



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

62059



DIPUTACIÓN
DE ALICANTE

**ANÁLISIS PREVIO DE LOS RESULTADOS DE LAS OPERACIONES DE
RECARGA ARTIFICIAL EN ORBA, JIJONA Y CUENCA DEL GORGOS**

**ACTUALIZACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE FLUJO DEL
ACUÍFERO DE JIJONA MEDIANTE EL PROGRAMA PROCESSING
MODFLOW (PMWIN)**

**FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS DE RECARGA ARTIFICIAL
TOMO II:ANEXOS**

MADRID DICIEMBRE DE 1999



Secretaría de Estado de Aguas y Costas
Ministerio de Medio Ambiente

Anexo 1.

Modelo matemático de flujo del acuífero de Jijona diseñado en 1994 con el programa de ordenador "MINIPROGRAMAS (III) Programas simples para modelado de acuíferos"(ITGE 1992). Simulación de alternativas de recarga artificial.

NOTA PRELIMINAR: en el presente informe se encontraran referencias a anexos con datos de entrada y salida del modelo, datos que no se han considerado por su gran volumen. Para consulta de estos datos, se pueden dirigir al centro de Documentación del Instituto Tecnológico Geominero de España, en la C/Rios Rosas nº23. Madrid.

MODELO MATEMATICO DE FLUJO

DEL ACUIFERO DE JIJONA.

1. INTRODUCCION.

Este informe se encuadra dentro del Convenio de Asistencia Técnica suscrito entre la Diputación de Alicante y el Instituto Tecnológico Geominero de España. Su objeto es la modelización del acuífero de Jijona con el fin de disponer de una herramienta de trabajo útil con la que poder realizar una adecuada toma de decisiones ante situaciones diferentes que se puedan presentar en la normal explotación del acuífero. Con ello se pretende poder actuar sobre el acuífero de la manera más adecuada ante previsibles problemas futuros, como puede ser la falta de recarga.

El presente estudio ha sido dirigido por D. Luis Rodríguez Hernández, por la Diputación Provincial de Alicante, y D. José Manuel Murillo Díaz por el Instituto Tecnológico Geominero de España.

El equipo técnico de realización ha sido el siguiente, por parte del I.T.G.E.:

- D. José Antonio de la Orden Gómez.
- D. Manuel Vázquez Mora.
- D. José Manuel Murillo Díaz.

2. SINTESIS HIDROGEOLOGICA DEL ACUIFERO DE JIJONA.

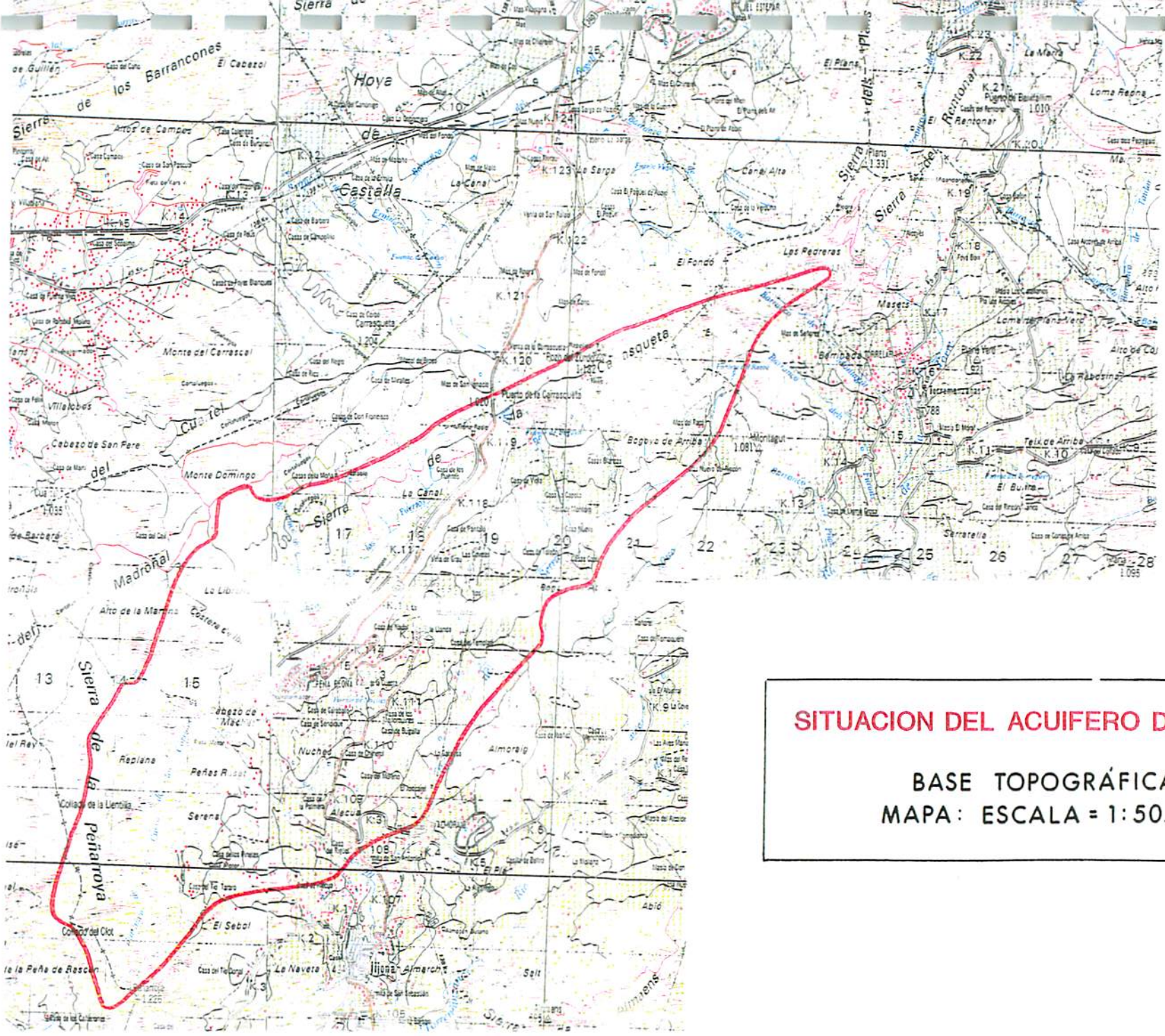
El acuífero de Jijona está situado en la Provincia de Alicante, en el Municipio de Jijona. Geológicamente, se encuadra dentro del Prebético de Alicante, conformando una unidad de características propias. La roca acuífera está formada por calizas del Mioceno inferior (Burdigaliense), actuando el Oligoceno como impermeable de base y la formación Tap 1 como impermeable de techo. En el sector vértice Peñarroja - manantial de Rosset las calcarenitas del Serravalliense están conectadas a las calizas, por lo que forman un tramo permeable único. La disposición del sistema comentado se refleja en el plano nº 1.

Los límites hidrogeológicos del sistema se pueden establecer, según el informe "Estudio hidrogeológico de las sierras de Plans, Carrasqueta y Madroñal para mejorar el abastecimiento público a Jijona (Alicante)", I.T.G.E., 1987, de la manera siguiente:

- Al este, entre el vértice Peñarroja y la zona norte del Cabezo de Machet, por el afloramiento del impermeable de base.
- Desde ahí hacia el noreste continúa el límite con estas características, pero no es observable en superficie por encontrarse recubierto por las calcarenitas del Serravalliense.
- Todo el límite meridional y suroriental está condicionado por el cabalgamiento de la unidad Jijona-Torremanzanas, que pone lateralmente en contacto la roca acuífera con formaciones arcillosas del Mesozoico y terciario.

El acuífero así definido tiene una extensión de 35 km².

Las consideraciones sobre el funcionamiento hidrogeológico del sistema se hacen en el apartado 3.1. de este informe, por lo cual aquí sólo se comentará que la alimentación del acuífero procede de la infiltración de la lluvia sobre los afloramientos permeables, que constituyen el borde este del sistema, y que ocupan una superficie de unos 9,5 km². La descarga se produce de forma natural por el manantial de Rosset, y de forma artificial por los pozos de bombeo que abastecen de agua a la población de Jijona.



SITUACION DEL ACUIFERO DE JIJONA

BASE TOPOGRAFICA

MAPA: ESCALA = 1: 50.000

Plano N°1

3. MODELIZACION.

La modelización es un procedimiento matemático que consiste en representar los fenómenos físicos de transferencia de agua y variación de los niveles piezométricos que ocurren en un acuífero con el fin de reproducirlos posteriormente para su estudio y análisis. Los modelos matemáticos constituyen herramientas de trabajo muy útiles a la hora de gestionar los recursos de un acuífero porque permiten simular distintas alternativas de gestión y conocer o predecir el comportamiento del sistema ante ellas.

Existen varios tipos de modelos matemáticos, en síntesis:

- * modelos de flujo.
- * modelos de transporte de masa.
- * modelos de transporte de calor.

En este estudio del acuífero de Jijona se va a utilizar un modelo de flujo, que representa la evolución del potencial hidráulico en el espacio y en el tiempo, que es lo que se persigue.

Es fácil comprender que el conocimiento de los procesos que tienen lugar en un sistema acuífero a escala macroscópica suele ser tarea difícil en general, debido a factores diversos, como pueden ser:

- * la inhomogeneidad de los acuíferos.
- * la existencia de discontinuidades de cualquier tipo en sus estructuras.
- * fenómenos que producen una zonación de los parámetros hidrogeológicos de los mismos y por tanto la creación de direcciones preferentes en la circulación del agua a través de ellos.

La necesidad de realizar un modelo matemático de un acuífero viene planteada por

el inconveniente que esto supone para el estudio del funcionamiento hidráulico de un determinado acuífero, como en el caso que nos ocupa el de Jijona, que puede subsanarse en parte mediante el desarrollo del modelo, en el que se reduce el tratamiento de los procesos que en la realidad tienen lugar a escala macroscópica, a otra escala mucho menor, en la cual se suponen constantes los parámetros hidrogeológicos en cada porción de acuífero en que se divide el total sin cometer un error importante con respecto a la realidad.

Las etapas que se deben seguir al realizar el modelo matemático de un acuífero pueden sintetizarse en las siguientes:

- * elaboración del modelo conceptual de funcionamiento del acuífero.
- * discretización de la superficie del acuífero en celdas.
- * elección del programa a utilizar o, en su defecto, elaboración del mismo.
- * calibración del modelo.
- * validación del mismo.
- * simulación de alternativas.

Para ello es necesario disponer de una serie de datos históricos de la evolución del sistema lo más amplia y fiable posible, tarea ésta nunca sencilla y que puede presentar graves inconvenientes a la hora de modelizar. Es un problema típico de la realización de un modelo la imposibilidad de validarlo ante la ausencia de datos con qué llevar a cabo esta validación, debiendo considerar el modelo calibrado como el definitivo. Vaya como adelanto que en el caso del acuífero de Jijona, cuyo modelo se aborda en este estudio, este problema se ha presentado.

A continuación se describe con detalle el proceso de modelización del acuífero en sus distintas etapas.

3.1. MODELO CONCEPTUAL DEL ACUIFERO.

El modelo conceptual es el primer y fundamental paso para la correcta elaboración de un modelo matemático. Consiste en el estudio hidrogeológico del sistema y su funcionamiento, con las entradas y salidas que tenga, y el establecimiento de un balance real de agua en el mismo. No será útil un programa de ordenador complicado y costoso si el modelo conceptual de funcionamiento es incorrecto, puesto que los resultados que se obtendrán serán también incorrectos, y, por tanto no válidos para posteriores estudios.

Un concepto muy importante en la elaboración del modelo conceptual es el conocimiento geológico del acuífero, así como sus características físicas, que permitan delimitar su extensión y profundidad. También es necesario conocer, al menos en un orden de magnitud, los parámetros hidrogeológicos que gobiernan el comportamiento del sistema. Si todos estos factores no se tienen en cuenta, se pueden llegar a obtener resultados disparatados y que en nada tendrán que ver con la realidad.

Por ello en esta fase del trabajo se ha realizado un estudio del acuífero y sus características. El esquema de funcionamiento del sistema se conoce bastante bien, debido a informes previos, como el "Estudio hidrogeológico de las Sierras del Madroñal, Carrasqueta y Plans para mejorar el abastecimiento público a Jijona (Alicante)" realizado por el I.T.G.E. en 1989 y el ensayo de bombeo realizado en marzo de 1.994.

De las conclusiones de estos estudios se pueden extraer las siguientes premisas sobre el funcionamiento del acuífero:

1. Se trata de un acuífero confinado, con una pequeña extensión de comportamiento libre que actúa como zona de recarga. Se considera, en base a estudios ya existentes, que el sistema funciona sin recargas o descargas laterales provenientes o dirigidas de o a otras unidades hidrogeológicas.

2. La recarga natural del sistema se produce por agua de lluvia, que se infiltra a lo

largo de los afloramientos permeables del sistema, que ocupan una extensión de 9,5 km² en la Sierra de la Peñarroya.

3. El acuífero, en la parte que contiene agua, tiene un comportamiento confinado comprobado, mientras que la zona de afloramientos permeables actúa solamente como zona de transición del agua, no de almacenamiento.

4. El espesor medio del acuífero está en torno a los 50 metros, y las cotas isohipsas de muro del mismo, según el estudio hidrogeológico citado anteriormente, son las reflejadas en el plano número 2.

5. Actualmente las únicas salidas del sistema son por bombeos, a través de los pozos de Pineta y Sereñat, y, eventualmente, Rosset, utilizados para el abastecimiento público de agua a Jijona y urbanizaciones cercanas.

5. Antiguamente existía una fuente que drenaba naturalmente el acuífero, la fuente de Rosset. Esta surgencia lleva años seca, y sólo se dispone de un dato histórico de su caudal. Por tanto, en la modelización, no se considerará como salida del sistema más que las extracciones por bombeos.

6. Los parámetros hidrogeológicos del sistema se conocen gracias al ensayo de bombeo ya comentado, y se considerarán válidos como valores iniciales, sin perjuicio de que a lo largo del proceso de modelización puedan calibrarse y, por tanto, cambien de valor, con objeto de conseguir el mejor ajuste posible.

Con estas premisas se establece el funcionamiento del acuífero, y, a partir de ellas, se modelizará dicho funcionamiento.

3.2. DESCRIPCION DEL PROGRAMA UTILIZADO.

Para la realización del modelo en estudio se ha utilizado un programa de ordenador diseñado en el I.T.G.E. en 1.992, bajo el nombre de "MINIPROGRAMAS (III) Programas simples para modelado de acuíferos." (Boletín Geológico y Minero. Vol. 103-6. Año 1.992 pp. 33-50).

Se ha considerado este programa el más adecuado por su sencillez y adecuación a las características del acuífero, así como por la bondad de los resultados obtenidos. No se ha considerado necesario utilizar programas más complejos, cuyos resultados no se preveían mucho mejores que los obtenidos con el elegido.

Este programa está escrito en lenguaje Basic, y utiliza para resolver la ecuación del flujo el método de diferencias finitas. Es un programa para un acuífero monocapa anisótropo en horizontal, con mallas poligonales de cualquier forma, que admite recargas y extracciones variables en cada intervalo, cálculo de surgencias e infiltraciones, cotas mínimas de bombeo y dos procesos diferentes: cálculo de piezometrías o cálculo de residuales con piezometría predeterminada. También proporciona balances de masa para cada elemento y período y para el conjunto del modelo. Permite simular comportamientos de acuíferos libres o confinados, pero no el de acuíferos que tengan una parte libre y otra confinada, como es el caso del de Jijona.

Para resolver este inconveniente, se ha simulado la recarga natural por lluvia como entradas de agua al sistema provenientes de una inyección de la misma en aquellas celdas que corresponden a la zona de recarga, haciendo hincapié en que no son tales, sino que sólo se han considerado así por exigencias del programa.

La descripción del programa utilizado, así como su fundamento matemático, se acompaña en el anexo 1, y por ello, no se hará una descripción exhaustiva del mismo en este apartado.

La resolución de la ecuación de flujo mediante el método de diferencias finitas se obtiene dividiendo el acuífero en celdas, es decir, discretizándolo, y resolviendo la ecuación diferencial en cada celda utilizando incrementos de las variables en vez de derivadas parciales. El método plantea la ecuación del flujo en cada celda y la resuelve con las condiciones de contorno que se impongan en cada una de ellas mediante un sistema de ecuaciones lineales en el que las incógnitas son los flujos de agua entre celdas contiguas.

Una vez calculados dichos flujos, por aplicación de la Ley de Darcy, se obtienen los niveles en cada celda y en cada período de tiempo estudiado.

Los valores obtenidos como soluciones de las ecuaciones planteadas se toman como valores medios para cada celda considerada, a diferencia de otros modelos, en que la ecuación de la continuidad o de flujo se resuelve en los nodos, y por interpolación se obtienen los valores en cada punto del acuífero.

Es importante señalar que dichos valores no se toman en el punto medio de cada celda como soluciones en ese punto concreto, sino que son valores medios válidos en toda la superficie de la celda.

Este programa tiene otro inconveniente en su diseño que es necesario resaltar en este punto. Es el hecho de que, en el caso de trabajar con acuíferos que se han definido como confinados, como es el caso del acuífero de Jijona, existe un problema a la hora de realizar los cálculos de los niveles piezométricos. Cuando se produce una recarga importante que produce un aumento de los niveles del agua en el acuífero, a veces puede ocurrir que la cota del nivel piezométrico simulada supere a la cota topográfica del terreno, como consecuencia del carácter confinado del acuífero. Cuando sucede esto, el programa se aborta y no sigue calculando, pues no admite como condición del cálculo el que las cotas de los niveles piezométricos calculadas estén por encima de las del terreno, lo cual supondría un derrame del agua contenida en el sistema. Esto supone un cierto inconveniente a la hora de simular recargas, ya que éstas producen, bajo ciertas condiciones, fuertes aumentos de niveles piezométricos.

3.3. DISCRETIZACION DEL ACUIFERO.

La discretización consiste en dividir la superficie total del acuífero en celdas de pequeño tamaño en las cuales el programa va a resolver la ecuación de la continuidad.

Las celdas se deben diseñar rectangulares cuando el acuífero es más o menos uniforme y no tiene bordes complicados, pues ello favorece la tarea de cálculo. No obstante, las celdas pueden tener cualquier forma, siempre que sean polígonos, en el uso de este programa en concreto.

Las intersecciones de las líneas rectas que definen las celdas se denominan nodos, y en el uso del método de diferencias finitas no son los puntos donde se resuelve la ecuación de continuidad, sino que ésta adopta un valor medio en cada celda válido en todos los puntos de la misma.

El tamaño de las celdas puede ser variable o constante, según interese. En el caso de existir una amplia información de una zona concreta de un acuífero y escasa en otras zonas, es interesante definir un tamaño de celda menor en las zonas donde mayor información existe. En el caso de acuíferos de poca extensión, y sin una gran cantidad de información, como es el caso del acuífero de Jijona, es más útil porque se cometen menos errores utilizar una celda cuadrada. Esto es lo que se ha hecho en este modelo.

Por último es necesario definir las dimensiones de cada celda. Para hacerlo, los criterios son parecidos a los expuestos anteriormente, teniendo en cuenta además el tamaño del acuífero. Cuanto más grande sea, si el tamaño de celda es pequeño, se obtendrá un número de celdas elevado, con la consiguiente complicación de cálculo y la probable obtención de información que en algunos casos puede ser redundante.

Si en el acuífero existen gradientes hidráulicos altos, el tamaño de celda en la zona en que esto ocurra deberá ser pequeño, porque los niveles variarán mucho espacialmente, y si la celda se toma grande no se obtendrá una serie de oscilaciones del nivel piezométrico lo suficientemente precisa.

Por ello, en cada caso, debe hacerse la elección en función de las características concretas del sistema que se quiere modelizar.

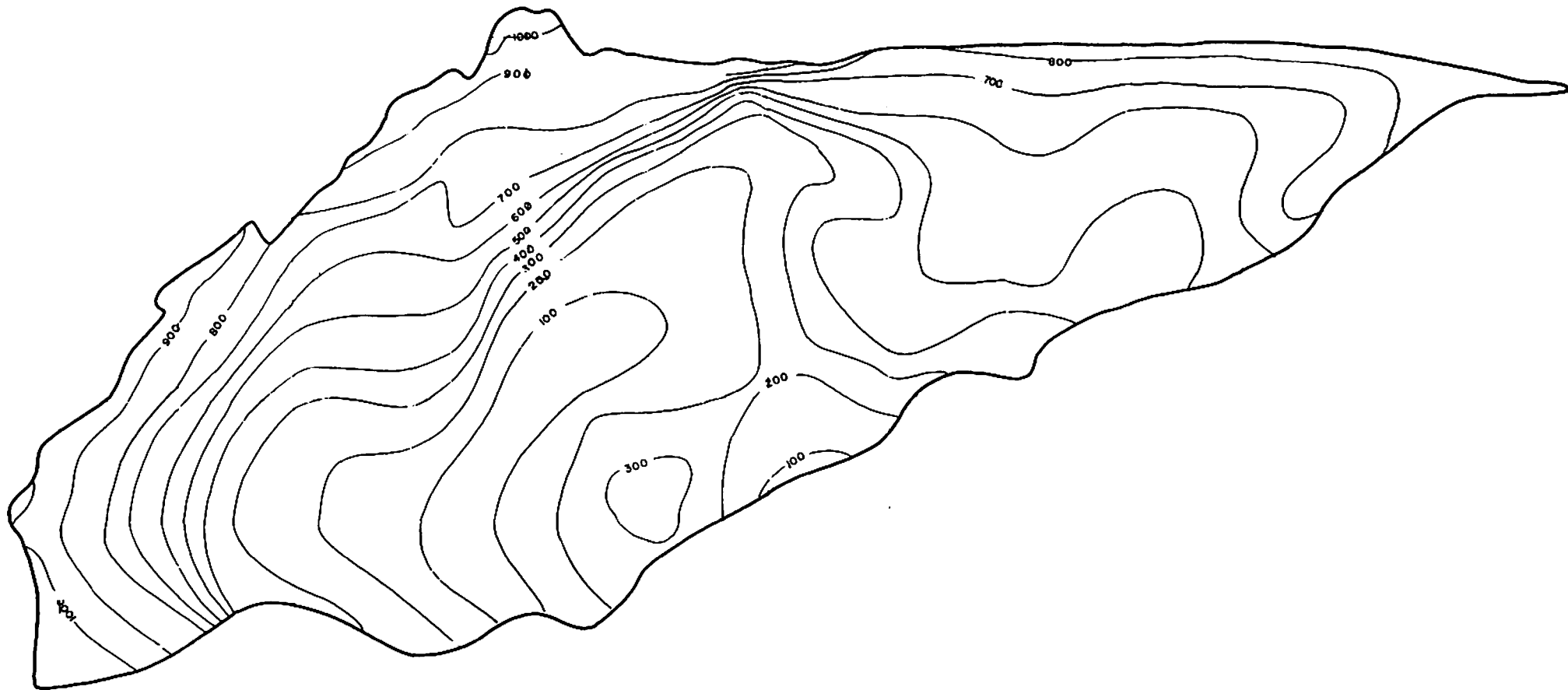
En el caso que se estudia en este informe, se ha considerado que una celda de tamaño 1.000 metros de lado es idónea, tanto en función del tamaño del acuífero, de pequeña extensión, como de la cantidad de información disponible, que se centra en pocas celdas.

Con estas premisas, el acuífero de Jijona se ha discretizado en celdas cuadradas de tamaño 1.000 metros de lado y superficie por tanto 100 hm². El total de celdas necesario es de 38, y su disposición espacial se refleja en el plano nº 3. Esta discretización inicial ha tenido un inconveniente a la hora de utilizar el programa de ordenador. Este programa no admite acuíferos que tengan una parte de su área libre y otra confinada, debe ser toda ella uniforme. Según puede comprobarse en el plano adjunto, el borde delimitado por las celdas 1, 10, 11, 19, 20, 27, 28 y 34 constituyen los afloramientos permeables del sistema, en los cuales éste tiene un comportamiento libre. Para solventar este inconveniente se ha recurrido a una simplificación del problema, que consiste en eliminar estas celdas del modelo y sustituir la recarga, por infiltración del agua de lluvia en ellas, por una entrada lateral de agua en las celdas de borde de la nueva discretización. Así, el programa aceptará estas condiciones y podrá realizarse sin problemas la modelización.

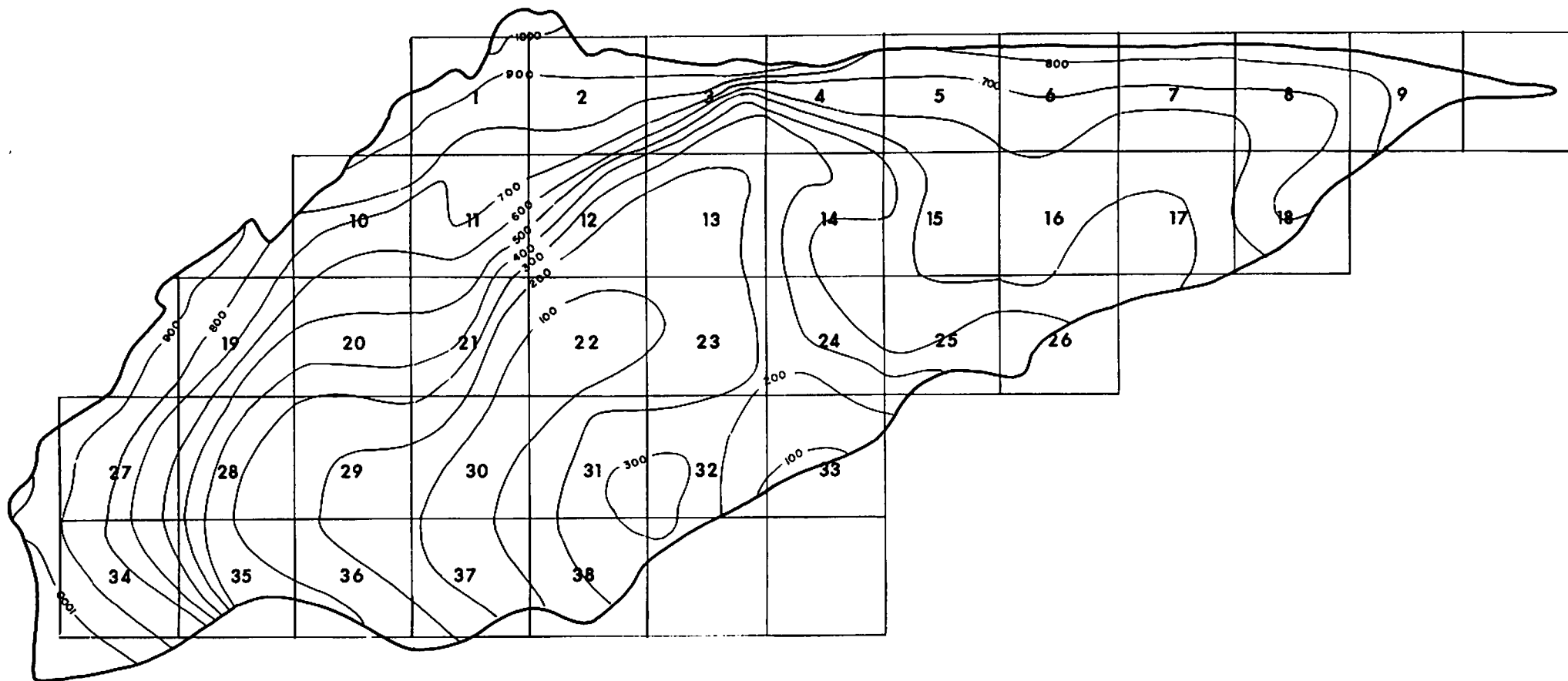
Otra simplificación que se ha realizado sobre la discretización inicial ha sido la eliminación del modelo de las celdas nº 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, y 9. La razón de esta supresión es que la cota del muro de todas ellas siempre está por encima del nivel saturado, con lo cual siempre van a estar secas, y el programa no admite que las celdas estén secas. Por otra parte, como nunca tienen agua, la simplificación realizada no introduce un elemento de error significativo.

Así pues, una vez tenidas en cuenta estas condiciones de simplificación del sistema a modelizar, la discretización final que se ha introducido en el programa es la que se muestra en el plano nº 4, cuya numeración es la que se va a considerar a partir de ahora como definitiva.

