

Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

**ESTUDIO DE LOS ASPECTOS ECONOMICOS
DE GESTION DE LA RECARGA ARTIFICIA
DEL ACUIFERO CUATERNARIO DEL RIO OJA.**

Madrid, Septiembre 1.991

EXPEDIENTE Nº

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
|--|--|--|--|

ORGANICA Nº PROGRAMA Nº CONCEPTO Nº

| | | |
|--|--|--|
| | | |
|--|--|--|



MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO

34183

I N D I C E

- 1.- INTRODUCCION
- 2.- DESCRIPCION DE LAS INSTALACIONES DE RECARGA
 - 2.1.- Canal de la Resaca
 - 2.2.- Canal de Santurdejo-Gallinero
 - 2.3.- Canal de Patagallina-La Piscina
 - 2.4.- Balsas de recarga
- 3.- DISPOSITIVOS DE CONTROL DE LA RECARGA
 - 3.1.- Red piezométrica específica de recarga
 - 3.2.- Red de control limnimétrica
- 4.- AGUA DE RECARGA EN ORIGEN
 - 4.1.- Naturaleza, caudal disponible y régimen temporal
 - 4.1.1.- Canal de Patagallina
 - 4.1.2.- Canal de la Resaca
 - 4.1.3.- Canal de Santurdejo-Gallinero
 - 4.2.- Características de calidad y su variabilidad
- 5.- PRECIPITACION Y EVAPORACION SOBRE LA SUPERFICIE DE LAS BALSAS
- 6.- EVALUACION DE LOS VOLUMENES INFILTRADOS EN LOS CANALES DE RECARGA-TRANSPORTE
 - 6.1.- Canal de la Resaca
 - 6.1.1.- Análisis de los dispositivos de control
 - 6.1.2.- Metodología empleada para la estimación de la infiltración en el tramo E-1 - Balsa-A.
 - 6.1.3.- Análisis de las curvas de gastos correspondientes a las escalas E1 y E2.
 - 6.1.4.- Evaluación de los volúmenes infiltrados. Determinación de la curva de rendimiento del canal.
 - 6.2.- Canal de Patagallina-Las Piscinas
 - 6.3.- Canal de Santurdejo-Gallinero
 - 6.4.- Evaluación de los volúmenes infiltrados en las balsas de recarga.
 - 6.4.1.- Balsa A
 - 6.4.2.- Balsa B
 - 6.4.3.- Balsa C
- 7.- ENSAYOS CON TRAZADORES
- 8.- EVOLUCION DE LA TASA DE INFILTRACION
- 9.- REDUCCION DE LA CAPACIDAD DE RECARGA. COLMATACION
 - 9.1.- Reducción de la capacidad de recarga por alteración de la superficie del suelo.

- 9.2.- Reducción de la capacidad de recarga por adición de materia en suspensión.
 - 9.3.- Reducción de la capacidad de recarga por actividad biológica.
 - 9.4.- Reducción de la capacidad de recarga por cambios en la composición o incompatibilidad del agua de recarga, bien con el agua del acuífero, o bien con las distintas formaciones geológicas.
- 10.- INFLUENCIA DE LA RECARGA ARTIFICIAL SOBRE EL AGUA DEL ACUIFERO
- 11.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

1. INTRODUCCION.

Se entiende por recarga artificial la ciencia y conjunto de técnicas que permiten aumentar la disponibilidad de agua subterránea, con la calidad apropiada a los usos a la que se destina, mediante una intervención consciente, directa o indirecta, en el ciclo natural del agua. (E. Custodio).

Esta técnica puede jugar un papel muy importante en el marco general de la planificación hidrológica, puesto que la misma puede actuar como puente de unión en el uso conjunto aguas superficiales-aguas subterráneas, al permitir la utilización del acuífero como un embalse regulador, en lugares donde se disponga de períodos excedentarios de agua, y donde por razones de tipo económico, ecológico, etc, resulte más conveniente almacenar agua en el subsuelo, para lograr una explotación más racional de los recursos en coordinación con todos los elementos que determinan el régimen hidrológico de una cuenca.

Es por tanto evidente, que por el interés que tiene esta técnica en posibilitar una mejor explotación de los acuíferos por aumento de sus recursos y creación de reservas, forme actualmente parte de uno de los grandes temas de investigación hidrogeológica en los países más desarrollados, donde existen Organismos específicos encargados de su seguimiento y control. Uno de los ejemplos más característicos se encuentra en Holanda donde el Instituto de Ensayo e Investigaciones de los Abastecimientos Neerlandeses (KIWA) y la Asociación de Abastecimientos de Agua (VENIN) han constituido un Comité sobre recarga artificial, muy activo, y que es actualmente una de las principales fuentes de publicación e información a nivel mundial.

Otros países que poseen un alto grado de desarrollo en técnicas de recarga artificial son:

- Estados Unidos donde se han efectuado el mayor número de realizaciones y experiencias con los objetivos más variados (aumento de disponibilidades, control de intrusión marina, recuperación y almacenamiento de aguas residuales, etc).

- Israel donde por su clima notablemente árido (en España en muchas zonas es muy semejante) se han visto obligados a investigar y desarrollar las técnicas de recarga artificial con el objetivo de luchar contra la sobreexplotación de acuíferos, almacenando y regulando agua en el subsuelo, tanto de sobrantes invernales, como agua de escorrentía de tormentas, y aguas residuales. El agua de recarga puede suponer el 10% de los recursos de agua explotables en el país.

- Alemania donde se encuentran el mayor número de realizaciones europeas.

En España, las primeras experiencias se efectuaron en los alrededores de Barcelona (aluvial del río Besos y aluvial del río Llobregat). El Instituto Tecnológico GeoMinero de España ha iniciado las siguientes experiencias: Valladolid (Valle del Esgueva), Granada (Guadix), Sevilla (Calcarenitas de Carmona) y La Rioja (Aluvial del río Oja).

Por lo que respecta a esta última, cabe mencionar, que en 1985, el Instituto Tecnológico GeoMinero de España (ITGE) emprende la realización del "Estudio Hidrogeológico del Cuaternario del río Glera u Oja". Los resultados que se obtienen en el mismo permiten estimar que los recursos del acuífero son del orden de 30 Hm³/año y los bombeos netos de 4 Hm³/año, por lo que se considera, que dentro del esquema

de Planificación Hidrogeológica de la Cuenca, el acuífero aluvial podría utilizarse para la mejora del regadío de unas 3.000 Has, que con dotaciones de 5.000 m³/Ha/año, precisarían un volumen de 15 Hm³/año, cantidad posible de extraer del acuífero, pero que originaría descensos del nivel piezométrico entre 8 y 10 metros, que podrían recuperarse sin ningún problema, si se apoya el efecto natural con una recarga artificial que aproveche los excedentes invernales del río Oja.

Inspirados en este informe, los agricultores y ganaderos de la cuenca, particularmente los de las áreas de Santo Domingo de la Calzada y Bañares, emprenden en enero de 1987, por iniciativa propia, la construcción de un dispositivo de recarga, que lógicamente no pudo ser tan ambicioso como el planteado en el informe de 1985, ya que en el momento de iniciarse las obras no contaban con ningún tipo de apoyo económico, aunque más tarde recibieron una apreciable ayuda desde el Gobierno Autónomo de La Rioja que se interesó por el tema.

Una vez finalizado y puesto en funcionamiento este dispositivo, el ITGE llevó a cabo el informe "Primeras experiencias de recarga artificial en el acuífero del río Oja" donde se analizan los caudales de recarga, la evolución piezométrica, así como determinaciones de la velocidad real del flujo subterráneo, sus direcciones y permeabilidad del acuífero.

Desde 1987 hasta la actualidad, tanto el ITGE como otros Organismos han mantenido en la zona redes de control, que han permitido disponer de una notable documentación sobre el área. Esta información se encuentra almacenada en la Base de Datos Aguas, pero hasta el momento no se ha procedido a un estudio en profundidad de la misma. Por esta razón, los trabajos que se plantean en este proyecto, tienen

como finalidad primordial el análisis de toda la información existente, actualizándola y complementándola con nuevos estudios hasta ahora no realizados, como es la investigación de los procesos de colmatación, principal problema con el que se enfrenta la misma.

El presente estudio ha sido realizado por la Dirección de Aguas Subterráneas del Instituto Tecnológico GeoMinero de España, bajo la dirección de D. Agustín Navarro Alvargonzález, y siendo su autor D. José Manuel Murillo Dí-
az.

2.- DESCRIPCION DE LAS INSTALACIONES DE RECARGA.

En la fig. n° 1 se muestra la localización de los dispositivos de recarga construidos, que esencialmente consisten en tres balsas denominadas: "A", "B" y "C", y en sus correspondientes canales de alimentación-recarga, cuyas características geométricas aproximadas se muestran en el Cuadro n° 1.

CUADRO N° 1 CARACTERISTICAS GEOMETRICAS APROXIMADAS DE LOS CANALES DE ALIMENTACION-RECARGA

| DENOMINACION DEL CANAL | TRAMO (metros) | LONGITUD (metros) | ANCHO (metros) | PROFUNDIDAD (metros) | PENDIENTE % |
|------------------------|----------------|-------------------|----------------|----------------------|-------------|
| RESACA | RESACA I | 500 | 2 | > 1 | 1.3 |
| | RESACA II | 1450 | 1 | 1 | |
| SANTURDEJO GALLINERO | SANTURDEJO | 3000 | 0.3-1 | 0.3-0.5 | 1.2 |
| | GALLINERO | 1500 | 0.3-1 | 0.3-0.5 | |
| PATAGALLINA PISCINAS | PATAGALLINA | 1000 | 1-3 | > 1 | 0.97 |
| | MODERNO | 200 | 1-2 | > 1 | |
| | PISCINAS | 3590 | 0.5 | 0.3-0.5 | |

SITUACION DE LOS DISPOSITIVOS DE RECARGA Y CONTROL DE LA MISMA EN EL ACUIFERO ALUVIAL DEL RIO OJA.
PLANO HIDROGEOLOGICO

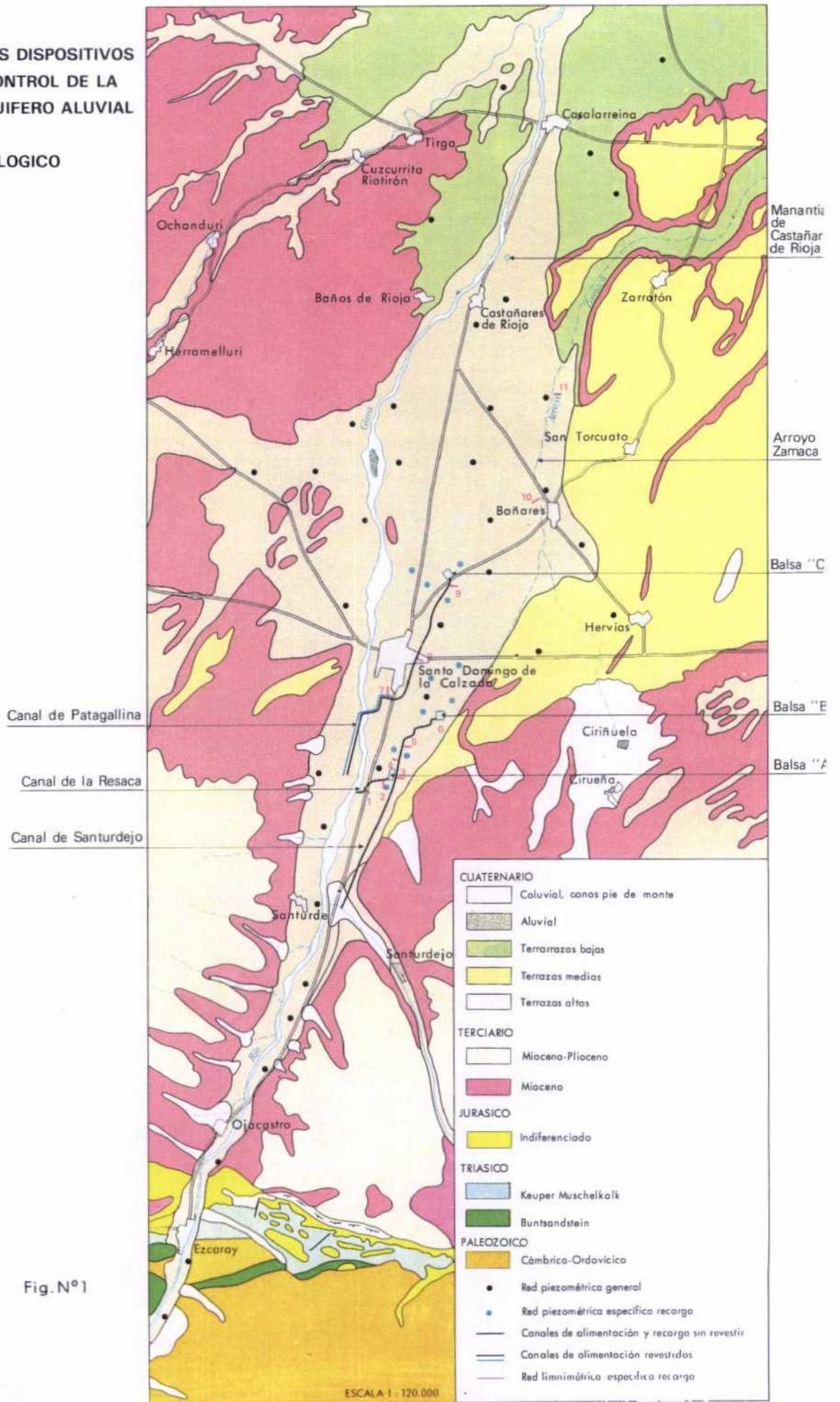


Fig. Nº1

2.1.- Canal de la resaca.

Este canal constituye la obra de mayor embergadura de las realizadas. Se localiza entre los kilómetros 23 y 24,500 de la carretera comarcal Logroño- , su longitud es aproximadamente de 1950 m., alimenta a la balsa denominada "A" y en él se pueden diferenciar dos tramos.

El primero de ellos (Fig nº 2), que constituye el canal de alimentación, discurre paralelo y a escasa distancia del cauce del río Oja, tiene sección trapezoidal y una longitud de unos quinientos metros. La entrada de agua al mismo se realiza de forma subterránea mediante una captación tipo zanja situada a escasa profundidad del suelo y, que se prolonga algunos metros bajo el lecho del río Oja. Dos compuertas situadas en los extremos del canal permiten regular la entrada y la salida de agua. Muy próximo a la compuerta de salida se localiza un canal de evacuación, que retorna parte del agua al río Oja cuando la lámina de agua alcanza una determinada altura en el canal principal; su finalidad es la de servir de aliviadero para que el agua no desborde la segunda compuerta e inunde los campos de labor existentes en las proximidades del canal de recarga. La excavación de la mayor parte de este primer tramo del canal intercepta al nivel piezométrico correspondiente al periodo invierno-primavera; por lo que ha sido necesario impermeabilizar el fondo y las paredes laterales del mismo con arcilla para disminuir el drenaje y minimizar el agua que se vierte al río.

El segundo tramo, que constituye propiamente el canal de infiltración, se extiende al norte de la zona de cultivos denominada la Riberilla, tiene una longitud de 1450 m. y su sección es aproximadamente cuadrada (1m x 1m). No se encuentra revestido salvo en las inmediaciones del cruce con la carretera comarcal y en las intersecciones con los

caminos agrícolas. El punto de toma de agua para la recarga se encuentra localizado a una cota de 697 m.s.n.m., y el de descarga en la balsa "A" a una altitud de 671,39 m.s.n.m.. La pendiente media del canal es por consiguiente del 1,3 % que es la misma que tiene el río Oja en el tramo comprendido entre Santurde y Santo Domingo de la Calzada.

2.2.- Canal de Santurdejo-Gallinero.

Las aguas procedentes del río Espardaña o Santurdejo afluente del Oja por su margen derecha son recogidas y reguladas en tres grandes depósitos (Zaldo, Llave y Tejadillo) existentes en el término municipal de Santurdejo, y derivadas posteriormente por la acequia denominada Espardaña-Santurdejo, que discurre casi en su totalidad por el borde de la cuneta del camino de concentración parcelaria que une las localidades de Santurdejo y Sto. Domingo de la Calzada. Únicamente en su tramo final es desviada del canal principal por un nuevo canal (Gallinero), abierto exclusivamente para la experiencia de recarga, hasta la balsa "B".

La longitud total del canal es de 4,5 km. de los que 3 km. corresponden a la acequia Espardaña-Santurdejo y 1,5 km. al canal de nueva construcción de Gallinero. La sección es muy variable: circular en determinados tramos y rectangular o trapezoidal en otros, con una anchura media de 0,5 m. aunque en determinados lugares puede llegar a 1 m. La profundidad supera en algunos puntos el medio metro. El canal no está revestido salvo en el tramo inicial río Espardaña-Ctra. Logroño-. La pendiente media del canal desde la balsa "A" hasta la balsa "B" es del 1,2 %.

2.3.- Canal de Patagallina-La Piscina.

A mediados de la década de los años cincuenta los agricultores de Sto. Domingo de la Calzada construyeron dos canales (Amando y Patagallina) a una distancia de 2 km. y 3 km. aguas arriba del casco urbano en la margen izquierda del río Oja. La realización de dichos canales consistió en una excavación, que en algunos puntos superó los seis metros de profundidad, hasta que se alcanzó el nivel piezométrico en estiaje.

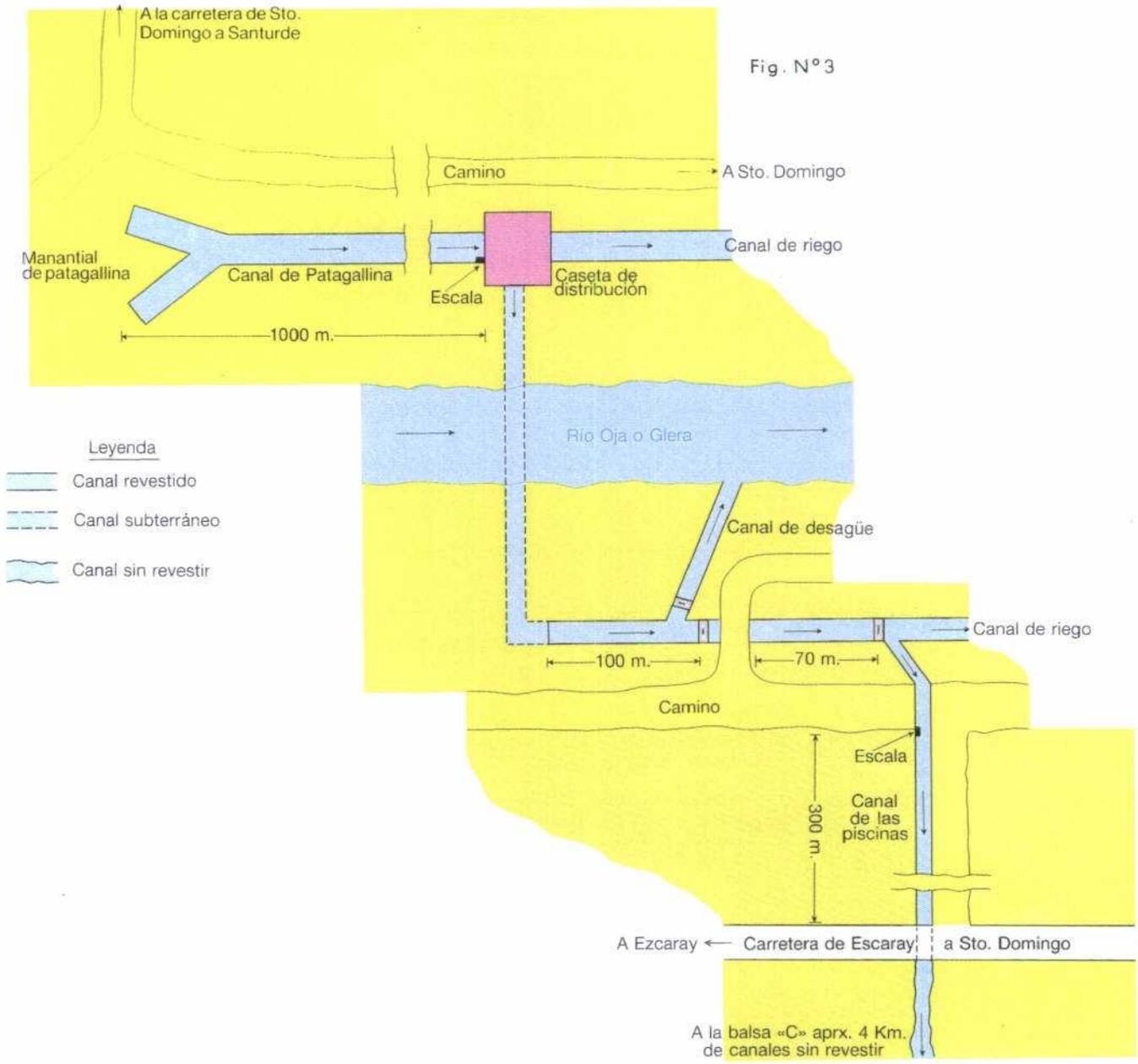
El canal de Patagallina (Fig. n° 3) presenta en su primer tramo hasta la caseta denominada de distribución una longitud de 1 km., una anchura variable entre 1 m y 3 m y una profundidad real que oscila entorno al metro. A partir de esta caseta de distribución se derivan dos canales con sus respectivas compuertas de regulación, y la concesión para el abastecimiento urbano de Sto. Domingo de la Calzada que es aproximadamente de unos 20-25 l/s continuos.

El primer canal, también denominado Antiguo o Acequia de las Parras, discurre por la margen izquierda del río Glera u Oja, y antes de atravesar la carretera nacional Logroño-Vigo se une al canal de Amando ramificándose una vez cruzada esta en una serie de acequias: Choperas, Olmo, Erios, etc, que bien mueren en el río Oja por su margen izquierda o bien en la zona denominada las Abejas.

El segundo canal, que atraviesa subterráneamente el cauce del río Oja, se le llama canal Moderno, y a la altura de la Piscina Municipal se ramifica en dos canales: uno de riego denominado acequia de Carracarros, que atraviesa el casco urbano de Sto. Domingo de la Calzada regando la superficie que domina en su recorrido, y muriendo en el río Oja 1 km. aguas arriba del límite del término municipal de Villalobar. Y otro llamado de la Piscina que es el que

ESQUEMA DEL CANAL DE PATAGALLINA

Fig. N°3



ESQUEMA DE LA Balsa -C-

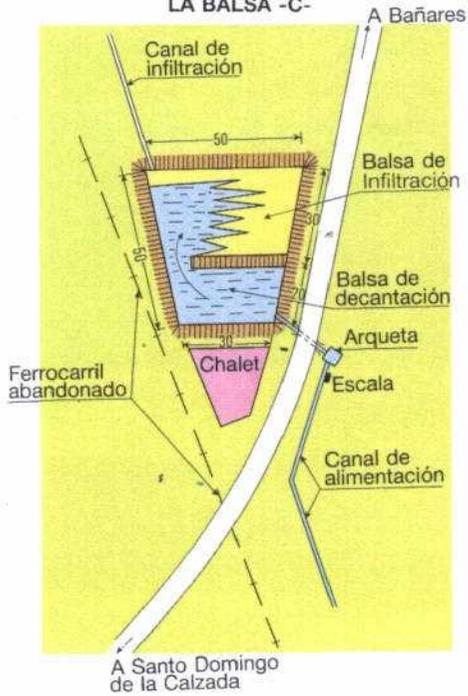


Fig. 5

ESQUEMA DE LA Balsa -B-



alimenta a la balsa "C", y que presenta una longitud de 3.590 m., y una anchura y profundidad que generalmente no supera el medio metro. La pendiente media del canal de alimentación-recarga de Patagallina-Piscinas es de 0,97 ‰; el nacimiento de Patagallina se encuentra a una altitud de 662,815 m.sn.m. mientras que la balsa "C" tiene una cota de 613,935 m.s.n.m.

2.4.- Balsas de recarga.

Como se ha mencionado anteriormente son tres las balsas construidas (Fig. n° 4 y n° 5). La más alta, simbolizada como balsa "A", se ubica en el punto de coordenadas U.T.M. de la Hoja Topográfica 1:50.000 de Sto. Domingo de la Calzada n° 2110 (202)

$$\begin{aligned} X &= 503.800 \\ Y &= 4.696.100 \\ Z &= 671,391 \end{aligned}$$

Se encuentra localizada en el paraje conocido como la Carrasquilla y su forma es rectangular muy alargada. Sus dimensiones se especifican en los Cuadros n° 2 y n° 3.

La balsa se alimenta con agua que proviene del canal de la Resaca aunque eventualmente, algunos días en verano, la recarga se realiza con agua procedente del río Santurdejo. El segundo año de funcionamiento de esta instalación se construyó en la zona adyacente a la entrada de agua a la misma una pequeña balsa de sedimentación.

Esta balsa (A) al igual que las otras dos restantes (B y C) están situadas sobre la terraza baja T₁₀ del aluvial del río Oja.

**CUADRO N° 2 CARACTERISTICAS GEOMETRICAS APROXIMADAS
DE LAS BALSAS DE SEDIMENTACION**

| DENOMINACION DE LA Balsa | COTA (msnm) | LONGITUD (metros) | ANCHO (metros) | PROFUNDIDAD (metros) | SUPERFICIE (m ²) |
|--------------------------|-------------|-------------------|----------------|----------------------|-------------------------------|
| Balsa A CARRASQUILLA | 671.39 | 10 | 20 | 0.30 | 200 |
| Balsa B GALLINERO | 645.302 | | | | |
| Balsa C BAÑARES | 613.935 | 20 | 30-38 | > 0.5 | 670 |

**CUADRO N° 3 CARACTERISTICAS GEOMETRICAS APROXIMADAS
DE LAS BALSAS DE RECARGA**

| DENOMINACION DE LA Balsa | COTA (msnm) | LONGITUD (metros) | ANCHO (metros) | PROFUNDIDAD (metros) | SUPERFICIE (m ²) |
|--------------------------|-------------|-------------------|----------------|----------------------|-------------------------------|
| Balsa A CARRASQUILLA | 671.39 | 88 | 20 | > 0.5 | 1760 |
| Balsa B GALLINERO | 645.302 | 50 | 27 | > 0.5 | 1350 |
| Balsa C BAÑARES | 613.935 | 50 | 30-50 | > 0.5 | 1300 |

La segunda de las balsas, simbolizada como "B" y denominada de Gallinero, se ubica en el punto de coordenadas U.T.M.

$$\begin{aligned} X &= 505.100 \\ Y &= 4.697.600 \\ Z &= 645,302 \end{aligned}$$

Se encuentra localizada entre las carreteras que unen Sto. Domingo de la Calzada con Gallinero de Rioja y con Cirueña.

La alimentación de la balsa se realiza a través del canal de Gallinero (I) con agua procedente del río Santurdejo. Existe un canalillo (II) para su utilización como sobrero si existe una excesiva alimentación a la balsa.

La tercera balsa, o balsa "C", de Bañares, está situada en el término municipal de Sto. Domingo de la Calzada, próxima a la linde con el de Bañares. Su posición en coordenadas U.T.M. es:

$$\begin{aligned} X &= 504.950 \\ Y &= 4.700.400 \\ Z &= 613,935 \end{aligned}$$

Se encuentra localizada entre la carretera que conduce desde Sto. Domingo a Bañares y la antigua vía del ferrocarril que iba de Ezcaray a Haro.

La forma de la balsa es la de un trapecio isósceles, y es doble con una primera zona para decantación y una segunda algo mayor donde se produce la infiltración. Se alimenta con agua procedente del canal de Patagallina-La Piscina.

En 1990 cuando se construyó la nueva carretera de Sto. Domingo a Bañares esta balsa se utilizó como gravera quedando totalmente destruida.

3. DISPOSITIVOS DE CONTROL DE LA RECARGA.

De cara a evaluar la respuesta del acuífero frente al efecto de recarga, inducido por la infiltración en balsas y canales, se establecieron las redes de control que se describen en los apartados siguientes:

3.1.- Red piezométrica específica de recarga.

Además de la red de vigilancia global de niveles en todo el acuífero, constituida por treinta y seis puntos que se controlan desde el mes de diciembre de 1984 con una cadencia de medición variable, se implantó una segunda red específica de piezometría en el acuífero formada por once puntos distribuidos alrededor de las balsas, tres para la balsa "A", cuatro para la balsa "B" y cuatro para la balsa "C", con mediciones periódicas cada dos días entre las fechas que a continuación se relacionan:

26/02/87 al 31/07/87

05/01/88 al 31/08/88

Esto ha supuesto la realización de 2.100 medidas; volumen de datos piezométricos superior a los almacenados en la Base de Datos Aguas del ITGE para los registros de nivel efectuados en acuíferos de la Cuenca Hidrográfica del Pirineo Oriental desde que en 1982 se establecieron redes de vigilancia y control en dicha Cuenca.

