La 3a., multiplicando los valores de la transmisividad de la 2a. Pasada por cinco.
- La 4a., eliminando totalmente las infiltraciones por lluvias y manteniendo los demás como en la 2a. Pasada.

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUGO - POLPAICO

BALANCE MASICO (Mm^3 / año) PASADA N°2



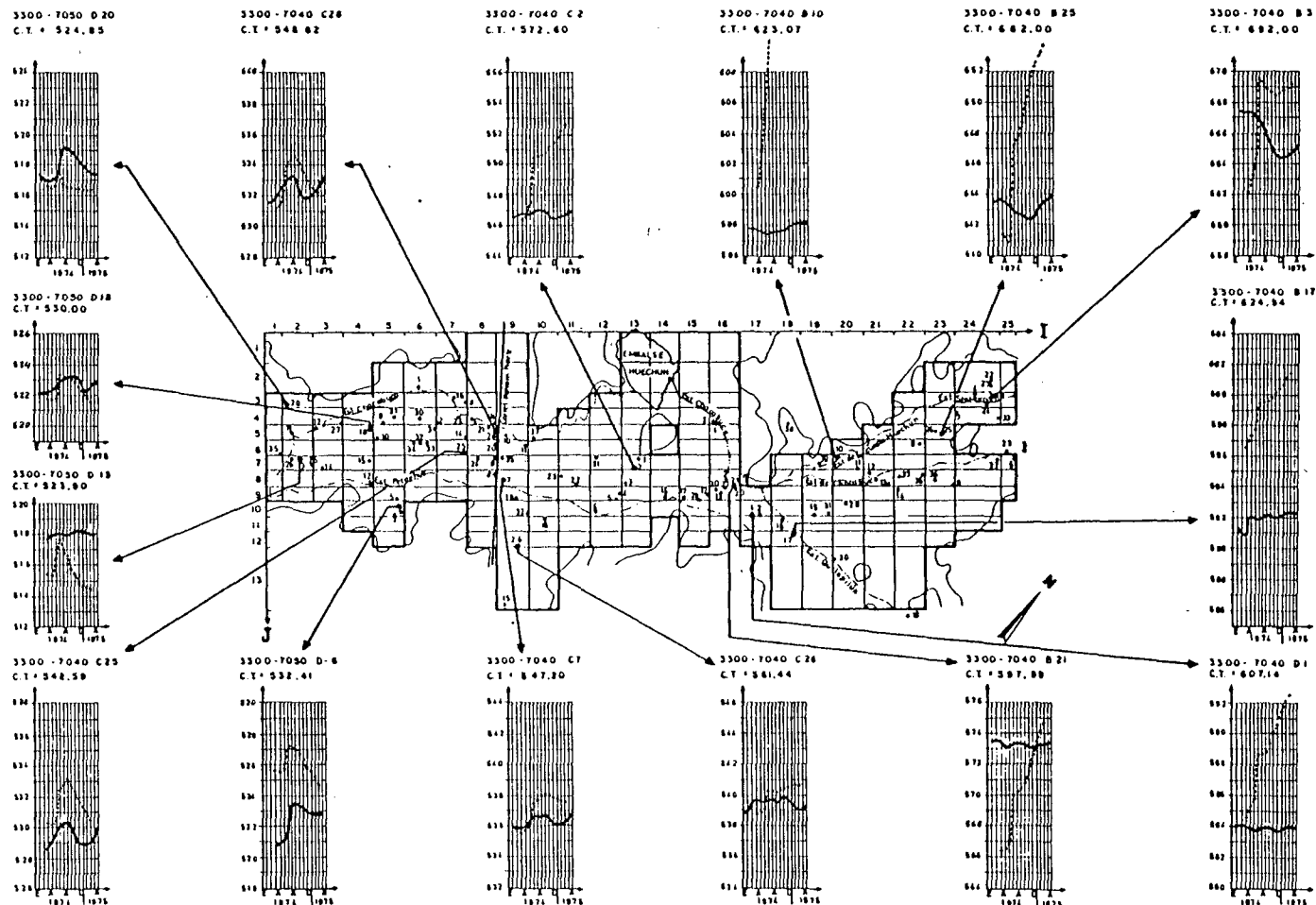
Escala Gráfica
0 1 2 3 Km.

NIVEL MEDIDO = 
 NIVEL SIMULADO = 

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

ESCALA GRÁFICA
 0 10 20 30 KM.

CONTRASTE PIEZOMÉTRICO PASADA N°2



RESUMEN BALANCE MASICO PASADA N° 2

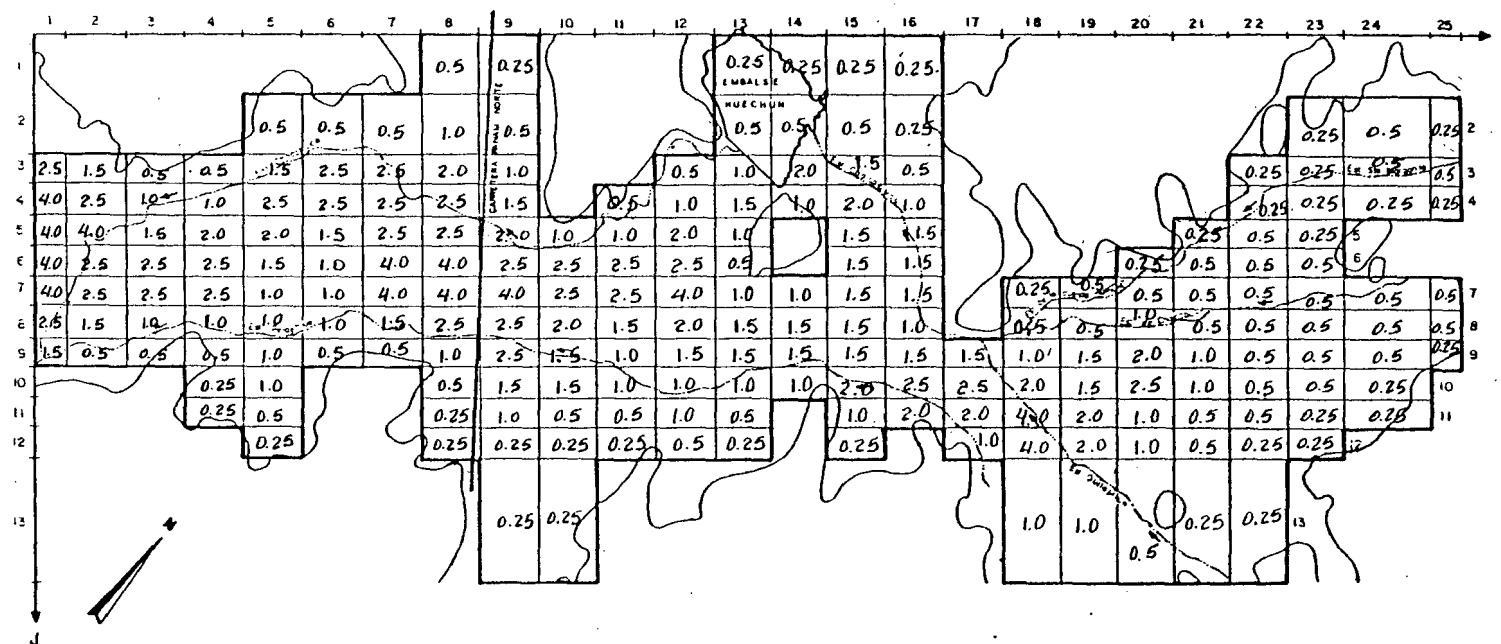
VALORES EN MILLONES M3

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	TOTAL ANUAL
MALLAS EXTERIORES	1.98	1.98	1.58	0.65	0.62	0.74	0.87	0.92	0.92	0.86	0.79	0.74	12.66
RIO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VERTIENTES	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ALMACENAMIENTO	1.95	1.95	3.69	15.58	0.59	0.71	0.83	0.88	0.87	0.81	0.75	0.70	29.33
BOMBEO	-2.51	-2.51	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.01	-3.01	-3.76	-3.76	-3.76	-3.76	-25.10
INFILTRACIONES DE RIEGO	2.50	2.50	0.0	0.0	0.0	0.0	2.00	3.00	3.75	3.75	3.75	3.75	25.02
INFILTRACIONES POR LLUVIAS	0.0	0.0	2.15	15.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.20
BALANCE TOTAL	0.02	0.03	0.03	0.13	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.45

VALORES POSITIVOS INDICAN ENTRADAS AL ACUIFERO

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

TRANSMISIVIDAD (miles m²/día) PASADA N° 2



Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km.

6.2.2.3 Pasada N°3

Se llevó a cabo el 29/11/83, dando como resultado del Balance Máximo el cuadro que sigue:

Vol (Mm3/año)

ENTRADAS AL ACUIFERO

- Mallas exteriores	30,2
- Infiltraciones de riego	25,0
- Infiltraciones por lluvias	<u>17,2</u>
TOTAL	72,4

SALIDAS DESDE EL ACUIFERO

- Bombeos	25,1
-----------	------

VARIACIONES DE ALMACENAMIENTO	46,9
-------------------------------	------

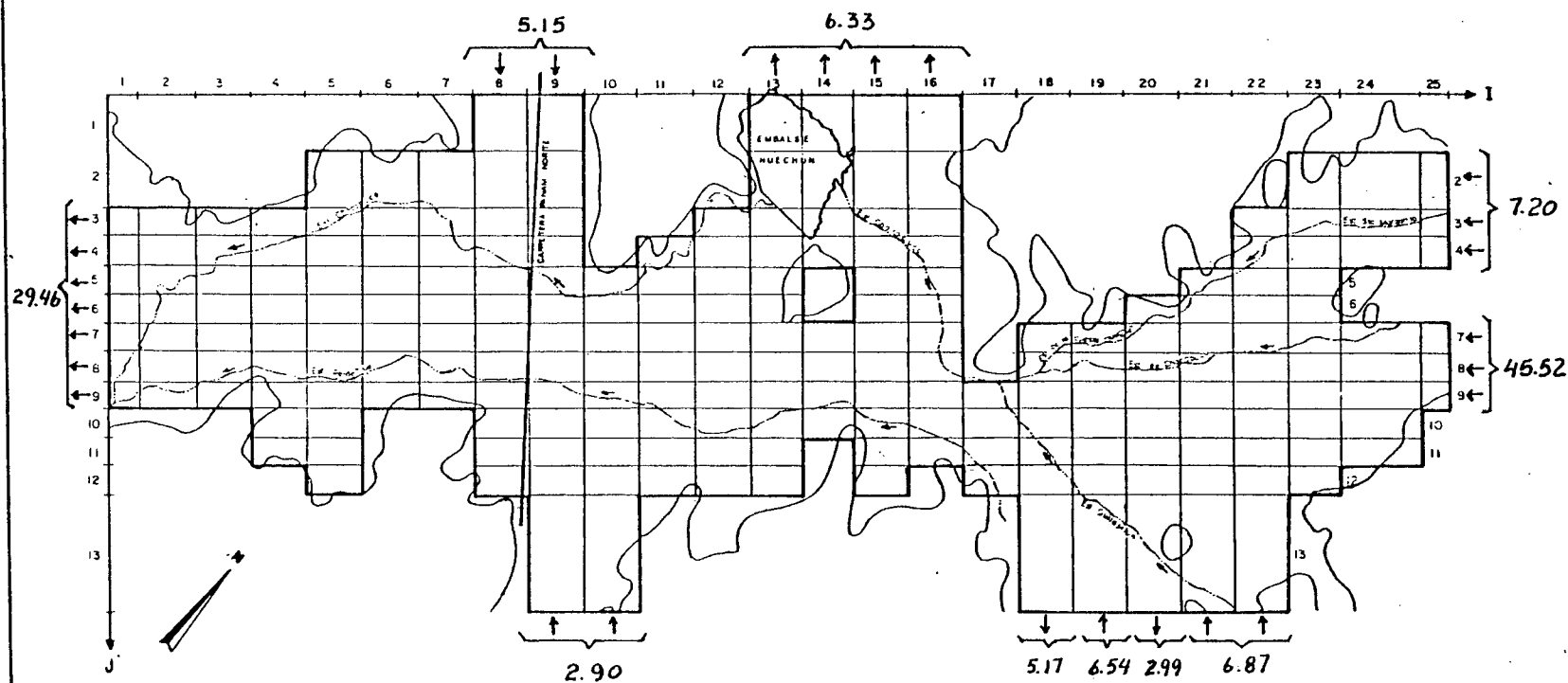
Como era de esperar, al aumentar la transmisibilidad aumentan los ingresos y salidas por mallas exteriores. Estos, que son irrealmente elevados, se dan particularmente altos en la entrada por la zona de Chacabuco con un total de 45,5 (Mm3/año). Como efecto de este fenómeno, se tiene una subida general de niveles, según se puede ver en el plano del Contraste Piezométrico, agudizándose los defectos observados en la 2a. Pasada.

La conclusión de esta pasada es que este modelo es bastante sensible a los cambios de la transmisibilidad. Se propone además, cambiar los valores de este parámetro, partiendo de los usados en la 2a. Pasada, pero acentuando los siguientes aspectos:



- Aumento gradual de transmisibilidades altas, para conseguir la circulación preferencial por éste de las aguas subterráneas.
- Cierre de las entradas subterráneas desde las subcuencas de los esteros Santa Margarita y Chacabuco, y apertura de la salida por Chicauma, en el extremo poniente del área modelada.

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

BALANCE MASICO (Mm^3 / año) PASADA N°3



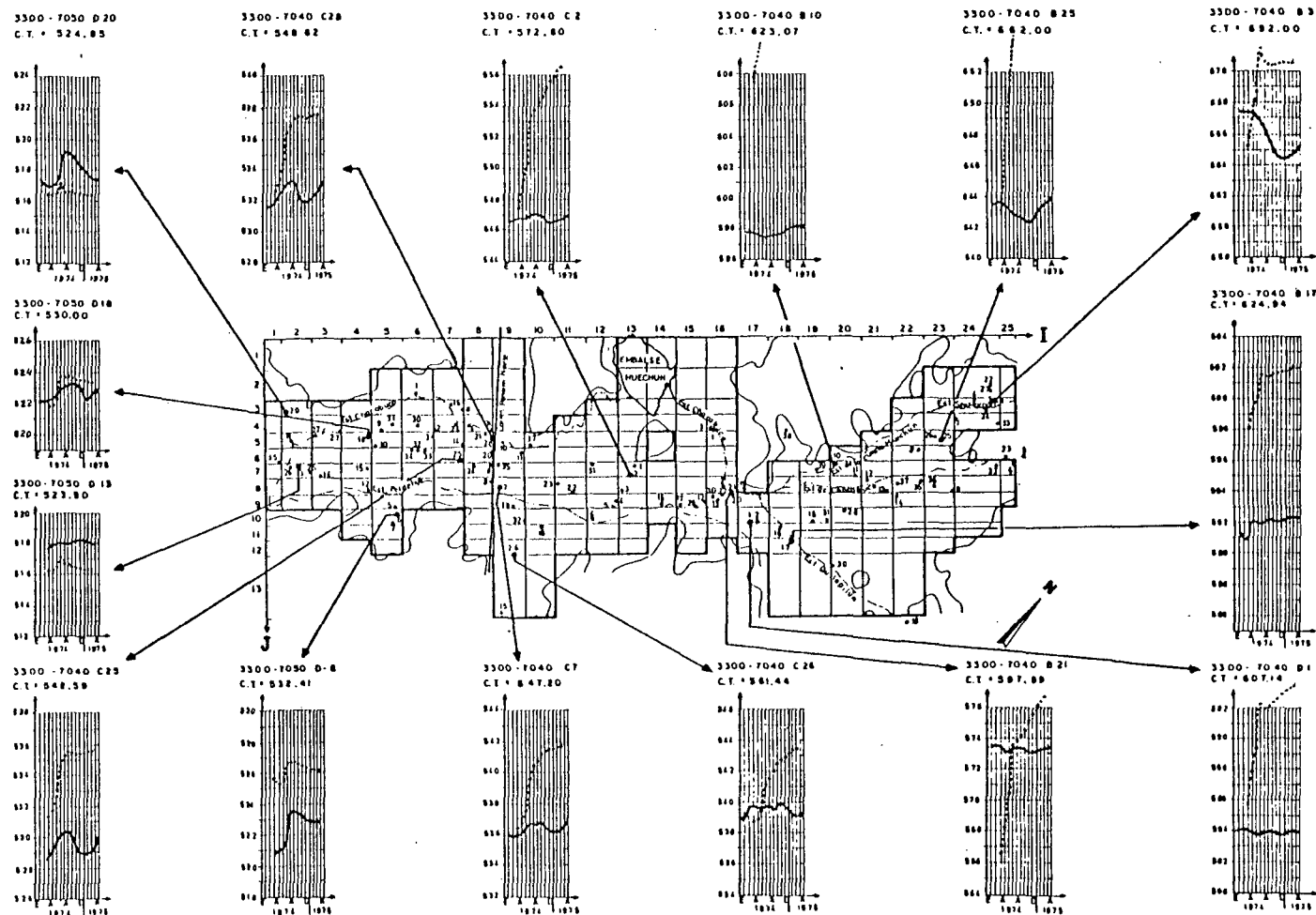
Escala Gráfica
0 1 2 3 Km.

NIVEL MEDIDO : 
 NIVEL SIMULADO : 

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

ESCALA 1:50,000
 0 10 20 30 KM

CONTRASTE PIEZOMETRICO PASADA N°3



1827120

RESUMEN BALANCE MASICO PASADA N° 3

VALORES EN MILLONES M3

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	TOTAL ANUAL
MALLAS EXTERIORES	8.41	6.35	4.57	1.57	1.26	1.41	1.45	1.33	1.19	1.02	0.89	0.78	30.24
RIO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VERTIENTES	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ALMACENAMIENTO	8.28	6.41	6.74	16.58	1.21	1.37	1.39	1.28	1.14	0.97	0.83	0.72	46.92
BOMBEOS	-2.51	-2.51	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.01	-3.01	-3.76	-3.76	-3.76	-3.76	-25.10
INFILTRACIONES DE RIEGO	2.50	2.50	0.0	0.0	0.0	0.0	2.00	3.00	3.75	3.75	3.75	3.75	25.02
INFILTRACIONES POR LLUVIAS	0.0	0.0	2.15	15.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.20
BALANCE TOTAL	0.12	-0.06	-0.01	0.03	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	-0.05	0.44

VALORES POSITIVOS INDICAN ENTRADAS AL ACUIFERO

6.2.2.4 Pasada N°4

Se llevó a cabo el 29/11/83, dando como resultado del Balance Másico el cuadro que sigue:

Vol. (Mm3/año)

ENTRADAS AL ACUIFERO

- Mallas exteriores	17,9
- Infiltraciones por riego	25,0
- Infiltraciones por lluvias	<u>0,0</u>
TOTAL	42,9

SALIDAS DESDE EL ACUIFERO

- Bombeos	25,1
-----------	------

VARIACIONES DE ALMACENAMIENTO	17,5
-------------------------------	------

De aquí se puede obtener, al comparar con la 2a. Pasada, que gran parte de la lluvia queda almacenada en el acuífero. Esto se nota en que las variaciones de almacenamiento bajan casi en la misma cantidad que las infiltraciones por lluvias que, como se ha dicho, han sido eliminadas en esta pasada..

También se nota una leve alza en las entradas laterales, debido seguramente a los niveles piezométricos menores que se tienen por no tener recarga de lluvia, y que fuerzan la entrada de mayores volúmenes al acuífero.

En cuanto a los piezómetros, es posible ver en el plano del Contraste Piezométrico que, en general, todos indican la falta de recarga por lluvias. De todas maneras, entre la 2a. y 4a. Pasada no se puede decir que cambie significativamente ninguno de los piezómetros.

Como conclusión de esta pasada se puede indicar que el modelo es sensible a las infiltraciones por lluvias, pero que no es un factor decisivo en el funcionamiento de éste, particularmente en la zona alta (o de Chacabuco) que es la que más difiere de la realidad.

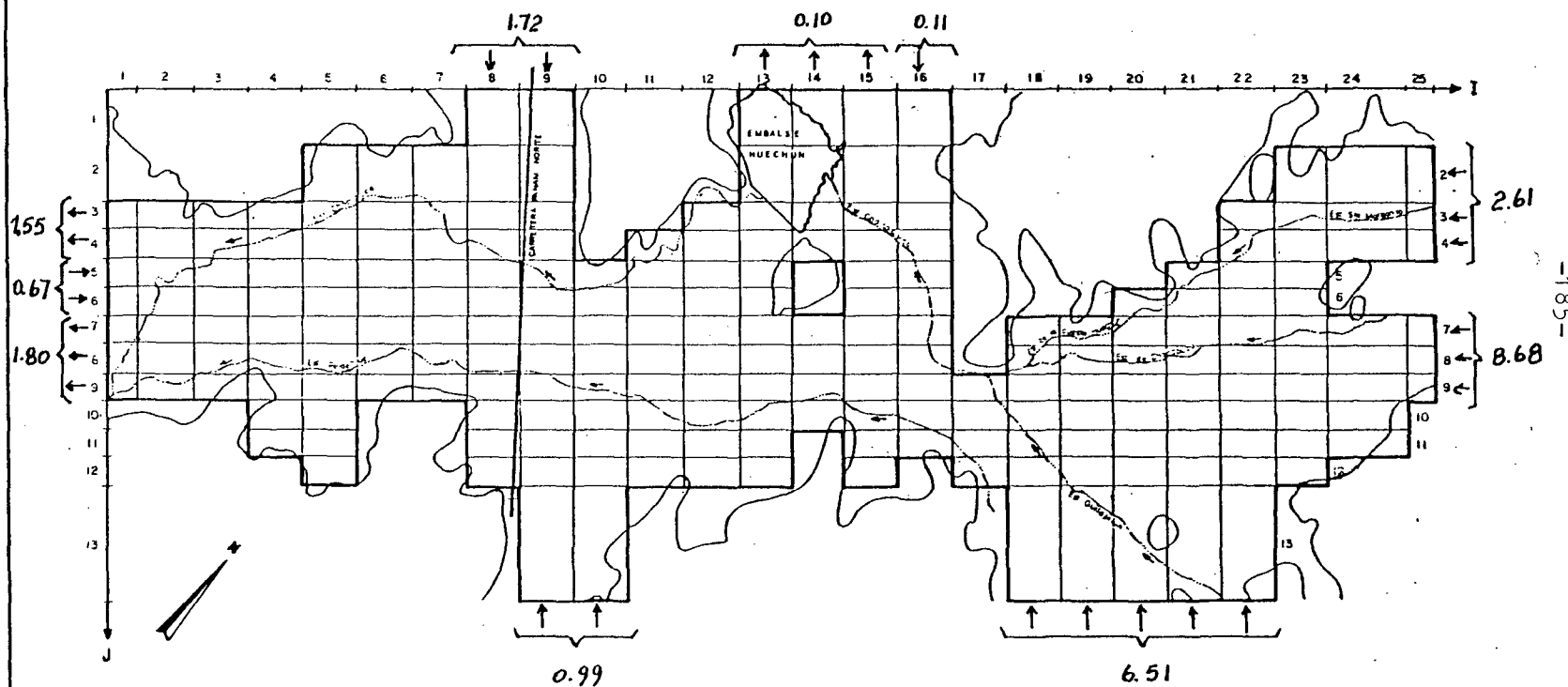
Ahora, como los niveles medidos de la zona de Chacabuco tampoco dan indicios de registrar los aportes de las lluvias al acuífero, se ha decidido eliminar estas infiltraciones de este sector. Como razones que justifiquen esto se han planteado las siguientes:

- Lo arcilloso de los suelos del sector, aspecto que provocaría que la lluvia no alcanzase a infiltrar hasta el acuífero por quedar retenida en el subsuelo.
- Las fuertes pendientes del terreno en la zona, que no permitirían a las precipitaciones más que escurrir superficialmente hasta los cauces localizados aguas abajo.



Adicionalmente, se ha reducido las infiltraciones de riego en este sector al 50% de su valor original, tanto por razones parecidas a las dadas anteriormente para las infiltraciones por lluvias, como por considerar que las dotaciones en esta zona son menores que las estimadas en un principio. Esto último se debería a que se ha visto que las pérdidas en el canal Chacabuco-Polpaico son bastante elevadas, disminuyendo por lo tanto el agua disponible para riego.

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

BALANCE MASICO (Mm^3 / año) PASADA N°4



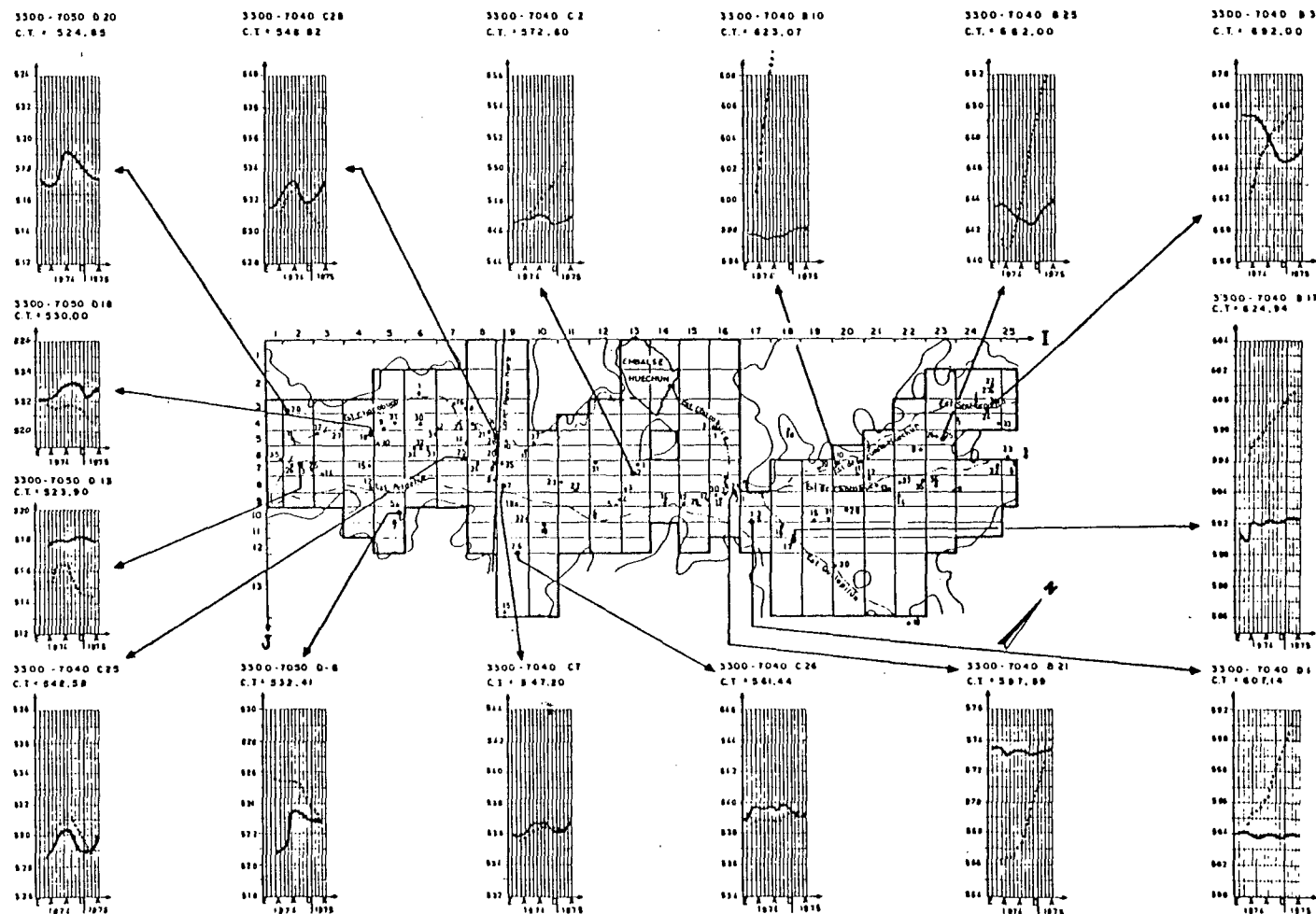
Escala Gráfica
0 1 2 3 Km.

NIVEL MEDIDO : 
 NIVEL SIMULADO : 

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

ESCALA GRAFICA
 0 10 20 30 KM

CONTRASTE PIEZOMETRICO PASADA N°4



RESUMEN BALANCE MASICO PASADA N° 4

VALORES EN MILLONES M3

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	TOTAL ANUAL
MALLAS EXTERIORES	1.98	1.98	1.69	1.55	1.46	1.38	1.43	1.42	1.38	1.28	1.20	1.12	17.86
RIO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VERTIENTES	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ALMACENAMIENTO	1.95	1.95	1.67	1.53	1.43	1.35	1.39	1.38	1.33	1.24	1.15	1.07	17.46
BOMBEO	-2.51	-2.51	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.01	-3.01	-3.76	-3.76	-3.76	-3.76	-25.10
INFILTRACIONES DE RIEGO	2.50	2.50	0.0	0.0	0.0	0.0	2.00	3.00	3.75	3.75	3.75	3.75	25.02
INFILTRACIONES POR LLUVIAS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BALANCE TOTAL	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.33

VALORES POSITIVOS INDICAN ENTRADAS AL ACUIFERO

6.2.2.5 Pasada N°5

Se realizó el 29/11/83 y el resumen del balance másico es el que sigue:

Vol. (Mm³/año)

ENTRADAS AL ACUIFERO

- Mallas exteriores	3,4
- Infiltraciones por riego	20,8
- Infiltraciones por lluvias	11,8
TOTAL	36,0

SALIDAS DESDE AL ACUIFERO

- Bombeos	25,1
-----------	------

VARIACIONES DE ALMACENAMIENTO	10,6
-------------------------------	------

Resumiendo lo dicho en las dos pasadas anteriores, los cambios efectuados entre la 2a. y 5a. Pasada, que es la que se analiza a continuación, son:

- Nuevos valores de la transmisibilidad.
- Eliminación total de las infiltraciones por lluvias en la zo
na de Chacabuco.
- Redistribución mensual de la lluvia en el resto del valle se
gún los siguientes coeficientes:

Mes	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb
α %	0	0	8	52	20	20	0	0	0	0	0	0

que se obtuvieron de distribuir los valores estimados de infiltración mensual según los siguientes porcentajes:

60% para el mes en que cae la lluvia
20% para el mes siguiente
20% para el mes subsiguiente

Con esto pretende simularse mejor el fenómeno de recargas por lluvia.

- Disminución , al 50% de su valor original, de las infiltraciones de riego en la zona de Chacabuco.

Los planos con el detalle por malla de estos cambios, pueden verse junto con los demás de la pasada, al final de este análisis.

Ahora, respecto de la 2a. Pasada, se nota en el plano del Balance Másico una fuerte disminución en las entradas subterráneas desde las cuencas de los esteros Chacabuco y Santa Margarita, así como un aumento de las entradas desde Peldehue y de las salidas por Chicauma.

Lo primero queda claramente reflejado en el fuerte descenso que experimentan los niveles en el sector Santa Margarita (mallas 23, 5) y (24,3), según puede observarse en el plano de Contraste Piezométrico. Con esto finalmente se ha conseguido que estos niveles desciendan, tal como los medidos lo hacen, aún cuando falta todavía simular el ascenso observado de Octubre a Marzo.

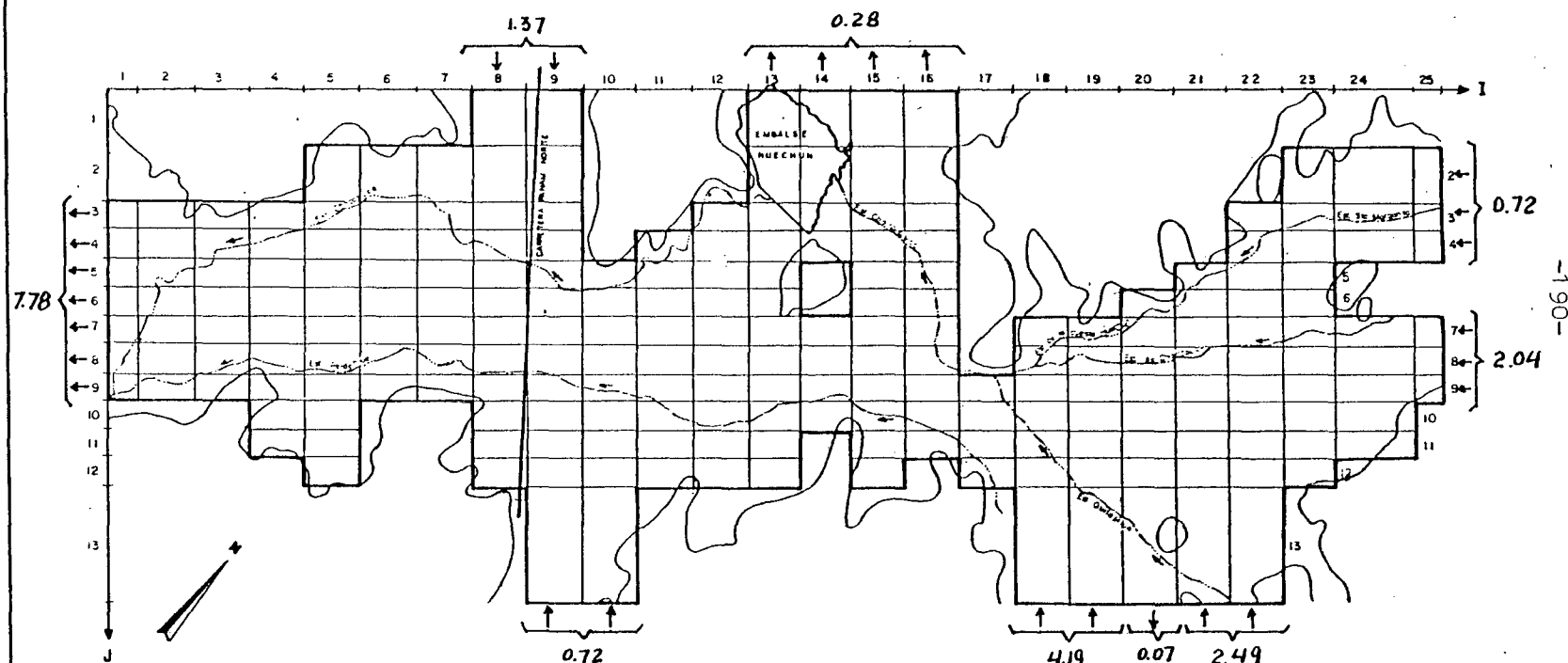
En el resto del área modelada, sin embargo, no se han conseguido grandes cambios.

Esto que se ve claramente en los piezómetros de contraste, lleva a una última posibilidad: cambiar el coeficiente de almacenamiento. Efectivamente, se han modificado los valores de la transmisibilidad, los de la infiltración de riego y los de las infiltraciones por lluvias, y todavía no cambia la situación en forma sustancial. Queda entonces como único parámetro físico fundamental por analizar, el coeficiente de almacenamiento.

Se ha planteado, por lo tanto, un nuevo plano con estos valores para el mallaje del modelo, que puede verse junto con los resultados de la 6a. Pasada. Respecto de los otros parámetros, la situación es idéntica a la de la 2a. Pasada.

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

BALANCE MASICO (Mm^3 / año) PASADA N°5

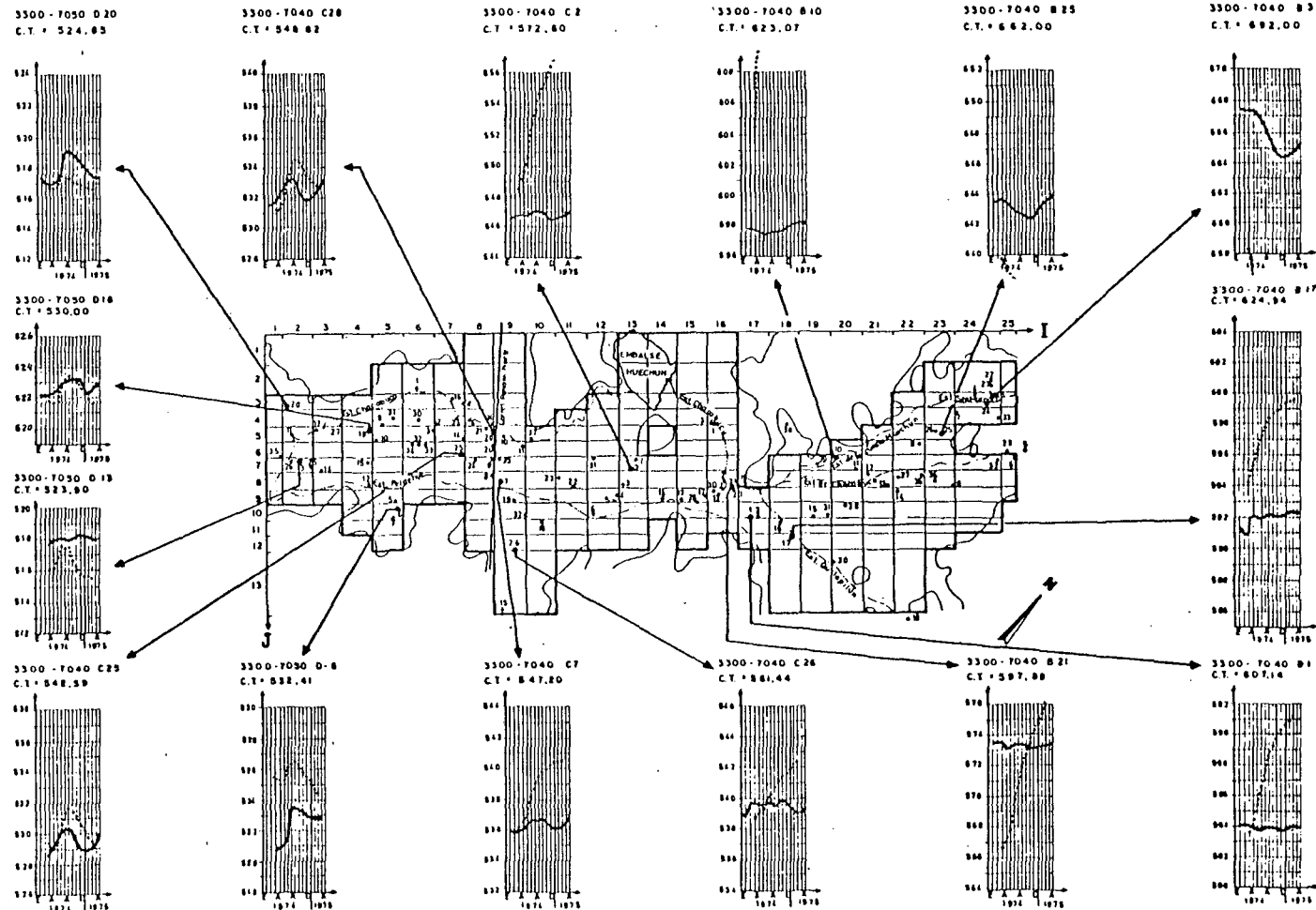


Escala Gráfica
0 1 2 3 Km.

NIVEL MEDIDO = 
 NIVEL SIMULADO = 

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO CONTRASTE PIEZOMETRICO PASADA N°5

ESCALA GRAFICA
 0 10 20 30 KM



RESUMEN BALANCE MASICO PASADA N° 5

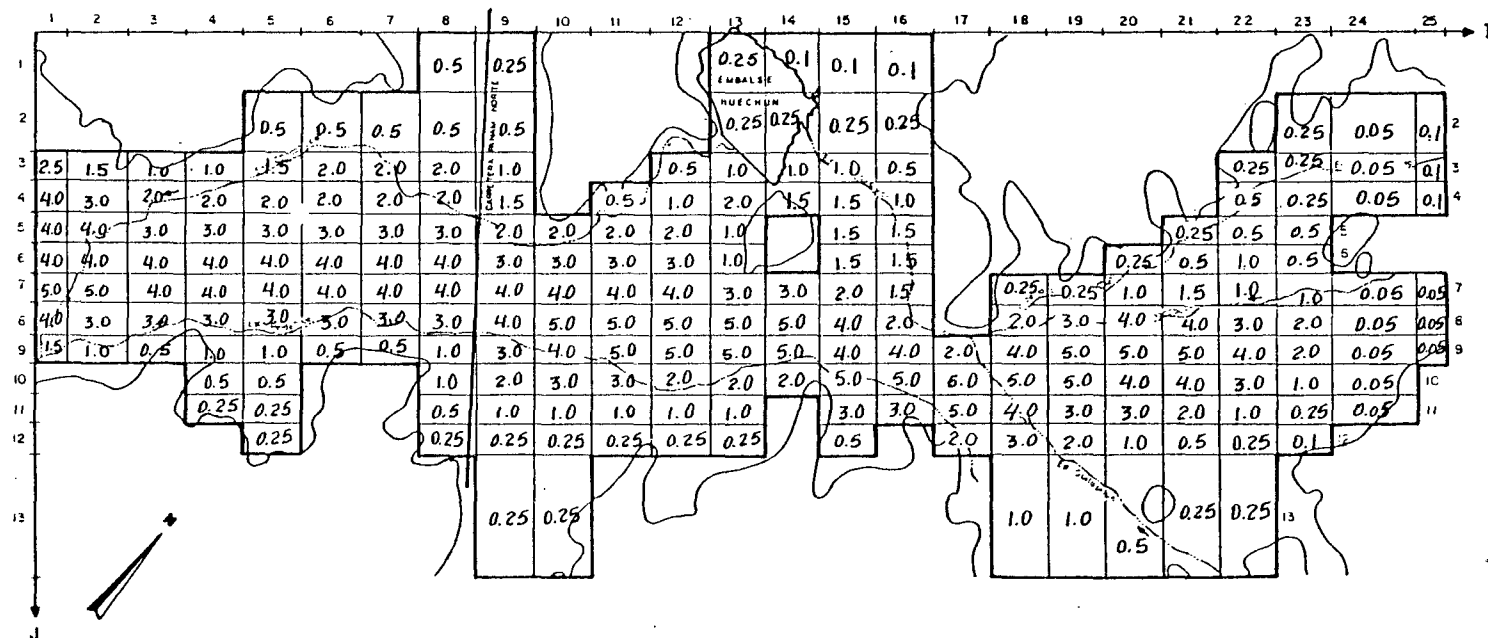
VALORES EN MILLONES M3

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	TOTAL ANUAL
MALLAS EXTERIORES	0.99	0.94	0.52	0.05	-0.09	-0.17	0.01	0.13	0.22	0.25	0.27	0.30	3.43
RIO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VERTIENTES	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ALMACENAMIENTO	0.54	0.51	1.46	6.14	2.24	2.15	-0.37	-0.41	-0.46	-0.43	-0.40	-0.38	10.58
BOMBEO	-2.51	-2.51	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.01	-3.01	-3.76	-3.76	-3.76	-3.76	-25.10
INF. DE RIEGO ZONA POLPAICO	1.66	1.66	0.0	0.0	0.0	0.0	1.33	1.99	2.49	2.49	2.49	2.49	16.59
INF. DE RIEGO ZONA CHACABUC	0.42	0.42	0.0	0.0	0.0	0.0	0.34	0.51	0.63	0.63	0.63	0.63	4.21
INFILTRACIONES POR LLUVIAS	0.0	0.0	0.94	6.12	2.35	2.35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.76
BALANCE TOTAL	0.02	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.32

VALORES POSITIVOS INDICAN ENTRADAS AL ACUIFERO

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

TRANSMISIVIDAD (miles $m^2/día$) PASADA N° 5



Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km.

6.2.2.6 Pasada N°6

Se efectuó el 30/11/83, con los siguientes resultados para el Balance Másico:

		Vol (Mm3/año)
ENTRADAS AL ACUIFERO		
- Mallas exteriores		16,0
- Infiltraciones de riego		25,0
- Infiltraciones por lluvias		<u>17,2</u>
	TOTAL	58,2
SALIDAS DESDE EL ACUIFERO		
- Bombeo		25,1
VARIACIONES DE ALMACENAMIENTO		32,3

Comparando estos valores con los obtenidos en la 2a. Pasada, no se notan grandes diferencias.

En el contraste piezométrico, sin embargo, sí que hay cambios importantes.

En efecto, se puede observar en el plano del contraste piezométrico un avance significativo en el ajuste de los piezómetros de las zonas de Chacabuco y la Angostura de Quilapilún.

Sin embargo, las entradas laterales desde Chacabuco y Peldehue aún son altas, según queda registrado en los piezómetros de las mallas (17,10) y (18,12) que mantienen una tendencia al alza de niveles.

Para corregir este aspecto se ha planteado para la 7a. Pasada unos nuevos valores de transmisibilidad más bajos en los bordes y que toman como base los de la 5a. Pasada que se han visto como los más ade

cuados. Estos nuevos valores se pueden ver en el plano correspondiente para la 7a. Pasada.

Complementando este cambio, está un nuevo trazado de isopiezas para Marzo de 1974 ya que, por no existir mayor apoyo de niveles medidos especialmente en el sector Quilapilún-Chacabuco, es posible modificar la situación original en forma apreciable, sin dejar de respetar ninguno de los puntos de apoyo con que se cuenta. Esto puede verse en el plano de la piezometría inicial para la 7a. Pasada y tiene como objetivo detener la constante subida de niveles en los piezómetros ubicados en la Angostura de Quilapilún.

En cuanto a la lluvia, parece ser que la situación planteada en la 5a. Pasada, sin infiltraciones por lluvias en la zona de Chacabuco, sería la más adecuada y, por lo tanto, será la empleada para la 7a. Pasada.

Respecto del riego, se ha modificado respecto de la situación original lo siguiente:

- Para el sector Chacabuco se han redistribuido las infiltraciones entre las de riego propiamente tal y las que ocurren desde el estero Santa Margarita directamente.

Con esto solamente se están bajando las dotaciones de riego del sector de acuerdo con las pérdidas registradas en el canal Chacabuco-Polpaico, que se incluyen como infiltraciones al acuífero desde el estero Santa Margarita.

- Para toda la zona modelada se ha replanteado el sector regado, de acuerdo a las fotografías aéreas de la C.N.R., eliminando algunas mallas que hasta ahora se habían tenido como regadas.
- Para el sector de Polpaico, es decir, todo lo que no sea Chacabuco, se ha modificado la distribución de riego y bombeos, quedando de la siguiente manera:

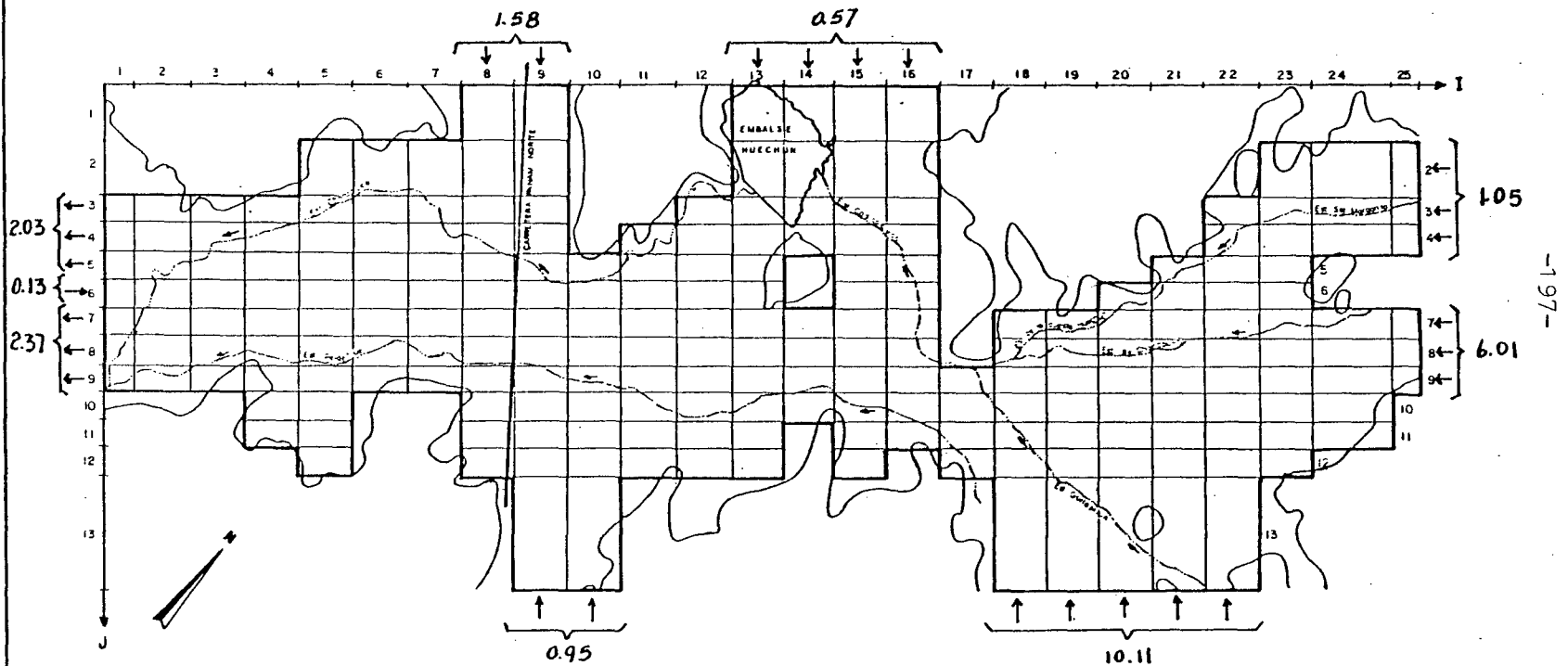
Mes	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
α %	10	30	30	20	10	0	0	0	0	0	0	0



Con esto se pretende ajustar mejor los piezómetros de este sector en los últimos meses simulados.

Los nuevos valores de las infiltraciones de riego son los que se incluyen en el plano correspondiente para la 7a. Pasada.