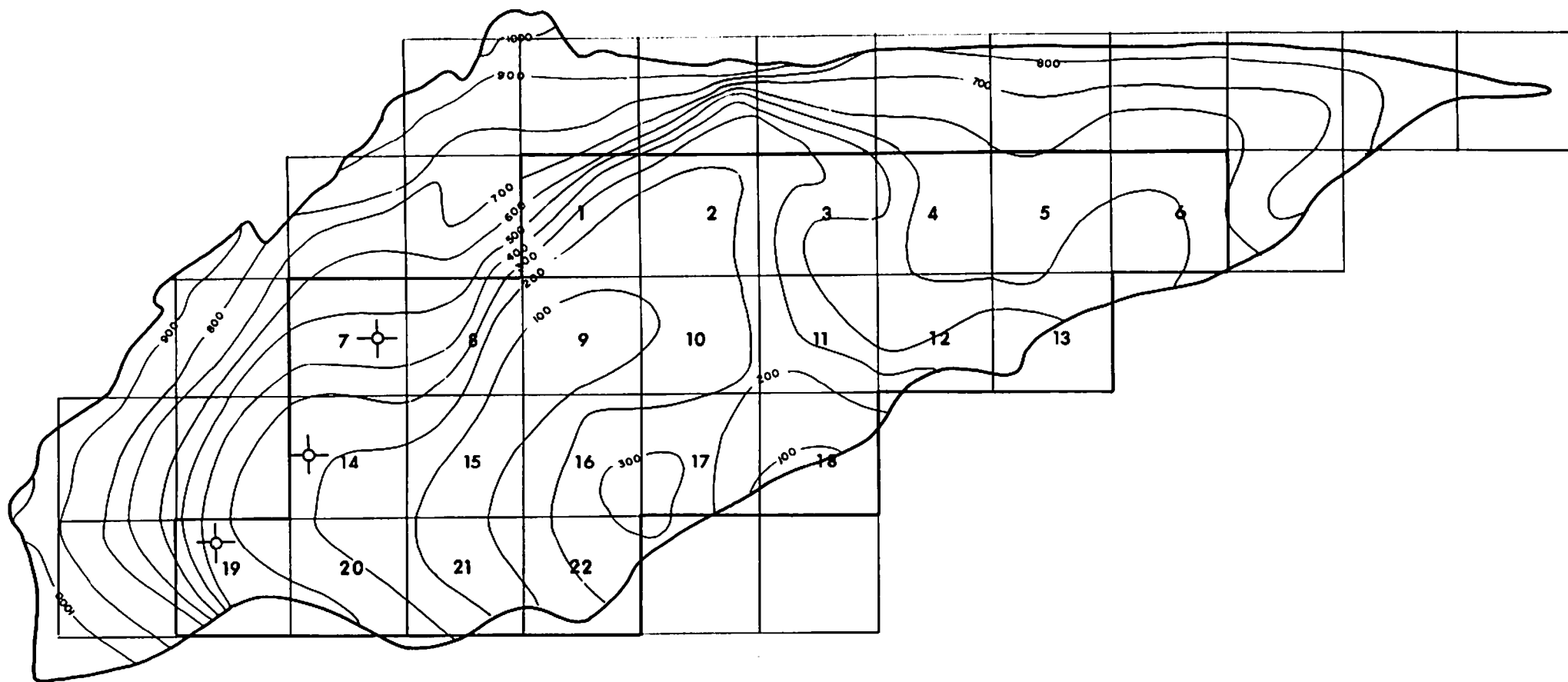
En base a las condiciones expuestas en el modelo conceptual del acuífero, las únicas



PLANO Nº2
LIMITES DEL ACUIFERO E ISOHIPSAS DE MUROS



PLANO Nº3
DISCRETIZACION INICIAL DEL ACUIFERO (Nº ORDEN DE CADA CELDA)



PLANO N° 4
N° DE CELDA EN LA DISCRETIZACION FINAL DEL ACUIFERO

acciones sobre el sistema serán:

- * CELDA 1. Recarga por lluvia.
- * CELDA 7. Recarga por lluvia y extracciones por bombeos (pozo Rosset).
- * CELDA 8. Recarga por lluvia.
- * CELDA 14. Recarga por lluvia y extracciones por bombeos (pozo Sereñat).
- * CELDA 19. Recarga por lluvia y extracciones por bombeos (pozo Pineta).

En el resto de las celdas no hay acciones externas sobre el sistema, y lo único que ocurrirá será la existencia de un flujo de agua entre ellas. Este flujo será consecuencia tanto de las entradas y salidas como de la existencia de gradientes dentro del propio acuífero condicionados por su topografía.

Para comenzar con el proceso de modelización es necesario establecer en cada celda unas condiciones iniciales de los parámetros que el programa va a calcular. Dichas condiciones se establecen celda a celda, y son objeto de estudio en el apartado 3.6. de este informe.

3.4. CONDICIONES DE BORDE.

La existencia de una solución única para el sistema de ecuaciones que el programa plantea viene condicionada por la imposición de las condiciones de borde en las celdas exteriores del modelo. Si dichas condiciones no se establecen, el sistema de ecuaciones resultante tendrá más incógnitas que ecuaciones, y por tanto no tendrá una solución determinada, y habrá incógnitas que quedarán sin resolver. Las condiciones de borde más usuales que se establecen en este tipo de modelos son las siguientes:

- * **CONDICION DE BORDE IMPERMEABLE.** Implica que desde el exterior no hay flujo de agua hacia el interior ni viceversa. Es decir, que el acuífero es un sistema aislado

lateralmente.

* **CONDICION DE BORDE DE NIVEL CONSTANTE.** Implica que el nivel piezométrico en la celda considerada se mantiene siempre constante. Es el caso de bordes en contacto con mares o lagos, o rios totalmente penetrantes.

En el caso del acuífero en estudio, las condiciones impuestas son las de borde impermeable en todas las celdas exteriores del modelo, resultantes del conocimiento del sistema en el cual no existe transferencia de flujo de agua con el exterior en ningún sentido.

3.5. DATOS DE RECARGA Y DESCARGA.

Los datos de recarga y descarga corresponden a las acciones exteriores sobre el sistema. Representan todas las entradas de agua al sistema, de cualquier procedencia, y todas las salidas del mismo, asimismo de cualquier tipo: salidas laterales hacia otros acuíferos, surgencias o bombeos.

Son los datos más importantes a la hora de modelizar. Si los datos existentes son escasos o poco fiables, los resultados del modelo acusarán esta circunstancia y no serán más fiables que los propios datos. Las series de datos deben ser lo más amplias posible, con objeto de poder calibrar el modelo y posteriormente validarlo. Si son cortas, como ocurre en el caso del acuífero de Jijona, las posibilidades de maniobra al modelizar se restringen, y deben asumirse las restricciones y tenerlas en cuenta, tomando con ciertas reservas los resultados del modelo.

En el acuífero de Jijona las únicas acciones externas que se ejercen sobre el sistema son la recarga por lluvia y las extracciones por bombeos.

Los datos disponibles de lluvias son muy completos, ya que existen datos diarios de

lluvia durante el período 1962-1976 de la estación pluviométrica de Jijona y 1976-1993 de la estación pluviométrica de Tibi, que son extrapolables a los de Jijona utilizando un coeficiente corrector denominado peso. Este es el factor por el que hay que multiplicar la precipitación de la estación de Tibi para obtener la representativa de la estación de Jijona. Se calcula a partir de los datos de precipitación coincidentes en día en ambas estaciones. Los datos correspondientes se suman por separado para cada estación, y después se hace el cociente entre ambas sumas y se obtiene así el peso. En este caso, el factor es 1,18. Es decir, la precipitación de Tibi se multiplica por 1,18 y se obtiene un valor representativo de la precipitación en Jijona.

Los datos disponibles de las extracciones de agua en los pozos que bombean actualmente o han bombeado alguna vez del acuífero han sido facilitados por la Diputación de Alicante. Existen datos del período 1986-1993 de extracciones totales mensuales. Los datos disponibles se reflejan en el cuadro nº1, en la página 17.

En los datos de dicho cuadro se observa que durante el período 1986-1990 los datos de extracciones correspondientes a los pozos de Pineta y Sereñat se dan en conjunto, sin especificar qué cantidad corresponde a cada pozo, y con la especificación de "volúmenes mensuales aproximados". Como quiera que el modelo necesita este dato por separado, para introducirlo en la celda correspondiente a cada pozo de bombeo, para estos períodos de tiempo en que los datos no son concretos, se ha supuesto que el pozo de Sereñat bombea un 60% del total y el de Pineta un 40%. Así se ha obviado el problema que supone no disponer de datos de cada pozo por separado, sin cometer un error excesivamente importante, frente al que se puede haber cometido al hablar de "volúmenes aproximados".

Se pone de manifiesto con este inconveniente la necesidad de disponer de una serie de datos lo más completa y fiable posible para obtener un resultado satisfactorio en el proceso de modelización.

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	
1986	63.000	63.000	63.000	63.000	63.000	63.000	64.000	64.000	64.000	127.000	127.000	127.000	
1987	65.000	65.000	65.000	65.000	65.000	65.000	65.000	65.000	65.000	130.000	130.000	130.000	
1988	67.800	67.800	67.800	67.800	67.800	67.800	67.800	67.800	67.800	135.600	135.600	135.600	
1989	71.200	71.200	71.200	71.200	71.200	71.200	71.200	71.200	71.200	142.400	142.400	142.400	
1990	S (+ P)	74.760	74.760	74.760	74.760	74.760	N.D.	110.270	109.420	81.510	85.650	73.480	
	Pineta	-	-	-	-	-	-	1.450	710	2.870	3.100	80	
	Rosset	9.330	9.330	9.330	9.330	9.330	9.330	5.369	3.816	1.617	1.408	622	
1991	Sereñat	84.770	63.310	N.D.	1.380	13.560	88.450	89.100	115.990	81.950	112.060	92.040	92.590
	Pineta	7.530	30	22.520	76.830	77.220	1.280	3.950	3.050	1.780	3.040	340	3.650
	Rosset	1.899	1.650	990	2.615	4.977	4.000	5.964	7.096	3.823	3.960	2.766	2.613
1992	Sereñat	71.860	72.930	51.530	100.580	9.610	14.280	105.260	84.600	70.130	62.450	26.300	8.150
	Pineta	9.010	10	10.950	6.550	65.320	65.940	7.830	47.380	34.780	29.670	68.500	110.250
	Rosset	1.865	1.466	1.848	4.184	2.486	0	0	0	0	0	0	0
1993	Sereñat	6.220	7.820	10	4.390	4.140	33.240	32.570	33.060	28.040			
	Pineta	71.810	48.030	60.980	74.680	70.720	73.490	72.810	72.980	60.040			
	Rosset	0	0	0	0	0	0	0	0	0			

CUADRO N° 1. Datos de extracciones por bombeo en el acuífero de Jijona, en m³/mes, utilizados por el modelo

3.6. CONDICIONES INICIALES.

Las condiciones iniciales del modelo son los valores que toman todos los parámetros que intervienen en el mismo al comienzo de cada simulación. Estos valores deben ser introducidos por el modelista en base al conocimiento del sistema y, por tanto, del valor aproximado que pueden tomar algunos de ellos en las distintas celdas. Una vez introducidos estos datos en el modelo, el programa irá resolviendo el sistema de ecuaciones correspondiente mediante un método iterativo, en el cual el valor de las variables al comienzo de un período de simulación determinado es el valor final del período anterior.

Los parámetros que intervienen en el programa que se ha utilizado para modelizar el acuífero de Jijona son los siguientes:

- * **NUMERO DE POLIGONOS.** Es el número total de polígonos que se crean con el diseño de las celdas que se ha escogido.
- * **NUMERO DE POLIGONOS REALES.** Aquella fracción del total que tienen flujo de agua. En este modelo, todos los polígonos son reales porque entre todos hay transferencia de agua.
- * **NUMERO MAXIMO DE LADOS POR POLIGONO.** Como los polígonos pueden tener formas irregulares, este parámetro controla cual es número máximo de lados que puede tener cada polígono. Para el caso en estudio, como las celdas son todas cuadradas, este número vale 4.
- * **NUMERO DE PERIODOS.** Es el número de intervalos de tiempo en los cuales el modelo va a calcular los niveles. Es un número variable, que depende de los intervalos de tiempo modelizados. En este caso, cada período coincide en duración con un mes, en todas las simulaciones que se han realizado.
- * **NUMERO DE SUBPERIODOS POR PERIODO.** Para el caso de que cada período se desee dividir en subperíodos. En este caso, cada período sólo tiene un subperíodo.
- * **ERROR MAXIMO RESIDUAL.** Es el valor de error que el programa debe utilizar para dar por válida una solución. Cuando el error obtenido sea mayor que este valor, el programa

hará una nueva iteración en busca de un resultado con un error menor. Este proceso se repite hasta lograr un error por debajo de este valor. Para este modelo se ha tomado un error de 0,01 hm³/mes.

* **COEFICIENTE DE RELAJACION.** Es el coeficiente utilizado en el método de relajación para la resolución de la piezometría. Influye en la velocidad de convergencia. El mejor valor es el que hace mínimo el número de iteraciones necesarias. Generalmente varía entre 0,5 y 1,2. En este caso se ha utilizado el valor 0,8.

* **NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES.** Es un valor de acotación superior del número de iteraciones que el programa debe hacer para encontrar una solución con error aceptable. Se debe acotar porque, en el caso de existir problemas de convergencia, el programa podría alargar indefinidamente el cálculo sin obtener ningún resultado. Se ha tomado un valor algo elevado debido a la cantidad de celdas de 2.000 iteraciones, aunque en las sucesivas pasadas del modelo no se han superado nunca las 1.000 iteraciones.

* **FACTOR DE MODIFICACION DE TIEMPO.** Es un factor corrector de unidades, que utiliza el programa para pasar de m²/día que utiliza para el valor de la transmisividad, a hm³/período de simulación. En este caso, como los períodos son meses, este coeficiente vale 0,003.

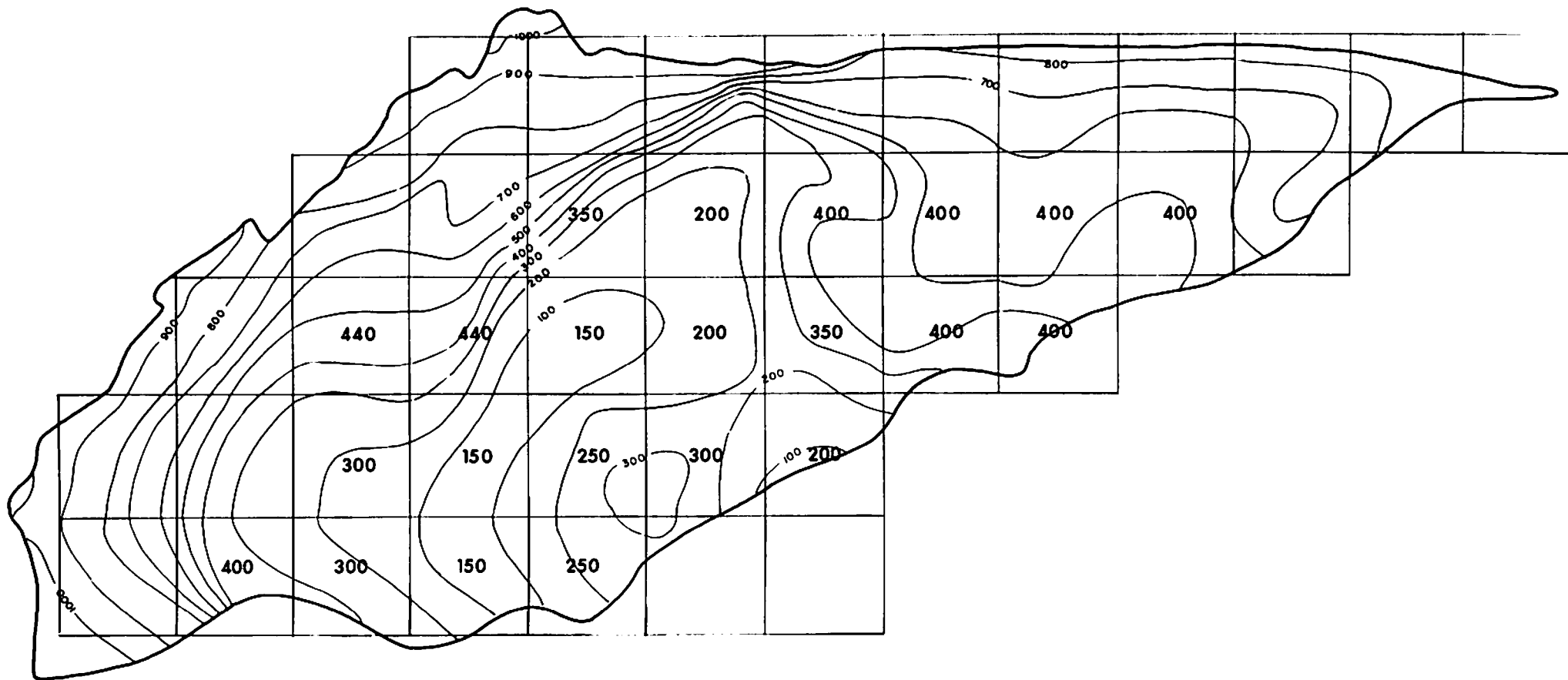
* **LR.** Parámetro que define el comportamiento del sistema. (Página 37 del anexo 1).

* **M.** Parámetro que identifica celdas con surgencia o infiltración. Si no hay ninguna con esas condiciones, como en este caso, este parámetro vale 0.

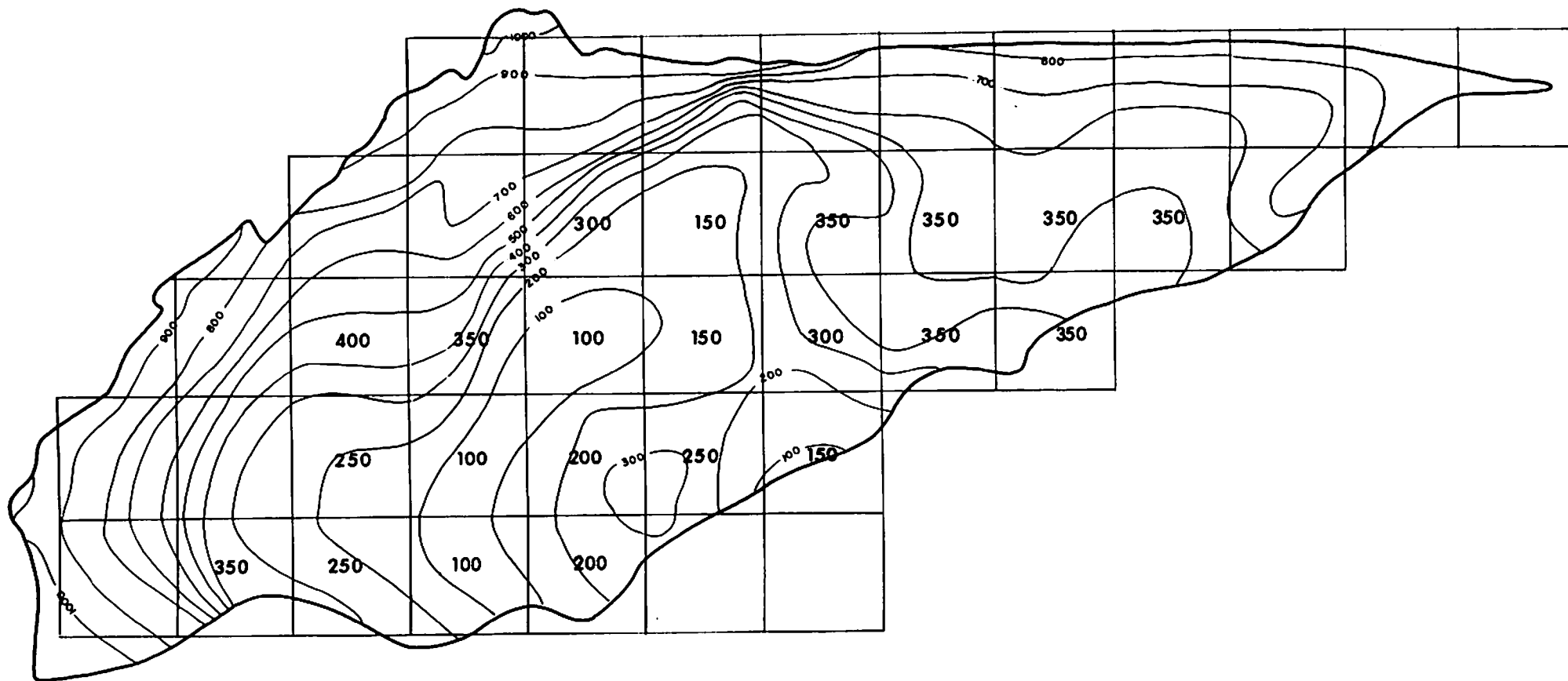
* **MURO, RM o TE, BOM.** Cotas en metros del muro del acuífero, techo del mismo y cota mínima de bombeo, impuesta para que la celda no se seque nunca. El valor de BOM suele ser ligeramente superior al de la cota de techo para que se pueda vaciar hasta casi el fondo. En este caso, se ha dado un valor unos 5 metros mayor que el de la cota del muro. Estos parámetros varían para cada celda, y están reflejados en los planos 5, 6 y 7, respectivamente.

* **SUE.** Cota topográfica del terreno en cada celda. El mapa de cotas puede observarse en el plano nº 8.

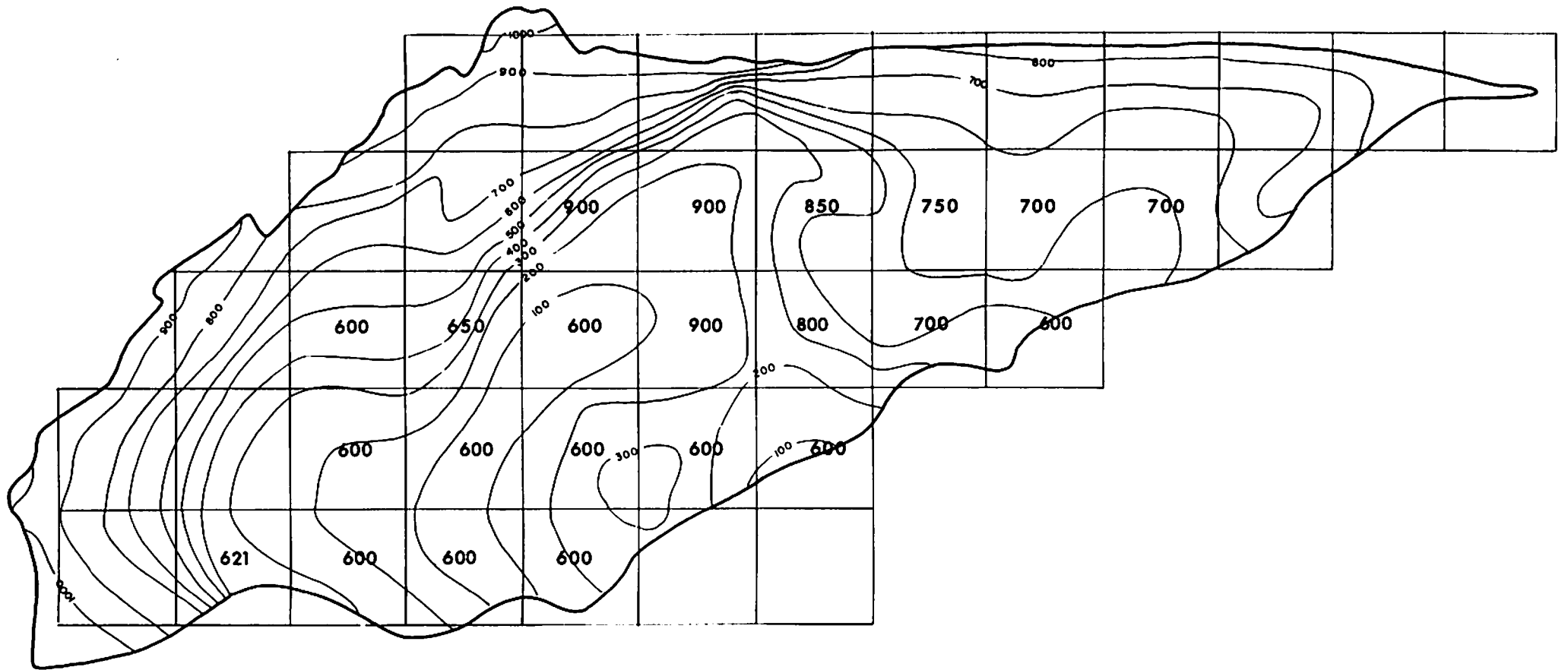
* **AREA.** Valor del área de la celda, en hm². En este caso, para todas las celdas este parámetro vale 100.



PLANO N° 5
MAPA DE COTAS DE TECHO



PLANO N° 6
MAPA DE COTAS DE MURO



PLANO N° 8
MAPA DE COTA TOPOGRAFICA

* **ALMAC.** Coeficiente de almacenamiento de cada celda.

* **TN.** Transmisividad de cada celda.

* **F.** Factor para el cálculo de la infiltración. En este modelo, dado que se supone que no hay infiltración, vale 0.

* **POL. VECINOS.** Número de orden de las celdas contiguas a una concreta por cada uno de sus lados. El criterio de numeración puede ser cualquiera, pero para todas las celdas obviamente debe ser el mismo. En este caso, se ha seguido el criterio del sentido de giro de las agujas del reloj, comenzando siempre por la celda situada inmediatamente encima de la considerada.

* **TR. LADOS.** Transmisividad de cada lado de la celda. Si se considera transmisividad de celda este parámetro debe ser cero, mientras que si se utilizan las transmisividades por lado, la de celda debe ser entonces cero.

En este caso se ha trabajado con transmisividades de celda, por eso, éstas otras valen siempre cero.

* **DIST. NODAL.** Distancia entre nodos consecutivos. Para el modelo en estudio, como todas las celdas son cuadradas y de 1000 metros de lado, este parámetro vale siempre 1000.

* **LONG. LADOS.** Longitud de cada lado de la celda, siguiendo el orden establecido anteriormente. En este caso, vale siempre 1000.

Las condiciones iniciales del modelo utilizadas son las siguientes:

* **COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO.** Se considera constante en cada celda e igual a 0.0008, valor obtenido en el ensayo de bombeo realizado en marzo de 1.994. Con este valor se obtuvieron unos resultados bastante satisfactorios durante la simulación de la recarga artificial del acuífero que se realizó con el modelo FRAD, cuyos resultados se exponen en el informe "Simulación del efecto de una recarga artificial en la formación acuífera Jijona mediante el programa de ordenador FRAD.", realizado dentro de este mismo Convenio de Asistencia Técnica.

* **TRANSMISIVIDAD.** Los valores iniciales de la transmisividad se comentarán en el

apartado 4, de calibración.

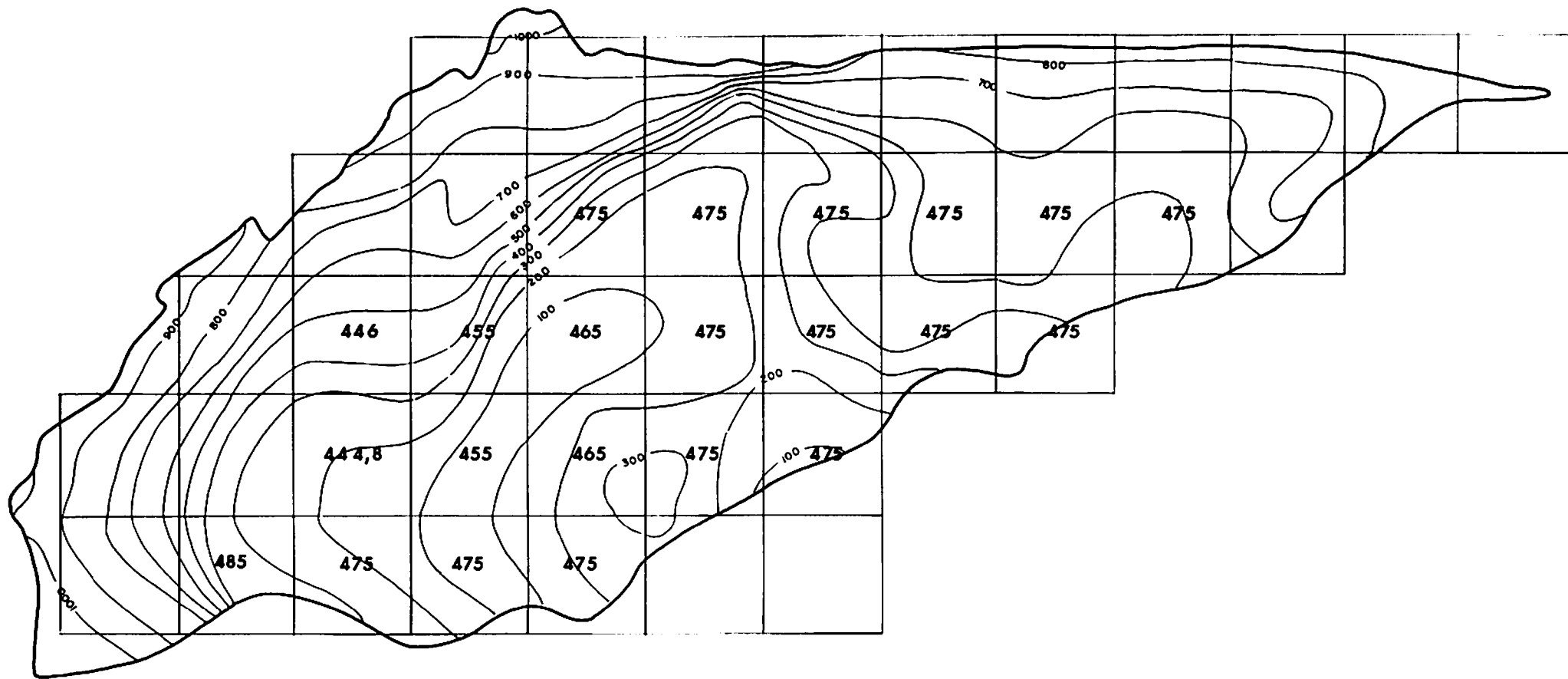
* **PIEZOMETRIA INICIAL.** El valor de la piezometría inicial es el que corresponde al período cero de la simulación. Debe ser un valor real en ese instante, pues si no lo es, los resultados del modelo no tendrán nada que ver con la realidad. En este caso, los valores iniciales de la piezometría se han dispuesto en base a un dato conocido del mes de comienzo de la simulación, que es mayo de 1.986, en la celda 14, que corresponde al pozo de Sereñat, cuyo nivel era de 444,8 msnm. Los valores de las demás celdas se han obtenido por interpolación a partir de éste, teniendo en cuenta la geometría del sistema. La matriz de valores iniciales de la piezometría se puede observar en el mapa nº 9.