Los piezómetros de esta red específica se han denominado por una clave que consta de dos caracteres; el primero que es una letra hace relación a la balsa de recarga que controla, y el segundo que es un número identifica un pozo de control concreto. En el Cuadro nº 4 se expone una relación de esta red específica y en la Fig. nº 1 se indica la ubicación de cada punto.

CUADRO N° 4

RED PIEZOMETRICA ESPECIFICA RECARGA

| DENOMINACION DEL PIEZOMETRO | NUMERO IDENTIFICACION I.T.G.E | BALSA DE RECARGA QUE CONTROLA | DISTANCIA A LA BALSA (metros) | COTA (manm) |
|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|
| A1 | 211070021 | A | 100 | 672.176 |
| A2 | 211030030 | A | 750 | 663.000 |
| A3 | 211030161 | A | 500 | 663.666 |
| B1 | 211030028 | B | 800 | 642.416 |
| B2 | 211030090 | B | 700 | 644.501 |
| B3 | 211030102 | B | 950 | 637.744 |
| B4 | | B | 1000 | 623.231 |
| C1 | | C | 200 | 614.659 |
| C2 | 211030087 | C | 250 | 617.760 |
| C3 | 211030184 | C | 750 | 617.224 |
| C4 | | C | 950 | 607.353 |

3.2.- Red de control limnimétrica.

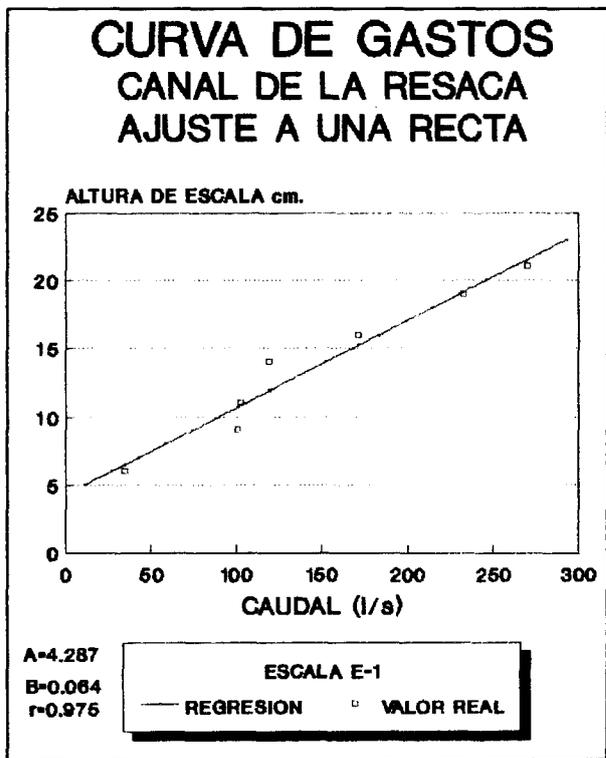
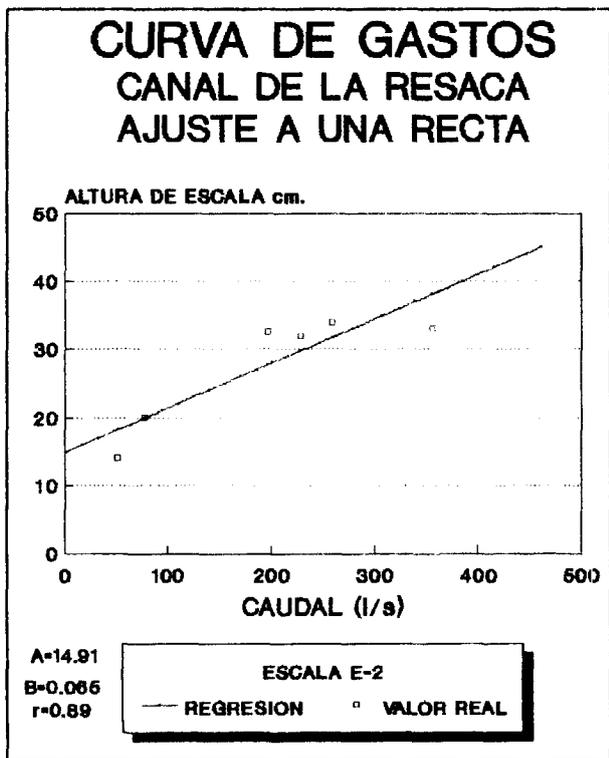
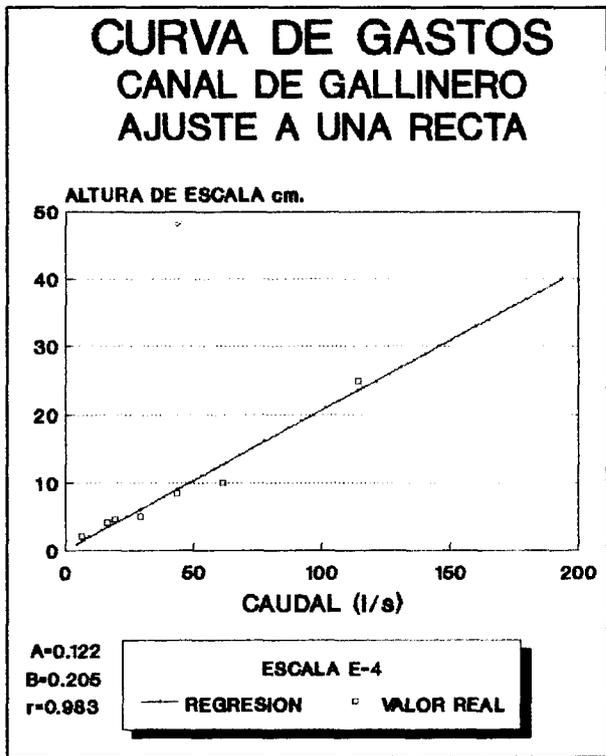
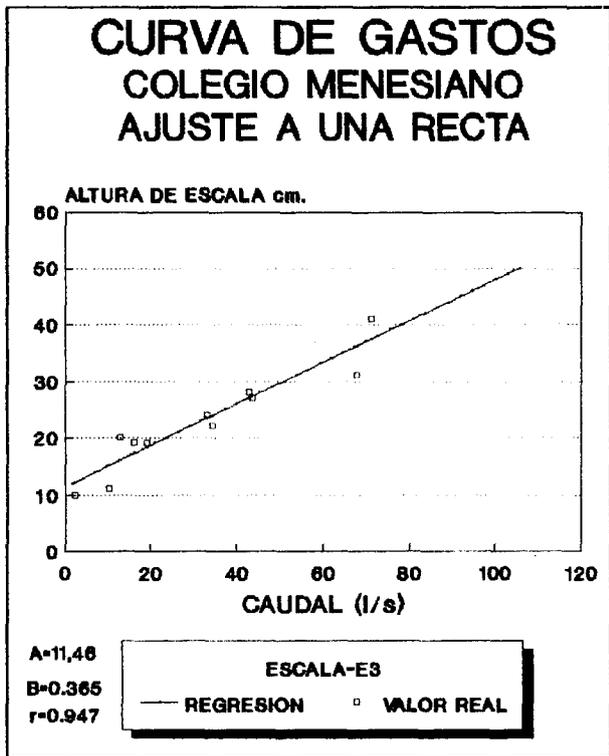
Para conocer el volumen de agua que entró en el acuífero, mediante el mecanismo diseñado, se colocaron al comienzo de las experiencias una serie de escalas limnimétricas en distintos tramos de los canales (Cuadro n° 5), realizándose periódicamente aforos con micromolinete para conocer el caudal circulante.

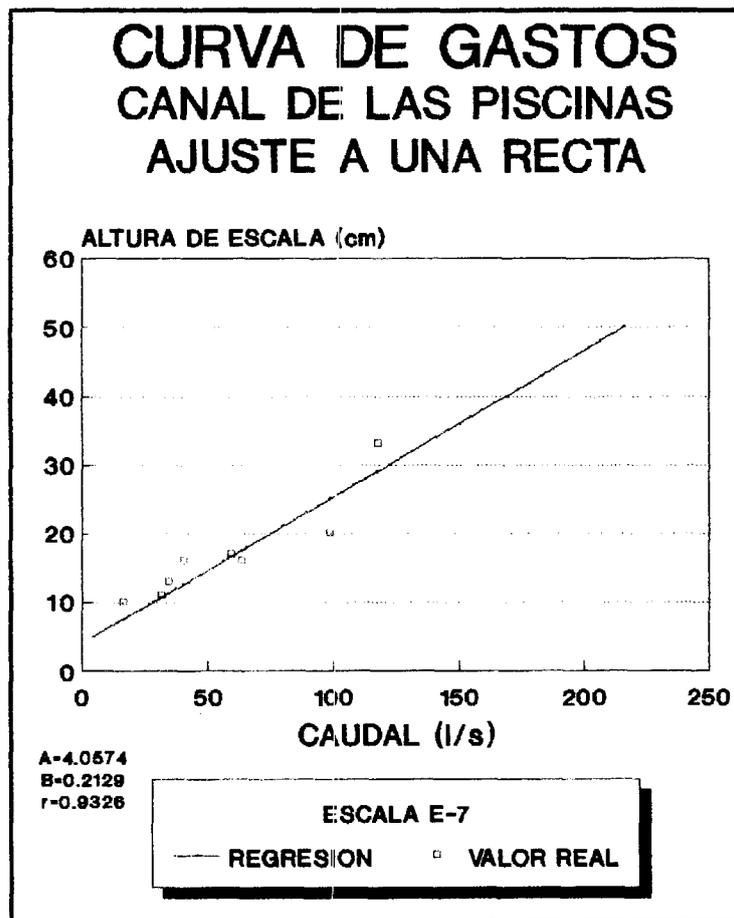
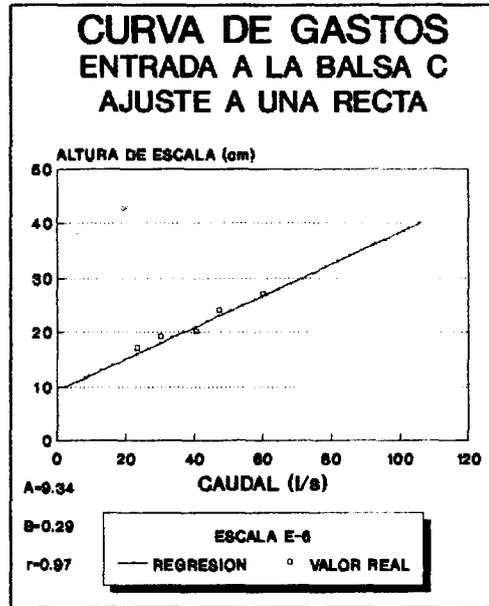
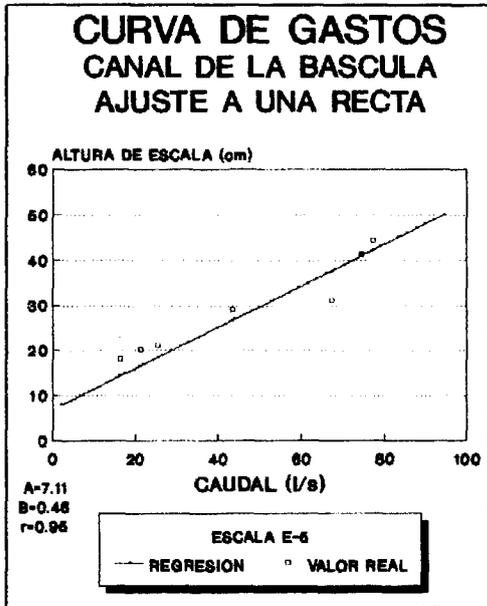
CUADRO Nº 5

| DENOMINACION DE LA ESCALA | CANAL QUE CONTROLA | DISTANCIA AL ORIGEN DEL CANAL | REFERENCIA DEL PUNTO DE CONTROL | OBJETIVO |
|---------------------------|--------------------|-------------------------------|---|---|
| E-2 | RESACA II | 0 m. | ENTRADA AL CANAL DE LA RESACA II | CUATIFICAR LA ENTRADA DE AGUA AL CANAL |
| E-1 | RESACA II | 715 m. | CANAL DE LA RESACA JUNTO A LA CARRETERA | DETERMINAR INFILTRACION EN EL TRAMO E2-E1 |
| E-3 | SANTURDEJO | 2600 m. | CAMINO DE CONCENTRACION PARCELARIA DE SANTURDEJO A 400 m. DE LA BALBA A | DETERMINAR INFILTRACION EN EL TRAMO E3-E4 |
| E-4 | GALLINERO | 1500 m. | ENTRADA A LA BALBA B | CUATIFICAR LA ENTRADA DE A GUA A LA BALBA B |
| E-7 | PISCINA | 0 m. | ENTRADA AL CANAL DE LA PISCINA | CUATIFICAR LA ENTRADA DE AGUA AL CANAL |
| E-5 | PISCINA | 1590 m. | BASCULA DE STO. DOMINGO | DETERMINAR INFILTRACION EN EL TRAMO E7-E5 |
| E-6 | PISCINA | 3590 m. | ENTRADA A LA BALBA C | CUATIFICAR LA ENTRADA DE AGUA A LA BALBA C |

Las escalas se colocaron, en la medida que fue posible, en secciones de aforo de obra para facilitar el ajuste de la curva de gastos. Los valores obtenidos para cada escala, en pares altura-caudal (h_i, Q_i) se indican en el Cuadro nº 6.

El total de aforos directos realizados fue de 51 y el de lecturas diarias de escala de 2.870. En las Figs. nº 5 y nº 6, se muestran las curvas de gasto obtenidas para cada sección limnimétrica.





4. AGUA DE RECARGA EN ORIGEN.

En el apartado en el que se describen las instalaciones de infiltración diseñadas, se hace referencia al hecho de que las balsas de recarga se alimentan a partir de tres canales (Resaca, Santurdejo y Patagallina) cada uno de los cuales conduce el agua a recargar desde puntos de origen distintos.

En los epígrafes que se suceden a continuación se efectúa un análisis detallado de las características del agua de recarga en origen tanto en su aspecto de calidad como en el de cantidad.

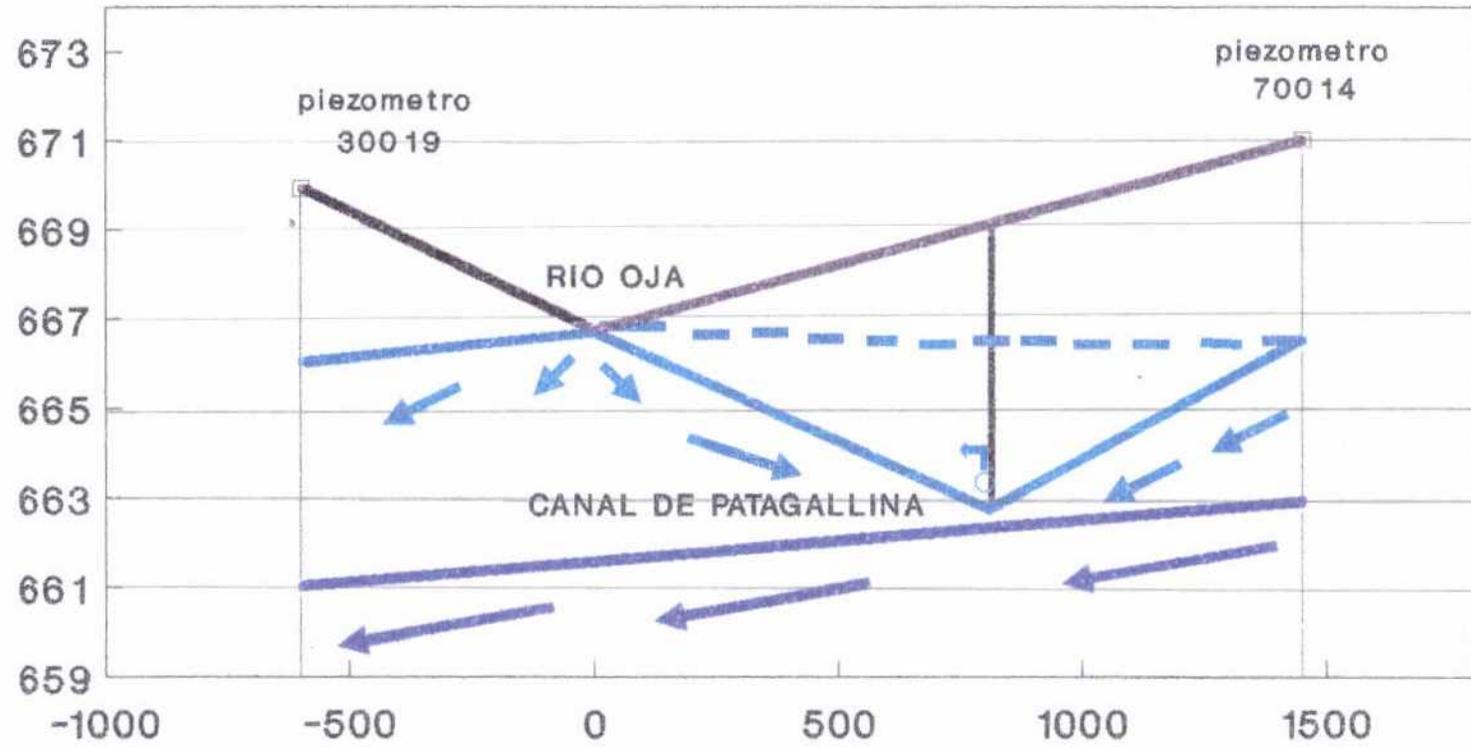
4.1.- Naturaleza, caudal disponible y régimen temporal.

4.1.1.- Canal de Patagallina.

La naturaleza del agua que alimenta este canal es de origen subterráneo; el mismo, en su tramo inicial, constituye un drenaje artificial del acuífero al tratarse de una excavación antrópica, que tiene una diferencia de cota con el río Oja a esa misma altura de -3,939 m. Las medidas realizadas en el piezómetro 2110-70014 situado a una distancia de la margen izquierda del manantial de 650 m., y a una cota de 671,004 m.s.n.m. indican que el agua se encuentra en dicho punto a una profundidad comprendida entre 4,50 m. y 8,10 m. según la época y tipología del año, mientras que el gradiente es del orden de 0,005; cifras que justifican sobradamente el que surja agua en Patagallina, y el que se seque en aquellos periodos del año en que el nivel piezométrico se encuentra a mayor profundidad (Fig. nº 8).

En el Cuadro nº 7 se indican los caudales medios mensuales que circulan por el canal a la altura de la caseta de

Fig. N°8



— N.E. AGUAS ALTAS

— SUPERFICIE TERRENO

□ PIEZOMETROS

— N.E. AGUAS BAJAS

distribución que es donde esta situada la escala. El análisis de estos datos (Fig. n° 9) muestra que los mayores volúmenes de agua se tienen en el mes de abril; si bien desde enero a junio el caudal medio presenta un valor muy similar próximo a 0,5 m³/seg. A partir de este mes el caudal decrece, alcanzando un mínimo en septiembre y octubre (aproximadamente 0,05 m³/seg., y llegando en ocasiones a ser nulo (año 1989). La aportación anual media para el periodo estudiado (1985-1990) se estima en 10,8 Hm³/año.

CUADRO N° 7

| MES | CANAL DE PATAGALLINA CAUDALES MEDIOS MENSUALES (l/s) | | | | | |
|-----|---|------|------|------|------|------|
| | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 |
| ENE | 544 | 224 | 305 | 744 | 63 | 607 |
| FEB | 591 | | 638 | 877 | 256 | 473 |
| MAR | 627 | | 599 | 576 | 344 | 255 |
| ABR | 680 | | 582 | 810 | 440 | 513 |
| MAY | 662 | | 362 | 619 | 480 | 567 |
| JUN | 620 | | 262 | 774 | 483 | |
| JUL | 290 | | 264 | 694 | 230 | |
| AGO | 64 | | 256 | | 18 | |
| SEP | 17 | | 50 | 94 | 0 | |
| OCT | 87 | 62 | 57 | 79 | 0 | |
| NOV | | 109 | 382 | 69 | 0 | |
| DIC | | 127 | 655 | 61 | 235 | |

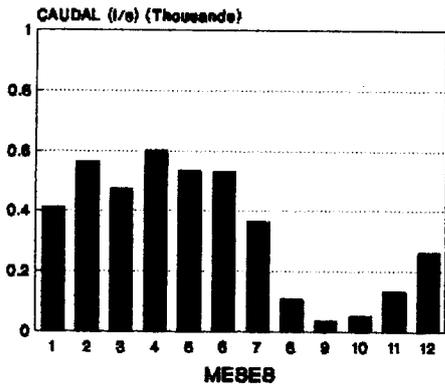
CUADRO N° 8

| MES | CAUDAL (l/s) |
|-----|-----------------|
| ENE | 415 |
| FEB | 567 |
| MAR | 480 |
| ABR | 605 |
| MAY | 538 |

CUADRO N° 9

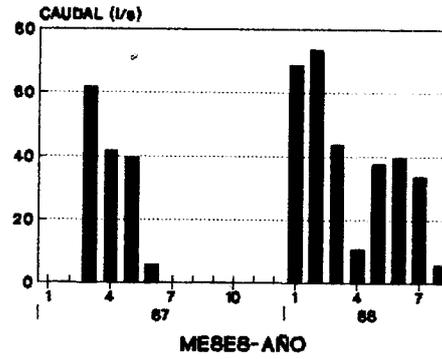
| MES | CANAL PISCINA CAUDALES MEDIOS MENSUALES (l/s) | |
|-----|---|------|
| | 1987 | 1988 |
| ENE | | 69 |
| FEB | | 74 |
| MAR | 62 | 44 |
| ABR | 42 | 11 |
| MAY | 40 | 38 |
| JUN | 6 | 40 |
| JUL | | 34 |
| AGO | | 6 |

**CANAL PATAGALLINA
APORTACION MEDIA MENSUAL
PERIODO 1985-1990**



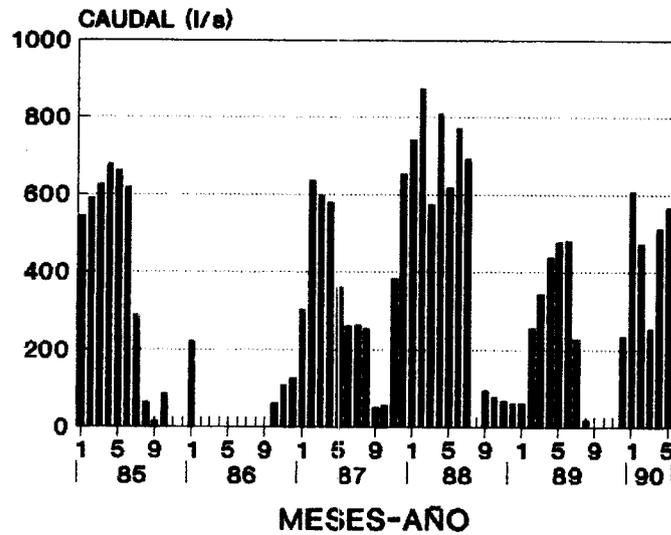
■ Q MEDIO MENSUAL

**CANAL PISCINA
CAUDALES MEDIOS MENSUALES**



■ Q EN LA SECCION DE LA ESCALA E-7

**CANAL PATAGALLINA
CAUDALES MEDIOS MENSUALES**



■ Q EN LA ESCALA DE LA CASETA DISTRIBUCION

En los meses de junio, julio, agosto y septiembre, y ocasionalmente en el de mayo este manantial se utiliza junto con el canal de Amando para regar el área situada en la margen izquierda del río Oja comprendida entre los mismos y la Fuente de las Abejas. Durante el resto del año, el agua drenada al acuífero por estos canales circula por diferentes acequias, como se ha comentado en el apartado 2.3.-, vertiéndose al río Oja en su mayor parte. En la época en que no circula agua por el cauce del río, en el tramo Sto. Domingo-Villalobar, que coincide generalmente con el periodo que va de mayo-junio a noviembre-diciembre-enero, este agua se reinfiltra rápidamente en el lecho del mismo; aunque también es cierto que algunos años no representa un volumen importante al coincidir esos meses con los de máximo riego y con los de mínimo caudal aportado por estos canales. Se estima que el agua que se infiltra en esa zona del río proveniente de Patagallina puede oscilar entre 0,1 Hm³/año y 3,7 Hm³/año.

Por consiguiente, y dado que durante el periodo que va de diciembre-enero a mayo se vierte en el río Oja un volumen de agua del orden de 4 Hm³/año a 7,5 Hm³/año que se incorpora a la circulante por su cauce. Se estima, que el volumen de agua que podría utilizarse para recarga artificial a través del canal de La Piscina y de la Balsa "C" es de la cuantía anteriormente mencionada, con un caudal medio mensual del orden del indicado en el cuadro nº 8, que evidentemente puede variar de un año a otro.

Si se comparan estos caudales con los medios que se han utilizado (Cuadro nº 9) en la recarga efectuada durante los años 1987 y 1988; se observa que estos últimos son notablemente inferiores a los que en principio se podrían emplear.

De todas formas, la infraestructura creada no es la adecuada para soportar esos máximos caudales potenciales de

recarga; aunque si es válida para conducir un volumen de agua por unidad de tiempo ligeramente superior a los expuestos en el Cuadro n° 9.

4.1.2.- Canal de la resaca.

Al igual que ocurre con el canal de Patagallina la naturaleza del agua que entra a este canal es de origen subterráneo.

CUADRO N° 10

| MES | CANAL DE LA RESACA CAUDALES MEDIOS MENSUALES (l/s) | |
|-----|--|------|
| | 1987 | 1988 |
| ENE | | 284 |
| FEB | | 257 |
| MAR | 242 | 282 |
| ABR | 311 | 192 |
| MAY | 71 | 160 |
| JUN | | 60 |
| JUL | | 33 |
| AGO | | |

CUADRO N° 13

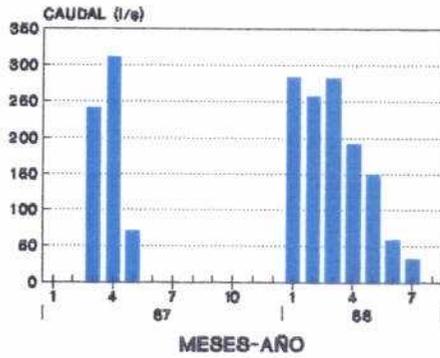
| MES | RIO SANTURDEJO EN SANTURDEJO AFOROS DIRECTOS (l/s) | | |
|-----|--|------|------|
| | 1986 | 1987 | 1988 |
| FEB | | 200 | |
| MAR | | 86 | |
| ABR | | 213 | |
| MAY | | 86 | 908 |
| JUN | | 97 | |
| JUL | | 147 | 845 |
| AGO | | | 60 |
| SEP | | 2.5 | 35 |
| OCT | | | |
| NOV | | | |
| DIC | 56 | | |

En el Cuadro n° 10 y en la Fig. 10, se muestran los caudales medios mensuales que circulan por el canal a la altura de la escala E-2, que está situada en la entrada del tramo denominado Resaca II. Las cifras indicadas en el mismo no son representativas de la cantidad de agua que se drena al acuífero, puesto que aguas arriba de la escala se ubica un canal de evacuación al río Oja por el que normalmente circula una cantidad de agua similar o ligeramente superior a la indicada en dicho cuadro. Por consiguiente, el volumen de agua que potencialmente podría utilizarse para recarga artificial a través del canal de la Resaca y de la Balsa "A" es considerablemente mayor.

Dado que la captación que alimenta este canal es de tipo subterráneo detraerá un cierto volumen de agua del acuífero, que en principio debe tener una repercusión más o menos significativa e inmediata en los pozos próximos. Ahora bien, como los caudales que circulan por el río son importantes, y la capacidad de infiltración en esa zona es alta, en el tramo Santurde-Sto. Domingo se han llegado a perder 1567 l/s en abril de 1990, lo que representa 0,26 l/s/m; es muy probable que el efecto negativo sobre las captaciones próximas a la toma de agua del canal prácticamente no se note, por lo menos durante el periodo en que circula agua por el río.