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

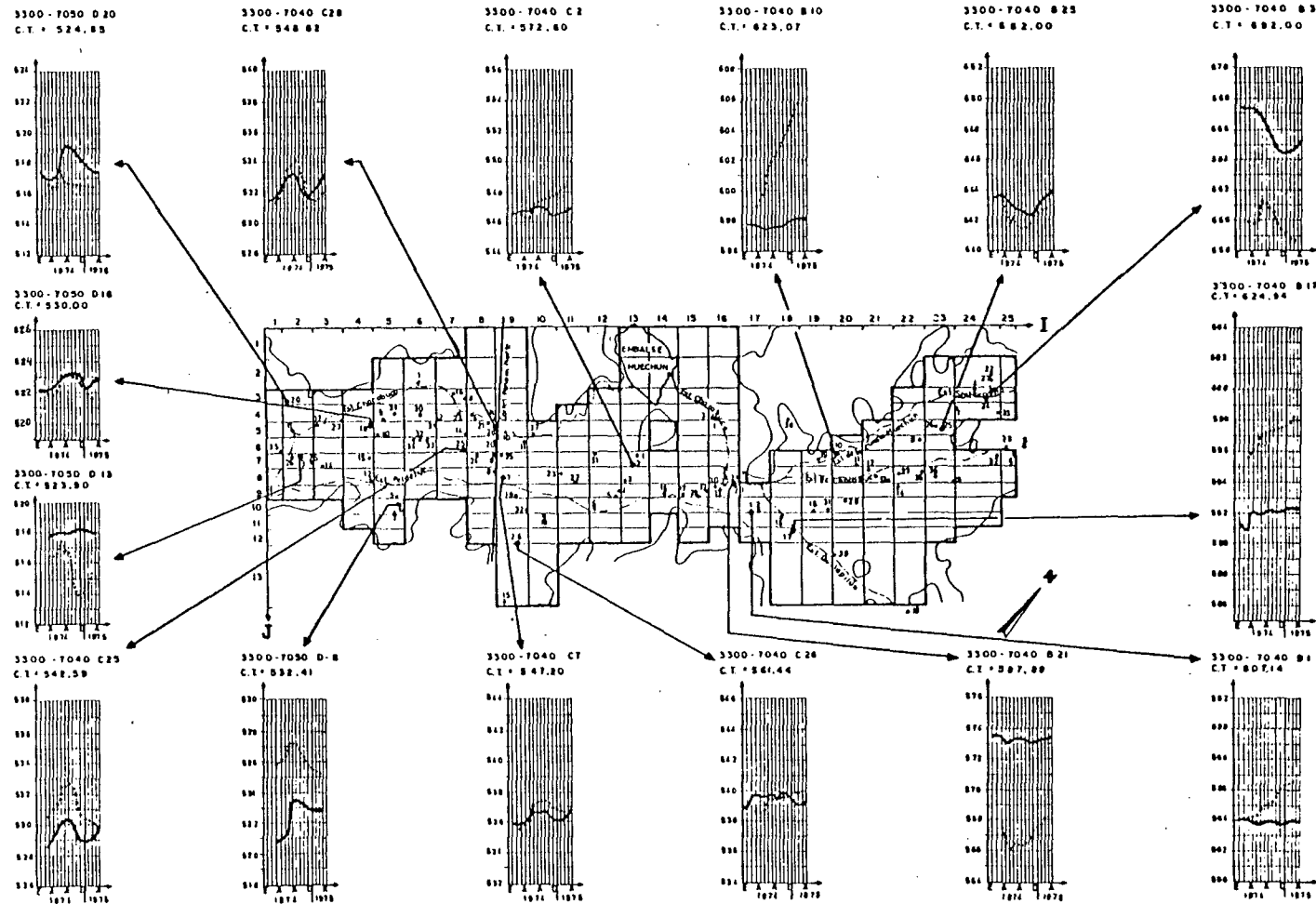
BALANCE MASICO (Mm^3 / año) PASADA N°6



NIVEL MEDIDO = 
 NIVEL SIMULADO = 

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO CONTRASTE PIEZOMETRICO PASADA N°6

ESCALA GRAFICA
 0 10 20 30 KM



RESUMEN BALANCE MASICO PASADA N° 6

VALORES EN MILLONES M3

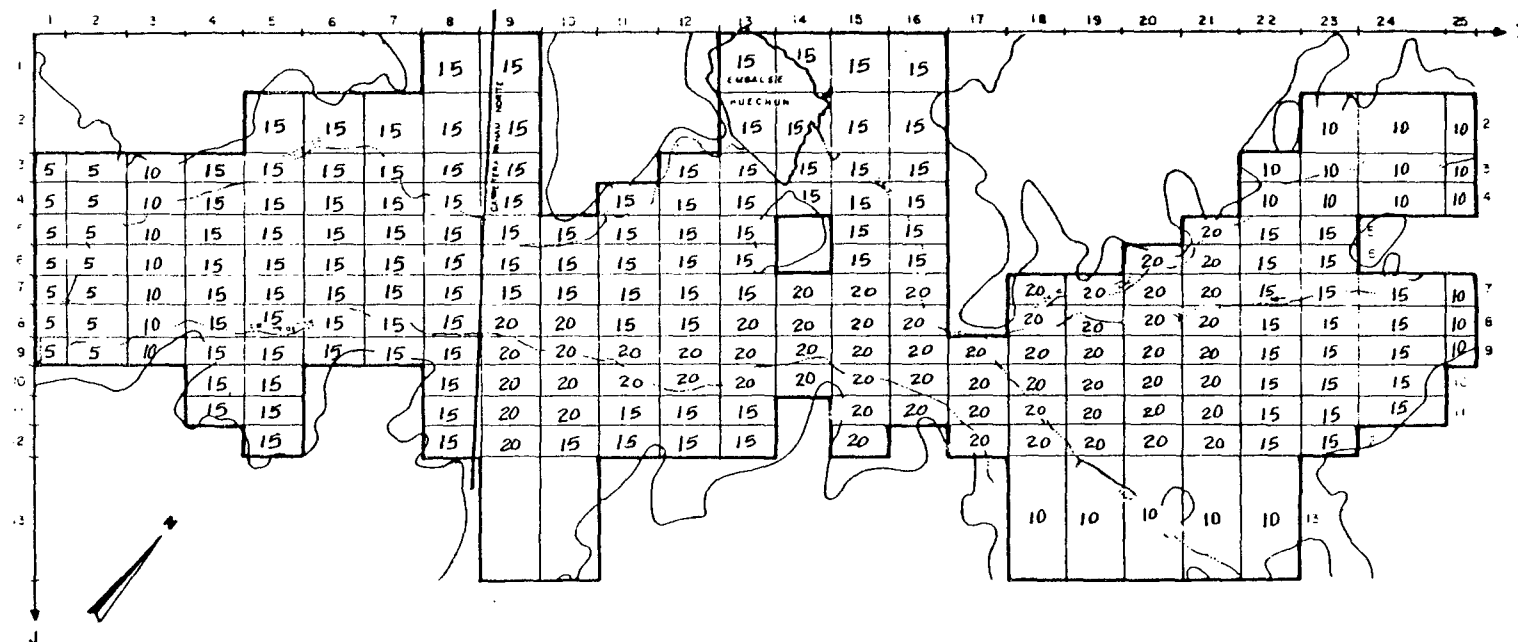
MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	TOTAL ANUAL
MALLAS EXTERIORES	1.28	1.45	1.43	0.99	1.05	1.15	1.32	1.59	1.63	1.46	1.39	1.28	16.03
RIO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VERTIENTES	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ALMACENAMIENTO	1.22	1.39	3.50	15.87	0.99	1.10	1.25	1.50	1.55	1.38	1.31	1.21	32.28
BOMBEO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.51	-6.27	-6.27	-3.76	-3.76	-2.51	-25.10
INFILTRACIONES DE RIEGO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.50	6.25	6.25	3.75	3.75	2.50	25.02
INFILTRACIONES POR LLUVIAS	0.0	0.0	2.15	15.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.20
BALANCE TOTAL	0.05	0.06	0.08	0.17	0.06	0.06	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07	0.06	0.87

VALORES POSITIVOS INDICAN ENTRADAS AL ACUIFERO

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (%)

PASADA N° 6



6.2.2.7 Pasada N°7

Se efectuó el 02/12/83, obteniéndose para el Balance Másico el cuadro que sigue:

Vol. (Mm3/año)

ENTRADAS AL ACUIFERO

- Mallas exteriores	1,0
- Infiltraciones de riego	17,8
- Infiltraciones por lluvias	11,8
- Infiltraciones estero Santa Margarita	<u>3,8</u>
TOTAL	34,4

SALIDAS DESDE EL ACUIFERO

- Bombeos	25,1
-----------	------

VARIACIONES DE ALMACENAMIENTO	8,4
-------------------------------	-----

Comparando estos valores con los de las pasadas anteriores, queda clara una importante mejoría en el ajuste. En efecto, los cambios de almacenamiento ya han disminuído considerablemente, así como también se tiene casi equilibradas las entradas y salidas laterales.

En cuanto al contraste piezométrico se ha conseguido un fuerte ajuste en prácticamente toda la zona modelada, lo que se puede apreciar claramente en el plano correspondiente.

Podría, sin embargo, mejorar la situación en lo que va desde la Angostura de Quilapilún hasta un poco aguas abajo del embalse Huechún.

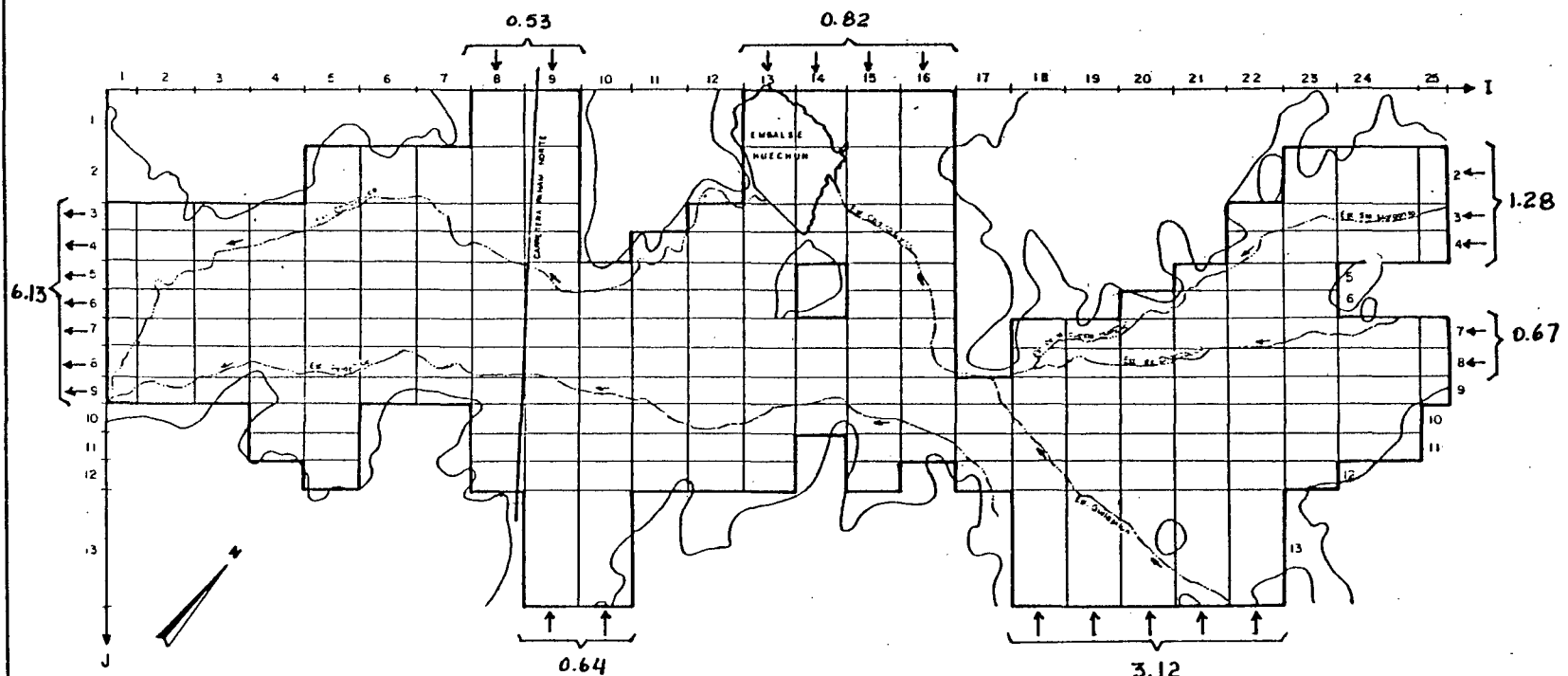
Para ello se ha planificado una 8a. Pasada con los siguientes cambios respecto de la situación actual:

- Nuevas cotas piezométricas iniciales en el sector de la Angostura de Quilapilún.
- Nuevos valores de la transmisibilidad en esta misma zona, tendiendo a canalizar el flujo por una franja que va debajo del estero Peldehue.



- Creación de mallas con infiltraciones por lluvias, actualmente nulas, en el sector de Chacabuco, simuladas como infiltraciones desde el estero Quilapilún. Esto se hace para evitar el descenso de los niveles simulados en los meses de Marzo a Septiembre en la zona de la Angostura de Quilapilún, que los piezómetros de contraste no registran.

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

BALANCE MASICO (Mm^3 / año) PASADA N°7

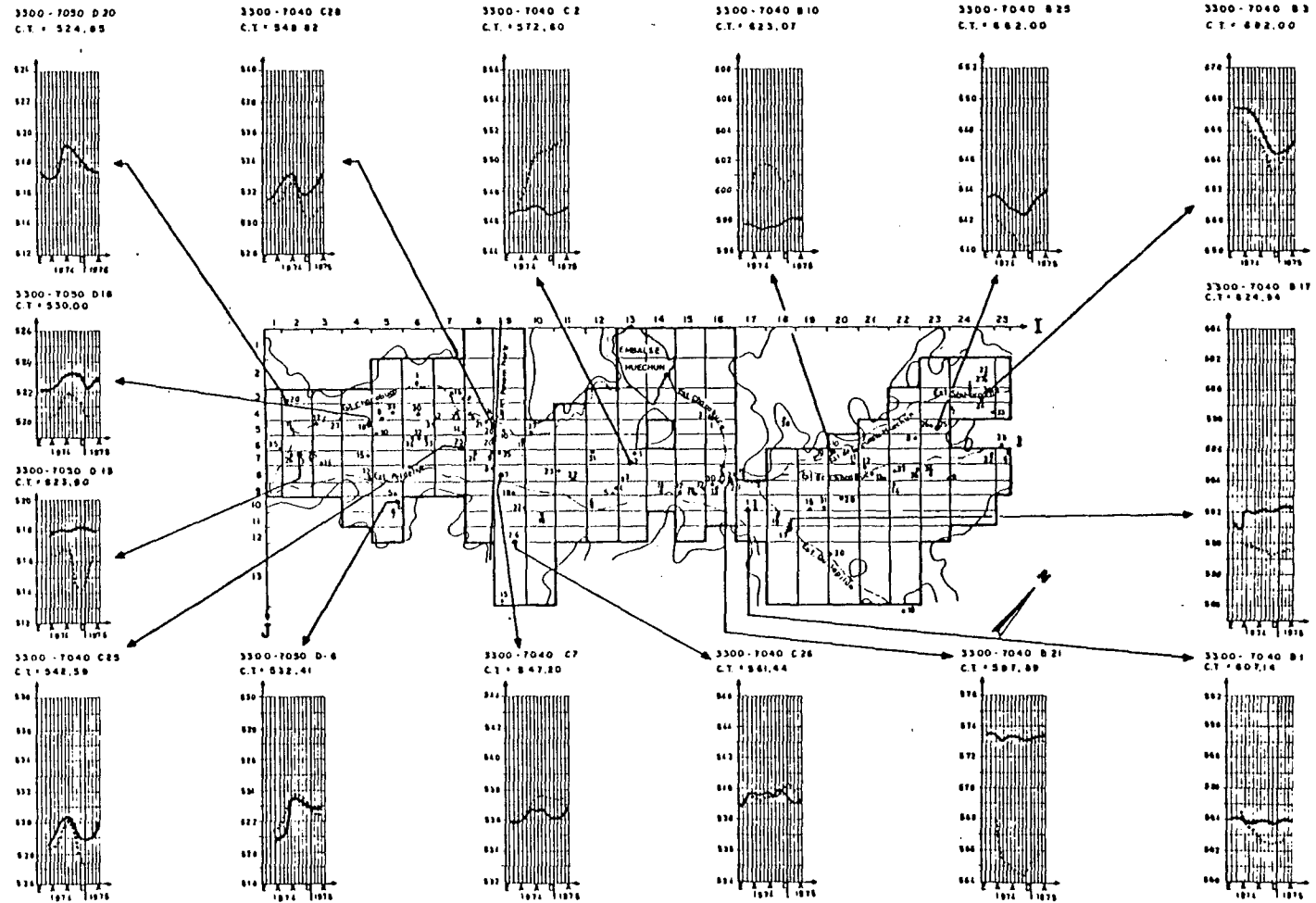


Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km.

NIVEL MEDIDO : 
 NIVEL SIMULADO : 

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO CONTRASTE PIEZOMETRICO PASADA N°7

ESCALA GRAFICA
 0 10 20 30 KM



RESUMEN BALANCE MASICO PASADA N° 7

VALORES EN MILLONES M3

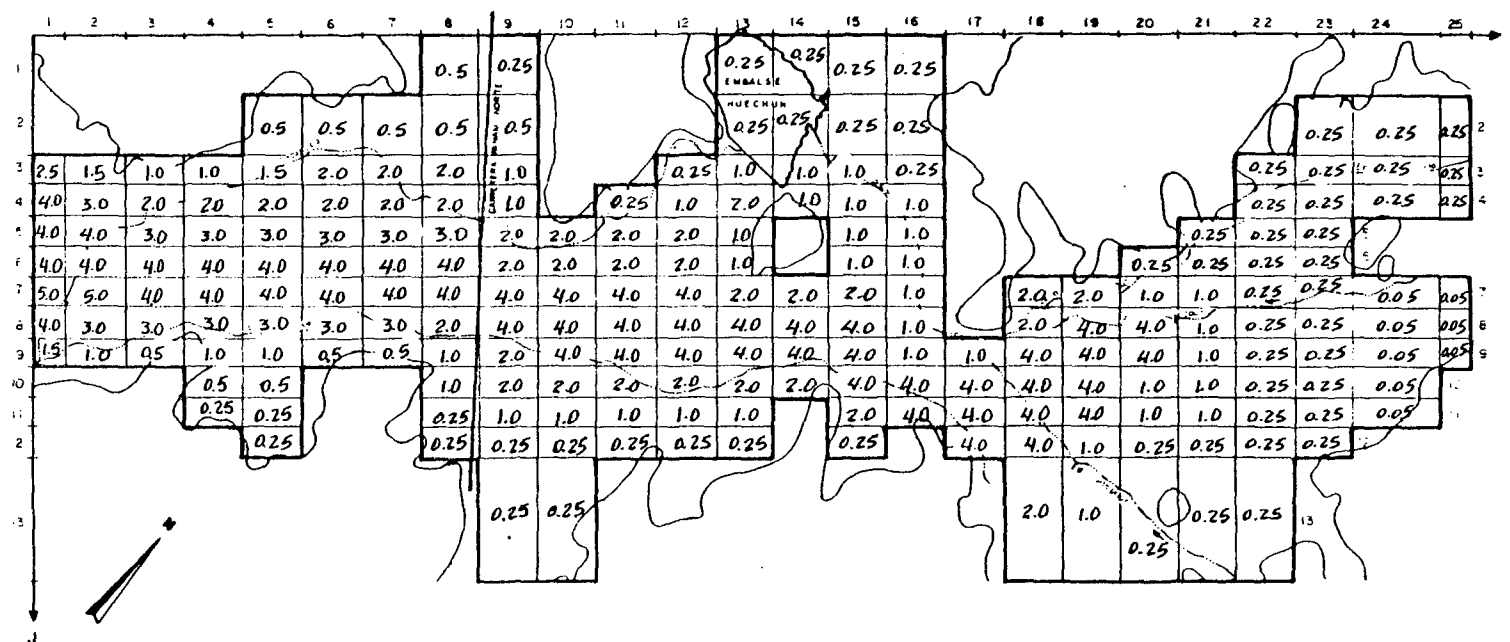
MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	TOTAL ANUAL
MALLAS EXTERIORES	-0.14	0.03	0.00	-0.20	-0.23	-0.24	-0.01	0.42	0.57	0.45	0.27	0.06	0.99
RIO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VERTIENTES	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ALMACENAMIENTO	-0.20	-0.04	1.11	5.61	2.06	2.05	-1.52	-3.99	-1.11	0.23	1.49	2.73	8.42
BOMBEO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.51	-7.53	-7.53	-5.02	-2.51	0.0	-25.10
INF. DE RIEGO ZONA POLPAICO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.06	3.19	3.19	2.13	1.06	0.0	10.64
INF. DE RIEGO ZONA CHACABUC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.79	1.79	1.79	1.79	7.15
INF. DEL ESTERO STA. MARGARIT	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.94	0.94	0.94	0.94	3.78
INFILTRACIONES POR LLUVIAS	0.0	0.0	1.18	5.88	2.35	2.35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.76
BALANCE TOTAL	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.81

VALORES POSITIVOS INDICAN ENTRADAS AL ACUIFERO

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

TRANSMISIVIDAD (miles m²/día)

PASADA N° 7

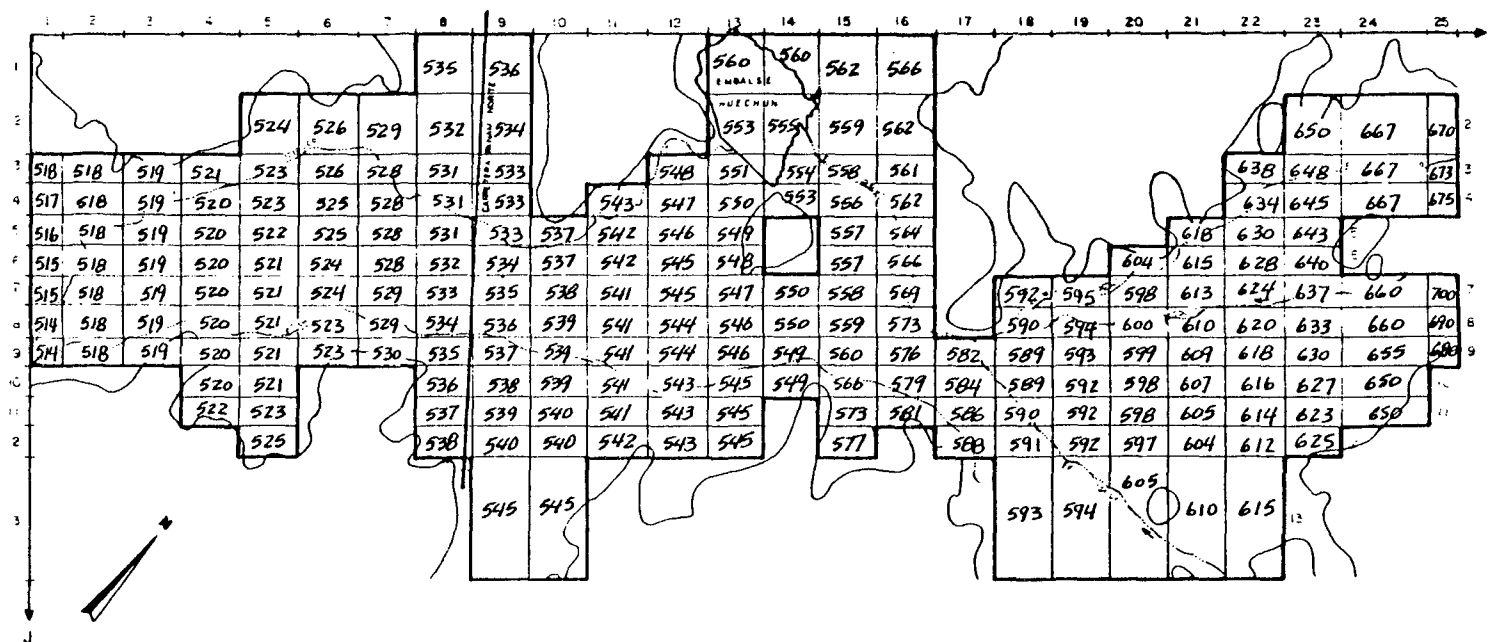


Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km.

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

PIEZOMETRIA INICIAL (m)

PASADA N° 7

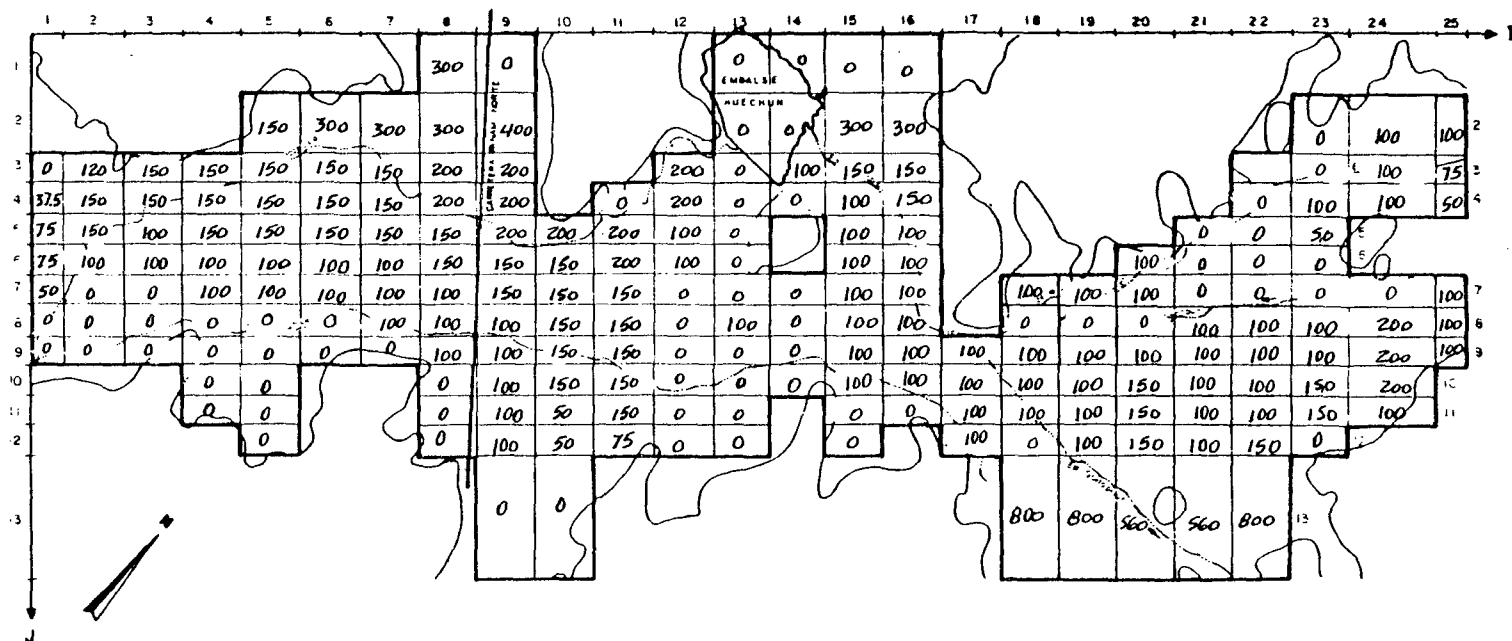


Escala Gráfica

0 1 2 3 Km.

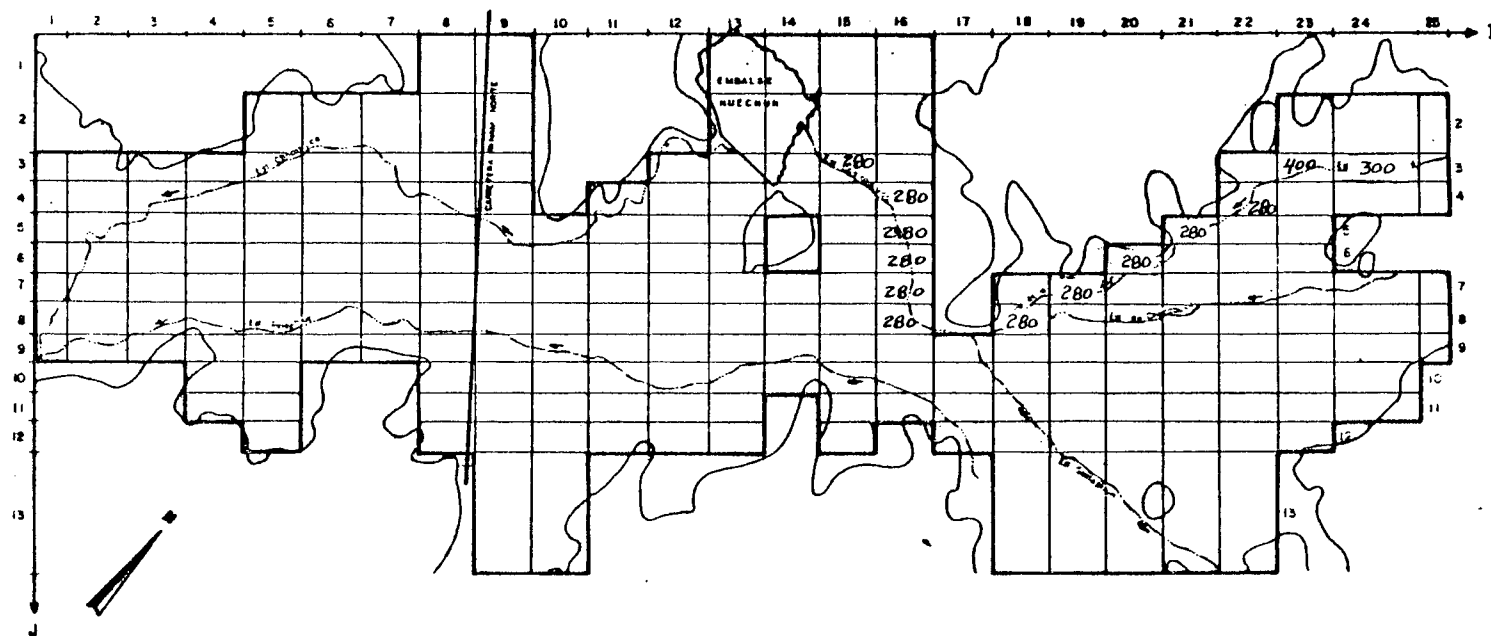
MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

INFILTRACIONES DE RIEGO (miles m³/año) PASADA N° 7



MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

INF. DESDE ESTERO STA. MARGARITA (miles m³/año) PASADA N° 7



-209-

Escala Gráfica
0 1 2 3 Km.

6.2.2.8 Pasada N°8

Se efectuó el 06/12/83, obteniéndose del Balance Másico el siguiente cuadro:

Vol (Mm3/año)

ENTRADAS AL ACUIFERO

- Mallas exteriores	1,7
- Infiltraciones de riego	17,8
- Infiltraciones por lluvias	11,8
- Infiltraciones estero Sta. Mar	
garita	3,8
- Infiltraciones estero Quilapilún	<u>1,4</u>
TOTAL	36,5

SALIDAS DESDE EL ACUIFERO

- Bombeos	25,1
-----------	------

VARIACIONES DE ALMACENAMIENTO	10,6
-------------------------------	------

Estos valores no difieren prácticamente en nada de los obtenidos en la 7a. pasada. Tampoco el detalle de las entradas y salidas laterales, presente en el plano del Balance Másico, tiene diferencias que merezcan mención.

En el contraste piezométrico sí que hay cambios notorios, los que se manifiestan fundamentalmente en un mejor ajuste para el sector de Chacabuco y la Angostura de Quilapilún. No hubo gran mejoría, en cambio, para el sector del embalse Huechún, manteniéndose un alza sostenida en los niveles simulados.

Sin embargo, observando el plano del contraste piezométrico, queda en claro una gran coincidencia entre lo medido y lo simulado para la mayor parte de los piezómetros. Con esto, unido a los razonables valores que da el balance másico, y considerando la cantidad de información con que se ha dispuesto para preparar los datos de entrada, puede considerarse ajustado este modelo.

Es evidente que el ajuste podría mejorarse, pero para ello se ría necesario recopilar abundante información adicional a la disponible para este estudio. Debe quedar en claro también, que los datos de base ocupados son bastantes y de buena calidad; pero ocurre que, a medida que se desarrolla el modelo, aparece la necesidad de un mayor conocimiento de ciertos sectores del acuífero, o bien, de ampliar y completar la informa ción existente.

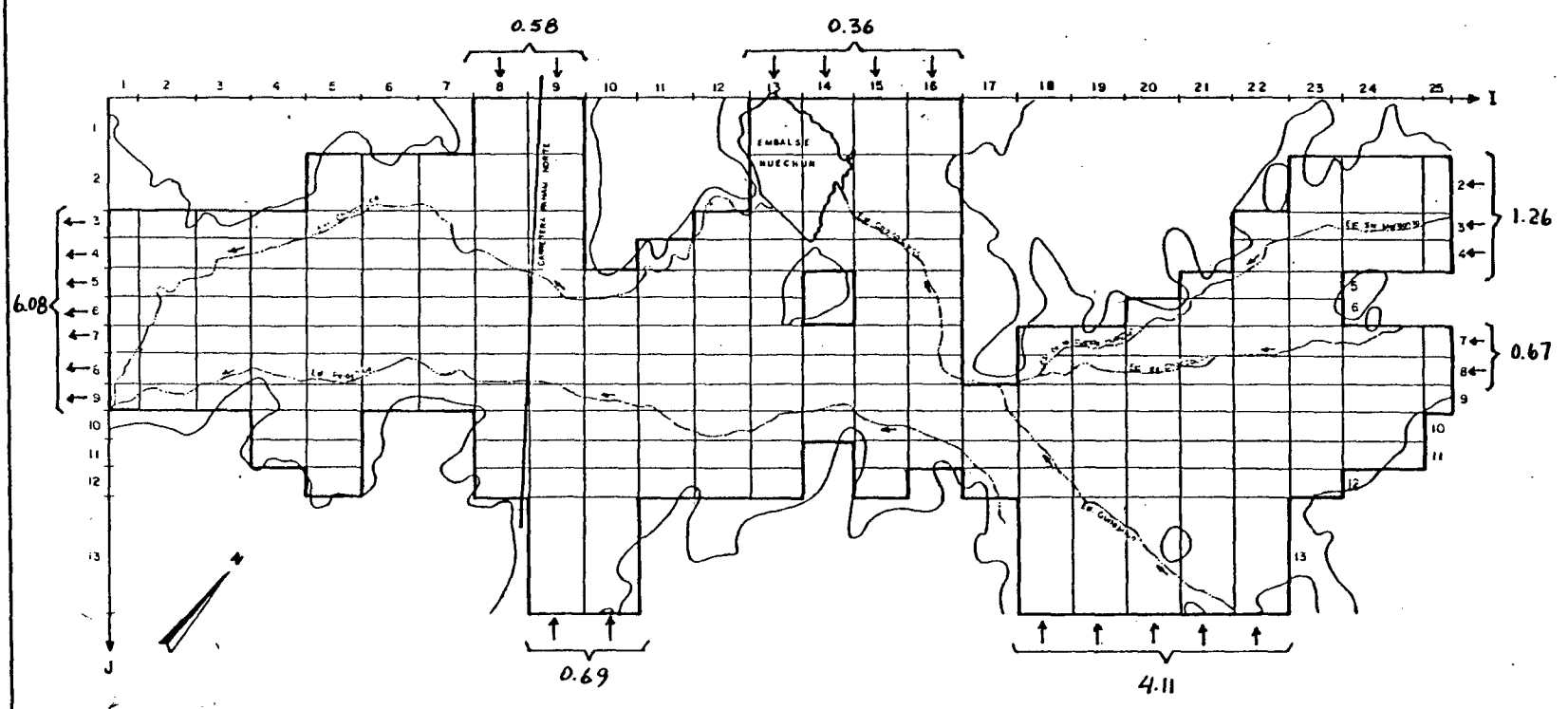
A continuación se presentan las conclusiones del proceso de ajuste del modelo. Estas incluyen dos aspectos fundamentales.

Primeramente se hace un análisis del funcionamiento del acuífero en la zona estudiada, de acuerdo a lo indicado por el modelo. Junto con esto se proponen 2 pasadas de simulación, donde se analiza el comportamiento del acuífero frente a nuevas formas de explotación.

Posteriormente, como respuesta a las limitantes del calaje an tes mencionadas, se da una lista con los datos de terreno que sería necesario obtener para lograr un mejor ajuste del modelo.

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

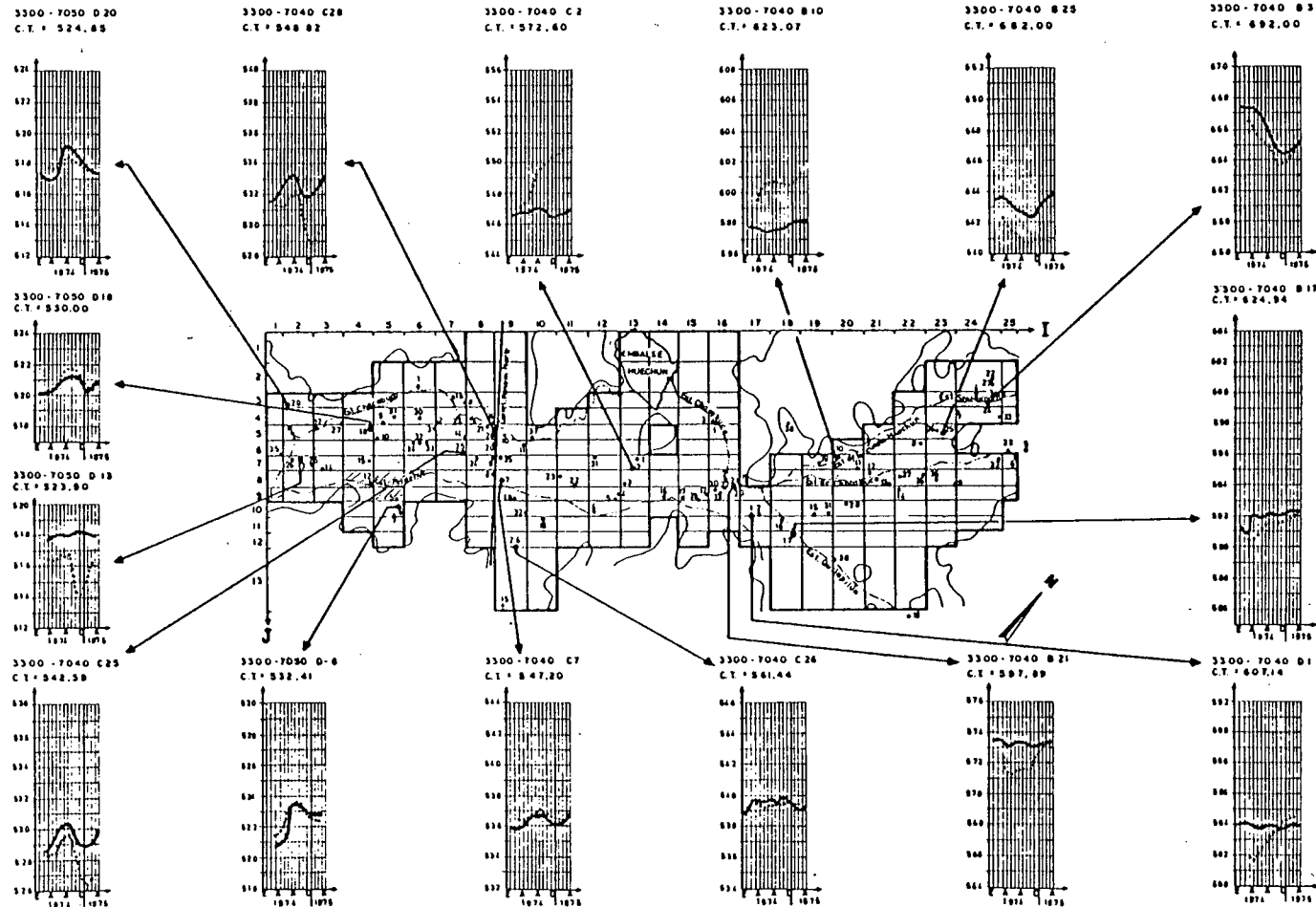
BALANCE MASICO (Mm^3 / año) PASADA N°8



NIVEL MEDIDO = 
NIVEL SIMULADO = 

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO CONTRASTE PIEZOMETRICO PASADA N°8

ESCALA GRAFICA
0 10 20 30 KM.



RESUMEN BALANCE MASICO PASADA N° 8

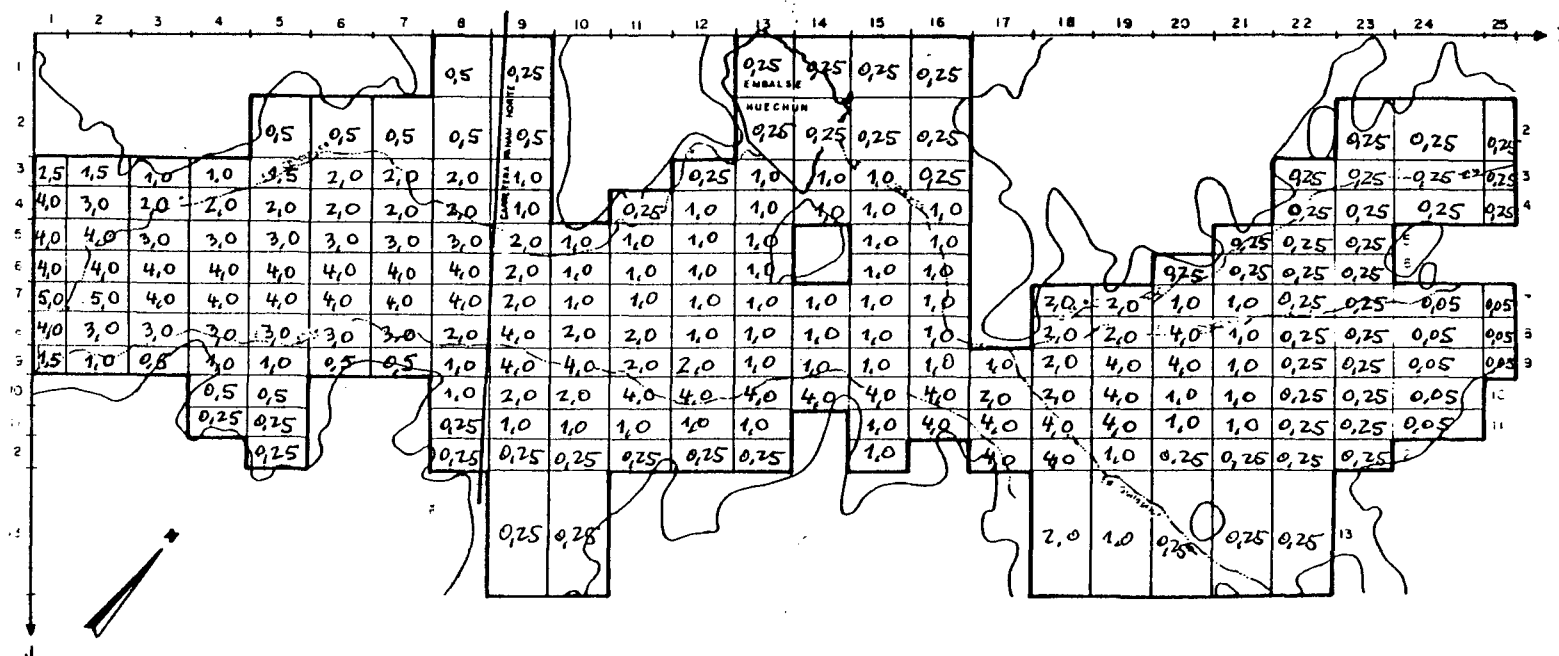
VALORES EN MILLONES M3

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	TOTAL ANUAL
MALLAS EXTERIORES	-0.00	0.19	0.14	-0.10	-0.16	-0.19	0.01	0.42	0.55	0.44	0.27	0.08	1.65
RIO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VERTIENTES	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ALMACENAMIENTO	-0.07	0.13	1.53	6.00	2.41	2.38	-0.50	-1.83	-0.75	-0.14	0.42	0.97	10.56
BOMBEO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.51	-7.53	-7.53	-5.02	-2.51	0.0	-25.10
INF. DE RIEGO ZONA POLPAICO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.06	3.19	3.19	2.13	1.06	0.0	10.64
INF. DE RIEGO ZONA CHACABUC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.72	2.16	2.16	1.44	0.72	0.0	7.20
INF. DEL ESTERO STA. MARGARIT	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.94	0.94	0.94	0.94	3.78
INFILTRACIONES POR LLUVIAS	0.0	0.0	1.18	5.88	2.35	2.35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.76
INF. ESTERO QUILAPILUN	0.0	0.0	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.40
BALANCE TOTAL	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.77

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

TRANSMISIVIDAD (miles m²/día)

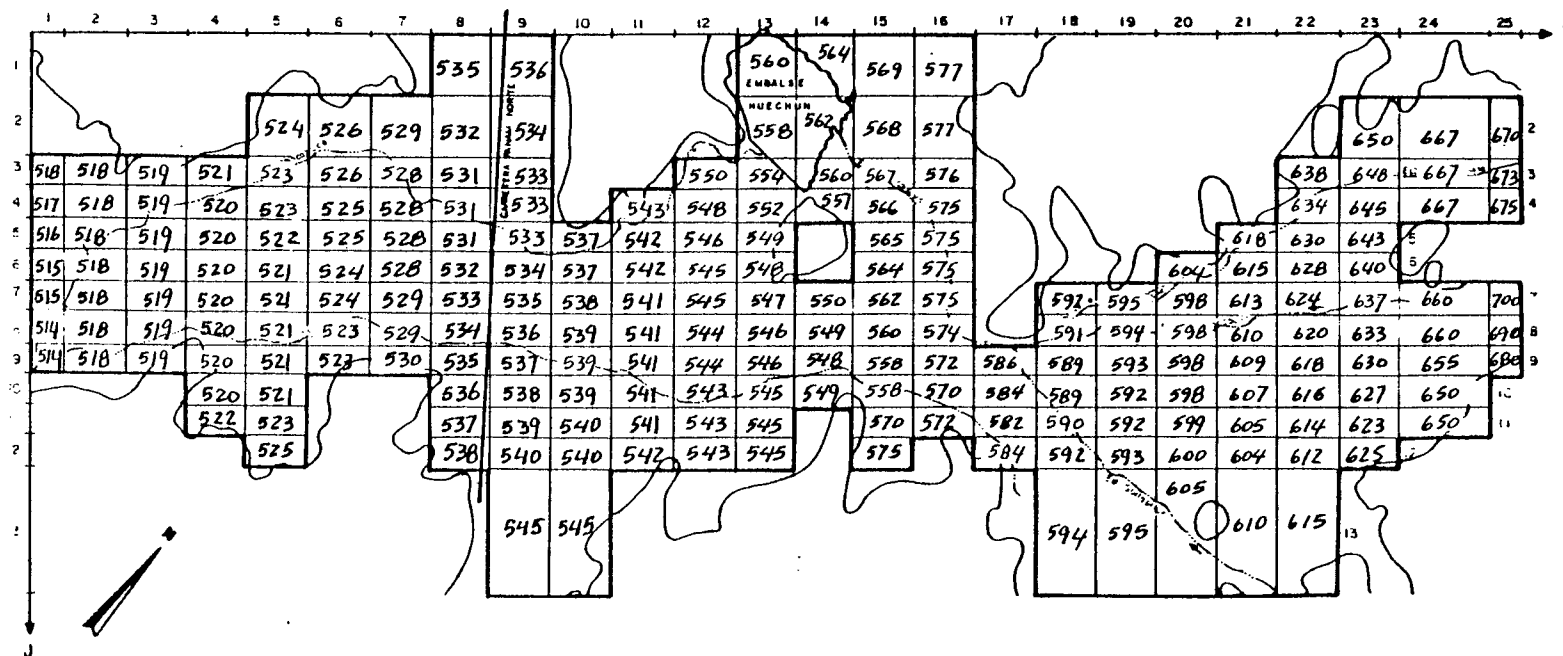
PASADA N° 8



MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

PIEZOMETRIA INICIAL (m)

PASADA N° 8

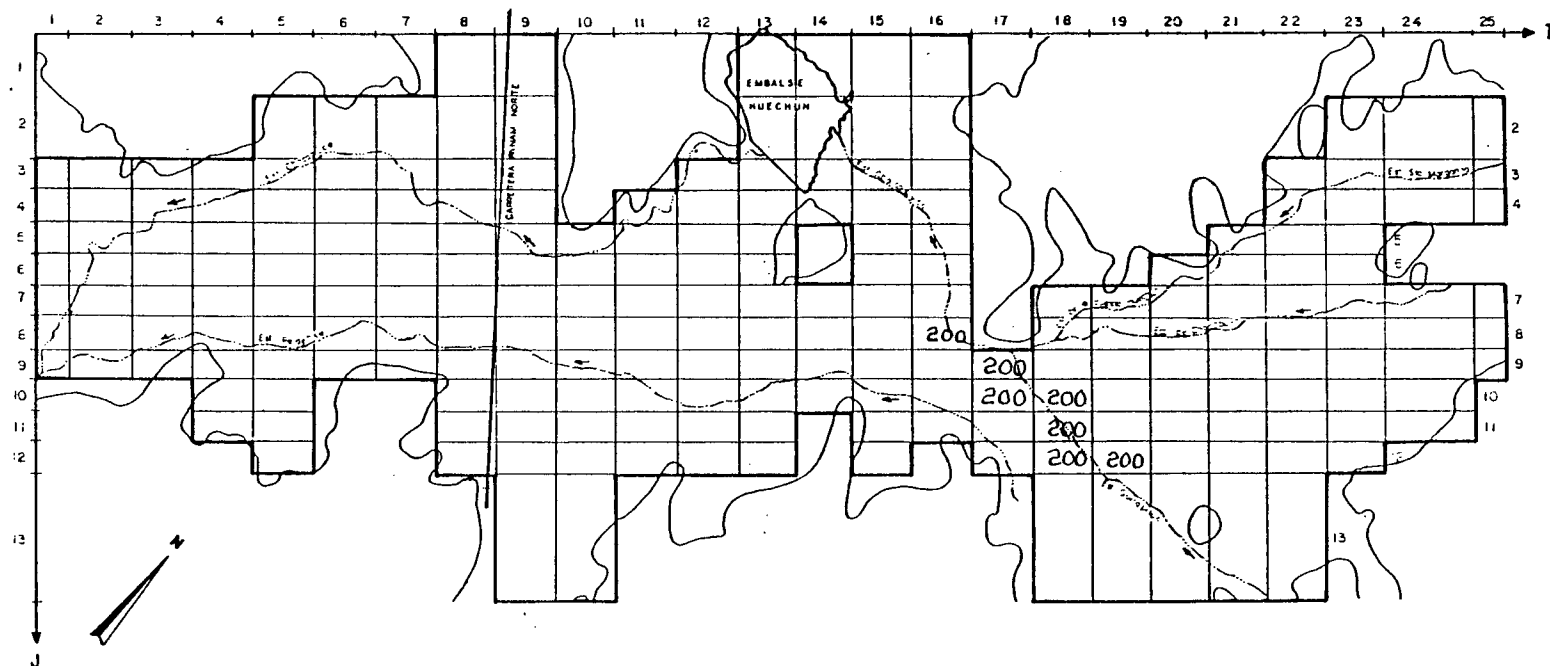


-216-

Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km.