3.7. CALCULO DE LOS ELEMENTOS DEL BALANCE.

Para calcular la recarga o descarga de agua en cada celda se ha de realizar un balance hídrico, teniendo en cuenta todas las condiciones que intervienen en la entrada o salida de agua en el acuífero:

* **INFILTRACION DE LLUVIA.** Esta cantidad debe ser la parte de la precipitación total que llega a almacenarse en el acuífero. La dificultad de utilizar una relación matemática entre la variable precipitación y la variable infiltración, ha obligado en este modelo a realizar una especie de calibración también de la infiltración como porcentaje del total de lluvia. Se han ajustado períodos cortos de tiempo considerando distintos porcentajes hasta que se ha conseguido un ajuste óptimo con los datos de niveles existentes en ese período.

Se han modelizado infiltraciones del 18%, del 30% y del 24%, obteniéndose con esta última el mejor ajuste. Por tanto, para todos los cálculos realizados con el modelo, se supone una recarga del acuífero por infiltración del 24% del total de la precipitación. Evidentemente, la consideración de este factor como un valor constante introduce un pequeño elemento de error, puesto que este valor no debe ser constante, dependerá de la



PLANO N° 9
MAPA DE PIEZOMETRIA INICIAL

cantidad y concentración de las lluvias. No obstante, este margen de error se considera aceptable y no supone un gran inconveniente a la hora de modelizar.

* BOMBEOS. Los datos de bombeos han sido facilitados al I.T.G.E por la Diputación de Alicante. Ya han sido comentados con anterioridad, y la totalidad de los datos disponibles se reflejan en cuadro nº 1, de la página 17.

En general son datos bastante aceptables.

3.8. DESCRIPCION DEL FICHERO DE ENTRADA DE LOS DATOS AL PROGRAMA.

A continuación se hace una descripción detallada de cómo y en qué orden hay que introducir los datos en un fichero para que el programa lo acepte y realice la simulación correspondiente.

Los valores sucesivos deben estar separados entre sí por espacios libres. Se introducen de la siguiente forma, en el mismo orden en que se indican:

* LINEA PRIMERA. Datos generales:

- número de polígonos
- número de polígonos reales
- máximo número de lados por polígono (NM)⁽¹⁾
- numero de períodos
- número de subperíodos por cada período
- error máximo residual
- coeficiente de relajación
- número máximo de iteraciones
- factor modificador de tiempo.

* LINEAS SUCESIVAS. Una línea por cada celda. Si los datos son muchos, pueden ocuparse varias líneas por celda, porque el programa lee automáticamente y diferencia en qué dato empieza la siguiente celda:

- número de orden de la celda
- parámetro LR
- parámetro M
- cota de muro
- cota de techo
- cota mínima de bombeo
- cota topográfica
- área de la celda
- coeficiente de almacenamiento
- transmisividad de celda
- parámetro F
- número de los polígonos vecinos de la celda en el modelo (hay que poner en total $NM^{(1)}$ números, completando si es necesario (celdas de borde) con ceros.
- transmisividad por lado (tantos números como lados activos tenga la celda)
- distancias nodales (tantos números como celdas activas contiguas haya)
- longitud de los lados (tantos números como lados con transferencia de flujo tenga la celda).
- valores de recarga/descarga (un valor para cada periodo) y añadir tantos ceros como periodos haya, que son los coeficientes de reparto, que permiten si se desea repartir porcentualmente los valores.
- piezometría inicial del primer período de simulación.
- serie de valores, en número igual al número de períodos que haya, que le indican al programa si tiene que calcular la piezometría en cada período, en cuyo caso se ponen ceros, o por el contrario algún período tiene piezometría impuesta, con lo cual en el lugar correspondiente a dicho período se introduce el valor impuesto, y el programa no lo calcula, sino que utiliza el que se le ha dado.

Una vez completado el fichero de datos, éste debe ser nombrado con extensión

".dat", para que el programa lo acepte.

Para que el programa funcione, se deben seguir los siguientes pasos:

- Desde el directorio donde está el mismo, teclear "start". El ordenador indicará "ok".
- Teclear el nombre del programa: "twml" si se desea que los datos de cada periodo de simulación sean impresos en papel. Si se elige esta opción, es imprescindible que la impresora esté perfectamente conectada y sin ningún fallo durante toda la simulación, puesto que si falla, el programa se detiene. Si no se desea utilizar la impresora, basta teclear "twm" y los resultados saldrán por pantalla. Una vez introducida esta orden, el ordenador volverá a indicar "ok".
- Teclear "F2" (run). El ordenador mostrará una pantalla en la que pedirá el nombre del archivo que ha de introducir en el programa.
- Teclear el nombre del archivo, sin .dat. El programa comienza a funcionar. La primera opción que presenta es la de mostrar los datos. Si se desea que el programa escriba los datos de entrada del fichero con el que va a trabajar, se le indicará "s" (minúscula), y si no, "n", o nada.

3.9. DESCRIPCION DEL FICHERO DE SALIDA DE DATOS.

Una vez detallada la estructura del fichero de entrada de datos, se va a completar esta descripción con la del fichero de salida de los datos de la simulación para cada período.

La primera línea de este fichero muestra tres valores: el primero de ellos (mes, o año), indica el número del orden del período dentro de la simulación. El segundo (Iter.) indica el número de la iteración en la que el programa ha encontrado la solución que tiene un error menor que el indicado. El tercero (Mod.), indica si ha habido una modificación en la cota mínima de bombeo (ver pág. 48 del anexo nº 1).

Aparecen a continuación tres líneas, que indican, por orden descendente, la cantidad

de agua almacenada en el acuífero en el período correspondiente, el valor de la descarga del acuífero en dicho período, y la recarga total, asimismo del período en cuestión.

A continuación, ordenadas por columnas, y con tantas filas como número de celdas existan, se reflejan los siguientes parámetros:

- n. : Número de orden de la celda.
- PIEZ. = H : Nivel piezométrico simulado.
- REC/DES : Valor que indica el balance total de agua en la celda en el período de simulación.
- (MODIF) : Valor que indica si se ha modificado la cota mínima de bombeo. (Ver pág. 48 del anexo nº 1).
- V. ALM. : Variación en el almacenamiento.
- SUR-INF. : Surgencia o infiltración habida en la celda.
- RESID. : Residuo habido en el período.
- H-Hp. : Variación de la piezometría entre el principio y el final del período.
- ERROR : Error en el caso de la piezometría predeterminada.
- tipo : Indica si la celda es confinada o libre.

Por último, se escriben los flujos que han tenido lugar entre las celdas. Se agrupan por filas, una fila por cada celda, y en cada fila se escribe el flujo habido por cada uno de los lados activos de la celda correspondiente.

4. CALIBRACION DEL MODELO.

El proceso de calibración del modelo consiste en obtener del mismo unos resultados lo más aproximados a los datos reales del sistema en un período lo más amplio posible. De esta forma, se facilita el poder contrastar los resultados con los datos reales y tener una seguridad suficiente de su bondad. Esto se consigue haciendo variar los parámetros

hidrogeológicos del sistema, es decir, la transmisividad, la permeabilidad, y el coeficiente de almacenamiento. Al realizar sucesivas pasadas del modelo con parámetros distintos, se obtendrán resultados diferentes, que irán cotejándose con los datos reales existentes y comprobando si se ajustan o no. Cuando se ha conseguido un grado de ajuste que se pueda considerar suficiente, habrá terminado el proceso de calibración.

Como la modelización es un proceso matemático que pretende reflejar la realidad, muchas veces es prácticamente imposible que del modelo se obtengan exactamente los mismos valores reales. En muchos casos se considera que el modelo está ajustado cuando reproduce con suficiente aproximación las tendencias que toman los valores reales a lo largo del tiempo ante las acciones exteriores sobre el sistema.

Una vez que se ha calibrado el modelo, si existen datos suficientes de otro período de tiempo distinto al de calibración, se realiza la validación del mismo. Este proceso consiste en hacer una pasada del modelo con los parámetros que se han obtenido en la calibración, y que ya no deben cambiarse nunca. Si los resultados que de dicha pasada se obtienen se consideran ajustados suficientemente a los reales, se podrá decir que el modelo está validado y listo para simular distintas alternativas, que ya no tienen porqué estar relacionadas con la realidad, sino que pueden ser supuestos de gestión del acuífero ante determinadas situaciones. En este caso, ante la ausencia de datos, no se ha podido realizar la validación como proceso independiente de la calibración, considerándose ésta última como una calibración-validación.

La calibración debe hacerse en régimen permanente o natural, sin influencia de las acciones externas sobre el sistema. En este caso no se ha podido realizar de esta manera porque los datos existentes de los niveles en el acuífero están relacionados con los bombeos realizados en el mismo, no existiendo datos de niveles antes de comenzar la explotación. Por tanto, no se dispone de los datos del acuífero funcionando en régimen natural. Por ello se realiza la calibración en régimen transitorio, aceptando los resultados con la salvedad indicada.

Si el proceso de calibración-validación es satisfactorio, se puede tener una alta seguridad de que los resultados que se obtengan en las simulaciones de cualquier hipótesis de gestión del sistema serán fiables.

En el caso del acuífero de Jijona, el proceso de calibración se ha realizado de la siguiente manera:

Como consecuencia de la inexistencia de un período suficientemente largo de datos que permita la realización de la calibración por un lado y de la posterior validación por otro, con períodos de tiempo diferentes e igualmente amplios, se ha optado por realizar calibraciones sencillas, con períodos de tiempo cortos, de dos años como máximo, hasta conseguir unos datos suficientemente ajustados a los reales.

Los primeros tanteos de calibración se han escogido de esta manera con el fin de ver el orden de variación de los niveles simulados con los reales y tener una idea aproximada de si los parámetros escogidos producían desviaciones importantes de dichos valores o no. Esto ha favorecido la rapidez de cálculo y ha permitido extender la calibración a más supuestos.

La primera calibración realizada ya ha sido comentada en el apartado 3.7., cuando se ha explicado la necesidad de calibrar el tanto por ciento de infiltración del agua de lluvia en el acuífero. Después de comprobar los resultados utilizando diversos porcentajes, se ha considerado que el tanto por ciento de infiltración que mejor simulación de los niveles reales produce es el 24%.

Posteriormente, se han calibrado los parámetros del sistema: transmisividad y coeficiente de almacenamiento. Este último se ha considerado constante e igual a 0,0008 en todas las celdas, en base a conocimientos previos que existían del acuífero.

Queda, pues, calibrar la transmisividad. La primera pasada del modelo se realizó con

una transmisividad constante e igual a $190 \text{ m}^2/\text{día}$ en todas las celdas, tomando como referencia los valores ya comentados del ensayo de bombeo. Esta distribución espacial de la transmisividad no proporcionó un buen ajuste, debido a que, como consecuencia de la misma, el agua se movía con dificultad entre las celdas, y especialmente en aquellas en las que existen bombeos. Por ello, los niveles en estas celdas (números 7, 14 y 19), eran siempre mucho menores que los reales, con lo cual el ajuste conseguido no puede considerarse aceptable. El archivo de entrada se denominó "prueba1.dat", y se acompaña en el anexo nº 2.

Posteriormente, se trató de ajustar este flujo de agua poniendo un valor de transmisividad muy alto en todas las celdas. Se optó por colocar $2.500 \text{ m}^2/\text{día}$, valor constante e igual en todas las celdas. El ajuste así obtenido tampoco resultó adecuado, en este caso porque ocurría justamente lo contrario que en el caso anterior: los niveles subían mucho y siempre quedaban por encima de los reales, incluso en algún caso subían por encima de la cota del techo de la celda. Por tanto, tampoco se consideró. El archivo de entrada para esta segunda calibración se denomina "prueba2.dat", y se acompaña en el anexo nº 2.

A la vista de los problemas planteados, se demostraba que la transmisividad no podía considerarse constante en todas las celdas. No obstante, la variabilidad en los niveles que se había obtenido con una transmisividad baja y otra alta estaba indicando que para favorecer la salida del agua por las celdas de bombeo, éstas deberían tener valores de transmisividad mucho mayores que el resto de celdas. En base a esta consideración, se asignaron valores de transmisividad de $2.500 \text{ m}^2/\text{día}$ para las celdas que extraen agua, y para las colindantes con ellas, y valores de $190 \text{ m}^2/\text{día}$ para las demás celdas. Esta distribución de transmisividades se refleja en el plano nº 10, y proporcionó un buen ajuste que se consideró suficiente, porque reproduce con muy buena aproximación las tendencias de los valores reales de la piezometría.

Cuando se ha contrastado la validez de los parámetros calibrados en esos períodos

cortos de tiempo para varios de ellos a la vez, entonces se ha considerado que esos parámetros son los que ajustan el modelo.

Para completar este proceso, la calibración se ha extendido a un período mucho más largo, que abarca más de 7 años, en concreto 87 meses, con datos fiables, con objeto de comprobar la bondad de los parámetros así calibrados. Este segundo proceso, que denominaremos de calibración-validación, se ha extendido al período **MAYO 1986** (período de simulación nº 1) **A JULIO 1993** (período de simulación nº 87), en el que se dispone de mejores datos de niveles piezométricos y bombeos. Para el ajuste de los valores de los niveles simulados por el modelo con los reales, hay que tener en cuenta que el hecho de que los puntos de observación no sean piezómetros en sentido estricto, sino pozos de bombeo, que están funcionando alternativamente en el tiempo, produce unas medidas en algunos casos no válidas para el ajuste. Dichas medidas corresponden a los niveles medidos cuando el/los pozos están en funcionamiento, ya que estos niveles son dinámicos, y están influenciados por los bombeos, con lo cual no sirven para ajustar el modelo. Esta es la razón por la cual todos los valores de niveles dinámicos se han desechado, y no aparecen en el proceso de calibración, ni en los gráficos correspondientes.

El ajuste conseguido en este proceso de calibración-validación se ha considerado aceptable porque el modelo ha reproducido con suficiente aproximación la tendencia que sigue la evolución de los niveles piezométricos con el tiempo. Hay que señalar que el modelo calibrado debe reproducir bien las tendencias de los valores del nivel piezométrico, y no los valores puntuales, puesto que éstos son prácticamente imposibles de obtener en un proceso tan complejo y en el que intervienen tantas variables, muchas de ellas no conocidas con exactitud.

El fichero con los datos utilizados en la calibración del modelo se denomina "calibra.dat", y se acompaña, junto con el resultado de la calibración-validación en el anexo nº 2.

Con los datos proporcionados por el modelo, se han elaborado los gráficos nº 1, 2 y 3, en los cuales se ha representado la evolución piezométrica real y simulada en las celdas nº 7 (pozo de Rosset), nº 14 (pozo de Sereñat) y nº 19 (pozo de Pineta). En estos gráficos se puede comprobar que la tendencia de los valores simulados coincide con bastante aproximación con la de los reales, con lo cual se puede decir que el modelo está calibrado con los parámetros ya comentados. Nótese que, en los datos reales hay intervalos en los que parece que el ajuste no es bueno. Esto ocurre en los siguientes intervalos:

- Pozo de Sereñat. Entre finales de 1987 y marzo de 1991.
- Pozo de Pineta. Entre septiembre de 1988 y julio de 1990; anterior a julio 1988, y entre septiembre de 1990 y septiembre de 1991.
- Pozo de Rosset. Entre septiembre de 1987 y julio de 1990, y entre agosto de 1992 y febrero de 1993.

La razón de que esto ocurra es la ausencia de datos fiables de niveles reales en los períodos comentados, bien porque éstos no se hayan tomado, o porque correspondan a instantes en los cuales los pozos están funcionando, con lo cual son niveles dinámicos, que no se pueden utilizar en la modelización.

En el plano nº 11 se representan los niveles piezométricos de cada celda después del período de calibración, que servirán como niveles iniciales para posteriores simulaciones.

5. SIMULACION DE DIFERENTES ALTERNATIVAS DE EXPLOTACION DEL ACUIFERO.

Una vez calibrado el modelo, se puede realizar la simulación de cualquier alternativa de gestión del acuífero, en base a las necesidades existentes o previsibles en un futuro. El abanico de posibilidades es muy grande, puesto que lo único que debe cambiarse son los valores de recarga o descarga por período y el número de períodos que se quieran simular.

MODELO ACUIFERO DE JIJONA

Pozo de Rosset

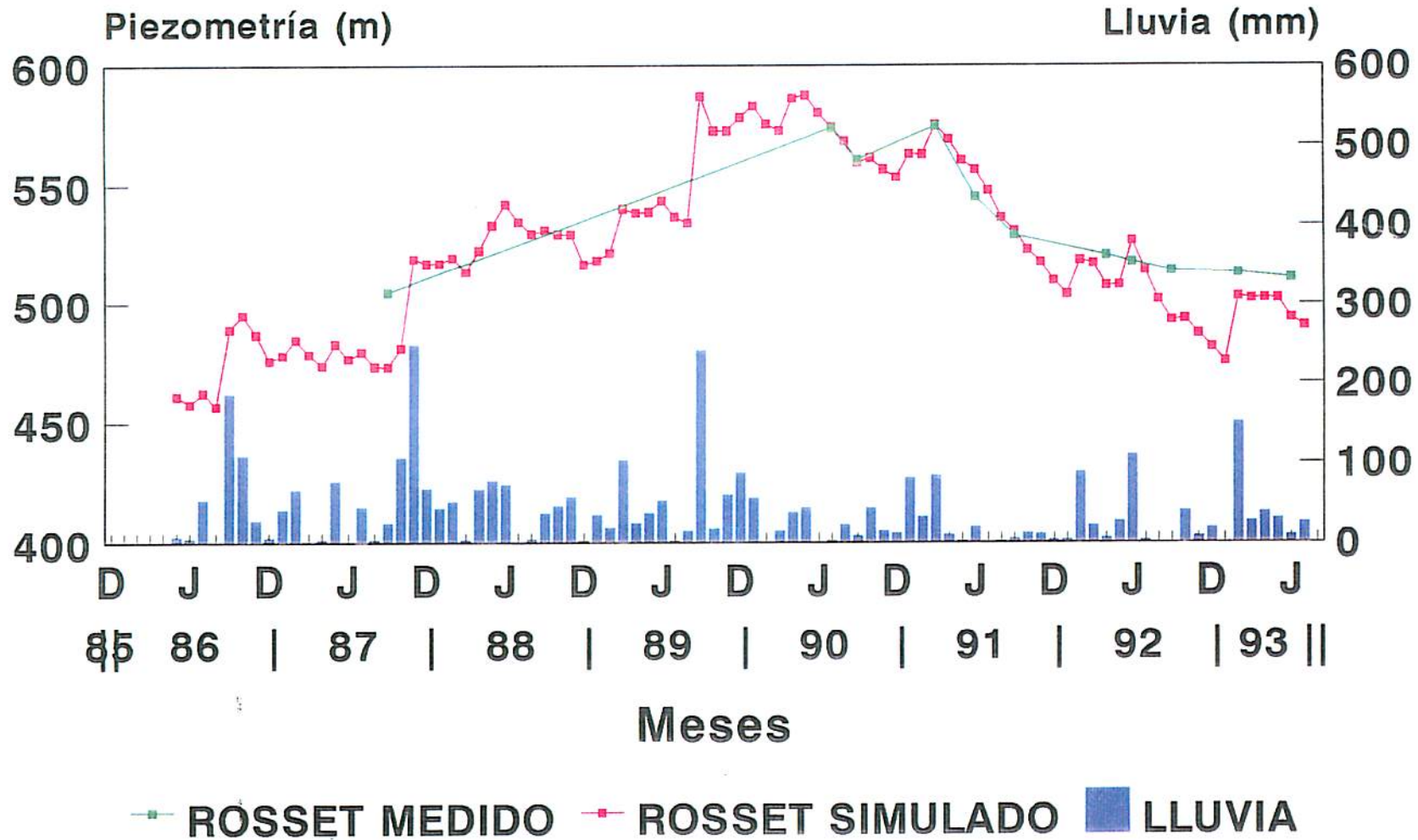
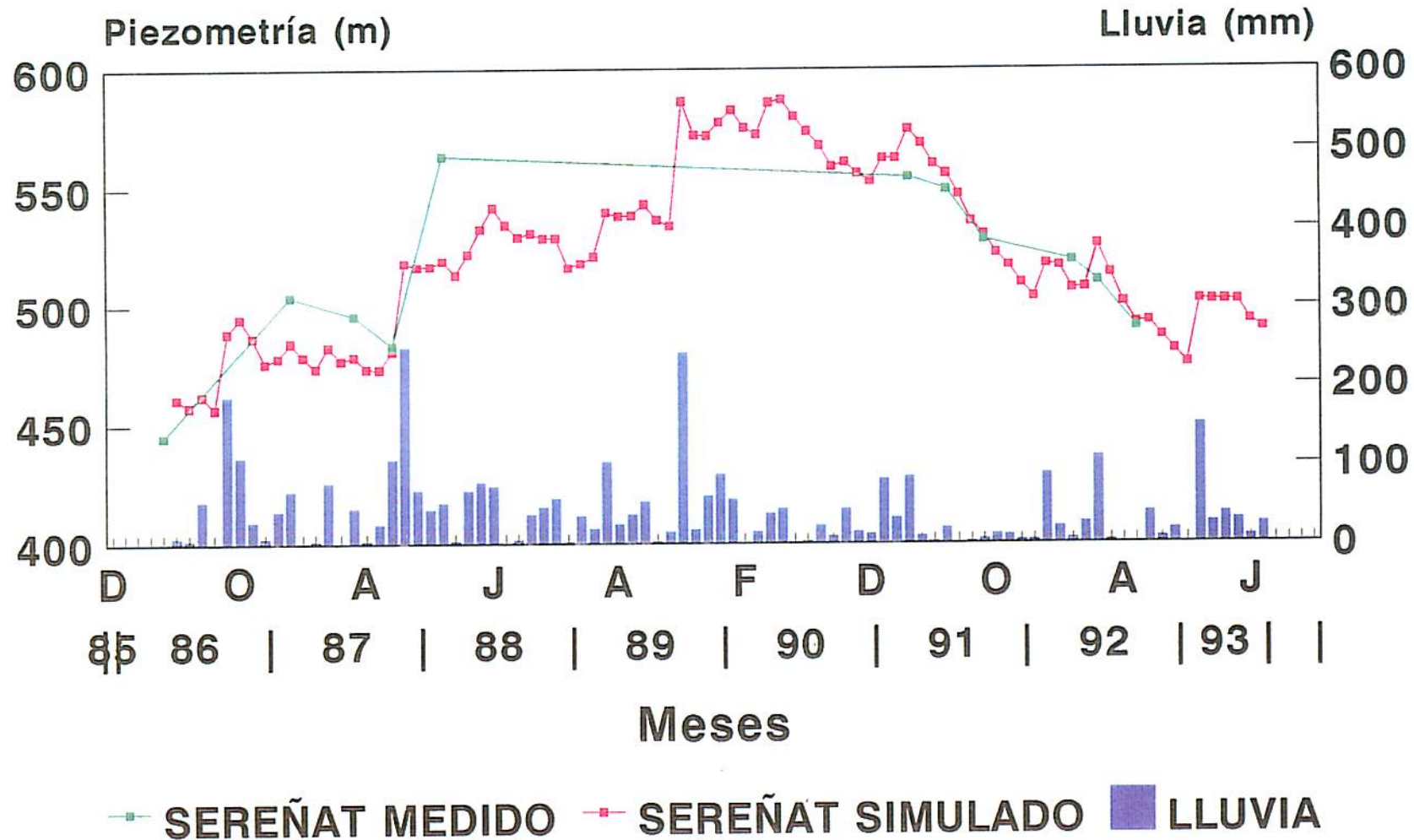
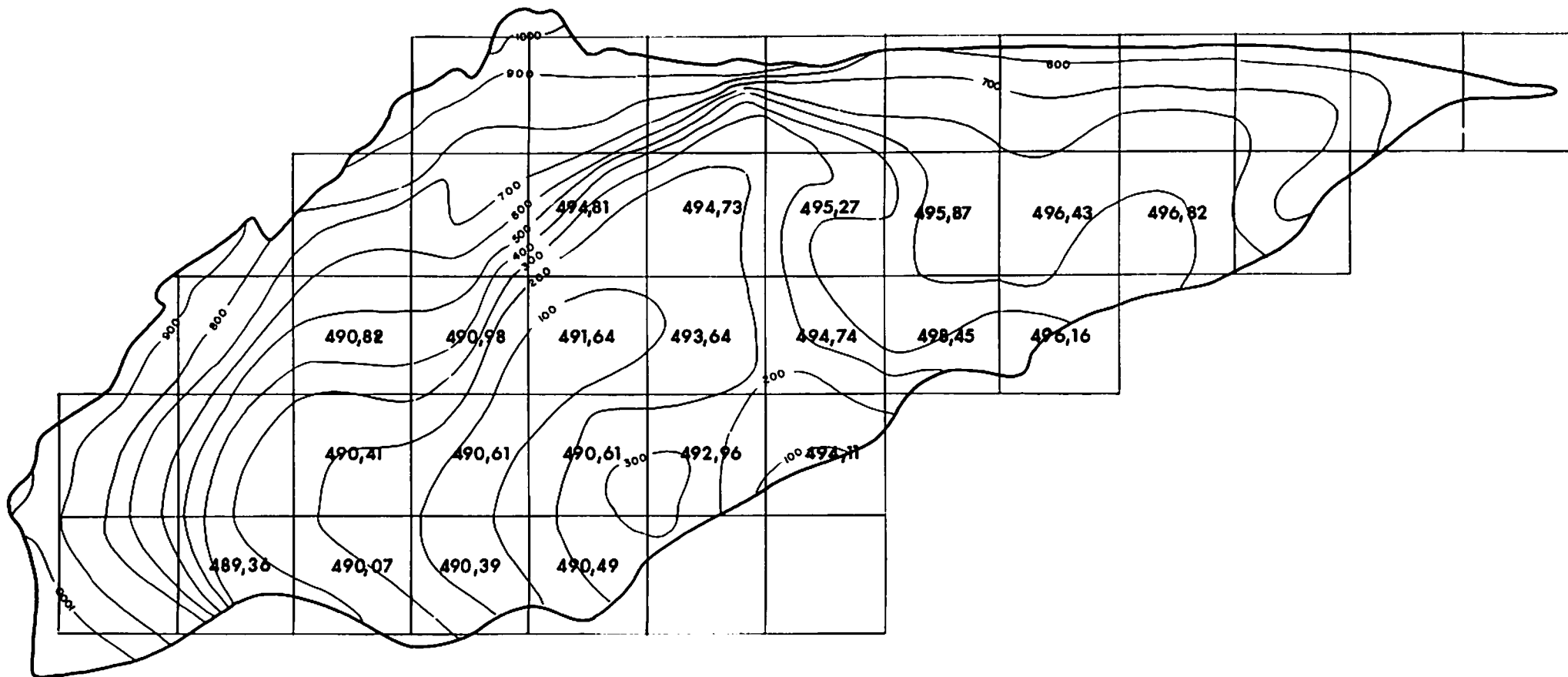


Gráfico nº 1. Pozo de Rosset calibrado.

MODELO ACUIFERO DE JIJONA

Pozo de Sereñat





PLANO N° 11

MAPA DE PIEZOMETRIA AL FINAL DEL PERIODO DE CALIBRACION
 PIEZOMETRIA INICIAL PARA POSTERIORES SIMULACIONES.

Los parámetros del modelo ya están calibrados, y por tanto los resultados de la modelización, con las salvedades descritas en puntos anteriores de este estudio, podrán darse por buenos.

A continuación se han simulado varias alternativas de comportamiento del sistema ante diferentes posibilidades. Se han simulado períodos de pluviometrías diversas, así como la recarga artificial del acuífero en varias hipótesis.

5.1. PLUVIOMETRIAS VARIABLES.

Con objeto de observar el comportamiento del acuífero ante épocas de pluviometría variables, se ha considerado interesante simular varios períodos diferentes con condiciones de lluvia distintas. La simulación se ha realizado por períodos bianuales, con objeto de no hacerla en exceso complicada.

En los ejemplos estudiados a continuación, se ha tomado como valor del nivel piezométrico al principio de la simulación el obtenido por el modelo calibrado para el último período de la pasada de calibración.

5.1.1. AJUSTE DE GOODRICH PARA LOS VALORES DE PLUVIOMETRIA VARIABLE.

El ajuste de Goodrich se utiliza para obtener la probabilidad de ocurrencia de un determinado fenómeno, en este caso la lluvia, que toma diferentes valores a lo largo del tiempo. Este ajuste sirve para distribuir todos los rangos de precipitaciones que han tenido lugar en una serie histórica, en función de sus probabilidades. Se puede tener así una representación precipitación - probabilidad que nos permite distinguir entre los valores de lluvia entre años secos, medios o húmedos.

Con los datos de precipitaciones históricos de las estaciones de Jijona y Tibi, una vez realizado el ajuste de Goodrich, se obtienen los siguientes resultados:

TIPO DE AÑO	PLUVIOMETRIA ANUAL
Muy seco	Menor de 300 mm/año
Seco	300 - 360 mm/año
Medio	360 - 400 mm/año
Húmedo	460 - 600 mm/año
Muy húmedo	Mayor de 600 mm/año

5.1.2. SIMULACION DE DOS AÑOS SEGUIDOS SECOS.

La primera de las simulaciones con períodos de pluviometría variable se ha realizado para el caso de dos años seguidos pluviométricamente secos. Estos años son muy abundantes en la zona en estudio, por lo cual su estudio es de interés. Para hacer esta simulación se han tomado como datos de lluvias los datos reales de dos años secos, según el ajuste de Goodrich. Los datos de extracciones corresponden, asimismo, a datos reales del mismo período de tiempo que los de lluvias.