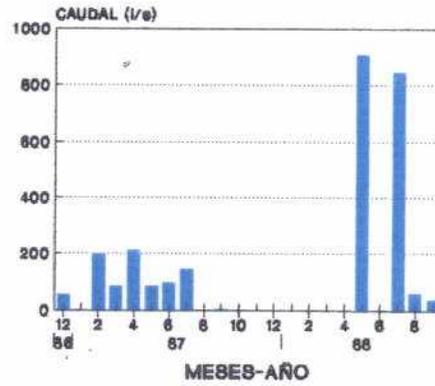
En los Cuadros n° 11 y n°12 se muestran los caudales obtenidos por aforo directo en Santurde y Sto. Domingo de la Calzada para el periodo 1985-1990. Del análisis de los mismos, se observa, a pesar de que existe una carencia importante de datos, que se puede disponer de una considerable cantidad de agua superficial durante los meses de febrero, marzo y abril, que en determinados años se amplía a los meses de diciembre, enero y mayo. Por consiguiente, sería recomendable suprimir esta toma subterránea, y alargar el

CANAL RESACA CAUDALES MEDIOS MENSUALES



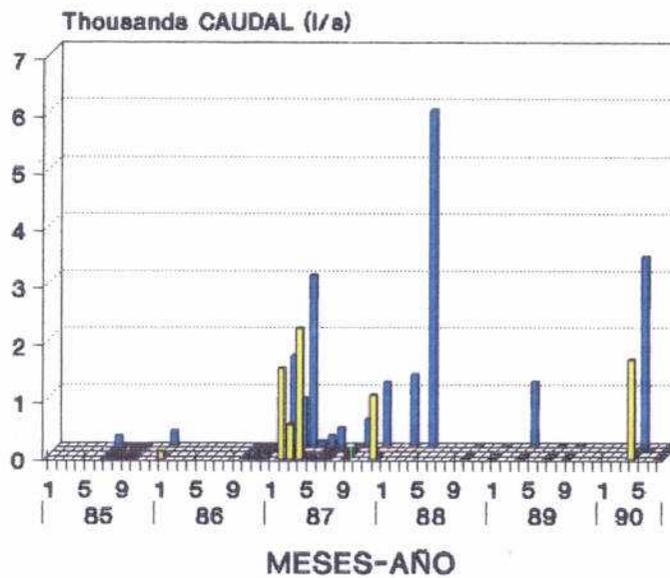
Q EN LA SECCION DE
LA ESCALA E-2

AFOROS DIRECTOS RIO SANTURDEJO EN SANTURDEJO



Q EN SANTURDEJO

AFOROS DIRECTOS RIO OJA. TRAMO SANTURDE-STO. DOMINGO



Q EN SANTO DOMINGO Q EN SANTURDE

canal hasta el río Oja realizando una toma superficial en el mismo mediante un azud de derivación.

CUADRO Nº 11

| MES | RIO OJA EN SANTURDE AFOROS DIRECTOS (l/s) | | | | | |
|-----|--|------|------|------|------|------|
| | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 |
| ENE | | 238 | 240 | | 0 | |
| FEB | | | 1582 | | | |
| MAR | | | 833 | 1241 | | |
| ABR | | | 2974 | | 1112 | 3302 |
| MAY | | | 74 | 5866 | | |
| JUN | | | 174 | | | |
| JUL | 156 | | 305 | | 0 | 0 |
| AGO | 0 | | | | | |
| SEP | 0 | | 0 | | 0 | |
| OCT | 0 | 0 | 457 | 0 | | |
| NOV | | 0 | | | | |
| DIC | | 0 | 1108 | | | |

CUADRO Nº 12

| MES | RIO OJA EN STO. DOMINGO AFOROS DIRECTOS (l/s) | | | | | |
|-----|--|------|------|------|------|------|
| | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 |
| ENE | | 136 | | | 0 | |
| FEB | | | 1593 | | | |
| MAR | | | 604 | | | |
| ABR | | | 2276 | | 0 | 1735 |
| MAY | | | 0 | | | |
| JUN | | | 0 | | | |
| JUL | 0 | | 0 | | 0 | 0 |
| AGO | 0 | | | | | |
| SEP | 0 | | 0 | | 0 | |
| OCT | 0 | 0 | | 0 | | |
| NOV | | 0 | | | | |
| DIC | | 0 | 1115 | | | |

4.1.3.- Canal de Santurdejo-Gallinero.

El punto de alimentación de este canal se sitúa aguas abajo de la localidad de Santurdejo; constituyendo el único dispositivo de transporte y recarga que se alimenta exclusivamente de aguas superficiales (río Espardaña).

El principal aporte de este río, sobre todo en época de estiaje, proviene de la fuente de Urtetas, manantial que nace en el Término Municipal de Pazuengos en las proximidades de la Loma "El Castillo", y que constituye uno de los drenajes (aproximadamente 30 l/s) de los materiales liásicos de la unidad mesozoica de Ezcaray-Pradoluengo. Además de estos aportes, existen innumerables barrancos situados a ambos márgenes del río por los que fluyen la escorrentía superficial de los materiales de permeabilidad relativamente baja del Mioceno Alto-Plioceno, sobre todo en época de lluvias (abril-mayo). Se ha llegado a aforar en este río a su paso por la localidad de Santurdejo hasta 900 l/s (mayo 1988).

En el Cuadro nº 13 y en la Fig. nº 10, se muestran los caudales obtenidos por aforo directo, observándose que existe una acusada variación estacional e incluso anual, como corresponde al régimen de un río en el que la componente derivada más directamente de la pluviosidad tiene un carácter dominante.

Las agua procedentes de este arroyo se utilizan para el regadío, en el Término Municipal de Santurdejo, de una superficie de 155 has, de las cuales 45 has son de patata, 36 has de alfalfa y remolacha y 74 has se reparten entre productos hortícolas, chopos y prados para que pascen el ganado, con unas dotaciones de la cuantía que se especifica a continuación:

Patata 2.600 m³/ha/año con 7 riegos/año.
Remolacha 2.400 m³/ha/año con 5 riegos/año.
Huerta 5.000 m³/ha/año con 8 riegos/año.

Por consiguiente, el volumen demandado para regadío en el Término Municipal de Santurdejo es de 573.400 m³/año, lo que equivale a 53 l/s continuos durante los meses de junio a septiembre, cantidad de la que no siempre se puede disponer; sobretodo durante los últimos meses del verano.

Por lo que respecta al resto del año no existe demanda alguna, por lo que todo el agua que circula durante este periodo por el arroyo de Santurdejo puede en principio utilizarse para recarga artificial a través de dicho canal y de la Balsa "B".

Resulta evidente, que con los datos que actualmente se poseen, es muy difícil evaluar y predecir la cuantía de los caudales potencialmente disponibles; no obstante, es muy probable, que éstos estén comprendidos generalmente entre 50 l/s y 200 l/s.

4.2.- Características de calidad y su variabilidad.

Para el estudio de la calidad química del agua de recarga en origen se han tenido en cuenta una serie de análisis realizados en 1985 y 1986 durante el proyecto titulado "ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL CUATERNARIO DEL RIO GLERA U OJA", así como los de otra campaña (1987) efectuados específicamente para este proyecto de recarga artificial.

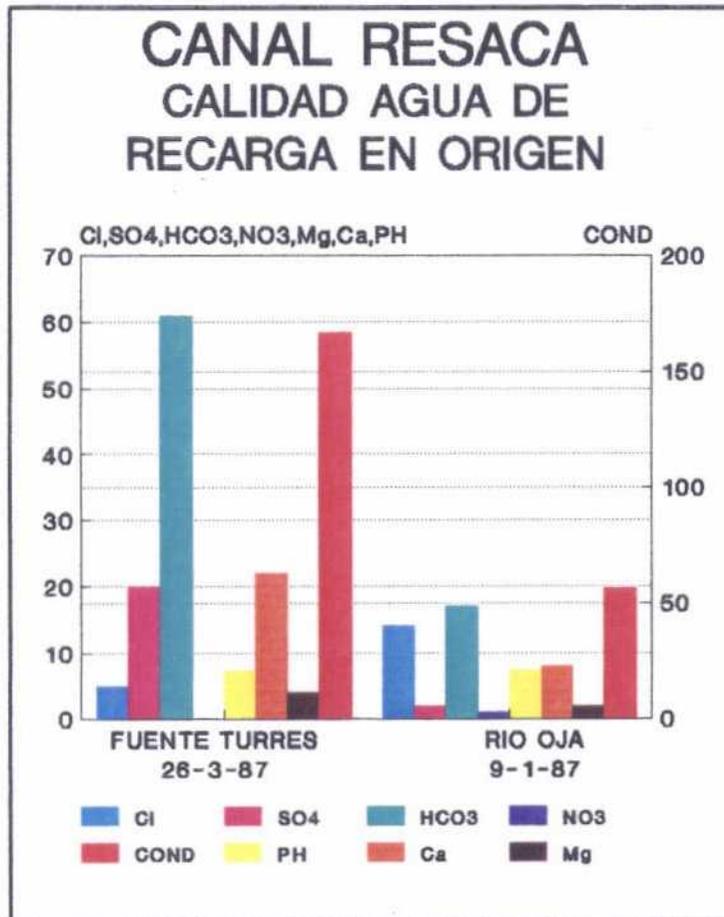
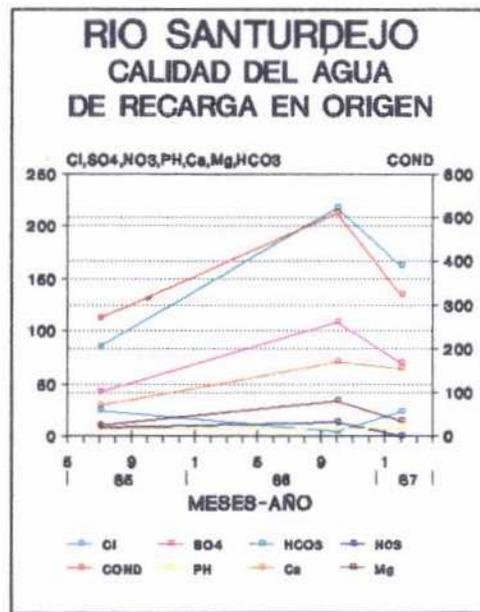
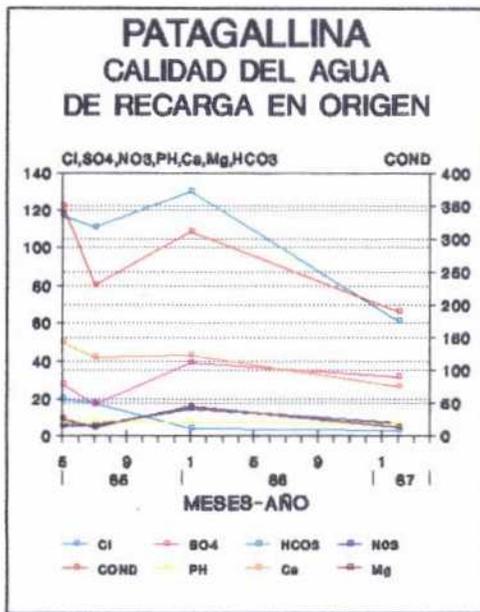
En el Cuadro n° 14, se resumen el número de análisis realizados, el punto de toma y la fecha en que fue recogida esta.

CUADRO N° 14

| PUNTO DE TOMA | NUMERO ANALISIS | FECHA DE TOMA | CANAL BALSA |
|--------------------------|-----------------|--------------------------------------|---------------------------|
| MANANTIAL DE PATAGALLINA | 4 | 9-5-85 7-85 15-1-86 21-2-87 | PISCINA Balsa C |
| RIO SANTURDEJO | 3 | 7-85 15-10-86 9-1-87 | Balsa B Gallinero |
| FTE. TURRES | 1 | 26-3-87 | ASIMILABLE RESACA Balsa A |
| RIO OJA | 1 | 9-1-87 | ASIMILABLE RESACA Balsa A |

En el canal de la Resaca no ha sido posible determinar la calidad química del agua que circula por el mismo; ya que cuando se realizaron los muestreos este no había entrado en funcionamiento todavía. No obstante, se poseen datos de la Fte. de Turrees y del manantial de Patagallina, situados respectivamente aguas arriba y aguas abajo de este canal, así como del río Oja en el punto de alimentación del mismo.

En los análisis se han determinado cloruros, sulfatos, bicarbonatos, carbonatos, nitratos, sodio, magnesio, calcio, potasio, nitritos, litio, amoníaco, conductividad y PH. En la figura n° 11 se resumen algunas de las características



químicas del conjunto de estas aguas. Del estudio del diagrama de Piper-Hill-Langelier se deduce que se trata de aguas bicarbonatadas cálcicas con una mineralización ligera, que en ocasiones puede ser incluso muy débil (conductividades inferiores a 500 micromhos/cm), y que sus características químicas presentan estabilidad en el tiempo. Asimismo, también se ha efectuado un análisis según las normas Riverside, (Clasificación de las aguas para riego), calculando la relación de absorción de sodio. Los resultados obtenidos indican que corresponden a la categoría C₁-S₁, lo que significa que son de baja salinidad, bajo S.A.R. y utilizables para riego en todos los suelos y en cualquier cultivo, no encerrando peligro de salinización ni de elevación del nivel de sodio intercambiable.

Por otro lado, y dado que en todo proyecto de recarga artificial, uno de los mayores problemas con el que se enfrenta la misma es el de la colmatación, entendiéndose por tal el proceso de acumulación de materiales en las proximidades de la superficie de entrada del agua, se han realizado diversas determinaciones de la cantidad de sólidos en suspensión en los puntos que ha continuación se relacionan:

- . En el origen del canal de La Piscina.
- . En el origen del canal de La Resaca.
- . En la entrada a la balsa "A".
- . En el canal de Santurdejo a la altura de la escala E3.
- . En la entrada a la balsa "B".

Los resultados obtenidos se resumen en el cuadro nº 15.

CUADRO N° 15

| LOCALIZACION PUNTO DE TOMA | SOLIDOS EN SUSPENSION (mg/l) | | | |
|--------------------------------------|------------------------------|---------|--------|---------|
| | 19-7-88 | 27-7-88 | 7-7-89 | 14-7-89 |
| ORIGEN DEL CANAL DE LA PISCINA | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| ORIGEN DEL CANAL DE LA RESACA | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| ENTRADA A LA Balsa A | < 10 | < 10 | < 10 | |
| CANAL DE SANTURDEJO ESCALA E3 | 80 | < 10 | < 10 | 80 |
| ENTRADA A LA Balsa B | 80 | < 10 | < 10 | |

En el mismo, se puede observar que mayoritariamente la cantidad de sólidos en suspensión es inferior a 10 mg/l, como en cierta medida era lógico esperar, al tratarse, con excepción del arroyo Santurdejo, de aguas de origen subterráneo. En las aguas de recarga provenientes de dicho arroyo han sido en las únicas en las que se han detectado variaciones. Siendo muy significativa la registrada entre el 19-7-88 y el 27-7-88; el día 19 corresponde al inmediatamente posterior a una fuerte tormenta (78 mm en pocas horas).

5. PRECIPITACION Y EVAPORACION SOBRE LA SUPERFICIE DE LAS BALSAS.

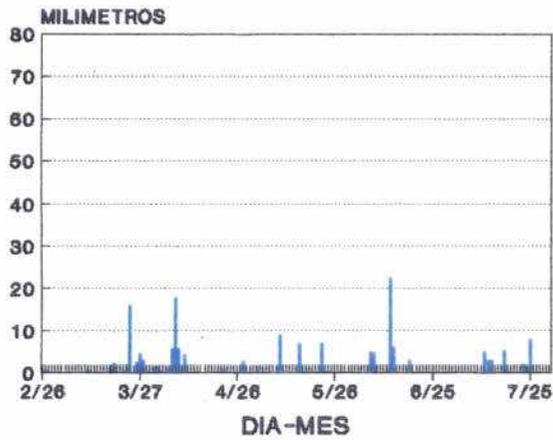
Para el estudio de la incidencia de la precipitación y de la evaporación se han utilizado los datos de la estación termopluviométrica de Sto. Domingo de la Calzada que se encuentra ubicada a una cota de 639 m.s.n.m.

Los datos analizados han sido los correspondientes a precipitación y temperatura diaria para el periodo en que se ha recargado: 26-2-87 al 31-7-87 y 5-1-88 al 31-8-88. En la Figura nº 12 se muestra el histograma de lluvias diarias para el espacio de tiempo anteriormente reseñado; apreciándose que las lluvias puntuales más altas en 1987 apenas alcanzan los 20 mm, mientras que las más frecuentes quedan por debajo de los 10 mm. En 1988 estas últimas siguen presentando una máxima frecuencia dentro de este mismo intervalo, pero las más altas llegan a superar los 30 mm, destacando la tormenta ocurrida el día 18 de julio que alcanzó 78 mm en unas pocas horas.

En el Cuadro nº 16, se muestran algunos datos significativos de las balsas de recarga con respecto a la situación de la estación termopluviométrica, que se encuentra casi centrada en relación a la ubicación de las mismas.

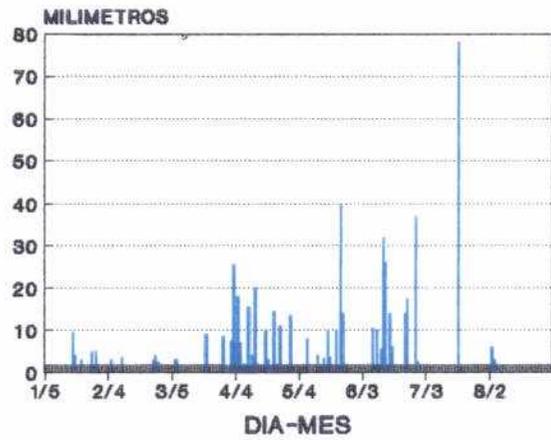
La variación diaria de la evaporación en las balsas está estrechamente ligada a la temperatura, puesto que la presión atmosférica varía poco, en general, durante el día. Así, en España, la intensidad de la evaporación crece a primeras horas de la tarde, para ser mínima en las primeras horas del día. Esta evolución, puede ser alterada de forma aleatoria e importante por las variaciones del viento; por lo que es recomendable si se quiere reducir las pérdidas por evaporación en las balsas establecer en los márgenes cortinas de árboles cortavientos.

PRECIPITACIONES DIARIAS



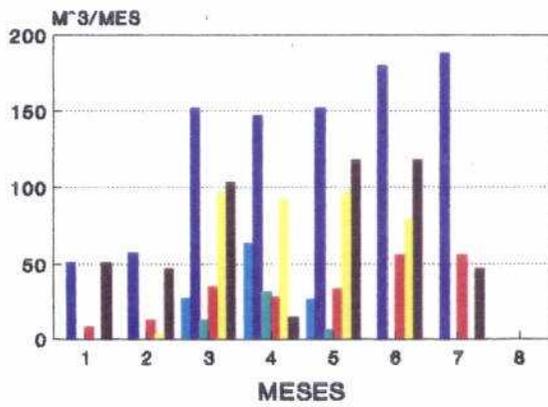
1987
PRECIPITACION

PRECIPITACIONES DIARIAS



1988
PRECIPITACION

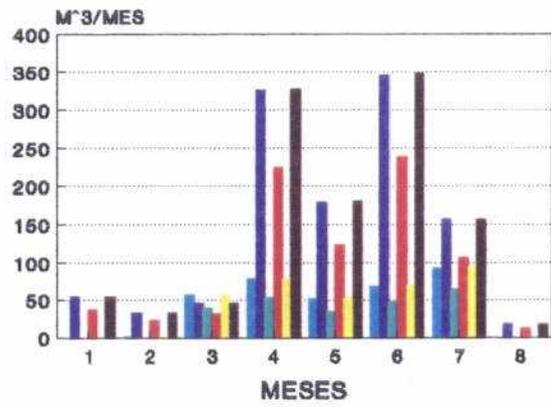
EVAPORACION SOBRE LAS BALSAS



M³/MES EVAPORADOS

| | | |
|------------|------------|------------|
| ■ B-A 1987 | ■ B-A 1988 | ■ B-B 1987 |
| ■ B-B 1988 | ■ B-C 1987 | ■ B-C 1988 |

PRECIPITACION SOBRE LAS BALSAS



M³/MES PRECIPIT.

| | | |
|------------|------------|------------|
| ■ B-A 1987 | ■ B-A 1988 | ■ B-B 1987 |
| ■ B-B 1988 | ■ B-C 1987 | ■ B-C 1988 |

CUADRO N° 16

| DENOMINACION DE LA Balsa | A | B | C |
|---|--------------|-----------------------------------|-------------|
| LOCALIZACION CON RESPECTO A LA ESTACION TERMO-PLUVIOMETRICA | AGUAS ARRIBA | APROXIMADAMENTE A LA MISMA ALTURA | AGUAS ABAJO |
| DISTANCIA APROXIMADA A LA ESTACION (metros) | 2900 | 1300 | 2600 |
| DIFERENCIA DE COTA CON LA ESTACION (metros) | + 32.39 | + 6.302 | - 25.065 |
| SUPERFICIE TOTAL DE LAS BALSAS (m ²) | 1960 | 1350 | 1970 |

En el caso de las balsas del río Oja, el propio diseño de las mismas, en que los materiales extraídos de la excavación se amontonaron en las márgenes constituyendo una especie de muro entorno a estos dispositivos de recarga de hasta 1,5 m de altura, probablemente ha propiciado que en cierta medida se reduzca la acción negativa del viento.

Otro grupo de factores que influyen en la evaporación son los relacionados con la extensión que ocupa el agua en las balsas y la profundidad que tiene la lámina de agua. Si ambas son pequeñas, los cambios atmosféricos y el terreno tendrán una gran influencia. En cambio en superficies

extensas y profundas hay una menor influencia del terreno adyacente. La radiación solar calienta las capas superiores de agua, pero no todo este calor se emplea en producir evaporación; una parte calienta capas más profundas produciéndose un almacenaje de calor en las mismas, que cuando cesa la radiación o se enfrían las capas superiores, pasa de nuevo a ellas e incrementa la posibilidad de evaporación.

Existen diversos métodos teóricos para el cálculo de la evaporación desde superficies de agua libres así como fórmulas semi-empíricas. En este caso concreto se han aplicado valores promedio, teniendo siempre presente el hecho de que la evaporación mensual varía mucho con la estación del año, siendo valores corrientes 20-30 mm/mes en la estación fría y superiores a 100 mm/mes en la estación cálida. Los valores empleados en los cálculos han sido los siguientes: 1 mm/día en invierno, 2,5 mm/día en primavera y 4 mm/día en verano; cifras muy próximas a las obtenidas en la experiencia de recarga artificial de Guadix: 1-1,5 mm/día en invierno y 2,4 mm/día en primavera. Evidentemente, todos los valores citados anteriormente presuponen la existencia de agua e indican su posibilidad de evaporación. En la experiencia real ha ocurrido de hecho que la evaporación diaria en una balsa ha sido nula por no haber entrado ese día agua en la misma.

En el Cuadro nº 17 se muestran los resultados obtenidos para la precipitación y evaporación mensual sobre cada una de las balsas. Posteriormente, en el apartado dedicado al cálculo del volumen total infiltrado, se podrá comprobar que la incidencia de ambos es despreciable en comparación con la infiltración, y entra dentro del margen de error del cálculo de esta última.

CUADRO N° 17

| MES | 1 9 8 7 (Valores en m ³ /mes) | | | | | |
|-----|--|------|---------|------|---------|------|
| | BALSA A | | BALSA B | | BALSA C | |
| | EVAP | PREC | EVAP | PREC | EVAP | PREC |
| ENE | | 2 | | 1 | 4 | 2 |
| FEB | | | | | | |
| MAR | 27.5 | 57 | 12.6 | 39 | 96 | 57 |
| ABR | 63.7 | 79 | 31.5 | 54 | 92 | 79 |
| MAY | 27 | 52 | 6.8 | 36 | 96 | 53 |
| JUN | | 69 | | 48 | 79 | 70 |
| JUL | | 93 | | 64 | | 94 |
| AGO | | | | | | |

| MES | 1 9 8 8 (Valores en m ³ /mes) | | | | | |
|-----|--|------|---------|------|---------|------|
| | BALSA A | | BALSA B | | BALSA C | |
| | EVAP | PREC | EVAP | PREC | EVAP | PREC |
| ENE | 51 | 55 | 9 | 38 | 51 | 55 |
| FEB | 57 | 34 | 13 | 24 | 47 | 34 |
| MAR | 152 | 46 | 35 | 32 | 103 | 46 |
| ABR | 147 | 326 | 28 | 225 | 15 | 328 |
| MAY | 152 | 179 | 34 | 123 | 118 | 180 |
| JUN | 180 | 346 | 56 | 238 | 118 | 348 |
| JUL | 188 | 156 | 56 | 107 | 47 | 157 |
| AGO | | 19 | | 13 | | 19 |

6. EVALUACION DE LOS VOLUMENES INFILTRADOS EN LOS CANALES DE RECARGA-TRANSPORTE.

Aunque estos canales se diseñaron con el único objetivo de transportar el agua de recarga desde el punto de toma en origen hasta su destino final en las balsas de infiltración; es necesario hacer mención especial de los mismos como dispositivos de recarga, ya que a lo largo de la experiencia se ha comprobado que en ellos tiene lugar una notable infiltración.

6.1.- Canal de la resaca.

Las pérdidas de agua que se producen en este canal dan lugar a la recarga de la zona sur de Sto. Domingo de la Calzada en los parajes denominados La Riberilla y La Carrasquilla.

6.1.1.- Análisis de los dispositivos de control.

El agua que circula por el canal se controla mediante las escalas E1 y E2 localizadas en los puntos descritos en el apartado 3.2.-, y entre las que existe una distancia de 718 m. Durante los primeros años de funcionamiento de este dispositivo de infiltración-transporte no fue factible situar una escala a la entrada de la Balsa "A" para controlar el tramo E1-balsa "A" de 735 m de longitud, por no poder encontrar tanto una sección limnimétrica como de aforos adecuada, y no disponer de recursos suficientes para construir una pequeña estación de control. A mediados de 1989, y a pesar de que las condiciones que reúne en su último tramo el canal no cumplen mayoritariamente los requisitos necesarios para establecer un punto de control hidrométrico, se instaló un registro de medida de altura de lámina de agua; pero otra vez la falta de medios económicos impidió que se pudiera realizar un seguimiento diario del mismo.

6.1.2.- Metodología empleada para la estimación de la infiltración en el tramo E1 - Balsa-A.

La estimación del caudal que se ha infiltrado en dicho tramo se ha realizado en base a la fórmula propuesta por Polubarinova Kochina (1962) para el cálculo del caudal infiltrado en una acequia o canal sin pendiente, que es válida para cuando el límite impermeable inferior del acuífero se encuentra en el infinito. Esta fórmula establece que el caudal infiltrado por unidad de longitud de canal es únicamente función de la velocidad de Darcy y de la geometría del canal. Por tanto, si se supone que la permeabilidad es idéntica en todos los tramos, el gradiente hidráulico no varía con el tiempo, y el ancho del dispositivo así como el ángulo que forma el talud de las paredes laterales de éste con el plano de la solera son constantes a lo largo de toda la longitud del canal; la infiltración únicamente será función del calado y consecuentemente del volumen de agua que entra en el mismo.

Por consiguiente, si para un determinado canal, se correlacionan los pares de valores caudal de entrada-infiltración por unidad de longitud correspondientes a un determinado periodo de tiempo; resultaría en principio posible estimar la infiltración diaria por unidad de longitud en otro canal hidráulicamente semejante si se conoce el caudal diario de entrada en el mismo.

En el caso concreto del canal de la Resaca se puede suponer, que la geometría de ambos tramos es prácticamente idéntica, y que la permeabilidad en esa zona del acuífero no varía. Por lo que respecta al gradiente hidráulico, éste se conservó, a lo largo del tiempo que duró la experiencia el primer año, prácticamente constante entorno al valor 0,012; mientras que el segundo año permaneció casi sin fluctuación alrededor de 0,0095. Esta es la razón de que en los cálculos

no se hayan entremezclado los pares de valores correspondientes a cada periodo.

Hasta el momento no se ha hecho referencia a dos factores que pueden tener un peso importante en el cálculo de la infiltración. El primero se refiere a la calidad del agua, que debe ser la misma para los dos canales, permanecer constante a lo largo del tiempo y carecer de sólidos en suspensión por la incidencia que la acumulación de materiales en el fondo y en las paredes laterales del canal puede tener sobre la capacidad de infiltración, y consecuentemente sobre los pares de valores (Q_i, q_i) dando lugar al hecho de que para un $Q_i = Q_j$ se tenga un $q_i \neq q_j$. Donde Q_i es el caudal de entrada el día i y q_i la infiltración por unidad de longitud correspondiente al caudal de entrada Q_i .