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

INFILTRACIONES ESTERO QUILAPILUN (miles m³/año) PASADA N° 8

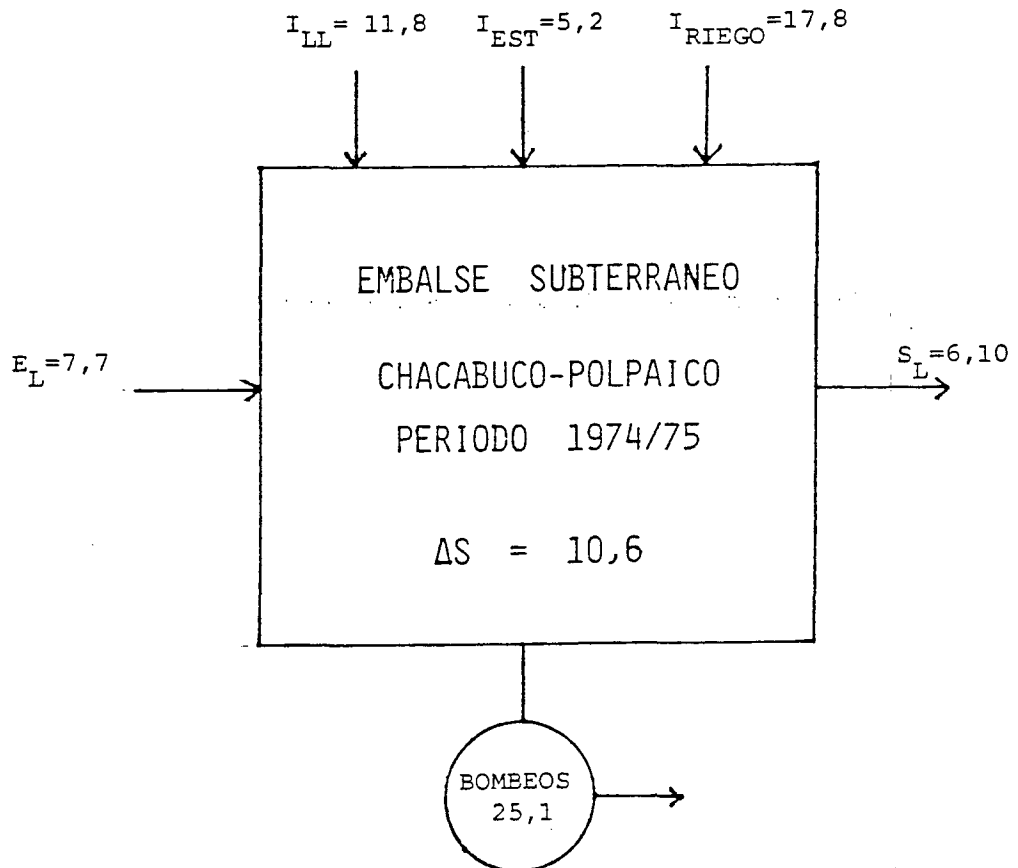


Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km.

6.2.3 Conclusiones

6.2.3.1 Esquema del Funcionamiento del Acuífero

El esquema de funcionamiento que se presenta a continuación se basa exclusivamente en los resultados entregados por la simulación del acuífero hecha por el modelo.



Valores en (Millones m³/año)

Donde:

I_{LL} —→ Infiltraciones por lluvias.

I_{EST} —→ Infiltraciones desde esteros.

I_{RIEGO} —→ Infiltraciones de riego.

E_L —→ Entradas Subterráneas al acuífero.

S_L —→ Salidas subterráneas desde el acuífero.

ΔS —→ Variaciones de almacenamiento.

El esquema anterior se refiere al comportamiento global del acuífero. Ahora, profundizando el análisis, pueden distinguirse dos grandes zonas de comportamiento homogéneo. Estas son: la ubicada aguas arriba de la Angostura de Quilapilún, que se ha denominado Chacabuco, y la que se localiza aguas abajo de la citada angostura, llamada Polpaico.

En la zona de Chacabuco la recarga del acuífero se efectuaría por:

- Infiltraciones de riego
- Infiltraciones desde los esteros Santa Margarita y Quilapilún,
- Entradas subterráneas desde las cuencas de los esteros Santa Margarita, Chacabuco y Peldehue.

En el caso de la infiltración desde esteros, se han supuesto recargas en época de lluvias en el Quilapilún, mientras que para el Santa Margarita la recarga ocurriría cuando trae agua el canal Chacabuco-Polpaico, es decir, en la época de riego.

Las descargas del acuífero en esta zona serían las siguientes:

- Bombeos
- Salidas subterráneas por la Angostura de Quilapilún.

Y las salidas:

- Bombeos
- Salidas subterráneas por Chicauma

Todo lo indicado en el análisis queda claramente expuesto en el cuadro RESUMEN BALANCE MASICO de la 8a. Pasada, que se acompaña a continuación.

Posteriormente se entrega los valores por malla, de cada uno de los diferentes datos de entrada empleados en la última pasada de ajuste . Con esto se completa este esquema de funcionamiento del acuífero.

1801892

RESUMEN BALANCE MASICO PASADA N° 8

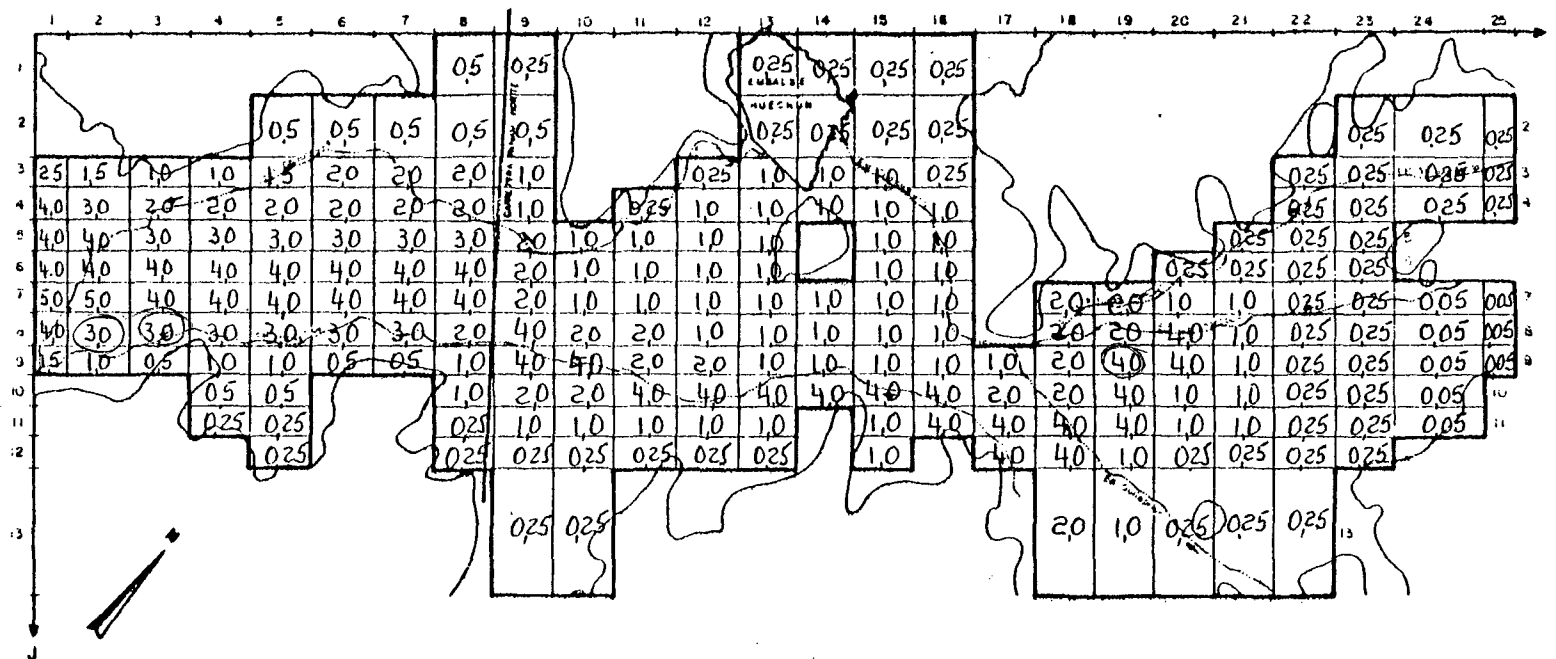
VALORES EN MILLONES M3

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	TOTAL ANUAL
MALLAS EXTERIORES	-0.00	0.19	0.14	-0.10	-0.16	-0.19	0.01	0.42	0.55	0.44	0.27	0.08	1.65
RIO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VERTIENTES	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ALMACENAMIENTO	-0.07	0.13	1.53	6.00	2.41	2.38	-0.50	-1.83	-0.75	-0.14	0.42	0.97	10.56
BOMBEO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.51	-7.53	-7.53	-5.02	-2.51	0.0	-25.10
INF. DE RIEGO ZONA POLPAICO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.06	3.19	3.19	2.13	1.06	0.0	10.64
INF. DE RIEGO ZONA CHACABUC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.72	2.16	2.16	1.44	0.72	0.0	7.20
INF. DEL ESTERO STA. MARGARIT	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.94	0.94	0.94	0.94	3.76
INFILTRACIONES POR LLUVIAS	0.0	0.0	1.13	5.88	2.35	2.35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.76
INF. ESTERO QUILAPILUN	0.0	0.0	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.40
BALANCE TOTAL	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.77

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

TRANSMISIVIDAD (miles m²/día)

VALORES FINALES AJUSTE



- 222 -

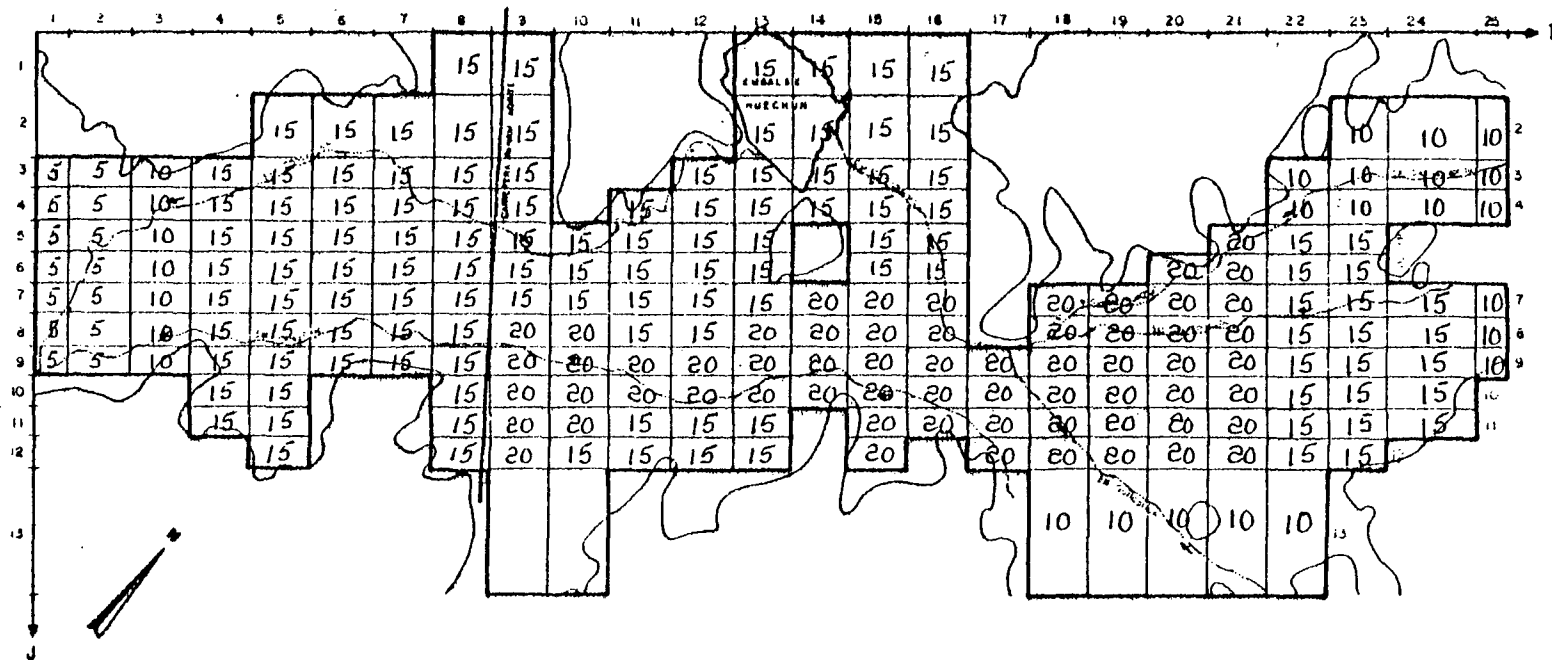
Escala Gráfica

0 1 2 3 Km.

103.-

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

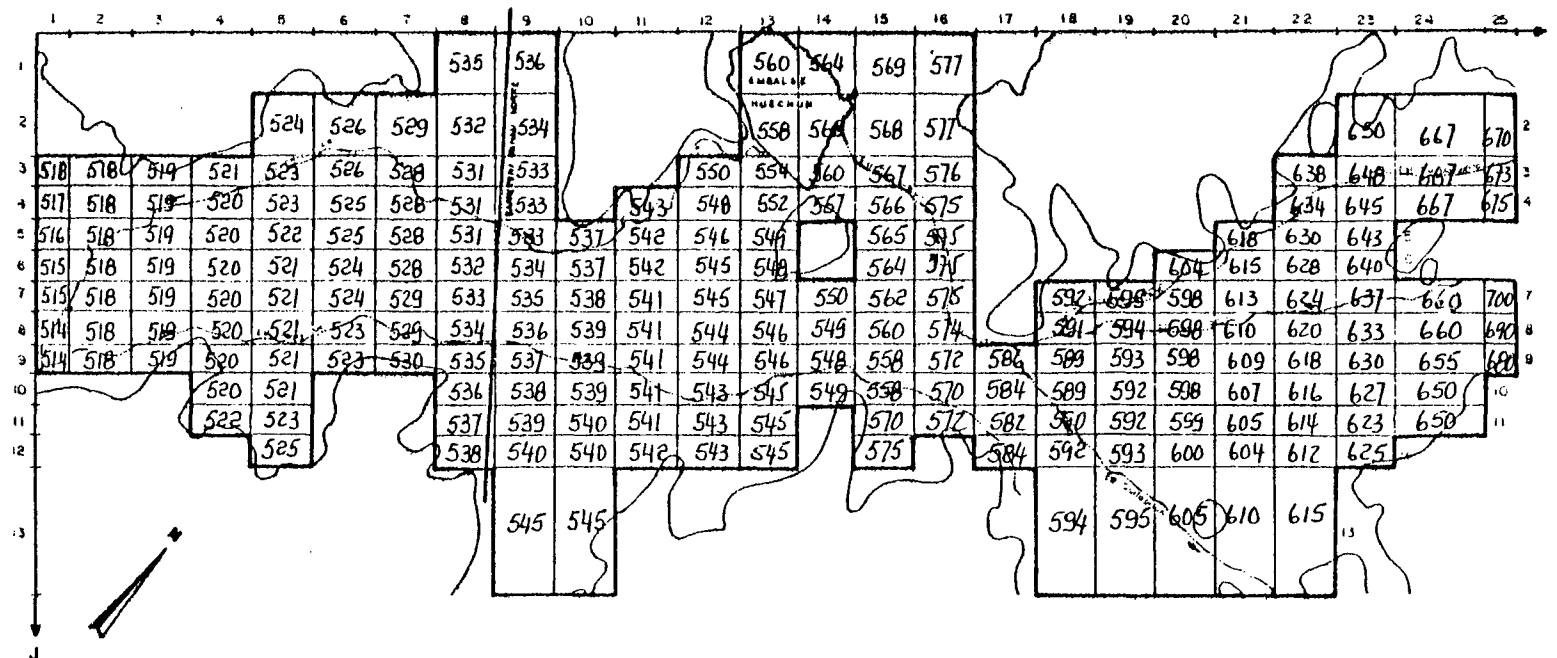
COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (%) VALORES FINALES AJUSTE



MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

PIEZOMETRIA INICIAL (m)

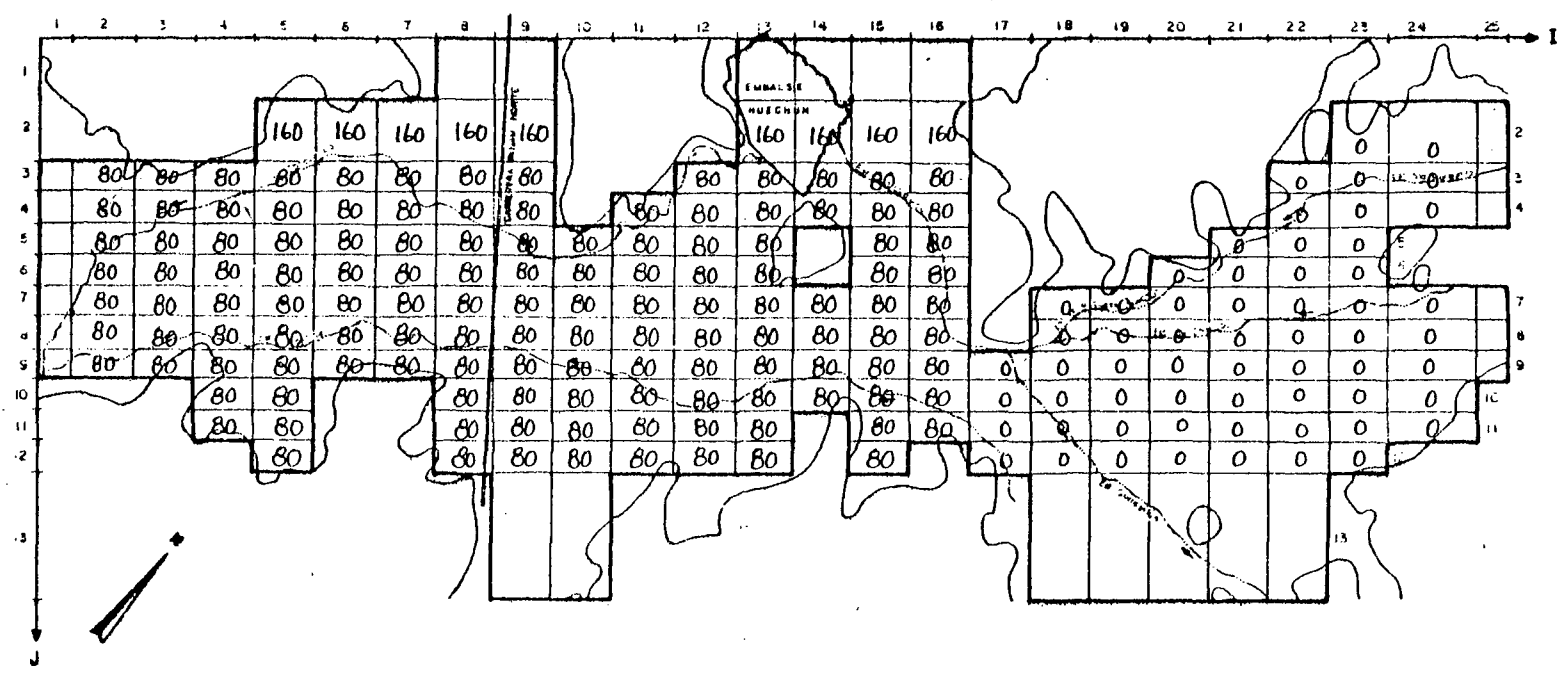
VALORES FINALES AJUSTE



-224-

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

INFILTRACIONES POR LLUVIAS (miles m³/año) VALORES FINALES AJUSTE

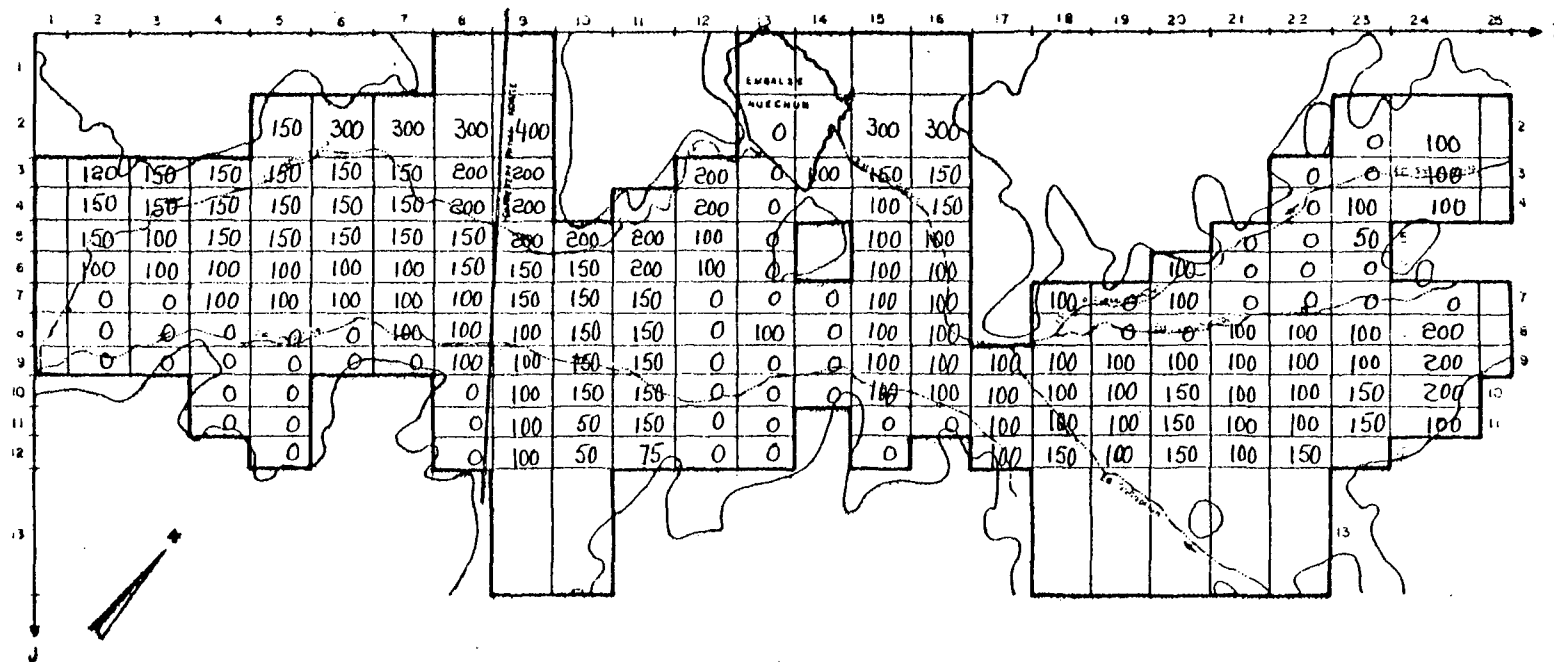


Escala Grafica
 0 1 2 3 Km.

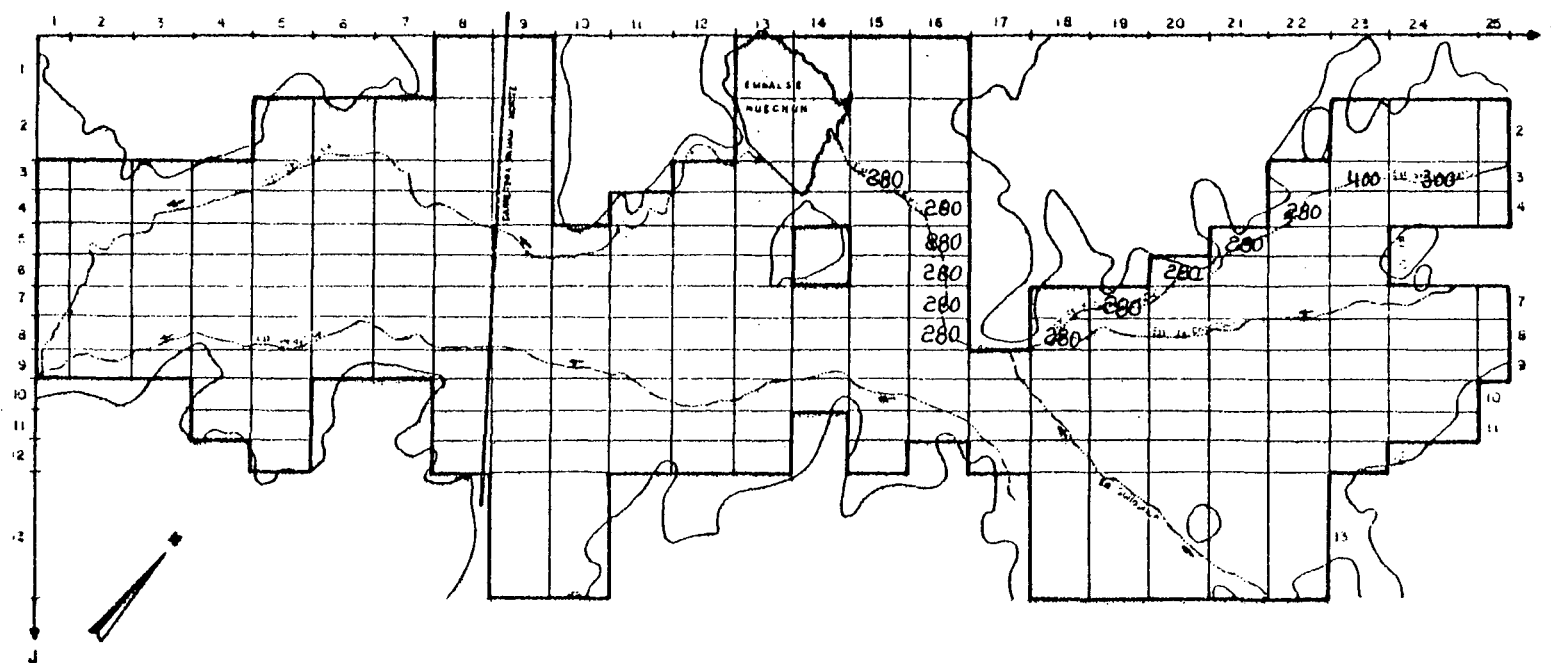
MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

INFILTRACIONES DE RIEGO (miles m³/año)

VALORES FINALES AJUSTE



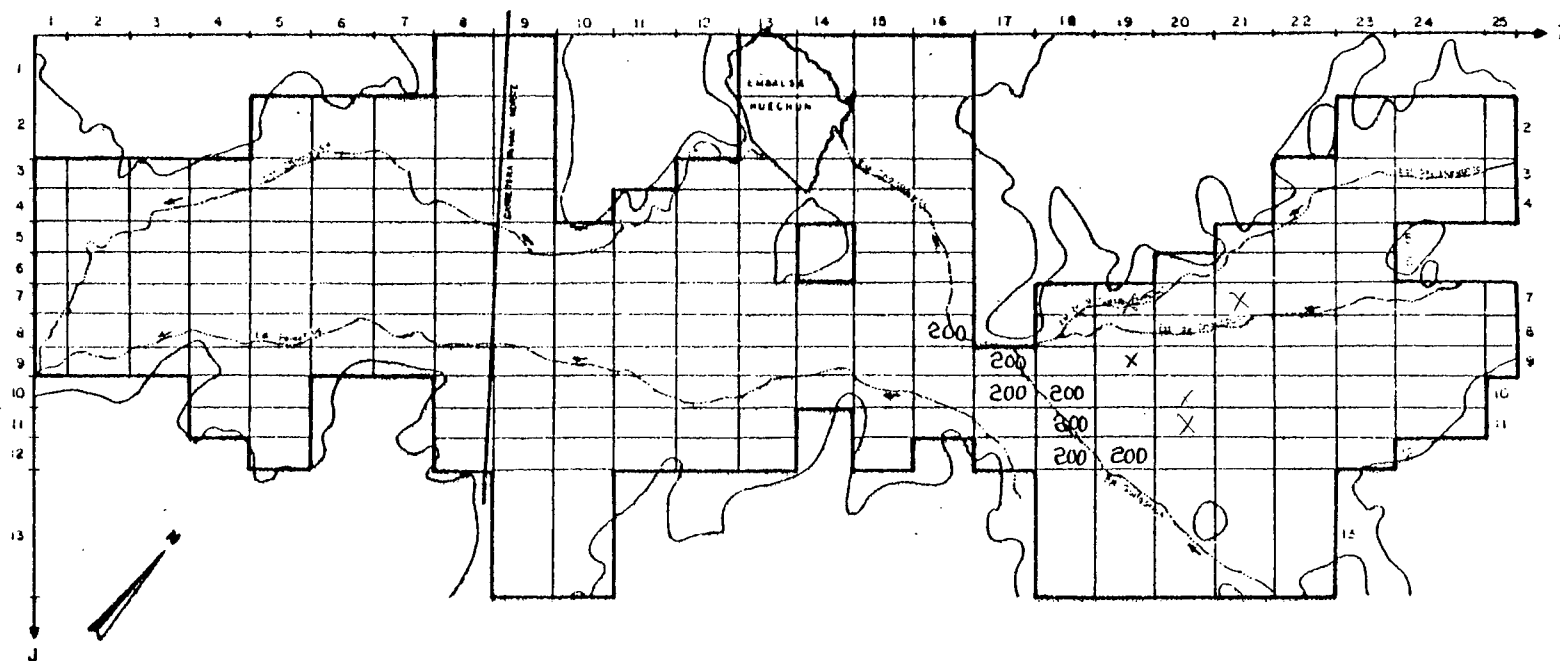
INFILTRACIONES ESTERO STA. MARGARITA (miles m ³ /año)	VALORES FINALES AJUSTE
1970	1.00
1971	1.00
1972	1.00
1973	1.00
1974	1.00
1975	1.00
1976	1.00
1977	1.00
1978	1.00
1979	1.00
1980	1.00
1981	1.00
1982	1.00
1983	1.00
1984	1.00
1985	1.00
1986	1.00
1987	1.00
1988	1.00
1989	1.00
1990	1.00
1991	1.00
1992	1.00
1993	1.00
1994	1.00
1995	1.00
1996	1.00
1997	1.00
1998	1.00
1999	1.00
2000	1.00
2001	1.00
2002	1.00
2003	1.00
2004	1.00
2005	1.00
2006	1.00
2007	1.00
2008	1.00
2009	1.00
2010	1.00
2011	1.00
2012	1.00
2013	1.00
2014	1.00
2015	1.00
2016	1.00
2017	1.00
2018	1.00
2019	1.00
2020	1.00
2021	1.00
2022	1.00
2023	1.00
2024	1.00
2025	1.00
2026	1.00
2027	1.00
2028	1.00
2029	1.00
2030	1.00



0 1 2 3 Km.

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

INFILTRACIONES ESTERO QUILAPILUN (miles m³/año) VALORES FINALES AJUSTE

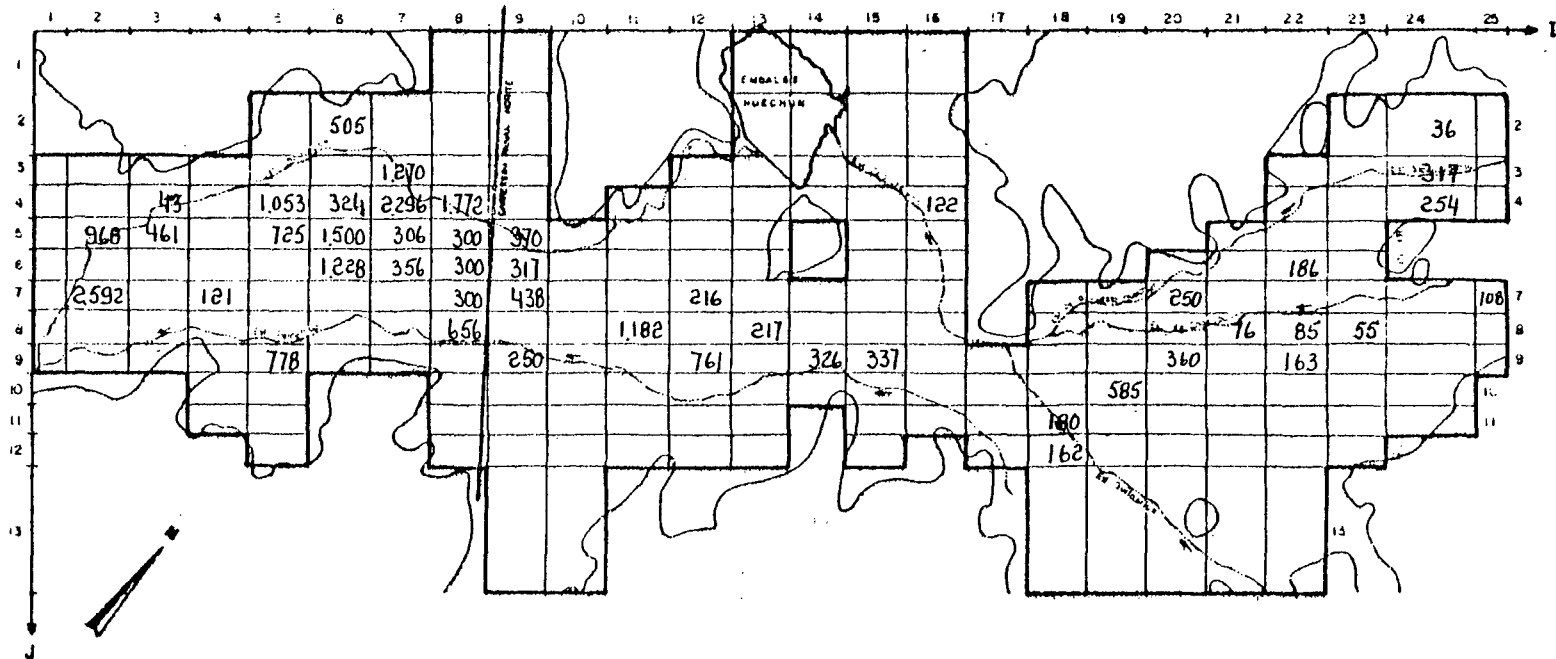


Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km.

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

BOMBEO (miles m³/año)

VALORES FINALES AJUSTE



6.2.3.2 Proposición de Pasadas de Simulación

Para el acuífero Chacabuco-Polpaico se proponen efectuar dos pasadas del modelo, correspondientes a dos posibilidades de explotación futura, a saber:

- Suponer que se intensifica la explotación de agua subterránea, para regar todos los sectores de secano que existen en el interior del acuífero.
- Suponer que existe un año particular, en que no se disponga de las aguas del Canal Chacabuco-Polpaico y estudiar la posibilidad de que se rieguen con agua subterránea.

6.2.3.3 Sugerencias para la recopilación de antecedentes del acuífero

Tal como se ha planteado anteriormente, al final del análisis de la 8a. Pasada, un mejor ajuste del modelo requiere de mayor información del acuífero.

De acuerdo a las necesidades vistas en el proceso de ajuste, esta información debería incluir como mínimo lo siguiente:

- Una campaña de geofísica de resistividad eléctrica, que permita definir a la escala 1:50.000 la situación de la roca basal, límite inferior del acuífero.

Por otra parte, servirá para distinguir paquetes de mayor y menor permeabilidad dentro del acuífero.

- Una campaña de nivelación topográfica de todos los puntos acuíferos, incluyendo sondeos y norias.

La precisión de la nivelación será de 1 (cm), extremo que si bien no es indispensable para el trazado de las isopiezas, lo es para el registro de variaciones piezométricas. Esta precisión es concordante con la del aparato de medida de los niveles piezométricos.

- Una campaña de mediciones sistemáticas de niveles estáticos en un número seleccionado de pozos y norias. Eventualmente puede ser necesaria la construcción de pozos de pequeño diámetro para este propósito.
- Una campaña de análisis de la situación del riego tanto superficial como subterránea, que incluya:
 - . Medidas de caudales derivados por los canales.
 - . Medidas de caudales aplicados a los predios, y caudales salientes como sobrantes.
 - . Experiencias de infiltración de riego, en predios tipos seleccionados para ese efecto.
 - . Determinación más precisa de los volúmenes mensuales y anuales aplicados a cada predio. Este punto incluye una encuesta exhaustiva de extracciones desde los pozos.
 - . Experiencias de infiltración en canales, mediante aforos diferenciales en sitios convenientemente elegidos.

6.3 PROCESO DE SIMULACION

6.3.1 Introducción

De acuerdo a lo expuesto en capítulo anterior, se ha programado dos pasadas de simulación.

En la primera se ha supuesto la corta del Canal Chacabuco-Polpaico durante dos años. Esto significa que, a lo largo de este período, la superficie actualmente regada con recursos del canal, deberá utilizar aguas subterráneas para su abastecimiento.

La segunda pasada de simulación consiste en estudiar, para un período de un año, lo que ocurre al incorporar al riego las zonas actualmente catalogadas como secano arable.

A continuación se describe la metodología de cálculo de los nuevos volúmenes bombeados, incluyéndose además un cuadro con el resumen de cálculos. Luego están los planos con el detalle por malla, de los nuevos volúmenes de bombeo e infiltraciones de riego.

6.3.2 Metodología de Cálculo

La metodología es la siguiente:

- a) Se ha dividido la cuenca en 31 diferentes sectores de riego, siendo éstos los mismos empleados en la preparación de los Datos de Entrada para el proceso de ajuste. Se adjunta plano correspondiente.
- b) Para cada uno de estos sectores se ha medido la superficie total regable, y determinado el caudal máximo que podrían entre gar los pozos en uso del sector.
- c) Suponiendo para el mes de máximo consumo de riego, una tasa de bombeo de $q = 0,6$ (l/s/há), se ha calculado el área regable con los pozos existentes. Luego, por diferencia con la superficie total regable, se ha obtenido el área que actualmente se regaría con aguas superficiales.
- d) A continuación se ha identificado para cada uno de los 31 sectores las mallas del modelo donde podría instalarse nuevos pozos de bombeo. Se ha tenido el cuidado, cuando ha sido posible, de no poner nuevos pozos en mallas donde ya existe explotación de la napa, como también de evitar poner pozos en lugares muy cercanos a los bordes del acuífero.
- e) Una vez definida la cantidad de nuevos pozos con que podría disponerse en cada sector, se ha dividido el área sin riego, o actualmente regada con aguas superficiales, por el número de estos pozos.

Así se tiene el área que corresponde que riegue cada nuevo pozo. Luego, se ha asignado un pozo a cada malla de las anteriormente seleccionadas, para posteriormente calcular el nuevo bombeo para la malla, multiplicando el área que le corresponde regar por una tasa de 10.000 (m³/há/año).

f) Las nuevas infiltraciones de riego se han calculado suponiendo que un 20% del volumen total bombeado se infiltra.

Para la simulación de la corta del canal Chacabuco-Polpaico, al que dar toda el área regada de la cuenca utilizando recursos subterráneos, ha bastado con poner para cada malla con riego una infiltración de 2.000 (m³/há/año).

Para el caso de la puesta en riego de las zonas de secano arable, se ha mantenido la situación original, previa a las simulaciones, añadiendo en los nuevos sectores de riego una infiltración de 2.000 (m³/há/año).

A continuación, como complemento a la metodología expuesta, se incluye un cuadro resumen de cálculos efectuados. Asimismo se acompaña los planos con los valores por malla de volúmenes bombeados e infiltrados. En cuanto a los demás datos de entrada del modelo, éstos permanecen idénticos a los empleados en la última pasada de ajuste. Se exceptúa para la simulación de la corta del canal Chacabuco-Polpaico, las infiltraciones desde el estero Santa Margarita, ya que sirve de cauce del canal en el tramo que va desde la entrada del modelo hasta el embalse Huechún.

CUADRO 6.1

DETALLE DEL CALCULO DE VOLUMENES DE BOMBEO ADICIONALES

SECTOR	SUPERFICIE TOTAL	Q BOMBEO DISPONIBLE	SUPERFICIE SIN RIEGO	UBICACION NUEVOS POZOS		SUP. REGADA POR ESTE POZO	VOL. BOMBEO ADICIONAL
				MALLA			
	(Há.)	(l/s)	(Há.)	I	J	(Há.)	miles (m ³ /año)
A	185	120	-	-	-	-	-
B	17,5	0	17,5	23	2	17,5	175*
C	12,5	0	12,5	26	4	12,5	125
D	300	0	300	24	8	100	1000
				24	9	100	1000
				24	10	100	1000
E	345	0	345	23	9	86	860
				23	10	86	860
				23	11	86	860
				22	11	87	870
F	485	150	235	21	10	58	580
				21	11	58	580
				21	12	58	580
				22	10	59	590

* Sector de secano arable

CUADRO 6.1 (CONT.)

SECTOR	SUPERFICIE TOTAL	Q BOMBEO DISPONIBLE	SUPERFICIE SIN RIEGO	UBICACION		SUP. REGADA POR ESTE POZO	VOL. BOMBEO ADICIONAL
				NUEVOS POZOS	MALLA		
	(Há.)	(l/s)	(Há.)	I	J	(Há.)	miles(m ³ /año)
G	250	75	125	22	5	62	620
				23	4	63	630
H	240	100	73	21	7	36	360
				19	7	37	370
I	540	217	178	18	9	59	590
				18	10	59	590
				19	9	60	600
J	662,5	0	662,5	mallas fuera del área modelada			
K	270	0	270	20	10	67	670
				20	11	67	670
				19	11	68	680
				19	12	68	680
L	117,5	0	117,5	15	10	58	580
				15	11	59	590

CUADRO 6.1 (CONT.)

SECTOR	SUPERFICIE TOTAL	Q BOMBEO DISPONIBLE	SUPERFICIE SIN RIEGO	UBICACION NUEVOS POZOS		SUP. REGADA POR ESTE POZO	VOL.BOMBEO ADICIONAL
				MALLA			
	(Há.)	(l/s)	(Há.)	I	J	(Há.)	miles(m ³ /año)
M	37,5	0	37,5	17	11	37,5	375
N	262,5	0	262,5	15	2	65	650
				16	2	65,5	655
				16	3	66	660
				16	6	66	660
O	452,5	195	127,5	15	5	42	420
				15	6	42	420
				15	7	43,5	435
P	500	0	500	14	7	62,5	625 *
				14	8	62,5	625
				14	9	62,5	625
				13	8	62,5	625
				13	9	62,5	625
				13	10	62,5	625
				13	11	62,5	625
			12	10	62,5	625	

* Sector de secano arable

CUADRO 6.1 (CONT.)

SECTOR	SUPERFICIE TOTAL	Q BOMBEO DISPONIBLE	SUPERFICIE SIN RIEGO	UBICACION NUEVOS POZOS		SUP. REGADA POR ESTE POZO	VOL. BOMBEO ADICIONAL
				MALLA			
	(Há.)	(l/s)	(Há.)	I	J	(Há.)	miles (m ³ /año)
Q	297,5	219	-	-	-	-	-
R	365,0	118	168	12	6	56	560
				12	7	56	560
				12	8	56	560
S	42,5	0	42,5	12	3	42,5	425
T	775,0	0	775,0	12	4	86	860
				12	5	86	860
				11	5	86	860
				11	6	86	860
				10	5	86	860
				9	3	86	860
				9	4	86	860
			8	3	86	860	
			9	2	87	870	

CUADRO 6.1 (CONT)

SECTOR	SUPERFICIE TOTAL	Q BOMBEO DISPONIBLE	SUPERFICIE SIN RIEGO	UBICACION NUEVOS POZOS		SUP. REGADA POR ESTE POZO	VOL. BOMBEO ADICIONAL
				MALLA			
	(Há.)	(l/s)	(Há.)	I	J	(Há.)	miles (m ³ año)
U	457,5	373	-	-	-	-	-
V	62,5	0	62,5	10	12	62,5	625
W	150,0	0	150,0	9	11	50	500 *
				9	12	50	500
				10	11	50	500
X	270	120	70	8	8	70	700
Y	132,5	55	41	7	6	41	410
Z	317,5	0	317,5	6	8	63,5	635
				5	9	63,5	635
				4	8	63,5	635
				3	8	63,5	635
				2	8	63,5	635

* Sector de secano arable

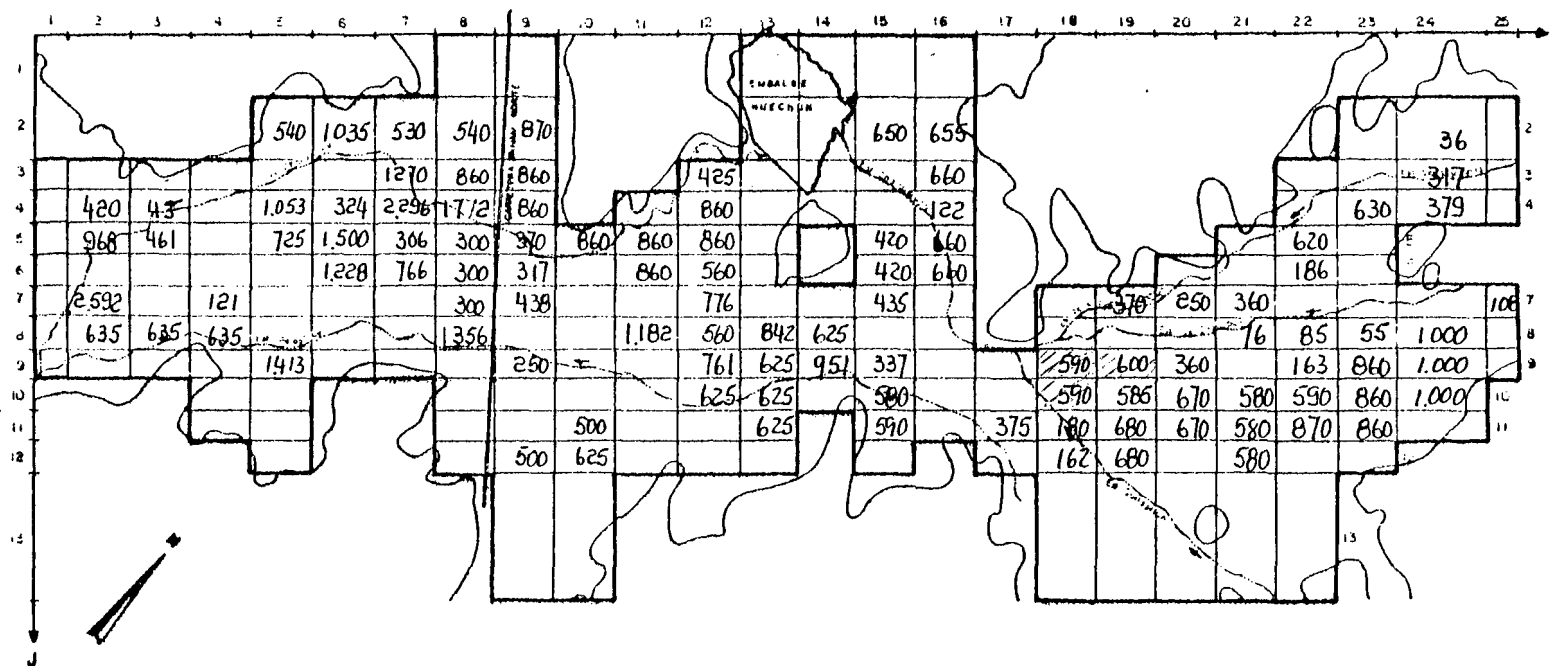
CUADRO 6.1 (CONT.)