Los años que se han tomado para esta simulación han sido 1.990 y 1.991, ambos años secos. El año 1.990 tiene una pluviometría de 354,8 mm., mientras que 1.991 tiene 298,4 mm. En el mes de diciembre de 1991 se ha considerado una lluvia de 50 mm, en vez de los 3,8 mm reales. Ello es debido a que el modelo, para el caso de la simulación de períodos largos de poca recarga neta de agua en el acuífero, como es el caso de poca lluvia y extracciones normales, no funciona bien, porque los niveles bajan mucho en las celdas en que existe bombeo, llegando a situarse por debajo de la cota del techo de la celda, con lo cual el programa aborta, puesto que en ese caso la celda dejaría de ser confinada para pasar

a ser libre, condición ésta que no admite el programa.

Por este motivo ha sido necesario realizar este artificio con la lluvia del mes de diciembre de 1.991, último mes de la simulación. Así pues, la lluvia total de 1.991 para esta simulación resulta ser 344,6 mm. Este hecho debe tenerse en cuenta a la hora de realizar nuevas simulaciones de supuestos de años secos.

La razón de utilizar datos reales en la simulación de años futuros, en lugar de utilizar otros datos es doble:

- Por un lado, la mayor facilidad de elaboración de los datos, puesto que ya existen.
- Por otro lado, la coherencia entre los datos de lluvias con los de extracciones correspondientes al mismo período de tiempo, lo que favorece la obtención de resultados coherentes.

El fichero de entrada para esta simulación se denomina "Seco41.dat", y se acompaña, junto con la pasada correspondiente del modelo, en el anexo nº 3.

En el gráfico nº 4 se observa la evolución de los niveles simulados por el modelo para este supuesto. En este gráfico se puede observar que los niveles bajan considerablemente ante la presencia de años secos seguidos, hasta el punto de que el programa aborta porque los niveles caen por debajo de la cota del techo de la celda. Obsérvese que, a partir del mes de abril del segundo año de la simulación, que aquí se ha supuesto 1996, al no existir prácticamente lluvia, los niveles caen en picado. Este hecho es coherente con la estructura y comportamiento confinado del acuífero, en el que los niveles dependen mucho del binomio recarga-descarga.

Hay que reseñar que, aunque en la realidad el nivel podría descender por debajo de la cota del techo de la celda, el programa no admite esta posibilidad y aborta.

Obsérvese por otra parte que el supuesto de simulación ha utilizado los datos de

MODELO ACUIFERO DE JIJONA

Simulación con dos años seguidos secos

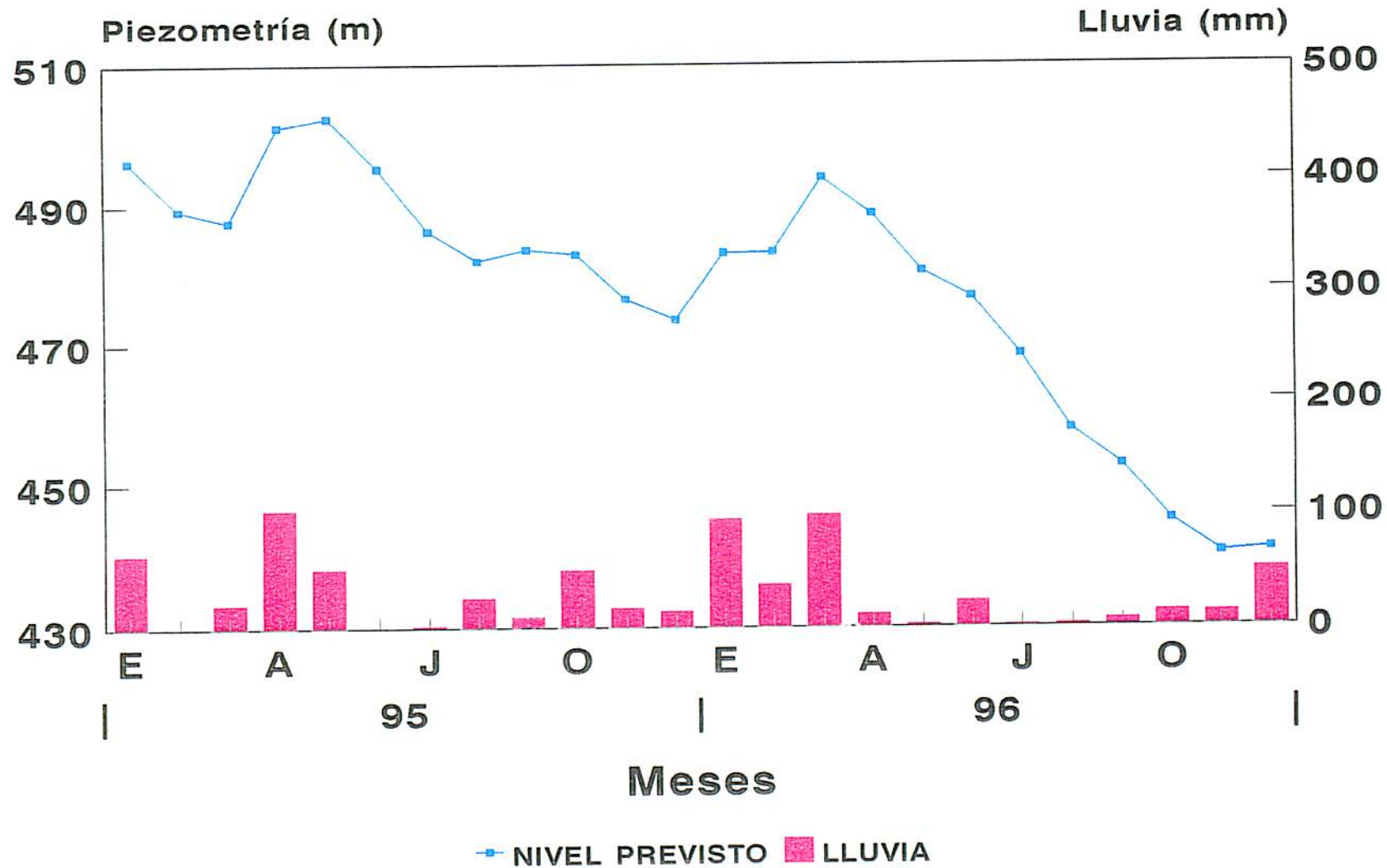


Gráfico nº 4. Niveles simulados con dos años secos

extracciones correspondientes a los años 1.990 y 1.991. Es de suponer que, en un futuro, las cantidades de agua extraídas de los pozos vayan aumentando, con lo cual los valores de recarga neta del acuífero serían aún menores, y los niveles bajarían más.

La conclusión que se extrae de esta sencilla simulación es que, ante la presencia de años secos, los niveles del acuífero descenderán de una forma importante, y, en su caso, será necesaria la adopción de medidas para que no se produzca un agotamiento de los recursos. No obstante, como se verá más adelante, el acuífero responde también con rapidez a fuertes lluvias, produciéndose un ascenso de niveles cuando éstas se producen.

5.1.3. SIMULACION DE DOS AÑOS SEGUIDOS HUMEDOS.

Otra hipótesis interesante sería comprobar cómo evolucionan los niveles del acuífero ante años húmedos. Para realizar esta simulación se ha seguido un proceso similar al descrito para dos años secos. Es decir, se han tomado datos reales de lluvias y bombeos para un período de dos años secos seguidos. Los años escogidos han sido 1.987 y 1.989, ambos años muy húmedos. La pluviometría de 1.987 fue 673,7 mm., mientras que la de 1.989 fue de 807,1 mm.

El archivo de entrada se denomina "húmedo.dat", y se acompaña con los resultados de la simulación en el anexo nº 3.

Con los valores de niveles simulados se ha confeccionado el gráfico nº 5. De su observación se deduce la rapidez con que el acuífero recupera los niveles ante períodos de fuertes lluvias. Nótese que el nivel se recuperaría casi 100 metros en el período considerado y con las condiciones consideradas, lo cual induce a pensar en que el acuífero tiene una respuesta muy rápida a lluvias fuertes en el sentido de aumentar mucho los niveles piezométricos, con la consiguiente recuperación de recursos.

MODELO ACUIFERO DE JIJONA

Simulación con dos años seguidos húmedos

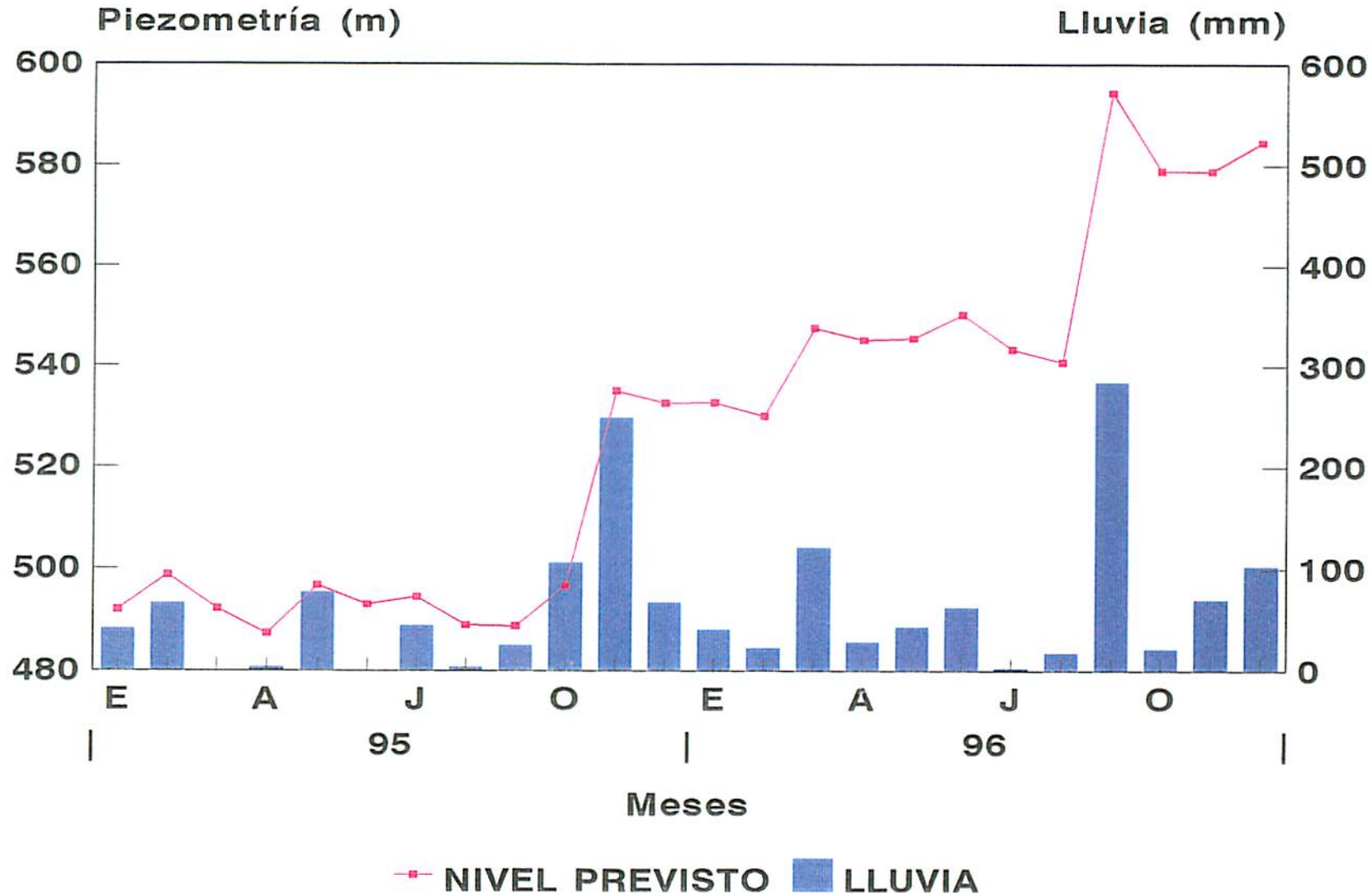


Gráfico nº 5. Niveles para la simulación de dos años húmedos.

5.1.4. SIMULACION DE DOS AÑOS SEGUIDOS DE TIPO MEDIO.

Para ampliar este estudio sobre el comportamiento del acuífero ante períodos bianuales de pluviometrías diferentes, se realiza la simulación con dos años seguidos de tipo medio pluviométricamente hablando. Para esta simulación se han elegido los años 1990/91 y 1986/87, años hidrológicos medios, cuyas pluviometrías respectivas fueron de 349,8 mm. y 396,1 mm.

El programa realizó la correspondiente simulación, mediante el archivo de entrada "medio.dat". Los resultados se muestran en el anexo nº 3.

Con los datos obtenidos por el programa se ha realizado el gráfico nº 6. En él se observa que los niveles descienden paulatinamente, porque no hay gran cantidad de agua en este período. Se observa un pequeño aumento de nivel en los tres primeros meses de la simulación, como consecuencia de un período algo más lluvioso, pero posteriormente, los niveles descienden como consecuencia de las escasas lluvias y del régimen de bombeos. Nótese que existen pequeñas recuperaciones coincidentes con períodos de lluvias algo significativas.

5.1.4. SIMULACION DE UN PERIODO DE 6 AÑOS.

Por último, para completar este estudio se ha realizado la simulación de un período de tiempo aleatorio y con gran variabilidad pluviométrica, con tendencia a años secos, que son los que abundan en la zona de Jijona. Se ha escogido un período de 6 años, que se considera representativo a escala hiperanual del régimen de lluvias de la cuenca, dividido en 72 períodos de simulación, identificados con los meses correspondientes.

La serie de años escogida ha sido la siguiente:

MODELO ACUIFERO DE JIJONA

Simulación de dos años seguidos de tipo medio

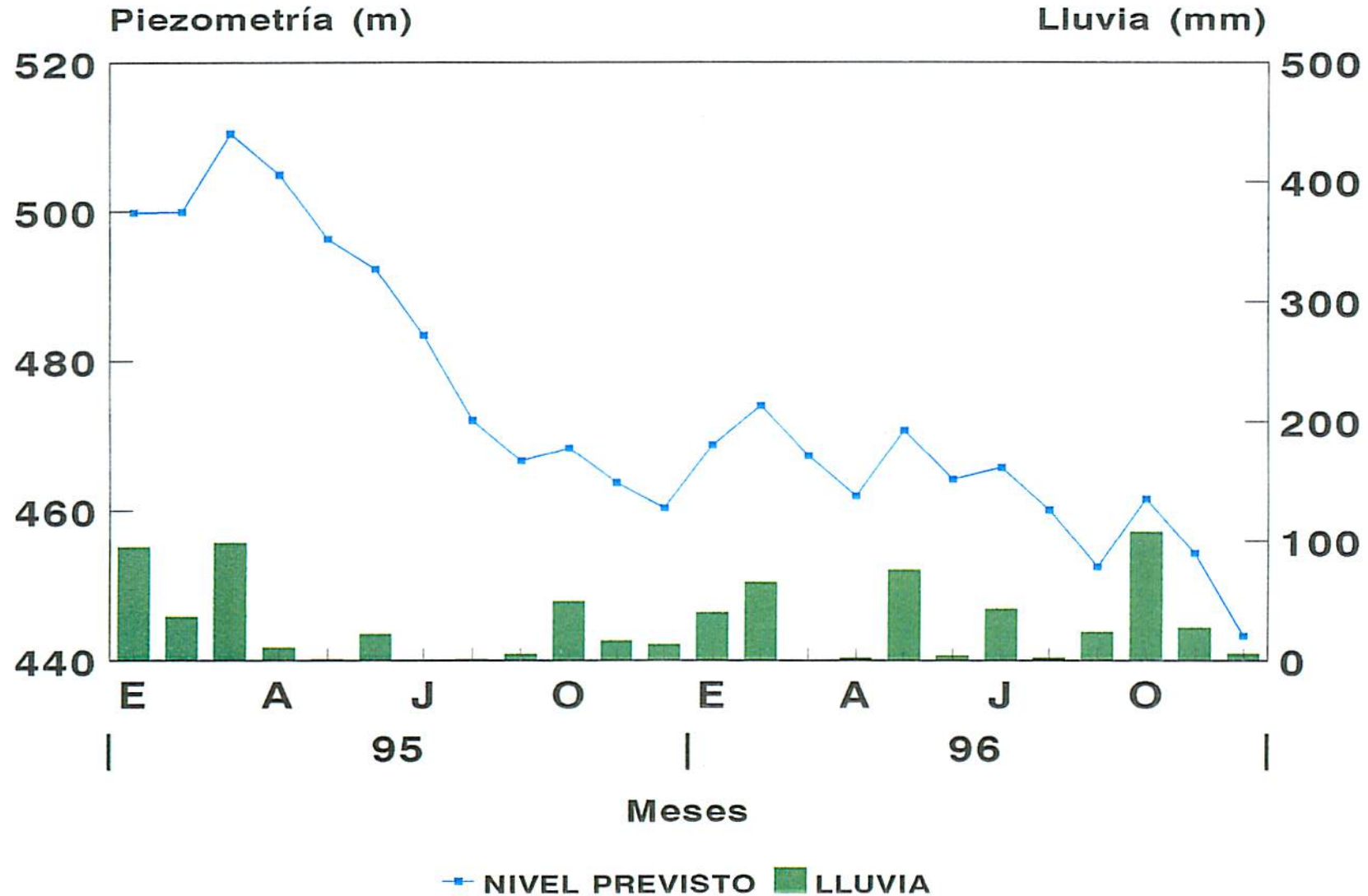


Gráfico nº 6. Niveles simulados con dos años tipo medio

Seco - Muy húmedo - Húmedo - Medio - Medio - Seco.

Este período corresponde a los años de : 1991 - 1987 - 1989 - 1986 - 1992 - 1990.

De la misma manera que se hizo con anterioridad, los datos corresponden a las lluvias y bombeos reales de los años que se han escogido para esta simulación.

El fichero de entrada de los datos se denomina "seisaños.dat", y se acompaña junto con los resultados de esta simulación en el anexo nº 3. Se ha elaborado un gráfico con la evolución piezométrica simulada.

En dicho gráfico, que corresponde al nº 7, se observa la evolución previsible con el régimen de lluvias y bombeos escogido. La conclusión más significativa que se extrae del gráfico es de nuevo la rapidez de la respuesta del sistema a los períodos de fuertes lluvias, como en este caso serían a finales de 1996 y septiembre de 1997, con una fuerte recuperación de niveles. Hacia el final del período de simulación, en que se han colocado los años más secos, los niveles comienzan a descender paulatinamente. Esta situación es similar a la que se vive actualmente, en la cual, tras un período largo de falta de lluvias, los niveles han descendido mucho. No obstante, en base a estos resultados, es previsible que un futuro intervalo de tiempo con lluvias importantes facilite la rápida recuperación de los niveles.

La conclusión que se puede extraer de este estudio de comportamiento del acuífero ante períodos de diferente pluviometría es que en todos los casos estudiados se demuestra una rápida respuesta del sistema a las lluvias, con un aumento significativo de los niveles cuando éstas son muy fuertes, aún teniendo en cuenta las extracciones por bombeos. Por el contrario, cuando existe época de sequía, los niveles comienzan a bajar paulatinamente, debido tanto a las características del acuífero como al régimen de explotación, que produce un vaciamiento del acuífero cuando no le entra agua por lluvia, pudiendo llegar a ser la disminución de los niveles ciertamente importante.

MODELO ACUIFERO DE JIJONA

Simulación con un período de 6 años.

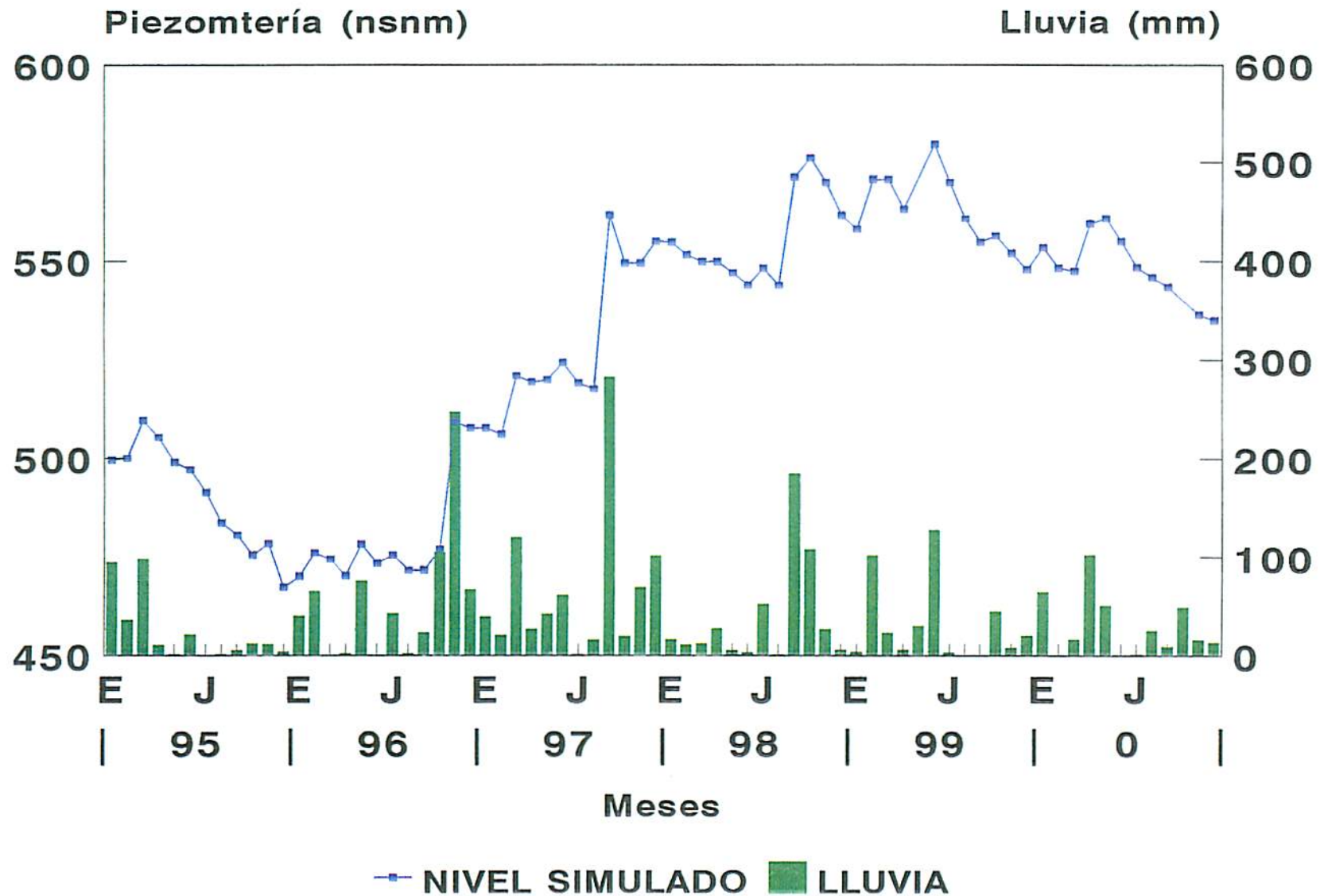


Gráfico nº 7. Niveles simulados con un período de 6 años.

5.2. RECARGA ARTIFICIAL DEL ACUIFERO.

Un aspecto muy importante a la hora de gestionar los recursos del acuífero es el aprovechamiento de los posibles excedentes de agua de la zona para realizar una recarga artificial del mismo.

Como se ha comprobado previamente con las simulaciones realizadas, el acuífero responde rápidamente a entradas de agua, que en el proceso anterior se han supuesto lluvias, pero que podrían ser igualmente aguas procedentes de una recarga artificial.

En las proximidades del acuífero de Jijona existe otro acuífero, denominado de Carrasqueta, que funciona en régimen natural, sin extracciones artificiales. Es un acuífero de tipo kárstico, geológicamente similar en cuanto al tipo de roca acuífera al de Jijona, que se recarga directamente por infiltración de lluvia, y descarga por dos manantiales, conocidos como Fuente de Nuches y Fuente de Llentiscar. Esta última es de menor importancia que la primera, y en la zona se conocen ambas bajo la denominación de Fuente de Nuches. Los recursos de dichos manantiales actualmente se almacenan conjuntamente en un depósito construido al efecto en el punto de descarga para su posterior uso como agua de riego, y parte también como abastecimiento a Jijona, mediante una conducción conectada con el depósito de agua del pueblo. Existen épocas del año en que se producen excedentes en la fuente de Nuches que no son utilizados para ninguno de los dos fines anteriores. Con estos excedentes se pretende realizar una recarga artificial del acuífero de Jijona.

Asimismo, en el punto de vertido de la cuenca del río Coscón, en el punto conocido como Cabezo de Machet, en Peñas Rosset, se ha construido una presa de retención del agua que, procedente de avenidas o lluvias importantes, discurre por los barrancos de dicha cuenca en forma de escorrentía superficial. Los recursos de agua que se generan por este proceso han sido evaluados en el informe "Evaluación de excedentes hídricos y diseño óptimo de una instalación de recarga artificial en el Barranco del río Coscón, Jijona (Alicante)", realizado dentro del Convenio de Asistencia Técnica entre el I.T.G.E. y la

Diputación de Alicante. Dichos recursos pretenden utilizarse para realizar una recarga del acuífero de Jijona.

En este apartado de la modelización, se va a simular la respuesta del acuífero a estos dos tipos de recarga comentados.

5.2.1. SIMULACION CON EXCEDENTES DEL MANANTIAL DE NUCHES.

Debido a la falta de series largas de datos de aforo del manantial de Nuches, se hace difícil la simulación de una recarga del acuífero de Jijona con los excedentes provenientes de dicho manantial. Los únicos datos disponibles se reflejan en el cuadro nº 2 adjunto.

CUADRO Nº 2. Datos de aforo en los manantiales de Nuches y Llentiscar.

FECHA	CAUDAL (l/s)	FECHA	CAUDAL (l/s)
29-3-74	50	13-2-90	22
20-11-76	7	29-4-90	19
31-10-86	53	11-7-90	19
21-9-87	7	16-10-90	13
24-11-87	75	14-1-91	9
2-11-88	7	10-7-91	8
17-1-89	4	25-9-91	15
20-9-89	101	16-1-92	8
9-11-89	13		

Como orientación hay que señalar que el manantial de Nuches nunca se seca, según las declaraciones de los lugareños, manteniendo un caudal mínimo de unos 4 l/s. Por otra parte, parece responder de forma casi inmediata a las lluvias, registrando puntas de caudal

correspondientes a grandes precipitaciones de hasta 700 l/s.

Para la simulación de la recarga artificial hay que tener en cuenta que los excedentes del manantial son conducidos por una tubería de capacidad máxima 40 l/s. Por tanto, aunque el excedente sea mayor, el resto no podrá contabilizarse porque no puede ser transportado por la tubería. Para el modelo, pues, siempre que haya excedentes con caudales superiores, éstos tendrán un valor de 40 l/s, sea cual sea su valor.

De estos 40 l/s, aproximadamente 28 l/s se utilizan para abastecimiento de Jijona, como complemento de los pozos de extracción. Quedarían, pues, solamente 12 l/s para efectuar la recarga artificial del acuífero de Jijona. No obstante, en la simulación, la cantidad de agua recargada por período con excedentes del manantial ha sido de 40 l/s, ya que se ha supuesto que los 28 l/s que se derivan hacia el depósito de abastecimiento a Jijona no harán falta ser bombeados, por lo que se puede asimilar esa falta de bombeo a una inyección de la misma cantidad de agua, con lo cual entre lo que realmente entraría en el acuífero y lo que deja de salir, se tendrán los 40 l/s reseñados.

* La primera simulación se hizo con los excedentes de los meses de octubre 1986, noviembre 1987 y septiembre 1989. La inyección de agua se ha realizado en la celda nº 14, que corresponde a la celda donde se sitúa el pozo de inyección construido recientemente.

El fichero de entrada lleva el nombre "nuchrec1.dat", y es idéntico al de calibración del modelo, pero con los nuevos valores en los tres períodos señalados en la celda 14. Este archivo, junto con el resultado de la pasada del modelo, se adjunta en el anexo nº 4.

Con los datos proporcionados por el modelo, se ha representado gráficamente la evolución piezométrica en la celda 14 que se hubiera tenido si se hubiese hecho la recarga artificial. Se ha escogido esta celda porque en ella existe un pozo construido específicamente para realizar la recarga artificial. Ver el gráfico nº 8.