En lo referente a los aspectos comentados anteriormente, y en función de las consideraciones realizadas en el apartado 4.2.-, se puede decir, que el agua del canal de la Resaca carece prácticamente de sólidos en suspensión y su calidad en los dos tramos se puede suponer idéntica por ser uno continuación del otro.

El segundo factor es el que se refiere a la pendiente del canal, ya que cuanto menor es ésta más lenta es la circulación del agua, y más se favorece la infiltración. En el caso del canal de la Resaca se ha supuesto que la misma es uniforme a lo largo de todo el canal y que el efecto que puede tener sobre la infiltración se incluye al correlacionar los pares de valores (Q_i, q_i) .

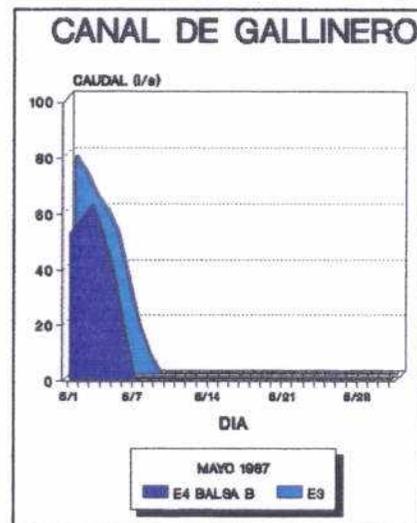
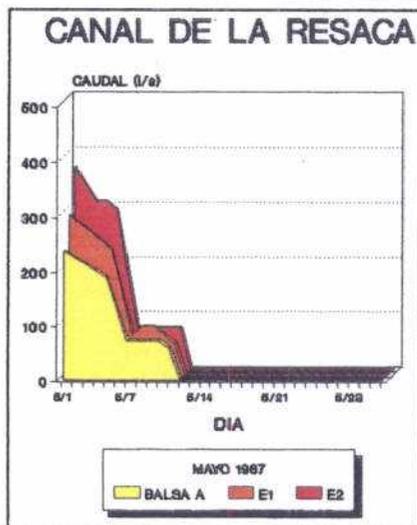
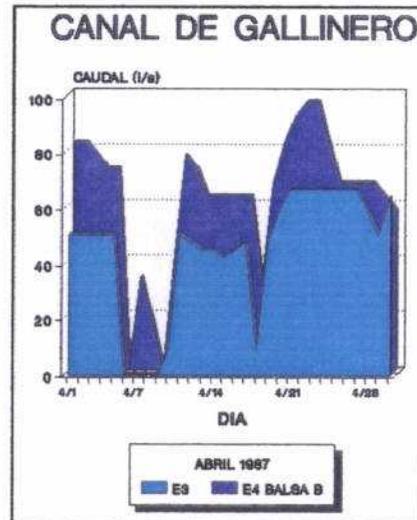
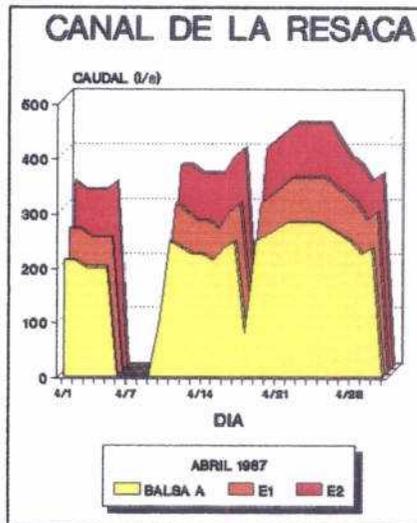
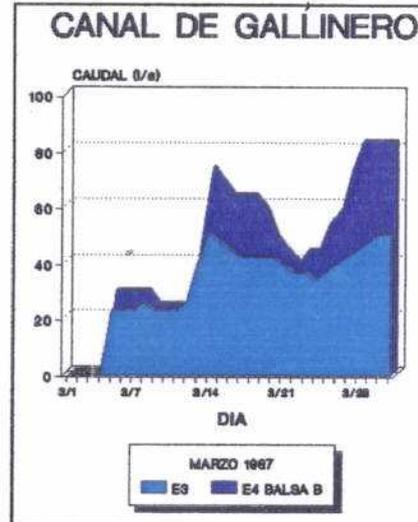
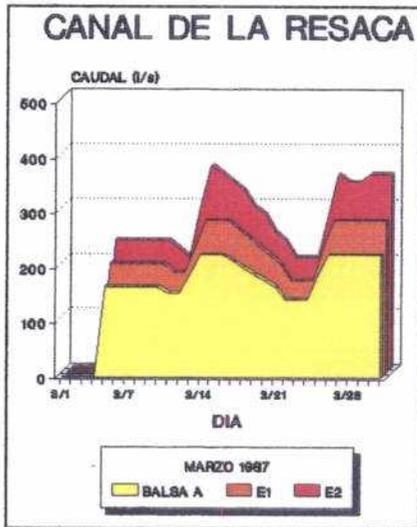
Una vez realizadas todas estas puntualizaciones, quizás únicamente queda comentar, que sobre la infiltración pueden actuar otros muchos factores como la vegetación que crece en el cauce del canal, que frena el recorrido superficial del agua permitiendo que ésta esté más tiempo expuesta a su

posible infiltración, asimismo sus raíces abren grietas en el suelo que facilitan la penetración del agua. O bien los cambios climáticos: en invierno la temperatura del suelo puede ser lo suficientemente baja para provocar la congelación del agua recibida; la capa helada que se forma puede considerarse prácticamente impermeable. En cambio, en verano, tanto la temperatura ambiente como el calor que se almacena en el terreno afectan al fluido que se infiltra, y por tanto a su viscosidad, es decir a la facilidad con que discurrirá por el suelo. Experimentalmente se ha comprobado que la intensidad de infiltración es menor en invierno que en verano (Musgrave, 1964).

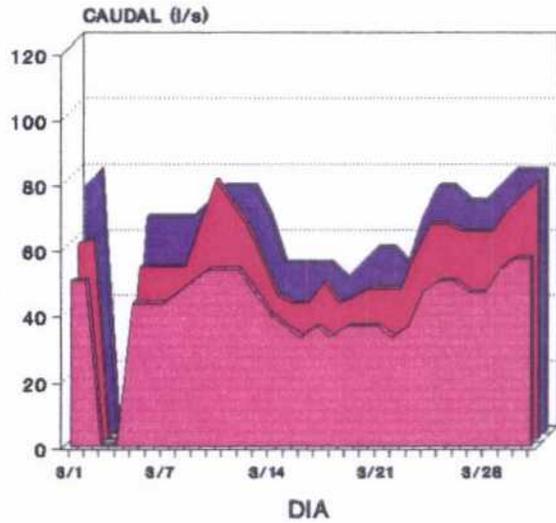
Es evidente por tanto, que la única forma de haber conocido realmente la infiltración que se ha producido en el tramo El-balsa A, y el volumen de agua que ha entrado en dicho dispositivo, hubiera sido disponer una escala con control diario en su entrada. Ahora bien, dado que dentro de este estudio se considera muy interesante el tener órdenes de magnitud del volumen parcial infiltrado en cada dispositivo, se ha aplicado para su cálculo la metodología anteriormente comentada, sobre cuyos resultados siempre se debe tener presente que únicamente representan una estimación.

6.1.3.- Análisis de las curvas de gastos correspondientes a las escalas E1 y E2.

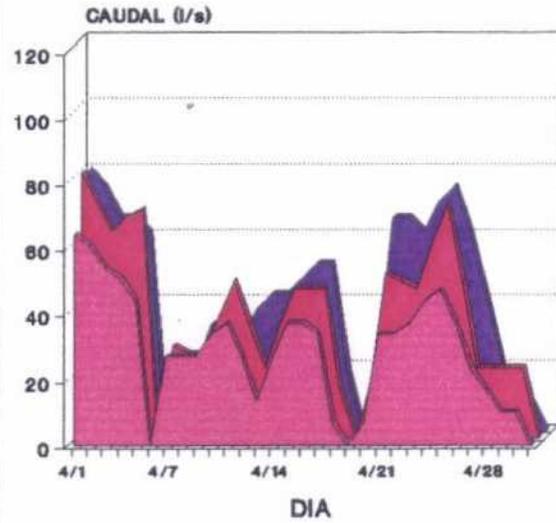
En las Figuras nº 13-A, C, D y E, se muestran los caudales diarios que han circulado por los puntos E2, E1 y entrada a la balsa "A" tanto para el periodo de recarga correspondiente al año 1987 como al 1988. En las mismas se puede observar que $QE2 > QE1$, como era lógico esperar, excepto en el periodo que abarca desde el 4/6/88 al 20/7/88 en el que circula más agua por el tramo medio del canal que por el origen del mismo; el incremento medio de caudal es de 20,5 l/s, que aproximadamente representa el mismo caudal que



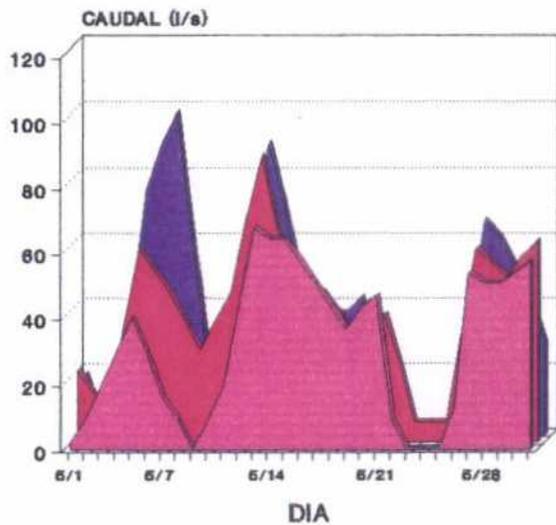
CANAL DE LA PISCINA



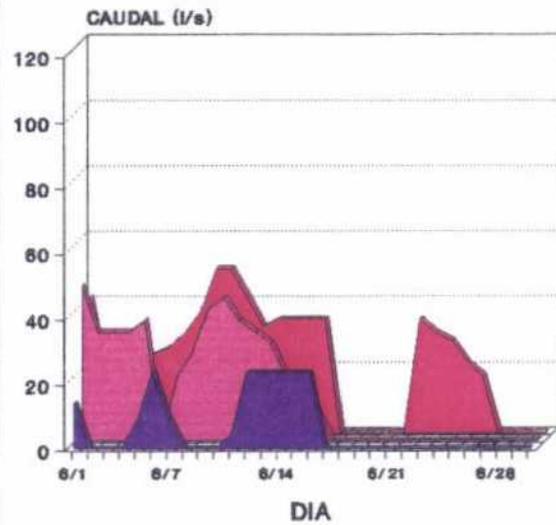
CANAL DE LA PISCINA

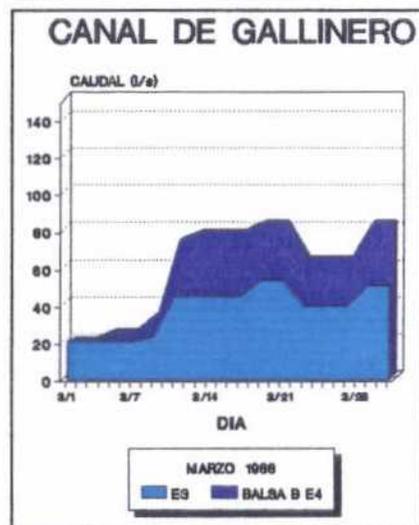
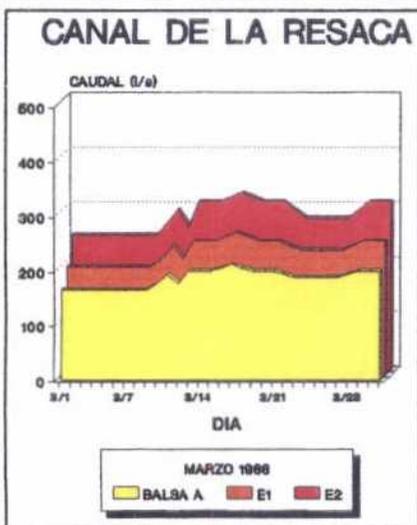
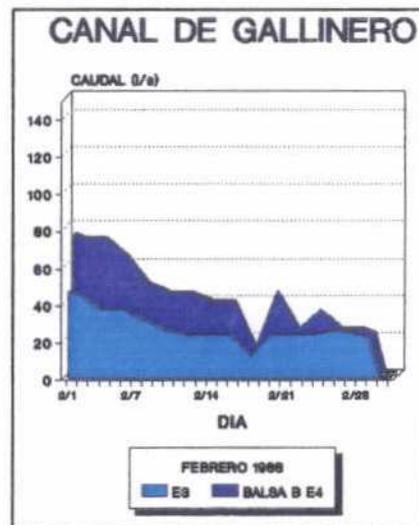
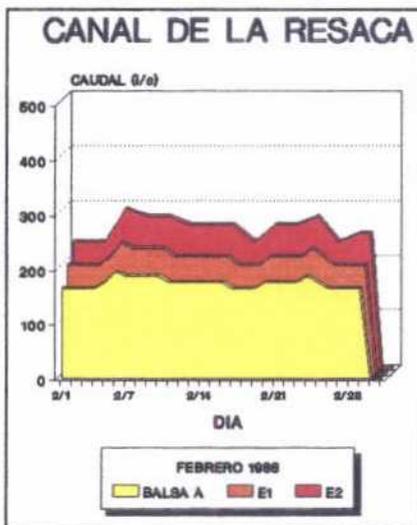
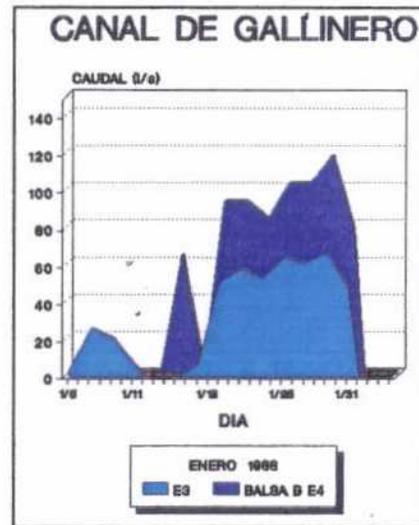
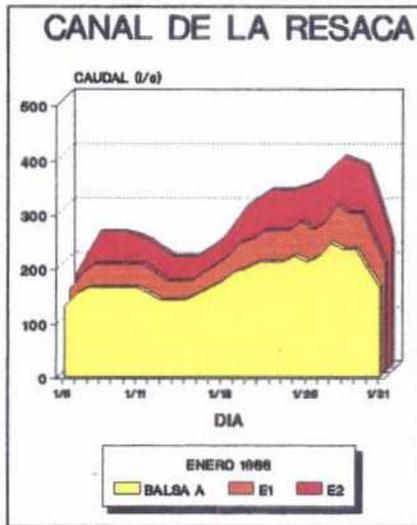


CANAL DE LA PISCINA



CANAL DE LA PISCINA





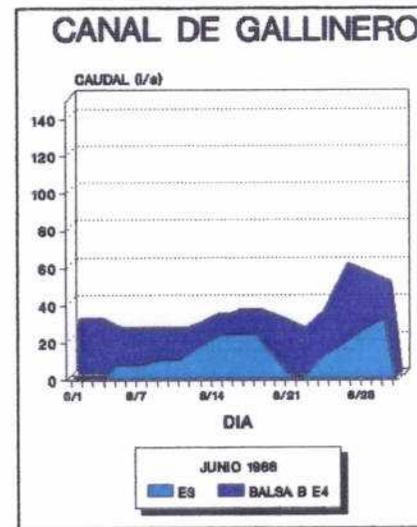
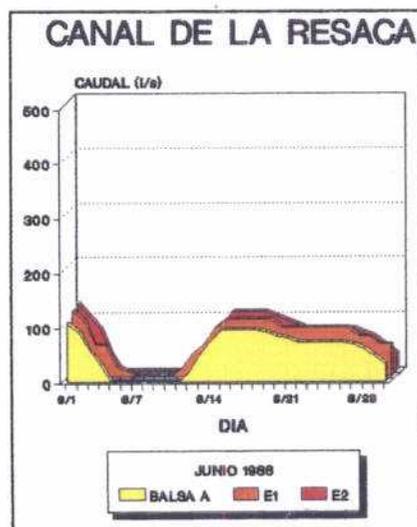
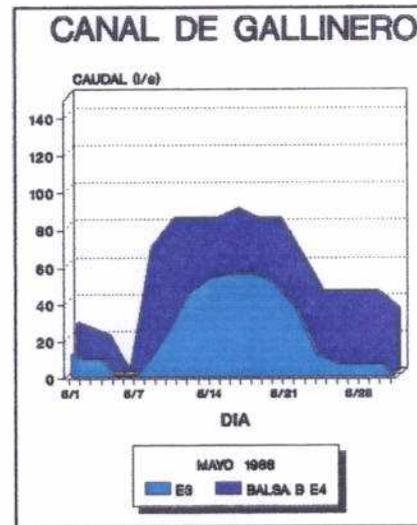
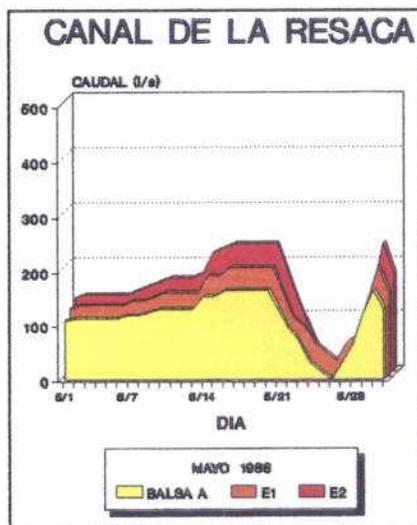
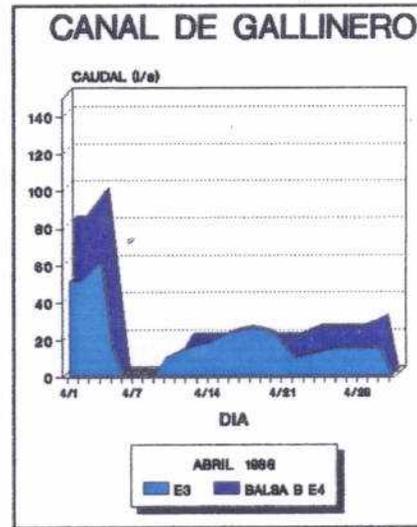
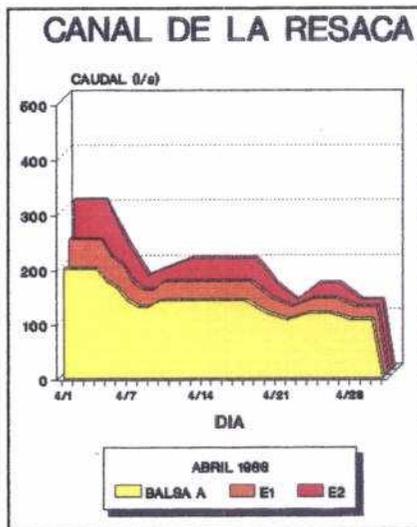
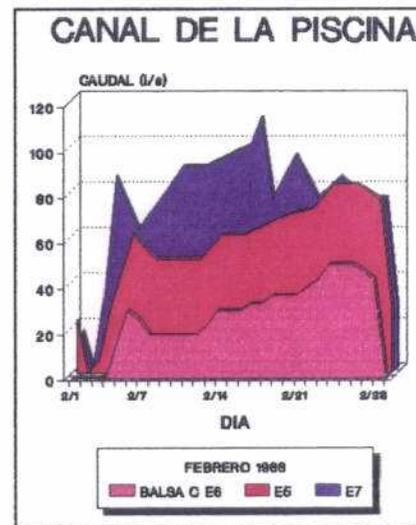
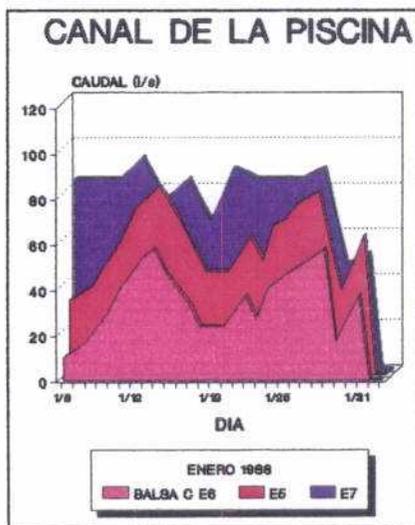
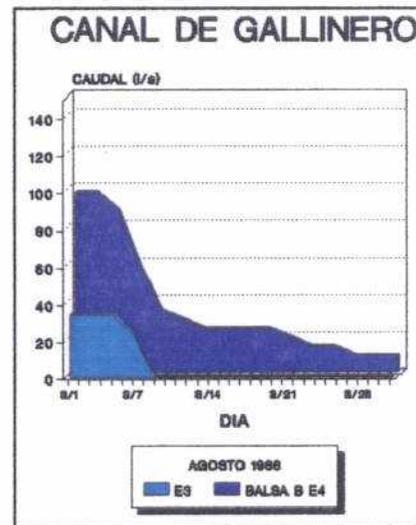
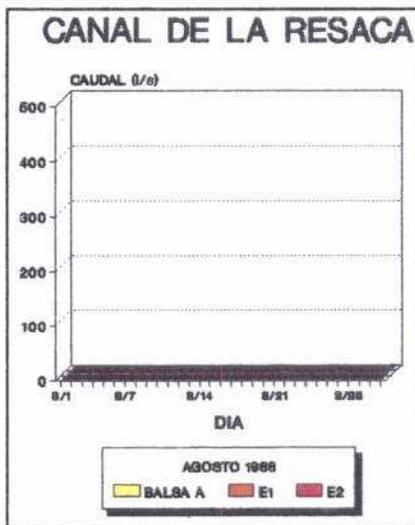
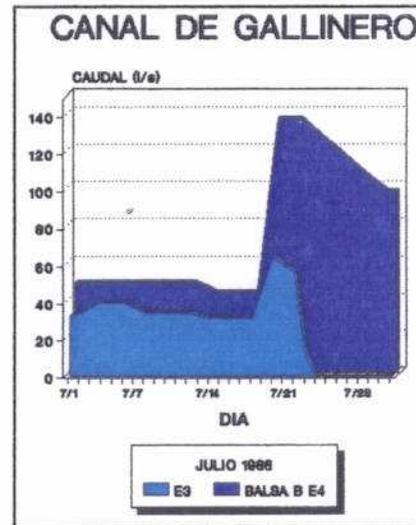
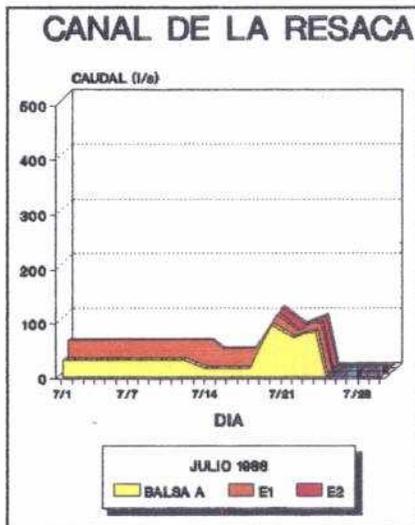
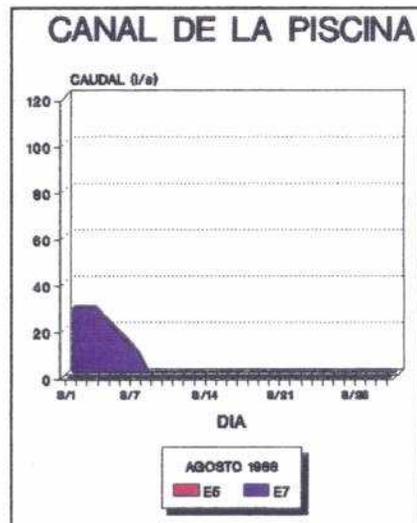
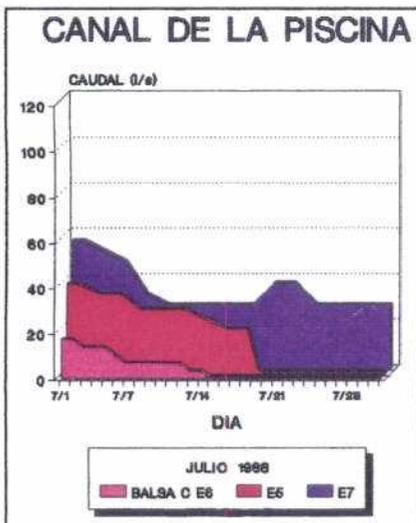
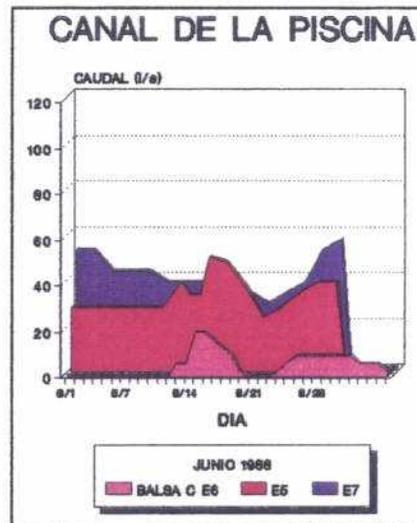
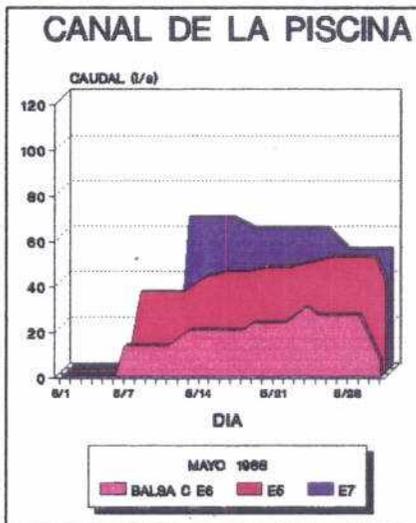
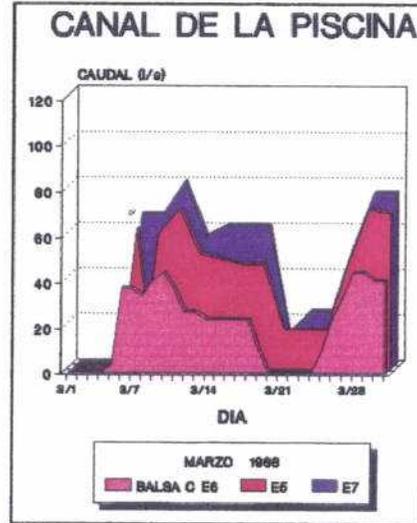
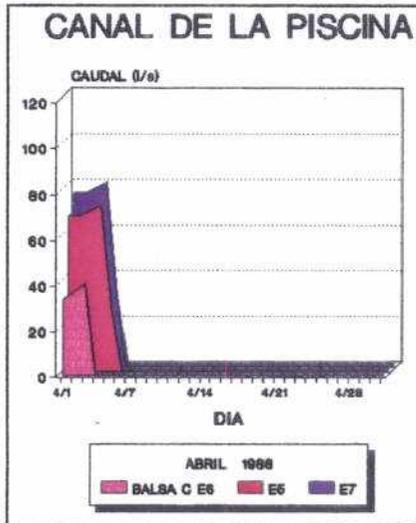


Fig. 13 - E





suministran los pozos de la zona, por lo que quizás alguna o varias de estas captaciones podrían estar bombeando agua al canal, aunque en principio esto parece un tanto ilógico.

Lo que tal vez si parece más factible es que este canal actúe como zanja de drenaje recogiendo el retorno de los regadíos de las parcelas próximas al canal, (junio y julio es el periodo que con más frecuencia y mayor intensidad se riega).

En el estudio realizado por el ITGE en la zona en 1985 se calculó el retorno de riego en un 31 % de la dotación, que para la patata (cultivo preferencial de la zona) es de 4.000 m³/ha/año. Como aproximadamente se dan 7 riegos al año, la dotación por riego es de 572 m³/ha, lo que equivale a 23 l/s para las 8 horas que dura cada riego, y el retorno de regadío por hectárea y riego se puede cuantificar en 7,13 l/s. Por consiguiente con tan solo el riego de 3 ha próximas al canal se superarían los 20,5 l/s en que se incrementan el caudal del mismo. Ahora bien, como una hectárea de estos cultivos recibe un riego como máximo cada 7 días; para mantener de forma continuada el incremento de caudal anteriormente mencionado serian preciso como mínimo 20 ha, y dado que en la zona por cada 3 ha sembradas tan solo una es de regadío, se tendría para el caso en que la distribución de estas parcelas fuera lo más desfavorable posible un máximo de 60 ha, cifras que representan una extensión de cultivos a ambos márgenes del canal y para toda la longitud del mismo de 275 m a 400 m.