SECTOR	SUPERFICIE TOTAL	Q BOMBEO DISPONIBLE	SUPERFICIE SIN RIEGO	UBICACION NUEVOS POZOS		SUP. REGADA POR ESTE POZO	VOL. BOMBEO ADICIONAL
				MALLA			
	(Há.)	(l/s)	(Há.)	I	J	(Há.)	miles (m ³ /año)
1A	577,5	566	-	-	-	-	-
2A	215	135	-	-	-	-	-
3A	255	128	42	2	4	42	420
4A	387,5	104	214	7	2	53	530
				6	2	53	530
				8	2	54	540
				5	2	54	540
5A	317,5	320	-	-	-	-	-
TOTAL						44.800	
TOTAL SECANO ARABLE						9.850	

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

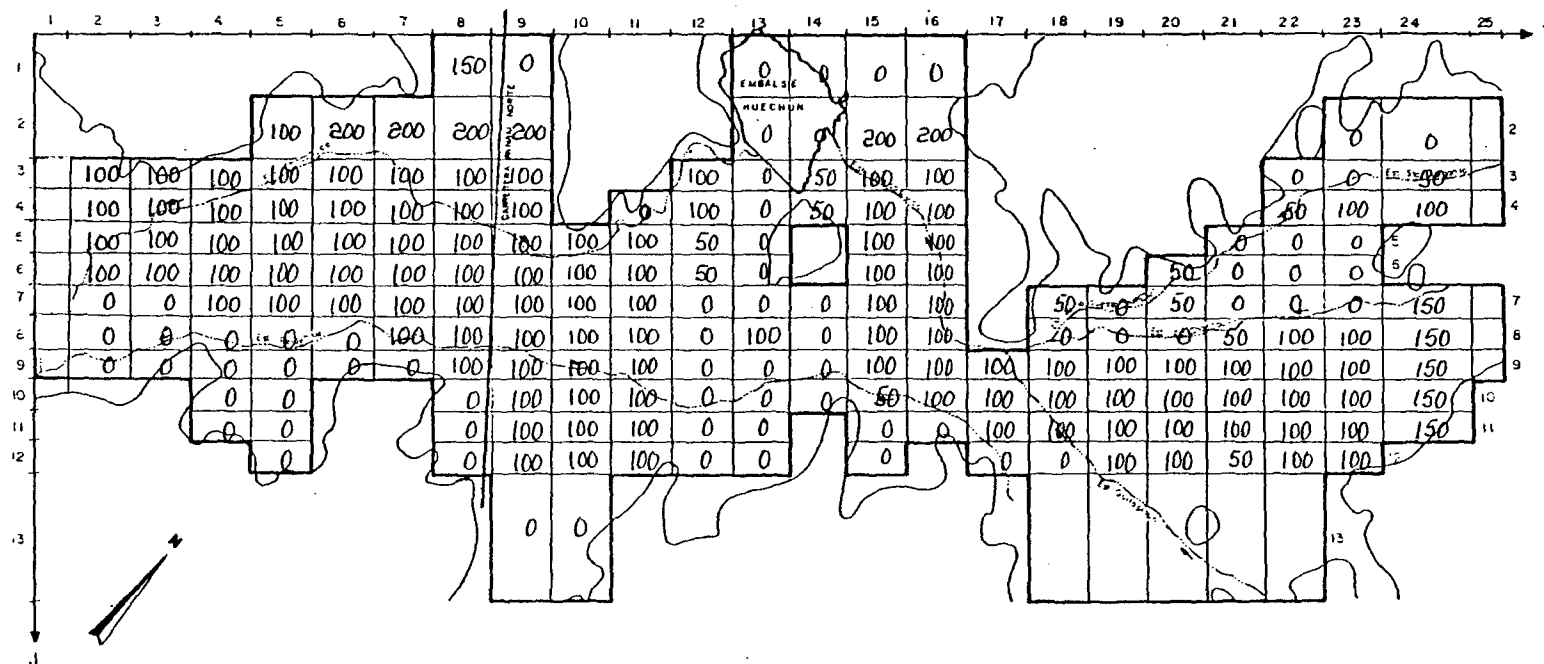
BOMBEO (miles m³/año)

PASADA DE SIMULACION N° 1



MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

INFILTRACIONES DE RIEGO (miles m³/año) PASADA DE SIMULACION N° 1



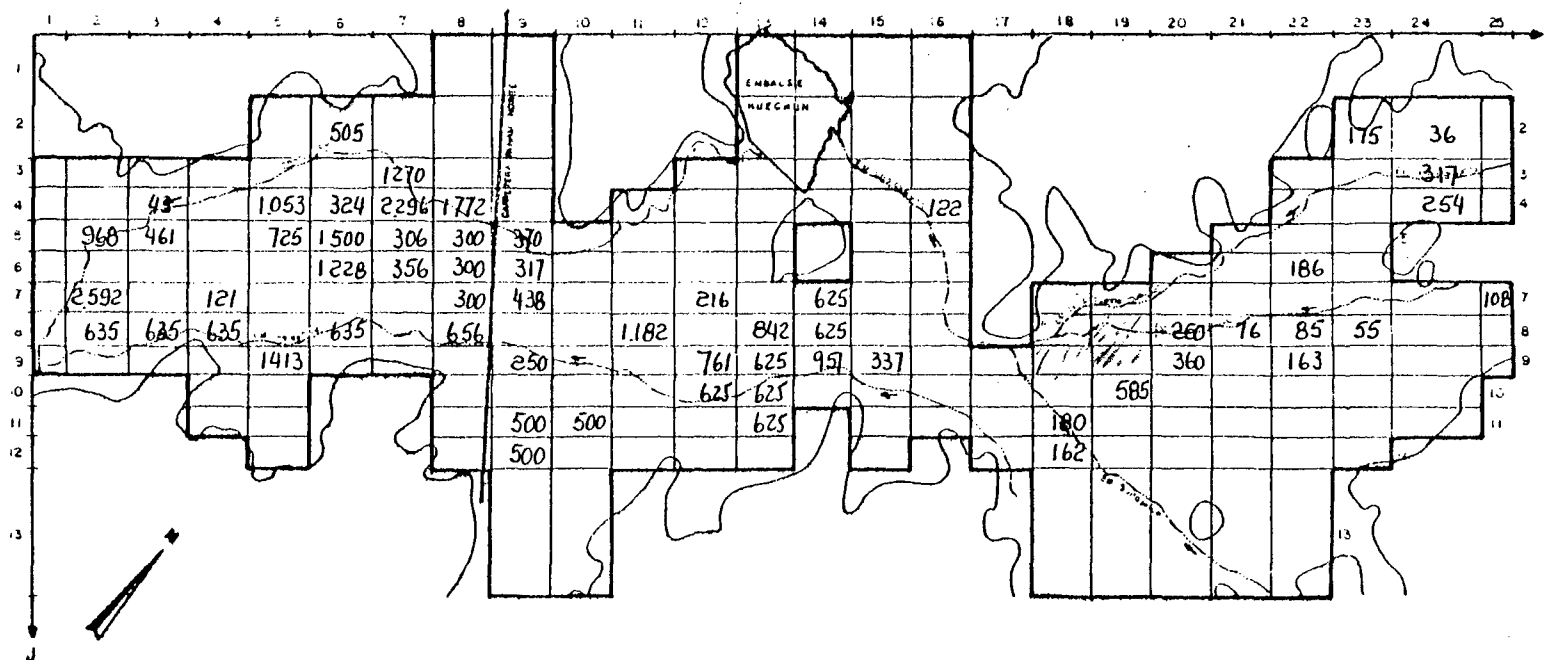
-241-

Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km.

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

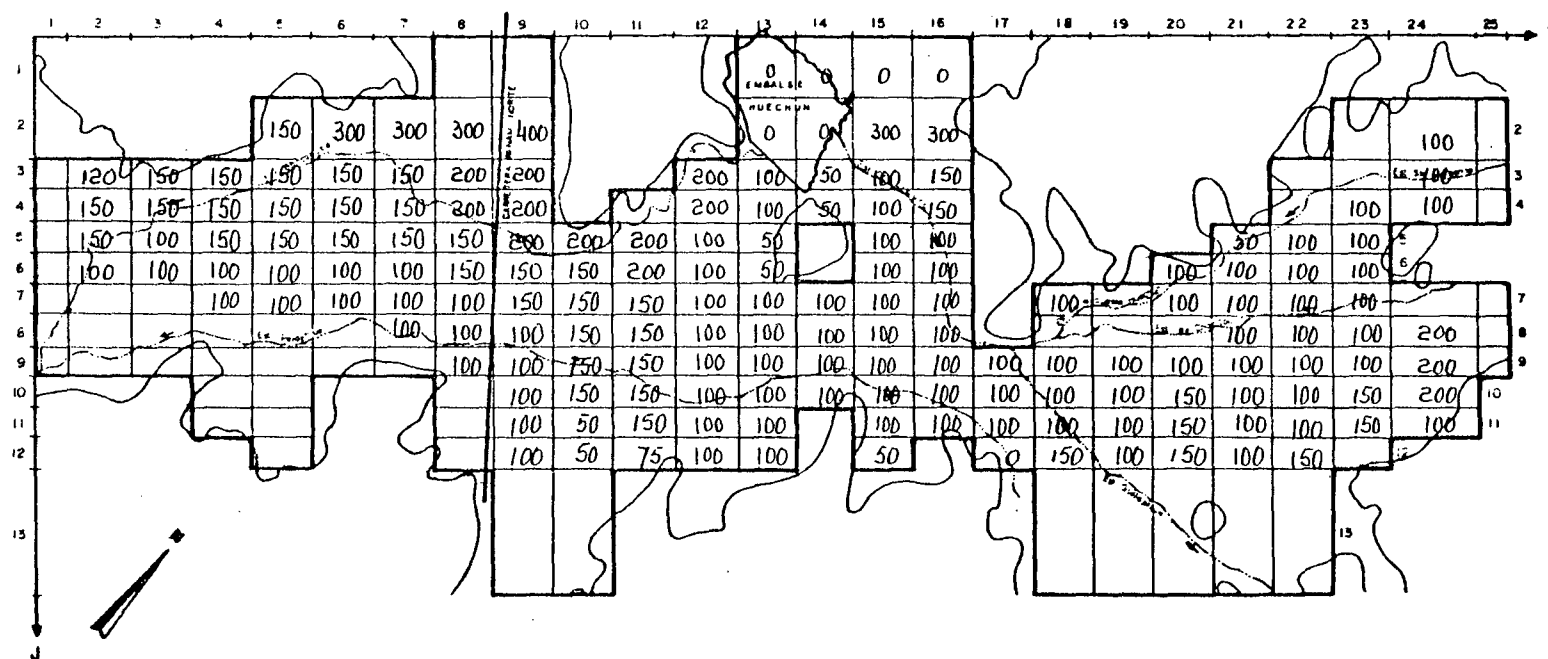
BOMBEO (miles m³/año)

PASADA DE SIMULACION N° 2



MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

INFILTRACIONES DE RIEGO (miles m³/año) PASADA DE SIMULACION N° 2



Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km.

6.3.3 Relación de Pasadas

6.3.3.1 Pasada de Simulación N°1

Se efectuó el 18/01/84 con los siguientes resultados para el Balan
ce Másico, al final del primer año de simulación.

Vol (Mm3/año)

ENTRADAS AL ACUIFERO

- Mallas exteriores	5,3
- Infiltraciones de riego	13,6
- Infiltraciones por lluvias	11,8
- Infiltraciones estero Quilapilún	<u>1,4</u>
TOTAL	32,1

SALIDAS DESDE EL ACUIFERO

- Bombeos	68,0
-----------	------

VARIACIONES DE ALMACENAMIENTO	-35,9
-------------------------------	-------

Las comparaciones que se efectúan a continuación, van siempre refe
ridas a la última pasada de ajuste, considerada como la situación
del acuífero sin nuevas explotaciones de la napa subterránea.

En la simulación que se analiza, existen 3 elementos que implican
menos recursos en el acuífero. Estos son:

- Un bombeo que significa extracciones casi tres veces mayores que las originales.
- Una merma en las infiltraciones de riego en un 25%, referida a la situación previa.
- La eliminación total de las infiltraciones desde el canal Chacabu
buc - Polpaico, o estero Santa Margarita.

En conjunto esto significa que el acuífero dispone de 51 (Mm³/año) menos. Este volumen lo obtiene en un 93% desde el almacenamiento directamente, y el resto lo saca de un incremento en las entradas subterráneas.

Este desembalse de 46,5 (Mm³/año) significa descensos de nivel de cero hasta 9 metros, siendo su valor medio, 3 metros.

El detalle por malla puede verse en el Plano de Descensos de Nivel que se adjunta al final de este análisis. Allí se nota que, para el sector ubicado aguas abajo de la Carretera Panamericana, el efecto de la nueva explotación es mínimo.

Para el resto de la cuenca los descensos son un poco mayores, sin llegar a superar los 5 metros. Se exceptúa la parte alta de la cuenca, en la zona del estero Chacabuco, donde se verifican las mayores depresiones.

Como conclusión de lo ocurrido en este primer año puede señalarse que el acuífero ha respondido adecuadamente a las nuevas demandas, produciéndose un descenso generalizado y bien distribuido de niveles.

Para el segundo año, el Balance Másico es el siguiente:

Vol (Mm³/año)

ENTRADAS AL ACUIFERO

- Mallas exteriores	10,3
- Infiltraciones de riego	13,6
- Infiltraciones por lluvias	11,8
- Infiltraciones estero Quilapilún	1,4
TOTAL	37,1

SALIDAS DESDE EL ACUIFERO

- Bombeos	68,0
-----------	------

VARIACIONES DE ALMACENAMIENTO	-30,9
-------------------------------	-------

Al finalizar este segundo año de simulación, lentamente el acuífero va buscando una nueva situación de equilibrio. Esto queda en evidencia en el aumento de las entradas por mallas exteriores, y la consecuente disminución del desembalse desde el acuífero.

Actualmente un 17%, más el doble que al finalizar el primer año de simulación, de los 51 (Mm³/año) de déficit del acuífero, son suplidos por las mallas exteriores.

En cuanto a los descensos de nivel, se adjunta un plano con la situación final después del segundo año de simulación. Allí queda en evidencia que la zona más afectada es la parte alta del sector Chacabuco, aguas arriba de la Angostura de Quilapilún. No se trata sólo que los descensos totales sean demasiado grandes, sino que sobre todo resulta muy brusca la diferencia entre el primer y el segundo año.

En el resto de la cuenca, en cambio, el proceso tiende a estabilizarse, e incluso va disminuyendo. Es decir, o bien los descensos entre el primer y segundo año son iguales a los observados hasta el final del primero, o bien son menores. Esto último es particularmente cierto en la zona de la Angostura de Quilapilún y la Carretera Panamericana.

En conclusión, el acuífero en la mayor parte de su extensión admite la sobreexplotación de dos años, sin manifestar descensos de más de 5 metros. En los sectores cercanos a los bordes del acuífero, en cambio, sí que es más violenta la reacción de la napa, bajando sus niveles en dos años hasta un máximo de 18 metros, pero con una media aproximada de sólo 8 metros.

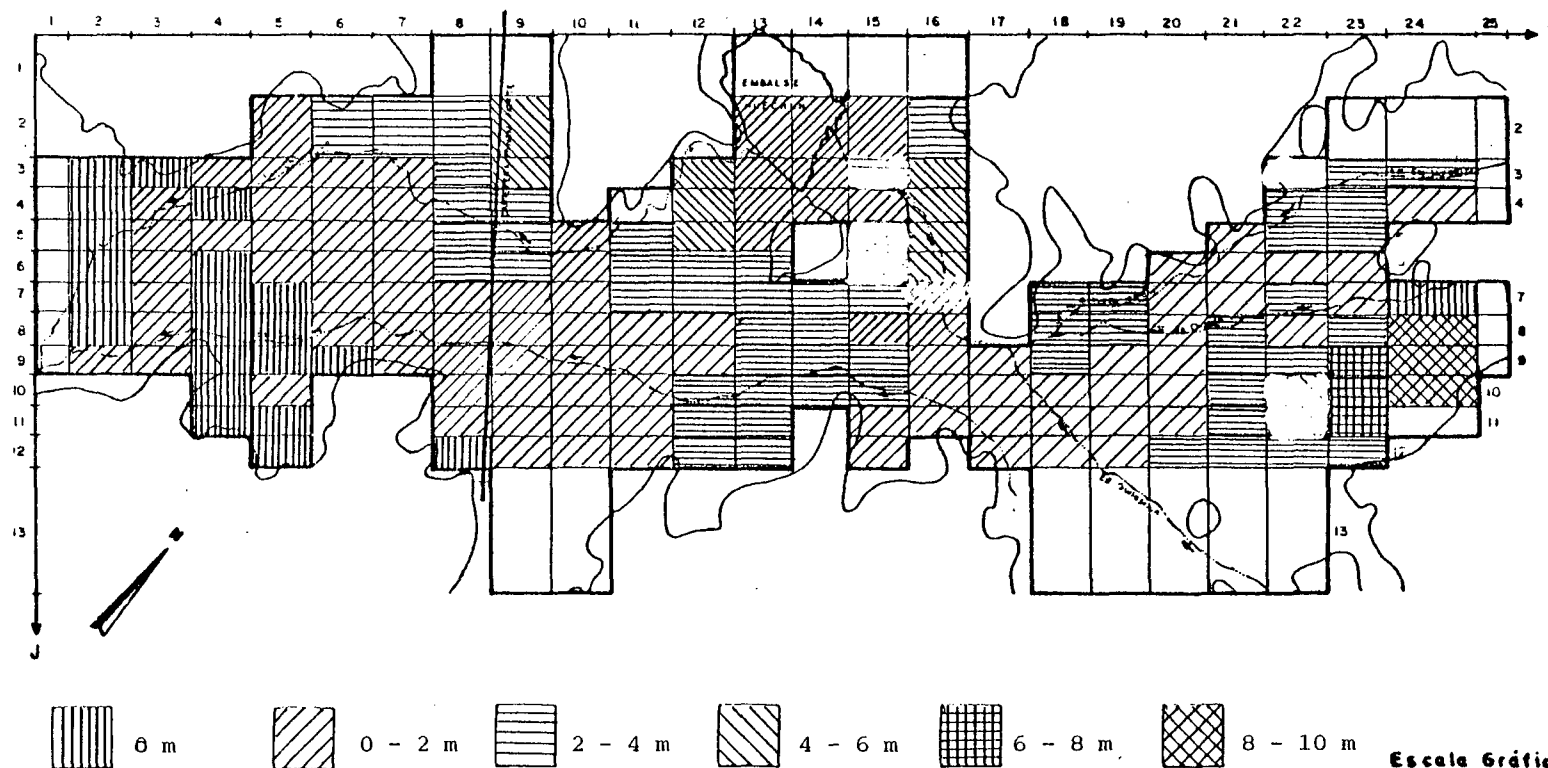
En definitiva, el acuífero ha respondido más que favorablemente, frente a las duras condiciones de explotación planteadas por esta simulación.

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

DESCENSOS DE NIVELES

PASADA DE SIMULACION N° 1

AL FINAL DEL PRIMER AÑO SIMULADO



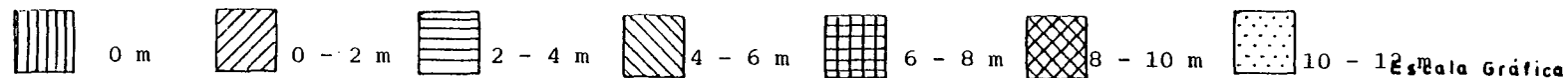
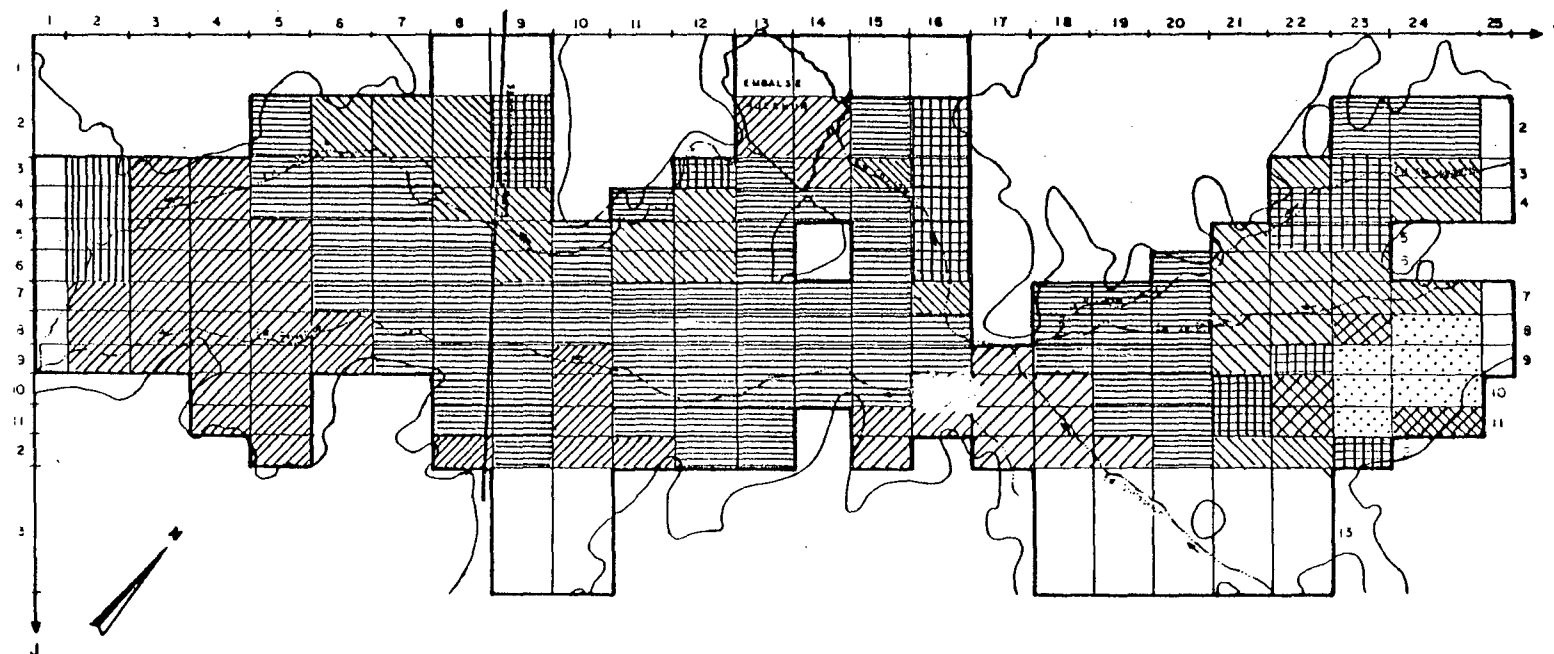
Escala Gráfica
0 1 2 3 Km.

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

DESCENSOS DE NIVELES

PASADA DE SIMULACION N° 1

AL FINAL DEL SEGUNDO AÑO SIMULADO

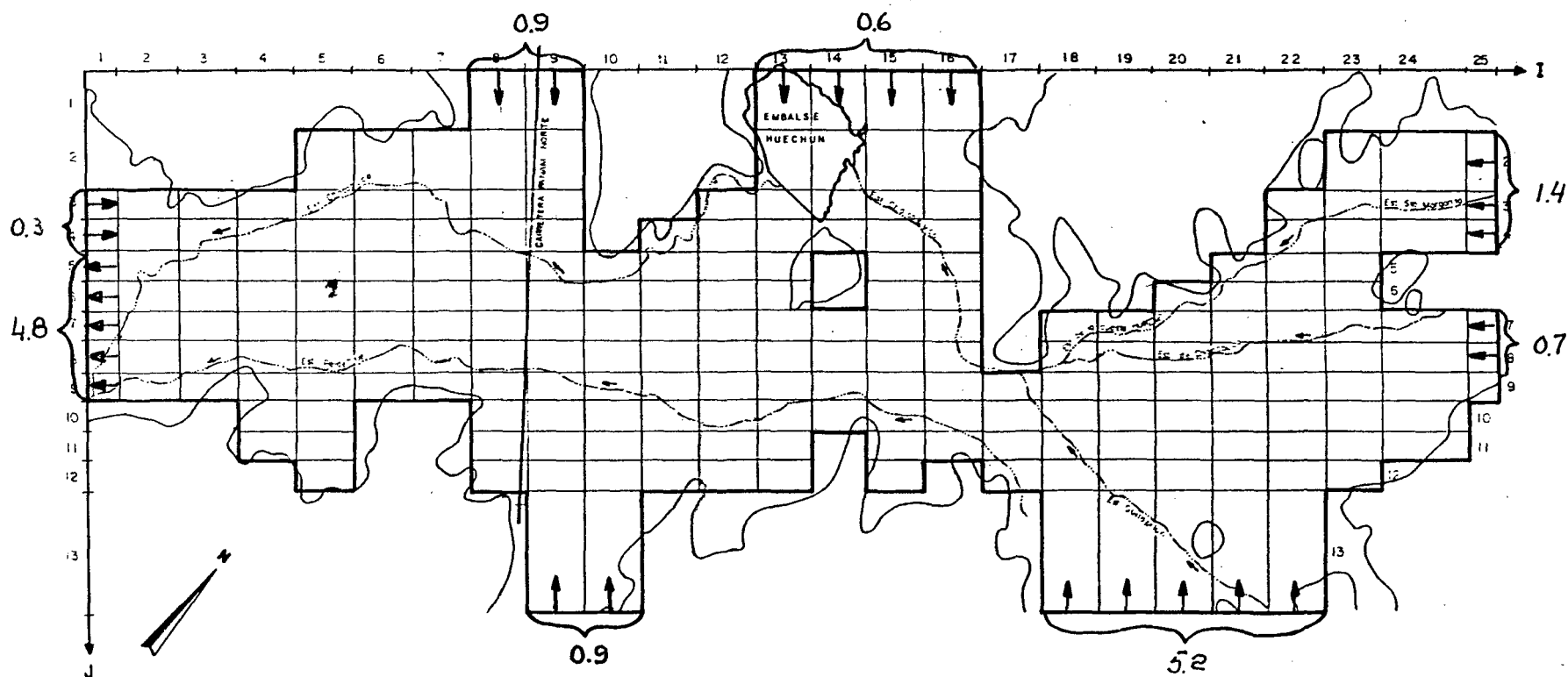


Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km.

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

BALANCE MASICO
 PRIMER AÑO SIMULADO

PASADA DE SIMULACION N°1



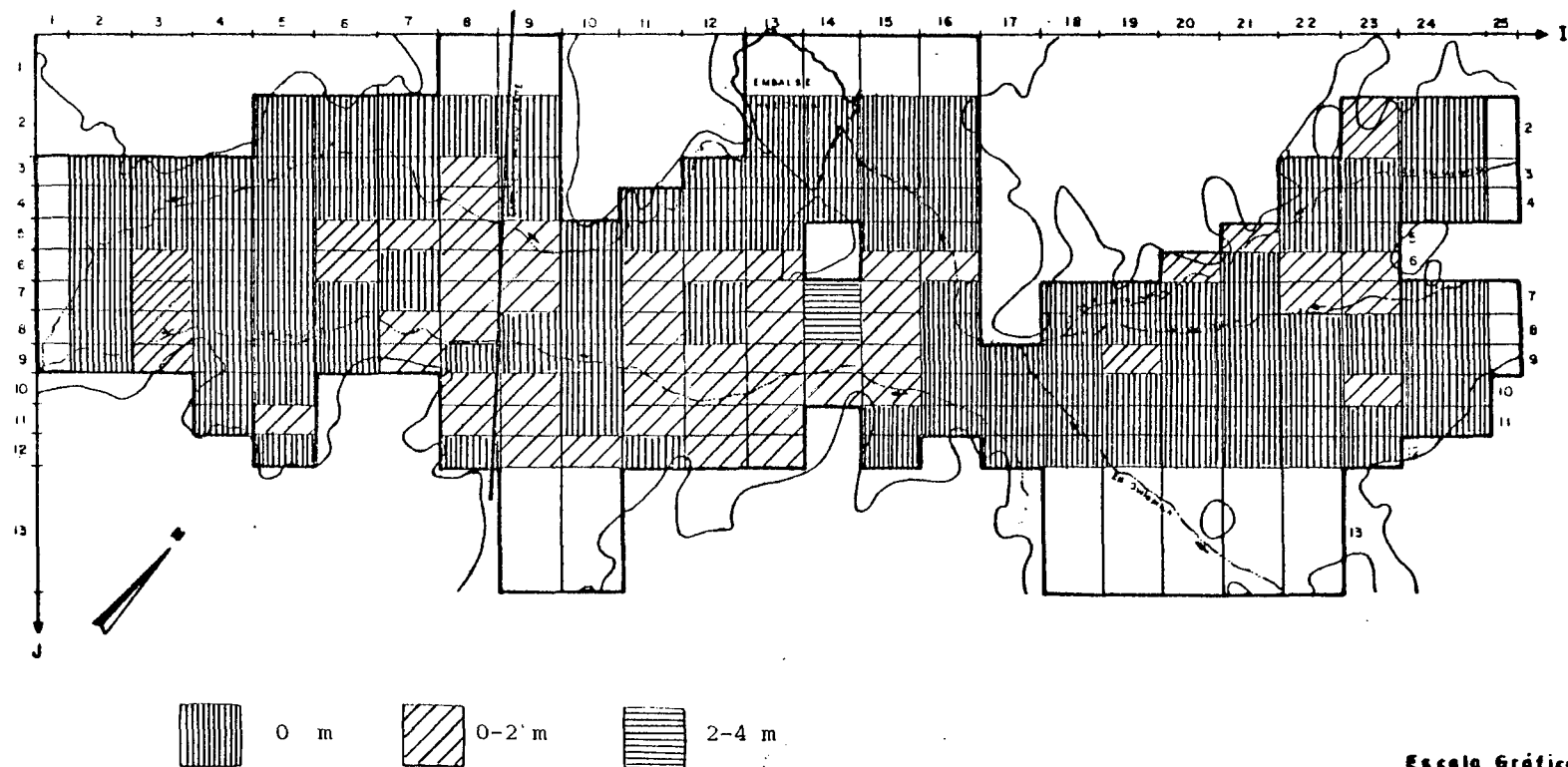
Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km.

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

DESCENSOS DE NIVELES

PASADA DE SIMULACION N° 2

AL FINAL DEL PRIMER AÑO SIMULADO

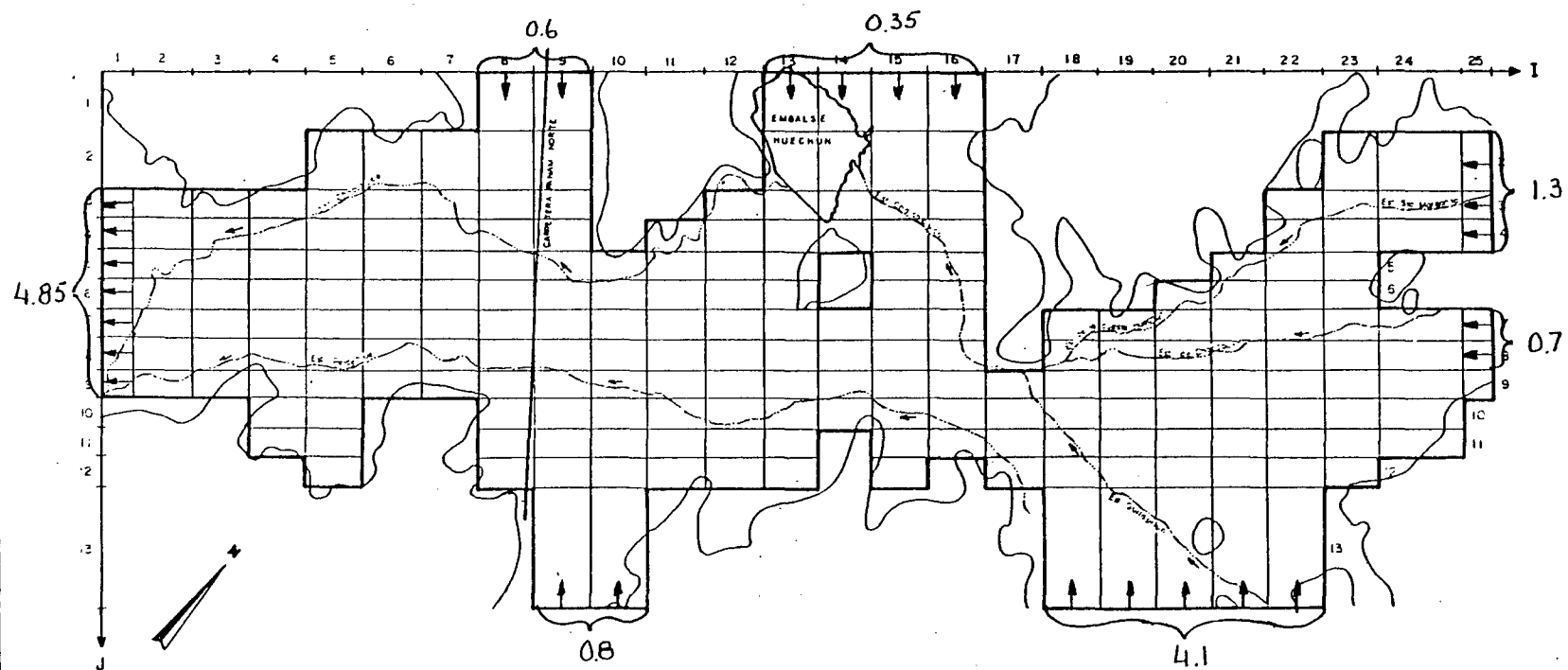


Escala Gráfica
0 1 2 3 Km.

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CHACABUCO - POLPAICO

BALANCE MASICO

PASADA DE SIMULACION N° 2



Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km.

6.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.4.1 Conclusiones

El modelo matemático construido para reproducir las características hidrogeológicas del acuífero de Chacabuco - Polpaico, es una herramienta útil y práctica para estudiar el comportamiento actual y futuro del embalse subterráneo, frente a diversas condiciones de explotación.

Como resultado del proceso de ajuste, se ha reconocido para el acuífero, dos grandes sectores de comportamiento hidrogeológico relativamente homogéneo. Uno corresponde a la zona ubicada desde la parte alta de la cuenca, hasta la Angostura de Quilapilún. El otro involucra la región comprendida entre la Angostura anterior y la junta de los esteros Chacabuco y Til-Til, en Chicauma.

El primero se recarga fundamentalmente por infiltraciones de riego, y aquellas que ocurren desde los esteros en Invierno, y el canal Chacabuco-Polpaico en la época de riego. La explotación de esta área es bastante menos intensa que el resto de la cuenca.

En el segundo sector juegan un papel muy importante las infiltraciones de riego y por lluvias, intensificándose fuertemente además los volúmenes bombeados para riego.

Para la simulación se ha planteado dos posibilidades de explotación futura.

La primera significó reemplazar el riego superficial de la cuenca por uno con aguas subterráneas, debido a una supuesta falla del canal Chacabuco-Polpaico. La simulación efectuada durante dos años, permite establecer que el acuífero puede soportar sin mayores problemas esta situación, respondiendo con descensos, que en promedio son de 4,5 metros. Sólo la región alta del sector Chacabuco presenta descensos más violentos, pero que en ningún

caso superan los 20 metros. En cambio, la región ubicada aguas abajo de la Carretera Panamericana, y que corresponde a las más fuertemente explotada en la actualidad, tiene descensos máximos de sólo 6 metros, y de no más de 2 metros en buena parte de su extensión.

La segunda simulación ha estudiado el comportamiento del embalse subterráneo, al incorporar al riego las zonas actualmente consideradas de secano arable. Como resultado se ha obtenido que el acuífero prácticamente no siente el cambio, y que el área realmente afectada por la explotación no va más allá de los límites de los nuevos sectores de riego.

En definitiva, tanto la primera como la segunda simulación indican claramente, que el acuífero es capaz de soportar demandas mucho mayores que las actuales.

En el futuro, eso sí, habría que permitir al acuífero funcionar efectivamente como embalse subterráneo, con descensos de niveles en los años con poca recarga, y recuperaciones en períodos de abundancia de aguas superficiales.

Dentro de las pasadas de simulación se ha limitado a dos casos en que ninguno de ellos responde a una situación de extrema sequía. Es decir no se ha reproducido un caso extremo en que no exista ni infiltración de riego, ni de lluvia ni entrada de agua desde el Canal Chacabuco. Esto se ha hecho por considerar que ese sería un caso de muy baja probabilidad de ocurrencia. Por otra parte los resultados obtenidos de tal simulación podrían inducir a error en cuanto a las posibilidades de empleo del embalse subterráneo, tanto en la actualidad como en el futuro.

Se estima inadecuada una política de empleto del agua que restrinja la concesión de nuevos derechos de aprovechamiento, sólo por la eventualidad de que en algún año pueda disminuír los caudales de los sondeos. Desde ese punto de vista y a la luz de los resultados obtenidos aparece como más conveniente, tender hacia una mejor distribución de las captaciones con el fin de minimizar las influencias mutuas y los descensos localizados mayores de 20 metros, para salvar las grandes extracciones en las épocas de sequía.

6.4.2 Recomendaciones

El proceso de modelación es por naturaleza dinámico y requiere, para mejorar la representación matemática del acuífero, de datos de terreno más completos y abundantes.

En este sentido es particularmente importante el conocimiento del acuífero que otorga el modelo desarrollado que, por necesitar de un análisis muy profundo para su implementación, permite descubrir con bastante certeza la información que hace falta para completar el estudio del embalse subterráneo.

Para este caso debería efectuarse, tal como ya ha sido señalado, las siguientes campañas de terreno:

- Una de geofísica de resistividad eléctrica.
- Una de nivelación topográfica de todos los puntos acuíferos, incluyendo sondeos y norias.
- Una de mediciones sistemáticas de niveles estáticos en pozos y norias.
- Una de análisis de la situación de riego, que incluya: mediciones de los caudales derivados por canales y los aplicados a los predios, experiencias de infiltraciones, y una encuesta exhaustiva de los volúmenes extraídos por pozos.

Debe destacarse además lo fundamental que es realizar simultáneamente estas dos últimas campañas, de forma de poder disponer de un conjunto común y coherente de datos.

7.- APLICACION DEL MODELO A LA CUENCA DE
CASABLANCA.

- 7.1 DATOS DE ENTRADA
- 7.2 PROCESO DE AJUSTE
- 7.3 PROCESO DE SIMULACION
- 7.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.- APLICACION DEL MODELO A LA CUENCA DE CASABLANCA.

7.1 DATOS DE ENTRADA.

7.1.1 Aspectos Generales.

Los datos de entrada al modelo están constituidos por los valores iniciales de la piezometría, los valores de T y S asignados a cada malla, como también los volúmenes de infiltración por lluvias y riego, además de los volúmenes bombeados por cada malla.

Estos se definen con una periodicidad mensual puesto que así se ha elegido la discretización temporal.

La precisión requerida en estos datos iniciales debe estar en concordancia con la precisión exigida al modelo. No obstante, errores en la determinación de T, S y H_0 , son también advertidos en el modelo durante el proceso de calaje, en el cual se ajustan de acuerdo con un proceso de aproximaciones sucesivas.

Los valores colocados, tal y como se detallará más adelante, se basan tanto en las mediciones directas realizadas en el terreno, como en la interpretación hidrogeológica realizada por los especialistas.

7.1.2 Piezometría Inicial.

Se analizaron los antecedentes sobre mediciones de niveles estáticos existentes en el estudio hidrogeológico previo efectuado en la 1a. Etapa, los cuales debieron ser graficados a escala adecuada para mejor visualización de las fluctuaciones periódicas.

La información abarca el período 1964-1977, con énfasis entre 1970-1976, contándose con 13 pozos con información aceptable.

Por lo expresado anteriormente, con referencia a la discretización, se requería elegir un período de un año con antecedentes mensuales, ello coincide con un ciclo de variaciones del nivel estático, en el cual se definen máximos y mínimos.

En general, en el Valle del Casablanca, los niveles más profundos se alcanzan en el período Marzo a Mayo y los niveles más cercanos a la superficie se ubican en Septiembre.

El análisis de la información y gráficos, permitió seleccionar el período 1974-1975 como año de simulación dado que la estadística reunida es la de mejor información dentro de los años más cercanos. Para ese período, Junio 1974 representa el mes más confiable para iniciar allí el período de simulación.

Las cotas de los puntos de medición del N.E. se obtuvieron del catastro de pozos realizado para este estudio y fueron comparadas con las cotas del plano 1:50.000 del I.G.M. En esta forma se obtuvieron consecuentemente las cotas del N.E. respecto al mar, para Junio 1974 en 13 puntos del valle.

La ubicación de los pozos en el plano, se obtuvo del informe hidrológico 1a. Fase, referido recientemente.

Dado que 13 puntos de apoyo resultan insuficientes para trazar las curvas isopiezas en todo el valle, fue necesario ubicar mayor información. Esta se consiguió relacionando el plano 1:50.000 del I.G.M. en cuanto a cotas de terreno, con la ubicación de pozos y con el N.E. respecto a terreno de esos pozos para fechas distintas a Junio 1974; posteriormente se re

lacionaron estas fechas con las de Junio 1974 por medio de comparaciones con los 13 pozos relevantes. Se obtuvieron así cotas del N.E. para Junio 1974 en otros 14 puntos.

Con el apoyo ahora de 27 puntos, se trazaron las curvas isopiezas Junio 1974 para todo el valle. Por medio de ellas se calculó la cota de cada celda del mallaje, valores que aparecen en el plano de la página 270.

7.1.3 Valores de T y S.

7.1.3.1 Valores de T.

Se analizó la información existente en el informe hidrogeológico y sus resultados vertidos en el plano denominado "Áreas de Isotransmisibilidad".

Se contrastó dicha información con la obtenida al analizar las pruebas de bombeo en diferentes pozos del valle y especialmente los cálculos y criterios aplicados por nuestra oficina para la obtención del valor de T.

Se estudió también la representatividad de los valores de T en función de la penetración de los pozos en el acuífero. A la vez se consideró la posible disminución de la transmisibilidad por efectos de depresión del nivel estático, valor más cercano a la realidad en un proceso de simulación de largo plazo.

La interpolación y extrapolación de valores de T se efectuó en base a conocimiento del terreno existente en cada subcuenca o valle. Se determinaron así los valores de T que aparecen en el plano de la página 268. Estos valores serán los de

partida del modelo, los que se irán ajustando en el proceso de calibración del modelo.

7.1.3.2 Valores de S.

Los valores de S fueron obtenidos mediante análisis de pruebas de bombeo, según información recopilada en el Volumen IV, Estudio Hidrogeológico. Dichos valores fueron contrastados con antecedentes similares obtenidos por nuestra firma en experiencias anteriores.

Se asignaron valores a cada celda, propios de la naturaleza del acuífero, que en este valle presenta características de acuífero libre en toda su extensión.

También se consideraron aspectos tales como la evolución que el coeficiente S presentará para efectos de drenaje retardado, propios de un proceso de simulación y bombeos a largo plazo.

Los valores de S asignados para cada celda, se presentan en el plano de la página 269 y son los valores de entrada al modelo, los que se fueron ajustando durante la calibración de éste.

7.1.4 Condiciones Topográficas.

Las cotas de terreno en las diferentes celdas, son necesarias para contrastar las salidas del modelo, con las ubicaciones reales de las vertientes, ya que el modelo asignará como vertientes a aquellas celdas donde el nivel del agua subterránea resulte superior al nivel del terreno.

Las cotas de terreno, se obtuvieron del plano I.G.M. escala 1:25.000, el cual se redujo a 1:50.000 y se sobrepuso con el mallaje, obteniéndose en esa forma la cota del punto central de cada celda del mallaje.

7.1.5 Infiltración por Regadío.

Para definir la zona regada en el valle del Casablanca y tributarios, en el sector modelado, se utilizó la información entregada por el estudio hidrogeológico, en el cual se clasificaron los suelos según su tipo de riego, distribuyéndose ellos en 3 clases principales:

- Riego I a IV	1.640 há
- Riego Eventual	6.700 há
- Secano Arable	800 há

Además fue necesario confeccionar un plano con la red de riego y ubicar allí los pozos profundos; para ello se utilizó la información de IREN en su Mosaico Hidrológico y la ubicación de los pozos del catastro, confrontando con el Mosaico de IREN.

Sobreponiendo ambos planos, en escala 1:50.000, fue posible definir sectores regados sólo con aguas superficiales y otros regados con aguas superficiales y que además complementan su riego con aguas subterráneas en los períodos de escasez de las primeras; no se reconocieron en él, sectores regados exclusivamente con aguas subterráneas.

Se adjunta el plano N° 70 que define estos sectores, visualizándose el tipo de agua de riego utilizada y según la trama puede observarse la clasificación de riego dada por el Estudio Hidrogeológico, Volumen IV.

La tasa de riego, promedio para el valle del Casablanca y tributarios, se obtuvo analizando la encuesta de regadío y uso de pozos efectuada por nuestra firma especialmente para este objetivo. Dicha encuesta permite considerar una tasa promedio de 10.000 m³/há.año, valor inferior al Valle del Maipo y valles del interior, lo que se debe en gran medida al clima propio de una zona más vecina al mar y a la mayor precipitación invernal que en general retarda el início del regadío.

Hemos considerado que dicha tasa de riego se logra en los suelos con riego permanente, clases I a IV y en los suelos con riego eventual de aguas superficiales complementados con aguas subterráneas.

Para los suelos con regadío eventual superficial, sin apoyo de aguas subterráneas, hemos considerado una tasa de sólo 5.000 m³/há.año.

En cuanto al porcentaje de agua utilizada en regadío, expresada en m³/há.año, que se infiltra y recarga el acuífero, se ha estimado éste en un 20% cuando el suelo regado está ubicado en valles laterales o tributarios del valle del Casablanca y de un 15% cuando se ubican en el Valle del Casablanca. Lo anterior debido a reconocimiento general de esos suelos por su granulometría, textura y especialmente por la proporción de arcillas en las capas superficiales del suelo.

Se obtienen así las siguientes tasas de infiltración, expresadas en m³ por hectárea, como total anual.

- Suelos ubicados más arriba que los canales de regadío	=	0
- Superficie urbana de Casablanca	=	750
- Suelos con riego eventual sin apoyo de <u>pozos</u> , en :		
. Valles laterales	=	1.000
. Valle del Casablanca	=	750

- Suelos con riego eventual con apoyo de pozos y suelos con riego permanente, Clases I a IV, en :

. Valles laterales	= 2.000
. Valle del Casablanca	= 1.500

Estos valores totales anuales, se distribuirán en el período total de riego, de acuerdo con la siguiente escala:

M e s	%
Junio	1,8
Julio	1,8
Agosto	1,8
Septiembre	1,8
Octubre	13,0
Noviembre	13,0
Diciembre	13,0
Enero	13,0
Febrero	13,0
Marzo	13,0
Abril	13,0
Mayo	1,8
A ñ o	100,0

Los volúmenes totales anuales, infiltrados por efectos de regadío en cada celda del mallaje y calculados de acuerdo a la metodología recientemente descrita, aparecen en el plano esquemático correspondiente de la página 273.

7.1.6 Infiltración por Lluvias.

Del agua que se precipita como lluvia sobre la cuenca en estudio, parte de ella cae sobre los cerros y terrenos ubicados fuera del mallaje y parte cae sobre los suelos del área modelada.

Se considerará como infiltración proveniente de las precipitaciones, el porcentaje de ellas que cayendo sobre los terrenos planos del valle, percola y recarga el acuífero.

Las precipitaciones que, cayendo sobre cerros y laderas exteriores del área modelada del valle del Casablanca, también producirán infiltraciones, pero para los efectos del modelo ellas serán consideradas como aporte lateral.

El porcentaje de las precipitaciones que percola en el valle se determinará aplicando la siguiente relación : determinada en forma empírica y aplicada con éxito en cuencas similares y en procesos de modelación.

$$I = 0,7 (P - 60 \text{ mm}), \text{ en que :}$$

I = infiltración mensual, en mm.

P = precipitación mensual, en mm.

Por lo tanto existirá infiltración proveniente de lluvias, sólo en aquellos meses en que la precipitación sobrepase los 60 mm, por considerarse que bajo esta cifra el agua completa la capacidad de campo y luego se evapotranspira. El valor 0,7 indica una escorrentía superficial del 30%, correspondiente a terrenos planos.

Para el año 1974, elegido como año de calibración, la precipitación en la zona de Casablanca, medida en la Estación Pluviométrica del Lago Peñuelas, acusa los siguientes valores :

M e s	P (mm)
Mayo	162,2
Junio	387,3
Julio	17,1
Agosto	8,9
Septiembre	48,3
Octubre	32,0
Noviembre	32,0
T o t a l	687,8

Aplicando la relación anterior, se tiene :

$$I_{\text{Mayo}} = 71,54 \text{ mm}$$

$$I_{\text{Junio}} = 229,11 \text{ mm}$$

Se adoptan los siguientes valores :

$$\text{Infiltración en Mayo} = 70 \text{ mm}$$

$$\text{Infiltración en Junio} = 210 \text{ mm}$$

$$\text{Infiltración total anual} = 280 \text{ mm}$$

de las cuales el 25% infiltrará en Mayo y el 75% restante lo hará en Junio.

Se hace presente que el año 1974 es levemente superior al año promedio de precipitaciones, ya que la estadística para el período de 1915 a 1958, da un promedio de 631 mm contra los 688 de 1974.

Se ha considerado que la precipitación medida en Peñuelas es aplicable en igual magnitud a todo el Valle del Casablanca y tributarios.

7.1.7 Extracción del Bombeo.

Se utilizó el catastro de pozos y la ubicación de éstos en un plano 1:50.000, del Estudio Hidrogeológico, Volumen IV. De allí se seleccionaron 20 pozos para ser encuestados y determinar el volumen anual de agua extraída por bombeo.

La encuesta sobre 20 pozos seleccionados, representa cerca del 30% de los pozos del valle del Casablanca, incluyendo pozos del Agua Potable y algunas Industrias, además del regadío. Los pozos encuestados cubren diversas ubicaciones en el valle y diversos caudales unitarios (l/s), con el objeto de lograr una muestra representativa.

Los antecedentes obtenidos permitieron conocer dotaciones de riego para superficies que se riegan con aguas subterráneas.

La encuesta se efectuó por consulta directa al usuario de pozos, referente al período 1982-83 ya que resulta imposible obtener resultados del año de calibración 1974. Debe tenerse en cuenta que el año recién pasado presenta condiciones especiales en cuanto a año hidrológico y en cuanto a factores económicos especiales derivados de la recesión, por lo cual el bombeo se redujo notoriamente. Estas consideraciones fueron tomadas en cuenta en el análisis de la encuesta.