MODELO ACUIFERO DE JIJONA

Simulación de la recarga con 3 períodos de excedentes de Nuches

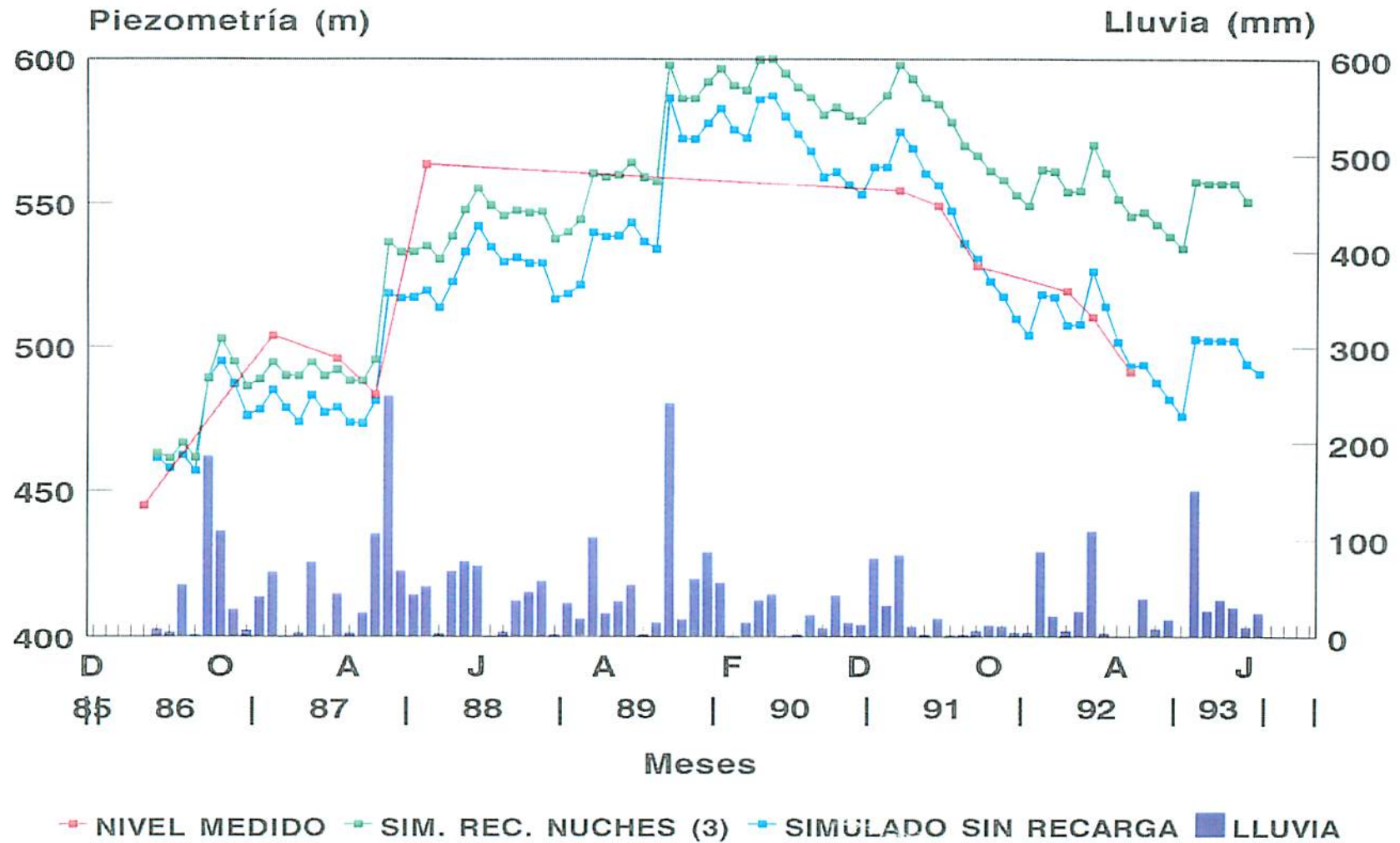


Gráfico n° 8. Niveles simulados para la recarga con excedentes de Nuches.

En el gráfico nº 8 se puede ver la relación entre los niveles piezométricos del modelo calibrado sin recarga y los obtenidos en la simulación realizada con tres períodos de recarga con excedentes del manantial de Nuches. Como se puede observar, los valores de los niveles simulados durante el último período de cálculo en el caso de recarga con excedentes del manantial son del orden de 50 metros mayores que los simulados sin esta recarga. Esta diferencia es muy ilustrativa del efecto que sobre los niveles tiene una recarga artificial, demostrando una vez más el gran interés de la misma para el acuífero de Jijona.

Nótese en los datos de la pasada del modelo que los niveles alcanzan, en el período 49 de la simulación, que corresponde a mayo de 1.990, el valor 599,99 m en la celda 7. Hay que recordar que en esta celda está el manantial de Rosset, que no ha intervenido en la simulación por razones expuestas en apartados anteriores, y cuya cota es de 600 m. Por tanto, en condiciones ligeramente más favorables, podría incluso recuperarse este manantial.

* La segunda simulación que se ha realizado con los excedentes de la fuente de Nuches ha consistido en considerar que, en períodos de similares características pluviométricas que aquellos de los cuales se dispone de datos de aforo de la fuente, y que proporcionan los excedentes considerados en la primera simulación, también va a existir un excedente de agua que se va a poder utilizar en la recarga, aunque no se disponga del dato de caudal de la fuente.

Así, al modelo anterior, se le han añadido varios períodos más con excedentes de agua en la fuente. Basándose en una correlación simple de los datos de precipitación y de caudal del manantial, así como en la curva que representa el hidrograma unitario de la fuente, tomada del estudio de la deconvolución del manantial realizado por la empresa TEYGESA para el Instituto Tecnológico Geomimero de España y la Diputación Provincial de Alicante, se han considerado los siguientes nuevos períodos con excedente de agua en la fuente de Nuches:

- Marzo 89 (periodo 35) : 20 l/s.

- Enero 91 (período 57) : 20 l/s
- Marzo 92 (período 71) : 25 l/s
- Julio 92 (período 75) : 20 l/s
- Febrero 93 (período 82) : 40 l/s

Los resultados de la calibración se acompañan, junto con el fichero de entrada, llamado "nuchrec2.dat", en el anexo nº 4.

A la vista de dichos resultados, se puede observar que el modelo no ha podido completar todo el período de cálculo, debido a que en el período nº 49 de la simulación los niveles calculados por el programa superan a la cota del terreno en la celda nº 7, lo cual implica que el programa no sigue con el cálculo, puesto que, como ya se explicó en la descripción de la operación del mismo, ésta es una condición que no admite. Este período de simulación corresponde a mayo de 1.990, mes en el cual hay una lluvia de 51 mm, que, junto con la del mes anterior, de 105 mm., elevan tanto los niveles que éstos superan la cota del terreno.

A pesar de este inconveniente, se pueden extraer de esta simulación varias conclusiones:

- La primera es que, de nuevo, se pone de manifiesto la rapidez de respuesta del acuífero a una recarga, bien sea procedente de la lluvia, o bien sea artificial, aumentando los niveles piezométricos de forma importante.
- La segunda es que, bajo condiciones favorables, como las descritas, sería posible recuperar la fuente de Rosset.

En el gráfico nº 9 se ha representado la evolución de los niveles en el período en el que el modelo ha realizado la simulación. A partir de los datos de este gráfico, se observa que, en el último período que ha calculado el modelo en este segundo caso, el nivel es unos 20 metros más alto que el calculado para el caso de recarga con sólo tres períodos, y unos 40 a 50 metros mayor que el simulado sin recarga.

MODELO ACUIFERO DE JIJONA

Simulación con excedentes de Nuches en 8 períodos

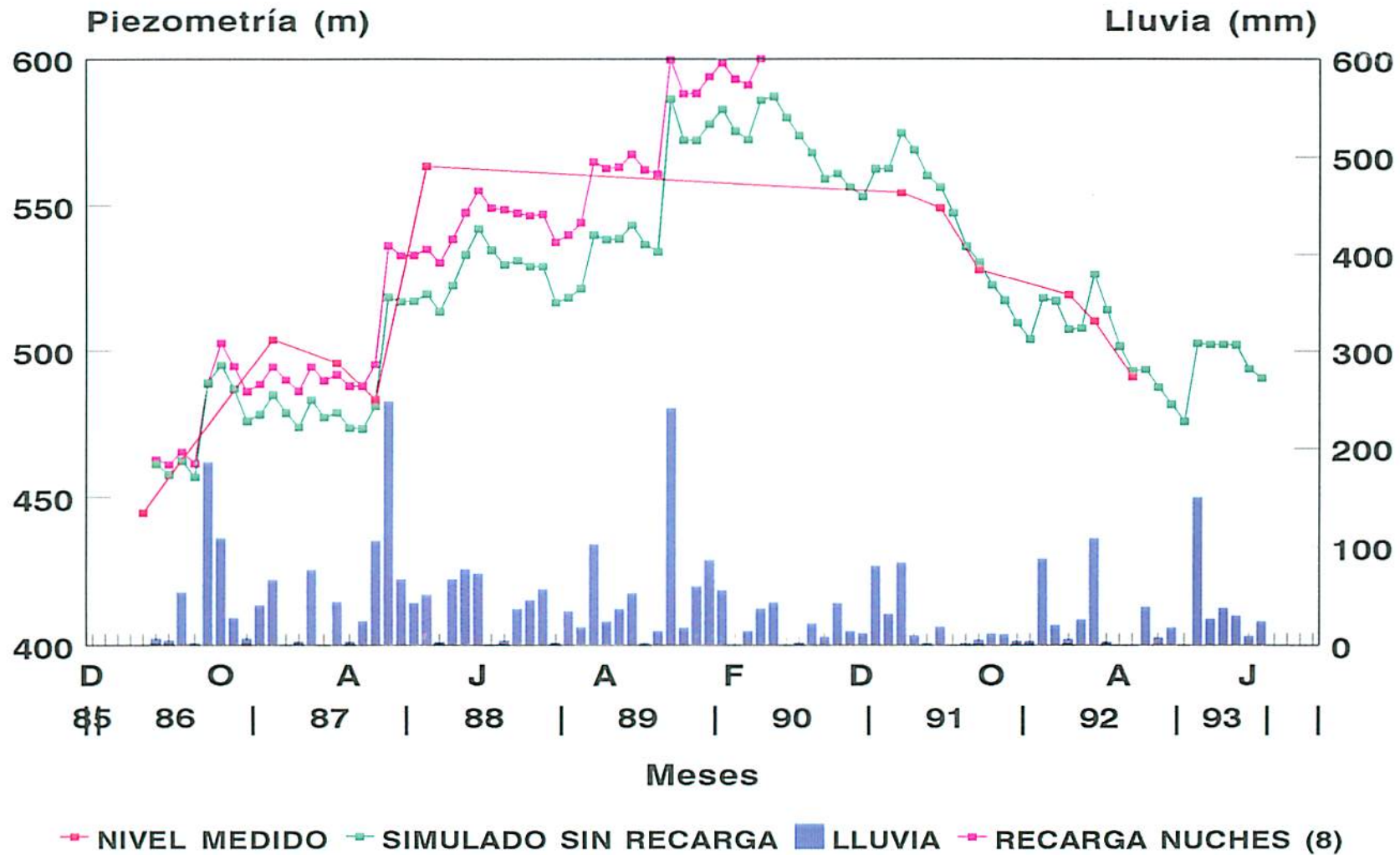


Gráfico nº 9. Excedentes de Nuches en 8 períodos

Estas consideraciones abunda aún más en las conclusiones ya descritas.

5.2.2. RECARGA CON LOS EXCEDENTES DEL MODELO DE DECONVOLUCION.

Con fecha octubre de 1.994 la empresa Tecnología y Gestión S.A. (TEYGESA), ha realizado un estudio para el I.T.G.E. y la Diputación Provincial de Alicante, para la determinación por deconvolución de las aportaciones subterráneas de varios acuíferos en la provincia de Alicante, con el fin de aumentar el grado actual de regulación de los mismos. Uno de los acuíferos estudiados ha sido el de Carrasqueta, cuyos excedentes se pretenden recargar en el acuífero de Jijona.

La deconvolución es un proceso matemático que, a partir de una serie de caudales de un manantial generada por un modelo, y por tanto, del conocimiento del hidrograma correspondiente, calcula la influencia de las precipitaciones de todos los días anteriores a uno determinado, el de cálculo, en el caudal de ese día, bien generado por el modelo u obtenido mediante un aforo directo.

Matemáticamente, la expresión es:

$$Q(i) = K_0 P(i) + K_1 P(i-1) + K_2 P(i-2) + K_3 P(i-3) + \dots$$

El proceso de deconvolución consiste en el cálculo de los coeficientes K_i . Una vez conocidos, se pueden simular los caudales que aportará el manantial suponiendo diversas hipótesis de actuación sobre las entradas o salidas del acuífero.

La serie de caudales se genera mediante el programa "QKARST", y, una vez calibrado el modelo y considerada esa serie como representativa de las aportaciones del manantial en el tiempo, se realiza el balance entre las necesidades de riego de la zona y los

caudales disponibles, para, en los períodos de excedentes, conocer la disponibilidad de agua para la recarga artificial del acuífero de Jijona.

En el anexo nº 5 se acompaña el balance comentado anteriormente, extraído del informe realizado por la empresa TEYGESA para el ITGE y la DPA. Con los excedentes que se derivan del estudio realizado en el manantial de Nuches, se ha elaborado el fichero de entrada al modelo denominado "deconv2.dat", y se ha realizado la simulación correspondiente, cuyos resultados se acompañan en el anexo nº 5.

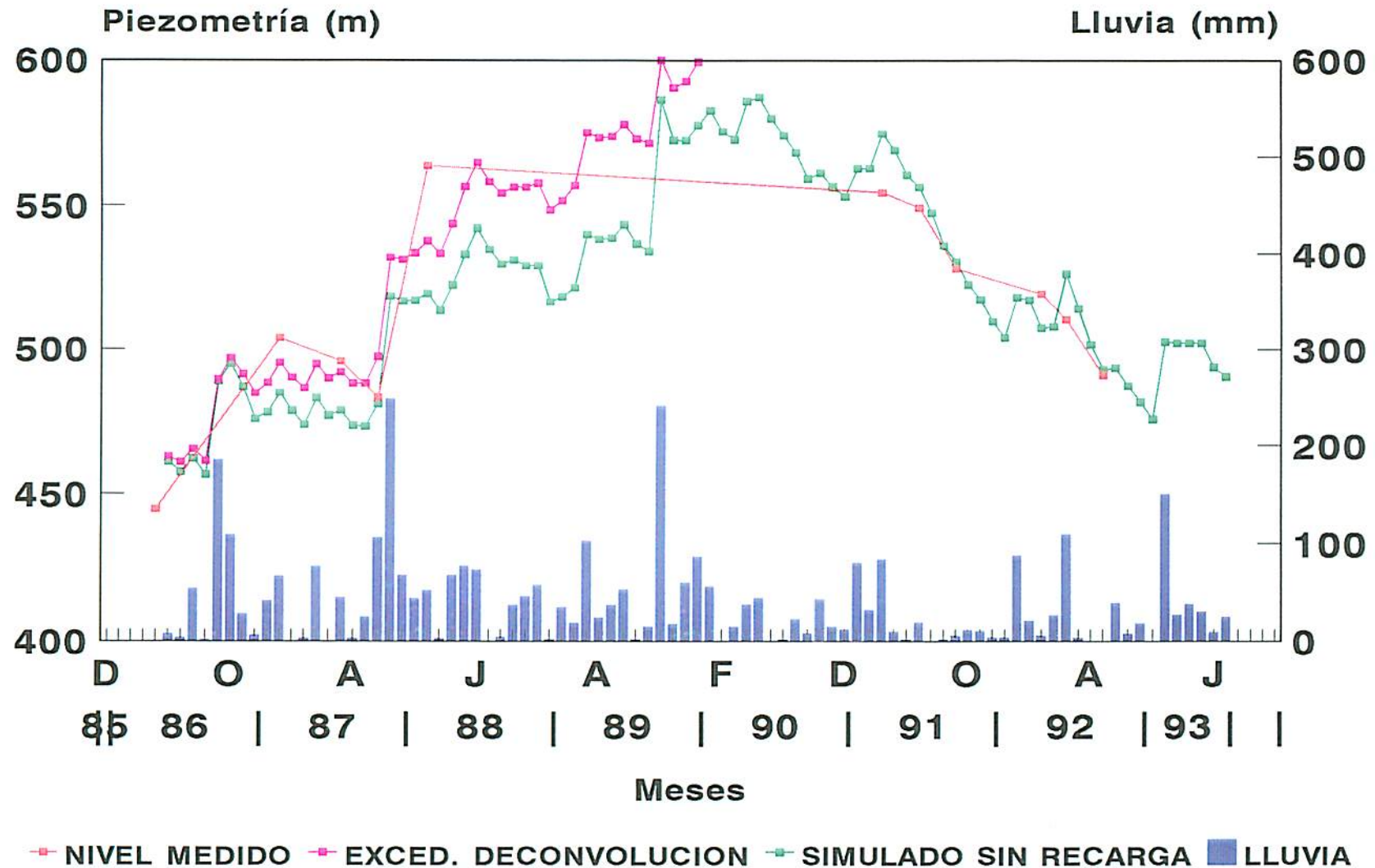
Hay que señalar que, al igual que ha ocurrido en el caso anterior, el modelo no ha sido capaz de completar el período completo de simulación, porque en el mes nº 45, enero de 1990, los niveles simulados han alcanzado valores superiores a los de las cotas topográficas, con lo cual el programa deja de calcular.

En este caso puede verse en el gráfico nº 10 que los niveles se recuperan bastante en los meses en que hay aporte extra de agua de los excedentes del manantial. Si dichos excedentes fueran tales, la recarga presentaría una perspectivas excelentes, aunque nuestra opinión, ya reflejada en el informe sobre los recursos superficiales de la cuenca del río Coscón-Seco, no es tan optimista en cuanto a las cantidades de agua que van a estar disponibles para la recarga. No obstante, se ha querido presentar esta simulación por el evidente interés que tiene, ya que, como se observa en el gráfico 10, el nivel simulado por el modelo es unos 30 metros mayor que el simulado sin recarga.

Se ha realizado una segunda simulación, sumando a los excedentes propuestos por el modelo de deconvolución, los que históricamente ha proporcionado el manantial, que ya fueron simulados por separado en el apartado anterior. Dichos excedentes corresponden a los meses octubre de 1986, noviembre de 1987 y septiembre de 1989. El fichero de entrada de los datos se denomina "deconv2.dat", y se acompaña en el anexo nº 5, junto con el resultado de la simulación.

MODELO ACUIFERO DE JIJONA

Simulación con los excedentes del modelo deconvolutivo



Como era de esperar, de la misma forma que en caso anterior, el modelo no ha completado todo el período de simulación, lo cual es lógico, puesto que ahora tiene más agua todavía que antes. En este caso, el mes en el que los niveles simulados han sobrepasado las cotas topográficas ha sido el nº 41, septiembre de 1989, mes en el que hubo una precipitación de 208 mm.

Los resultados se han representado gráficamente en el gráfico nº 11.

A modo de síntesis de todos estos datos, se presenta el gráfico nº 12, en el cual se resume la evolución de los niveles simulados con los excedentes del manantial de Nuches y los propuestos por el modelo de deconvolución.

5.2.3. SIMULACION CON LA INFILTRACION PROCEDENTE DEL SISTEMA DE RECARGA DISEÑADO PARA LOS RECURSOS DE LA CUENCA DEL RIO COSCON.

La última hipótesis de gestión del sistema acuífero de Jijona que se ha realizado con el modelo ha sido la simulación de una recarga artificial con excedentes hídricos procedentes de la escorrentía superficial generada por las grandes y puntuales lluvias que tienen lugar en la zona, y que dan lugar a caudales punta muy elevados, y que, por tanto, generan una elevada cantidad de recursos hídricos que normalmente llegan al mar por el cauce del río Coscón-Seco sin ser aprovechados.

Para conseguir el aprovechamiento de parte de esos recursos, el I.T.G.E., junto con la Diputación Provincial de Alicante, ha diseñado una instalación de recarga artificial en el Barranco del río Coscón, cuyas características se detallan en el informe citado en el apartado 5.2. titulado "Evaluación de excedentes hídricos y diseño óptimo de una instalación de recarga artificial en el Barranco del río Coscon, Jijona. (Alicante)." Dicha instalación, que consta en su diseño más sencillo de una presa en la cerrada del río Coscón en el Cabezo de

MODELO ACUIFERO DE JIJONA

Recarga modelo deconvolutivo y fuente Nuches (3 períodos)

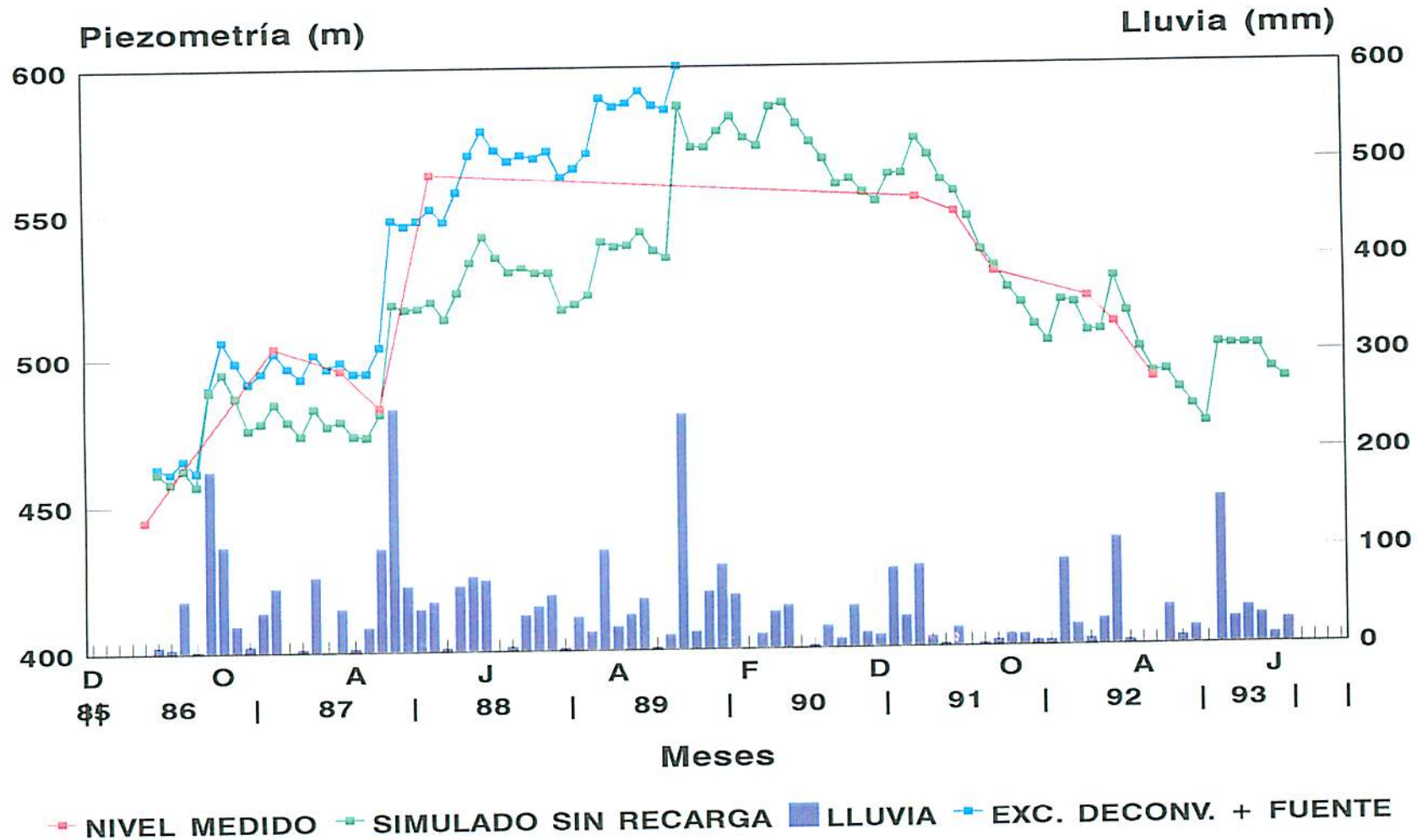


Gráfico nº 11. Recarga Nuches (3 per.) y deconvolución

Machet, en Peñas Rosset, ha sido construida por la Diputación de Alicante.

En dicho informe se ha realizado una estimación de los recursos de que va a disponer la citada cuenca del rio Coscón para poder realizar la recarga artificial. Los cuadros que contienen los datos de los excedentes y la fecha de su generación se acompañan en el anexo nº 6, y son los datos que se han utilizado en esta simulación.

Hay que señalar que esta recarga se ha simulado en la celda nº 7, que corresponde al pozo de Rosset, porque es en ella donde geográficamente se sitúa la obra construida, y por tanto, donde se producirá la infiltración directa. Hubiera aportado similares resultados la simulación en la celda 14, pero se ha hecho así para aproximar más el fenómeno a la realidad.

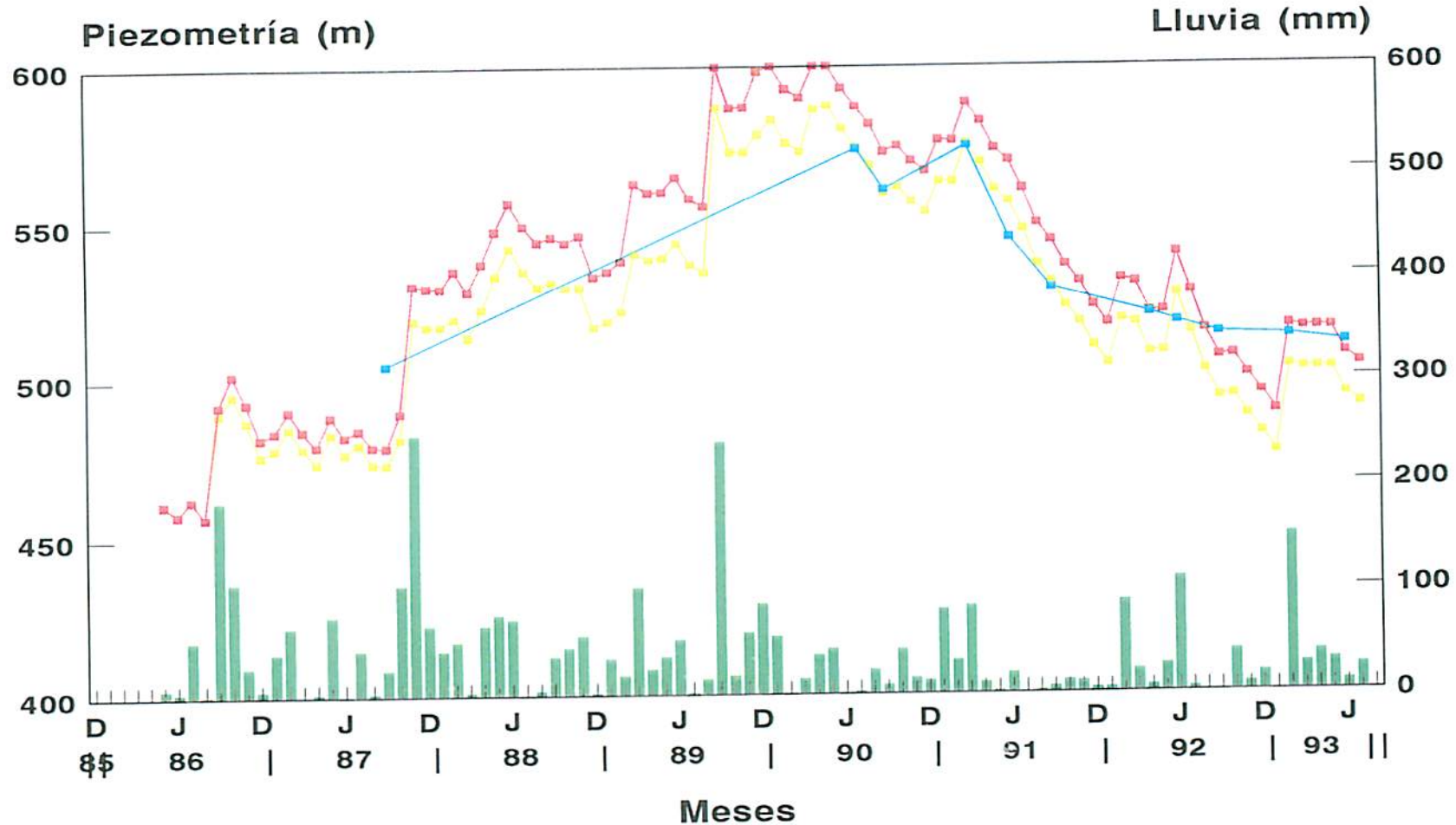
La simulación se ha realizado para los dos diseños propuestos por el I.T.G.E. en su informe, que se han denominado de 1 elemento de infiltración, y de 4 elementos. Los ficheros de entrada al programa se denominan respectivamente "coscon1.dat" y "coscon2.dat", y se acompañan, junto con los resultados de la simulación realizada por el modelo, en el anexo nº 6.

Los resultados de la misma se han representado gráficamente en los gráficos nº 13, 14 y 15. En el gráfico nº 13 se observa que, con 1 elemento de infiltración, el aumento de los niveles simulados con esta recarga se sitúa casi 8 metros por encima del simulado sin recarga. Si la recarga se realizase mediante 4 elementos de infiltración, los niveles obtenidos permiten observar en el gráfico nº 14, que el aumento de los mismos se situaría unos 13 metros por encima de los niveles sin recarga. Comparando los dos procesos, véase gráfico nº 15, se observa que puede comprobar que sólo se consigue, según los datos que aporta el modelo, un aumento de niveles de 5 metros utilizando 4 elementos de infiltración en vez de uno. Esto se debe a que la capacidad de las presas es muy pequeña, en torno a los 5000 m³, y la cantidad de agua aportada es relativamente pequeña.

No obstante, el aumento de niveles que se podría conseguir es aceptable en función

MODELO ACUIFERO DE JIJONA

Simulación con los excedentes del río Coscón, con 4 elementos de infiltración



— NIVEL MEDIDO — REC. COSCON (4) — NIVEL SIMULADO ■ LLUVIA

Gráfico n° 14. Excedentes cuenca río Coscón, con 4 elementos de infiltración

de la sencillez de la instalación, con lo cual se aprovecharán recursos que de otra manera irían a parar al mar.