Es evidente que, el razonamiento anterior podría ser completamente válido, pero entonces se presenta la paradoja de que este canal, en invierno, cuando los niveles piezométricos se encuentran más altos, cede agua al acuífero, y en verano, cuando éstos son más bajos, es el acuífero el que le da agua.

Lo más probable es que no exista un incremento de caudal en el tramo E2-E1, hecho que viene avalado por una serie de aforos realizados el 26/6/91 en distintos puntos de dicho canal con una circulación de agua mínima, y cuyos resultados se exponen a continuación (Cuadro nº 18):

CUADRO Nº 18

| LOCALIZACION | CAUDAL (l/s) |
|--------------------------|--------------|
| ESCALA E2 | 5.7 |
| A 100 m. DE LA ESCALA E2 | 5.5 |
| A 300 m. DE LA ESCALA E2 | 5.3 |
| A 600 m. DE LA ESCALA E2 | 0.5 |
| ESCALA E1 | 0 |

Las pequeñas diferencias que se observan entre los caudales obtenidos a partir de las escalas E1 y E2 son debidas fundamentalmente al ajuste en la curva de gastos correspondiente a la escala E2. Durante el periodo que va del 4/6/88 al 20/7/88 se registraron los valores de altura lámina de agua más bajos ($h=16, 17, 18$ cm para E2 y $h=7, 8, 9$ cm para E1), que corresponden al tramo inferior de la curva de gastos, zona de la misma que junto a su parte más alta (valores extremos) es donde normalmente se pueden cometer los mayores errores en el cálculo de caudales. Por consiguiente, es muy probable, que la curva de gastos de la escala E2 sea compuesta, ahora bien, con los datos de que se dispone la curva ajustada es la que presenta mayor coeficiente de correlación de todas las que se han ensayado. No obstante, como existe un valor real extremo $h=14$ cm; $Q=50$

l/s se ha considerado oportuno reajustar la misma en ese tramo inicial. Los valores que se obtienen una vez efectuada esta operación concuerdan con la realidad física existente.

6.1.4.- Evaluación de los volúmenes infiltrados.

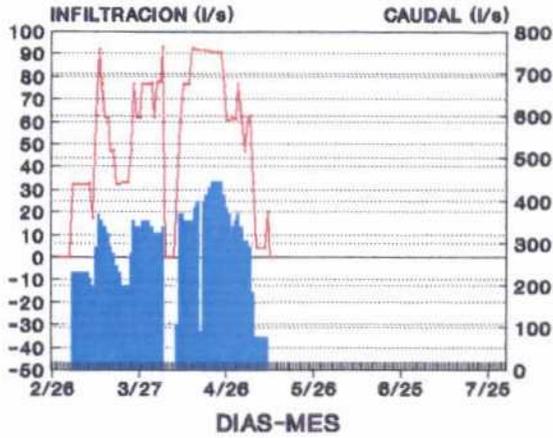
Determinación de la curva de rendimiento del canal.

Durante la primera experiencia (1987) el agua circuló por el canal desde el día 5 de marzo hasta el 11 de mayo con una única interrupción entre los días 6 al 9 de abril. Mientras que en el año 1988 (segunda experiencia) el periodo de funcionamiento del canal fue continuo y abarcó desde el 5 de enero al 25 de julio. El número total de días de utilización de este dispositivo de recarga-transporte fue de 62 en 1987 y 201 en 1988.

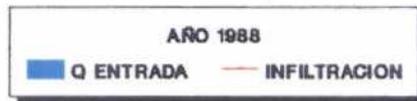
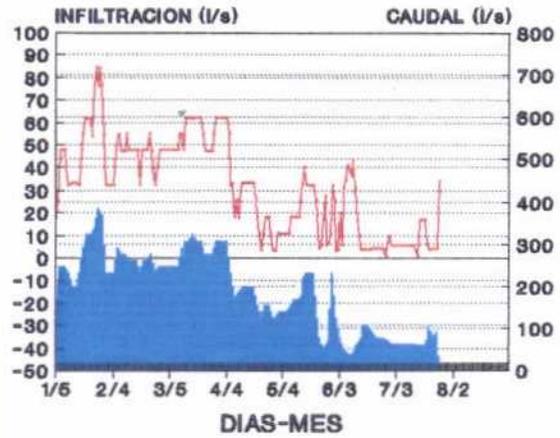
En la figura n° 14 se representan, tanto para el tramo E1-E2 como para el E1-balsa "A", la infiltración diaria que tiene lugar en los mismos, así como el caudal de entrada a cada uno de ellos; apreciándose muy claramente, en los gráficos correspondientes al año 1988, la existencia de dos periodos. Uno que abarca desde el 5 de enero hasta los primeros días de abril, y que presenta caudales de entrada superiores a los 200 l/s, una infiltración mayor de 30 l/s y puntas de pérdida de caudal en el tramo E1-E2 que superan los 80 l/s. Y otro que va desde la fecha anteriormente indicada hasta el 25 de julio, con caudales de entrada raramente superiores o iguales a los 200 l/s e infiltraciones normalmente inferiores a los 30 l/s.

Asimismo, se comprueba, que para el año 1987 existe una mayor uniformidad en el caudal de alimentación, que generalmente ha sido superior a los 200 l/s, detectándose que para caudales de entrada superiores a los 300 l/s se produce una infiltración, en cualquiera de los tramos del canal, mayor de 60 l/s.

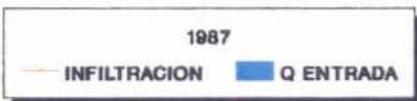
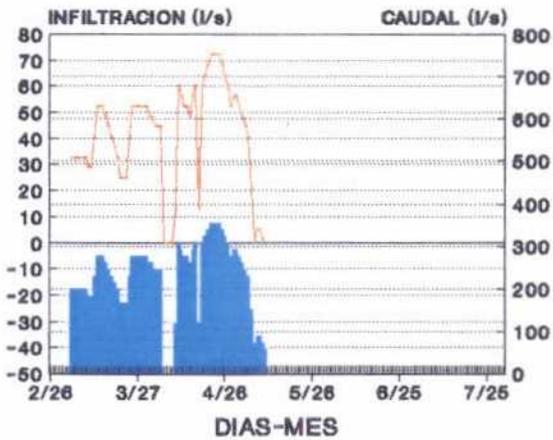
CANAL DE LA RESACA INFILTRACION-CAUDAL DE ENTRADA. TRAMO E2-E1



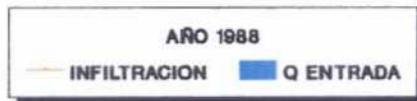
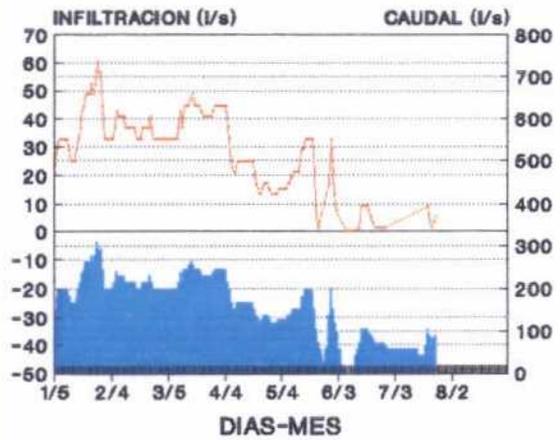
CANAL DE LA RESACA INFILTRACION-CAUDAL DE ENTRADA TRAMO E2-E1



CANAL DE LA RESACA INFILTRACION-CAUDAL DE ENTRADA. TRAMO E1-BALSA A



CANAL DE LA RESACA INFILTRACION-CAUDAL DE ENTRADA TRAMO E1-BALSA A



| AÑO | MES | Nº DIAS CON CIRCU- LACION DE AGUA | CAUDAL MAXIMO (l/s) | | • CAUDAL MINIMO (l/s) | | CAUDAL MEDIO (l/s) | |
|-----|-----|---|------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|
| | | | TRAMO E2-E1 | TRAMO E1-B.A | TRAMO E2-E1 | TRAMO E1-B.A | TRAMO E2-E1 | TRAMO E1-B.A |
| 8 7 | MAR | 27 | 368 | 278 | 200 | 167 | 278 | 234 |
| | ABR | 26 | 445 | 354 | 93 | 121 | 358 | 286 |
| | MAY | 9 | 368 | 292 | 78 | 58 | 243 | 205 |
| 8 8 | ENE | 26 | 384 | 308 | 170 | 151 | 284 | 232 |
| | FEB | 29 | 284 | 238 | 231 | 198 | 257 | 212 |
| | MAR | 31 | 322 | 261 | 246 | 198 | 282 | 228 |
| | ABR | 30 | 307 | 245 | 123 | 120 | 192 | 166 |
| | MAY | 31 | 231 | 199 | 55 | 27 | 156 | 136 |
| | JUN | 30 | 123 | 120 | 37 | 11 | 75 | 62 |
| | JUL | 24 | 109 | 105 | 34 | 42 | 70 | 62 |

• DISTINTO DE CERO

CUADRO Nº 19 CAUDALES DE ALIMENTACION MAXIMOS, MINIMOS
Y MEDIOS. CANAL DE LA RESACA

En el Cuadro nº 19 se muestran, mes a mes, las cifras más características relativas a los caudales de entrada en los distintos tramos del canal. Los caudales máximos de alimentación se registraron los días 22 al 25 de abril de 1987 con 445 l/s; evaluándose (Cuadro nº 20) el caudal medio de entrada en 308 l/s para 1987 y en 190 l/s para 1988, y las pérdidas medias de agua en el canal en 102 l/s y 55 l/s respectivamente, lo que representa una infiltración por unidad de longitud de 0,071 l/s/m y 0,038 l/s/m.

CUADRO N° 20 CAUDAL MEDIO DE ALIMENTACION
Y PERDIDA MEDIA DE CAUDAL

| AÑO | CAUDAL MEDIO (l/s) | | PERDIDA MEDIA DE CAUDAL (l/s) | |
|------|--------------------|--------------|-------------------------------|--------------|
| | TRAMO E2-E1 | TRAMO E1-B.A | TRAMO E2-E1 | TRAMO E1-B.A |
| 1987 | 308 | 251 | 57 | 45 |
| 1988 | 190 | 158 | 32 | 23 |

Al comparar los resultados obtenidos entre un año y otro se aprecia una notable diferencia entre sus valores medios. Ahora bien, si el análisis se realiza para periodos de tiempo más pequeños se observa que para alguno de estos intervalos la misma no es tan grande, y que el peso de los valores correspondientes a los meses de mayo, junio y julio de 1988 son los que más acentúan ésta. (Cuadro n° 21).

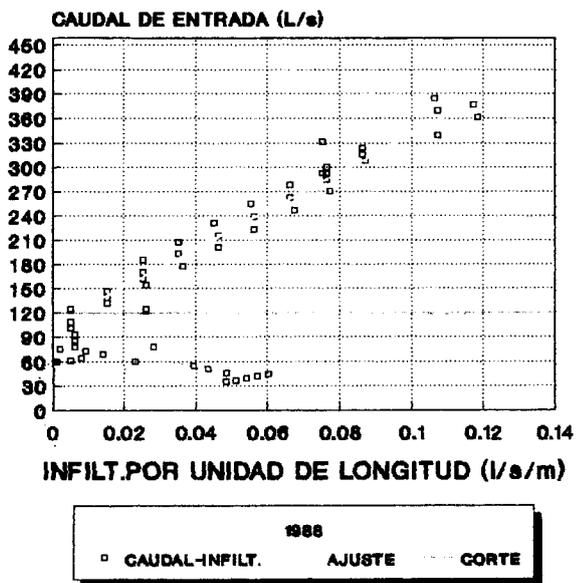
CUADRO N° 21

| AÑO 1988 | CAUDAL MEDIO (l/s) | | PERDIDA MEDIA DE CAUDAL (l/s) | |
|-------------|--------------------|--------------|-------------------------------|--------------|
| | TRAMO E2-E1 | TRAMO E1-B.A | TRAMO E2-E1 | TRAMO E1-B.A |
| ENE-FEB-MAR | 274 | 224 | 50 | 39 |
| MAR-ABR-MAY | 210 | 176 | 34 | 27 |
| MAY-JUN-JUL | 103 | 89 | 14 | 7.5 |

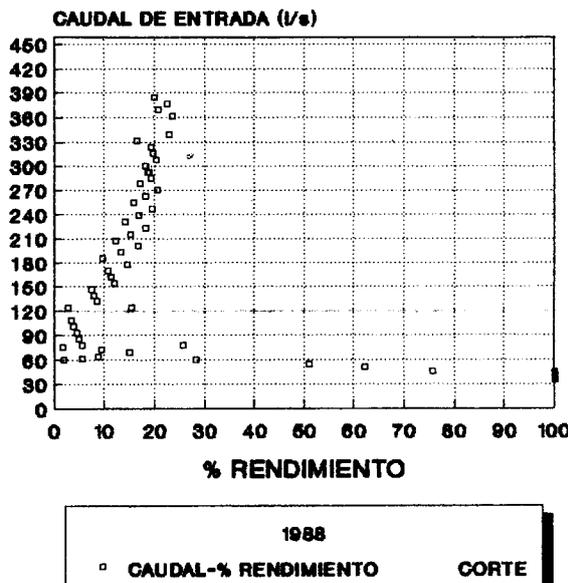
Por otro lado, resulta evidente, que una evaluación más profunda de la relación existente entre el caudal de alimentación y la infiltración precisa de un análisis del rendimiento de la instalación. En la figura n° 15 se representa la relación existente entre el caudal de entrada al canal de la Resaca y la infiltración por unidad de longitud correspondiente al tramo E2-E1 para los años 1987 y 1988. Asimismo también se muestra la relación que hay entre dicho caudal de entrada y el rendimiento de la instalación.

Un primer análisis de los datos representados en dicha figura muestra la existencia de dos zonas compartimentadas

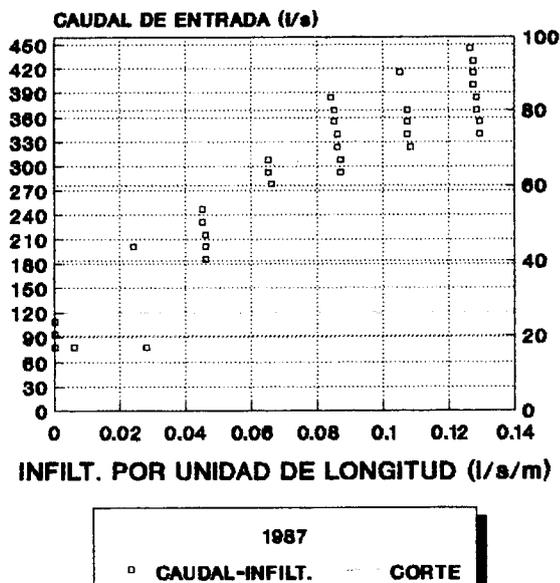
CANAL DE LA RESACA TRAMO E2-E1



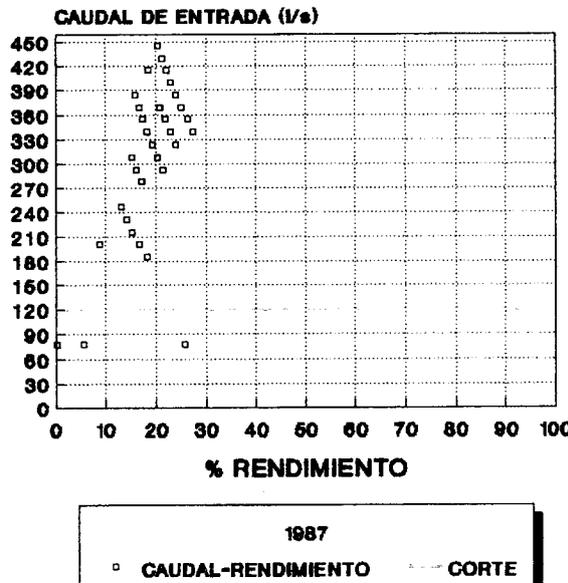
CANAL DE LA RESACA TRAMO E2-E1



CANAL DE LA RESACA TRAMO E2-E1



CANAL DE LA RESACA TRAMO E2-E1



por una línea de corte entorno al valor $Q_E=120$ l/s, para los pares de valores (Q_{Ei}, q_i) y (Q_{Ei}, η_i) .

Donde: Q_{Ei} = caudal de alimentación o entrada al tramo E2-E1 del canal de la Resaca el día i después de haber comenzado la experiencia.

q_i = infiltración por unidad de longitud correspondiente al tramo E2-E1 en el día i .

η_i = rendimiento porcentual de la instalación en el día i .

En la primera de estas zonas, que es la correspondiente a los valores de $Q_E > 120$ l/s, los pares de puntos (Q_{Ei}, q_i) parecen agruparse según una línea recta, y de hecho se les ha ajustado la recta definida por $Q_E = 106,64 + 2341,60 q$ con un coeficiente de correlación $r = 0,97$. Por otro lado, los pares de valores (Q_{Ei}, η_i) parecen distribuirse según una curva que muy bien podría presentar una asíntota en torno al valor $\eta\% = 30$.

La segunda de estas zonas viene definida por aquellos valores de $Q_E < 120$ l/s, y presenta a simple vista un cierto aspecto caótico, aunque en ella se puedan distinguir:

1.- Valores de Q_E para los cuales el rendimiento es del 100 %.

Son aquellos valores del caudal de entrada para los cuales todo el volumen de agua por unidad de tiempo que se registra en la escala E2 se infiltra a lo largo del canal, no detectándose en E1 circulación de agua.

La infiltración por unidad de longitud que se obtiene con los mismos es "ficticia" y creciente con el caudal de entrada al canal (puntos agrupados en los gráficos con la letra A), ya que en el cálculo de la misma, la pérdida de caudal habida en el tramo E2-E1 se divide por la longitud total del mismo, por desconocerse el punto exacto en el cual deja de circular agua por el canal. El máximo valor que puede alcanzar esta infiltración se obtendría para un caudal de alimentación con el cual existiera circulación de agua por el canal justamente hasta la escala E1. Este valor de la infiltración por unidad de longitud coincidirá con el real.

A lo largo de la experiencia se han obtenido cinco valores de Q_E (34, 36,5, 39, 41 y 43 l/s) para los cuales la circulación de agua a la altura de la escala E1 es nula. El mínimo valor de Q_E con el que se ha detectado un registro distinto de cero en la escala E1 ha presentado una cuantía de 45,5 l/s, estimándose las pérdidas de caudal para el mismo en el tramo E2-E1 en 34 l/s. Por consiguiente, se puede considerar que el campo de existencia de la función $f(Q_E, \eta = 100\%)$ está definido entre $0 \text{ l/s} < Q_E < 45,5 \text{ l/s}$.

2.- Valores de Q_E para los cuales tanto el rendimiento como la infiltración por unidad de longitud parecen ser decrecientes con el aumento del caudal de alimentación.

En el Cuadro n° 22, se muestran los valores reales del caudal de alimentación obtenidos a lo largo de la experiencia para $Q_E < 120 \text{ l/s}$, la pérdida de caudal en el tramo E2-E1, el rendimiento y la infiltración por unidad de longitud.

CUADRO N° 22

| CAUDAL DE ALIMENTACION (l/s) | PERDIDA MEDIA DE CAUDAL (l/s) | RENDIMIENTO % | INFILTRACION POR UNIDAD DE LONGITUD (l/s/m) |
|------------------------------|-------------------------------|---------------|--|
| 45.5 | 34 | 75.5 | 0.0479 |
| 50 | 31 | 62 | 0.0433 |
| 54 | 27.7 | 50.9 | 0.0387 |
| 59 | 16.6 | 28 | 0.0232 |
| 72 | 6.7 | 9.29 | 0.0094 |
| 77 | 4.3 | 5.5 | 0.0080 |
| 85 | 4.15 | 4.84 | 0.0058 |
| 93 | 3.99 | 4.28 | 0.0056 |
| 108 | 3.86 | 3.39 | 0.0051 |
| 123 | 3.37 | 2.72 | 0.0047 |

A la vista de estas cifras, y aunque existen algunos valores que en principio se podrían denominar extraños como los que se indican en el Cuadro n° 23, se detecta, como se comenta en el encabezamiento de este punto, una posible disminución del rendimiento y de la infiltración por unidad de longitud con el aumento del caudal de alimentación del canal, e incluso se puede ajustar una recta $Q_{\pm} = 99,6915 - 1214,79 q$, a los pares de valores (Q_{\pm}, q) , con un coeficiente de correlación aceptable.

CUADRO N° 23

| CAUDAL DE ALIMENTACION (l/s) | PERDIDA MEDIA DE CAUDAL (l/s) | RENDIMIENTO % | INFILTRACION POR UNIDAD DE LONGITUD (l/s/m) |
|------------------------------|-------------------------------|---------------|--|
| 59 | 1 | 1.77 | 0.001458 |
| 61 | 3.3 | 5.38 | 0.004595 |
| 63 | 5.5 | 8.73 | 0.007732 |
| 68 | 10 | 14.77 | 0.014006 |

Ahora bien, ante estos resultados cabe preguntarse si factores como la rugosidad o la vegetación existente en el canal pueden influir de tal forma sobre los caudales pequeños, y frenar tanto la velocidad del agua para favorecer en tal cuantía la infiltración. Así como, que a partir de un cierto límite, un aumento del caudal, con el consiguiente aumento del calado, y una alta velocidad en las capas superiores de la lámina de agua que comunique a las inferiores la energía suficiente para vencer las fuerzas de rozamiento, provoquen un efecto contrario al comentado anteriormente dando lugar a una disminución de la infiltración.

No obstante, quizás, lo más probable es que las cifras anteriormente expuestas puedan estar derivadas de un mal

ajuste de las curvas de gastos en su tramo inicial, o de errores en las lecturas de la altura de las escalas, o incluso de las dos causas en conjunción. Pequeñas variaciones en estas lecturas (± 1 cm) pueden dar lugar a importantes modificaciones en el valor de la infiltración por unidad de longitud o del rendimiento como se expone con un ejemplo en el Cuadro n° 24.

CUADRO N° 24

| ALTURA DE LA ESCALA (cm) EN | | CAUDAL (l/s) EN | | RENDIMIENTO % | INFILTRACION POR UNIDAD DE LONGITUD (l/s/m) |
|-----------------------------|----|-----------------|----|---------------|--|
| E2 | E1 | E2 | E1 | | |
| 17 | 8 | 63.5 | 58 | 8.6 | 0.007 |
| 17 | 7 | 63.5 | 42 | 33.8 | 0.029 |
| 18 | 7 | 68 | 42 | 38 | 0.036 |

Siendo muy posible, que en el intervalo $45,5 \text{ l/s} < Q_E < 120 \text{ l/s}$ los pares de valores (Q_{E1}, q_1) se ajusten a una recta con una pendiente más elevada que la presentada por la recta correspondiente $Q_E > 120 \text{ l/s}$. El que por encima de un cierto valor del caudal de entrada se produzca un cambio en la pendiente de la curva, que relaciona los pares de valores (Q_{E1}, q_1) , es explicable porque a partir de una cierta altura de la lámina de agua en el canal debe de entrar en juego la infiltración a través de las paredes laterales del mismo, que como es sabido, dependiendo de la relación anchura/calado, puede ser muy importante. Así mismo, por la misma razón también se producirá un aumento del rendimiento.

Este último se ha definido como: $\eta \times 100 = q_r / Q_E$ donde q_r es la infiltración real que se produce en el tramo E2-E1, que está relacionada con la infiltración por unidad de longitud (q) mediante la expresión $q_r = q \cdot L$; siendo L la longitud del tramo E2-E1.

Ahora bien, como $Q_E = 106,64 + 2341,60 q$ el rendimiento se puede expresar por:

$$\eta = \frac{(Q_E - 106'64) L}{2341'60 Q_E}$$

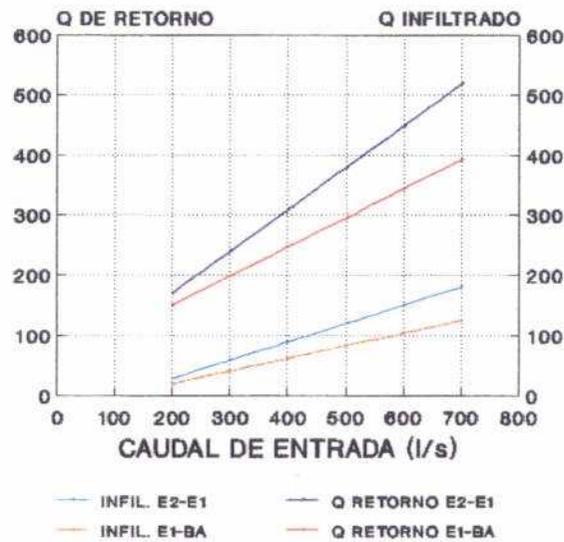
cuya representación gráfica se muestra en la fig. nº 16. Esta curva presenta una asíntota para $\eta \% = 30,66$ (rendimiento máximo)

$$\text{Lim}_{Q_E \rightarrow \infty} = \frac{(Q_E - 106'64) L}{2341'60 Q_E} = \frac{L}{2341'60} = \frac{718}{2341'60} = 0'3066$$

CANAL DE LA RESACA TRAMO E2-E1



CANAL DE LA RESACA CAUDAL DE ENTRADA- CAUDAL DE RETORNO



que es precisamente la pendiente de la recta $Q_E = 106,64 + 2341,60 q$.

La utilización conjunta de estas curvas puede en principio dar un orden de magnitud sobre la geometría de un canal de alimentación-recarga con unas características hidrogeológicas del acuífero, anchura y pendiente del canal como las del ensayado. Ya que si se conoce el volumen total de agua que se quiere infiltrar en el acuífero, y el caudal máximo de recarga disponible en origen; se puede determinar un intervalo de rendimiento óptimo y unas pérdidas por unidad de longitud máximas y mínimas, y consiguientemente evaluar el calado y la longitud del canal más económico.

Asimismo también se puede realizar un seguimiento del aprovechamiento de la obra en cuestión, como se expone a continuación:

El canal de la Resaca tiene una geometría preestablecida que condiciona el caudal de entrada al mismo, que como máximo se puede estimar en 500 l/s. Por consiguiente, la infiltración por unidad de longitud vendrá delimitada por este valor. Así mismo el caudal de retorno de este canal condicionará la geometría y la infiltración en el canal de desagüe (tramo El-Balsa A). En el Cuadro nº 25 y en la figura nº 26 se muestran una serie de caudales teóricos de entrada e infiltración, con sus correspondientes rendimientos, para los distintos tramos de este canal.

En líneas generales se puede decir que con el diseño que tiene el canal de la Resaca y las instalaciones de recarga-transporte anejas a él, dicho canal funcionará en óptimas condiciones con caudales de entrada comprendidos entre 400 l/s y 500 l/s. Realizar obras en el mismo, así como en las demás instalaciones, para que pueda admitir mayores caudales de alimentación, quizás no justifique las

inversiones a realizar, sobre todo porque es difícil disponer de una forma continuada de caudales superiores a la cuantía anteriormente mencionada.

| CAUDAL DE ALIMENTACION (l/s) TRAMO E2-E1 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| INFILTRACION TRAMO E2-E1 (l/s) | 28.62 | 59.28 | 89.95 | 120.61 | 151.27 | 181.94 |
| CAUDAL DE RETORNO TRAMO E2-E1 (l/s) | 171.38 | 240.71 | 310.04 | 379.38 | 448.72 | 518.05 |
| RENDIMIENTO TRAMO E2-E1 | 14.31 | 19.76 | 22.88 | 24.12 | 25.13 | 25.99 |
| INFILTRACION TRAMO E1-BA (l/s) | 19.85 | 41.10 | 62.36 | 83.62 | 104.89 | 126.14 |
| CAUDAL DE RETORNO TRAMO E1-BA (l/s) | 151.52 | 199.60 | 247.67 | 295.75 | 343.82 | 391.90 |
| RENDIMIENTO TRAMO E1-BA | 11.58 | 17.07 | 20.11 | 22.04 | 23.37 | 24.35 |

EL CAUDAL DE RETORNO DE UN TRAMO CONSTITUYE EL CAUDAL DE ALIMENTACION DEL TRAMO SIGUIENTE.

CUADRO Nº 25

Por otro lado, se puede considerar que este canal ha estado infrutilizado durante los dos años de la recarga que se han analizado, puesto que los caudales que normalmente han circulado por el mismo han sido inferiores a los óptimos indicados anteriormente. Sobre todo durante los meses de enero, febrero, marzo y abril en que se dispone normalmente de caudales de ese orden de magnitud.