Para determinar el volumen anual bombeado en cada uno de los pozos en uso en el valle, se procedió según el siguiente criterio:

- a) Para los pozos encuestados y cuya tasa de riego resultaba razonable, se utilizó el dato recogido en terreno.
- b) Para los pozos no encuestados, se procedió de la siguiente forma :
 - en cada uno de los pozos encuestados, de riego, se procedió a calcular el volumen bombeado anual y se dividió dicho valor por el volumen máximo anual posible de bom-

bearse por ese pozos, considerando su caudal (l/s) se gún catastro y un tiempo de bombeo de 1 año. Ese cuo ciente, expresado en %, se le llamo "factor de utiliza ción de pozo" y fluctuó entre 0 y 64% con una media de 30%.

- A los pozos de riego, no encuestados, se les aplicó un factor de utilización de pozo de 30% sobre el caudal según catastro, obteniéndose así el volumen anual bombeado por pozo.

Todos los pozos de Industrias y de Agua Potable fueron encues tados directamente.

En base a lo anterior se obtuvieron los volúmenes anuales extraídos por bombeo para cada celda del mallaje, los que pueden apreciarse en el plano de la página 274.

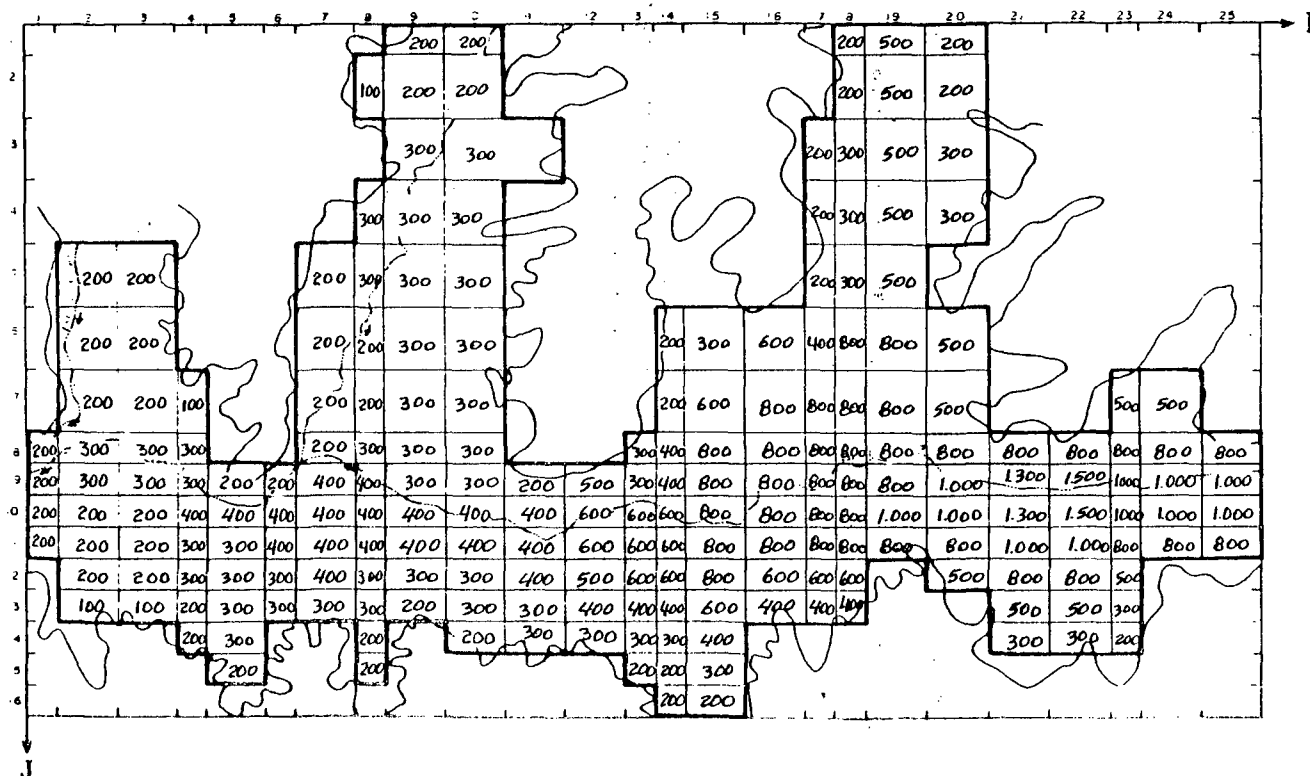
La distribución mensual de los volúmenes bombeados, obedece a la siguiente table, la que en general se obtuvo de la encuesta realizada :

=====	
M e s	%
Enero	13,0
Febrero	13,0
Marzo	13,0
Abril	13,0
Mayo	1,8
Junio	1,8
Julio	1,8
Agosto	1,8
Septiembre	1,8
Octubre	13,0
Noviembre	13,0
Diciembre	13,0
A n u a l	100,0
=====	

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CASABLANCA

TRANSMISIVIDAD ($m^2/día$)

DATOS DE ENTRADA

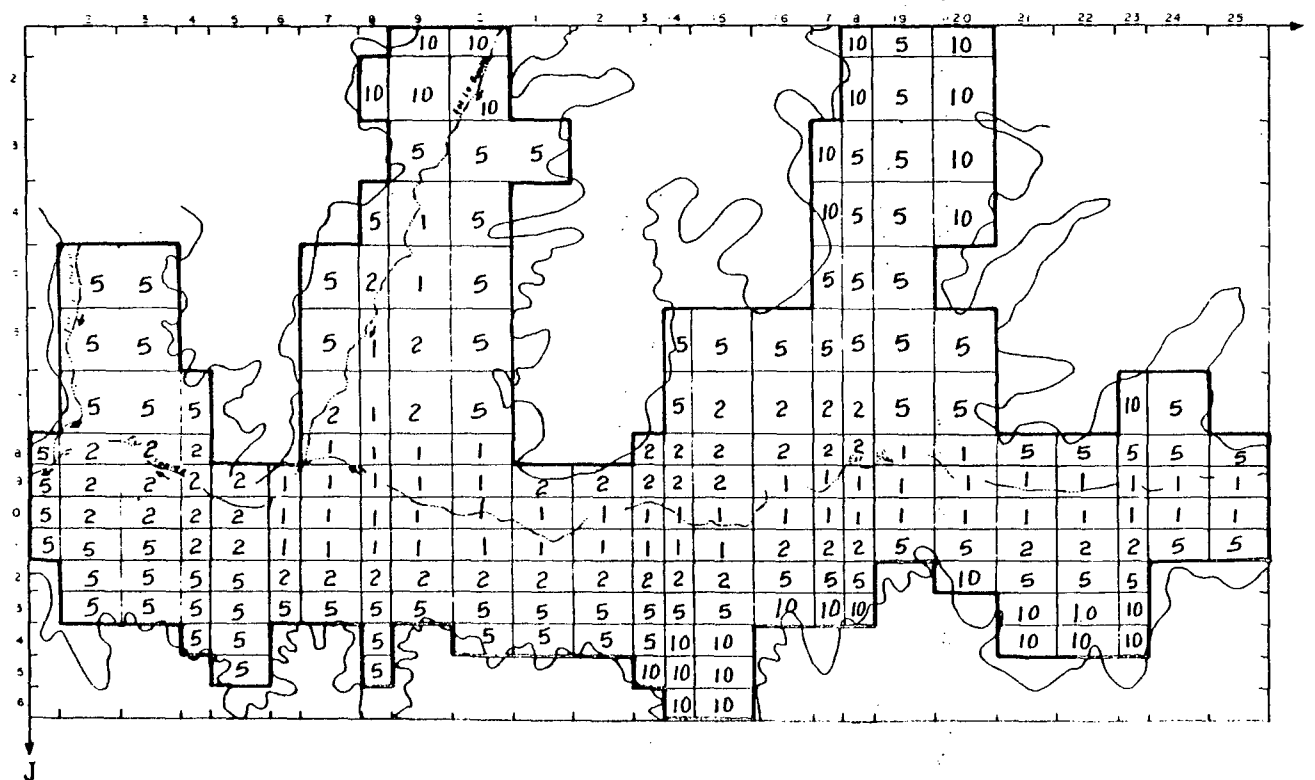


Escala Gráfica
0 1 2 3 Km

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CASABLANCA

COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (%)

DATOS DE ENTRADA

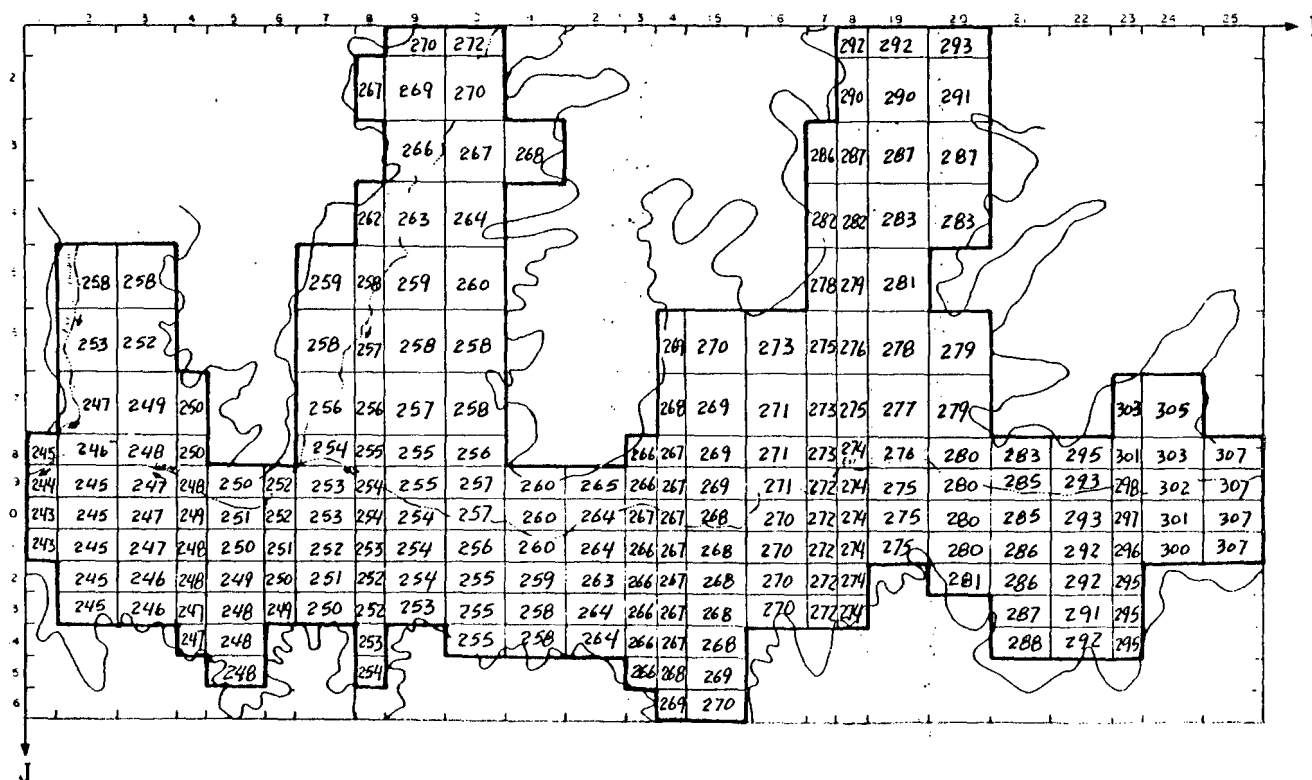


Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CASABLANCA

PIEZOMETRIA INICIAL (m)

DATOS DE ENTRADA

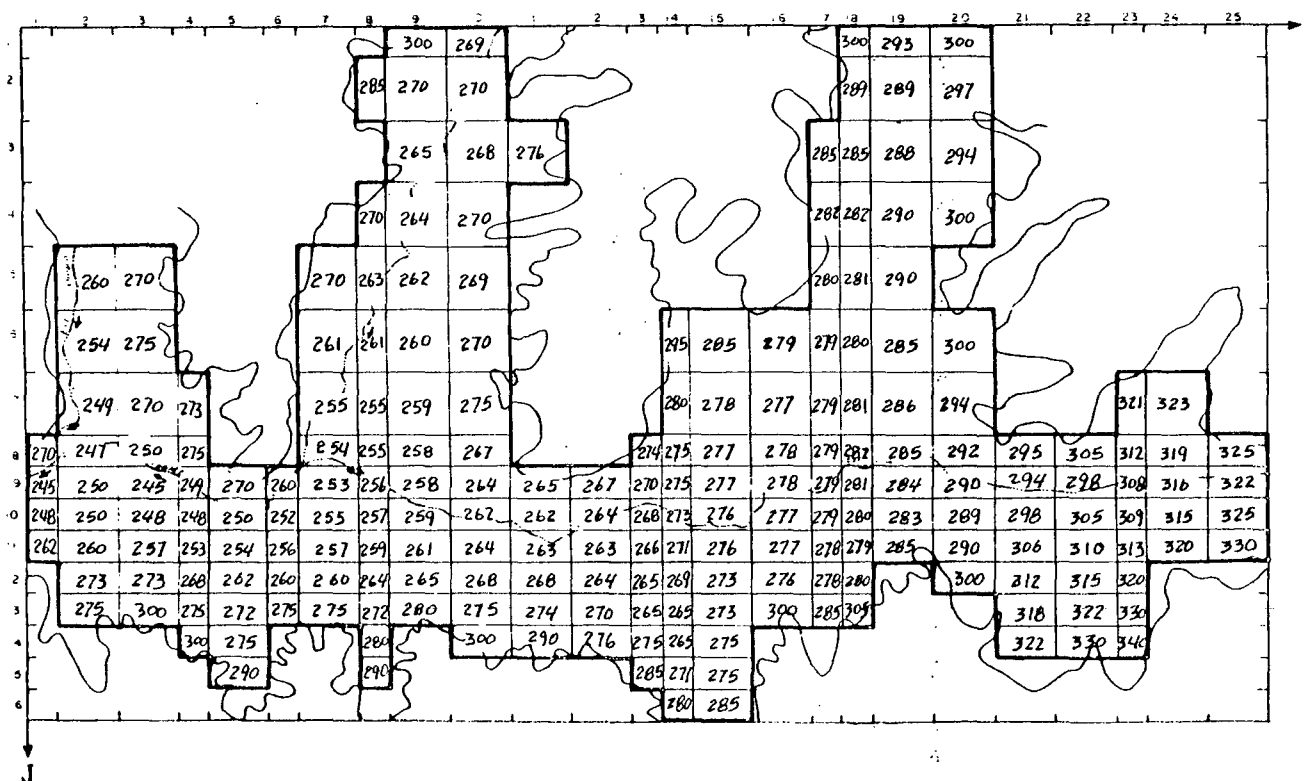


Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CASABLANCA

COTAS DE TERRENO (m)

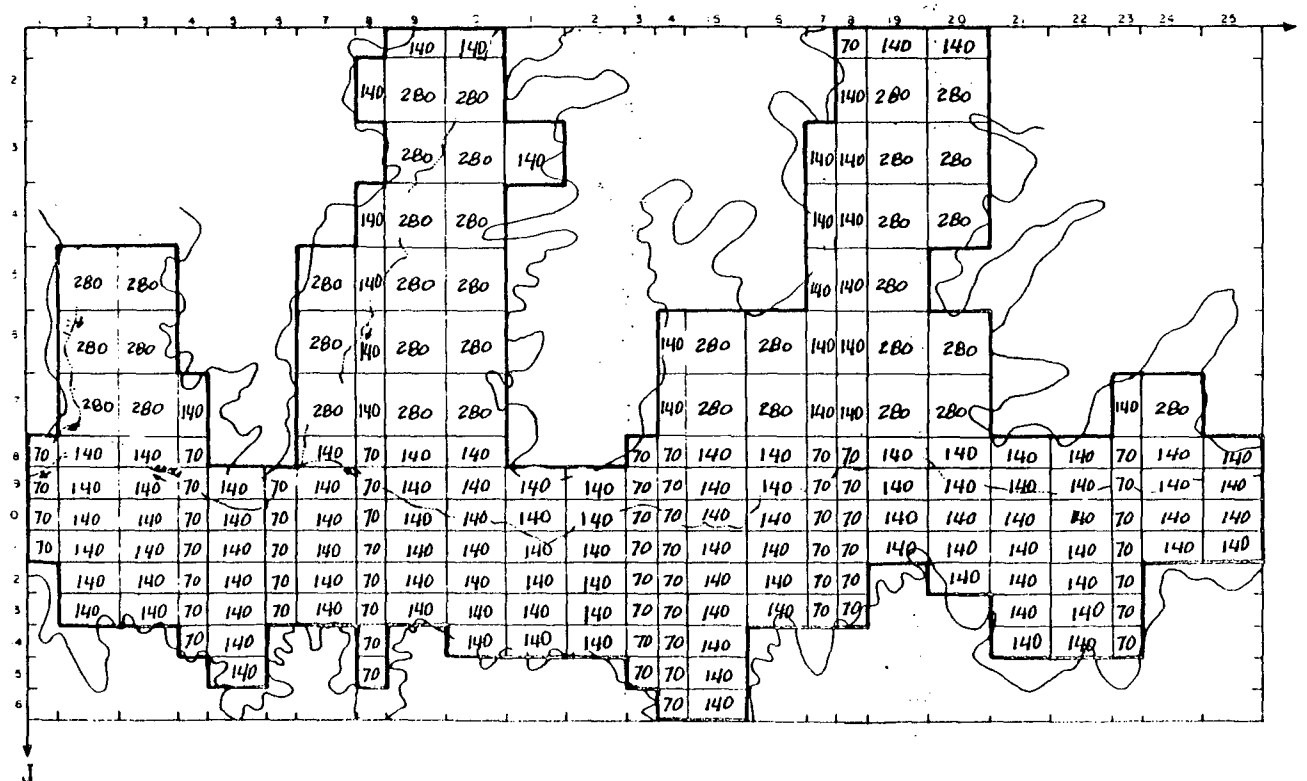
DATOS DE ENTRADA



Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CASABLANCA

INFILTRACIONES POR LLUVIAS (miles m³/año) DATOS DE ENTRADA

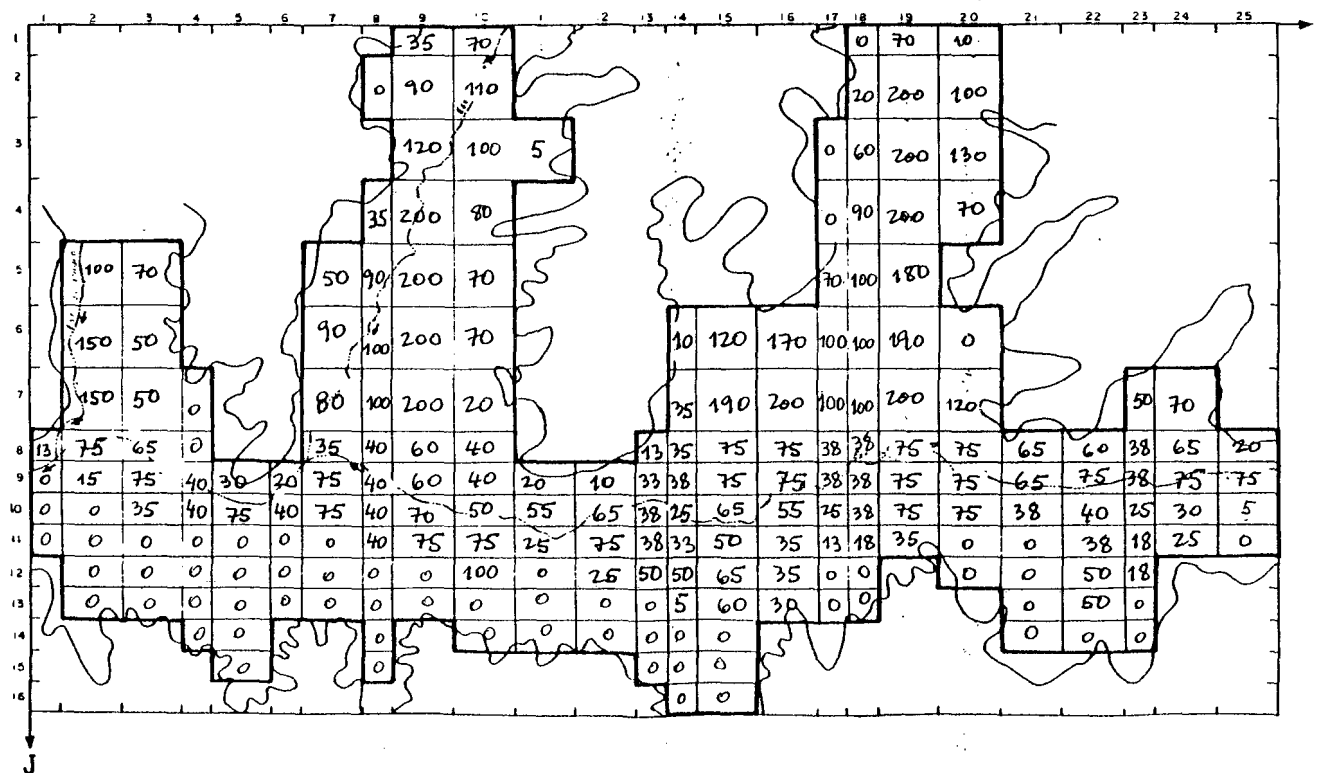


Escala Gráfica
0 1 2 3 Km

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CASABLANCA

INFILTRACIONES DE RIEGO (miles m³/año)

DATOS DE ENTRADA



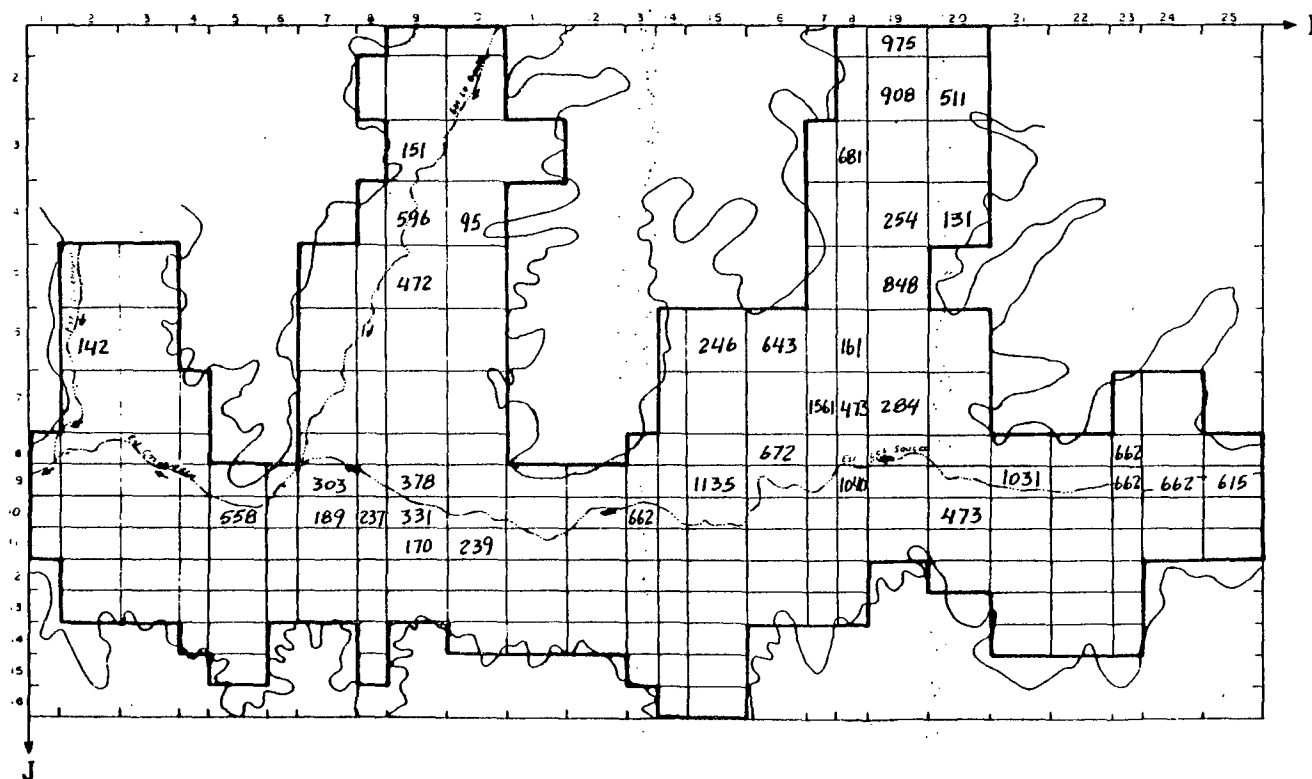
Escaia Gráfica

0 1 2 3 Km

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CASABLANCA

BOMBEO (miles m³/año)

DATOS DE ENTRADA



Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km

7.2 PROCESO DE AJUSTE.

7.2.1 Introducción.

El proceso de ajuste o calaje tiene como objetivo lograr una representación matemática del acuífero, lo más ajustado posible a su realidad física.

Para esto se procede por aproximaciones sucesivas, cambiando los valores de las características hidráulicas y de borde del acuífero, de manera de lograr una semejanza entre las variaciones piezométricas observadas en terreno con las obtenidas de salida del modelo, así como también de ajustar lo mejor posible los elementos del balance másico a la realidad observada.

Para efectuar este análisis, en cada una de las 2 pasadas de ajuste realizadas, se han empleado las siguientes tablas y planos, que se incluyen en cada caso :

- Tabla Resumen del Balance Másico
- Plano del Balance Másico
- Plano del Contraste Piezométrico
- Planos con los cambios en los datos de entrada, efectuados para la pasada.

Su contenido puede sintetizarse en lo siguiente :

- La Tabla Resumen del Balance Másico consiste en un cuadro que condensa la información mensual y anual del acuífero simulado, para los distintos elementos que componen el balance volumétrico.
- El Plano del Balance Másico contiene el detalle, por cada malla del modelo, de los elementos del balance que la simulación entrega como resultados. Estos son : las entradas y salidas al área modelada desde y hacia otras cuencas y los volúmenes aflorados desde las vertientes, junto con aquellos que salen directamente a los ríos o esteros.

- El Plano de Contraste Piezométrico incluye en el mallaje del modelo, los gráficos de variación de niveles medidos y simulados para los piezómetros de contraste. Estos son la base de discusión del funcionamiento del modelo y, junto con el Balance Másico, determinan los cambios que se hacen de una pasada a otra.
- Los Planos con cambios corresponden a los nuevos valores, por cada malla, que los parámetros de modelación toman al ser modificados para mejorar el ajuste del modelo. Se entiende que aquellos parámetros no modificados permanecen sin variaciones respecto a la pasada anterior.

Estando claros estos antecedentes, se incluye a continuación la discusión de cada pasada. Cabe señalar previamente que en el caso de Casablanca no se ha simulado la relación río-acuífero; dado que no hay cauces en la cuenca simulada que interactúen con el acuífero recibiendo afloramientos desde la napa subterránea.

7.2.2 Relación de Pasadas.

7.2.2.1 Pasada N° 1.

Se efectuó el 18.10.83 con los datos de entrada preparados según lo descrito en el punto 5.1.

Del Balance Másico se obtiene el cuadro que sigue :

=====	
	Vol. (Mm3/año)
=====	
ENTRADAS AL ACUIFERO	
- Infiltraciones de Riego	9,9
- Infiltraciones por Lluvias	<u>29,3</u>
T o t a l	39,2
SALIDAS DESDE EL ACUIFERO	
- Bombeos	18,1
- Mallas Exteriores	1,5
- Vertientes	<u>13,5</u>
T o t a l	33,1
VARIACIONES DE ALMACENAMIENTO	5,9
=====	

De los elementos de este balance son respuestas del modelo, y no datos de entrada, las vertientes y mallas exteriores. Sus valores por malla pueden verse en el Plano del Balance Másico. Allí se nota que las vertientes se concentran principalmente en el sector medio del valle principal y en el valle del Este ro Lo Ovalle. Estas en la realidad corresponden a vertientes propiamente tales, que no fueron indicadas en el Estudio Hidro geológico, Volumen IV, o bien podrían manifestarse físicamente como evapotranspiración directa desde el acuífero en las zonas donde los niveles freáticos son poco profundos. Si así fuera, los 13,5 (Mm3/año) que salen y que equivalen a un caudal contí nuo de 400 (l/s) aproximadamente, son una cifra razonable para explicar dicho fenómeno.

En cuanto a las mallas exteriores no hay mucho que comentar, ya que se detectó un error en las cotas piezométricas de las mallas de borde, que impiden las entradas laterales desde el piedemonte. Esto se ha corregido en la pasada que sigue.

Por el lado de los piezómetros, puede verse en el Plano del Contraste Piezométrico que en la mayoría de los casos los niveles simulados oscilan con mayor amplitud que los medidos.

Por esto se han planteado los siguientes cambios para la 2a. Pasada :

- Reducir las infiltraciones por lluvias a la mitad.
- Aumentar el coeficiente de almacenamiento al doble.
- Redistribuir las infiltraciones por lluvias según los siguientes coeficientes :

MES	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
α %	50	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Esto quedaría justificado suponiendo, como se ha indicado en estudios anteriores, que la recarga por lluvias se efectúa por infiltraciones en el piedemonte, llegando su efecto al centro del acuífero desfasado en uno o dos meses respecto de la ocurrencia de las precipitaciones.

RESUMEN BALANCE MASICO PASADA N° 1

VALORES EN MILLONES M3

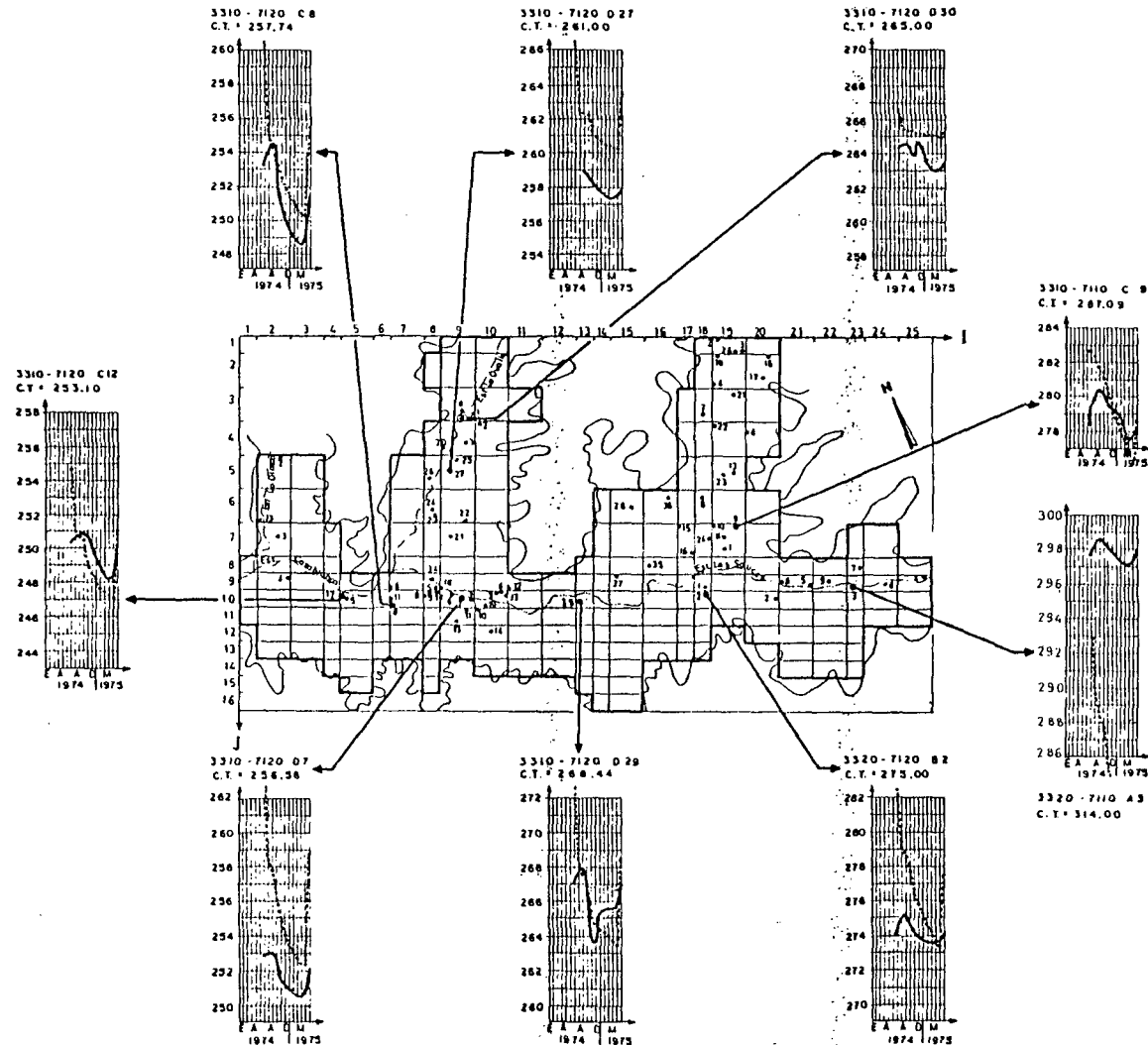
MES	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	TCTAL ANUAL
MALLAS EXTERIORES	-0.5	-0.7	-0.5	-0.4	-0.2	-0.1	-0.0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	-1.5
RIO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VERTIENTES	-4.8	-3.2	-1.0	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-1.0	-13.5
ALMACENAMIENTO	16.6	-4.0	-1.7	-1.3	-1.9	-1.7	-1.5	-1.4	-1.2	-1.1	-1.0	6.2	5.9
BOMBEO RIEGO	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-2.3	-2.3	-2.3	-2.3	-2.3	-2.3	-2.3	-0.3	-17.6
BOMBEO AGUA POTABLE	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.5
BOMBEO INDUSTRIAL	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0
INFILTRACIONES DE RIEGO	0.2	0.2	0.2	0.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	0.2	9.9
INFILTRACIONES POR LLUVIAS	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	29.3
BALANCE TOTAL	-0.1	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.3

VALORES POSITIVOS INDICAN ENTRADAS AL ACUIFERO

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CASABLANCA

ESCALA GRAFICA
 0 10 20 30 KM

CONTRASTE PIEZOMETRICO PASADA N°1



Escala Gráfica



0 1 2 3 Km

7.2.2.2 Pasada N° 2.

Se efectuó el 23.11.83 con los siguientes resultados para el Balance Másico.

=====	
	Vol. (Mm3/año)
ENTRADAS AL ACUIFERO	
- Mallas Exteriores	10,4
- Infiltraciones de Riego	9,9
- Infiltraciones por Lluvias	14,7
	<hr/>
T o t a l	35,0
SALIDAS DESDE EL ACUIFERO	
- Bombeos	18,1
- Vertientes	8,4
	<hr/>
T o t a l	26,5
VARIACIONES DE ALMACENAMIENTO	8,1
=====	

Del análisis de las variaciones piezométricas y su comparación con las mediciones efectuadas en terreno se puede apreciar una notable mejoría, en relación con la Pasasa N° 1. Existen sólo dos piezómetros que manifiestan discrepancias con las medidas de terreno, sin embargo éstos se encuentran en sectores cercanos a los bordes.

Las salidas por vertientes alcanzan a 1,3 Mm3 en el valle de Tapihue aguas abajo del embalse; 2,7 Mm3 en el valle de Casa blanca camino hacia Orrego Arriba; 1,8 Mm3 en el valle de Lo Ovalle; 0,2 Mm3 en el valle de Lo Orozco y 1,0 Mm3 en el este ro Casablanca aguas abajo de Casablanca. Todas estas salidas corresponden o bien a vertientes o a evapotranspiraciones en sectores de alto nivel frático.

De acuerdo con el análisis de resultado y las comparaciones con los elementos de contraste, se concluye que el ajuste obtenido es suficiente, y concuerda con la precisión de los datos de entrada. En consecuencia, se dispone de una herramienta de cálculo, que permite calcular la respuesta del acuífero frente a diferentes hipótesis de empleo del mismo.

Este modelo matemático deberá continuar perfeccionándose por medio de la obtención de datos más actualizados que provengan de la explotación misma del acuífero.

1243302

RESUMEN BALANCE MASICO PASADA N° 2

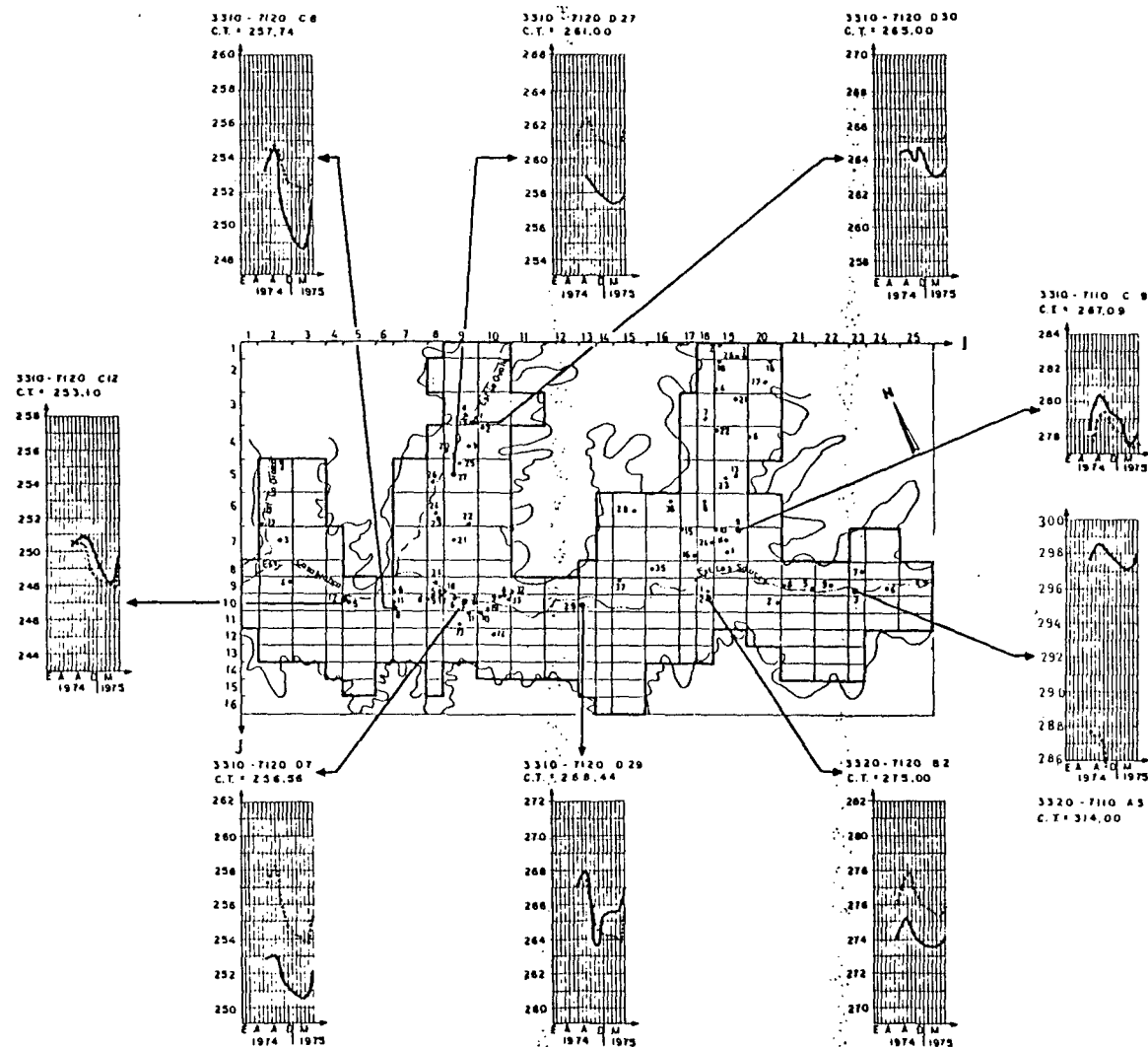
VALORES EN MILLONES M3

MES	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	TOTAL ANUAL
MALLAS EXTERIORES	1.14	0.95	0.81	0.77	0.77	0.79	0.81	0.83	0.85	0.87	0.89	0.88	10.36
RIO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VERTIENTES	-1.69	-1.15	-1.16	-0.83	-0.57	-0.51	-0.47	-0.45	-0.43	-0.41	-0.40	-0.33	-8.40
ALMACENAMIENTO	6.60	3.26	3.13	-0.27	-0.87	-0.80	-0.75	-0.70	-0.66	-0.62	-0.58	0.36	8.11
BOMBEO RIEGO	-0.32	-0.32	-0.32	-0.32	-2.28	-2.28	-2.28	-2.28	-2.28	-2.28	-2.28	-0.32	-17.56
BOMBEO AGUA POTABLE	-0.03	-0.04	-0.03	-0.04	-0.04	-0.05	-0.06	-0.06	-0.05	-0.05	-0.04	-0.04	-0.53
BOMBEO INDUSTRIAL	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.05
INFILTRACIONES DE RIEGO	0.18	0.18	0.18	0.18	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	0.18	9.86
INFILTRACIONES POR LLUVIAS	7.33	3.67	3.67	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.66
BALANCE TOTAL	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.23

VALORES POSITIVOS INDICAN ENTRADAS AL ACUIFERO

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CASABLANCA CONTRASTE PIEZOMETRICO PASADA N°2

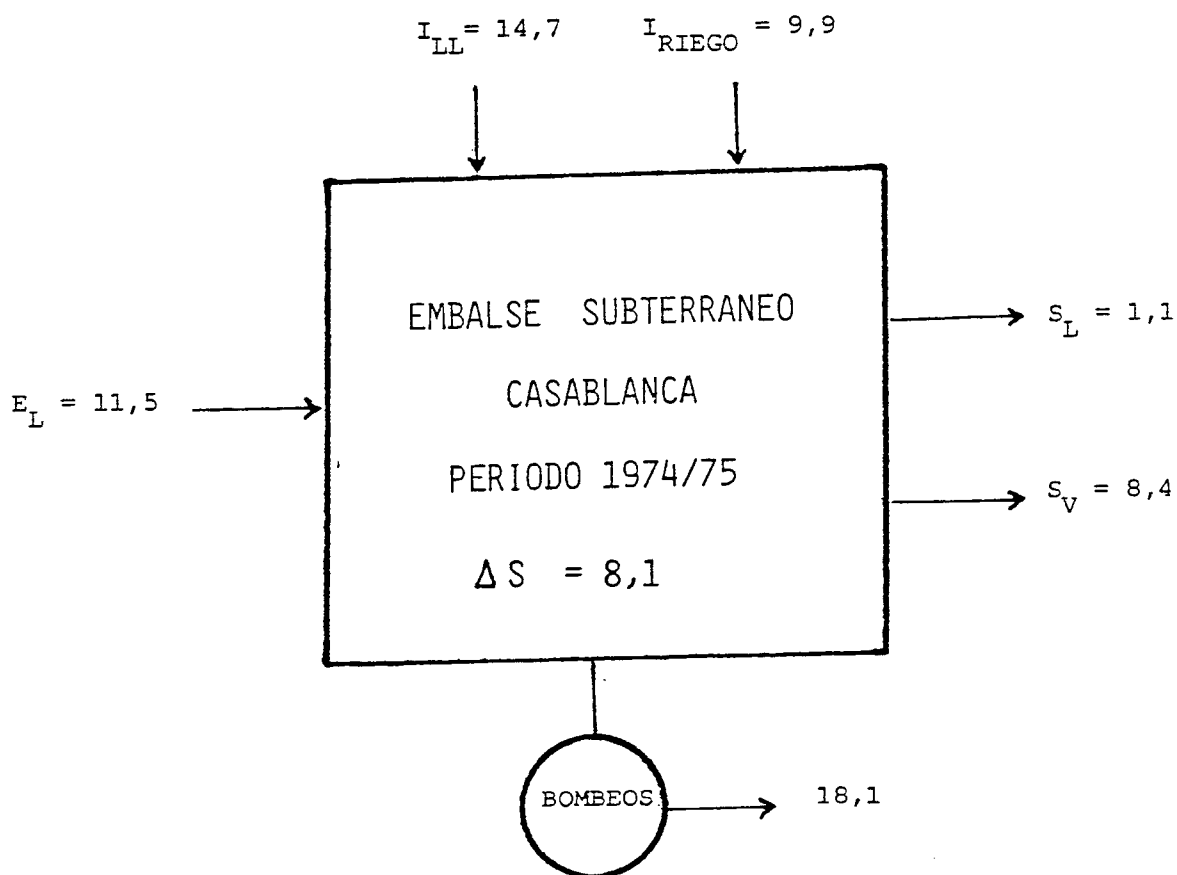
ESCALA GRAFICA
 0 10 20 30 KM



7.2.3 Conclusiones.

7.2.3.1 Esquema de Funcionamiento del Acuífero.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el proceso de calaje, se puede presentar el esquema de funcionamiento del embalse subterráneo, en el que se indican todas las entradas y salidas de agua al sistema, para el período de simulación del año 1974/75.



Valores en millones de metros cúbicos por año.

En que :

I_{LL} = infiltraciones por lluvia

I_{RIEGO} = infiltraciones por riego

E_L = entradas laterales

S_L = salidas laterales

S_V = salidas por vertientes

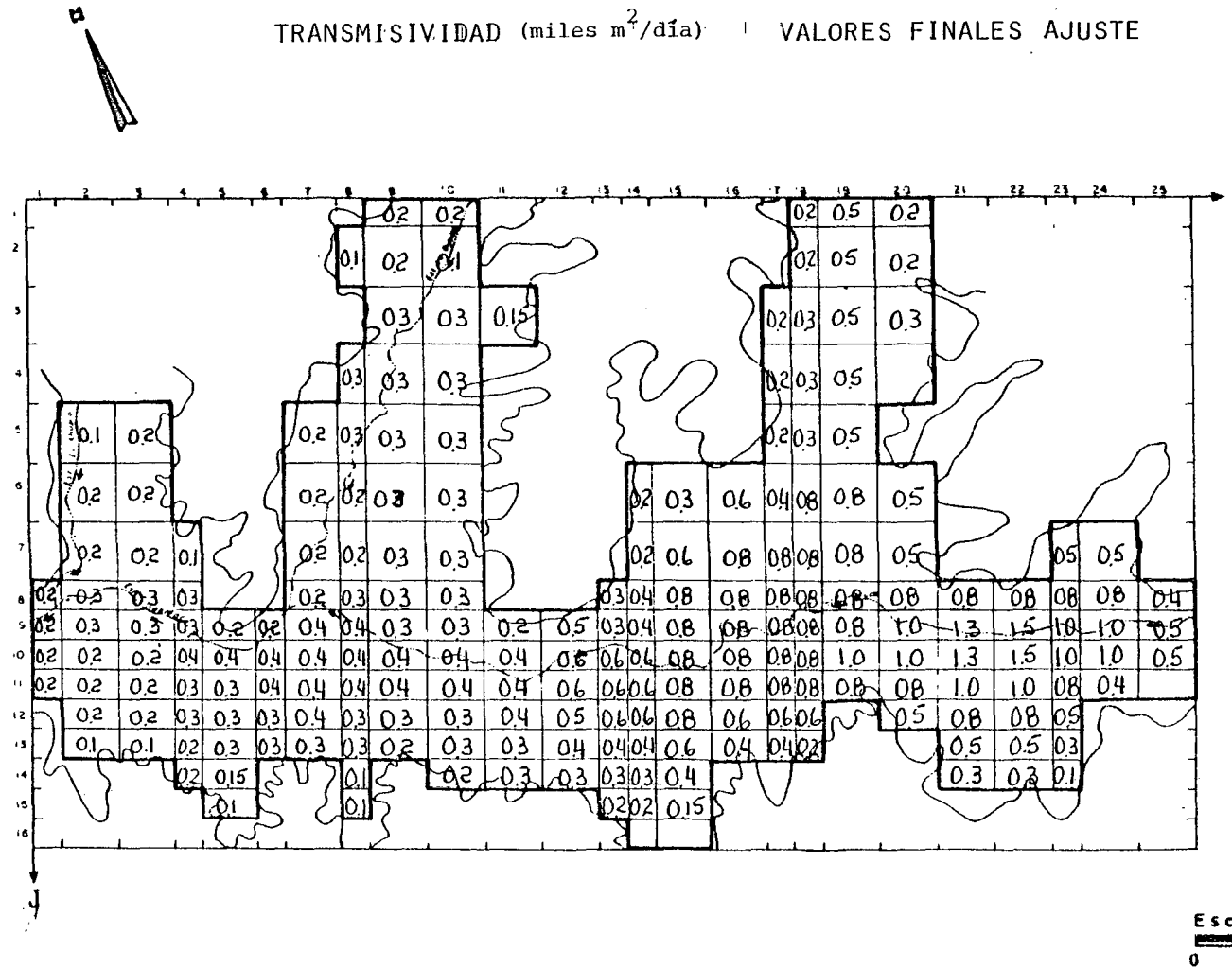
Δ_S = cambios de almacenamiento

El funcionamiento del acuífero es tal que una gran parte de la recarga proviene de entradas laterales, de tal modo que el acuífero se recarga por la infiltración de las escorrentías de los cerros circundantes, las que al llegar al sector plano ingresan al acuífero. Esto además queda de manifiesto en la morfología del área, en que no se encuentran redes de drenaje encajadas.

También ha quedado de manifiesto el hecho de que hay una cantidad importante de agua subterránea que se pierde por evapotranspiración o por salidas a través de vertientes, la que alcanza a los 8 Mm³, cantidad comparable con la infiltración de riego. Esto indica que una explotación más intensa del agua subterránea serviría para disminuir las pérdidas, lográndose un empleo más racional del recurso.