6. RESUMEN Y CONCLUSIONES.

A modo de resumen, se presentan las siguientes conclusiones:

1.- La realización del modelo matemático del acuífero de Jijona ha permitido la simulación de múltiples alternativas de gestión del sistema, que permitirán una adecuada toma de decisiones ante perspectivas futuras de uso de sus recursos. En este aspecto, el uso de un modelo matemático se demuestra una herramienta fundamental.

2.- La ausencia de series de mayor amplitud en datos de niveles estáticos en los pozos de explotación del acuífero, así como de datos de bombeos, ha limitado el proceso de validación del modelo, habiendo sido necesario realizar un proceso conjunto de calibración-validación, que ha aportado un ajuste bastante aceptable.

3.- Los resultados de las diferentes simulaciones que se han realizado con supuestos de pluviometrías, explotaciones y recargas artificiales de diferente cuantía permiten resumir el comportamiento del acuífero como un sistema de rápida respuesta a las entradas de agua en el mismo, mediante un aumento significativo de los niveles piezométricos, que podrían incluso permitir la recuperación del manantial de Rosset, hoy seco, con la ventaja que ello puede suponer para el medio ambiente de la zona.

4.- Asimismo, el modelo ha puesto de manifiesto el importante descenso de niveles que se produce en épocas de sequía, en las cuales se mantiene el régimen de explotación del acuífero. La previsión futura de un aumento de los recursos extraídos del sistema para el abastecimiento a la población de Jijona obligará a tener este dato en cuenta para la correcta gestión del acuífero.

Hay que señalar que, todas las simulaciones que se han realizado para períodos futuros, han tenido como datos de partida los obtenidos de las extracciones del pasado, con lo cual es previsible que esos datos estén por debajo de los que serán reales en los periodos considerados, y, por tanto, que los resultados sean algo más pesimistas de los conseguidos. Esta diferencia será tanto más acusada cuanto más lo sean las diferencias entre las cantidades explotadas en el futuro y las actuales, o, lo que es lo mismo, cuanto mayor sea el aumento de las explotaciones.

5.- El modelo ha demostrado la viabilidad teórica de la recarga artificial del acuífero de Jijona, puesto que, en todos los casos de recarga simulados, se han obtenido resultados muy optimistas de recuperación de los niveles piezométricos, que hacen pensar en el buen funcionamiento del proceso de recarga artificial previsto.

MINIPROGRAMAS (III)

Programas simples para modelado de acuíferos.

Por. A. NAVARRO ALVARGONZALEZ

RESUMEN

Se ofrece un programa simplificado, en BASIC, para la modelización de acuíferos con el método de diferencias finitas. Se ofrece un programa para acuífero monocapa anisótropo en horizontal, con mallas poligonales irregulares, que admite recarga/extracción variable en el intervalo, cálculo de surgencias y de infiltraciones, cotas mínimas de bombeo y dos procesos diferentes: cálculo de piezometrias o (con piezometrias predeterminadas) cálculo de residuales. También da balances de masa para cada elemento y periodo y para el conjunto del modelo.

Palabras clave: Acuífero. Modelo matemático. Diferencias finitas. Monocapa malla irregular. Infiltración. Surgencia. Cota mínima de bombeo.

ABSTRACT

A simple program in Basic for aquifer modeling using finite difference methodology is described. Detailed explanations are given for the computer code. The model deals with single layer aquifer, leakage, rising water, variable input/output, limitation of pumping levels, and irregular polygonal network. Two different ways are possible: calculate piezometric levels or with pre-determined levels, estimate residuals. Mass balances are computed for single cells as well as for the whole model.

Key words: Aquifer, Mathematical model, Finite differences, Single layer, Irregular polygonal network, Leakage, Rising water, Variable input/output, Pumping levels.

DIFERENCIAS FINITAS (MALLA IRREGULAR)

1. Preámbulo

Sin abandonar la noción de modelos simples, en los que se sabe qué hace realmente el programa, un grado más sobre el rudimentario método antes explicado demanda ya un grado de complejidad hidrogeológica más difícil de manejar. Suele haber una relación de tipo potencial o exponencial entre el incremento de pretensiones hidrogeológicas, y el incremento asociado de complicación de programa y de requerimientos de información de campo, y el hidrogeólogo debe ser consciente de ello.

Como ejemplo de lo anterior, vamos a explicar

a continuación otro mini-programa, pero que envuelve, en varios sentidos, un salto cuántico respecto al de malla regular.

2. Matemáticas

Con una malla de tipo cuadrado, si se trabaja con un modelo que no utilice muchas mallas, es difícil a veces adaptarse a los bordes del contorno físico real. Más fácil adaptación se consigue usando un modelo de mallado irregular, poligonal.

La primera ampliación del programa simple de diferencias finitas con malla cuadrada puede estribar en su modificación para que pueda operarse con mallas de diferentes formas poligonales irregulares: triángulos, cuadriláteros, pentá-

(*) Instituto Tecnológico Geominero de España.

gonos, etc. Esta modificación, aparentemente pequeña, implica una reordenación considerable de los datos de entrada, con diferentes tratamientos posibles. Un método de acceso podría ser el dar las coordenadas de cada nudo, lo que simplificaría el archivo de datos de entrada, dejando que el programa calculase los necesarios datos. Por otro lado, esto complicaría el programa. Otra posibilidad, que es la que se va a utilizar aquí, es dar como datos en el archivo de entrada las longitudes de los lados, las distancias nodales y una matriz de ubicación de nudos (elementos) y lados. Aunque ello alarga dicho archivo de datos, son archivos que se hacen de una vez, y se evita que a cada pasada del programa haya que hacer todos los cálculos de distancias y relaciones.

Una segunda innovación que se introduce también es que en los nudos de piezometría predefinida, esta piezometría pueda variar en cada período.

Una tercera mejora del programa consiste en introducir la condición de manantial, es decir, de un cierto caudal de surgencia dependiente de unos parámetros y de los niveles piezométricos variables con el tiempo. La misma condición puede también utilizarse como condición de río, es decir, como infiltración («leakance») de una cantidad de agua hacia el acuífero, en función de parámetros y de la piezometría del acuífero relativamente al nivel de infiltración.

Una cuarta variante, que contribuye bastante a flexibilizar el programa se refiere a la introducción de datos variables de recarga/extracción.

Una quinta variante consiste en utilizar el programa haciendo que las piezometrías sigan evoluciones preestablecidas, y obtener los errores residuales en estos casos, operación que ayuda en muchas ocasiones a una mejor calibración.

Por último, un refinamiento extra: Se establece una distinción entre la cota mínima de bombeo y el fondo impermeable del acuífero. Es decir, si el fondo del acuífero está a -67 metros, se admite que antes que el nivel descienda a -67 metros ya no se puede bombear, y se define una cota, por ejemplo, -47 metros o -50 metros, por debajo de la cual ya no se puede bombear, teniendo en cuenta físicamente el cono de depresión que produce el propio bombeo.

a) Malla poligonal irregular

Vamos a explicar la introducción de una malla poligonal irregular. Un elemento de esta malla se representa en la figura 1, en la que se ha seleccionado un elemento pentagonal. El mallado no se puede hacer arbitrariamente. Cuando se comenzó a utilizar el método se pensó que los nudos podían corresponder a perforaciones en las que hubiese ensayos de bombeo, de manera que los valores asignados al nivel, a la transmisividad y al almacenamiento fuesen de verdaderos del acuífero. Con esta idea se llenaba la superficie del acuífero de nudos (pozos), y el área asignada a cada uno de ellos (el polígono) se obtenía con una distribución tipo Thyessen, similar a como se asigna la pluviometría entre estaciones pluviométricas.

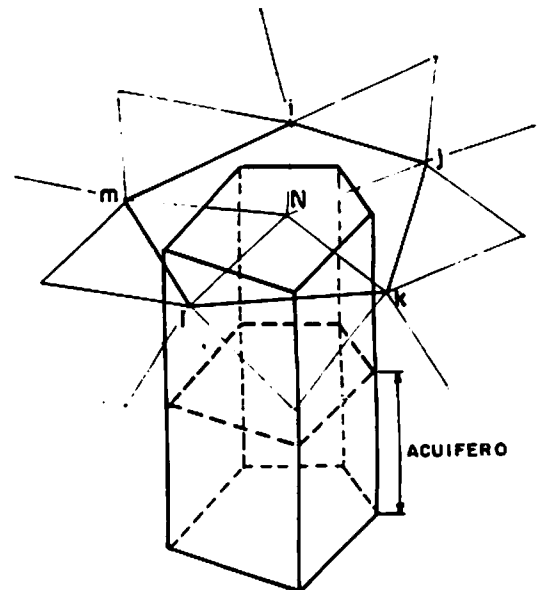


Figura 1.—Elemento base.

La metodología para ello es la siguiente. Se unen los nudos con segmentos (ramas) de tal forma que se consiga una distribución triangular, es decir, que cada nudo sea vértice de triángulo. Después se trazan las mediatrices de estos segmentos (ramas). Estas mediatrices son los LADOS de los POLIGONOS finales. En estos polígonos finales, resulta lo siguiente: a) El segmento (rama) que une dos nudos vecinos es perpen-

cular al lado que corta. De tal forma, el flujo subterráneo entre ambos nudos puede expresarse mediante la fórmula de gradiente*permeabilidad*sección. b) Las distancias de cada nudo al lado común son iguales, de manera que si al lado hay que asignarle valores ponderados nodales basta asignarle la semisuma de tales valores.

Para los flujos subterráneos, en vez de la fórmula usada cuando la malla era cuadrada:

$$\text{Flujos} = \sum_{i=j, k, \dots} [h(i) - h(N)] * [T(i) + T(N)] / 2 \quad [1]$$

... ser la malla poligonal irregular, los términos «longitud de lado» y «distancia nodal» no se desdibujan entre sí, pues son diferentes, y hay que tenerlos en cuenta:

$$\text{Flujos} = \sum_{i=j, k, \dots} [h(i) - h(N)] * [\text{Long. lado entre } (i-N)] * [T(i) + T(N)] / [2 * \text{Distancia } i-N] \quad [2]$$

La primitiva idea de que los nudos fueran perforaciones o pozos rara vez se consigue, y los valores nodales han de ser atribuidos por interpolaciones o por cualquier criterio, en lugar de una medida física real. En esta situación, resulta a veces más conveniente a la hora de estructurar el modelo, y en especial cuando hay grandes variaciones de transmisividad de un punto a otro, asignar directamente un valor de transmisividad al lado común a dos nudos, en lugar de a éstos. Entonces, en la fórmula [2], la transmisividad asignada al lado sería T(iN), en vez de la semisuma de los nudos. El programa que se está describiendo admite esta modalidad, de forma que en los archivos de entrada puede ponerse la T de los nudos o bien directamente la T de los lados de los polígonos.

El hecho de tener que asignar valores a cada lado complica los datos en el sentido de que hay que decir al modelo qué lados tiene el polígono del nudo en cuestión, sus longitudes, cuáles son los nudos vecinos a través de esos lados y las distancias entre nudos. Esto se hace estableciendo un cierto «orden» para los lados del polígono, y respetando ese orden cuando se le dice los nudos vecinos, las distancias nodales, las longitudes de los lados, y, en su caso, las transmisividades asignadas a cada nudo. También, al

dimensionar el programa, hay que aclarar el número máximo de lados existentes por polígono.

b) *Nudos de borde de piezometría predeterminada variable*

La segunda variante mencionada consiste en introducir nudos de borde de piezometría predeterminada, pero variable según periodos. La introducción como dato es sencilla. El programa lee, además de las piezometrías iniciales para los nudos de piezometría libre, también las piezometrías predeterminadas cada periodo para los nudos de piezometría fija. Y al comienzo de cada periodo, al inicializar las piezometrías recoge por un lado las libres y por otro asigna las fijas a sus nuevos valores.

c) *Condición de río (infiltración) o de manantial (surgencia)*

La tercera variante se refiere a la condición llamada «de manantial» o «de río». Las dos se tratan de formas similares, y vamos a explicar en primer lugar la de manantial, o mejor expresado, la de «surgencia» (rising water).

Físicamente, cuando el nivel de un acuífero freático sobrepasa la superficie del suelo se produce un afloramiento de agua. Hay muchos ejemplos de acuíferos que en ciertas épocas del año alimentan a ríos de esa manera. El programa trata ese fenómeno del simple modo siguiente: Sea H_t la cota de la superficie del terreno, y $H(i, t)$ la cota piezométrica del acuífero en el polígono (nudo) «i» en el instante «t». Si $H(i, t) > H_t$, hay un cierto volumen de agua $Or(i, t)$ que abandona el acuífero. Este volumen de agua se hace proporcional a la diferencia $H(i, t) - H_t$ y proporcional también a ciertos parámetros fijos preestablecidos para cada polígono (nudo). Por ejemplo,

$$Or(i, t) = P1 * [H(i, t) - H_t]^{P2} \quad [3]$$

Generalmente se toma $P2 = 1$, y

$$P1 = (\text{Area poligonal}) * (\text{Transmisividad vertical}) / (\text{espesor de capa, en su caso}) \quad [4]$$

es decir, en resumen, $P1 = \text{Número}(i)$, un número para cada polígono (nudo) «i». Si se conoce MUY

BIEN el comportamiento del acuífero, en el punto correspondiente al polígono (nudo) «i» puede establecerse a lo largo de sucesivos periodos de tiempo una relación entre caudales aflorantes Q_r y piezometría del acuífero $H(i, t)$. Poniendo esta relación en ejes coordenados, $H(i, t) - Q_r$, resulta posible ajustar una recta

$$Q_r(i, t) = X(i) \cdot [H(i, t) - Y(i)] \quad [5]$$

o una curva

$$Q_r(i, t) = X(i) \cdot [H(i, t) - Y(i)]^{Z(i)} \quad [6]$$

obteniendo los parámetros X, Y (y Z), que se usarán luego en el programa. Pero ya se comprende que el conseguir esto requiere un conocimiento muy avanzado y detallado del acuífero y de la hidrología de la zona.

La condición de río es similar, pero de sentido de circulación contrario. Si $H(i, t) < H_t$, y hay un río por arriba, se produce una alimentación del acuífero de formulación idéntica a la [3]. Aquí, la condición para hacer trabajar esta modalidad es que la piezometría del acuífero sea inferior a un parámetro dado, mientras que con la surgencia la piezometría tenía que ser mayor que ese parámetro. Ambos modos no son compatibles, de forma que en un determinado elemento, o existen surgencias o existen infiltraciones. Hacer que en una época ocurra surgencia, y en otras infiltración, requeriría que una serie de parámetros dependiesen del tiempo, lo que complicaría, por un lado los datos, y por otro lado el programa más aún de lo complicado que es ya. Es más simple calibrar y modelar independientemente cada una de esas épocas y correr el modelo sucesivamente por ellas.

El programa acepta una modalidad o la otra, o las dos simultáneamente (pero NO en el mismo elemento, como se ha dicho arriba), según el signo de la diferencia de cotas, y los valores de un parámetro $N(i)$. Los caudales resultantes, tanto de la infiltración como de la surgencia, vienen a sumarse al resto de los componentes del balance, y al residual correspondiente.

Se vuelve a insistir en la complejidad de la utilización de esta modalidad, y se recomienda que si no se tiene control suficiente del fenómeno, al menos para la calibración del modelo, los va-

lores de los volúmenes de agua surgentes o infiltrados se introduzcan en el neto de recarga/extracción como un aporte más. Conseguida la calibración del modelo, y conseguidas las curvas de ajuste $H - Q_r$ sólo entonces merece la pena el plantearse la introducción en el programa de los parámetros para las condiciones de surgencia o de río.

d) *Recarga/descarga linealmente variable en el periodo*

La cuarta diferencia tiene también cierta entidad en cuanto a modificaciones en el cálculo. Se recuerda que la componente de recarga/descarga neta, en el programa más simplificado se entra como un dato numérico para cada periodo, y se distribuye en partes iguales en cada subperiodo. Ahora se quiere introducir la posibilidad de que la recarga/extracción (descarga) neta pueda variar linealmente dentro del periodo.

En la figura 2 se representa para un polígono I determinado la recarga/descarga en el periodo $t_1 - t_2$. Esta recarga/descarga viene representada por el área de la «escalera» $t_1 - A - B - C - D - E - F - t_2$. En la figura se ha supuesto que el periodo $t_1 - t_2$ consta de tres subperiodos. Llamaremos $B(i, L)$ al área total bajo la «escalera». $B(i, L)$ es recarga/descarga total. Se introduce ahora un segundo número $Y(i, L)$ que nos da la «distribución» de esa recarga/descarga total.

Este número Y puede elegirse de acuerdo con

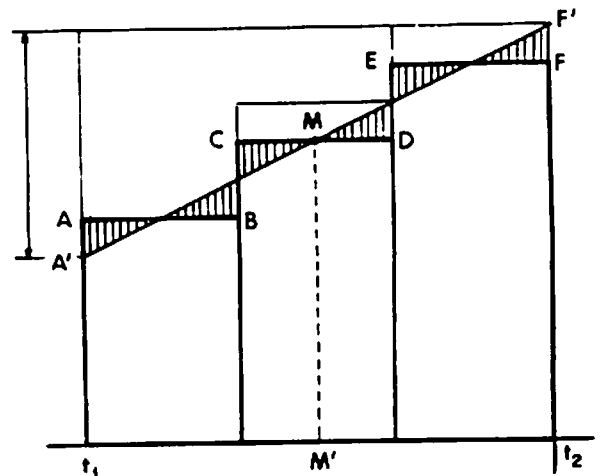


Figura 2.—Recarga/Descarga variable en el periodo.

varios criterios. El que se usa aquí es uno simple: Si se llama B2 a la recarga/descarga producida en la segunda mitad del periodo, y B1 a la carga/descarga producida en la primera mitad del periodo, se elige Y como:

$$Y(I, L) = B2 - B1 \quad [7]$$

Volviendo a la figura 2, si se sustituye la poligonal A-B-C-D-S-F por la recta A'-M-F', que une los puntos medios de los «escalones», el área bajo la «escalera» es la misma que el área bajo la recta, y también las áreas (recargas/descargas) correspondientes a cada uno de los subperiodos. Se tiene entonces

$$\begin{aligned} B1 &= \text{Area } T1-A'-M-M' \text{ y} \\ B2 &= \text{Area } M'-M-F'-t2 \end{aligned} \quad [8]$$

Es fácil comprobar (siempre tomando el periodo como unidad de tiempo, es decir $t2 - t1 = 1$) que

$$\begin{aligned} (A' - t1) * 1 &= B(I, 1) - 2 * Y(I, L) \\ (F' - t2) * 1 &= B(I, L) + 2 * Y(I, L) \end{aligned} \quad [9]$$

Si el periodo se divide en MI subperiodos, y dentro de ellos se considera el subperiodo número ZT, el área correspondiente es un paralelogramo de base igual a $1/MI (= D)$ y altura igual a la longitud $T1 - A'$ mas $2 * ZT - 1$ veces la diferencia $(t2 - F') - (t1 - A')$ dividida por $2 * MI$, es decir, altura igual a

$$\begin{aligned} [B(I, L) - 2 * Y(I, L)] + (2 * ZT - 1) * \\ * [2 * Y(I, L) / MI] \end{aligned} \quad [10]$$

El área (BQ(I)) de ese paralelogramo (Recarga/Extracción en el subperiodo en cuestión) resulta por consiguiente

$$BQ(I) = D * [B(I, L) - 2 * Y(I, L) + 2 * Y(I, L) * (2 * ZT - 1) * D] \quad [11]$$

También se comprueba fácilmente que la suma de las áreas de los subperiodos resulta igual a B(I, L).

e) Verificación de piezometría

Esta variante permite operar el programa, para el proceso de calibración del modelo de una for-

ma totalmente diferente de como se ha hecho hasta ahora. De acuerdo con lo anteriormente expuesto, la calibración del modelo se hace partiendo de una piezometría, calculando (en base a cerrar ecuaciones de balance de masas) las piezometrías en periodos siguientes y comparándolas con datos de campo que se tienen para esos periodos siguientes. Otro posible proceso es el que se introduce aquí.

Se utilizan las piezometrías de todos los periodos históricos que se tienen, y el programa calcula los residuales de los balances de masa en los poligonos (elementos) y en el total del área a modelar. Si los residuales son pequeños, se considera que el ajuste es bueno. En caso contrario, y dado que la piezometría es DATO, se comienza a reestimar los otros parámetros: permeabilidad, almacenamiento, recarga/descarga.

El programa que se describe permite operar con uno y otro de los métodos de calibración indicados: obteniendo piezometrías u obteniendo residuales. Mediante un parámetro LR(I) se indica, para cada elemento I los cuatro posibles modos de operación del programa, los dos modos apuntados, más las dos variantes, según se trate de área con acuífero libre o confinado.

$$LR(I) = 3 \text{ piez. libre (cálculo piez.)} \\ + \text{ acuífero libre}$$

$$LR(I) = 2 \text{ piez. libre (cálculo piez.)} \\ + \text{ acuífero confinado}$$

$$LR(I) = 1 \text{ piez. predet. (cálculo res.)} \\ + \text{ acuífero confinado}$$

$$LR(I) = 0 \text{ piez. predet. (cálculo res.)} \\ + \text{ acuífero libre} \quad [12]$$

Aunque es una modalidad que no se suele practicar, resulta sensiblemente más cómodo para la calibración utilizar la modalidad del cálculo de residual, dejando la del cálculo de la piezometría para contrastar hipótesis de utilización futura del acuífero.

En la versión del programa que se describe, cuando se utiliza la piezometría predeterminada y se calculan los residuos del balance de masas, se introduce un refinamiento adicional. De forma parecida al hecho de permitir que la recarga/descarga varíe dentro del periodo, el ajuste de la piezometría dentro del periodo se hace de

forma que se eliminen los posibles ángulos al unir con líneas los instantes de piezometría medida. Es decir, se hace seguir a la piezometría no sólo una línea continua, sino una línea cuya derivada sea continua. Para ello se definen las tangentes a las curvas de piezometría en los instantes de la medida, y se ajustan curvas de tercer grado, diferentes pero con tangentes inicial y final comunes (spline functions), dentro de cada período.

En la figura 3 se representa un esquema de evolución piezométrica en un nudo I, durante cinco períodos, entre t_0 (inicial) y t_5 (final).

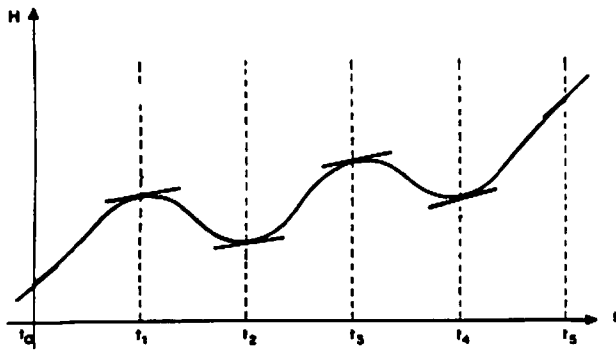


Figura 3.—Curva piezométrica predeterminada.

La tangente en el instante inicial, t_0 , es la recta que une los niveles H del instante inicial, $t=t_0$, y el final del primer período, $t=t_1$. La tangente en el instante final, t_5 , es la recta que une los niveles H del instante final, $t=t_5$, y el del comienzo del último período, $t=t_4$.

La tangente en un período intermedio, $t=tn$, es paralela a la recta que une los valores de H en los instantes $n-1$ y $n+1$, inicial y final, respectivamente, de los períodos que terminan y empiezan con $t=tn$.

Definido entonces para un período cualquiera, $t=tj$, $t=tj+1$, los valores de H en esos instantes, y los de las tangentes, se puede realizar el ajuste matemático de la curva para ese período. El hecho de que dentro de cada período la ecuación de la curva de ajuste sea diferente es lo típico de las funciones «spline». Entre sí tienen en común un punto y una tangente.

La forma de estas curvas es

$$H = a + b \cdot t + c \cdot t^2 + d \cdot t^3 = a + t^3 (b + t(c + d \cdot t)) \quad [13]$$

La variable de tiempo se define como

$$CH = ZT/MI = ZT \cdot D \quad [14]$$

donde ZT es el subperíodo en cuestión, y MI es el número total de subperíodos que comprende cada período. D es evidentemente el inverso de MI .

La tangente, Q , en el instante inicial, $L=1$, y en el instante final, $L=LAST$, se definen ($HL=n$ nivel piezométrico):

$$Q(I, 1) = HL(I, 2) - HL(I, 1) \quad [15]$$

$$Q(I, LAST) = HL(I, LAST) - HL(I, MAJOR)$$

siendo $MAJOR$ = Número de períodos y $LAST$ = Número de períodos + 1.

La tangente en un instante intermedio, que coincide con el final del período L y el comienzo del período $L+1$, se define como:

$$Q(I, L) = .5 \cdot [HL(I, L+1) - HL(I, L-1)] \cdot MI \quad [16]$$

y el nivel piezométrico en un instante determinado,

$$H(I) = HL(I, L) + CH \cdot (Q(I, L) + CH \cdot (DH(I, L) + CH \cdot AH(I, L))) \quad [17]$$

donde

$$AH(I, L) = -2 \cdot HL(I, L+1) + 2 \cdot HL(I, L-1) + Q(I, L+1) + Q(I, L) \quad [18]$$

$$DH(I, L) = 3 \cdot HL(I, L+1) - 3 \cdot HL(I, L-1) - Q(I, L+1) - 2 \cdot Q(I, L) \quad [19]$$

expresiones que resultan del ajuste de la fórmula [13] a las condiciones mencionadas. Es fácil comprobar que, con las definiciones de [14], [15], [18] y [19] resulta:

$$\begin{aligned} H(I) &= HL(I, L) & \text{para } CH=0 \\ H(I) &= HL(I, L+1) & \text{para } CH=1 \\ d[H(I)]/d[CH] &= Q(I, L) & \text{para } CH=0 \\ d[H(I)]/d[CH] &= Q(I, L+1) & \text{para } CH=1 \end{aligned}$$

Al moverse las piezometrias sobre estas funciones de tercer grado, también resulta complicada la expresión de la variación de almacenamiento $S(t)$ en un subperíodo determinado, ZT . La expresión que resulta es:

$$S(t) = A(t) \cdot (Q(t, L) + (DH(t, L))^{(2 \cdot ZT - 1)} + AH(t, L) \cdot (3 \cdot ZT \cdot (ZT - 1) + 1) \cdot D) \cdot D \quad [20]$$

Al efecto, al final del subperíodo ZT el nivel de agua es la expresión [17] con $CH = ZT/MI$, y al comienzo de ese subperíodo el nivel de agua es la expresión [17] con $CH = (ZT - 1)/MI$. Puede comprobarse que la diferencia del primer valor menos el segundo da la expresión [20].

f) Cota mínima de bombeo

Es esta una condición fácil de entender físicamente.

Si el modelo prevé una extracción en un polígono (nudo, elemento), con un nivel piezométrico a —50 metros y un fondo impermeable (muro = del acuífero a —90 metros) la bomba para el caudal que se está extrayendo necesitará estar colocada más abajo de la cota —50, ya que al bombear se produce una depresión en el acuífero. Por ejemplo, la bomba debe estar 20 metros por debajo del nivel, es decir, a cota —70. Al evolucionar en el tiempo el acuífero, la piezometría va cambiando, y si resulta que va descendiendo, y queremos mantener la extracción, se debería ir colocando la bomba cada período más profunda, siempre al menos 20 metros por debajo del nivel piezométrico. Si el proceso se acumula puede darse el caso que el nivel general del acuífero se acerque a menos de 20 metros de la cota de su muro. Por ejemplo, si en el caso que estamos exponiendo, el nivel baja a —85 metros, no hay posibilidad de mantener el volumen de extracción aunque descendamos la bomba al máximo, —90 metros. El programa toma en cuenta de forma aproximada este fenómeno, fijando una cota mínima de extracción ($DIF(t)$), de forma que si la piezometría desciende por debajo de esa cota se recorta el volumen de agua extraído y se hacen los cálculos. Si se repite la situación se vuelve a recortar la extracción, pudiendo llegar-se hasta anularla completamente. El resultado, pues, de esta variante es una modificación de la

recarga/extracción neta, y la rec/ext. resultante y el volumen de la modificación aparecen separadamente en los resultados.

3. El programa

Con las variantes más arriba explicadas, el programa (fig. 4) es algo más largo y complejo que los que se han detallado en anteriores ocasiones. Pero tampoco resulta excesivamente farragoso. Vamos, como en aquellas otras veces a explicar su desarrollo describiendo las diferentes líneas:

1 — Color y título.

2-3-4 — Formatos para posterior escritura.

5 — Comienzo del bloque de lectura (y opcionalmente escritura) de datos. Se llama al archivo y se le abre para lectura. Conviene señalar que la mera lectura (y opcionalmente escritura) de datos ocupa una gran parte del programa, y nos lleva nada menos que hasta la instrucción de la línea 34.

El lector que no esté especialmente interesado en la lectura y escritura de datos, y en menores cambios en unidades, puede saltarse todo ese largo segmento del programa, e ir directamente a la línea 38. Se lee el nombre del archivo de datos.

6 — Se leen los primeros datos generales, que son:

IN = Número de nudos.

NPR = Número de polígonos (nudos) reales, es decir, no de borde.

MA = Número de períodos mayores (años, generalmente).

MI = Número de períodos menores (subperíodos dentro de cada período).

$ERRO$ = Valor máximo de error permitido [hm^3 /período].

$COEFA$ = Coeficiente utilizado en el método de relajación para la resolución de las piezometrias. Influye en la velocidad de convergencia, y el mejor valor es el que hace mínimo el número de

iteraciones necesarias. Generalmente varía entre 0.5 y 1.2. Aquí se usa $COEFA = .8$.

ERM = Número máximo de iteraciones permitido.