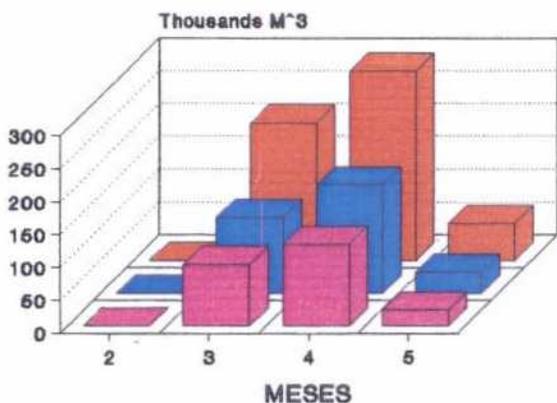
Por último, únicamente indicar (Cuadro nº 26 y figura nº 17) el volumen total infiltrado por esta instalación, que ha sido ligeramente superior a 0,5 Hm³ para el año 1987 y muy próximo a 1 Hm³ para el año 1988. Estos volúmenes de agua han podido suponer, a groso modo, el riego de 138 Ha de patata en 1987 y 239 Ha en 1988.

| CUADRO Nº 26 | MES | VOLUMEN TOTAL INFILTRADO (m ³) 1987 | | | VOLUMEN TOTAL INFILTRADO (m ³) 1988 | | |
|-----------------|---------|---|-----------------|-----------------|---|-----------------|-----------------|
| | | TRAMO E2-E1 | TRAMO E1-B.A | TRAMO E2-B.A | TRAMO E2-E1 | TRAMO E1-B.A | TRAMO E2-B.A |
| | ENERO | | | | 116227.7 | 90987.1 | 207214.8 |
| | FEBRERO | | | | 112340.8 | 90531.6 | 202872.5 |
| | MARZO | 115337.7 | 93884.5 | 209222.2 | 144900.3 | 107433.5 | 252333.9 |
| | ABRIL | 164969.3 | 123434.2 | 288403.5 | 71969.3 | 62672.7 | 134642 |
| | MAYO | 32061.1 | 23901.9 | 55963.1 | 52556.2 | 47419.3 | 99975.6 |
| | JUNIO | | | | 33854.3 | 6984.9 | 40839.3 |
| | JULIO | | | | 17179.2 | 2065.6 | 19244.8 |
| | AGOSTO | | | | | | |
| | TOTAL | 312368.2 | 241220.7 | 553588.9 | 549028.1 | 408094.9 | 957123.1 |

6.2.- Canal de Patagallina-Las Piscinas.

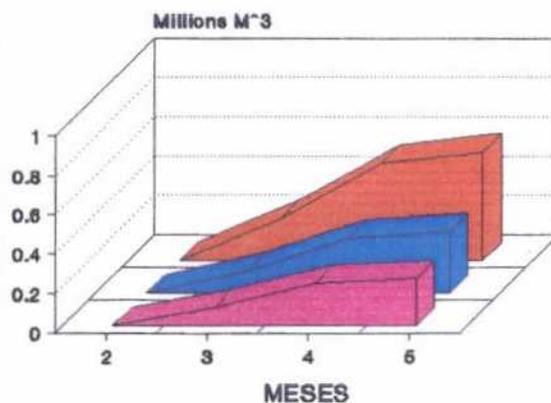
Las pérdidas de agua que se producen en este canal dan lugar a la recarga de un área bastante extensa situada al norte, al sur y en el propio casco urbano de Sto. Domingo de la Calzada.

CANAL DE LA RESACA PERIODO DE RECARGA FEBRERO-MAYO 1987



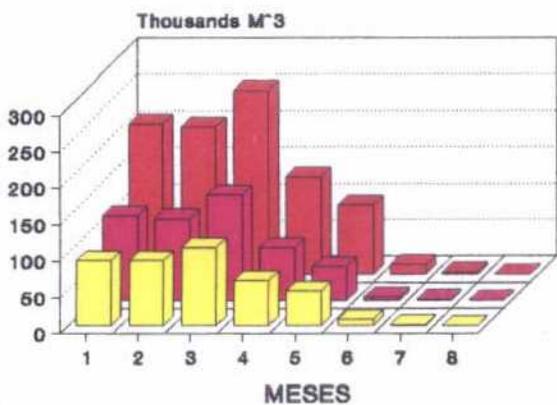
VOLUMEN INFILTRADO
 TRAMO E1-BALSA A TRAMO E2-E1
 TRAMO E2-BALSA A

CANAL DE LA RESACA PERIODO DE RECARGA FEBRERO-MAYO 1987



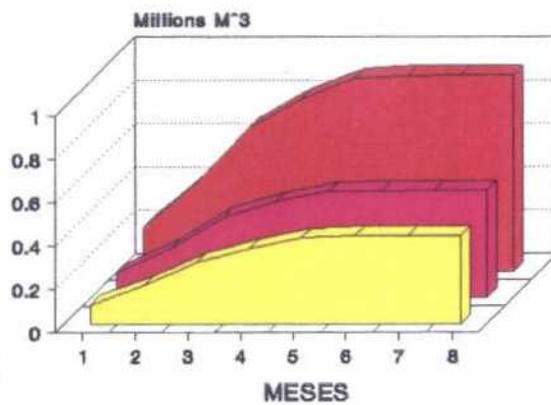
VOL. INFL. ACUMULADO
 TRAMO E1-BALSA A TRAMO E2-E1
 TRAMO E2-BALSA A

CANAL DE LA RESACA PERIODO DE RECARGA ENERO-AGOSTO 1988



VOLUMEN INFILTRADO
 TRAMO E1-BALSA A TRAMO E2-E1
 TRAMO E2-BALSA A

CANAL DE LA RESACA PERIODO DE RECARGA ENERO-AGOSTO 1988



VOL. INFL. ACUMULADO
 TRAMO E1-BALSA A TRAMO E2-E1
 TRAMO E2-BALSA A

El agua que circula por el canal se controla mediante tres escalas (E5, E6 y E7) localizadas en los puntos descritos en el apartado 3.2.-, y entre las que existen las siguientes distancias:

- . Tramo E7 - E5 = 1590 m
- . Tramo E5 - E6 = 2000 m

En las figuras n° 13-B, E y F, se muestran los caudales diarios que han circulado por los puntos de control determinados por las escalas anteriormente mencionadas. En la primera experiencia (1987) el agua comenzó a entrar en este canal el día 26 de febrero finalizando el 26 de junio. A lo largo de la misma las fluctuaciones en el caudal de entrada fueron significativas siendo el mismo nulo en las fechas que a continuación se relacionan: 3 y 4 de marzo; 11, 19 y 29 de abril; 3 de mayo, 22 al 25 de mayo; 2 al 5 de junio, 7 al 11 de junio y 17 al 26 de junio. Durante la segunda experiencia (1988), que abarcó desde el 5 de enero al 7 de agosto, la tónica fue muy semejante con interrupciones en el caudal de entrada en los periodos siguientes: 2 de febrero; 1 al 5 de marzo y 6 de abril al 11 de mayo.

En estas figuras se puede observar, que es frecuente, que el caudal que circula por el tramo intermedio (Escala E5) sea superior al circulante por el tramo inicial (Escala E7). Destacándose el periodo que va del 25 de mayo al 26 de junio de 1987 de un mes de duración.

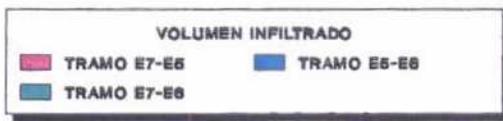
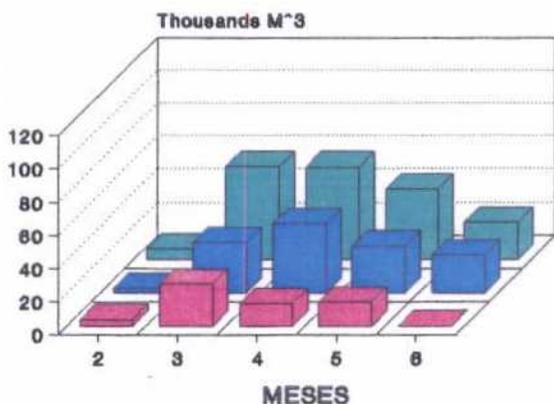
Esto es debido al hecho de que a unos 100 m aguas arriba de la escala E5 se une a este canal una derivación de la acequia de Carracarros. Dicha acequia no se utilizaba en el momento de instalarse los dispositivos de control, pero los agricultores de la zona en su afán de obtener unos mejores resultados con la recarga que habían planteado, decidieron, siempre que fuera posible, complementar el volumen

de agua proveniente de la zona de Las Piscinas con agua de esta acequia. Su funcionamiento fue muy intermitente, con épocas en que solo aportó agua unas pocas horas al día, y otras en que este caudal complementario fue continuo a lo largo de varias semanas.

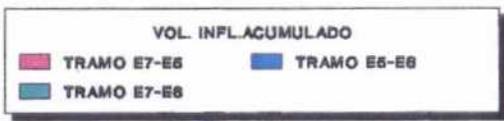
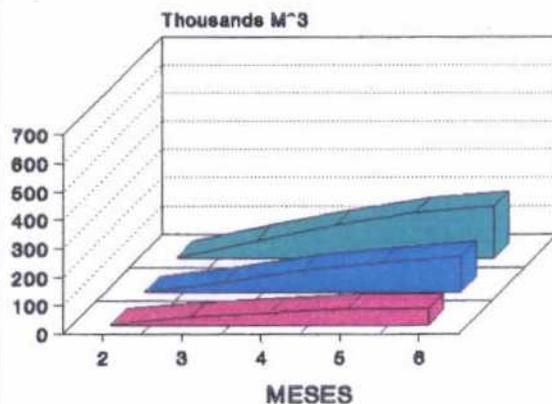
Por consiguiente, la existencia de esta derivación ha provocado, que el análisis de los volúmenes infiltrados en el tramo E7-E5 solo se pueda efectuar de una forma aproximada. La estimación realizada (Cuadro n° 27 y figura n° 18) únicamente representa un orden de magnitud mínimo.

| CUADRO N° 27 CANAL DE LA PISCINA | MES | VOLUMEN TOTAL INFILTRADO (m ³) 1987 | | | VOLUMEN TOTAL INFILTRADO (m ³) 1988 | | |
|--|---------|---|----------------|----------------|---|----------------|----------------|
| | | TRAMO E7-E5 | TRAMO E5-E6 | TRAMO E7-E6 | TRAMO E7-E5 | TRAMO E5-E6 | TRAMO E7-E6 |
| | ENERO | | | | 49056.6 | 73291 | 122347.6 |
| | FEBRERO | 3911.3 | 2985.2 | 6896.5 | 47410.4 | 73345.6 | 120756.1 |
| | MARZO | 25519.1 | 30723.1 | 56242.2 | 19353.7 | 57977.2 | 77330.9 |
| | ABRIL | 13643.4 | 42151.9 | 55795.3 | 2637.8 | 16928.5 | 19566.4 |
| | MAYO | 14281 | 28238.6 | 42517.7 | 24572.4 | 62845 | 87417.5 |
| | JUNIO | | 22740.4 | 22740.4 | 22107.7 | 74709.1 | 96816.9 |
| | JULIO | | | | 46881.2 | 42138.7 | 89019.9 |
| | AGOSTO | | | | 15230.4 | | 15230.4 |
| | TOTAL | 57354.9 | 126837.4 | 184192.3 | 227250.5 | 401235.4 | 628486 |

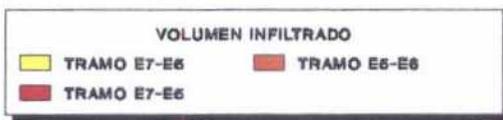
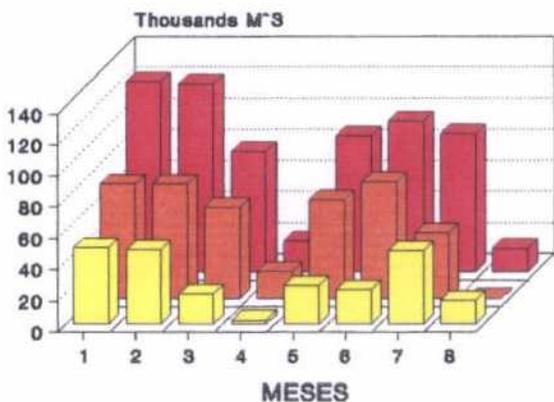
CANAL DE LA PISCINA PERIODO DE RECARGA FEBRERO-JUNIO 1987



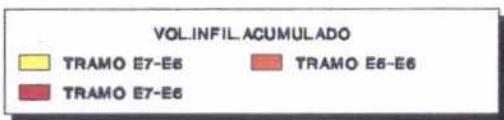
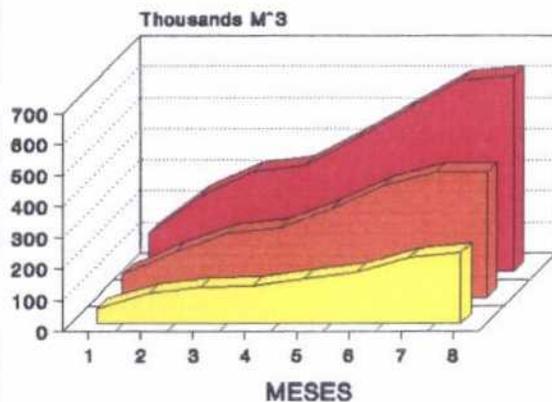
CANAL DE LA PISCINA PERIODO DE RECARGA FEBRERO-JUNIO 1987



CANAL DE LA PISCINA PERIODO DE RECARGA ENERO-AGOSTO 1988



CANAL DE LA PISCINA PERIODO DE RECARGA ENERO-AGOSTO 1988



En cuanto al tramo E5-Balsa C también hay periodos en los que se detecta un mayor caudal a la entrada de la balsa C que en la escala E5 (tramo medio), sobre todo en 1987. Esto es debido a que, cuando comienza la época de riego, este canal se utiliza en ocasiones para transportar agua desde una parcela donde existe un pozo a otra donde no hay ubicada una captación de agua subterránea. Aunque lo más frecuente es que se extraiga agua directamente del canal, perdidas estas, que por supuesto no se pueden cuantificar. Al igual que ocurre con el tramo E7-E5, la estimación de los volúmenes infiltrados en este otro tramo únicamente pretende indicar un cierto orden de magnitud.

| AÑO | MES | Nº DIAS CON CIRCU- LACION DE AGUA | CAUDAL MAXIMO (l/s) | | • CAUDAL MINIMO (l/s) | | CAUDAL MEDIO (l/s) | |
|-----|-----|---|------------------------|----------------|--------------------------|----------------|-----------------------|----------------|
| | | | TRAMO E7-E5 | TRAMO E5-E6 | TRAMO E7-E5 | TRAMO E5-E6 | TRAMO E7-E5 | TRAMO E5-E6 |
| 8 7 | FEB | 3 | 75 | 63 | 75 | 57 | 75 | 60 |
| | MAR | 29 | 80 | 79 | 46 | 41 | 61 | 57 |
| | ABR | 27 | 80 | 81 | 4 | 15 | 46 | 44 |
| | MAY | 26 | 98 | 88 | 4 | 6 | 48 | 48 |
| | JUN | 20 | 23 | 61 | 4 | 17 | 9 | 33 |
| 8 8 | ENE | 26 | 89 | 83 | 49 | 33 | 82 | 61 |
| | FEB | 28 | 96 | 83 | 16 | 6 | 77 | 58 |
| | MAR | 26 | 79 | 70 | 13 | 17 | 53 | 44 |
| | ABR | 5 | 79 | 72 | 30 | 28 | 67 | 61 |
| | MAY | 20 | 65 | 50 | 51 | 9 | 59 | 53 |
| | JUN | 30 | 56 | 50 | 28 | 23 | 40 | 34 |
| | JUL | 31 | 56 | 39 | 28 | 2 | 34 | 17 |
| | AGO | 7 | 27 | | 9 | | 25 | |

• DISTINTO DE CERO

CUADRO Nº 28

CAUDALES DE ALIMENTACION MAXIMOS, MINIMOS
Y MEDIOS. CANAL DE LA PISCINA

En el Cuadro n° 28 se muestran, mes a mes, las cifras más características relativas a los caudales de entrada en los distintos tramos del canal. El caudal máximo de alimentación se registró el día 7 de mayo de 1987 con 98 l/s; evaluándose el caudal medio de entrada en 44 l/s en 1987 y 55 l/s en 1988.

A pesar de las limitaciones impuestas por la falta de un control adecuado en esta instalación de recarga, quizás se puede derivar, de los resultados obtenidos a lo largo de su seguimiento, una conclusión muy interesante sobre la que se realiza a continuación un pequeño desarrollo.

El canal de la Piscina está constituido por una serie de antiguas acequias de riego conectadas entre si hasta la balsa "C", y únicamente un pequeño tramo final es de nueva construcción. Por lo que en líneas generales se puede considerar preexistente a la construcción de las instalaciones de recarga. En el mismo, se ha estimado que la infiltración por unidad de longitud puede tener un valor medio de 0,018 l/s/m. Por lo que si este en vez de tener una longitud aproximada de 3,5 Km, la tuviera de 10 Km, hecho este totalmente factible pues únicamente sería necesario planificar el recorrido del agua de recarga por las acequias siguiendo un camino más zigzagueante en vez de tan recto, las perdidas de caudal que se producirían en el mismo podrían alcanzar los 80 l/s. Caudal este, disponible en origen, durante los meses de enero, febrero, marzo y abril, y que representará un volumen de agua infiltrada para dichos meses del orden de 0,8 Hm³.

Suponiendo que se pudiera recuperar un 80 % del agua infiltrada (porcentaje que parece ser bastante corriente) se podría disponer de un volumen de agua complementario de 0,66 Hm³ sin necesidad de crear infraestructura alguna.

La cifra anteriormente mencionada parece en principio muy pequeña pero puede permitir el abastecimiento de una localidad de 9.000 hab., o el riego según dotaciones de:

| | | |
|--------------|------------------------------------|---------|
| Cereal | 500 m ³ /ha/año | 1327 ha |
| Patata | 4000 m ³ /ha/año | 166 ha |
| Frutal | 6500 m ³ /ha/año | 102 ha |
| Huerta | 10000 m ³ /ha/año | 66 ha |

Obteniéndose unos beneficios brutos (Anuario de El País (1988): superficie cultivada, producción y precios medios percibidos por los agricultores) de:

| | | |
|-------------|---------------------|--|
| Cereal | 52.000 Pts./Ha ... | 69 millones Pts. |
| Patata | 350.000 Pts./Ha ... | 58 millones Pts. |
| Frutal | 495.000 Pts./Ha ... | 50,5 millones Pts. (melocotón y pera). |
| Huerta | 760.000 Pts./Ha ... | 50,2 millones Pts. (alcachofa, pimiento, tomate, espárrago, coliflor) |

A la vista de estos resultados cabe plantearse la posibilidad de aprovechar los miles de kilómetros de acequias sin revestir, que se extienden sobre la superficie de los acuíferos españoles, haciendo circular por ellas caudales excedentarios invernales con el objetivo de provocar una infiltración complementaria con una mínima inversión en infraestructura. Esta, probablemente, únicamente se limitaría a la construcción de pequeños dispositivos de derivación y ocasionalmente a nuevos y cortos tramos de acequias.

Piénsese, que si fuera factible infiltrar como mínimo 1 Hm³ en cada una de las 45 unidades hidrogeológicas en que el riego de sobreexplotación es mayor; se podría reducir en un 7,25 %, prácticamente sin realizar ninguna inversión, el déficit global de 618 hm³/año en que Batlle et al (1989) han estimado la misma. Extrapolando los datos de la infiltración

por unidad de longitud obtenidos en el estudio del río Oja, se precisaría una longitud de acequias para cada unidad de 14,5 Km y un caudal de agua en origen de 116 l/s.

Es evidente, que un proyecto de esta embergadura exigirá como paso previo la realización de un estudio complementario, a nivel de Comunidad Autónoma o escala Nacional, referido principalmente a las 75 unidades hidrogeológicas donde se ha detectado algún problema de sobreexplotación, y en el que será necesario realizar determinaciones fundamentalmente sobre los siguientes puntos:

- Para una serie de acuíferos piloto evaluación de la infiltración por unidad de longitud en función de la permeabilidad, y del tipo de material predominante en el mismo.

- Cuantificación a través de encuestas a los Sindicatos Agrarios u Organismos afines de la extensión de la red de acequias en un determinado acuífero.

- Inventario de fuentes de agua para esta recarga artificial; determinando el caudal disponible y su régimen temporal, así como la características de calidad y su variabilidad.

6.3.- Canal de Santurdejo-Gallinero.

Las pérdidas de agua que se producen en este canal dan lugar a la recarga de un área comprendida entre las localidades de Santurde y Sto. Domingo de la Calzada, y que discurre paralela al borde oriental del acuífero.

El agua que circula por el canal se ha controlado mediante dos escalas E3 y E4 localizadas en los puntos descritos en el apartado 3.2.-.

En las figuras n° 13-A, C, D y E, se muestran los caudales diarios que han circulado por los puntos de control determinados por las escalas anteriormente mencionadas. Observándose, que tanto para la experiencia de 1987, como para la de 1988, el caudal de entrada a la balsa B (escala E4) es normalmente superior al que circula por el tramo anterior a esta (escala E3).

CUADRO N° 29

| LOCALIZACION DEL AFORO | ESCALA | FECHA | CAUDAL (l/s) | ALTURA DE ESCALA (cm) | OBSERVACIONES |
|------------------------|------------|--------------------|--------------|-----------------------|--|
| MENESIANO GALLINERO | E-3 E-4 | 25-1-88 25-1-88 | 71 114 | 41 25 | EL DIA ANTERIOR HABIA LLOVIDO |
| MENESIANO GALLINERO | E-3 E-4 | FEBRERO FEBRERO | 19 16 | 19 4 | |
| MENESIANO GALLINERO | E-3 E-4 | 3-3-88 3-3-88 | 19 16 | 19 4.5 | |
| MENESIANO GALLINERO | E-3 E-4 | 30-5-88 30-5-88 | 2 29 | 10 5 | EL DIA 24 LA PRECIPITACION FUE DE 40 mm., EL 26 DE 14 Y EL 27 DE 1.6 mm. |
| MENESIANO GALLINERO | E-3 E-4 | 20-7-88 20-7-88 | 16 61 | 19 10 | EL DIA 18 LA PRECIPITACION FUE DE 76 mm. |

La escala E4 está situada en la confluencia del canal de Gallinero con el cauce de un arroyo, que generalmente permanece seco, pero que en periodos de lluvia recoge parte de la escorrentía superficial de los miocenos que rodean a la localidad de Gallinero de Rioja. En el Cuadro n° 29 se

muestran los aforos directos, realizados para la misma fecha, en los puntos de control E3 y E4. Observándose, que siempre que se ha realizado un aforo después de un periodo de lluvia el caudal registrado en la escala E4 es superior al de la escala E3; mientras que si se han efectuado en una época en la que no ha llovido ocurre lo contrario.

Es evidente, que todo lo anteriormente comentado justificaría que en determinados periodos de lluvia el caudal en E4 fuera superior al de E3, pero desde luego no explica el hecho de que prácticamente siempre el caudal en E4 sea superior al registrado en el punto E3. Esto es debido a que a unos 5 m aguas abajo de la escala E4 el cauce del canal se estrecha, formándose con los materiales arrastrados por el agua una represa natural, que ha falseado las lecturas diarias de la escala. No existiendo, por consiguiente, una correspondencia entre las curvas $h=f(t)$ y $Q=f(h)$, ya que los aforos directos se realizaron sin la existencia de esta represa al haberse procedido, con anterioridad a su realización, a una limpieza del cauce del canal en el entorno de la escala. Asimismo, y como se desprende de la columna ALTURA DE ESCALA del Cuadro nº 30, la sección limnimétrica de la escala E4 no parece ser la más apropiada, ya que en tan solo 4,5 cm el caudal registrado en la misma pasa de 16 l/s a 61 l/s, con lo que los pequeños aumentos de altura de lámina de agua que puede provocar la represa dispararán la estimación del caudal a través de la curva de gastos.

Por consiguiente, es casi seguro, que el caudal en el punto de control E4, salvo en los periodos de lluvia, sea inferior al registrado en el punto E3; como parece derivarse de una serie de aforos directos realizados en 1990 y 1991 en dicho canal (Cuadro nº 31).

| CUADRO N° 30 | UBICACION DEL PUNTO DE CONTROL | FECHA/CAUDAL (l/s) | | | | |
|-----------------|---|----------------------|--------|---------|---------|---------|
| | | 7-2-90 | 9-2-90 | 15-2-90 | 10-6-90 | 26-6-91 |
| | 400 m. AGUAS ARRIBA DE LA ESCALA E-3 | 73 | | 101 | 16 | 21 |
| | 200 m. AGUAS ARRIBA DE LA ESCALA E-3 | 57 | 82 | | 16 | |
| | ESCALA E-3 | 44 | 68 | 72 | 13 | 16 |
| | 200 m. AGUAS ABAJO DE LA ESCALA E-3 | 30 | 48 | 52 | 9 | |
| | 400 m. AGUAS ABAJO DE LA ESCALA E-3 | 24 | 37 | 41 | 13 | 12 |
| | 700 m. AGUAS ABAJO DE LA ESCALA E-3 | | 3 | 11 | | |
| | ESCALA E-4 | 2 | | 6 | 8 | 2 |

CUADRO N° 31 CAUDALES DE ALIMENTACION MAXIMOS, MINIMOS
Y MEDIOS. CANAL DE GALLINERO Y Balsa B

| MES | N° DIAS CON CIRCULACION | | CAUDAL MAXIMO (l/s) | | • CAUDAL MINIMO (l/s) | | CAUDAL MEDIO (l/s) | |
|-----|----------------------------|------|------------------------|------|--------------------------|------|-----------------------|------|
| | 1987 | 1988 | 1987 | 1988 | 1987 | 1988 | 1987 | 1988 |
| ENE | | 22 | | 67 | | 3 | | 41 |
| FEB | 27 | 29 | | 46 | | 12 | | 27 |
| MAR | 27 | 31 | 51 | 53.5 | 23 | 20 | 37 | 38.5 |
| ABR | 26 | 27 | 67 | 61 | 10 | 1.5 | 52 | 22 |
| MAY | 7 | 28 | 78 | 56 | 10 | 7 | 55 | 27 |
| JUN | | 25 | | 31 | | 3 | | 15 |
| JUL | | 24 | | 64 | | 1.5 | | 36 |
| AGO | | 9 | | 34 | | 10 | | 26 |

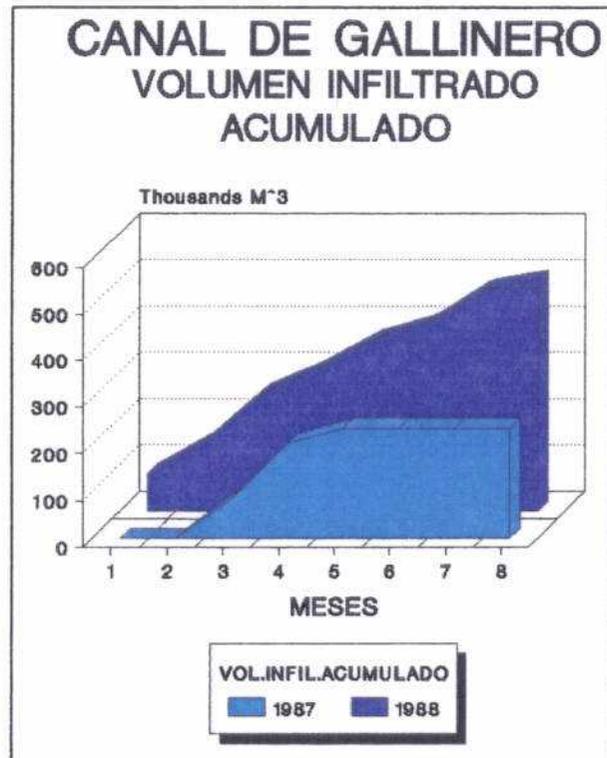
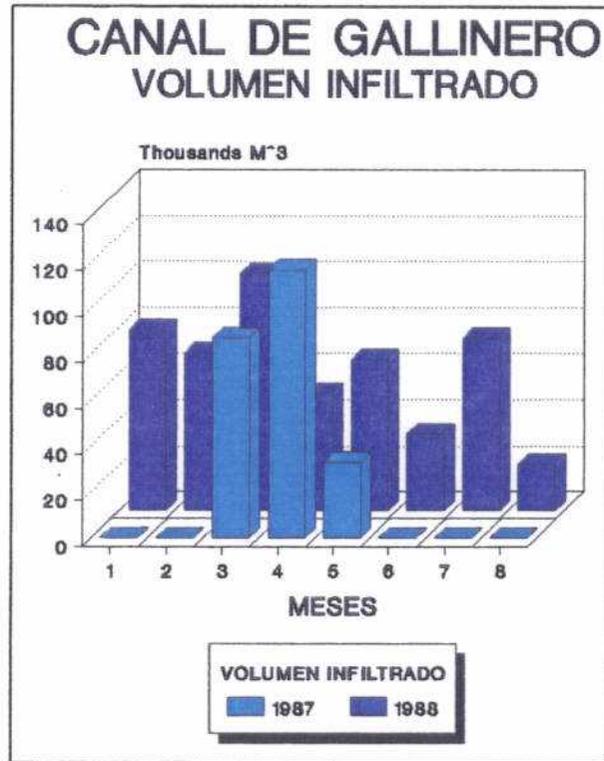
• DISTINTO DE CERO

Dado todo lo expuesto anteriormente, es prácticamente imposible efectuar una evaluación del volumen de agua infiltrado a lo largo de las experiencias en la balsa "B". Quizás únicamente se pueda añadir, que vistos los órdenes de magnitud del caudal de agua, que puede llegar a esta balsa a través exclusivamente del canal de Gallinero, existe una total concordancia con la superficie del fondo de la misma que se encharca, que normalmente no sobrepasa los 4 ó 5 m. desde el punto de entrada de agua a este dispositivo de infiltración. Las máximas extensiones que ha llegado a cubrir la lámina de agua raramente han superado un tercio del total de la superficie de la misma, y en principio corresponderán a las épocas inmediatamente posteriores a una precipitación de una cierta magnitud.