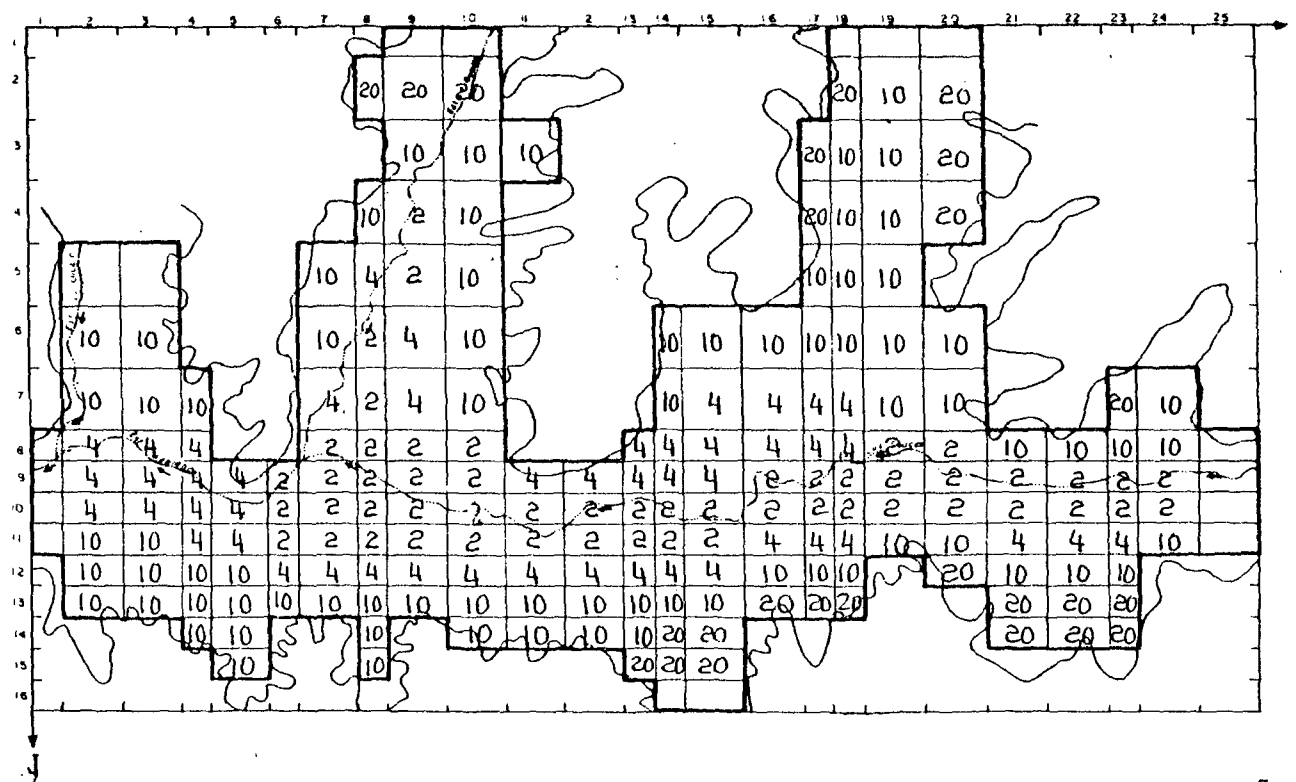
Por último, para complementar este análisis, se entrega los valores finales que el ajuste ha dado para los diferentes datos de entrada por malla.

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CASABLANCA TRANSMISIVIDAD (miles m²/día) | VALORES FINALES AJUSTE



MODELO HIDROGEOLOGICO DE CASABLANCA

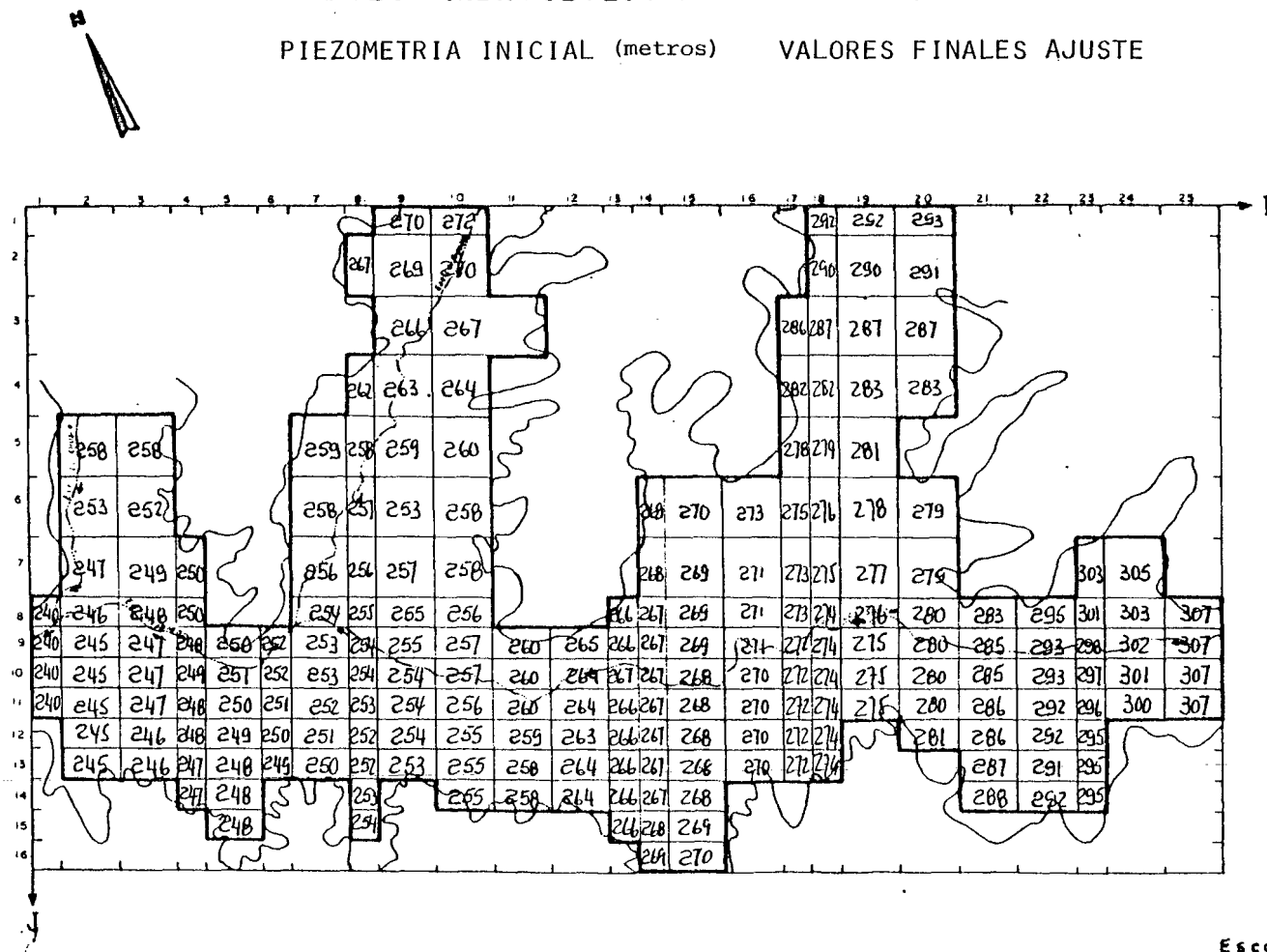
COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO(%) VALORES FINALES AJUSTE



Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CASABLANCA

PIEZOMETRIA INICIAL (metros) VALORES FINALES AJUSTE

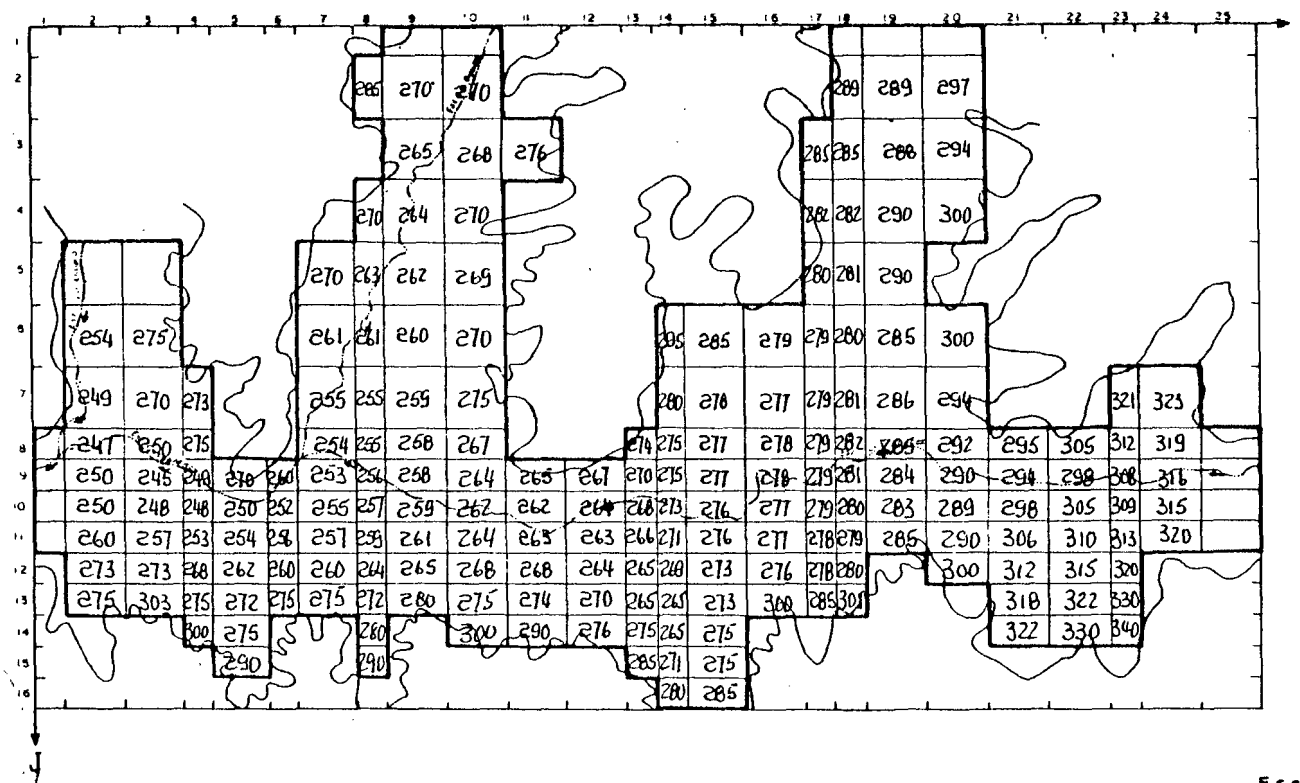


Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CASABLANCA

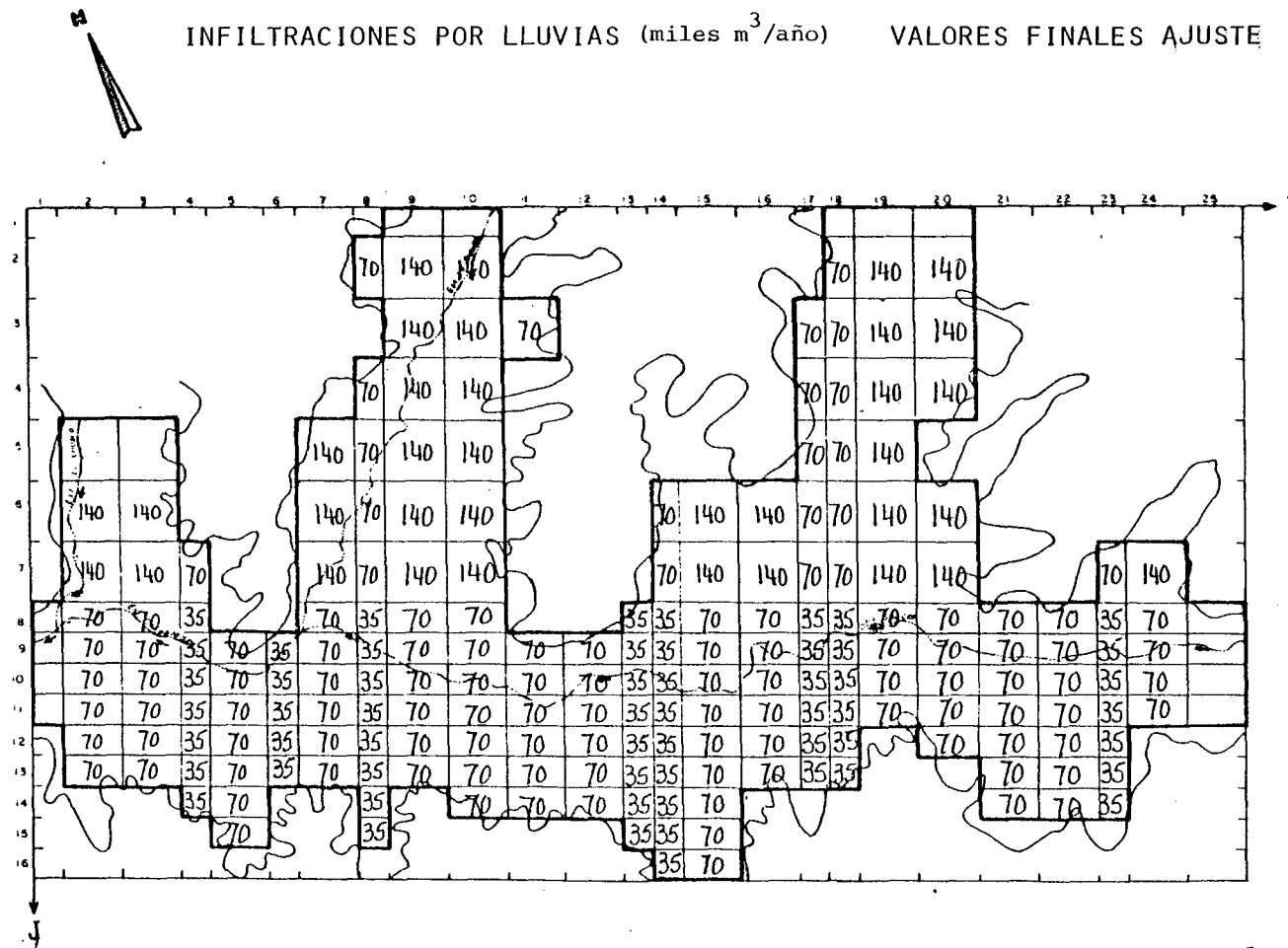
COTA DE TERRENO (metros)

VALORES FINALES AJUSTE



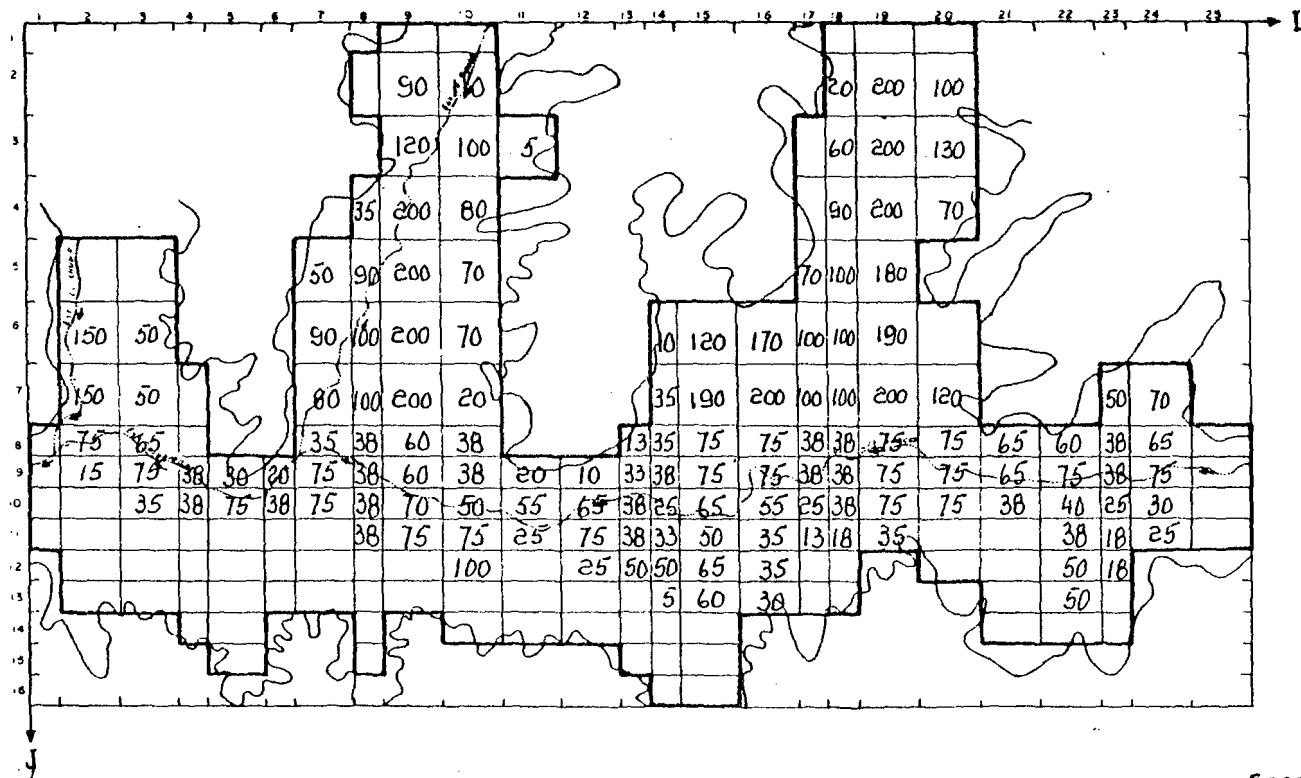
Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CASABLANCA INFILTRACIONES POR LLUVIAS (miles m³/año) VALORES FINALES AJUSTE

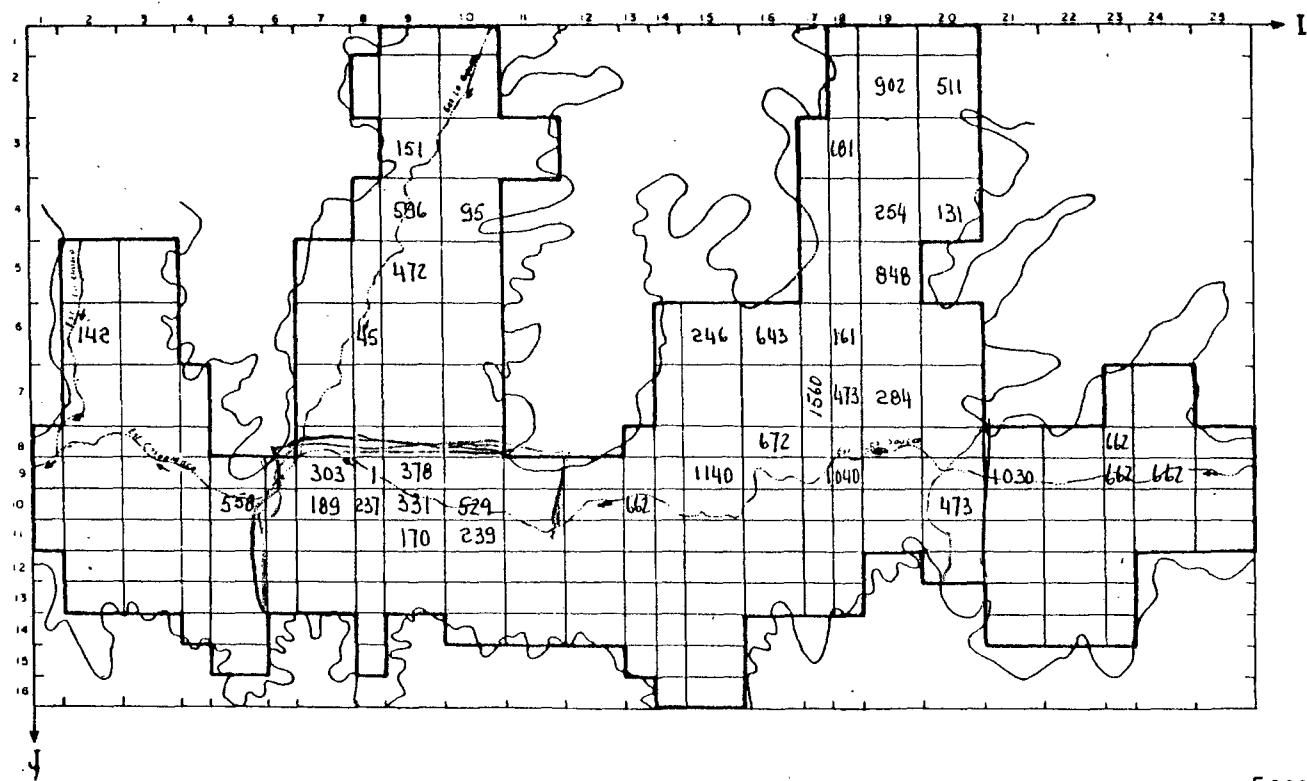


Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CASABLANCA INFILTRACION DE RIEGO (miles m³/año) VALORES FINALES AJUSTE



MODELO HIDROGEOLOGICO DE CASABLANCA BOMBEO RIEGO, AGUA POTABLE E INDUSTRIAS (miles m³/año) VALORES FINALES AJUSTE



Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km

7.2.3.2 Proposición de Pasadas de Simulación.

Para el acuífero de Casablanca y de acuerdo con la demanda de riego existente se proponen dos pasadas de simulación a saber:

- Efectuar una explotación más intensa del agua subterránea para atender al regadío de la zona actualmente de secano.
- Suponer la existencia de un año de condiciones especiales que disponga de aguas superficiales y asumir el riego con agua subterránea.

7.2.3.3 Sugerencia para la Recopilación de Antecedentes del Acuífero.

El ajuste logrado con el proceso de simulación, se basa en datos de terreno de hace varios años, a los que no se tuvo en el momento de su obtención para poder comprobar su validez. Por otra parte, es necesario contar con mediciones en terreno referente a las vertientes, zonificación de áreas de evaporación, volúmenes extraídos que sean simultáneos con las mediciones de niveles estáticos.

En consecuencia, se propone una serie de trabajos adicionales que tienden a una mayor precisión en el modelo, en particular los que se refieren a :

- Una campaña de geofísica de resistividad, que permita definir a la escala 1:50.000 la situación de la roca basal, límite inferior del acuífero y la situación en profundidad de los materiales permeables de las zonas de borde.
- Una campaña de nivelación de todos los puntos acuíferos que incluyen pozos, sondeos, norias y cotas de los lechos de los esteros. La precisión requerida es de 1 cm, la que concuerda con la precisión de las medidas de ni-

vel estático. Además sirve para conocer con precisión los desniveles entre la superficie freática y los esteros y poder analizar la interdependencia entre ellos.

- Una campaña de mediciones sistemáticas de niveles estáticos en un número seleccionado de pozos y norias. En algunas zonas sería necesario reforzar con la construcción de pozos de pequeño diámetro, en particular en donde se encuentra más superficial el nivel del agua.
- Una campaña de análisis detallado de los riegos que incluya :
 - . Medidas de caudales derivados por los canales.
 - . Medidas de caudales aplicados a los predios y caudales salientes como sobrante.
 - . Experiencias de infiltración en predios tipo selecciónados para este efecto.
 - . Determinación más precisa de los volúmenes mensuales y anuales aplicados a cada predio. Este punto incluye una encuesta exhaustiva de extracciones desde los pozos.
 - . Experiencias de infiltración en canales mediante aforos diferenciales en sitios convenientemente elegidos.

7.3 PROCESO DE SIMULACION.

7.3.1 Introducción.

Una vez efectuado el proceso de calaje, se obtiene una representación matemática de las características físicas del embalse subterráneo. Esta representación matemática es un primer grado de ajuste, el que debe continuar perfeccionándose en la medida en que se obtienen más y mejores datos de terreno como consecuencia de la explotación del acuífero.

No obstante, el grado de aproximación obtenido en este primer ajuste permite efectuar pasadas de simulación, en las que se analice la respuesta del acuífero frente a diversas hipótesis de explotación.

El valle de Casablanca se caracteriza por la escasez de recursos de agua superficial, lo que hace que no exista ningún cauce superficial permanente. El regadío depende de las cantidades de agua almacenadas durante los meses de invierno, las que a su vez dependen de las variables precipitaciones ocurridas. En consecuencia, adquiere especial importancia el poder contar con reservas suficientes como para complementar los déficits de los años secos o semisecos, cuando la distribución de las precipitaciones no es la adecuada. El embalse subterráneo constituye un elemento regulador, el cual puede sobreexplotarse en épocas de sequías, esperando su rellenamiento en los años hidrológicamente más favorables.

Este procedimiento se ha empleado en parte en el valle, por medio de la explotación de sondeos que alcanzan a los 16 Mm³ al año. Dado que esta explotación no ha causado en el largo plazo ningún trastorno grave al embalse, es lícito suponer una capacidad adicional de bombeo. De acuerdo con lo anteriormente dicho, se ha ideado la primera simulación, que consiste en suponer, para un año determinado, una situación tal que no se acumule agua en los embalses superficiales y que se trate de

abastecer los cultivos solamente con aguas subterráneas.

El valle de Casablanca tiene una superficie cultivada que alcanza a las 7.500 hás aproximadamente, sin embargo es susceptible de aumentarse hasta 11.000 hás; dado que aparentemente se encuentran empleados la mayoría de los recursos propios de aguas superficiales, es interesante conocer si existe capacidad en el embalse subterráneo para sustentar el regadío de las hectáreas que faltan. De acuerdo con ello se ha programado una segunda simulación que consiste en aumentar la extracción del acuífero por medio de sondeos en aquellos lugares sin riego y durante los meses de demanda.

7.3.2 Metodología de Cálculo.

7.3.2.1 Simulación N° 1.

Para reproducir la situación en que los embalses superficiales se encuentran secos, se ha efectuado el siguiente proceso de cálculo :

- Identificación de las mallas involucradas que corresponden al sector abastecido con aguas superficiales, las que se encuentran diferenciadas en el plano de riego a escala 1:50.000.
- Dado que en dichas mallas existe un complemento abastecido con aguas subterráneas, se calcula el volumen bombeado y se compara con la superficie total regable de acuerdo con la dotación calculada; con esto se obtiene la superficie que habría que abastecer con agua subterránea.
- Cálculo de los volúmenes adicionales de riego de acuerdo con la superficie por regar y una tasa de 7.000 m³/há/año. Se ha empleado una tasa más baja que la de año normal de-

bido a que se supone que en época de sequía se hace un uso más económico del agua subterránea, en que lleva involucrada un costo de energía para elevación.

- Para el caso de las mallas con bombeo actual surgen dos posibilidades según que el volumen bombeado exceda o no los requerimientos de agua de acuerdo con la dotación de 7.000 m³/há/año. En el primer caso, el exceso se reparte entre las mallas vecinas y en el segundo se determina el bombeo adicional requerido.
- Con respecto a la infiltración de riego, se ha mantenido la suposición de que alcanza a un 20% del volumen bombeado para la zona de los valles laterales y de un 15% de este mismo volumen para el valle de Casablanca.

En el cuadro adjunto se incluye un detalle de los cálculos efectuados en cada una de las mallas afectadas.

CUADRO 7.1 : DETALLE DEL CALCULO DE LOS VOLUMENES DE BOMBEO ADICIONALES
PARA LA SIMULACION N° 1

MALLA	SUP. TOTAL REGABLE	VOL. BOMBEO DISPONIBLE	SUP. SIN RIEGO	VOL. BOMBEO ADICIONAL
I J	(Há)	(miles m ³ /año)	(Há)	(miles m ³ /año)
2-5	30	-	30	-210
2-6	60	142	45	-315
2-7	80	-	80	-560
2-8	50	-	50	-350
3-8	40	-	40	-280
3-9	50	-	50	-350
3-10	30	-	30	-210
4-9	25	-	25	-175
4-10	25	-	25	-175
5-9	15	-	15	-105
5-10	50	558	-	+210
6-9	10	-	10	- 70
6-10	25	-	25	-175
7-9	50	303	7	- 50
7-10	50	189	23	-160
8-5	40	-	40	-280
8-6	50	-	50	-350
8-7	50	-	50	-350
8-8	25	-	25	-175
8-9	25	-	25	-175
8-10	25	237	-	+ 62
8-11	25	-	25	-175
9-2	25	-	25	-175
9-4	100	596	15	-105
9-5	100	472	33	-230
9-6	100	-	100	-700
9-7	100	-	100	-700
9-8	25	-	25	-175
9-9	25	378	-	+210
9-10	40	331	-	+ 50
9-11	50	170	25	-175

NOTA : Los valores positivos del bombeo adicional indican que el volumen actualmente bombeado excede la demanda de riego requerida.

CUADRO 7.1 (CONT.)

MALLA	SUP. TOTAL REGABLE	VOL. BOMBEO DISPONIBLE	SUP. SIN RIEGO	VOL. BOMBEO ADICIONAL
I J	(Há)	(miles m ³ /año)	(Há)	(miles m ³ /año)
10-2	25	-	25	- 175
10-10	40	-	40	- 280
10-11	50	239	-	- 350
10-12	50	-	50	- 350
11-10	50	-	50	- 350
12-10	50	-	50	- 350
12-11	50	-	50	- 350
13-9	25	-	25	- 175
13-10	25	662	-	+ 487
13-11	25	-	25	- 175
13-12	25	-	25	- 175
14-8	25	-	25	- 175
14-9	25	-	25	- 175
14-11	20	-	20	- 140
14-12	25	-	25	- 175
15-7	100	-	100	- 615
15-8	50	-	50	- 350
15-9	50	1.135	-	+ 785
15-10	50	-	50	- 350
16-6	60	643	-	+ 210
16-7	100	-	100	- 700
16-8	50	672	-	+ 320
16-9	50	-	50	- 350
16-10	20	-	20	- 140
17-5	30	-	30	- 210
17-6	50	-	50	- 350
17-7	50	1.561	-	+1210
17-8	25	-	25	- 175
17-9	25	-	25	- 175

NOTA : Los valores positivos del bombeo adicional indican que el volumen actualmente bombeado excede la demanda de riego requerida.

CUADRO 7.1 (CONT.)

MALLA	SUP. TOTAL REGABLE	VOL. BOMBEO DISPONIBLE	SUP. SIN RIEGO	VOL. BOMBEO ADICIONAL
I J	(Há)	(miles m ³ /año)	(Há)	(miles m ³ /año)
18-2	15	-	15	-105
18-3	30	681	-	+470
18-4	50	-	50	-350
18-5	50	-	50	-350
18-6	50	161	27	-190
18-7	50	473	-	+125
18-8	25	-	25	-175
18-9	25	1.040	-	+865
18-10	25	-	25	-175
19-2	100	908	-	+240
19-3	100	-	100	-700
19-4	100	254	64	-450
19-5	80	848	-	+290
19-6	80	-	8-	-560
19-7	100	284	60	-700
19-8	50	-	50	-350
19-9	50	-	50	-350
19-10	50	-	50	-350
20-4	30	131	11	- 80
20-7	50	-	50	-350
20-8	50	-	50	-350
20-9	50	-	50	-350
20-10	50	473	-	+120
21-8	50	-	50	-350
21-9	30	1.031	-	+820
22-8	50	-	50	-350
22-9	50	-	50	-350
23-7	20	-	20	-350
23-8	25	662	-	+490
23-9	30	662	-	+450
24-8	30	-	30	-240
24-9	50	662	-	+310

NOTA : Los valores positivos del bombeo adicional indican que el volumen actualmente bombeado excede la demanda de riego requerida.

7.3.2.2 Simulación N° 2.

Se trata de introducir bombeos en aquellas mallas que corresponden a zonas sin riego para simular una extracción más intensa de agua subterránea que permita poner en riego la totalidad del sector plano del valle de Casablanca. Para ello se han efectuado los siguientes trabajos :

- Identificación de las mallas involucradas, las que corresponden a los sectores sin riego y con riego superficial eventual, localizadas en el plano de riegos a escala 1:50.000.
- Determinación de la superficie total regable para cada malla.
- Cálculo de los volúmenes bombeados para una tasa de riego de 7.000 m³/há/año y para la superficie determinada en el punto anterior.
- Determinación de las tasas de infiltración, asumiendo un 20% y 15% del volumen bombeado, según se trate de valles laterales o del valle de Casablanca respectivamente.

Se incluye un cuadro con los resultados del proceso de cálculo efectuado y con las cifras que han constituido los nuevos datos de entrada para el proceso de simulación.

-305-

CUADRO 7.2 : DETALLE DEL CALCULO DE VOLUMENES DE BOMBEO ADICIONALES
PARA LA SIMULACION N° 2

MALLA I J	SUP. TOTAL REGABLE (Há)	VOL. BOMBEO ADICIONAL (miles m ³ /año)
2-9	50	350
2-10	50	350
2-11	50	350
2-12	30	210
2-13	25	175
3-10	20	140
3-11	25	175
5-11	50	350
5-12	25	175
6-11	20	140
6-12	15	105
7-11	50	350
7-12	50	350
8-12	25	175
8-13	25	175
8-14	25	175
8-15	25	175
9-12	50	350
9-13	25	175
10-13	40	280
11-11	50	350
11-12	50	350
11-13	50	350
11-14	25	175
12-12	30	210
12-13	50	350
13-13	25	175
13-14	15	105
14-13	15	105
14-14	20	140
14-15	25	175
15-14	50	350
15-15	50	350

-306-

CUADRO 7.2 (CONT.)

MALLA	SUP. TOTAL REGABLE	VOL. BOMBEO ADICIONAL
I J	(Há)	(miles m ³ /año)
15-16	40	280
16-12	25	175
17-3	50	350
17-4	25	175
17-12	25	175
17-13	25	175
20-2	50	350
20-6	100	700
20-11	50	350
20-12	25	175
21-11	50	350
21-12	50	350
21-13	25	175
2-5	30	210 *
2-6	40	280 *
3-5	25	175 *
3-6	25	175 *
3-7	20	140 *
7-5	60	420 *
7-6	100	700 *
7-7	90	630 *
7-8	40	280 *
8-4	30	210 *
9-2	25	175 *
9-3	90	630 *
10-2	75	525 *
10-3	100	700 *
10-4	90	630 *
10-5	90	630 *
10-6	80	560 *
10-8	30	210 *
14-6	20	140 *
14-7	40	280 *
14-10	25	175 *

-307-

CUADRO 7.2 (CONT.)

MALLA		SUP. TOTAL REGABLE	VOL. BOMBEO ADICIONAL
I	J	(Há)	(miles m ³ /año)
15-6		100	700 *
15-11		50	350 *
15-12		50	350 *
15-13		50	350 *
16-6		40	280 *
16-10		30	210 *
16-11		50	350 *
16-12		25	175 *
16-13		25	175 *
17-10		20	140 *
17-11		15	105 *
18-11		25	175 *
19-11		50	350 *
21-9		20	140 *
21-10		50	350 *
22-10		50	350 *
22-11		50	350 *
22-12		50	350 *
22-13		50	350 *
22-14		50	350 *
23-7		20	140 *
23-10		10	70 *
23-11		25	175 *
23-12		15	105 *
23-13		15	105 *
23-14		20	140 *
24-7		70	490 *
24-10		40	280 *
24-11		25	175 *

* Mallas que actualmente tienen riego eventual con aguas superficiales. El resto corresponde a la zona no cultivada.

7.3.3 Relación de Pasadas.

7.3.3.1 Pasada de Simulación N° 1.

Se efectuó el 27.01.84 con los siguientes resultados para el Balance Másico :

=====	
	Vol. (Mm3/año)
=====	
ENTRADAS AL ACUIFERO	
- Mallas exteriores	11,9
- Infiltraciones de riego	4,5
- Infiltraciones por lluvias	<u>14,7</u>
T o t a l	31,1
SALIDAS DESDE EL ACUIFERO	
- Bombeos	30,3
- Vertientes	<u>5,2</u>
T o t a l	35,5
VARIACIONES DE ALMACENAMIENTO	- 4,5
=====	

Comparando estos valores con los de la última pasada de ajuste, considerada como la situación del acuífero sin nuevas explotaciones, puede señalarse :

Las nuevas explotaciones significan para el acuífero una demanda adicional de 17,6 (Mm3/año). Estas provienen de :

- Un aumento del bombeo para riego en 67%.
- Una disminución de las infiltraciones de riego en un 65%.

El nuevo volumen requerido se obtiene en un 71% del almacenamiento del acuífero, un 18% de la merma de salidas por vertientes y el resto de un incremento en las entradas subterráneas.

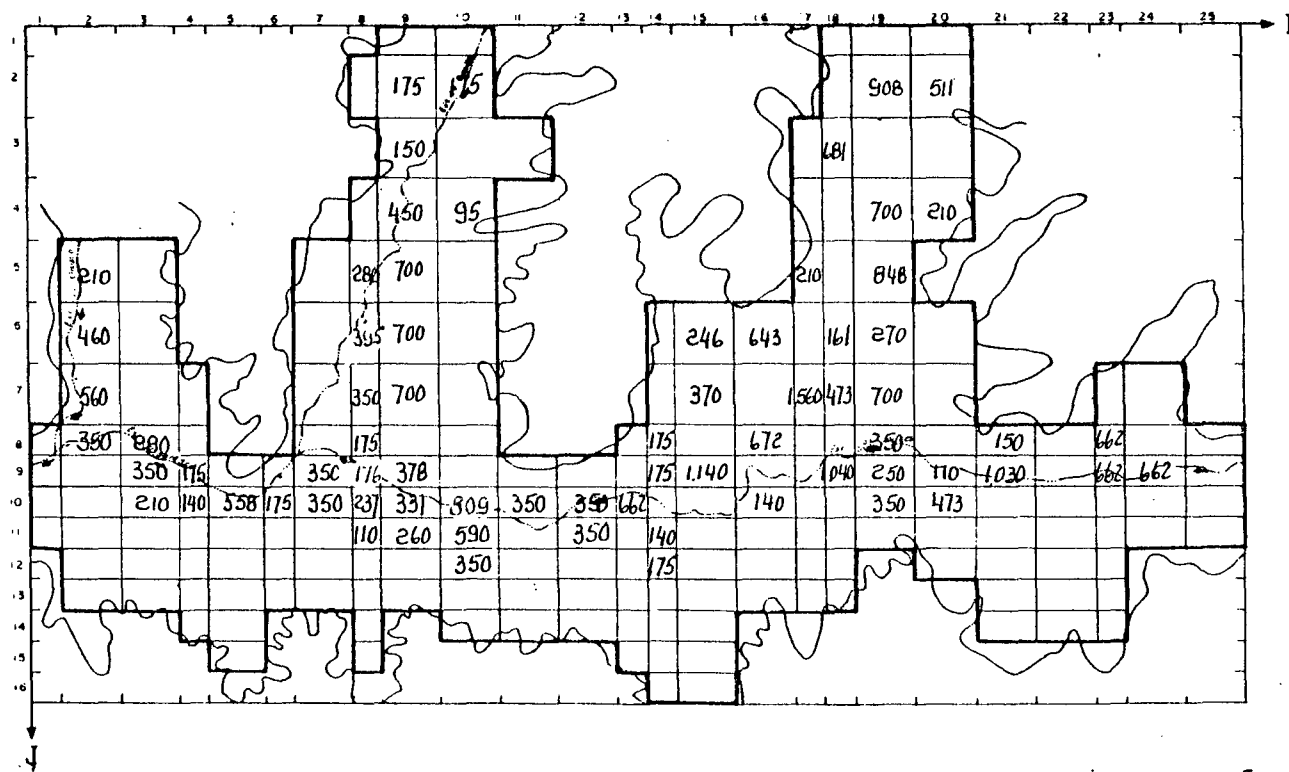
El desembalse en la napa subterránea, que llega a 12,6 (Mm³/año) significa descensos de nivel que van desde cero hasta 6 m, con un valor medio de 2,5 m aproximadamente.

En el Plano de Descensos de Nivel que se adjunta al final de este análisis, puede observarse que el sector más afectado es el que se ubica en los alrededores del pueblo de Casablanca con un descenso medio de 5 m. Para el resto de la cuenca el efecto del bombeo adicional simulado es bastante menor, con descensos que en promedio no van más allá de los 2 m.

Como conclusión, el acuífero admite la sobreexplotación sin mayores complicaciones. Esto significa que podría reemplazarse en un año particular, el riego que actualmente se hace con recursos superficiales, por uno con aguas subterráneas.

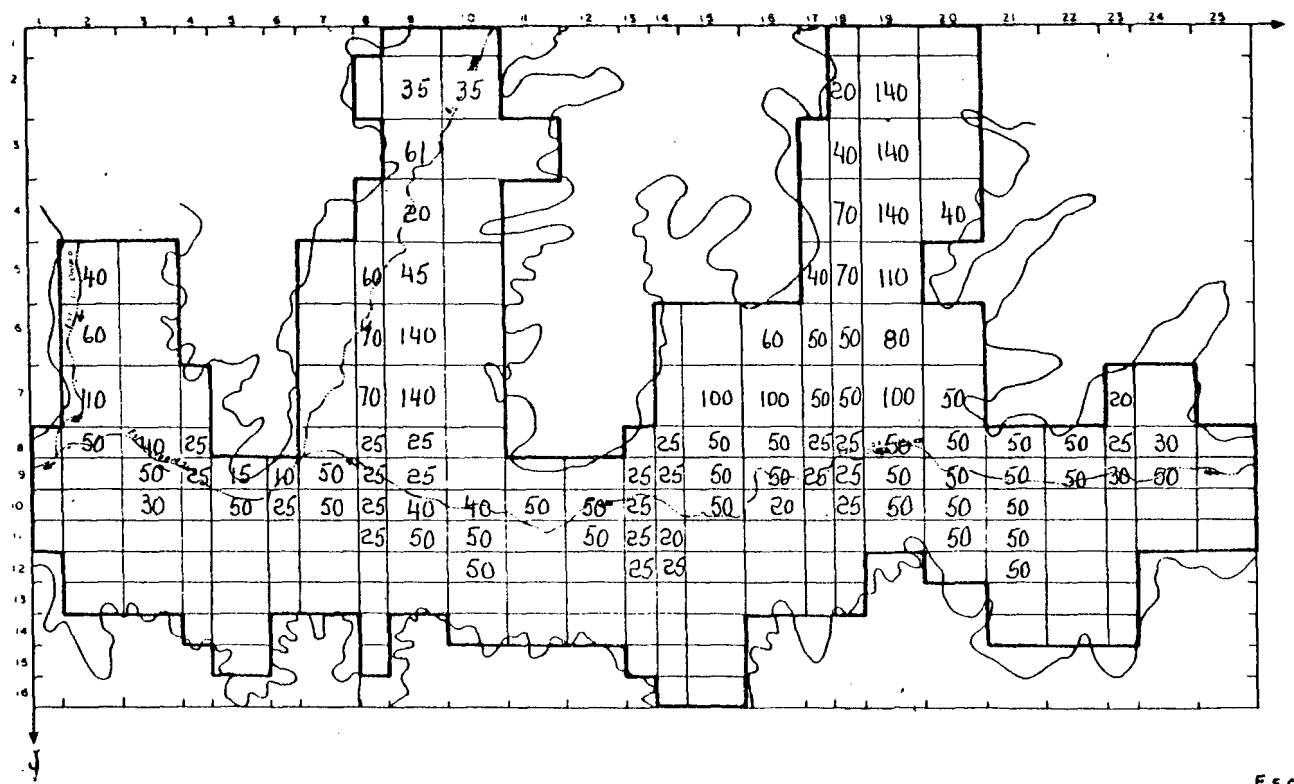
MODELO HIDROGEOLOGICO DE CASABLANCA

BOMBEO RIEGO, AGUA POTABLE E INDUSTRIAS (miles m³/año) PASADA DE SIMULACION N° 1



Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CASABLANCA INFILTRACIONES POR RIEGO (miles m³/año) PASADA DE SIMULACION N° 1



Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km

RESUMEN BALANCE MASICO PASADA DE SIMULACION N° 1

VALORES EN MILLONES M3

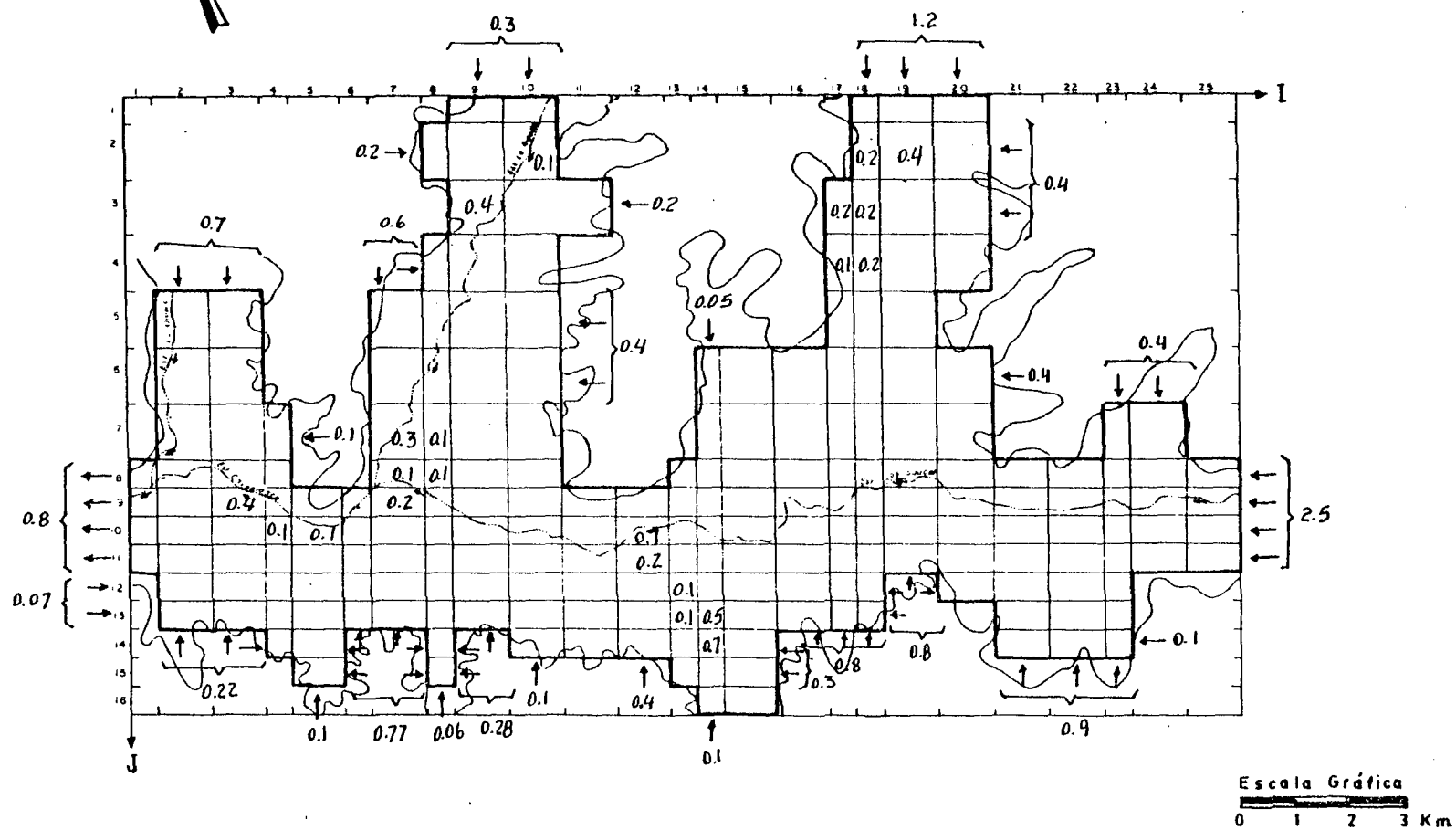
MES	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	TOTAL ANUAL
MALLAS EXTERIORES	1.14	0.95	0.83	0.78	0.82	0.88	0.94	1.00	1.06	1.12	1.18	1.19	11.87
RIO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VERTIENTES	-1.64	-1.06	-1.02	-0.68	-0.27	-0.13	-0.10	-0.08	-0.07	-0.06	-0.05	-0.04	-5.19
ALMACENAMIENTO	6.33	3.04	2.97	-0.41	-2.78	-2.59	-2.50	-2.42	-2.34	-2.27	-2.19	0.64	-4.50
BOMBEO RIEGO	-0.54	-0.54	-0.54	-0.54	-3.87	-3.87	-3.87	-3.87	-3.87	-3.87	-3.87	-0.54	-29.74
BOMBEO AGUA POTABLE	-0.03	-0.04	-0.03	-0.04	-0.04	-0.05	-0.06	-0.06	-0.05	-0.05	-0.04	-0.04	-0.53
BOMBEO INDUSTRIAL	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.05
INFILTRACIONES DE RIEGO	0.08	0.08	0.08	0.08	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.08	4.50
INFILTRACIONES POR LLUVIAS	7.33	3.67	3.67	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.66
BALANCE TOTAL	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.01	0.04

VALORES POSITIVOS INDICAN ENTRADAS AL ACUIFERO

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CASABLANCA

BALANCE MASICO

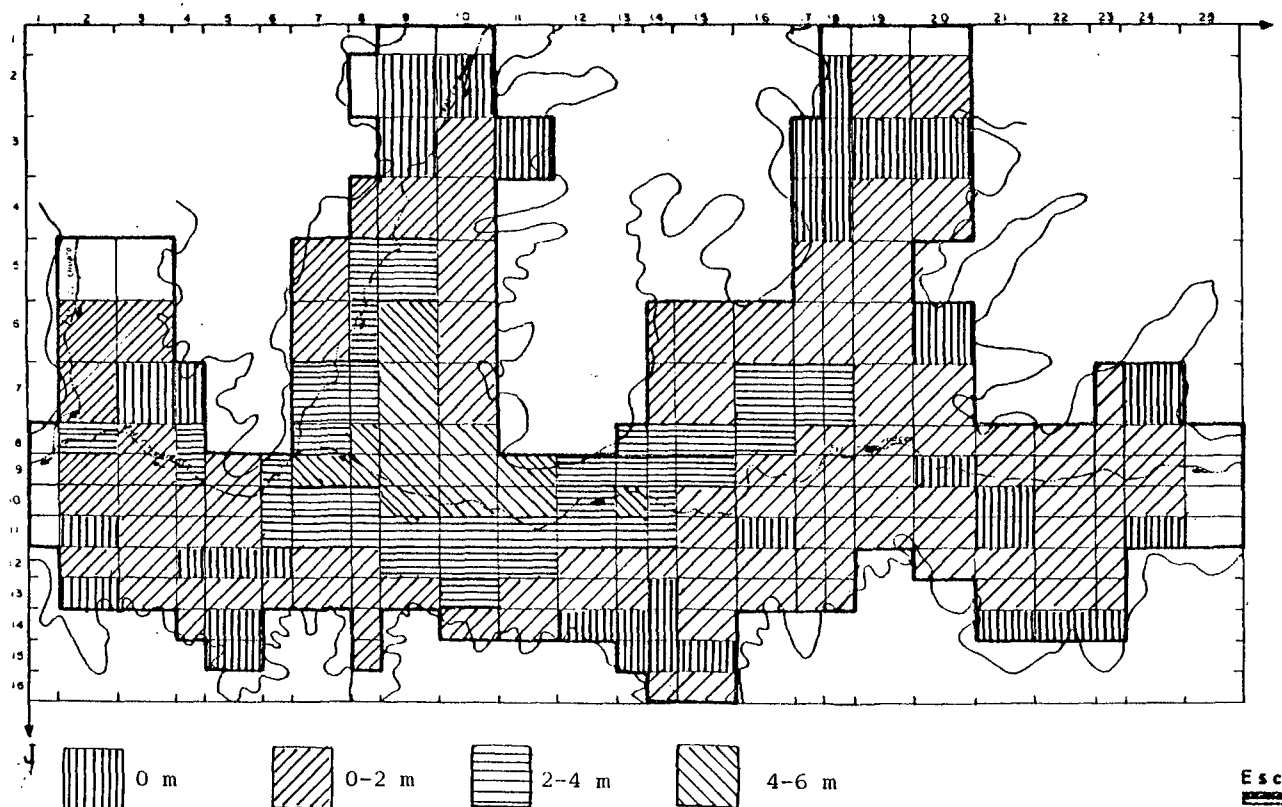
PASADA DE SIMULACION N° 1



MODELO HIDROGEOLOGICO DE CASABLANCA

DESCENSOS (metros)

PASADA DE SIMULACION N° 1



0 1 2 3 Km

7.3.3.2 Pasada de Simulación N° 2.

Se efectuó el 27.01.84 con los siguientes resultados para el Balance Másico :

=====	
	Vol. (Mm3/año)
=====	
ENTRADAS AL ACUIFERO	
- Mallas exteriores	13,8
- Infiltraciones de riego	12,5
- Infiltraciones por lluvias	<u>14,7</u>
T o t a l	41,0
SALIDAS DESDE EL ACUIFERO	
- Bombeos	45,2
- Vertientes	<u>5,7</u>
T o t a l	50,9
VARIACIONES DE ALMACENAMIENTO	- 9,4
=====	

La comparación de estos resultados con los obtenidos para la situación sin nuevas explotaciones indica lo siguiente :

El volumen que significan los nuevos bombeos es de 27,1 (Mm3/año) que totalizan extracciones 2,5 veces superiores a las originales. Este recurso proviene en un 65% del almacenamiento del acuífero, un 10% de las infiltraciones de riego de los nuevos sectores regados, un 10% de la disminución de afloramientos

por vertientes y el resto del aumento de ingresos por mallas exteriores.