ET = Factor de conversión de $[m^2/día]$ a $[Hm^3/año] = .0365$.

Se define el parámetro LAST igual al número de periodos (años) más uno. Se define el coeficiente $G = .01$, que se utiliza más adelante para conversión de metros a hectómetros, y viceversa.

7-8-9-10 — Dimensionamiento de variables de acuerdo con las magnitudes antes leídas. Las variables que se dimensionan son:

DIF(IN) = Nivel piezométrico mínimo que permite el bombeo [m].

DAF(IN) = En la lectura de datos, corresponde al coeficiente de almacenamiento. Después se utiliza para los valores del coeficiente de modificación de transmisividades al variar los espesores saturados, y al final se usa una tercera vez para convertir errores en el residual en diferencias piezométricas.

LR(IN) = Modalidad operativa del programa, según lo indicado en [12].

BL(IN) = Cota del muro [m].

RM(IN) = En el caso de tratarse de un acuífero confinado ($LR(I) = 1$ ó 2), RM es la cota del techo impermeable del acuífero, la cual se utiliza entre otras cosas juntamente con la cota del muro para el cálculo del espesor del acuífero. En el caso de tratarse de un acuífero libre ($LR(I) = 0$ ó 3), RM es la cota de referencia para el cálculo de la surgencia o de la infiltración, la $Y(i)$, según [5].

A(IN) = A la lectura de datos es el área $[hm^2]$. Después corresponde al producto $área \cdot coef. almacenamiento$.

BO(IN) = Recarga/descarga vertical neta en el elemento IN en el subperiodo $[hm^3/subperiodo]$.

TBO(IN) = Recarga/descarga vertical neta en el elemento IN en el periodo $[hm^3/año]$.

AQ(IN) = Modificación de BO por descender la piezometría del elemento IN por bajo del nivel mínimo de bombeo (DIF(IN)) $[hm^3/subperiodo]$.

TAQ(IN) = Modificación de TBO por descender la

piezometría del elemento IN por bajo del nivel mínimo de bombeo (DIF(IN)) $[hm^3/año]$.

SL(IN) = Cota del suelo [m].

OS(IN) = Volumen de surgencia o infiltración en el elemento IN y periodo en cuestión $[hm^3/año]$. subperiodo].

TOS(IN) = Volumen de surgencia o infiltración en el elemento IN y periodo en cuestión $[hm^3/año]$.

RES(IN) = Residual en la ecuación de balance del polígono IN y subperiodo en cuestión $[hm^3/subperiodo]$.

TRE(IN) = Residual en la ecuación de balance del polígono IN y periodo en cuestión $[hm^3/periodo = año]$.

PERM(IN) = Transmisividad asignada al nudo IN $[m^2/día]$.

S(IN) = Cambio de almacenamiento en el elemento IN y subperiodo en cuestión $[hm^3/subperiodo]$.

TS(IN) = Cambio de almacenamiento en el elemento IN y periodo en cuestión $[hm^3/año]$.

RELAX(IN) = Coeficiente de relajación usado para ajustar la piezometría del elemento IN. A la piezometría anterior se le añade el producto $RELAX \cdot RES$ para obtener la nueva piezometría.

NLP(IN) = Número de lados permeables del polígono IN.

LN(IN) = Parámetro = 0 que toma el valor 1 para indicar que se ha modificado la recarga/descarga del elemento IN en la iteración como consecuencia del descenso de piezometría por debajo del nivel mínimo de bombeo DIF.

F(IN) = Factor para el cálculo de la infiltración. En teoría corresponde al producto de una transmisividad vertical $[1/día]$ por el área mojada $[m^2]$.

M(IN) = Parámetro generalmente igual a cero, y que toma el valor 1 para identificar elementos con surgencia, y el valor -1 para identificar elementos con percolación.

H(IN) = Piezometría intermedia y al final de cada subperiodo [m].

HO(IN) = Piezometría inicial de cada subperiodo. En la primera pasada del periodo L es igual a $HL(IN, L)$, en las pasadas siguientes es igual a $H(IN)$ [m].

HL(IN, LAST)=Datos de entrada de cotas piezométricas [m]. Se usan para el cálculo de las sucesivas H(IN).

DH(IN, LAST)=Coeficientes para el cálculo de la piezometría, según se explicó en [19].

AH(IN, LAST)=Coeficiente para el cálculo de la piezometría, según se explicó en [18].

Q(IN, LAST)=Valores de la tangente en las curvas de piezometría, según se explicó en [15] y [16].

B(IN, MA)=Recarga/descarga vertical neta del elemento IN durante el periodo MA, según lo explicado en la figura 2 y de [7] a [11] [hm³/año].

Y(IN, MA)=Distribución de la recarga/descarga del elemento IN y periodo MA, según explicado en figura 2 y de [7] a [11].

TA(IN, IL)=En la lectura corresponde a la longitud de los lados [m]. Después sirve para almacenar:

$$\frac{(\text{transmisividad}) \cdot (\text{longitud lado})}{(\text{distancia nodal})}$$

NFL(IN, IL)=Número del nudo vecino al IN a través del lado IL.

E(IN, IL)=Distancia nodal [m]:

PE(IN, IL)=Transmisividad del lado IL del polígono IN [m²/día].

11-12-13-14-15-16-17 — Lectura de datos, ya comentados en las instrucciones de dimensión. Se calcula también el número NL(I) de lados permeables de cada polígono.

18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-33-34-
Escritura-eco de datos.

35-36 — Cambio de unidades de las de lectura de datos [m] a las del programa [hm].

37 — Comienza el cálculo de coeficientes.

38 — Se inicializa a cero la variable sumatoria del total de agua almacenada en la cuenca. Se calculan los coeficientes D, inverso del número de subperiodos, y ERRAR, criterio de error dentro del subperiodo.

39-40-41 — Comienzo de un largo lazo, para cada nudo y/o elemento, lazo que va hasta la línea 51. Se calcula el producto del área por el coeficien-

te de almacenamiento. Se calculan las tangentes inicial Q(I, 1), final, Q(I, LAST), e intermedias, Q(I, L), para todos los periodos, del piezograma (hidrograma) del nudo en cuestión. Estos datos sólo se utilizan en caso de operarse dicho nudo con piezometría predeterminada (LR(I)=1 ó LR(I)=0). Se calcula la rec/des neta por subperiodo, valor que se almacena en B(I, L). Se calculan los coeficientes AH y DH, según lo explicado en [18] y [19], también para los casos de piezometría predeterminada.

42-43-44 — Para cada periodo se modifican las variables B e Y, que se usarán al calcular la recarga/descarga, en la línea 59. Se calculan los coeficientes AH y DH, según [18] y [19].

45 — Si en los datos de entrada figuran las transmisividades nodales (son > < 0), entonces la transmisividad de un lado es la media aritmética de las asignadas a los nudos vecinos.

46 — Cálculo de un término TA (I, J) que engloba la transmisividad, la anchura del lado y la distancia entre nudos vecinos. Este término, multiplicado por la diferencia piezométrica entre los nudos vecinos será, según DARCY, el flujo subterráneo entre los nudos vecinos mencionados.

47-48-49 — Como los datos correspondientes a cada lado (transmisividad, ancho del lado, distancia nodal) se entran una vez por cada polígono al que pertenecen, puede haber errores o baile de números entre los correspondientes a uno u otro nudo vecinos. Aquí se chequea que son correctos y, en caso contrario, se identifican esos nudos y se aborta el programa.

50-51 — Se calcula el espesor saturado, AO. El valor piezométrico inicial HL(I, 1) se asigna como valor primero a la variable piezométrica H(I). Se calcula el agua total almacenada en la cuenca, TOTW, en el instante inicial, y se escribe. Fin del cálculo de coeficientes.

52-53 — Se inicia el cálculo para cada periodo (año). Se inicializan a cero los contadores del número de iteraciones, ITRNO, y el de veces NUBIT, que por cotas de bombeos excesivamente bajas ha de modificarse éste.

54-55-56 — Se dan valores a las alturas de agua para el caso de piezometría libre y datos iniciales que eran cero. Se inicializan a cero las sumatorias, para el periodo, del almacenamiento

rec/extr., id modificada, surgencias o infiltraciones, residuales y flujos subterráneos.

7-58 — Comienzan los cálculos para cada subperíodo ZT. Se calculan los coeficientes CH y V, que se usan más adelante, y se inicializan a cero los indicadores LN(I) (no hay modificación de rec/des en el elemento I), y LM (no hay modificación de rec/des en ningún elemento del modelo).

60 — Cálculo de la recarga/descarga, BO(I), en el elemento = polígono = celda I, para el subperíodo ZT, según lo explicado en [11]. Si el nudo es de piezometría predeterminada, se salvan las dos líneas que siguen.

59-61 — En el caso de piezometría predeterminada, se calcula la correspondiente a este subperíodo, H(I), según [17], y se calcula también la variación de almacenamiento, S(I), según [20].

62 — Se inicializan a cero el factor de relajación, RELAX (I), y la variable de infiltración o surgencia, QS(I). Se hace que la piezometría inicial del período, HO(I), sea igual a la piezometría vigente en este instante, H(I).

63-64 — Se incrementan los contadores de iteraciones (ITRNO) y modificaciones de la rec/des (NUBIT). Si el número de iteraciones sobrepasa el límite, se aborta el programa.

65-66-67-68-69-70-71-72 — Lazo en que se modifica la H(I) y se reajusta (si el elemento tiene acuífero libre) el espesor saturado. La modificación de la H(I) puede deberse a dos motivos diferentes. En el caso general, se hace cuando al resolver el sistema completo, no se alcanza el criterio de error. Entonces se modifican todas las H(I) y se vuelven a calcular los residuos y el error. Sin embargo, para algún elemento en particular, al descender H(I) por debajo del nivel mínimo de bombeo, se puede modificar ese bombeo. Esa modificación de bombeo implicaría una modificación del RES(I) en la línea 67, por lo que hay necesidad de recalcular la H(I) particular de ese elemento. Este caso aparece cuando es el parámetro $LM < > 0$ y para el nudo en el cual es el parámetro $LN(I) < > 0$.

Si $LM=0$ entonces, si el acuífero es libre, se modifican todas las H(I) y los espesores saturados. Si $LM=1$, entonces sólo se modifican las H(I) de aquellos polígonos cuya LN(I) no es cero.

Dentro del mismo lazo, si el nivel, en un elemento con acuífero confinado desciende por debajo de su techo, el programa identifica este elemento y finaliza.

En la línea 72, finalizados los cambios correspondientes de H(I) para todos los elementos, se vuelve a hacer $LM=0$.

73-74 — Comienzo de otro lazo, que va hasta la línea 95, en el que se calculan los términos del balance y se modifican las rec/des, si se requiere. Se comienza por inicializar a cero una sumatoria YS que interviene en el cálculo del coeficiente de relajación que se utiliza para la modificación de las H(I). También se hace cero la sumatoria QSUM de los flujos subterráneos que entran o salen del elemento I. Después, si el nudo NO es de piezometría predeterminada se calcula el volumen de agua almacenada, S(I). En la primera pasada, por descontado, $H(I) = HO(I)$ y resulta $S(I)=0$. Pero, en sucesivas iteraciones, conforme se va modificando la H(I), acercándose a la solución del sistema de ecuaciones, S(I) se va aproximando a su verdadero valor.

75-76 — Para cada lado del elemento I, K es el nudo vecino del I por el lado J en cuestión. Para ese lado se calcula Z, un coeficiente que es el producto del espesor medio del acuífero en los nudos I y K, por TA (recordemos que TA era la transmisividad por el ancho del lado dividido por la distancia nodal). Este coeficiente Z, cuando lo multipliquemos por la diferencia piezométrica $H(K)-H(I)$, equivaldrá al flujo subterráneo atravesando el lado J en el subperíodo considerado. Por otro lado, la suma YS de las Z de cada lado del elemento I se usa en la fórmula (línea 82) del coeficiente de relajación, para la modificación (línea 67), en cada iteración, de la H(I). Z es una cantidad siempre mayor que cero. En el caso (sumamente anómalo) de valor cero, podría dar problemas en la fórmula del coeficiente de relajación (línea 82), donde aparece como denominador. Para evitarlo se acota con un valor mínimo pequeño (0.001 por ejemplo).

77 — Se calcula el flujo E(I, J) que pasa a través del lado J, se van sumando las Z y se van sumando los flujos E.

78 — Cálculo de la diferencia de cotas piezométrica menos la de infiltración/surgencia (si el

acuifero es libre) o la del techo del acuifero (si el acuifero es confinado). Luego, si el acuifero del elemento I es confinado se saltan las dos líneas siguientes.

79 - 80 — Si el acuifero es libre, y se dan las condiciones apropiadas, se calculan los volúmenes OS de surgencia ($OS < 0$) o de infiltración ($OS > 0$) En cada caso, las condiciones vienen dadas por el parámetro $M(I)$ ($1 =$ surgencia, $-1 =$ infiltración) que determina la posibilidad, y por la diferencia HRM ($> 0 =$ surgencia, $< 0 =$ infiltración) que determina la ocasión.

81 - 82 — Si el elemento NO es de piezometría predeterminada, se calcula el llamado coeficiente de relajación, que tiene las dimensiones de una impedancia [T/L^2], y que se utiliza para modificar la $H(I)$ en sucesivas iteraciones.

83 — Se calcula el residual RES(I) del balance de masas del elemento I en el subperíodo ZT e iteración ITRNO. Dicho residual es igual a la rec/des BO menos la variación del almacenamiento S más la suma neta de flujos subterráneos OSUM más/menos la infiltración/surgencia OS, todo ello en [hm^3 /subperíodo].

84 — Si el elemento es de borde ($Area = 0$) se hace su residual igual a cero y se va al próximo elemento.

85 - 86 — Las líneas que siguen, hasta la 93, se emplean en la modificación de la recarga/descarga en cierto tipo de situaciones. Ello ocurre cuando hay extracción y el nivel piezométrico desciende por debajo del nivel mínimo de bombeo. También ocurre cuando hay recarga y el nivel piezométrico sube por arriba del nivel del terreno. Ambos fenómenos son físicamente incompatibles, y en estas líneas, el programa recorta, bien la extracción, bien la recarga, para conseguir que la piezometría no sobrepase los límites mencionados. En primer lugar, si no hay rec/des ($BO = 0$), se pasa al elemento siguiente.

87 — Si hay recarga, $BQ(I) > 0$, se va a comparar el nivel $H(I)$ con el del suelo $SL(I)$.

88 - 89 — Si hay descarga, se compara la $H(I)$ con el nivel mínimo de bombeo $DIF(I)$. Si la $H(I)$ es mayor, no hay modificaciones de la descarga, y se pasa al próximo elemento. En caso contrario se va a modificar BQ (línea 90).

90 — Si, habiendo recarga, la H es menor que el

nivel del suelo, se pasa al próximo elemento. En caso contrario se va a modificar BQ.

91 — Se modifica la recarga o la descarga disminuyéndola en un 25%. Al introducir la modificación, los parámetros correspondientes a detectar una modificación de la rec/des, LM y LN(I) se hacen igual a uno. Se van sumando las modificaciones sucesivas para llegar a la total TAQ

92 — Termina el lazo de cálculo para el elemento I, subperíodo ZT, iteración ITRNO y modificación NUBIT. Si ha habido modificación de rec/des hay que repetir todos los cálculos para obtener el nuevo RES (vuelta a la línea 64). En caso contrario se pasa a chequear si se cumple o no el criterio de error para el subperíodo.

93 - 94 - 95 — Se inicializa a cero la sumatoria SUM de los valores absolutos de los errores residuales. Si el elemento es de piezometría predeterminada ($LR(I) < 2$), el proceso no se aplica. Se calcula la sumatoria SUM y se compara con el criterio de error ERRAR. Si no se cumple, se reinician los cálculos, incrementando el número de iteración. Si el criterio se cumple, prosigue el cálculo.

96 - 97 - 98 - 99 — Si para el subperíodo en cuestión, ZT, se ha cumplido el criterio de error, se van calculando los totales (para el período) de residuo, TRE, variación de almacenamiento, TS, recarga/extracción, TBO, surgencia/infiltración, TOS, y flujos por cada lado, PE(I, J). Se pasa a subperíodo siguiente y, si es ya el último, quedan completados los cálculos del período.

100 - 101 - 102 - 103 - 104 - 105 - 106 - 107 - 108 - 109 — Se inicializan a cero una serie de sumatorios, para obtener valores globales para el conjunto de área modelada y período. Se suman los términos de entradas y salidas, y luego se suman todas las entradas por un lado (TITA = recarga, TIT = flujo subterráneo entrante, TUTI = infiltración) y todas las salidas (TUTA = extracción, TUT = flujo subterráneo saliente, TUTS = surgencia) por el otro.

110 - 111 - 112 - 113 - 114 - 115 - 116 - 117 - 118 - 119 - 120 - 121 - 122 - 123 — Se escriben los totales del área del modelo, luego se escriben los totales para el período y elemento. Altura piezométrica final, P, rec/des, TBO, variación (e. su caso) de la rec/des, TAQ, variación en el almacenamiento, TS, surgencia o infiltración, TOS

sidual TRE, variación en la piezometría entre el principio y el fin del periodo (año), V, error en el caso de piezometría predeterminada, DAF, tipo de elemento LR (de los cuatro posibles, según [12]), flujos subterráneos, PE, en el periodo (año) y elemento y lado. Se comprueba que una serie de flujos salientes por un lado son iguales a los entrantes en el polígono vecino, si lo hay.

24 — Se pasa al período (año) siguiente, o si se ha llegado al último, se termina el programa.

Ejemplos

Para aclarar las explicaciones anteriores se ofrecen una serie de ejemplos de las formas como se puede utilizar el programa.

Tomamos como ejemplo de acuífero el muy simple de la figura 5, aunque el programa en sí no tiene limitaciones en número de elementos, lados, etc...

Se trata de la cabecera de un valle de lados impermeables, atravesado por un río, valle que descarga por el sur en una zona de piezometría predeterminada. Se ha dividido en cuatro polígonos (elementos) reales, con nudos 1, 2, 3, y 4, y dos elementos de borde, de nudos 5 y 6, que son los de piezometría fijada.

Los elementos 1 y 2 son de acuífero libre y piezometría libre, a partir de una inicial. Los polígonos 3 y 4 son de acuífero confinado y piezometría libre. Los elementos de borde 5 y 6 son de acuífero confinado y piezometría predeterminada.

Las dimensiones geométricas (distancias nodales, longitudes de los lados) son las indicadas en la figura 5. Se consideran dos años (periodos). En un primer ejemplo se considera que la repartición de la recarga/descarga es uniforme durante el período (año), y que no hay infiltraciones del río, ni surgencias. En estas condiciones, los datos de entrada, en la forma en que hace la escritura-eco el propio programa podrían ser los de la figura 6. El propio archivo desde donde se leen los datos podría adoptar la forma de la figura 7, donde aparecen las mismas magnitudes que en la figura 6, aunque con una disposición diferente.

Se leen primero el número [6] de polígonos (elementos, celdas), el de polígonos [4] reales (no de borde), número máximo de lados por polígono [3], períodos (años) [2], número de subperíodos/año [4], error máximo residual para todo el modelo (aquí se elige que el error total sea igual o menor de 10.000 m³/año), número máximo de iteraciones (500), y el factor de paso de m²/día a hm²/año (= .0365).

Después entran todos los datos para cada elemento: Número del elemento, clase (LR), coeficiente para infiltración (M=-1) o surgencia (M=1), y cota del muro.

Después viene una cantidad que puede tener significados diversos. Si el acuífero es confinado se pone aquí la cota del techo [m], como en los polígonos 3, 4, 5 y 6. Si el acuífero es libre, y NO hay surgencias o infiltraciones, como en este ejemplo los polígonos 1 y 2, se pone cualquier valor (el programa no utiliza el dato).

A continuación viene el nivel mínimo de bombeo [m], y la cota de la superficie del terreno [m]. El área [hm²], coeficiente de almacenamiento y

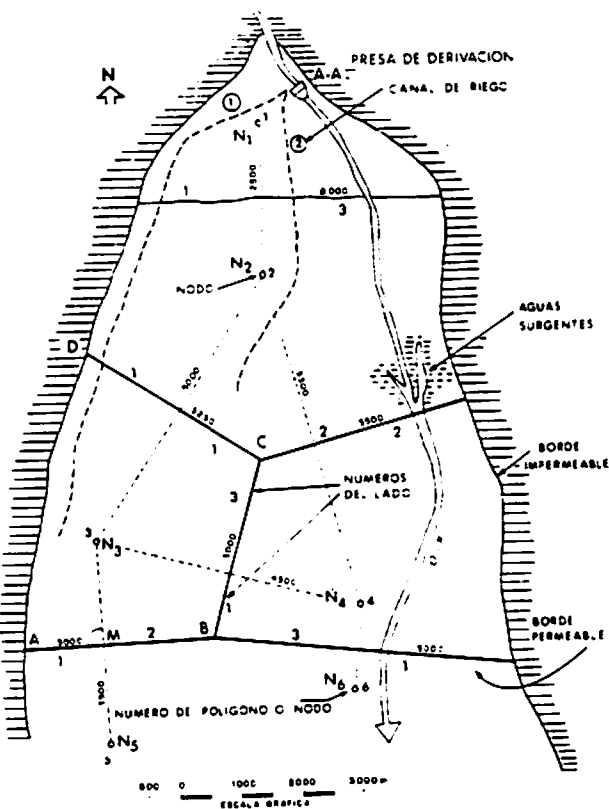


Figura 5.

```
#.pol.= 6
#.pol.reales= 4
#.max.lados/pol.= 3
#.periodos= 2
#.subper./per.= 4
error max. residual (hm3/per)= .01
coef. relajacion= .8
#.max. iteraciones= 500
factor modif. tiempo= .0365
```

n.	LR	M	MURO(m)	RM6TE(m)	BOM(m)	SUE(m)	AREA(hm2)	ALMAC	TN(m2/d)	f
1	3	0	362.1	391.9	373.0	392.0	725.0	.30000	0	0
2	3	0	353.0	383.9	364.0	382.5	1950.0	.15000	0	0
3	2	0	346.0	356.0	356.0	376.5	1250.0	.00100	0	0
4	2	0	345.0	355.0	355.0	374.8	1450.0	.00100	0	0
5	1	0	343.0	352.0	352.0	373.5	0.0	.00000	0	0
6	1	0	342.5	351.5	351.5	372.0	0.0	.00000	0	0

```
n + Pol. vecinos + Tr. lados(m2/dia) + Dist. nodal(m) + Long. lados(m)
```

1	2	6030	5000	2500								
2	3	4	1	5870	6140	6030	3250	3500	5000	5500	2500	
3	2	5	4	5870	2740	3270	3250	3000	3000	5000	3500	4500
4	3	2	6	3270	6140	2490	3000	3500	5000	4500	5500	1500
5	3	2740	3000	3500								
6	4	2490	5000	1500								

```
n. REC/DES(hm3/año) + Repartición + Piezometria
```

1	9.600001	8.5	0	0	377.4	0	0
2	-1.6	-1.5	0	0	374	0	0
3	-5.1	-5	0	0	367.9	0	0
4	-10.3	-9	0	0	364.5	0	0
5	0	0	0	0	362	361.7	361
6	0	0	0	0	362.1	361.8	362

Figura 6.

```
6 4 3 2 4 .01 .8 500 .0365
```

1	3	0	362.1	391.9	373	392	725	.3	0	0	2	0	0	6030		
5000				2500			9.6	8.5	0	0	377.4	0	0			
2	3	0	353	383.9	364	382.5	1950	.15	0	0	3	4	1	5870	6140	6030
3250	3500	5000		5000	5500	2500	-1.6	-1.5	0	0	374.0	0	0			
3	2	0	346	356	356	376.5	1250	.001	0	0	2	5	4	5870	2740	3270
3250	3000	3000		5000	3500	4500	-5.1	-5.0	0	0	367.9	0	0			
4	2	0	345	355	355	374.8	1450	.001	0	0	3	2	6	3270	6140	2490
3000	3500	5000		4500	5500	1500	-10.3	-9.0	0	0	364.5	0	0			
5	1	0	343	352	352	373.5	0	0	0	0	3	0	0	2740		
3000				3500			0	0	0	0	362.0	361.7	361			
6	1	0	342.5	351.5	351.5	372	0	0	0	0	4	0	0	2490		
5000				1500			0	0	0	0	362.1	361.8	362			

Figura 7.

la transmisividad en el nudo (si se usa la de los lados se pone aquí cero).

Viene después un factor que es siempre cero, menos cuando hay infiltración, en cuyo caso es el valor que se usa como coeficiente X(i) en la

ecuación [5], para el cálculo de dicha infiltración [m²/subperíodo], ya que en teoría sería el producto del área mojada [m²] por una permeabilidad vertical [1/subperíodo]. En este ejemplo es igual a cero.

Después se entra el número del polígono vecino a través de cada lado. Hay que entrar valores hasta completar, para cada elemento, el número máximo de lados indicado, aunque el propio elemento tenga menos. Si no hay polígono vecino se entra el valor cero. Así, para el primer elemento se entran los valores 4, 0, 0. Para el segundo elemento, los valores 3, 4, 1, y así sucesivamente. El programa calcula el número de lados permeables de cada polígono descontando los ceros, y almacena también los números que identifican a los polígonos vecinos. Cuando el programa escribe datos-eco sólo escribe el número del polígono relativo al lado permeable. Por ello hay una diferencia en cómo se presentan los datos en el archivo y cómo los escribe el programa.

Después se leen [m], secuencialmente y sólo para los lados permeables, las transmisividades de los lados (si se ha usado la de los nudos se pone aquí cero) [m²/día], las distancias nodales [m], y las longitudes de los lados [m], estos tres grupos cada uno en el mismo orden en que se leyeron los números de los polígonos vecinos. Este orden es importante, ya que si no se sigue, el programa lo comprueba, y en su caso aborta.

Por último se leen los valores de la recarga/extracción por período [hm³/año], su distribución y las piezometrías [m]. En el caso de trabajar con piezometrías a calcular (LR=2 ó 3) sólo se pone el valor de la primera, y se pone cero en las posiciones de las restantes (polígonos 1, 2, 3 y 4, por ejemplo, en el elemento 1: 377.4,0,0). En el caso de trabajar con piezometrías predeterminadas (LR=0 ó 1) como con los elementos 5 y 6, hay que escribir todos los valores (por ejemplo, en el elemento 6, 362.1, 361.8, 362).

Los datos del archivo, figura 7, aparecen más claros en la escritura-eco de la figura 6.

El programa escribe a continuación el agua almacenada en la cuenca al inicio del cálculo, y después produce los resultados en la forma autoexplicativa de la figura 8. Las columnas (MODIF)

AGUA ALMACENADA EN LA CUENCA= 95.25892 HM3

1 Iter.= 166 Mod.= 0

AGUA ALMACENADA EN EL ACUIFERO (hm3)= 80.96086
 DESCARGA (hm3/año)= 23.90719
 RECARGA (hm3/año)= 9.600001

n.	PIEZ.=H	REC/DES	(MODIF)	V.ALM.	SUR-INF	RESID.	H-Hp.	ERROR	n.	tipo
1	378.18	9.60	0.00	1.69	0.00	-0.00	0.78	0.00	1	3
2	368.54	-1.60	0.00	-15.96	0.00	-0.01	-5.46	0.00	2	3
3	365.23	-5.10	0.00	-0.03	0.00	-0.00	-2.67	0.00	3	2
4	365.03	-10.30	0.00	0.01	0.00	-0.00	0.53	0.00	4	2
5	361.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.30	0.00	5	1
6	361.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.30	0.00	6	1

n. FLUJOS A TRAVES DE CADA LADO

1	-7.91		
2	-10.73	-11.55	7.91
3	10.73	-5.60	-0.06
4	0.06	11.55	-1.31
5	5.60		
6	1.31		

AGU= 2 Iter.= 155 Mod.= 0

AGUA ALMACENADA EN EL ACUIFERO (hm3)= 70.65804
 DESCARGA (hm3/año)= 18.81222
 RECARGA (hm3/año)= 8.5

n.	PIEZ.=H	REC/DES	(MODIF)	V.ALM.	SUR-INF	RESID.	H-Hp.	ERROR	n.	tipo
1	377.40	8.50	0.00	-1.68	0.00	-0.00	-0.77	0.00	1	3
2	365.62	-1.50	0.00	-8.56	0.00	-0.01	-2.93	0.00	2	3
3	362.78	-5.00	0.00	-0.03	0.00	-0.00	-2.44	0.00	3	2
4	362.54	-9.00	0.00	-0.04	0.00	-0.00	-2.49	0.00	4	2
5	361.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.70	0.00	5	1
6	362.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	6	1

n. FLUJOS A TRAVES DE CADA LADO

1	-10.18		
2	-8.12	-9.12	10.18
3	8.12	-2.88	-0.27
4	0.27	9.12	-0.43
5	2.88		
6	0.43		

Fin programa=twn1.bas - Fin archivo=twn.dat

Figura 8.

SUR-INF y ERROR carecen de significado en este ejemplo. Aquí resulta:

$$REC/DES + FLUJOS A TRAVES DE CADA LADO - V.ALM = RESID$$

como puede comprobarse con cualquiera de los elementos. H-Hp significa la piezometría al final del periodo menos la inicial del mismo, es decir,

la variación piezométrica del nudo en cuestión a lo largo del período cuyos resultados se escriben.

Terminada la escritura de un periodo, se pasa al cálculo y escritura del periodo siguiente. Tras el último de ellos termina el programa escribiendo el nombre del programa y el del archivo usado.

Sobre este mismo modelo se introducen ahora unos cambios menores para aclarar, siempre en la línea de piezometría libre (LR(1) > 2) (salvo en los nudos o elementos de borde), la introducción de recarga/descarga variable en el tiempo, infiltración, surgencia y cota mínima de bombeo.