CUADRO
Nº 32

CANAL
DE
GALLINERO
Y
BALSA B

| MES | VOLUMEN TOTAL INFILTRADO (m ³) | |
|---------|--|----------|
| | 1987 | 1988 |
| ENERO | | 78569.6 |
| FEBRERO | | 68566.1 |
| MARZO | 87247.4 | 103263.4 |
| ABRIL | 116708.6 | 51030.4 |
| MAYO | 33215.4 | 65716.1 |
| JUNIO | | 33376.4 |
| JULIO | | 74909.9 |
| AGOSTO | | 20324.1 |
| TOTAL | 237171.5 | 495756.0 |



Ahora bien, lo que si es posible estimar es el volumen total mínimo de agua que se ha infiltrado tanto en el tramo E3-E4 como en la balsa B. (Cuadro n° 32 y figura n° 19).

Como se puede apreciar en el Cuadro n° 31, en el que se muestran, mes a mes, las cifras más características relativas a los caudales que han circulado por el punto de control E4; el caudal máximo fue de 78 l/s y se registró el día 1 de mayo de 1987; evaluándose los caudales medios en 45,6 l/s para 1987 y en 29 l/s para 1988.

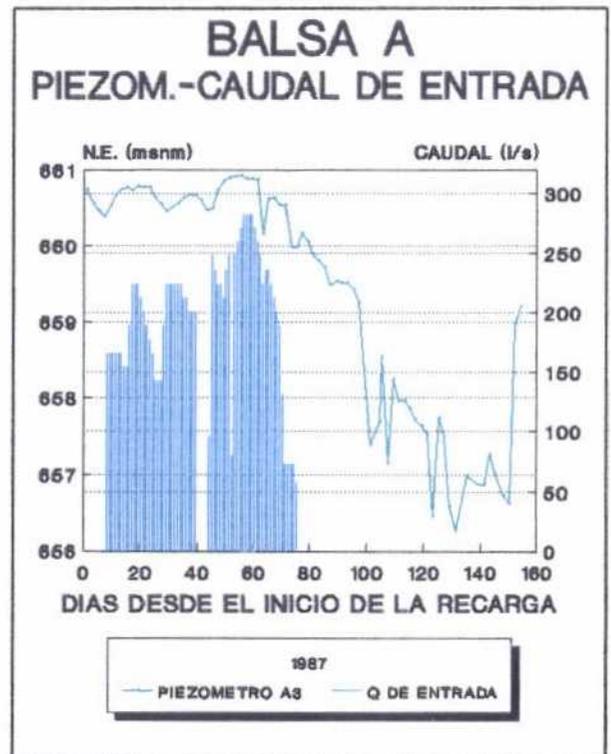
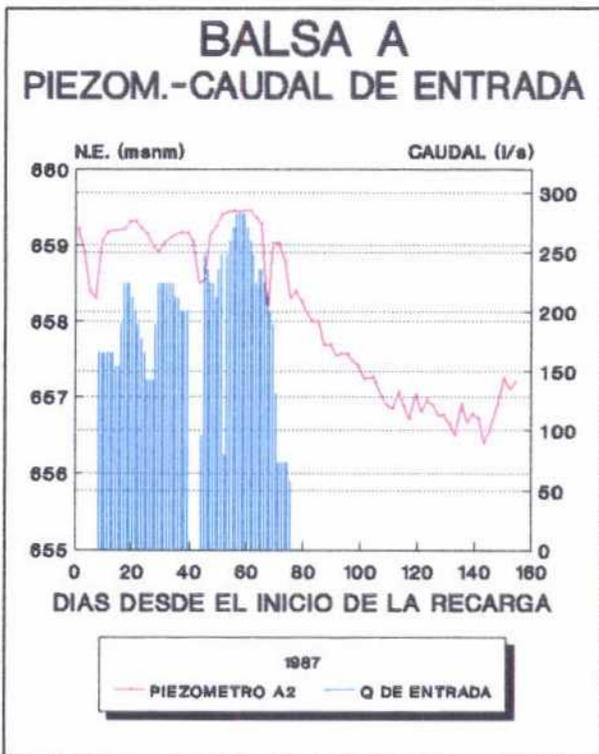
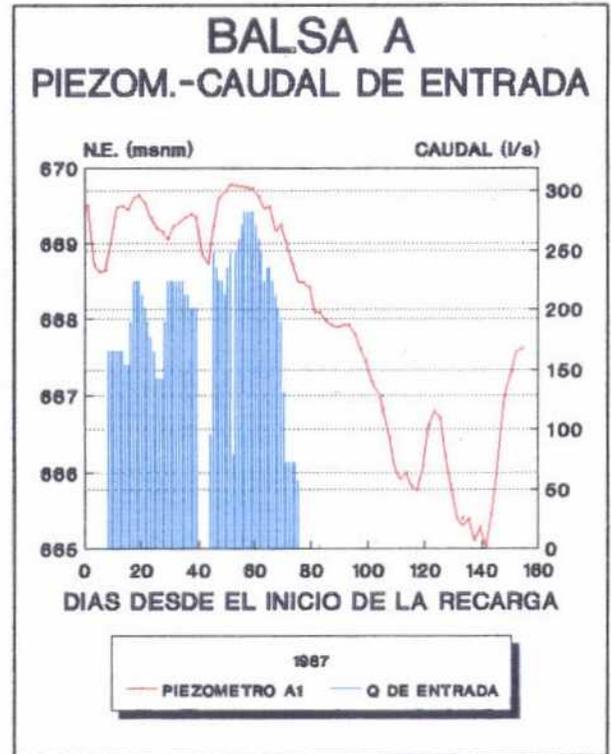
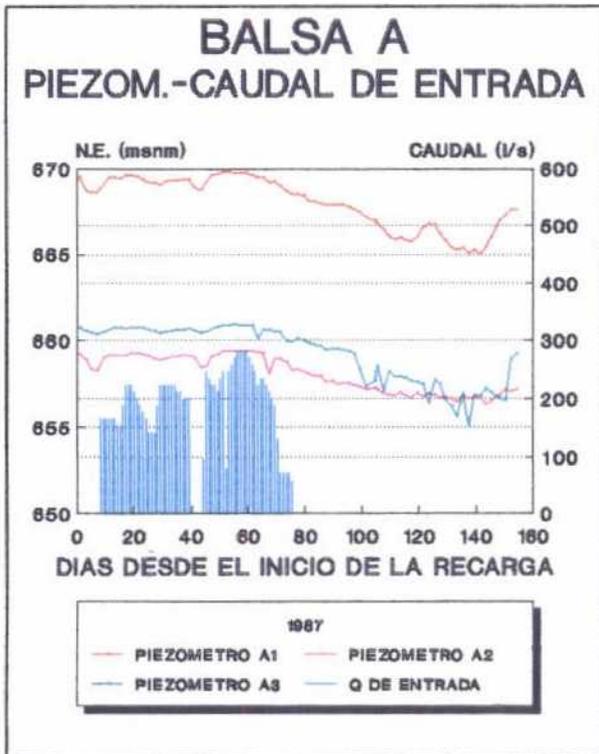
6.4.- Evaluación de los volúmenes infiltrados en las balsas de recarga.

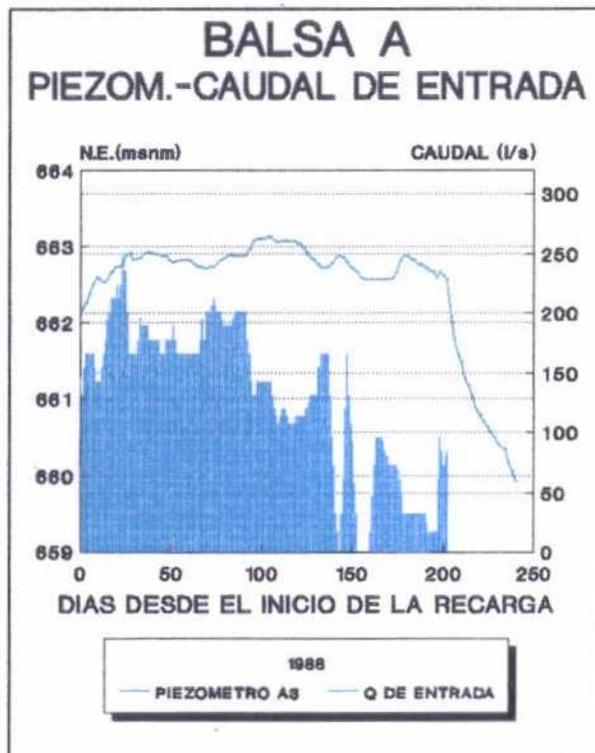
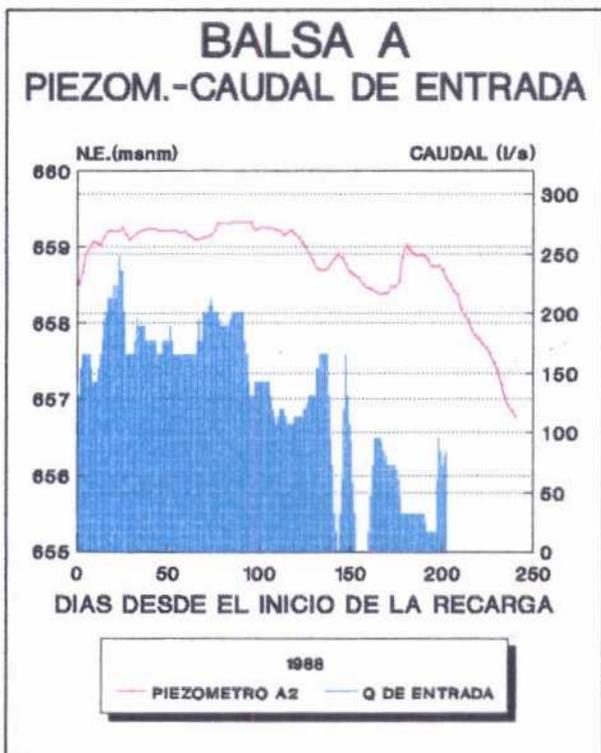
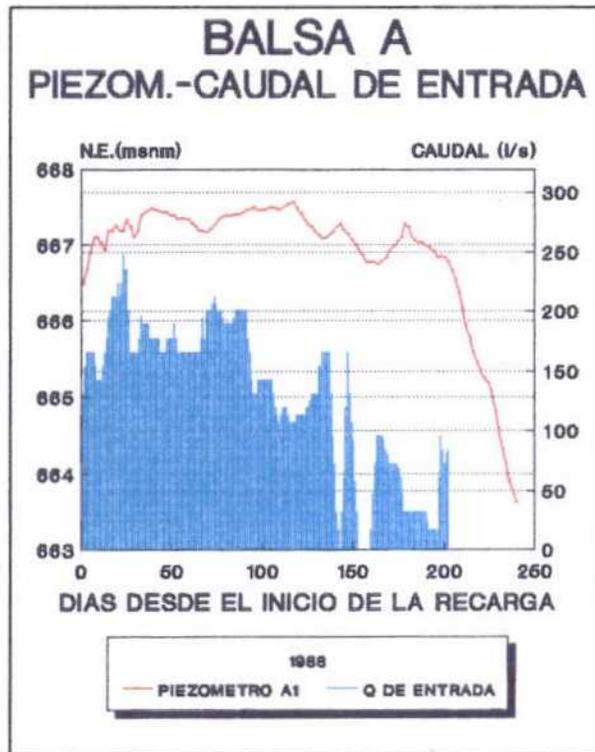
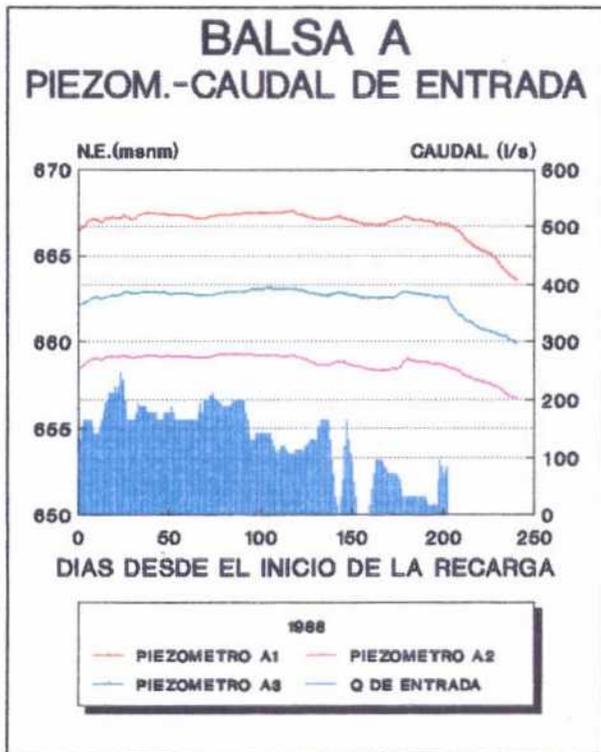
6.4.1.- Balsa "A".

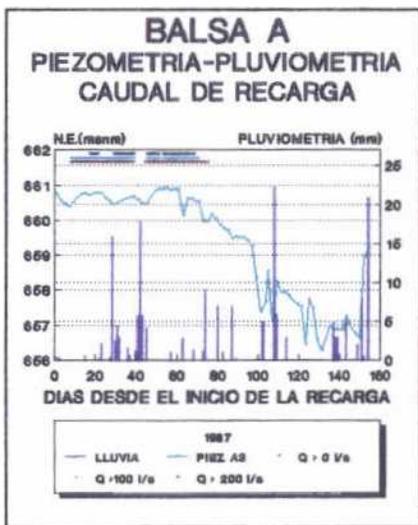
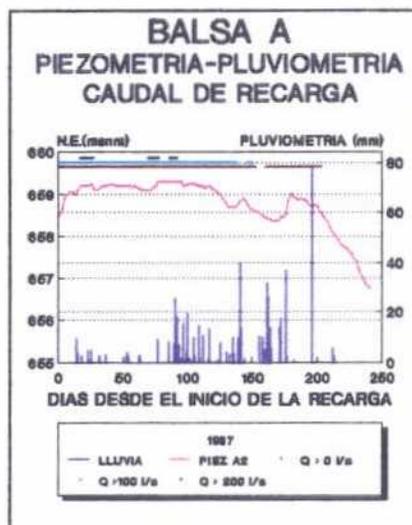
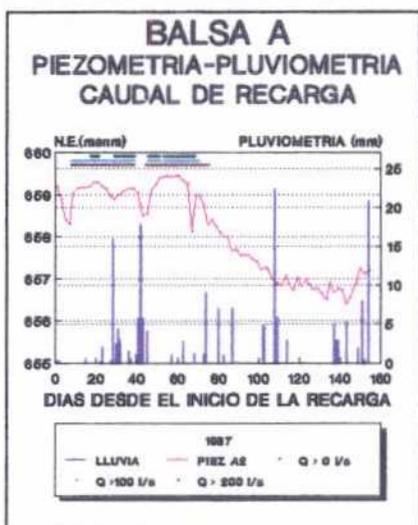
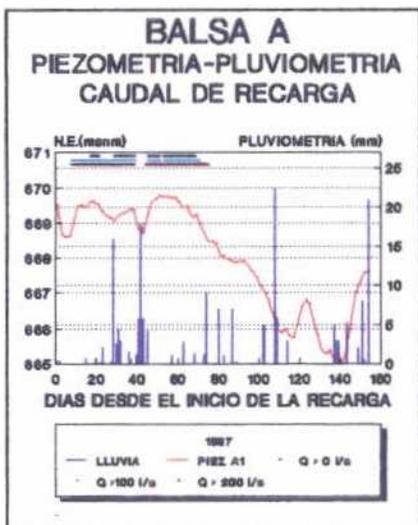
Como se ha comentado en el apartado titulado "Red piezométrica específica de recarga", el control de esta balsa se ha realizado mediante tres piezómetros denominados A1, A2 y A3 a distancias respectivas de 100, 750 y 500 metros de este dispositivo de recarga. Los piezómetros A2 y A3 se encuentran localizados aguas abajo de la balsa, mientras que el A1 se ubica aguas arriba de la misma, y también del canal de La Resaca del que le separan escasamente 25 m.

En las figuras n° 20, 21 y n° 22 se han representado, tanto para la recarga efectuada en 1987 como en 1988, diferentes gráficos en los que se relacionan la evolución piezométrica con el caudal de entrada y con la pluviometría.

Días antes de comenzar la experiencia correspondiente al primer año se puede observar que los tres puntos de control tenían un nivel alto, posible resultado de las pruebas previas que se habían realizado los días anteriores. Después el agua estuvo sin entrar en la balsa hasta el séptimo día desde el inicio del control; descendiendo el nivel







apreciablemente (0,86 m para el piezómetro A1, 0,92 m para el A2 y 0,37 m para el A3). El día 5 de marzo dio comienzo la recarga de una forma continuada con un caudal de entrada de 166 l/s, apreciándose en día 6 un ascenso importante en el pozo de control A2 (0,75 m), dos días después el nivel piezométrico había ascendido notablemente en todos los puntos de control (0,83 m en A1, 0,86 m en A2 y 0,29 m en A3). Este nivel se mantuvo prácticamente constante con escasas fluctuaciones dependientes del caudal de entrada (cuando este superó los 200 l/s se produjeron pequeños máximos) hasta el día 7 de abril en que se manifestó un mínimo con un descenso brusco de 0,62 m en A1, 0,67 m en A2 y 0,21 m en A3, paralelo a una interrupción en las entradas de agua por obras de acondicionamiento en el canal.

Es de destacar la casi inmediata respuesta, causa-efecto, entre la evolución piezométrica y las entradas de agua a la balsa. Así cuando el día 9 de abril volvió a circular el agua se alcanzaban los mínimos piezométricos, pero al día siguiente la recuperación ya era notable en el punto A1 (0,51 m) situado a 100 metros de la balsa, y dos días después era casi total en los demás puntos. Los máximos piezométricos se alcanzaron entre los días 51 y 60, es decir, entre el 17 de abril y el 25 de abril, correspondiendo con la época de caudales de entrada más altos (283 l/s). El incremento máximo de nivel con respecto al inicial fue de 1,13 m en A1, 1,15 m en A2 y 0,51 m en A3; Ahora bien estos valores no se alcanzaron al unísono sino que existió un cierto desfase entre los mismos (en A1 fue el día 17, en A2 el 21 y en A3 el 25). A partir de estas fechas los caudales de entrada disminuyeron considerablemente hasta anularse el día 13 de mayo. Durante estas mismas fechas también comenzaron los bombeos para los riegos locales que incrementaron aún más los descensos de nivel en el acuífero. Hacia los últimos días de junio y primeros de julio hay una cierta recuperación del nivel estático, que muy probablemente esta

relacionada con la disminución de los bombeos por las lluvias caídas en esas fechas.

En la experiencia de 1988 se observa, al igual que en 1987, un rápido ascenso de los niveles durante los primeros días de la recarga. En los siete primeros días el incremento del nivel piezométrico fue de 1,38 m en A1, 0,50 m en A2 y 0,35 m en A3. Observándose que según avanza la misma este aumento se amortigua paulativamente (0,23 m en A1, 0,25m en A2 y 0,40 m en A3 durante los siguientes veinte días). A partir de esta fecha, y aunque hay oscilaciones en el caudal de entrada, el nivel estático permanece prácticamente constante con algunas pequeñas fluctuaciones hasta el 30 de abril (el día 122 desde el comienzo de la experiencia). Durante el periodo que abarca desde el 1 de mayo al 30 de junio el análisis resulta complicado, ya que a una disminución del caudal de entrada en el dispositivo de recarga se le une el comienzo de los bombeos, y una pluviosidad que fue bastante continua en esos meses.

Lo que si resulta espectacular es el importante descenso del nivel de agua en el acuífero, que se produce aproximadamente hacia la mitad de julio, coincidiendo con el cese de la recarga, el aumento de los bombeos para el riego de la patata, y la finalización de un periodo de lluvias.

Los máximos incrementos piezométricos con respecto al nivel inicial fueron de 1,09 m en A1, 0,82 m en A2 y 0,95 m en A3.

Una comparación interanual entre la piezometría de estos puntos muestra, que el punto de control A2 permanece durante los dos años en que se realizaron las experiencias en unas cotas muy semejantes. Mientras que en los puntos de control A1 y A3 aparecen notables discrepancias, (el nivel del agua en el punto A1 presenta aproximadamente 2 m más de

cota en 1987 que en 1988; en cambio en el A3 el nivel piezométrico correspondiente a 1987 se encuentra unos 2 m por debajo del medido en 1988), probablemente debidas a que las medidas se han tomado cada año desde cotas de referencia distintas, lo que da lugar a que los gradientes sean muy dispares entre un año y otro. (Figura nº 23).

En dicha figura se ha representado la evolución del gradiente entre el punto de control más cercano a la balsa y los más alejados, observándose:

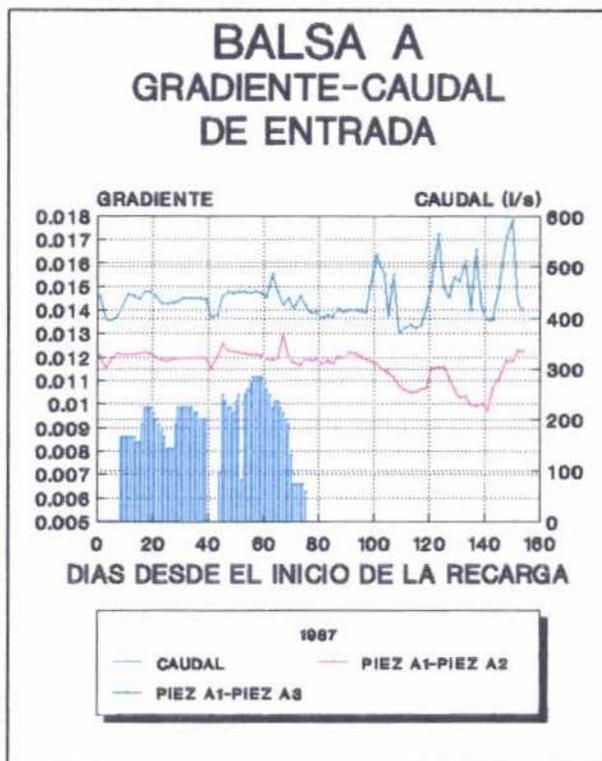
1) El inicio de la recarga da lugar a un aumento rápido del gradiente, probable consecuencia de la inmediata formación del domo de recarga en el entorno del dispositivo de infiltración.

2) Posteriormente, si el caudal de entrada permanece prácticamente constante, este aumento va disminuyendo paulativamente hasta que el gradiente se estabiliza, como consecuencia de la expansión y regularización del domo de recarga.

3) Las disminuciones, tanto bruscas como paulatinas, en el caudal de entrada al dispositivo de recarga, se traducen en disminuciones del gradiente, como consecuencia de que la cresta del domo decrece.

4) Una interrupción en el caudal de entrada, o el cese total de la recarga, dan lugar a una disminución rápida o progresiva del gradiente, como consecuencia de la más o menos lenta desaparición del domo de recarga.

5) Las variaciones experimentadas por el gradiente durante las experiencias de recarga se pueden cuantificar en $\pm 0,0005$.

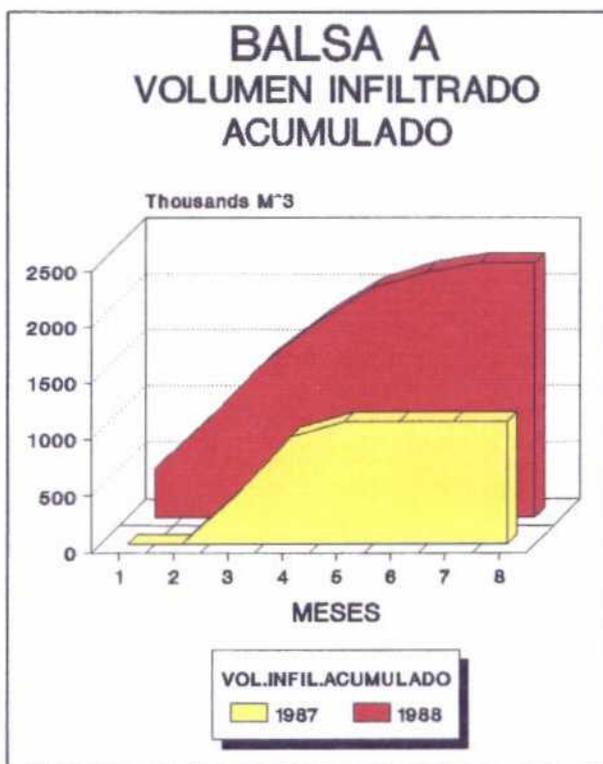
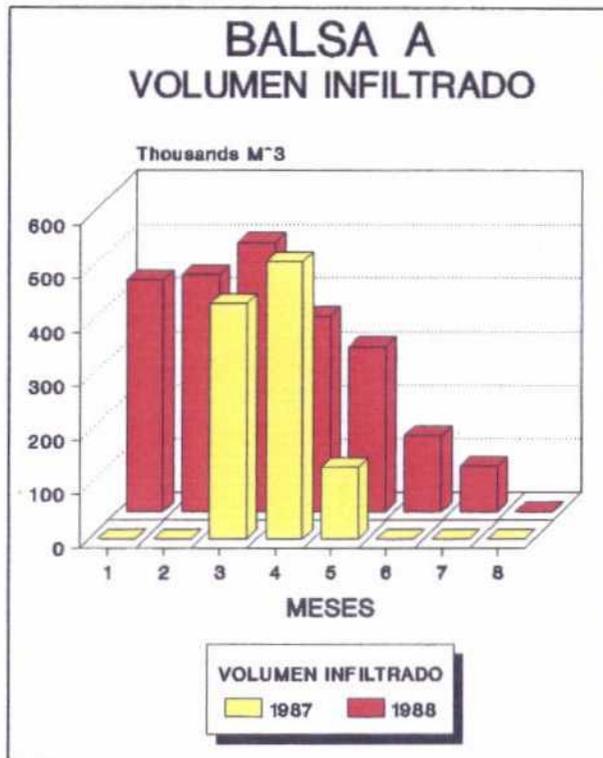


En el Cuadro n° 33 y en la fig. n° 24, se muestran los volúmenes infiltrados mensualmente en la balsa "A". Estimándose el volumen medio diario infiltrado en los meses de enero, febrero, marzo y abril en 16.000 m³/día, y en los de mayo, junio y julio en 8.250 m³/día.