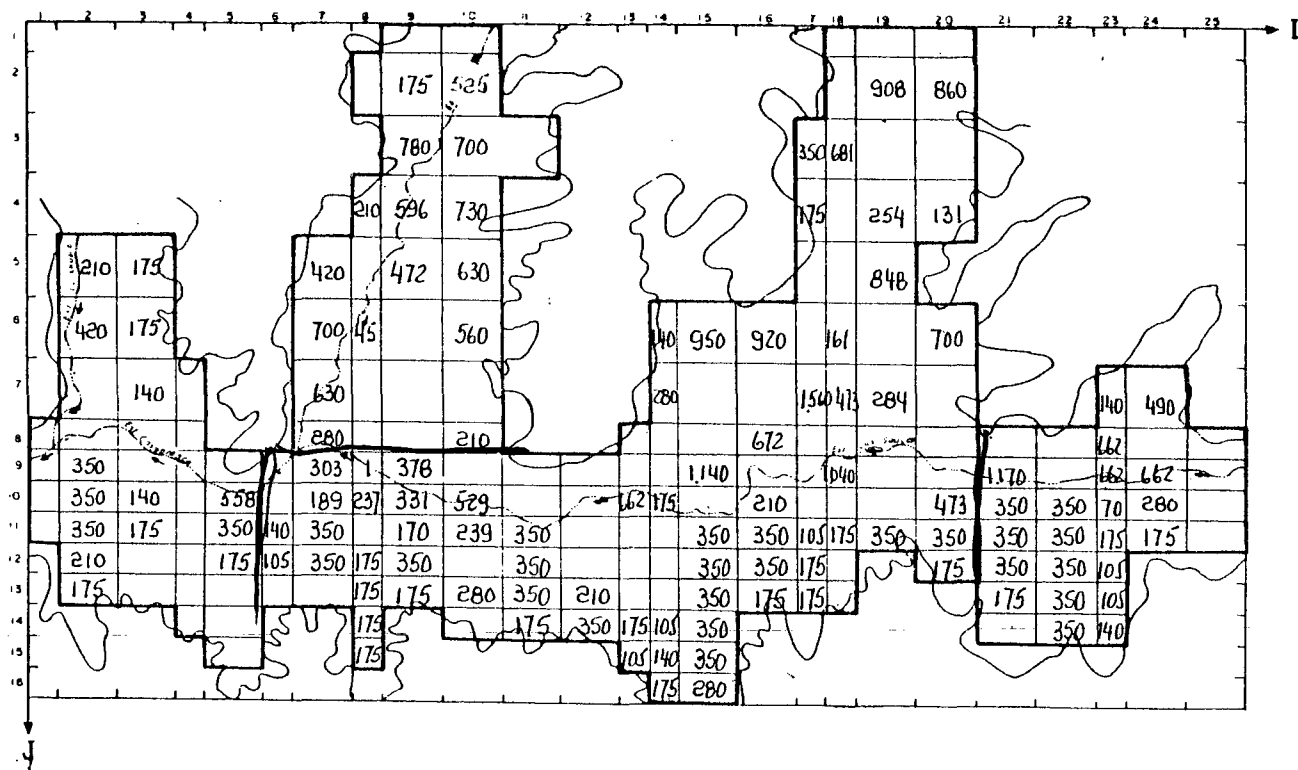
El desembalse de 17 (Mm³/año) se manifiesta en descensos de niveles bastante parejos, que son en promedio de unos 3,5 m, con un máximo de 5 m.

En el Plano de Descensos de Nivel que se adjunta, se nota claramente lo uniforme que son los descensos en toda la cuenca y no se describe ninguna zona particularmente afectada.

En conclusión, el acuífero parece plenamente capaz de abastecer de riego a los sectores de riego eventual más aquellos que actualmente no se riegan en absoluto.

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CASABLANCA

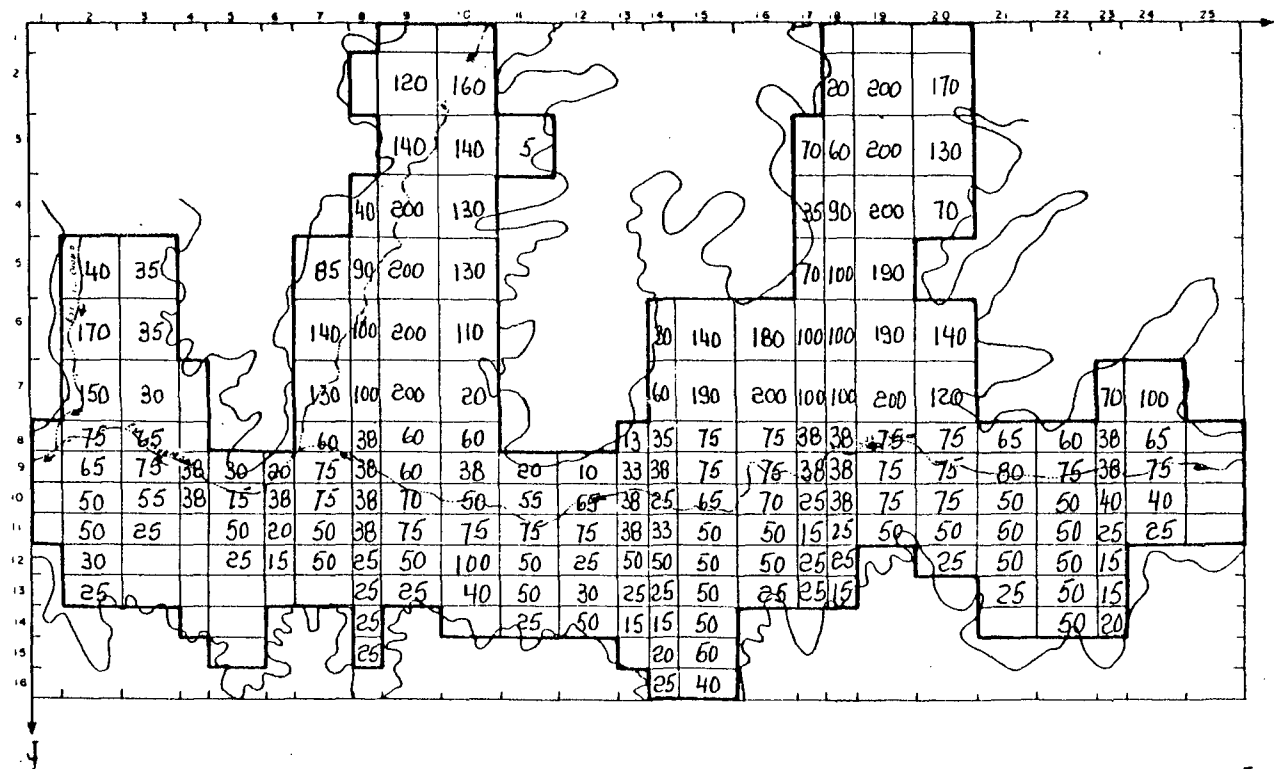
BOMBEOS RIEGO, AGUA POTABLE E INDUSTRIAS (miles m³/año) PASADA DE SIMULACION N° 2



Escala Gráfica
0 1 2 3 Km

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CASABLANCA

INFILTRACIONES POR RIEGO (miles m³/año) PASADA DE SIMULACION N° 2



Escala Gráfica
 0 1 2 3 Km

RESUMEN BALANCE MASICO

PASADA DE SIMULACION N° 2

VALORES EN MILLONES M3

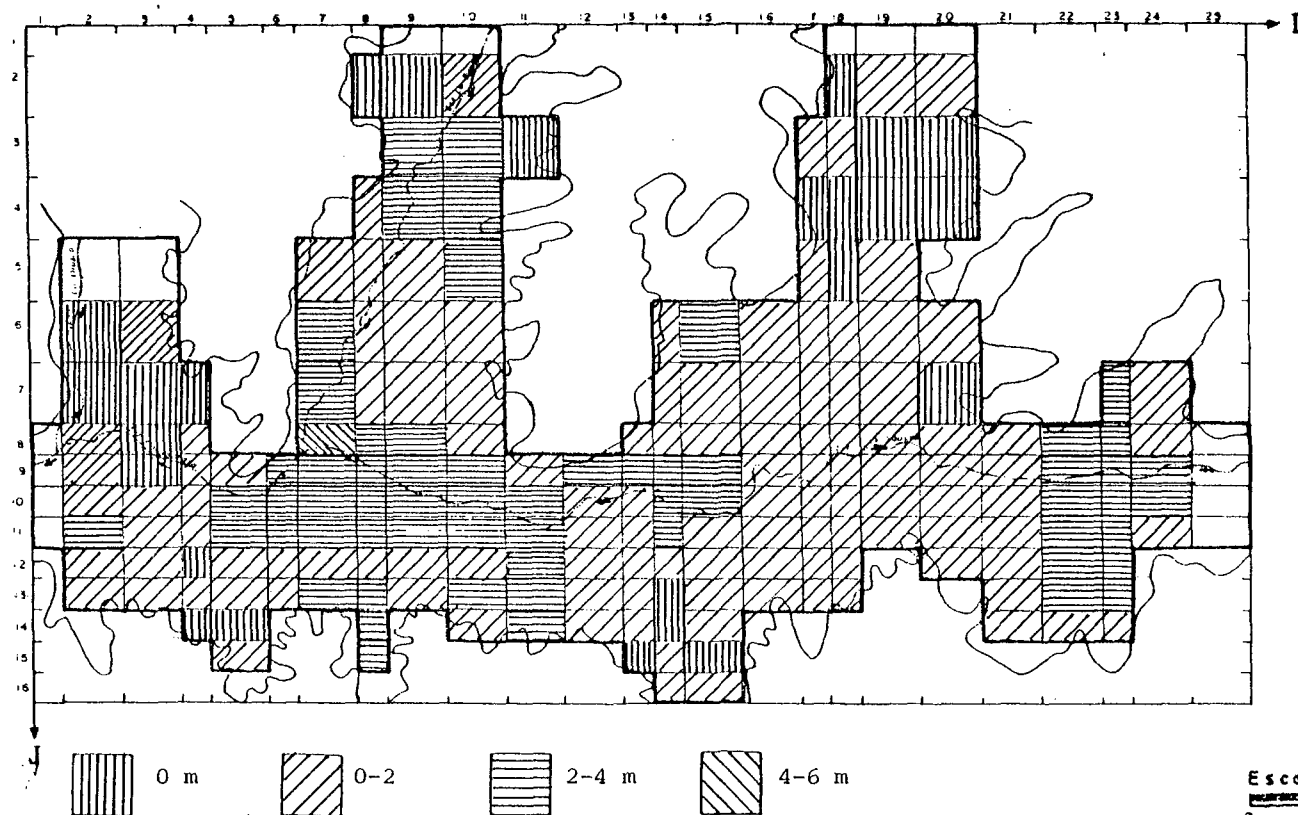
MES	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	TOTAL ANUAL
MALLAS EXTERIORES	1.15	0.97	0.85	0.81	0.90	1.02	1.13	1.23	1.33	1.43	1.51	1.51	13.84
RIO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VERTIENTES	-1.65	-1.08	-1.06	-0.73	-0.40	-0.27	-0.19	-0.13	-0.09	-0.06	-0.04	-0.02	-5.71
ALMACENAMIENTO	6.22	2.93	2.83	-0.54	-3.65	-3.42	-3.22	-3.06	-2.91	-2.78	-2.67	0.88	-9.39
BOMBEO RIEGO	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80	-5.80	-5.80	-5.80	-5.80	-5.80	-5.80	-5.80	-0.80	-44.62
BOMBEO AGUA POTABLE	-0.03	-0.04	-0.03	-0.04	-0.04	-0.05	-0.06	-0.06	-0.05	-0.05	-0.04	-0.04	-0.53
BOMBEO INDUSTRIAL	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.05
INFILTRACIONES DE RIEGO	0.23	0.23	0.23	0.23	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	0.23	12.52
INFILTRACIONES POR LLUVIAS	7.33	3.67	3.67	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.66
BALANCE TOTAL	0.00	0.01	0.01	0.01	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.00	-0.48

VALORES POSITIVOS INDICAN ENTRADAS AL ACUIFERO

MODELO HIDROGEOLOGICO DE CASABLANCA

DESCENSOS (metros)

PASADA DE SIMULACION N° 2



7.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.4.1 Conclusiones.

El modelo matemático construido para reproducir las características del funcionamiento del acuífero de Casablanca, es una herramienta útil y práctica para estudiar el comportamiento actual y futuro del embalse subterráneo frente a diversas condiciones de explotación.

El proceso de ajuste ha permitido establecer que gran parte de las recargas del acuífero se verifican por los bordes, en el piedemonte de las numerosas cadenas de cerros que encierran el valle. Las descargas principales son las salidas por vertientes, evapotranspiración directa y bombeos.

Para la simulación se han planteado dos posibilidades :

La primera consiste en suponer un año particular, reemplazando, en los sectores de riego permanente, las aguas superficiales por el regadío con agua de pozo. Para este caso se ha suprimido el riego en las zonas catalogadas como de riego eventual.

La segunda simulación incorpora al riego permanente, las zonas actualmente consideradas como sin riego o riego eventual.

Los resultados para ambos casos indican que el acuífero es plenamente capaz de proveer el abastecimiento requerido, sin superarse en ninguno de los dos casos los 6 m para los descensos de nivel. El descenso promedio, en cambio, es de 2,5 y 3,5 m, para la primera y segunda simulación, respectivamente.

Con esto podría asegurarse el riego actual e incorporar nuevos sectores al regadío, en un valle estratégicamente ubicado respecto de los mayores centros de consumo del país, a lo que se suma su cercanía al puerto de Valparaíso, para el caso de exportaciones agropecuarias.

7.4.2 Recomendaciones.

Tal como se ha ido comentando a lo largo de todo este informe, la medelación es un proceso dinámico que requiere de nueva y más abundante información de terreno, para seguir mejorando la representación matemática del acuífero.

El conocimiento del embalse subterráneo de Casablanca que otorga el modelo desarrollado, permite señalar con mayor precisión los datos de terreno que sería necesario recolectar.

Según esto las siguientes campañas son requeridas :

- Una de geofísica de resistividad eléctrica.
- Una de nivelación topográfica de todos los puntos acuíferos, incluyendo pozos, norias y vertientes.
- Una de mediciones sistemáticas de niveles estáticos en pozos y norias.
- Una de análisis de situación de riego, que incluya: mediciones de los canales derivados y los aplicados a los predios, experiencias de infiltraciones y una encuesta exhaustiva de los volúmenes extraídos por pozos.

A N E X O N° 1

LOCALIZACION Y AFOROS DE VERTIENTES

A.1.1.

A.1 VERTIENTES EN MALLOCO, PEÑAFLOR E ISLA DE MAIPO.

Como resultado de la salida a terreno de los días 27 y 28 de Julio para aforar las vertientes en las zonas de Peñaflor, Malloco e Isla de Maipo, puede indicarse :

- A.1.1 En la zona de Rinconada de Maipú y hasta la altura de El Bosque, bajando por el río Mapocho, no se observan afloramientos.
- A.1.2 En el tramo ubicado entre Padre Hurtado y Malloco y entre la carretera a San Antonio y el río Mapocho, se localizan numerosas vertientes. La mayor parte de ellas van a parar al estero Aguas Frías (o Aguas Claras), que descarga a su vez en el río Mapocho a la altura del puente Pelvín. Este fue aforado 1,5 km aguas arriba de su desembocadura, obteniéndose un caudal de 7 (m³/s). Cabe señalar además que, aun que el estero recoge tanto agua de vertientes como derrames de riego, se pudo observar un agua bastante clara a lo largo de todo su recorrido.

La conductividad de estas aguas es de alrededor de 850 μ m/cm.

- A.1.3 En la zona de Naltahua, junto al pueblo de Isla de Maipo, pudo aforarse los tres grandes esteros que drenan las vertientes del área.

Estos son :

- Estero El Gato con 4,4 m³/s
- Estero Aguas Claras con 1,0 m³/s
- Estero Gatica con 1,2 m³/s

De estos tres, el Aguas Claras tiene aguas muy transparentes y más temperadas que los otros dos.

A.1.2

La conductividad de las aguas de estos esteros es :
900, 700 y 700 ($\mu\text{m}/\text{cm}$) respectivamente.

En cuanto al Canal Carampangue que desemboca en el Estero El Gato poco aguas arriba del sitio de aforo, sus aguas provienen fundamentalmente del drenaje de las tierras de la zona.

A.1.4 El estero El Chanco, que va desde la puntilla de Lonquén hasta el río Maipo unos 2,5 km aguas abajo de su junta con el río Angostura, corresponde más bien a un caudal de riego, y no lleva aguas de vertientes más que en años con niveles piezométricos muy altos, cuando sirve como dren natural.

A.1.5 En la zona de Valdivia de Paine se aforó 3 esteros con los siguientes resultados:

Estero Valdivia de Paine 1	=	0,5 m ³ /s
Estero Valdivia de Paine 2	=	1,0 m ³ /s
Estero Las Pataguas	=	1,2 m ³ /s

La conductividad fue para los tres casos de 800 $\mu\text{m}/\text{cm}$ y se dió que estos esteros, aún cuando recogen también los derrames de riego, llevaban aguas muy claras.

A.1.6 Revisados las márgenes del río Maipo unos 2 km aguas arriba de Valdivia de Paine, no se encontró allí vertientes ni esteros que llegaran al río. Esto significa que el drenaje superficial del área descargaría fundamentalmente al río Angostura.

A.1.7 Se midió la conductividad de los ríos Maipo y Mapocho encontrándose los siguientes valores :

Mapocho en Puente Pelvín	=	700 $\mu\text{m}/\text{cm}$
Maipo en Puente Naltahua	=	700 $\mu\text{m}/\text{cm}$

A.1.3

A.2 VERTIENTES EN PAINE Y VILUCO.

Como resultado de las salidas a terreno efectuadas los días 5 y 16 de Agosto para aforar vertientes en la zona de Paine, puede indicarse :

- A.2.1 Las zonas de Paine y Viluco son, respecto al agua subterránea, esencialmente regiones de descarga siendo frecuentes de encontrar vegas y drenes profundos.

Los afloramientos de la napa se canalizan fundamentalmente por :

- El Estero La Berlina, entre Huelquén y su desembocadura al Estero Paine, poco aguas arriba de la Carrretera Panamericana.
- El Estero Paine desde la desembocadura del anterior hasta su junta con el río Angostura.
- El río Angostura del punto anterior hasta su desembocadura en el río Maipo.

- A.2.2 Las aguas del Estero La Berlina para las fechas de las visitas en terreno, provenían exclusivamente de afloramientos subterráneos.

Esto se puede asegurar porque :

- El cauce estaba seco bajo el puente del camino que une Alto Jahuel y Huelquén, punto de entrada del estero al valle.
- No se había tenido lluvias en las últimas tres semanas, por lo menos.
- Aún no se daba el agua de los canales desde el río Maipo.

Por ello es que se prefirió realizar aforos sobre el estero mismo, obteniéndose para la sección ubicada 2 km

A.1.4

antes de la desembocadura en el Estero Paine, un caudal de 1,6 m³/s.

La conductividad de estas aguas fue 750 μ m/cm.

- A.2.3 Al Estero Paine aguas arriba de la Carretera Panamericana, llegan una serie de cauces menores que dieron un caudal total aforado de 1,3 m³/s.

La conductividad de estas aguas fue de 850 a 950 μ m/cm.

- A.2.4 Aguas abajo de la Carretera Panamericana, unos 2 km antes de la junta con el río Angostura, llegan al Estero Paine dos grandes colectores de afloramientos.

Uno que corresponde al desagüe de un sistema de drenes, traía 1,2 m³/s. El otro, que es un esterito que recolecta las aguas de la Colonia de Paine, traía un caudal de 1,5 m³/s.

En ambos casos la conductividad de las aguas se encontraba entre 2.000 y 1.100 μ m/cm.

- A.2.5 Al río Angostura, 1 km aguas abajo de su junta con el Estero Paine, llega un colector de aguas subterráneas cuyo caudal resultó ser de 0,5 m³/s, con aguas de 950 μ m/cm de conductividad.

- A.2.6 En conclusión, al sistema compuesto por los Esteros La Berlina, Paine y río Angostura, descargaba la napa a la fecha de las salidas a terreno un total de 6,1 m³/s.

Esto sumado a lo obtenido en los aforos del 27 y 28 de Julio da un total de descargas al sistema de los ríos Mapocho, Maipo y Angostura de

$$Q = 22,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

A.1.5

Se adjunta a continuación un croquis con los puntos de aforo y los valores del caudal aforado en cada caso.

A N E X O N° 2

LISTADO DEL SIMAC - 1

PROGRAMA DE COMPUTACION USADO EN LA SIMULACION

1.-

A.2.1

PROGRAMA SIMAC1

SIMULADOR DE ACUIFEROS

*LEVEL 2.3.0 (JUNE 78)

05/360 FORTRAN H EXTENDED

DATE 04-06/5/18.47.37

PAGE

REQUESTED OPTIONS:

OPTIONS IN EFFECT: NAME(MAIN) NOOPTIMIZE LINECOUNT(60) SIZE(MAX) AUTODDL(NONE)
SOURCE EBCDIC MULTIST NOCHECK SUBJECT NAMEP NOFORMAT NOGDSMT NEXREF NCALC NCANSF TERM IBM FLAG(1) A.

```

C *****
C ESTA ES UNA VERSION MAS COMPLETA DEL PROGRAMA
C SIMAC --> SIMULADOR DE ACUIFEROS
C *****
C DIMENSION TITULO(30)
C INTEGER IN/57,OUT/67
C DIMENSIONAMIENTO DE VARIABLES
C
C REAL T1(28,45)/1260*0.0/,T2(28,45)/1260*0.0/,SF(28,45)/1260*0.0/,
1HD(28,45)/1260*0.0/,H(28,45)/1260*0.0/,T(28,45,2)/2520*0.0/,
2SF1(28,45)/1260*0.0/,RD(28,45)/1260*0.0/,AM(28,45)/1260*0.0/,
3R(28,45)/1260*0.0/,RDV(28,45)/1260*0.0/,KV(28,45)/1260*0.0/,
4Q(28,45)/1260*0.0/,J(28,45)/1260*0.0/,MK(28,45)/1260*0.0/,
5MH(28,45)/1260*0.0/,MN(28,45)/1260*0.0/
C
C REAL B(45)/45*0.0/,G(45)/45*0.0/,HD(60,12)/720*0.0/,
1HDJ(60,12)/720*0.0/,JM(300)/300*0.0/,QK(200)/200*0.0/,
2JV(900)/900*0.0/,QMT(300)/300*0.0/,QAT(200)/200*0.0/,
3QVT(900)/900*0.0/,P(900,20)/18000*0.0/,QLT(20)/20*0.0/,
4QVHES(12)/12*0.0/,QRMES(12)/12*0.0/,QMHES(12)/12*0.0/
C
C INTEGER ICAT(28,45),IDIMX(28)/28*0/,IDIMY(45)/45*0/,NSP(20)/20*0/
C
C DIMENSION IP(900,20),JP(900,20),APC(30),IM(300),JM(300),
1IT(60),JD(60),IR(200),JK(200),IV(900),JV(900),TITULO(20),
2TITUBP(20,20),CX(12),CAL(12),RM(12),FD(12,20)
C
C DATA ABC/'A','B','C','D','E','F','G','H','I','J','K','L','M',
1'N','O','P','Q','R','S','T','U','V','W','X','Y','Z',
2'.','>')
C
C LECTURA TITULO
C
C READ(IN,10) (TITULO(I),I=1,30)
10 FORMAT(30A2)
C
C LECTURA DATOS GENERALES
C
C READ(IN,20) LG,NC,NR,ERROR,NMESES
154 0011 20 FORMAT(14,2I3,F8.1,14)
154 0012 READ(IN,30) (IDIMX(I),I=1,NC)
154 0013 READ(IN,30) (IDIMY(J),J=1,NR)
154 0014 30 FORMAT(15)
154 0015 READ(IN,40) FAC1,FAC2,FACSF
154 0016 40 FORMAT(3F5.1)
154 0017 DU 50 K=1,LU
154 0018 READ(IN,50) I,J,T1(I,J),T2(I,J),SF(I,J),H(I,J)
154 0019 60 FORMAT(2I3,3E6.1,F5.2)
154 0020

```

A.2.2

2.-

```

*LEVEL 2.3.0 (JUNE 78)      MAIN      OS/360  FORTRAN H EXTENDED      DATE 84-0C5/12.47.37

ISN 0021      IF(T2(I,J).GT.0.0) GO TO 55
ISN 0022      T2(I,J)=T1(I,J)
ISN 0023      55 CONTINUE
ISN 0024      T2(I,J)=T2(I,J)*FAC2
ISN 0025      T1(I,J)=T1(I,J)*FAC1
ISN 0026      SF(I,J)=SF(I,J)*FACSF
ISN 0027      50 CONTINUE
ISN 0028      C
C      ESCRITURA DE DATOS
C
ISN 0029      WRITE(OUT,65) (TITULO(I),I=1,30)
ISN 0030      65 FORMAT('1',//,129(' '),//,129(' '),//,30X,30A2,//,129(' '),
*1',//,50X,18(' '),//,51X,'DATOS DE ENTRADA',//,50X,
*18(' '),)
ISN 0031      WRITE(OUT,70) LD,NC,NR,ERROR,NMESES
ISN 0032      70 FORMAT('1',//,10X,'DATOS GENERALES',//,115(' '),//,4X,
1'NUMERO DE MALLAS',17,4X,'NUMERO DE COLUMNAS',15,4X,
2'NUMERO DE FILAS',13,15,4X,'ERROK ADMISIBLE',F7.2,2X,
3'METROS',//,4X,'DURACION TOTAL DE LA SIMULACION',15,2X,'MESES')
ISN 0033      WRITE(OUT,75) (DIMX(I),I=1,NC)
ISN 0034      75 FORMAT('0',//,21X,'DIMENSIONES DE LAS MALLAS',//,11X,'DIRECCION-1
1',2X,10I6/(24X,10I6))
ISN 0035      WRITE(OUT,76) (DIMY(J),J=1,NR)
ISN 0036      76 FORMAT('0',10X,'DIRECCION-J',2X,10I6/(24X,10I6))
ISN 0037      WRITE(OUT,80)
ISN 0038      80 FORMAT('0',//,4X,'MALLA',5X,'TRANSMISIVIDAD',5X,'ALMACENAMIENTO',
*5X,'NIVEL INICIAL',5X,'CATEGORIA MALLA',//,5X,
*1',2X,'J',8X,'I',8X,'J',//)
C
C      IDENTIFICACION DE LA CATEGORIA DE CADA MALLA Y ESCRITURA DE
C      DATOS GENERALES
C      ICAT=1...MALLA FUERA DEL MODELO
C      ICAT=2...MALLA DE BORDE IMPERMEABLE
C      ICAT=3...MALLA DE BORDE CON NIVEL CTE.
C      ICAT=4...MALLA DENTRO DEL MODELO
C
ISN 0039      DO 90 I=1,NC
ISN 0040      DO 90 J=1,NR
ISN 0041      ICAT(I,J)=1
ISN 0042      IF(H(I,J).LE.0.0) GO TO 95
ISN 0043      ICAT(I,J)=2
ISN 0044      IF(T1(I,J).LE.0.0.AND.T2(I,J).LE.0.0) GO TO 95
ISN 0045      ICAT(I,J)=3
ISN 0046      IF(SF(I,J).GT.100.)GO TO 95
ISN 0047      ICAT(I,J)=4
ISN 0048      95 WRITE(OUT,100) I,J,T1(I,J),T2(I,J),SF(I,J),H(I,J),ICAT(I,J)
ISN 0049      100 FORMAT('0',3X,13,13,3X,F7.1,2X,F7.1,9X,F6.2,12X,F7.2,12X,14)
ISN 0050      T(I,J,2)=T1(I,J)*DIMY(J)/(0.5*(DIMX(I)+DIMX(I+1)))
ISN 0051      T(I,J,1)=T2(I,J)*DIMX(I)/(0.5*(DIMY(J)+DIMY(J+1)))
ISN 0052      SF(I,J)=SF(I,J)*DIMX(I)*DIMY(J)
ISN 0053      90 CONTINUE
ISN 0054      C
ISN 0055      C      MAPA DE TRANSMISIVIDADES Y COEF. DE ALMACENAMIENTO
ISN 0056      C
ISN 0057      CALL MAPA(0,0,NC,NR,ABC,T1,ICAT,500,3)
ISN 0058      CALL MAPA(0,0,NC,NR,ABC,T2,ICAT,500,4)
ISN 0059      CALL MAPA(0,0,NC,NR,ABC,SF,ICAT,1,5)
C

```

A.2.3

3.-

LEVEL 2.3.0 (JUNE 78)

MAIN

US/360 FORTRAN H EXTENDED

DATE 84.005/18.47.37

```

C LECTURA DE MALLAS DE BORDE
ISN 0060      READ(IN,110) (TITULR(I),I=1,20),NMEN,NMEE,NMES,NMEW
ISN 0061      110 FORMAT(20A2,4I3)
ISN 0062      READ(IN,120) (IM(K),JM(K),K=1,NMEN)
ISN 0063      120 FORMAT(2I3)
ISN 0064      WRITE(OUT,130)
ISN 0065      130 FORMAT('1',///,4X,'MALLAS EXTERIORES (I,J)  NORTE-ESTE-SUR-ESTE',
1//,115('=',))
ISN 0066      WRITE(OUT,140) (IM(K),JM(K),K=1,NMEN)
ISN 0067      LENMEN+1
ISN 0068      WRITE(OUT,140) (IM(K),JM(K),K=L,NMEE)
ISN 0069      LENMEE+1
ISN 0070      WRITE(OUT,140) (IM(K),JM(K),K=L,NMES)
ISN 0071      LENMES+1
ISN 0072      WRITE(OUT,140) (IM(K),JM(K),K=L,NMEW)
ISN 0073      140 FORMAT('0',///,10(2X,2I3,2X))

C LECTURA DE MALLAS CONTRASTE PIEZOMETRICAL
ISN 0074      READ(IN,150) (TITULR(I),I=1,20),ND
ISN 0075      150 FORMAT(20A2,13)
ISN 0076      READ(IN,151) (RM(K),K=1,12)
ISN 0077      151 FORMAT(12(A3,1X))
ISN 0078      DO 152 L=1,ND
ISN 0079      READ(IN,120) ID(L),JD(L)
ISN 0080      READ(IN,157) (HDO(L,K),K=1,12)
ISN 0081      157 FORMAT(12F6.0)
ISN 0082      152 CONTINUE
ISN 0083      WRITE(OUT,153) (TITULR(I),I=1,20)
ISN 0084      153 FORMAT('1',///,4X,20A2,///,115('=',))
ISN 0085      DO 155 L=1,ND
ISN 0086      WRITE(OUT,150) ID(L),JD(L), (RM(K),K=1,12), (HDO(L,K),K=1,12)
ISN 0087      160 FORMAT('0',///,4X,'MALLA ',2I3,///,14X,'MES',I3L,12(5X,A5),
1//,4X,'COTA PIEZOM.OBSERVADA',T30,12(F8.2))
ISN 0088      I=ID(L)
ISN 0089      J=JD(L)
ISN 0090      155 RM(I,J)=1.0

C DIBUJO DEL ACUIFERO CON MALLAS CONTRASTE PIEZOMETRICAL
ISN 0091      CALL MONOS(ABC,NC,NR,MN,ICAT,16,TITULR)

C LECTURA DE MALLAS DE RIO
ISN 0092      READ(IN,165) (TITULR(I),I=1,20),NGR
ISN 0093      165 FORMAT(20A2,13)
ISN 0094      IF(NGR.EQ.0) GO TO 195
ISN 0096      READ(IN,170) (IR(K),JR(K),RD(IR(K),JR(K)),RM(IR(K),JR(K)),R(IR(K),
1JR(K)),K=1,NGR)
ISN 0097      170 FORMAT(2I3,2F6.1,E6.1)
ISN 0098      WRITE(OUT,190)
ISN 0099      190 FORMAT('1',///,4X,'MALLAS CON RELACION RIO-ACUIFERO',///,115('=',),
1//,4X,'MALLA ',4X,'COTA LECHO',4X,'COTA AGUA RIO',4X,
2'C.PERMEABILIDAD',//)
ISN 0100      WRITE(OUT,180) (IR(K),JR(K),RD(IR(K),JR(K)),RM(IR(K),JR(K)),R(IR(K),
1JR(K)),K=1,NGR)
ISN 0101      180 FORMAT('0',3X,2I3,7X,F6.1,9X,F6.1,8X,F11.1)

```

A.2.4

4.-

LEVEL 2.3.0 (JUNE 78)

MAIN

OS/360 FORTRAN M EXTENDED

DATE 84.005/18.47.37

```

C
C DIBUJO DEL ACUIFERO CON LAS MALLAS DE RIO
CALL MONOS(ABC,NC,NR,RD,ICAT,18,TITULR)
195 CONTINUE
C
C LECTURA DE MALLAS CON VERTIENTES
READ(IN,165) (TITULR(I),I=1,20),NVER
IF(NVER.EQ.0) GO TO 215
READ(IN,200) (IV(K),JV(K),RDV(IV(K),JV(K)),K=1,NVER)
200 FORMAT(2I3,F8-1)
WRITE(OUT,210)
210 FORMAT('1',//,4X,'MALLAS CON VERTIENTES',//,115('='),//,4X,
1'COTA MINIMA DE VERTIMIENTO POR MALLA')
WRITE(OUT,220) (IV(K),JV(K),RDV(IV(K),JV(K)),K=1,NVER)
220 FORMAT('0',//,15(2X,2I3,F11.2,3X),//)
C
C DIBUJO DEL ACUIFERO CON LAS MALLAS CON VERTIENTES
CALL MONOS(ABC,NC,NR,RDV,ICAT,22,TITULR)
215 CONTINUE
C
C
C STT=0.0
CMTT=0.0
CATT=0.0
CVTT=0.0
TIME=0.0
COEF=1.65726
NSTEPS=6
C
C LECTURA DE BOMBEO E INFILTRACIONES
350 READ(IN,230) (TITULR(I),I=1,20),NP
230 FORMAT(20A2,15)
IF(NP.EQ.0) GO TO 1000
DO 235 I=1,NC
DO 235 J=1,NR
235 NP(I,J)=0.0
READ(IN,240) FC,ICL,(FD(K,ICL),K=1,12)
240 FORMAT(F5.1,15,12F5.1)
NP(1,ICL)=NP
DO 260 L=1,NP
READ(IN,250) I,J,P(L,ICL)
250 FORMAT(2I3,E7.0)
P(L,ICL)=1
JP(L,ICL)=J
P(L,ICL)=P(L,ICL)*FC
NP(I,J)=1.0
QTOT(ICL)=QTOT(ICL)+P(L,ICL)
DO 270 I=1,20
270 TITJSP(I,ICL)=TITULR(I)
NP=NSP(ICL)
WRITE(OUT,280) (TITULR(I),I=1,20),QTOT(ICL)
280 FORMAT('1',4X,20A2,//,'0',9X,'VOLUMEN TOTAL PARA EL ACUIFERO',
1F11.2,2X,'MILES M3/ANO',//)
DO 282 K=1,12
282 QX(K)=QTOT(ICL)*FD(K,ICL)

```

```

SIMQ1700
SIMQ1710
SIMQ1720
SIMQ1730
SIMQ1740
SIMQ1750
SIMQ1760
SIMQ1770
SIMQ1780
SIMQ1790
SIMQ1800
SIMQ1810
SIMQ1820
SIMQ1830
SIMQ1840
SIMQ1850
SIMQ1860
SIMQ1870
SIMQ1880
SIMQ1890
SIMQ1900
SIMQ1910
SIMQ1920
SIMQ1930
SIMQ1940
SIMQ1950
SIMQ1960
SIMQ1970
SIMQ1980
SIMQ1990
SIMQ2000
SIMQ2010
SIMQ2020
SIMQ2030
SIMQ2040
SIMQ2050
SIMQ2060
SIMQ2070
SIMQ2080
SIMQ2090
SIMQ2100
SIMQ2110
SIMQ2120
SIMQ2130
SIMQ2140
SIMQ2150
SIMQ2160
SIMQ2170
SIMQ2180
SIMQ2190
SIMQ2200
SIMQ2210
SIMQ2220
SIMQ2230
SIMQ2240
SIMQ2250
SIMQ2260
SIMQ2270

```

A.2.5

5.-

```

LEVEL 2.3.0 (JUNE 78)      MAIN      OS/360 FORTRAN H EXTENDED      DATE 84.005/18.47.3

ISN 0147      WRITE(OUT,285) (RM(K),K=1,12),(FD(K,ICL),K=1,12),(CA(K),K=1,12)      SIM02280
ISN 0148      285 FORMAT('0',10,MES,T20,12(6X,A3),//,10,CDEF.DISTRIBUCION,121,      SIM02290
      *12F9.2,/,10,VOL.TOT.MENSUAL,T20,12F9.1)      SIM02300
ISN 0149      WRITE(OUT,288) (IP(L,ICL),JP(L,ICL),P(L,ICL),L=1,NP)      SIM02310
ISN 0150      288 FORMAT('0',//,9X,VOLUMEN ANUAL POR MALLA MILES M3/ANC,///,      SIM02320
      *15(2X,213,F11.2,3X),//))      SIM02330
ISN 0151      CALL MONOS(ABC,NC,NR,MN,ICAT,ICL,TITULR)      SIM02340
ISN 0152      GO TO 350      SIM02350
C*****      SIM02360
C      FIN ENTRADA DE DATOS      SIM02370
C      EMPIEZA LA SIMULACION      SIM02380
C*****      SIM02390
ISN 0153      1000 NCL=ICL      SIM02400
ISN 0154      IANGS=1      SIM02410
ISN 0155      DO 360 I=1,NC      SIM02420
ISN 0156      DO 360 J=1,NR      SIM02430
ISN 0157      H(I,J)=H(I,J)      SIM02440
ISN 0158      360 WRITE(OUT,200J) IANGS      SIM02450
ISN 0159      2000 FORMAT('0',//,50X,26(' '),//,50X,'SIMULACION PARA EL ANC',      SIM02460
      *15,//,50X,26(' '),      SIM02470
      KK=0      SIM02480
ISN 0160      4000 DELTA=1.0      SIM02490
ISN 0161      KK=KK+1      SIM02500
ISN 0162      IF(KK.GT.NMSES) GO TO 5000      SIM02510
ISN 0163      DO 353 I=1,NC      SIM02520
ISN 0164      DO 353 J=1,NR      SIM02530
ISN 0165      H(I,J)=0.0      SIM02540
ISN 0166      JH(I,J)=0.0      SIM02550
ISN 0167      353 J(I,J)=0.0      SIM02560
ISN 0168      C      SIM02570
      C      CALCULO DE LA RECARGA NETA POR MALLA      SIM02580
      C      DO 365 ICL=1,NCL      SIM02590
ISN 0169      NP=NSP(ICL)      SIM02600
ISN 0170      DO 365 L=1,NP      SIM02610
ISN 0171      I=IP(L,ICL)      SIM02620
ISN 0172      J=JP(L,ICL)      SIM02630
ISN 0173      365 Q(I,J)=Q(I,J)-P(L,ICL)*1000*FD(KK,ICL)/30      SIM02640
ISN 0174      C      SIM02650
      C      PLANTEAMIENTO Y RESOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES      SIM02660
      C      DE DIFERENCIAS FINITAS      SIM02670
      C      DO 400 ISTEP=1,NSTEPS      SIM02680
ISN 0175      TIME=TIME+DELTA      SIM02690
ISN 0176      C      SIM02700
      C      PREDICCION DE NIVELES PARA EL      SIM02710
      C      SIGUIENTE INTERVALO DE TIEMPO      SIM02720
      C      DO 410 I=1,NC      SIM02730
ISN 0177      DO 410 J=1,NR      SIM02740
ISN 0178      D=H(I,J)-HJ(I,J)      SIM02750
ISN 0179      H(I,J)=H(I,J)      SIM02760
ISN 0180      F=1.0      SIM02770
ISN 0181      IF(DL(I,J).EQ.0.0) GO TO 420      SIM02780
ISN 0182      IF(ISTEP.GT.2) F=D/DL(I,J)      SIM02790
ISN 0183      IF(F.GT.5.0) F=5.0      SIM02800
ISN 0184      IF(F.LT.5.0) F=0.0      SIM02810
ISN 0185      420 DL(I,J)=D      SIM02820
ISN 0186      SIM02830
ISN 0187      SIM02840
ISN 0188      SIM02850

```


A.2.6

6.-

LEVEL 2.3.0 (JUNE 78)

MAIN

OS/360 FORTRAN M EXTENDED

DATE 84.GC5/18.47-37

```

ISN 0191      410 H(I,J)=H(I,J)+D*F
C
C  CALCULO DEL COEF. DE SALIDA DESDE VERTIENTES
ISN 0192      IF(NVER.EQ.0) GO TO 415
ISN 0194      DO 418 L=1,NVER
ISN 0195      I=IV(L)
ISN 0196      J=JV(L)
ISN 0197      418 RV(I,J)=SF1(I,J)/DELTA
ISN 0198      415 CONTINUE
C
C  REFINAMIENTO DE LAS ESTIMACIONES
C  POR EL METODO IADI
ISN 0199      ITER=0
ISN 0200      430 E=0.0
ISN 0201      ITER=ITER+1
ISN 0202      IF(ITER.LE.20) GO TO 440
ISN 0204      WRITE(OUT,450) TIME
ISN 0205      450 FORMAT(11,'///, SE HA EXCEDIDO EL NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES, 20',
ISN 0206      1,'/,4X, TIEMPO=1,F6.2)
ISN 0207      STOP
ISN 0207      440 CONTINUE
C
C  CALCULOS POR COLUMNAS
ISN 0208      DO 460 II=1,NC
ISN 0209      I=II
ISN 0210      IF(MOD(ISTEP+ITER,2).EQ.1) I=NC-I+1
ISN 0212      DO 470 J=1,NR
ISN 0213      IF(ICAT(I,J).EQ.1) GO TO 465
C
C  CALCULO DE LOS VECTORES B Y G
C  EFECTO DEL RIO
ISN 0215      IF(H(I,J).LT.RD(I,J)) GO TO 480
ISN 0217      RE=RH(I,J)*F(I,J)
ISN 0218      RB=1.0
ISN 0219      GO TO 490
ISN 0220      480 RE=(RH(I,J)-RD(I,J))*R(I,J)
ISN 0221      RB=0.0
ISN 0222      490 DD=HO(I,J)*SF1(I,J)/DELTA-Q(I,J)+RE
ISN 0223      BB=SF1(I,J)/DELTA+R(I,J)*RB
C
C  EFECTO DE LAS VERTIENTES
ISN 0224      IF(H(I,J).LT.RDV(I,J)) GO TO 500
ISN 0225      DD=DD+RDV(I,J)*RV(I,J)
ISN 0226      BB=BB+RV(I,J)
ISN 0227      500 CONTINUE
ISN 0228      AA=0.0
ISN 0229      CC=0.0
ISN 0230      IF(J-1) 510,520,510
ISN 0231      510 AA=-T(I,J-1,1)
ISN 0232      BB=BB+T(I,J-1,1)
ISN 0233      520 IF(I-NR) 530,540,530
ISN 0234

```

A.2.7

*LEVEL 2.3.0 (JUNE 78)

MAIN

OS/360 FORTRAN H EXTENDED

DATE 84-065/18.47.3

```

ISN 0235      530 CC=-T(I,J,1)
ISN 0236      BB=BB+T(I,J,1)
ISN 0237      540 IF(I-1) 550,560,550
ISN 0238      550 BB=BB+T(I-1,J,2)
ISN 0239      DD=DD+H(I-1,J)*T(I-1,J,2)
ISN 0240      560 IF(I-NC) 570,580,570
ISN 0241      570 BB=BB+T(I,J,2)
ISN 0242      DD=DD+H(I+1,J)*T(I,J,2)
ISN 0243      580 IF(J-1) 590,600,590
ISN 0244      600 B(J)=CC/BB
ISN 0245      G(J)=DD/BB
ISN 0246      GO TO 470
ISN 0247      590 W=BB-AA*B(J-1)
ISN 0248      B(J)=CC/W
ISN 0249      G(J)=(DD-AA*G(J-1))/W
ISN 0250      GO TO 470
ISN 0251      465 B(J)=0.0
ISN 0252      G(J)=0.0
ISN 0253      470 CONTINUE

C
C REESTIMACION DE NIVELES
C
ISN 0254      E=E+ABS(H(I,NR)-G(NR))
ISN 0255      H(I,NR)=G(NR)
ISN 0256      N=NR-1
ISN 0257      610 HA=G(N)-B(N)*H(I,N+1)
ISN 0258      IF(HA.LT.0.0) HA=0.0
ISN 0259      E=E+ABS(HA-H(I,N))
ISN 0260      H(I,N)=HA
ISN 0261      N=N-1
ISN 0262      IF(N) 460,460,610
ISN 0263      460 CONTINUE

C
C CALCULOS POR FILAS
C
ISN 0265      DO 620 JJ=1,NR
ISN 0266      JJ=JJ
ISN 0267      IF(MOD(ISTEP+ITER,2).EQ.1) JJ=NR-J+1
ISN 0268      DO 630 I=1,NC
ISN 0269      IF(ICAT(I,J).EQ.1) GO TO 625
ISN 0270

C
C EFECTO DEL RIO
C
ISN 0272      IF(H(I,J).LT.RD(I,J)) GO TO 640
ISN 0273      RE=RH(I,J)*R(I,J)
ISN 0274      RB=1.0
ISN 0275      GO TO 650
ISN 0276      640 RE=(RH(I,J)-RD(I,J))*R(I,J)
ISN 0277      RB=0.0
ISN 0278      650 DU=HC(I,J)*SFI(I,J)/DELTA-Q(I,J)+RE
ISN 0279      BS=SFI(I,J)/DELTA+R(I,J)*RB
ISN 0280

C
C EFECTO DE LAS VERTIENTES
C
ISN 0281      IF(H(I,J).LT.RDV(I,J)) GO TO 660
ISN 0282      DD=JD+RDV(I,J)*RV(I,J)
ISN 0283      BB=BB+RV(I,J)
ISN 0284      660 CONTINUE

```

A.2.8

8.-

LEVEL 2.3.0 (JUNE 78)