Veamos primero recarga/extracción variable en el tiempo. Para un elemento considerado, por ejemplo el elemento número 1, con una rec/des neta en el período primero de 9.6 hm³/año, se supone que la rec/des neta en la segunda mitad del período es de 0.8 hm³ y la rec/des en la primera mitad del periodo es de 8.8 hm³ (0.8+8.8=9.6). El factor de distribución a introducir es (segunda mitad—primera mitad)+0.8-8.8=-8, y ese es el número que se coloca en el lugar correspondiente del archivo de datos, donde antes había un 0. De forma similar se incluye el valor para el segundo período del primer elemento, y los de los otros elementos en donde se requiera.

Si se compara el archivo antes y después de introducir estas modificaciones, se ve que, después de las cifras de rec/des, donde antes figuraban ceros figuran ahora los valores, para cada elemento,

Elemento	Antes		Ahora	
1	0	0	-8	-7
2	0	0	-8	-7
3	0	0	-3.1	-3
4	0	0	-7.3	-6.4
5	0	0	0	0 (Borde)
6	0	0	0	0 (Borde)

Veamos ahora cómo se introduce la cota mínima de bombeo. Por ejemplo, en el elemento 4, donde el acuífero se supone confinado (LR(4)=2), hay un bombeo de -10.3 y -9 [hm³] el primer y segundo periodo, respectivamente. Se había usado una cota mínima de bombeo de 355 [m], conjuntamente con una piezometría inicial de


```

#pol.= 6
#pol.reales= 4
#max.lados/pol.= 3
#periodos= 2
#subper./per.= 4
#por max. residual (hm3/per)= .1
#ef. relajacion=.8
#max. iteraciones= 500
factor modif. tiempo= .0365

LR M MURO(m) RMOTE(m) BOM(m) SUE(m) AREA(ha2) ALMAC TN(m2/d) F
1 3 -1 362.1 391.9 373.0 392.0 725.0 .30000 0 275
2 3 1 353.0 373.9 364.0 382.5 1950.0 .15000 0 0
3 2 0 346.0 356.0 356.0 376.5 1250.0 .00100 0 0
4 2 0 345.0 355.0 368.0 374.8 1450.0 .00100 0 0
5 1 0 343.0 352.0 352.0 373.5 0.0 .00000 0 0
6 1 0 342.5 351.5 351.5 372.0 0.0 .00000 0 0

+ Pol. vecinos + Tr. lados(m2/dia) + Dist. nodal(m) + Long. lados(m)
1 2 6030 5000 2500
2 3 4 1 5870 6140 6030 3250 3500 5000 5000 5500 2500
3 2 5 4 5870 2740 3270 3250 3000 3000 5000 3500 4500
4 3 2 6 3270 6140 2490 3000 3500 5000 4500 5500 1500
5 3 2740 3000 3500
6 4 2490 5000 1500

REC/DES(hm3/año) + Repartición + Piezometria
1 9.600001 8.5 -8 -7 377.4 0 0
2 -1.6 -1.5 -.8 -.7 374 0 0
3 -5.1 -5 -3.1 -3 367.9 0 0
4 -10.3 -9 -7.3 -6.4 364.5 0 0
5 0 0 0 0 362 361.7 361
6 0 0 0 0 362.1 361.8 362

AGUA ALMACENADA EN LA CUENCA= 95.25892 HM3

```

```

#pol.= 6
#pol.reales= 4
#max.lados/pol.= 3
#periodos= 2
#subper./per.= 4
#por max. residual (hm3/per)= .1
#ef. relajacion=.8
#max. iteraciones= 500
factor modif. tiempo= .0365

LR M MURO(m) RMOTE(m) BOM(m) SUE(m) AREA(ha2) ALMAC TN(m2/d) F
1 0 -1 362.1 391.9 373.0 392.0 725.0 .30000 0 275
2 0 1 353.0 373.9 364.0 382.5 1950.0 .15000 0 0
3 1 0 346.0 356.0 356.0 376.5 1250.0 .00100 0 0
4 1 0 345.0 355.0 368.0 374.8 1450.0 .00100 0 0
5 1 0 343.0 352.0 352.0 373.5 0.0 .00000 0 0
6 1 0 342.5 351.5 351.5 372.0 0.0 .00000 0 0

+ Pol. vecinos + Tr. lados(m2/dia) + Dist. nodal(m) + Long. lados(m)
1 2 6030 5000 2500
2 3 4 1 5870 6140 6030 3250 3500 5000 5000 5500 2500
3 2 5 4 5870 2740 3270 3250 3000 3000 5000 3500 4500
4 3 2 6 3270 6140 2490 3000 3500 5000 4500 5500 1500
5 3 2740 3000 3500
6 4 2490 5000 1500

1. REC/DES(hm3/año) + Repartición + Piezometria
1 9.600001 8.5 -8 -7 377.4 389.5 391.5
2 -1.6 -1.5 -.8 -.7 374 372.1 370.7
3 -5.1 -5 -3.1 -3 367.9 368.2 369
4 -10.3 -9 -7.3 -6.4 364.5 365.1 360
5 0 0 0 0 362 361.7 361
6 0 0 0 0 362.1 361.8 362

AGUA ALMACENADA EN LA CUENCA= 95.25892 HM3

ARO= 1 Iter.= 0 Mod.= 0

```

```

ARO= 1 Iter.= 64 Mod.= 1
AGUA ALMACENADA EN EL ACUIFERO (hm3)= 118.464
DESCARGA (hm3/año)= 26.82609
RECARGA (hm3/año)= 49.98496

n. PIEZ.=H REC/DES MODIF V.ALM SUR-INF RESID. H-Hp. ERROR n. tipo
1 389.97 9.60 0.00 27.34 40.36 0.00 12.57 0.00 1 3
2 372.56 -1.60 0.00 -4.20 22.24 -0.04 -1.44 0.00 2 3
3 368.56 -5.10 0.00 0.01 0.00 -0.01 0.64 0.00 3 2
4 368.76 -9.08 -0.60 0.00 0.00 -0.01 4.26 0.00 4 2
5 361.70 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -0.30 0.00 5 1
6 361.80 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -0.30 0.00 6 1

n. FLUJOS A TRAVES DE CADA LADO
1 -22.65
2 -12.66 -12.34 22.65
3 12.66 -8.17 0.62
4 -0.82 12.34 -1.99
5 8.17
6 1.99

ARO= 2 Iter.= 45 Mod.= 0
AGUA ALMACENADA EN EL ACUIFERO (hm3)= 119.4502
DESCARGA (hm3/año)= 24.1851
RECARGA (hm3/año)= 27.24576

n. PIEZ.=H REC/DES MODIF V.ALM SUR-INF RESID. H-Hp. ERROR n. tipo
1 390.22 8.50 0.00 27.54 40.36 0.00 12.57 0.00 1 3
2 372.73 -1.50 0.00 0.44 22.24 -0.01 1.20 0.00 2 3
3 368.64 -5.00 0.00 0.00 0.00 -0.01 0.64 0.00 3 2
4 369.16 -9.00 0.00 0.00 0.00 -0.01 4.26 0.00 4 2
5 361.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -0.30 0.00 5 1
6 362.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -0.30 0.00 6 1

n. FLUJOS A TRAVES DE CADA LADO
1 -26.70
2 -12.77 -11.91 26.70
3 12.77 -8.67 0.41
4 -0.91 11.91 -1.99
5 8.67
6 1.99

Fin programa=tm1.bas - Fin archivo=tmw.dat

```

Figura 10.

```

AGUA ALMACENADA EN EL ACUIFERO (hm3)= 116.0314
DESCARGA (hm3/año)= 25.00777
RECARGA (hm3/año)= 99.74848

n. PIEZ.=H REC/DES (MODIF) V.ALM SUR-INF RESID. H-Hp. ERROR n. tipo
1 389.50 9.60 0.00 26.32 90.15 59.18 12.10 0.00 1 0
2 372.10 -1.60 0.00 -5.56 0.00 -24.88 -1.90 -0.02 2 0
3 368.20 -5.10 0.00 0.00 0.00 0.74 0.30 0.01 3 1
4 365.10 -10.30 0.00 0.01 0.00 18.93 0.60 0.13 4 1
5 361.70 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -0.30 0.00 5 1
6 361.80 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -0.30 0.00 6 1

n. FLUJOS A TRAVES DE CADA LADO
1 -14.25
2 -16.98 -26.11 14.25
3 16.98 -6.99 -4.14
4 4.14 26.11 -1.01
5 6.99
6 1.01

ARO= 2 Iter.= 0 Mod.= 0

AGUA ALMACENADA EN EL ACUIFERO (hm3)= 116.2226
DESCARGA (hm3/año)= 24.42404
RECARGA (hm3/año)= 9.677824

n. PIEZ.=H REC/DES (MODIF) V.ALM SUR-INF RESID. H-Hp. ERROR n. tipo
1 391.50 8.50 0.00 4.35 1.10 -29.31 2.00 -.00 1 0
2 370.70 -1.50 0.00 -4.09 0.00 1.06 -1.40 0.00 2 0
3 369.00 -5.00 0.00 0.01 0.00 -20.70 0.80 -.17 3 1
4 360.00 -9.00 0.00 -0.07 0.00 34.02 -5.10 0.23 4 1
5 361.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -0.70 0.00 5 1
6 362.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.20 0.00 6 1

n. FLUJOS A TRAVES DE CADA LADO
1 -34.56
2 -6.12 -29.97 34.56
3 6.12 -8.92 -12.89
4 12.89 29.97 0.08
5 8.92
6 -0.08

Fin programa=tm1.bas - Fin archivo=TMW.dat

```

Figura 11.

Anexo 2.

Datos utilizados en el modelo : datos de piezometría, bombeos y precipitaciones.

VALORES DE LA PIEZOMETRIA DEL POZO DE SEREÑAT

AÑO	MES	DIA	NIVEL	SITUACION
1976	DIC.	14	549.73	D
1977	AGO	10	579.42	
1978	ABR	5	526.86	
1978	MAY	18	522.24	
1978	JUN	22	521.80	
1978	SEP	26	516.98	
1978	OCT	25	516.40	
1978	NOV	16	516.28	
1978	DIC	20	516.19	
1979	MAR	14	518.35	
1979	ABR	11	516.34	
1979	MAY	30	516.40	
1979	JUN	26	516.48	
1979	JUL	18	516.45	
1979	OCT	11	516.02	
1979	NOV	21	514.35	
1979	DIC	19	509.06	
1980	MAR	11	557.45	
1980	ABR	17	511.29	D
1980	MAY	21	570.03	
1980	JUN	27	570.95	
1980	JUL	29	567.96	
1980	OCT	1	557.97	
1980	OCT	28	553.43	
1980	DIC	1	548.36	
1981	ENE	20	542.53	
1981	FEB	10	542.18	
1981	MAR	12	543.20	
1981	ABR	7	541.26	
1981	MAY	12	541.50	
1981	JUL	20	533.96	
1981	SEP	16	527.42	
1981	OCT	28	521.98	
1981	DIC	15	516.27	
1982	FEB	18	483.90	
1982	ABR	1	483.25	
1982	JUL	22	485.70	
1982	SEP	23	542.90	
1982	NOV	18	533.30	
1983	ABR	27	525.10	
1983	JUL	23	513.80	
1983	SEP	30	506.00	
1984	FEB	16	494.30	
1984	SEP	14	480.10	
1985	MAR	13	471.70	
1985	NOV	7	462.95	
1986	ABR	24	444.80	
1986	SEP	25	406.10	

VALORES DE LA PIEZOMETRIA DEL POZO DE SEREÑAT

AÑO	MES	DIA	NIVEL	SITUACION
1987	FEB	12	503.85	
1987	JUL	1	495.80	
1987	OCT	6	483.10	
1988	FEB	29	563.55	
1988	SEP	30	519.70	
1989	JUN	22	513.22	D
1989	OCT	18	534.50	D
1990	FEB	9	562.93	D
1990	JUL	4	550.37	D
1990	JUL	5	551.60	D
1990	AGO	3	544.20	D
1990	SEP	7	539.00	D
1990	SEP	14	537.90	D
1990	OCT	5	532.50	D
1990	NOV	2	529.20	D
1990	DIC	5	524.70	D
1991	ENE	4	522.00	D
1991	FEB	1	521.90	D
1991	MAR	1	525.00	D
1991	MAR	14	554.42	D
1991	ABR	7	557.70	
1991	MAY	3	564.40	
1991	JUN	7	533.40	D
1991	JUN	24	549.20	D
1991	JUL	6	533.80	D
1991	AGO	4	524.40	D
1991	SEP	6	517.50	D
1991	SEP	30	528.10	
1991	OCT	5	513.40	D
1991	NOV	2	510.00	D
1991	DIC	5	505.20	D
1992	ENE	3	502.50	D
1992	FEB	1	500.00	D
1992	MAR	6	500.80	D
1992	ABR	4	500.50	D
1992	ABR	10	519.33	
1992	MAY	3	486.00	D
1992	JUN	5	517.00	
1992	JUN	23	510.30	
1992	JUL	4	499.00	D
1992	AGO	7	493.00	D
1992	SEP	4	489.20	D
1992	SEP	29	490.95	
1992	OCT	2	485.00	D
1992	NOV	7	482.20	
1992	DIC	7	493.00	
1993	ENE	1	490.40	
1993	FEB	5	490.90	
1993	FEB	26	483.00	D

VALORES DE LA PIEZOMETRIA DEL POZO DE SEREÑAT

AÑO	MES	DIA	NIVEL	SITUACION
	1993	MAR	1 502.00	
	1993	ABR	1 504.40	
	1993	MAY	3 502.60	
	1993	JUN	1 501.70	
	1993	JUN	29 485.10	D
	1993	JUL	5 488.30	
	1993	AGO	2 485.00	D
	1993	SEP	3 481.00	D
	1993	OCT	22 461.88	D
	1994	FEB	28 476.61	D
	1994	MAR	1 500.60	
	1994	MAR	11 496.70	
	1994	MAR	18 497.00	
	1994	MAR	25 497.00	
	1994	ABR	3 495.00	
	1994	ABR	15 493.90	
	1994	ABR	22 493.58	
	1994	MAY	19 478.00	

VALORES DE LA PIEZOMETRIA DEL POZO DE PINETA

AÑO	MES	DIA	NIVEL	SITUACION	
	1978	SEP	7	547.00	
	1978	NOV	29	542.84	
	1988	NOV	18	554.91	
	1990	JUL	4	586.98	
	1990	JUL	5	593.00	
	1990	AGO	3	588.20	
	1990	SEP	7	581.00	
	1990	SEP	14	574.30	
	1990	OCT	5	575.00	
	1990	NOV	2	570.40	
	1990	DIC	5	565.80	
	1991	ENE	4	562.50	
	1991	FEB	1	561.70	
	1991	MAR	1	561.00	
	1991	MAR	14	549.70	D
	1991	ABR	7	552.10	
	1991	MAY	3	564.00	
	1991	JUN	7	572.50	
	1991	JUN	21	548.15	D
	1991	JUL	6	566.70	
	1991	AGO	4	561.00	
	1991	SEP	6	556.00	
	1991	SEP	30	534.04	D
	1991	OCT	5	550.60	
	1991	NOV	2	546.30	
	1991	DIC	5	540.90	
	1992	ENE	3	538.00	
	1992	FEB	1	534.50	
	1992	MAR	6	534.40	
	1992	ABR	4	533.60	
	1992	ABR	10	519.46	D
	1992	MAY	3	529.00	
	1992	JUN	5	522.00	D
	1992	JUN	23	517.80	D
	1992	JUL	4	530.00	
	1992	AGO	7	525.00	D
	1992	SEP	4	518.60	
	1992	SEP	29	505.99	D
	1992	OCT	2	509.70	D
	1992	NOV	7	506.00	D
	1992	DIC	7	496.70	D
	1993	ENE	1	494.50	D
	1993	FEB	5	494.00	D
	1993	FEB	26	523.85	D
	1993	MAR	1	505.80	D
	1993	ABR	1	508.00	D
	1993	MAY	3	506.70	D
	1993	JUN	1	505.90	D

VALORES DE LA PIEZOMETRIA DEL POZO DE PINETA

AÑO	MES	DIA	NIVEL	SITUACION
	1993 JUN		29 519.60	D
	1993 JUL		5 506.00	D
	1993 AGO		2 495.30	D
	1993 SEP		3 491.20	D
	1993 OCT		22 497.40	D
	1994 FEB		28 480.20	D
	1994 MAR		1 483.69	
	1994 MAR		11 483.02	
	1994 MAR		18 481.50	
	1994 MAR		25 481.00	
	1994 ABR		3 478.70	
	1994 ABR		15 477.45	
	1994 ABR		22 477.10	
	1994 MAY		19 478.70	

		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
1986		63.000	63.000	63.000	63.000	63.000	63.000	64.000	64.000	64.000	127.000	127.000	127.000
1987		65.000	65.000	65.000	65.000	65.000	65.000	65.000	65.000	65.000	130.000	130.000	130.000
1988		67.800	67.800	67.800	67.800	67.800	67.800	67.800	67.800	67.800	135.600	135.600	135.600
1989		71.200	71.200	71.200	71.200	71.200	71.200	71.200	71.200	71.200	142.400	142.400	142.400
1990	S (+ P)	74.760	74.760	74.760	74.760	74.760	74.760	N.D.	110.270	109.420	81.510	85.650	73.480
	Pineta	-	-	-	-	-	-	-	1.450	710	2.870	3.100	80
	Rosset	9.330	9.330	9.330	9.330	9.330	9.330	9.330	5.369	3.816	1.617	1.408	622
1991	Sereñat	84.770	63.310	N.D.	1.380	13.560	88.450	89.100	115.990	81.950	112.060	92.040	92.590
	Pineta	7.530	30	22.520	76.830	77.220	1.280	3.950	3.050	1.780	3.040	340	3.650
	Rosset	1.899	1.650	990	2.615	4.977	4.000	5.964	7.096	3.823	3.960	2.766	2.613
1992	Sereñat	71.860	72.930	51.530	100.580	9.610	14.280	105.260	84.600	70.130	62.450	26.300	8.150
	Pineta	9.010	10	10.950	6.550	65.320	65.940	7.830	47.380	34.780	29.670	68.500	110.250
	Rosset	1.865	1.466	1.848	4.184	2.486	0	0	0	0	0	0	0
1993	Sereñat	6.220	7.820	10	4.390	4.140	33.240	32.570	33.060	28.040			
	Pineta	71.810	48.030	60.980	74.680	70.720	73.490	72.810	72.980	60.040			
	Rosset	0	0	0	0	0	0	0	0	0			

DATOS DE EXTRACCIONES

DATOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN

AÑO	OCTU	NOVI	DICI	ENER	FEBR	MARZ	ABRI	MAYO	JUNI	JULI	AGOS	SEPT	TOTAL
1961/62	-1.0	-1.0	-1.0	4.0	74.0	44.5	27.5	56.5	47.5	3.5	0.0	33.5	-1.0
1962/63	221.0	18.0	45.5	27.0	38.5	0.0	32.0	11.0	31.0	23.0	10.0	95.5	552.5
1963/64	4.5	2.5	74.0	13.0	28.5	30.5	17.0	5.0	34.5	4.0	21.0	21.0	255.5
1964/65	2.0	23.0	103.5	41.0	9.5	7.5	56.5	11.0	32.5	0.0	12.0	20.0	318.5
1965/66	98.0	9.0	22.0	6.0	18.5	3.0	33.5	17.0	63.0	22.5	3.0	20.0	315.5
1966/67	110.0	4.5	0.0	18.0	45.5	23.5	25.5	3.8	41.0	0.0	47.0	24.5	343.3
1967/68	5.0	70.5	3.5	27.0	33.5	50.0	25.5	11.5	26.1	0.0	15.0	0.0	267.6
1968/69	0.0	24.5	101.0	32.0	23.7	29.0	32.0	8.5	46.5	0.0	11.0	94.0	402.2
1969/70	144.5	35.5	13.0	13.5	2.0	30.5	20.5	6.0	20.5	10.5	0.0	0.0	296.5
1970/71	89.5	0.0	75.0	14.5	7.0	73.5	59.0	74.6	8.5	0.0	0.7	5.5	407.8
1971/72	234.0	86.2	49.8	38.7	4.7	31.6	14.1	50.4	28.5	0.0	27.7	62.0	627.7
1972/73	76.2	106.8	5.3	32.6	18.5	75.0	33.4	6.6	120.5	0.9	0.8	49.8	526.4
1973/74	27.6	1.5	90.3	2.4	57.5	61.5	67.7	13.0	3.9	14.5	26.8	1.3	368.0
1974/75	43.0	0.0	0.0	0.0	27.1	74.9	22.5	60.9	90.0	0.0	63.0	70.9	452.3
1975/76	14.0	9.5	42.5	3.1	8.9	5.0	52.7	111.0	30.0	0.0	99.4	20.9	396.9
1976/77	78.4	3.2	101.5	49.4	3.2	16.4	40.5	100.1	28.0	72.7	1.9	49.0	544.1
1977/78	8.0	57.5	19.5	13.7	25.8	28.8	72.5	40.9	57.7	0.0	0.0	3.5	327.9
1978/79	21.0	63.4	25.8	86.8	14.0	16.5	24.0	21.1	21.4	5.5	0.0	42.2	341.8
1979/80	49.2	0.9	1.2	163.4	160.6	30.4	84.0	72.5	14.5	0.0	3.5	0.0	580.3
1980/81	4.6	42.7	45.7	6.1	27.7	15.8	103.8	33.9	34.3	0.0	28.4	10.4	353.5
1981/82	32.3	0.0	0.0	46.3	36.7	72.5	91.8	95.9	0.0	0.0	0.0	72.6	448.0
1982/83	213.1	18.1	0.0	0.0	12.0	2.7	9.7	9.4	25.8	0.0	27.0	0.0	317.9
1983/84	1.4	85.6	12.5	6.8	32.9	38.4	18.1	71.9	5.8	0.0	13.6	19.3	306.8
1984/85	2.4	93.8	0.0	14.8	46.0	11.9	36.7	126.1	2.7	0.0	0.0	10.7	345.2
1985/86	40.4	56.9	24.7	16.9	11.1	12.2	28.2	5.5	3.4	52.9	0.6	184.4	437.1
1986/87	108.0	27.4	5.8	40.5	65.6	0.0	2.5	76.1	0.0	43.8	2.5	24.1	396.1
1987/88	105.1	247.1	66.4	42.7	51.1	2.5	78.4	90.2	85.0	0.0	4.4	53.3	826.1
1988/89	53.5	66.7	1.3	40.7	21.4	120.4	27.8	42.6	62.0	1.2	16.6	283.0	737.0
1989/90	20.3	69.6	101.5	64.0	0.0	20.5	102.8	51.0	0.0	1.4	26.0	9.1	466.1
1990/91	49.8	16.6	13.6	94.3	36.7	97.8	11.0	1.2	21.9	0.2	1.2	5.5	349.9
1991/92	13.0	11.8	3.8	3.8	102.4	24.1	5.9	30.7	127.7	3.1	0.0	0.0	326.2
1992/93	45.9	8.3	20.5	0.0	176.3	30.0	43.7	34.9	10.1	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0

Anexo 3.

Disquete con el modelo en PMWIN y datos de salida

POZO DE SEREÑAT

Datos salida PMWIN

FECHA	DIAS	PIEZ.CALC	PIEZ.OBS.
abr-86	0		444.8
may-86	30	486.87	
jun-86	60	478.83	
jul-86	90	471.84	
ago-86	120	483.14	
sep-86	150	474.81	406.1
oct-86	180	527.71	
nov-86	210	534.62	
dic-86	240	518.87	
ene-87	270	500	503.85
feb-87	300	508.71	
mar-87	330	521.04	
abr-87	360	509.6	
may-87	390	501.16	
jun-87	420	517.7	495.8
jul-87	450	506.51	
ago-87	480	511.9	
sep-87	510	502.75	483.1
oct-87	540	502.18	
nov-87	570	514.58	
dic-87	600	569.47	
ene-88	630	562.79	
feb-88	660	565.66	563.55
mar-88	690	569.59	
abr-88	720	570.17	
may-88	750	581.66	
jun-88	780	589.43	
jul-88	810	593.59	
ago-88	840	578.9	
sep-88	870	569.45	519.7
oct-88	900	577.09	
nov-88	930	569.33	
dic-88	960	569.7	
ene-89	990	549.28	
feb-89	1020	557.9	
mar-89	1050	555.81	
abr-89	1080	582.5	
may-89	1110	577.64	
jun-89	1140	579.83	
jul-89	1170	585.09	
ago-89	1200	572.96	
sep-89	1230	568.4	
oct-89	1260	617.27	
nov-89	1290	586.81	
dic-89	1320	582.25	
ene-90	1350	584.68	
feb-90	1380	590.44	
mar-90	1410	578.59	
abr-90	1440	575.31	
may-90	1470	591.45	
jun-90	1500	590.31	
jul-90	1530	577.68	
ago-90	1560	560.71	
sep-90	1590	555.58	
oct-90	1620	545.44	
nov-90	1650	555.44	

POZO DE SEREÑAT

Datos salida PMWIN

FECHA	DIAS	PIEZ.CALC	PIEZ.OBS.
dic-90	1680	550.44	
ene-91	1710	547.64	
feb-91	1740	559.64	
mar-91	1770	561.93	557.7
abr-91	1800	585.15	564.4
may-91	1830	587.03	
jun-91	1860	576.63	
jul-91	1890	555.42	
ago-91	1920	537.94	
sep-91	1950	517.46	528.1
oct-91	1980	514.76	
nov-91	2010	502.88	
dic-91	2040	500.07	
ene-92	2070	492.9	
feb-92	2100	491.84	
mar-92	2130	520.56	519.33
abr-92	2160	524.44	
may-92	2190	505.58	517
jun-92	2220	525.82	510.3
jul-92	2250	564.1	
ago-92	2280	529.6	
sep-92	2310	513.78	490.95
oct-92	2340	504.65	482.2
nov-92	2370	512.62	493
dic-92	2400	514.17	490.4
ene-93	2430	517.63	490.9
feb-93	2460	515.29	502
mar-93	2490	571.88	504.4
abr-93	2520	576.13	502.6
may-93	2550	585.41	501.7
jun-93	2580	590.56	481
jul-93	2610	579.22	
ago-93	2640	569.05	
sep-93	2670	560.53	
oct-93	2700	554.79	

POZO DE PINETA

Datos salida PMWIN

FECHA	DIAS	PIEZ.CALC	PIEZ.OBS.
abr-86			
may-86	30	484.6	
jun-86	60	473.89	
jul-86	90	464.57	
ago-86	120	484.61	
sep-86	150	470.32	
oct-86	180	519.43	
nov-86	210	522.56	
dic-86	240	503.07	
ene-87	270	481.86	
feb-87	300	489.5	
mar-87	330	502.96	
abr-87	360	492	
may-87	390	485.57	
jun-87	420	502.61	
jul-87	450	491.89	
ago-87	480	497.5	
sep-87	510	488.6	
oct-87	540	488.1	
nov-87	570	498.81	
dic-87	600	553.76	
ene-88	630	543.65	
feb-88	660	545.69	
mar-88	690	550.97	
abr-88	720	553.04	
may-88	750	566.59	
jun-88	780	580.93	
jul-88	810	590.8	
ago-88	840	573.16	
sep-88	870	561.31	
oct-88	900	567.23	
nov-88	930	556.78	554.9
dic-88	960	553.41	
ene-89	990	530.01	
feb-89	1020	537.96	
mar-89	1050	537.01	
abr-89	1080	567.24	
may-89	1110	562.62	
jun-89	1140	564.9	
jul-89	1170	572.86	
ago-89	1200	560.22	
sep-89	1230	555.12	
oct-89	1260	630.64	
nov-89	1290	592.8	
dic-89	1320	581.77	
ene-90	1350	582.98	
feb-90	1380	587.5	
mar-90	1410	571.64	
abr-90	1440	565.9	
may-90	1470	586.2	
jun-90	1500	585.86	586.9
jul-90	1530	570.42	588.2
ago-90	1560	550.58	574.3
sep-90	1590	541.94	575
oct-90	1620	528.9	570.4
nov-90	1650	537.13	565.8

POZO DE PINETA

Datos salida PMWIN

FECHA	DIAS	PIEZ.CALC	PIEZ.OBS.
dic-90	1680	531.58	562.5
ene-91	1710	528.7	561.7
feb-91	1740	559.84	552.1
mar-91	1770	568.7	564
abr-91	1800	585.26	572.5
may-91	1830	550.1	566.7
jun-91	1860	524.51	561
jul-91	1890	544.06	556
ago-91	1920	543.86	550.6
sep-91	1950	538.96	550.6
oct-91	1980	535.27	546.3
nov-91	2010	530.9	540.9
dic-91	2040	527.2	538
ene-92	2070	519.01	534.5
feb-92	2100	510.16	534.4
mar-92	2130	539.27	533.6
abr-92	2160	533.96	529
may-92	2190	525.41	
jun-92	2220	502.3	530
jun-92	2240	511.635	
jul-92	2250	520.97	
ago-92	2280	522.49	518.6
sep-92	2310	500.21	
oct-92	2340	489.16	
nov-92	2370	496.63	
dic-92	2400	473.44	
ene-93	2430	443.39	
feb-93	2460	466.82	
mar-93	2490	536.66	
abr-93	2520	550.38	
may-93	2550	565.46	
jun-93	2580	575.91	
jul-93	2610	561.85	
ago-93	2640	549.06	
sep-93	2670	538.54	
oct-93	2700	532.28	