MAIN

OS/360 FORTRAN H EXTENDED

DATE 84-005/18.47.37

```

ISN 0286      AA=0.0
ISN 0287      CC=0.0
ISN 0288      IF(J-1) 670,680,670
ISN 0289      670 BB=BB+T(I,J-1,1)
ISN 0290      DD=DD+H(I,J-1)*T(I,J-1,1)
ISN 0291      680 IF(I-NR)690,700,690
ISN 0292      690 DD=DD+H(I,J+1)*T(I,J,1)
ISN 0293      BB=BB+T(I,J,1)
ISN 0294      700 IF(I-1) 710,720,710
ISN 0295      710 BB=BB+T(I-1,J,2)
ISN 0296      AA=-T(I-1,J,2)
ISN 0297      720 IF(I-NC)730,740,730
ISN 0298      730 BB=BB+T(I,2)
ISN 0299      CC=-T(I,J,2)
ISN 0300      740 IF(I-1) 750,760,750
ISN 0301      760 B(I)=CC/BB
ISN 0302      G(I)=DD/BB
ISN 0303      GU TO 630
ISN 0304      750 W=BB-AA*B(I-1)
ISN 0305      B(I)=CC/W
ISN 0306      G(I)=(DD-AA*G(I-1))/W
ISN 0307      GU TO 630
ISN 0308      625 B(I)=0.0
ISN 0309      G(I)=0.0
ISN 0310      630 CONTINUE
ISN 0311      C
ISN 0312      REESTIMACION DE NIVELES
ISN 0313      C
ISN 0314      E=E+ABS(H(NC,J)-G(NC))
ISN 0315      H(NC,J)=G(NC)
ISN 0316      N=NC-1
ISN 0317      770 HA=G(N)-B(N)*H(N+1,J)
ISN 0318      IF(HA.LT.0.0) HA=0.0
ISN 0319      E=E+ABS(H(N,J)-HA)
ISN 0320      H(N,J)=HA
ISN 0321      N=N-1
ISN 0322      IF(N) 620,620,770
ISN 0323      620 CONTINUE
ISN 0324      IF(E.GT.ERROR) GO TO 430
ISN 0325      C
ISN 0326      *****
ISN 0327      BALANCE MASICO MENSUAL
ISN 0328      C
ISN 0329      *****
ISN 0330      CAMBIOS EN EL ALMACENAMIENTO
ISN 0331      C
ISN 0332      DO 870 I=1,NC
ISN 0333      DO 870 J=1,NR
ISN 0334      IF(ICAT(I,J).NE.4) GO TO 87C
ISN 0335      ST(KK)=ST(KK)+SF1(I,J)*(H(I,J)-HL(I,J))
ISN 0336      870 CONTINUE
ISN 0337      C
ISN 0338      BALANCE EN LAS MALLAS EXTERIORES
ISN 0339      C
ISN 0340      DO 790 K=1,NMEN
ISN 0341      I=IM(K)
ISN 0342      J=JM(K)

```

SIM04020
SIM04030
SIM04040
SIM04050
SIM04060
SIM04070
SIM04080
SIM04090
SIM04100
SIM04110
SIM04120
SIM04130
SIM04140
SIM04150
SIM04160
SIM04170
SIM04180
SIM04190
SIM04200
SIM04210
SIM04220
SIM04230
SIM04240
SIM04250
SIM04260
SIM04270
SIM04280
SIM04290
SIM04300
SIM04310
SIM04320
SIM04330
SIM04340
SIM04350
SIM04360
SIM04370
SIM04380
SIM04390
SIM04400
SIM04410
SIM04420
SIM04430
SIM04440
SIM04450
SIM04460
SIM04470
SIM04480
SIM04490
SIM04500
SIM04510
SIM04520
SIM04530
SIM04540
SIM04550
SIM04560
SIM04570
SIM04580
SIM04590

A.2.9

9.-

LEVEL 2.3.0 (JUNE 78)

MAIN

QS/360 FORTRAN H EXTENDED

DATE 84.065/1E.47.37

```

ISN 0333      790 QM(K)=QM(K)+T(I,J,1)*(H(I,J)-H(I,J+1))*DELTA
ISN 0334      LI=NMEN+1
ISN 0335      DO 800 K=L1,NMEE
ISN 0336      I=IM(K)
ISN 0337      J=JM(K)
ISN 0338      800 QM(K)=QM(K)+ T(I-1,J,2)*(H(I,J)-H(I-1,J))*DELTA
ISN 0339      LI=NMEE+1
ISN 0340      DO 810 K=L1,NMES
ISN 0341      I=IM(K)
ISN 0342      J=JM(K)
ISN 0343      810 JM(K)=QM(K)+T(I,J-1,1)*(H(I,J)-H(I,J-1))*DELTA
ISN 0344      LI=NMES+1
ISN 0345      DO 820 K=L1,NMEW
ISN 0346      I=IM(K)
ISN 0347      J=JM(K)
ISN 0348      820 QM(K)=QM(K)+T(I,J,2)*(H(I,J)-H(I+1,J))*DELTA
C
C BALANCE EN LAS MALLAS DE RIO
C
ISN 0349      IF (NQR.EQ.0) GO TO 840
ISN 0350      DO 830 K=1,NQR
ISN 0351      I=IR(K)
ISN 0352      J=JR(K)
ISN 0353      PAL=H(I,J)
ISN 0354      IF (H(I,J).LT.RD(I,J)) PAL=RD(I,J)
ISN 0355      830 QR(K)=QR(K)+ R(I,J)*(RH(I,J)-PAL)*DELTA
ISN 0356      840 CONTINUE
C
C BALANCE EN LAS MALLAS CON VERTIENTES
C
ISN 0359      IF (NVER.EQ.0) GO TO 860
ISN 0360      DO 850 K=1,NVER
ISN 0361      I=IV(K)
ISN 0362      J=JV(K)
ISN 0363      IF (H(I,J).LT.RDV(I,J)) GO TO 850
ISN 0364      QV(K)=QV(K)+RV(I,J)*(H(I,J)-RDV(I,J))*DELTA
ISN 0365      850 CONTINUE
ISN 0366      860 CONTINUE
ISN 0367      DELTA=DELTA*COEF
ISN 0368      400 CONTINUE
C
C ALMACENAMIENTO DE DATOS PARA DIBUJOS EN MALLAS ESCALADAS
C
ISN 0371      DO 1075 L=1,N0
ISN 0372      I=ID(L)
ISN 0373      J=JD(L)
ISN 0374      1075 HD(L,KK)=H(I,J)
C
C ALMACENAMIENTO DE DATOS PARA MAPA DE DESCENSOS
C
ISN 0375      IF (TIME.GT.31.0) GO TO 1078
ISN 0376      DO 1081 I=1,NC
ISN 0377      DO 1081 J=1,NK
ISN 0378      1081 HK(I,J)=HD(I,J)
ISN 0379      1078 CONTINUE
ISN 0380      *****
C
C SALIDA DE DATOS MENSUALES

```

A.2.10

10.-

*LEVEL 2.3.0 (JUNE 78)

MAIN

OS/360 FORTKAN H EXTENDED

DATE 84.005/18.47.37

```

C *****
ISN 0381      WRITE(OUT,880) TIME
ISN 0382      880 FORMAT('1',///,4X,'BALANCE MASICO EN LAS MALLAS EXTERIORES, 1-J
ISN 0383      1- Q(M3) NORTE-ESTE-SUR-OESTE',///,4X,'TIEMPO=',F6.1,1X,'DIAS')
ISN 0384      L1=1
ISN 0385      L2=NMEN
ISN 0386      890 WRITE(OUT,890) (IM(K),JM(K),QM(K),K=L1,L2)
ISN 0387      890 FORMAT('0',///,(5(2X,213,F13.0,3X)))
ISN 0388      L1=L2+1
ISN 0389      L2=NMEE
ISN 0390      WRITE(OUT,890) (IM(K),JM(K),QM(K),K=L1,L2)
ISN 0391      L1=L2+1
ISN 0392      L2=NMES
ISN 0393      WRITE(OUT,890) (IM(K),JM(K),QM(K),K=L1,L2)
ISN 0394      L1=L2+1
ISN 0395      L2=NMEN
ISN 0396      WRITE(OUT,890) (IM(K),JM(K),QM(K),K=L1,L2)
ISN 0397      DO 900 K=1,NMEN
ISN 0398      QMT(K)=QMT(K)+QM(K)
ISN 0399      900 QMMES(KK)=QMMES(KK)+QM(K)
ISN 0400      QMTT=QMTT+QMMES(KK)
ISN 0401      WRITE(OUT,910) QMMES(KK)
ISN 0402      910 FORMAT('0',///,20X,'TUTAL=',F14.2,2X,'M3')
ISN 0403      IF(NQR.EQ.0) GO TO 940
ISN 0404      WRITE(OUT,920) TIME
ISN 0405      920 FORMAT('1',///,4X,'BALANCE MASICO EN LAS MALLAS DE RIL, 1-J - C(M3
ISN 0406      *)
ISN 0407      C
ISN 0408      DC 930 K=1,NQR
ISN 0409      QRT(K)=QRT(K)+QR(K)
ISN 0410      930 QRMES(KK)=QRMES(KK)+QR(K)
ISN 0411      QRTT=QRTT+QRMES(KK)
ISN 0412      WRITE(OUT,910) QRMES(KK)
ISN 0413      IF(NVER.EQ.0) GO TO 960
ISN 0414      WRITE(OUT,980) TIME
ISN 0415      980 FORMAT('1',///,4X,'BALANCE MASICO EN LAS MALLAS CON VERTIENTES, 1-
ISN 0416      * J - Q(M3)
ISN 0417      WRITE(OUT,990) (IV(K),JV(K),QV(K),K=1,NVER)
ISN 0418      DO 950 K=1,NVER
ISN 0419      QVT(K)=QVT(K)+QV(K)
ISN 0420      I=IV(K)
ISN 0421      J=JV(K)
ISN 0422      QH(I,J)=QV(K)
ISN 0423      950 QVMES(KK)=QVMES(KK)+QV(K)
ISN 0424      QVTT=QVTT+QVMES(KK)
ISN 0425      WRITE(OUT,910) QVMES(KK)
ISN 0426      IF(LO.GE.800) GO TO 965
ISN 0427      CALL MAPA(TIME,NC,NR,ABC,QH,ICAT,5000,2)
ISN 0428      GO TO 960
ISN 0429      965 CALL MAPA(TIME,NC,NR,ABC,QH,ICAT,300000,2)
ISN 0430      960 WRITE(OUT,970) ST(KK)
ISN 0431      970 FORMAT('1',///,130(' '),///,10X,'TOTAL CAMBIOS ALMACENAMIENTO
ISN 0432      * F16.2,2X,'M3',///,130(' '),///,10X,'TIEMPO=',F6.1,1X,'DIAS')
ISN 0433      ST=STT+ST(KK)
ISN 0434      WRITE(OUT,990) TIME
ISN 0435      990 FORMAT('1',///,10X,'NIVELES PIEZOMETRICOS',10X,'TIEMPO=',F6.1,1X,'

```

A.2.11

11.-

LEVEL 2.3.0 (JUNE 78) MAIN QS/360 FORTRAN H EXTENDED DATE 84.065/18.47.

```

      *DIAS' //, 115(1='))
      DO 1010 I=1,NC
      1010 WRITE(OUT,1020) I,(H(I,J),J=1,NC)
      1020 FORMAT('I',//,15,4X,10F8.2,///,(9X,10F8.2,///))
      CALL MAPA(TIME,NC,NR,ABC,H,ICAT,20,1)
C
C   MAPA CON DESCENSOS ENTRE EL PRINCIPIO Y FINAL DEL PRIMER MES
C
      IF(TIME.GT.31.0) GO TO 1025
      CALL DESCEN(NC,NR,H,HK,ICAT,ABC)
      1025 CONTINUE
C
C
C
      DO 1030 K=1,NMEN
      1030 QM(K)=0.0
      IF(NCR.EQ.0) GO TO 1050
      DO 1040 K=1,NCR
      1040 QR(K)=0.0
      1050 IF(NVER.EQ.0) GO TO 1070
      DO 1060 K=1,NVER
      1060 JV(K)=0.0
      1070 CONTINUE
C
C   FINALIZA LA SIMULACION DE UN MES
C
      IF(KK/12.NE.KK/12.0) GO TO 4000
C*****
C   SALIDA DE DATOS ANUALES
C*****
      WRITE(OUT,1080) IANUS
      1080 FORMAT('I',//,///,40X,39(''),///,41X,
     *'BALANCE MASICO TOTAL PARA EL AÑO',14,///,40X,39(''))
C
      WRITE(OUT,880) TIME
      L1=1
      L2=NMEN
      WRITE(OUT,390) (IM(K),JM(K),JMT(K),K=L1,L2)
      L1=L2+1
      L2=NMEF
      WRITE(OUT,390) (IM(K),JM(K),JMT(K),K=L1,L2)
      L1=L2+1
      L2=NMEF
      WRITE(OUT,390) (IM(K),JM(K),JMT(K),K=L1,L2)
      L1=L2+1
      L2=NMEF
      WRITE(OUT,890) (IM(K),JM(K),JMT(K),K=L1,L2)
      WRITE(OUT,910) LMTT
      IF(NCR.EQ.0) GO TO 1090
      WRITE(OUT,920) TIME
      WRITE(OUT,890) (IM(K),JM(K),JMT(K),K=1,NCR)
      WRITE(OUT,910) CRTT
      1090 IF(NVER.EQ.0) GO TO 1100
      DO 1095 K=1,NVER
      I=IV(K)
      J=JV(K)
  
```

A.2.12

12.-

LEVEL 2.3.0 (JUNE 78)

MAIN

05/300 FLNTRAN H EXTENDED

DATE 04.005/16.47.37

```

1SN 0482 1095 QH(I,J)=QVT(K) TIME SIM06340
1SN 0483 WRITE(OUT,980) TIME SIM06350
1SN 0484 WRITE(OUT,990) (IV(K),JV(K),QVT(K),K=1,NVER) SIM06360
1SN 0485 WRITE(OUT,910) QVIT SIM06370
1SN 0486 IF(LO.GE.800) GO TO 109d SIM06380
1SN 0488 CALL MAPA(TIME,NC,NR,ABC,QH,ICAT,50000,2) SIM06390
1SN 0489 GO TO 1100 SIM06400
1SN 0490 CALL MAPA(TIME,NC,NR,ABC,QH,ICAT,3000000,2) SIM06410
1SN 0491 CONTINUE SIM06420
1SN 0492 WRITE(OUT,970) STT SIM06430
C SIM06440
1SN 0493 DC 1110 K=1,NMEM SIM06450
1SN 0494 QMT(K)=0.0 SIM06460
1SN 0495 IF(NR.EQ.0) GO TO 1120 SIM06470
1SN 0497 DC 1130 K=1,NMR SIM06480
1SN 0498 QRT(K)=0.0 SIM06490
1SN 0499 IF(INVER.EQ.0) GO TO 1140 SIM06500
1SN 0501 DC 1150 K=1,NVER SIM06510
1SN 0502 QVT(K)=0.0 SIM06520
1SN 0503 1140 CONTINUE SIM06530
C SIM06540
C SIM06550
C RESUMEN DEL BALANCE MASICO SIM06560
C SIM06570
C SIM06580
1SN 0504 WRITE(OUT,1200) (RM(K),K=1,12) SIM06590
1SN 0505 FORMAT('1',/,2X,27(' '),/,2X,'RESUMEN BALANCE MASICO',/, SIM06600
*2X,27(' '),/,2X,30X,'VALORES EN MILLONES M$',/,/,/'0', SIM06610
*2X,'MES',T30,12(4X,A3),4X,'TOTAL ANUAL',/,/,/) SIM06620
DC 1210 K=1,12 SIM06630
QVME(K)=QVME(K)/1000000 SIM06640
QRMES(K)=QRMES(K)/1000000 SIM06650
QVME(K)=-QVME(K)/1000000 SIM06660
ST(K)=ST(K)/1000000 SIM06670
1210 QBAL(K)=-QVME(K)+QVME(K)+ST(K) SIM06680
QMT=QMT/1000000 SIM06690
QRT=QRT/1000000 SIM06700
QVIT=-QVIT/1000000 SIM06710
STT=STT/1000000 SIM06720
WRITE(OUT,1220) (QVME(K),K=1,12),QMT SIM06730
FORMAT('1',/,2X,'MALLAS EXTERIORES',T30,12F7.2,3X,F7.2) SIM06740
1220 WRITE(OUT,1230) (QRMES(K),K=1,12),QRT SIM06750
FORMAT('1',/,2X,'RID',T30,12F7.2,3X,F7.2) SIM06760
1230 WRITE(OUT,1240) (QVME(K),K=1,12),QVIT SIM06770
FORMAT('1',/,2X,'VERTIENTES',T30,12F7.2,3X,F7.2) SIM06780
1240 WRITE(OUT,1245) (ST(K),K=1,12),STT SIM06790
1245 FORMAT('1',/,2X,'ALMACENAMIENTO',T30,12F7.2,3X,F7.2) SIM06800
DC 1250 ICL=1,NCL SIM06810
QTOT(ICL)=QTOT(ICL)/1000 SIM06820
DC 1260 K=1,12 SIM06830
QX(K)=QTOT(ICL)*FB(K,ICL) SIM06840
GBAL(K)=GBAL(K)+QX(K) SIM06850
1260 WRITE(OUT,1270) (TITUBP(1,ICL),1=1,20),(QX(K),K=1,12),QTOT(ICL) SIM06860
1270 FORMAT('1',/,2X,20A2,T30,12F7.2,3X,F7.2) SIM06870
GBALT=0.0 SIM06880
DC 1280 K=1,12 SIM06890
1280 JBALT=JBALT+GBAL(K) SIM06900
WRITE(OUT,1290) (JBAL(K),K=1,12),JBALT SIM06910

```

A.2.13

13.-

```

LEVEL 2.3.0 (JUNE 78)      MAIN      OS/360  FORTRAN H EXTENDED      DATE 84.005/12.47.3
ISN 0535      1290 FORMAT('0',///,2X,'BALANCE TOTAL',T30,12F7.2,3X,F7.2,//////,2X,      SIM06524
ISN 0536      *VALORES POSITIVOS INDICAN ENTRADAS AL ACUIFERO.)      SIM06930
ISN 0537      QMTT=0.0      SIM06940
ISN 0538      STT=0.0      SIM06950
ISN 0539      QVIT=0.0      SIM06960
ISN 0540      C      IF(KK.GE.NMESES) GO TO 5000      SIM06970
ISN 0542      IANDS=IANDS+1      SIM06980
ISN 0543      GL TO 3000      SIM06990
ISN 0544      C      DIBUJOS CONTRASTE PIEZOMETRICO      SIM07000
ISN 0545      C      5000 CALL DIBUJO(ABC,NMESES,ID,JD,ND,HD,HOC,RM)      SIM07010
ISN 0546      C      MAPA DE DESCENSOS DE NIVELES      SIM07020
ISN 0547      C      CALL DESCEN(ND,NR,H,HK,ICAT,ABC)      SIM07030
ISN 0548      STOP      SIM07040
ISN 0549      END      SIM07050
ISN 0550      SIM07060
ISN 0551      SIM07070
ISN 0552      SIM07080
ISN 0553      SIM07090
ISN 0554      SIM07100
ISN 0555      SIM07110

*OPTIONS IN EFFECT*NAME(MAIN) NOOPTIMIZE LINECOUNT(60) SIZE(MAX) AUTOBL(NONE)
*OPTIONS IN EFFECT*SOURCE EBCDIC NOLIST NODECK OBJECT NMAP NOFORMAT NOGOSTMT NOXREF NCALL NOANSF TERM
*STATISTICS*      SOURCE STATEMENTS =      540, PROGRAM SIZE =      366760, SUBPROGRAM NAME =      MAIN
*STATISTICS* NO DIAGNOSTICS GENERATED
***** END OF COMPILATION *****      1148K BYTES OF CORE NOT USED

```


A.2.14

14.-

*LEVEL 2.3.0 (JUNE 78)

QS/360 FORTRAN H EXTENDED

DATE 84.005/18.48.11

REQUESTED OPTIONS:

OPTIONS IN EFFECT: NAME(MAIN) NOOPTIMIZE LINECOUNT(60) SIZE(MAX) AUTODBL(NONE)
 SOURCE EBCDIC NOLIST NODECK OBJECT NOMAP NOFORMAT NOGOSTMT NOXREF NOALC NOANSF TEAM

```

C*****SIMC7120
C      FIN DEL PROGRAMA PRINCIPAL.COMIENZAN LAS SUBROUTINAS      SIMC7130
C      *****SIMC7140
C      SUBROUTINE DIBUJO(ABC,NMESES,IO,JU,NO,HU,HDC,KM)      SIMC7150
C      DIBUJOS EN MODOS ESCOGIDOS PARA EL CONTRASTE PIEZOMETRICO      SIMC7160
C      INCRE=10 , SI HAY 10 ESPACIOS ENTRE ENTEROS CONSECUTIVOS      SIMC7170
C      INCRE= 5 , SI HAY 5 ESPACIOS ENTRE ENTEROS CONSECUTIVOS      SIMC7180
C      DIMENSION ABC(30),ADIB(92),HD(60,12),HDD(60,12),ID(60),JD(60),      SIMC7190
C      *RM(12)      SIMC7200
C      INTEGER OUT/6/,INCRE/10/      SIMC7210
C      *RITE(OUT,10)      SIMC7220
C      10 FORMAT('1',///,10X,'MALLA',2X,213,/,130('='),///)      SIMC7230
C      *30X,23('*')      SIMC7240
C      DO 20 L=1,NO      SIMC7250
C      *WRITE(OUT,30) ID(L),JD(L)      SIMC7260
C      30 FORMAT('1',///,10X,'MALLA',2X,213,/,130('='),///)      SIMC7270
C      IBOT=10000000      SIMC7280
C      DO 40 K=1,NMESES      SIMC7290
C      IHD=HD(L,K)      SIMC7300
C      IHDD=HDD(L,K)      SIMC7310
C      IF(IHD.LT.IBOT) IBOT=IHD      SIMC7320
C      IF(IHDD.LT.IBOT) IBOT=IHDD      SIMC7330
C      40 CONTINUE      SIMC7340
C      ITOP=IBOT+100/INCRE-1      SIMC7350
C      *WRITE(OUT,50) (I,I=IBOT,ITOP)      SIMC7360
C      50 FORMAT('1',///,2X,'NIVEL',5X,'NIVEL',6X,10(15,5X),3X,'MES',/,2X,      SIMC7370
C      *MEDIDU',4X,'SIMULADO',//)      SIMC7380
C      DO 60 K=1,NMESES      SIMC7390
C      DU 70 I=1,92      SIMC7400
C      ADIB(I)=ABC(29)      SIMC7410
C      J=1      SIMC7420
C      70 IF(J/INCRE.EQ.J/FLCAT(INCRE)) ADIB(I)=ABC(9)      SIMC7430
C      LL=INCRE*(HDD(L,K)-IBOT)+1.5      SIMC7440
C      IF(LL.GT.92) GO TO 80      SIMC7450
C      ADIB(LL)=ABC(24)      SIMC7460
C      GO TO 90      SIMC7470
C      80 ADIB(92)=ABC(5)      SIMC7480
C      90 LL=INCRE*(HDD(L,K)-IBOT)+1.5      SIMC7490
C      IF(LL.GT.92) GO TO 100      SIMC7500
C      ADIB(LL)=ABC(28)      SIMC7510
C      GO TO 95      SIMC7520
C      100 ADIB(92)=ABC(5)      SIMC7530
C      95 IF(LL.EQ.LL1) ADIB(LL)=ABC(11)      SIMC7540
C      60 *WRITE(OUT,110) HDD(L,K),HDD(L,K),(ADIB(I),I=1,92),RM(K)      SIMC7550
C      110 FORMAT('0',F8.2,3X,F8.2,6X,92A1,8X,A5)      SIMC7560
C      *WRITE(OUT,120)      SIMC7570
C      120 FORMAT('0',///,2X,'X=NIVEL MEDIDU',/,2X,'*=NIVEL SIMULADO',      SIMC7580

```

*LEVEL 2.3.0 (JUNE 78)

DIBUJO

QS/360 FORTRAN H EXTENDED

DATE 84.005/18.48.11

```

ISN 0046      /*,2X,'A=NIVELES MEDIDO Y SIMULADO COINCIDEN',/,2X,      SIMC7650
ISN 0047      /*E=VALOR FUERA DEL RANGO DEL DIBUJO')      SIMC7660
ISN 0048      20 CONTINUE      SIMC7670
          RETURN      SIMC7680
          ENO      SIMC7690

```

*OPTIONS IN EFFECT*NAME(MAIN) NOOPTIMIZE LINECOUNT(60) SIZE(MAX) AUTODBL(NONE)

*OPTIONS IN EFFECT*SOURCE EBCDIC NOLIST NODECK OBJECT NOMAP NOFORMAT NOGOSTMT NOXREF NOALC NOANSF TEAM

STATISTICS SOURCE STATEMENTS = 47, PROGRAM SIZE = 2490, SUBPROGRAM NAME =DIBUJO

STATISTICS NO DIAGNOSTICS GENERATED

***** END OF COMPILATION *****

1284K BYTES OF CORE NOT USED

A.2.15

15.-

•LEVEL 2.3.0 (JUNE 78)

OS/360 FORTRAN H EXTENDED

DATE 34.005/18.48.1

REQUESTED OPTIONS:

OPTIONS IN EFFECT: NAME(MAIN) NOOPTIMIZE LINECOUNT(60) SIZE(MAX) AUTODBL(NONE)
SOURCE EDCDIC NULIST NOCHECK SUBJECT NCMAP NCFORMAT NOCUSTMT NCMREF NCALL NCANSF TEAM

```

C*****
C      SUBROUTINE MAPA(TIME,NC,NR,ABC,QH,ICAT,N,ITIPU)
C      ESTA SUBROUTINA DIBUJA DIFERENTES MAPAS SIMBOLICOS DE ACUERDO AL
C      VALOR DE LA VARIABLE ITIPU.
C      ITIPU=1  MAPA PIEZOMETRICO
C      ITIPU=2  MAPA CON VOLUMENES QUE SALEN POR VERTIENTES
C      ITIPU=3  MAPA TRANSMISIVIDAD DIR.-I
C      ITIPU=4  MAPA TRANSMISIVIDAD DIR.-J
C      ITIPU=5  MAPA COEF.ALMACENAMIENTO
C
C      REAL ABC(30),QH(28,45),TITU(4,5),MAPAA(60)
C      INTEGER OUT/67,NUM(27),ICAT(28,45)
C      DATA TITU/'PIEZ','OMET','RICO',' ','VEKT','IENT','ES',' ','
C      *TRAN','SMIS','IVID','AD-I','TRAN','SMIS','IVID','AD-J','ALMA','
C      *CENA','MIEN','TO'/'
C
C      CALCULO DE LAS CATEGORIAS NUM(K)
C
C      ITOP=0
C      ISOT=1000000
C      DO 10 I=1,NC
C      DO 10 J=1,NR
C      IF(ITIPU.EQ.5) QH(I,J)=QH(I,J)*100
C      IF(QH(I,J).LE.0.0) GO TO 10
C      IHO=QH(I,J)
C      IF(IHO.LT.(ISOT)) ISOT=IHO
C      IF(IHO.GT.(ITOP)) ITOP=IHO
C 10 CONTINUE
C      IF(ITOP.LE.0) GO TO 20
C      ISOT=ISOT/N
C      ISOT=N*ISOT
C      ITOP=ITOP/N
C      ITOP=N*(ITOP+1)
C      NCAT=(ITOP-ISOT)/N
C      NUM(1)=ISOT
C      DO 40 K=1,NCAT
C      NUM(K+1)=NUM(K)+N
C 40 CONTINUE
C
C      CONSTRUCCION E IMPRESION DEL MAPA SIMBOLICO
C
C      WRITE(OUT,50) (TITU(K,ITIPU),K=1,4),TIME,(I,I=1,NC)
C 50 FORMAT('1','MAPA',2X,4A4,15X,'TIEMPO',F10.1,/,13C(' '),/,/'0',
C      *3X,30(13,1X))
C      DO 60 J=1,NR
C      DO 70 I=1,NC
C      MAPAA(I)=ABC(29)
C      IF(ICAT(I,J).EQ.1) GO TO 70
C      MAPAA(I)=ABC(30)
C      IF(ICAT(I,J).EQ.3) GO TO 70
C      MAPAA(I)=ABC(28)
C      IF(ICAT(I,J).EQ.2) GO TO 70

```

16.-

A.2.16

```

*LEVEL 2.3.0 (JUNE 78)          MAPA          QS/360  FORTRAN H EXTENDED          DATE 84.005/18.40.19

154 0044      MAPAA(I)=ABC(27)
154 0045      IF(JH(I,J).LE.0.0) GO TO 70
154 0047      DO 30 K=1,NCAT
154 0048      90 IF(JH(I,J).GT.NUM(K).AND.JH(I,J).LE.NUM(K+1)) MAPAA(I)=ABC(K)
154 0050      IF(JH(I,J).LE.1.E-9) MAPAA(I)=ABC(26)
154 0052      70 CONTINUE
154 0053      *WRITE(OUT,90) J,(MAPAA(I),I=1,NC)
154 0054      90 FORMAT(10,' ',13,2X,30(A3,1X))
154 0055      60 CONTINUE
154 0056      IF(ITOP.LE.3) GO TO 110
154 0058      *WRITE(OUT,100) (ABC(I),NUM(I),NUM(I+1),I=1,NCAT)
154 0059      100 FORMAT(10,'////////,4X,'*=MALLA DE BORDE IMPERMEABLE',///,4X,'>=MALLA
154 0060      *CON NIVEL CTE.',///,4(4X,A1,'='(17,'-'(17,'1')//))
154 0062      IF(ITIPO.EQ.3.GA.ITIPO.EQ.4) WRITE(OUT,105)
154 0063      105 FORMAT(10,'////////,2X,'2=MALLA CON TRANSMISIVIDAD NULA')
154 0064      GO TO 120
154 0065      110 *WRITE(OUT,130)
154 0066      130 FORMAT(10,'////////,4X,'*=MALLA DE BORDE IMPERMEABLE',///,4X,'>=MALLA
154 0067      *CON NIVEL CTE.',///,4X,'*=MALLA SIN AFLORAMIENTOS')
154 0068      120 CONTINUE
154 0069      RETURN
154 0070      END

*OPTIONS IN EFFECT*NAME(MAIN) NOOPTIMIZE LINECOUNT(60) SIZE(MAX) AUTODBLINGNEI
*OPTIONS IN EFFECT*SOURCE EBCDIC NOLIST NODECK OBJECT NOMAP NOFORMAT NOJUSTMT NOXREF NOALC NOANSF TERN
*STATISTICS*      SOURCE STATEMENTS =      67, PROGRAM SIZE =      2846, SUBPROGRAM NAME = MAPA
*STATISTICS* NO DIAGNOSTICS GENERATED
***** END OF COMPILATION *****
1276K BYTES OF CORE NOT USED

```

17.-

A.2.17

LEVEL 2.3.0 (JUNE 78)

US/360 FORTRAN H EXTENDED

DATE 84.GC5/18.40.22

REQUESTED OPTIONS:

PTIONS IN EFFECT: NAME(MAIN) NOOPTIMIZE LINECOUNT(60) SIZE(MAX) AUTOBL(NONE)
SOURCE EBCDIC NOLIST NODACK OBJECT NMAP NOFORMAT NOGOSTAT NOXREF NOALL NOANSF TERM 1

```

      C*****SIM08450
      C      SUBROUTINE MONUS(ABC,NC,NR,MN,ICAT,N,TITULR)SIM08460
      C      C      ESTA SUBROUTINA DIBUJA MAPAS SIMBOLICOS CON LAS MALLAS DE RIC, SIM08470
      C      C      CON VERTIENTES, PARA CONTRASTE PIEZOMETRICO, Y LOS DIFERENTES TIPUS SIM08480
      C      C      DE BOMBEO E INFILTRACIONES. SIM08490
      C      C      SIM08500
      C      C      SIM08510
      C      REAL MN(28,45),ABC(30),LINEA(60),TITULR(30)SIM08520
      C      INTEGER OUT/6/,ICAT(28,45)SIM08530
      C      WRITE(OUT,10) (TITULR(J),J=1,30),(I,I=1,NC)SIM08540
      C      10 FORMAT('1','MAPA CON MALLAS',2X,30A2,/,130(' '),/,4X,30(13,1X))SIM08550
      C      DO 20 J=1,NR SIM08560
      C      DO 30 I=1,NC SIM08570
      C      LINEA(I)=ABC(29) SIM08580
      C      IF(ICAT(I,J).EQ.1) GO TO 30 SIM08590
      C      LINEA(I)=ABC(27) SIM08600
      C      IF(MN(I,J).GT.0.0) LINEA(I)=ABC(N) SIM08610
      C      IF(ICAT(I,J).EQ.2) LINEA(I)=ABC(28) SIM08620
      C      IF(ICAT(I,J).EQ.3) LINEA(I)=ABC(30) SIM08630
      C      30 CONTINUE SIM08640
      C      WRITE(OUT,40) J,(LINEA(I),I=1,NC)SIM08650
      C      40 FORMAT('0',/, ' ',13,2X,30(13,1X))SIM08660
      C      20 CONTINUE SIM08670
      C      WRITE(OUT,50) ABC(N),(TITULR(I),I=1,30)SIM08680
      C      50 FORMAT(///,4X,'*=MALLA DE BURDE IMPERMEABLE',/,4X, SIM08690
      C      1'>MALLA CON NIVEL CTE.',/,4X,A1,'=MALLA CON ',30A2)SIM08700
      C      RETURN SIM08710
      C      END SIM08720

```

PTIONS IN EFFECT*NAME(MAIN) NOOPTIMIZE LINECOUNT(60) SIZE(MAX) AUTOBL(NONE)

PTIONS IN EFFECT*SOURCE EBCDIC NOLIST NODACK OBJECT NMAP NOFORMAT NOGOSTAT NOXREF NOALL NOANSF TERM 1

STATISTICS* SOURCE STATEMENTS = 25, PROGRAM SIZE = 1444, SUBPROGRAM NAME = MONUS

STATISTICS* NO DIAGNOSTICS GENERATED

***** END OF COMPILATION *****

1288K BYTES OF CORE NOT USED

18.-

A.2.18

*REF ID: A66722 (JUNE 72)

05/360 FLORIAN H EXTENDED

DATE 34.06.57/LE.4c.

REFUGEE STATUS OPTIONS:

```
OPTCDS IN EFFECT: NAME(MAIN) NOOPTIMIZE LINECOUNT(60) SIZE(MAX) AUTODDL(NONE)
SOURCE EBCDIC NOLIST NOCHECK OBJECT NOMAP NOFLMAT NOCUSTNT NOXREF NCALL NOANSF TERM
```

```

000001 SUBROUTINE DESCENSO(NC,NR,H,HK,ICAT,ABC)
000002
000003 ESTA SUBROUTINA DIBUJA UN MAPA CON LOS DESCENSOS DE NIVEL OCURRIDOS
000004 ENTRE EL PRINCIPIO DE LA SIMULACION Y EL FINAL DEL PERIODO Y
000005 ULTIMO MES SIMULADOS.
000006
000007 DIMENSION H(23,45),HK(23,45),ABC(30),AB(60),ANOM(61)
000008 INTEGER OUT,IFIX,ICAT(23,45)
000009 DATA ANOM/30,-29,-28,-27,-26,-25,-24,-23,-22,-
000010 *21,-20,-19,-18,-17,-16,-15,-14,-13,-12,-
000011 *-11,-10,-9,-8,-7,-6,-5,-4,-3,-2,-1,0,
000012 *1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,
000013 *13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,
000014 *25,26,27,28,29,30/.
000015 WRITE(OUT,10) (I,I=1,NC)
000016 10 FORMAT(1,'','','X','MAPA DEL DESCENSO DE NIVELES ENTRE EL PRINCIPIO
000017 *DE LA SIMULACION Y EL MES ACTUAL',//,130(' '),//'0',3A,3C(13,1X))
000018 DO 30 J=1,NR
000019 DO 30 I=1,NC
000020 AB(I)=IFIX(H(I,J)-HK(I,J))*31
000021 AB(I)=MAX(1,AB(I))
000022 IF(ICAT(I,J).EQ.-1) AB(I)=ABC(29)
000023 IF(ICAT(I,J).EQ.-2) AB(I)=ABC(28)
000024 IF(ICAT(I,J).EQ.-3) AB(I)=ABC(30)
000025 30 CONTINUE
000026 WRITE(OUT,40) J,(AB(I),I=1,NC)
000027 40 FORMAT(10,'/',',13,1X,3C(A3,1X))
000028 20 CONTINUE
000029 WRITE(OUT,50)
000030 50 FORMAT(10,'////////,4X',' = MALLA DE BURDE IMPERMEABLE',//,4X,
000031 *' > = MALLA CON NIVEL CTE.',/////////,4X,
000032 *' VALORES POSITIVOS INDICAN QUE EL NIVEL HA SUBIDO')
000033 RETURN
000034 END

```

```
*OPT(ONS IN EFFECT*NAME(MAIN) NOOPTIMIZE LINECOUNT(60) SIZE(MAX) AUTODBL(NONE)
```

*OPT IONS IN EFFECT*SOURCE EBCDIC NOLIST NODECK OBJECT NOMAP NOFORMAT NOGOSTMT NOXREF NOALC NOANSF TERM

```
*STATISTICS*      SOURCE STATEMENTS =      24, PROGRAM SIZE =      1756, SUBPROGRAM NAME =DESCEN
```

STATISTICS NO DIAGNOSTICS GENERATED

***** END OF COMPILATION *****

1480K BYTES OF CORE NOT USED

STATISTICS NO DIAGNOSTICS THIS STEP

ANEXO 3

DISCRETIZACION MATEMATICA

DE LAS ECUACIONES QUE RIGEN EL ESCURRIMIENTO

DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Deducción de las ecuaciones de diferencias finitas

La ecuación diferencial en derivadas parciales que describe el flujo bidimensional en régimen transitorio, en un acuífero confinado, heterogéneo e isótropo es:

$$\frac{\partial(T \frac{\partial h}{\partial x})}{\partial x} + \frac{\partial(T \frac{\partial h}{\partial y})}{\partial y} = S \frac{\partial h}{\partial t} + Q$$

donde:

T = transmisividad del acuífero

h = altura piezométrica

t = tiempo

S = coeficiente de almacenamiento del acuífero

Q = diferencia entre los caudales extraídos y recargados por unidad de área.

x,y = coordenadas rectangulares

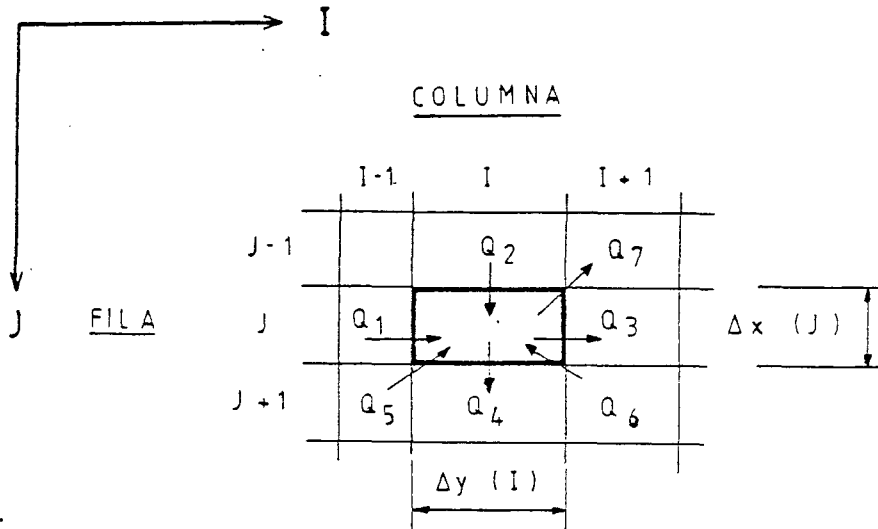
No existe una solución matemática general para esta ecuación; sin embargo, puede obtenerse una solución numérica por medio de un planteamiento en diferencias finitas.

Las ecuaciones de diferencias finitas pueden deducirse por dos caminos: desde el punto de vista físico, a partir de la ley de Darcy y del principio de conservación de la masa, o mediante un tratamiento matemático sustituyendo las derivadas de la ecuación diferencial, que se muestra más arriba, por diferencias finitas aproximadas. Los dos métodos de deducción conducen al mismo resultado. A continuación se presenta la deducción desde el punto de vista físico pretendiendo de esta manera dejar más claro el origen de las ecuaciones.

A.3.2.

Sobre el mapa del acuífero a modelar se superpone una malla rectangular. De esta forma el acuífero queda dividido en volúmenes prismáticos de base rectangular, de lados Δx y Δy y altura igual al espesor del acuífero.

Para una malla cualquiera de coordenadas (I,J), correspondiente a la intersección de la columna I con la fila J, se tiene:



A.3.3

Tij 2 la transmisividad del acuífero entre los nudos (I,J) y
(I,J + 1)

H (I,J) = altura piezométrica en el nudo (I,J) para un instante de
tiempo t.

Por su parte

$$Q_5 = \frac{\text{Recarga (I,J,K)}}{30(\text{días})} - \frac{\text{Bombeo (I,J,K)}}{30 (\text{días})}$$

donde K = 1 a 12 son los meses del año.

El caudal que infiltra un río al acuífero o recibe el río desde acuífero,
viene dado por:

$$Q_6 = R (I,J) \cdot [RH (I,J) - H (I,J)] \quad \text{si } H (I,J) > RD (I,J)$$

$$\text{ó } Q_6 = R (I,J) \cdot [RH (I,J) - RD (I,J)] \quad \text{si } H (I,J) \leq RD (I,J)$$

donde

RD (I,J) = cota del lecho del río para la malla (I,J)

RH (I,J) = cota de agua en el río para la malla (I,J)

R (I,J) = factor que caracteriza la permeabilidad del lecho del río
para la malla (I,J) y que vale

$$R = \frac{K}{e} \cdot A$$

A.3.4

La ecuación de balance másico viene dada por:

$$Q_1 + Q_2 + Q_5 + Q_6 = Q_4 + Q_3 + Q_7 + \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

donde:

Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 = transferencias de agua de una malla a otra.

Q_5 = diferencia entre caudales extraídos y recargados a la malla (I,J)

Q_6 = caudal que ingresa o sale del acuífero en su interacción con los cauces superficiales de importancia.

Q_7 = caudal que sale del acuífero a través de vertientes.

Aplicando la ley de Darcy se obtiene que :

$$Q_1 = T(I-1, J, 1) \cdot [H(I-1, J) - H(I, J)]$$

$$Q_2 = T(I, J-1, 2) \cdot [H(I, J-1) - H(I, J)]$$

$$Q_3 = T(I, J, 1) \cdot [H(I, J) - H(I+1, J)]$$

$$Q_4 = T(I, J, 2) \cdot [H(I, J) - H(I, J+1)]$$

$$\text{donde } T(I, J, 1) = T_{ij1} \cdot \Delta x(J) / [0,5 \cdot (\Delta y(I) + \Delta y(I+1))]]$$

$$T(I, J, 2) = T_{ij2} \cdot \Delta y(I) / [0,5 \cdot (\Delta x(J) + \Delta x(J+1))]]$$

siendo

T_{ij1} la transmisividad del acuífero entre los nudos (I,J) y (I+1,J)

A.3.5

con K = permeabilidad del lecho (m/día)

e = espesor del lecho (m)

A = área del lecho (m²) ocupada efectivamente por el río.

El caudal que sale por vertientes viene dado por

$$Q_7 = RV(I,J) \cdot [H(I,J) - RDV(I,J)] \text{ si } H(I,J) > RDV(I,J)$$

$$Q_7 = 0 \quad \text{si } H(I,J) \leq RDV(I,J)$$

donde: $RDV(I,J)$ = cota piezométrica mínima de vertimiento. Normalmente se toma igual a la de terreno.

$RV(I,J)$ = factor de vertimiento que viene dado por:

$$RV = \frac{S(I,J) \cdot \Delta x(J) \cdot \Delta y(I)}{\Delta t}$$

con $S(I,J)$ = coeficiente de almacenamiento del acuífero en la malla (I,J)

Δt = intervalo de tiempo transcurrido desde el último cálculo de alturas piezométricas.

Δx y Δy son las dimensiones de la malla

Finalmente el término $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ de la ecuación

de balance corresponde al caudal de agua que se incorpora o sale del almacenamiento del acuífero, y viene dado por:

A.3.6

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = S(I,J) \cdot \frac{[H(I,J) - H_0(I,J)]}{\Delta t}$$

donde $S(I,J)$ = coeficiente de almacenamiento en el nudo (I,J)

$H(I,J)$ = altura piezométrica en el nudo (I,J) en el instante de tiempo t .

$H_0(I,J)$ = altura piezométrica en el nudo (I,J) en el instante de tiempo $(t - \Delta t)$

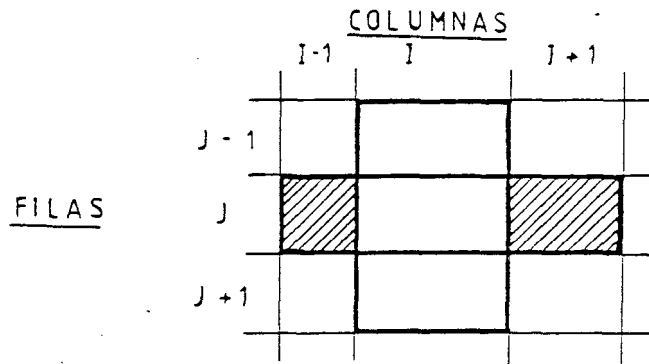
Así se obtiene finalmente la ecuación de balance másico para cada malla en términos de diferencias finitas. Planteando este procedimiento para cada malla del modelo se genera un sistema de ecuaciones, que en este caso se resuelve con el método iterativo implícito en dirección alternante (IADI) de Peaceman y Rachford (1955), que se describe a continuación.

Solución del sistema de ecuaciones

El método de resolución empleado simplifica la solución del sistema de ecuaciones al resolver varios sistemas más pequeños para cada intervalo de tiempo.

En primer lugar se procede por columnas, resolviendo el sistema de ecuaciones para cada una de ellas separadamente. Para cada columna se supone variables las alturas piezométricas de los nudos de la columna que se está procesando, mientras que los de las columnas adyacentes se consideran constantes. Esquemáticamente esto se ve de la siguiente manera:

A.3.7



Al procesar la columna I, en el planteamiento de la ecuación de balance para el nudo (I,J) , las alturas piezométricas $H(I, J-1)$, $H(I, J)$ y $H(I, J+1)$ se toman como incógnitas mientras que $H(I-1, J)$ y $H(I+1, J)$ se suponen conocidas, empleándose los valores de la iteración anterior.

Planteando la ecuación de balance para el nudo (I,J) se tiene:

$$Q_1 + Q_2 + Q_5 + Q_6 = Q_4 + Q_3 + Q_7 + \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad \Rightarrow$$

$$T(I-1, J, 1) \cdot [H(I-1, J) - H(I, J)] + T(I, J-1, 2) \cdot [H(I, J-1) - H(I, J)]$$

$$+ Q_5(I, J) + R(I, J) \cdot [RH(I, J) - H(I, J)] =$$

$$T(I, J, 1) \cdot [H(I, J) - H(I+1, J)] + T(I, J, 2) \cdot [H(I, J) - H(I, J+1)]$$

$$+ RV(I, J) \cdot [H(I, J) - RDV(I, J)] + \frac{S(I, J) \cdot [H(I, J) - HO(I, J)]}{\Delta t}$$

Ordenando términos se llega a

A.3.8

$$\begin{aligned}
 & H(I,J) \cdot \left[-T(I-1,J,1) - T(I,J-1,2) - R(I,J) - T(I,J,1) - T(I,J,2) - RV(I,J) - \frac{S(I,J)}{\Delta t} \right] \\
 & + H(I,J-1) \cdot [T(I,J-1,2)] + H(I,J+1) \cdot [T(I,J,2)] = \\
 & - T(I-1,J,1) \cdot H(I-1,J) - R(I,J) \cdot RH(I,J) - T(I,J,1) \cdot H(I+1,J) \\
 & - RV(I,J) \cdot RDV(I,J) - \frac{S(I,J) \cdot Ho(I,J)}{\Delta t} - Q_5(I,J)
 \end{aligned}$$

Llamando - BB al término que acompaña $H(I,J)$,

- AA al que va junto a $H(I,J-1)$,
- CC al que multiplica $H(I,J+1)$ y
- DD a toda la parte derecha de la ecuación, que es constante,

se llega a:

$$AA \cdot H(I,J-1) + BB \cdot H(I,J) + CC \cdot H(I,J+1) = DD$$

Planteando esta ecuación para cada malla de la columna I, se llega a un sistema de ecuaciones que matricialmente queda representado por

$$\begin{pmatrix}
 BB_1 & CC_1 & & & \\
 AA_2 & BB_2 & CC_2 & & \\
 & AA_3 & BB_3 & CC_3 & \\
 & & \ddots & \ddots & \ddots \\
 & & & AA_{n-1} & BB_{n-1} & CC_{n-1} \\
 & & & & AA_n & BB_n
 \end{pmatrix}
 \begin{pmatrix}
 H(I,1) \\
 H(I,2) \\
 H(I,3) \\
 \vdots \\
 H(I,n-1) \\
 H(I,n)
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 DD_1 \\
 DD_2 \\
 DD_3 \\
 \vdots \\
 DD_{n-1} \\
 DD_n
 \end{pmatrix}$$

A.3.9

Como se ve se llega a un sistema tridiagonal, el cual se resuelve por el método de eliminación de Gauss.

Así se resuelve el sistema de ecuaciones columna a columna, luego se pasa a aplicar el mismo procedimiento a las filas, considerando en este caso variables las alturas piezométricas de la fila que está siendo procesada y constantes las de las filas adyacentes.

Cuando se concluye el proceso con las filas se ha completado una iteración

Se inicia luego una nueva iteración y así sucesivamente hasta conseguir la convergencia de los resultados. Recién entonces se podrá incrementar al tiempo en un nuevo intervalo Δt , repitiéndose todo el proceso.