CUADRO
N° 33
BALSA A

| MES | VOLUMEN TOTAL INFILTRADO (m ³) | |
|---------|--|-----------|
| | 1987 | 1988 |
| ENERO | | 429776.7 |
| FEBRERO | | 440311.2 |
| MARZO | 438354.3 | 502230.4 |
| ABRIL | 516505.7 | 363778.7 |
| MAYO | 133230.3 | 307285.4 |
| JUNIO | | 141617.7 |
| JULIO | | 83814.3 |
| AGOSTO | | |
| TOTAL | 1088090.3 | 2268814.4 |

Considerando que en el área donde se encuentra la balsa el coeficiente de almacenamiento es del orden de 0,12, y como dos días después de comenzar la recarga el ascenso de nivel piezométrico fue de 0,83 m en el punto A1, 0,86 m en A2 y 0,29 m en el A3; se puede estimar que la extensión que abarcaba el domo de recarga era de 320.000 m³ presentando una forma alargada hacia la zona de Gallinero (balsa "B").

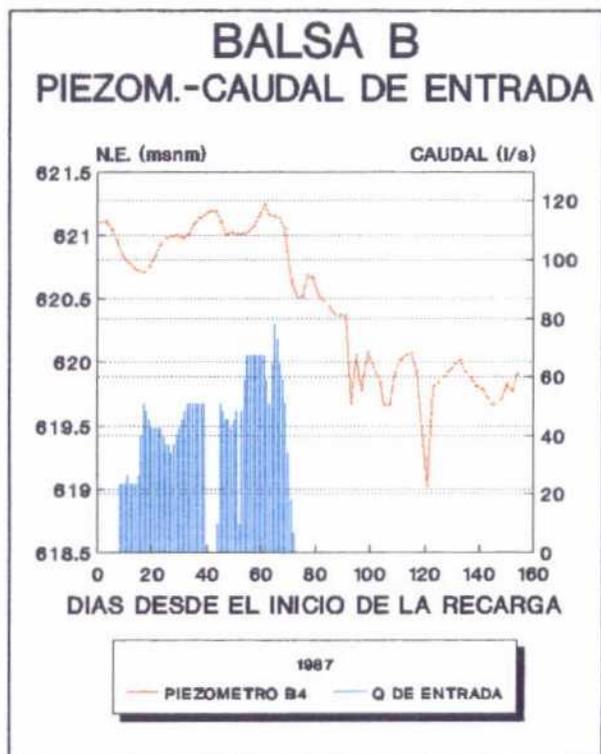
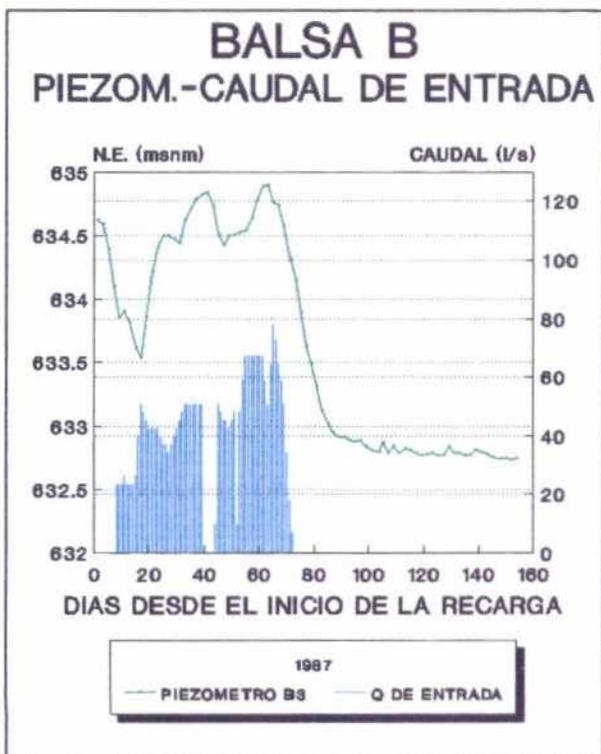
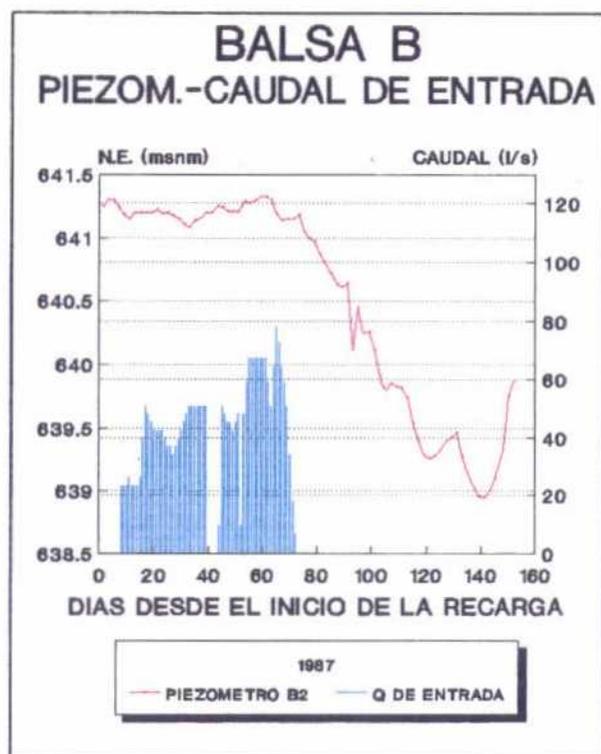
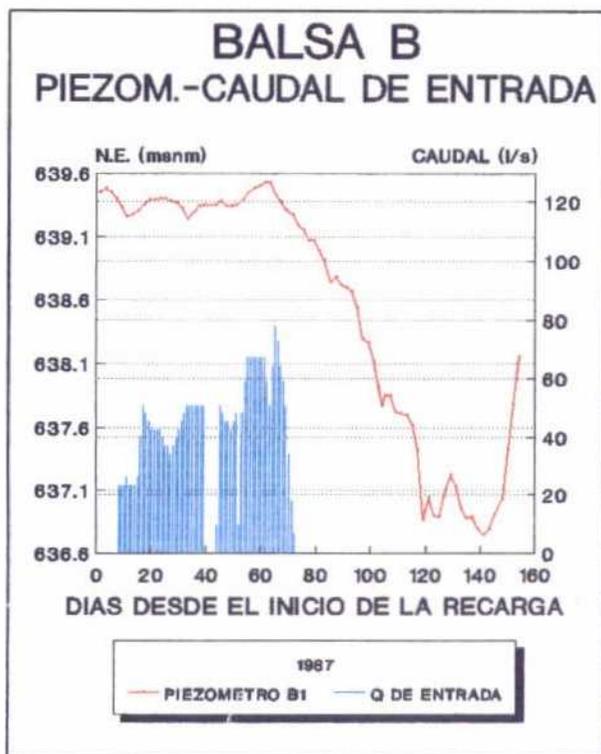


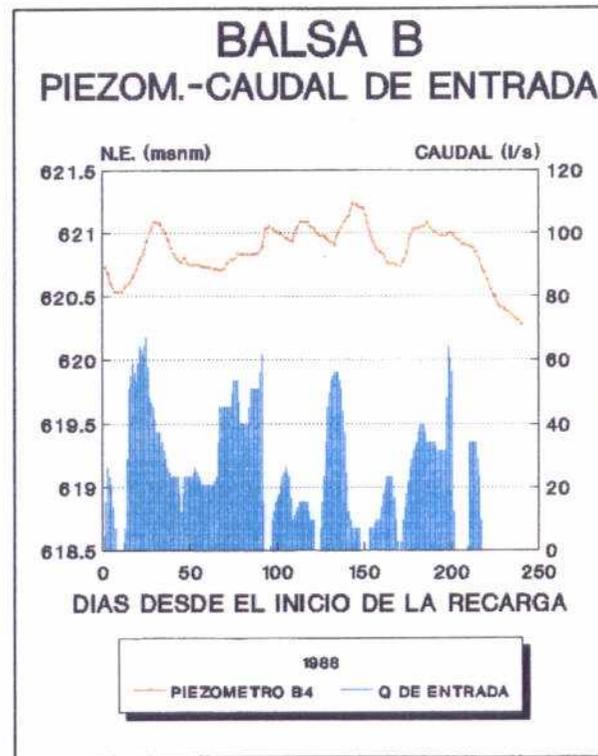
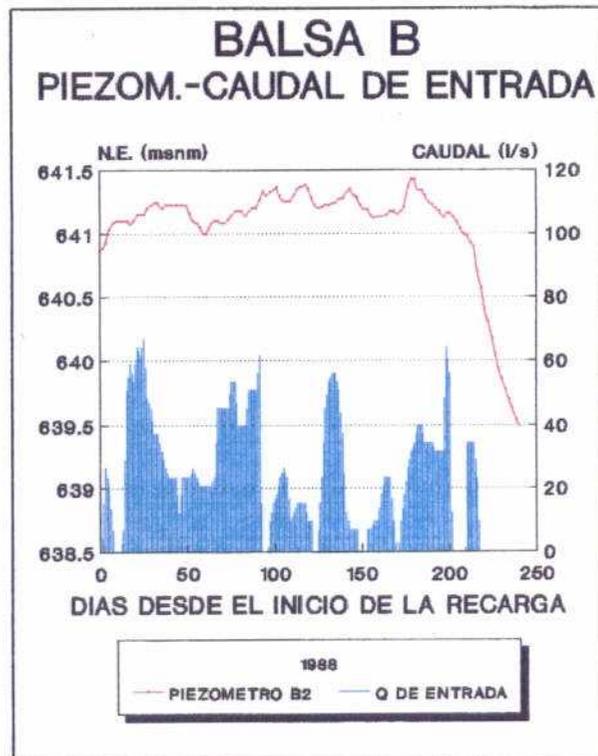
6.4.2.- Balsa "B".

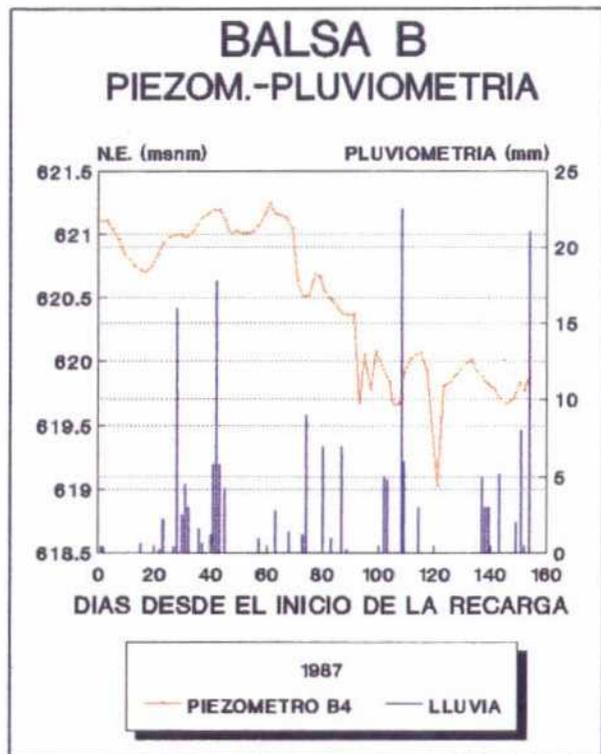
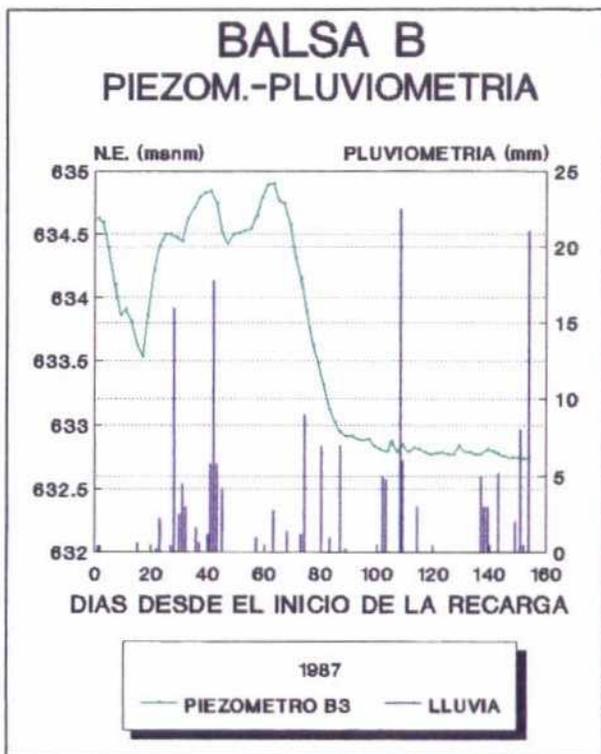
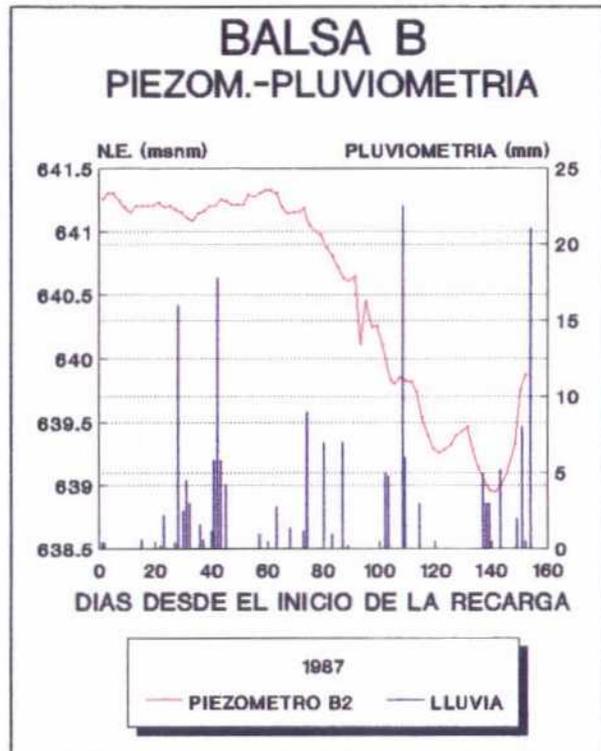
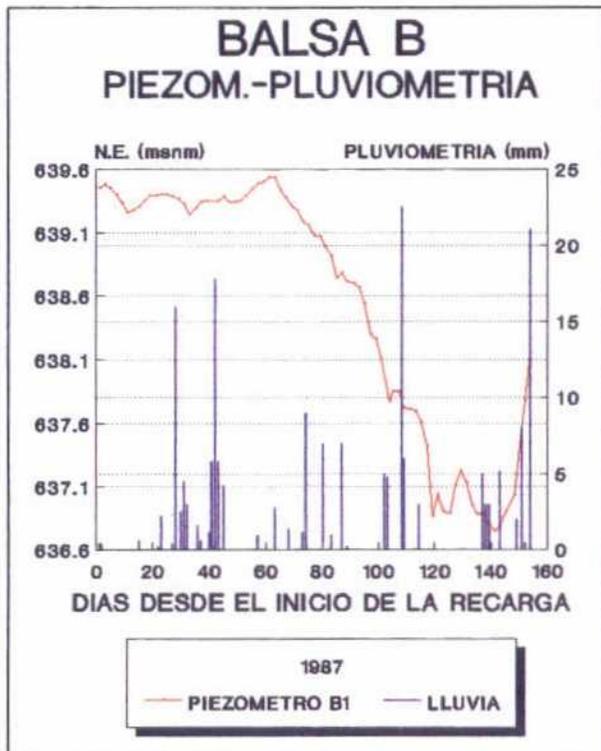
La red específica de piezometría, que se diseñó para controlar este dispositivo de infiltración, estuvo constituida por cuatro puntos de control, que se han denominado B1, B2, B3 y B4. Estos piezómetros se encuentran relativamente alejados de la balsa, 800, 700, 950 y 1.000 metros respectivamente. Los puntos designados por B1 y B2 se ubican al oeste de la balsa, el primero aguas abajo de ésta y el segundo ligeramente aguas arriba de la misma. Mientras que los identificados por B3 y B4 se localizan al este y aguas abajo de dicho dispositivo.

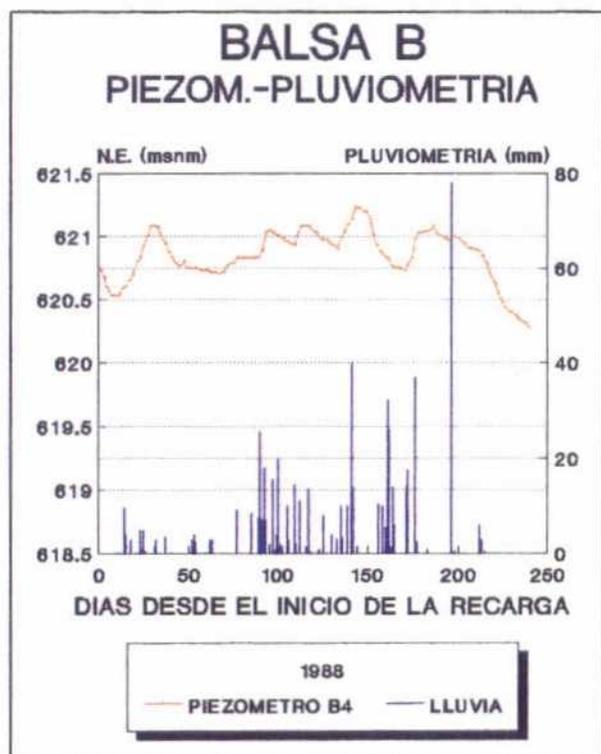
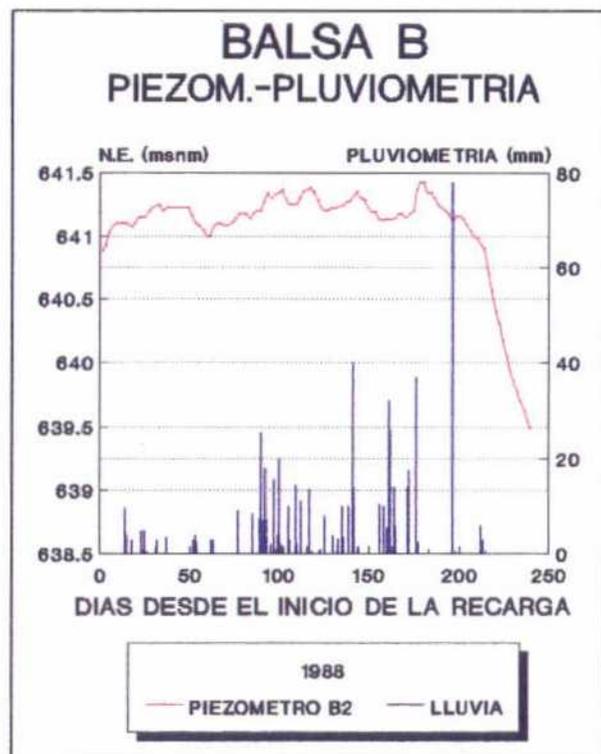
En las figuras nº 25, 26, 27 y 28 se han representado, tanto para la recarga efectuada en 1987 como en 1988, diferentes gráficos en los que se relacionan la evolución piezométrica con la pluviometría, y con el caudal que circula por la escala E3 sita en el canal Santurdejo-Gallinero; ya que como se comentó anteriormente, no ha sido posible determinar el volumen de agua que ha entrado en la balsa "B" (escala E4). Dado que el punto (escala E3), tomado para intentar correlacionar causa-efecto (caudal de entrada-piezometría), se encuentra relativamente alejado de los piezómetros (entre la escala E3 y el punto B4 existe una distancia en línea recta de 2.200 metros), la respuesta obtenida no es tan inmediata como en la balsa "A"; apreciándose un cierto desfase, sobre todo en la experiencia de 1988.

De los cuatro puntos de control empleados para el análisis, tan solo en dos B3 y B4 (los situados al este de la balsa) se detecta claramente el efecto producido por la recarga en la balsa "B" y en el canal de Santurdejo-Gallinero; la respuesta es bastante más neta en B3 que en B4, ya que al estar este último más alejado, aquella queda relativamente más atenuada.







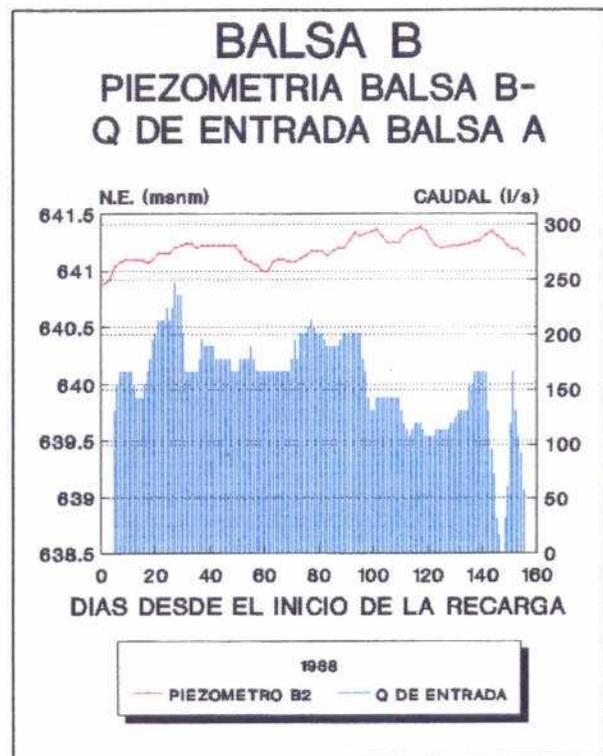
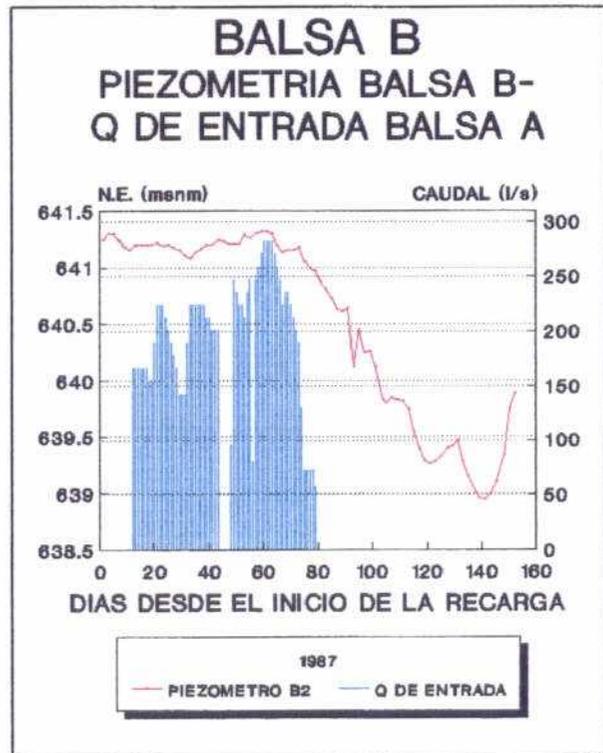
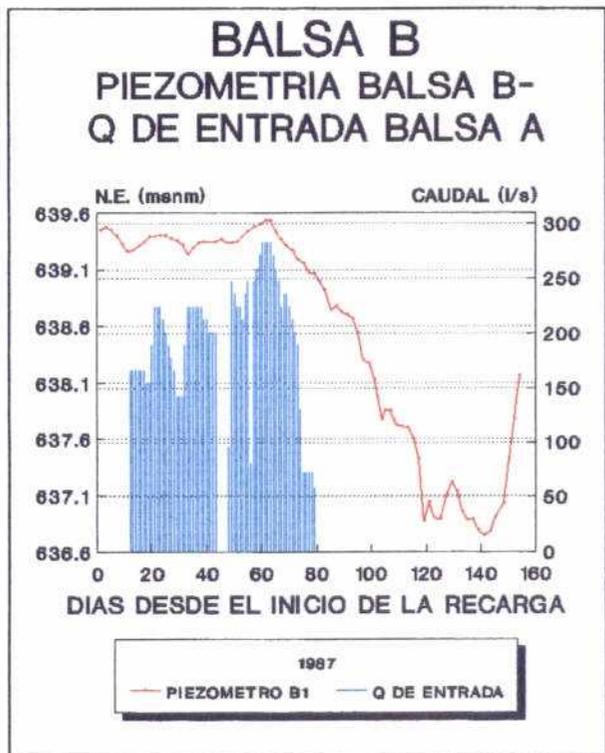


Asimismo, también se puede apreciar, que existen periodos en los que no circulando agua por la escala E3, o siendo esta muy reducida, la respuesta piezométrica es máxima. Dichos periodos corresponden a épocas de lluvia, que como ya se comentó en el epígrafe titulado "Evaluación de los volúmenes infiltrados en el canal de Santurdejo-Gallinero", dan lugar, debido al diseño del canal, a un caudal de entrada en la balsa "B" superior al circulante por E3.

Por lo que respecta a los piezómetros B1 y B2, situados al oeste de la balsa "B", no se detecta que estén demasiado influenciados por la recarga que tiene lugar a través de dicha balsa, y de su correspondiente canal de alimentación-recarga, sino que más bien parecen influenciados (Fig. n° 29) por la infiltración que tiene lugar en la balsa "A"; aunque con un cierto desfase, que se ha estimado en cinco días. Por otro lado, el canal de la Piscina también debe ejercer influjo sobre el punto de control B2, ya que está situado a escasamente cinco metros del mismo. Consiguientemente, en dicho punto, es posible, que se produzca una solapación de los efectos de recarga correspondientes a varios de los dispositivos.

6.4.3.- Balsa "C".

Los puntos de control piezométrico de este dispositivo de infiltración son los designados como C1, C2, C3 y C4, situados respectivamente a 200, 250, 750 y 950 metros de la balsa de recarga. El punto C1 se localiza aguas arriba de ésta, y a escasa distancia del canal de la Piscina. Mientras que el C3 y C4 se ubican aguas abajo, el primero al oeste del dispositivo y el segundo al este. El piezómetro C2 se encuentra sito casi sobre la vertical de la balsa al oeste de la misma.



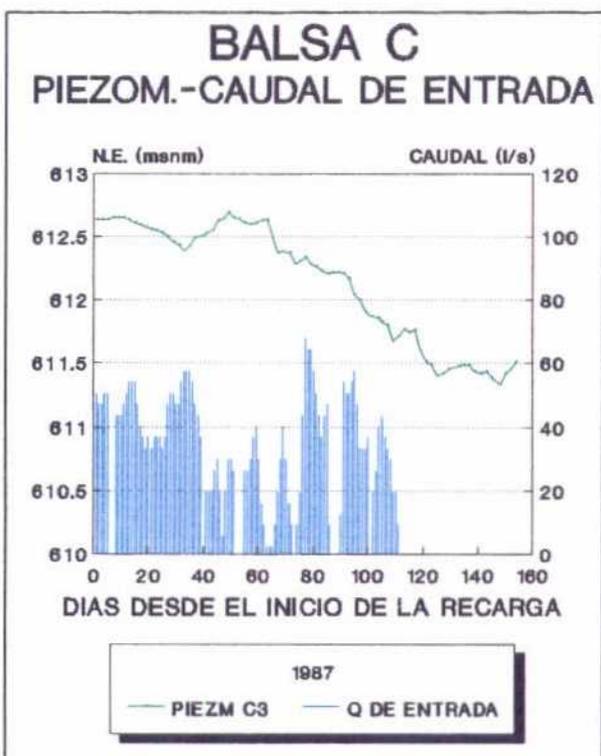
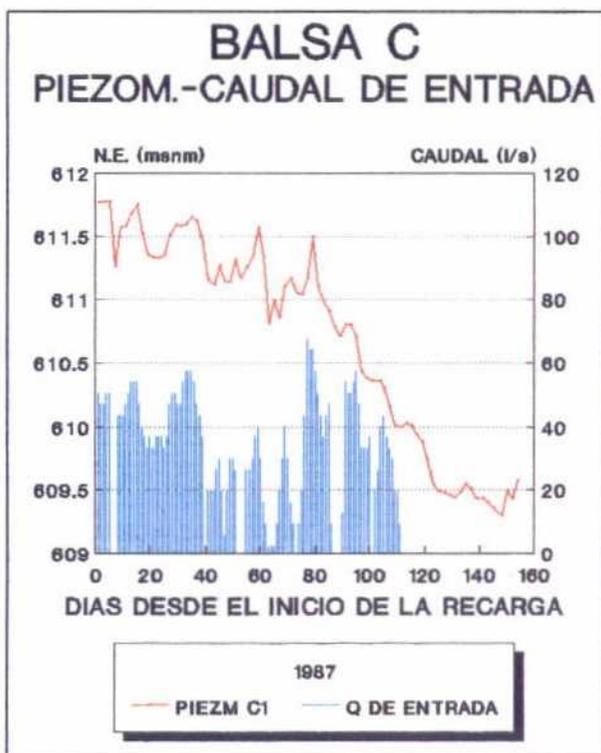
Durante la experiencia de 1987, las entradas de agua, al dispositivo de recarga, se comenzaron a controlar con posterioridad a la puesta en funcionamiento del mismo, por lo que lamentablemente no se conoce la situación inmediatamente anterior a la recarga.

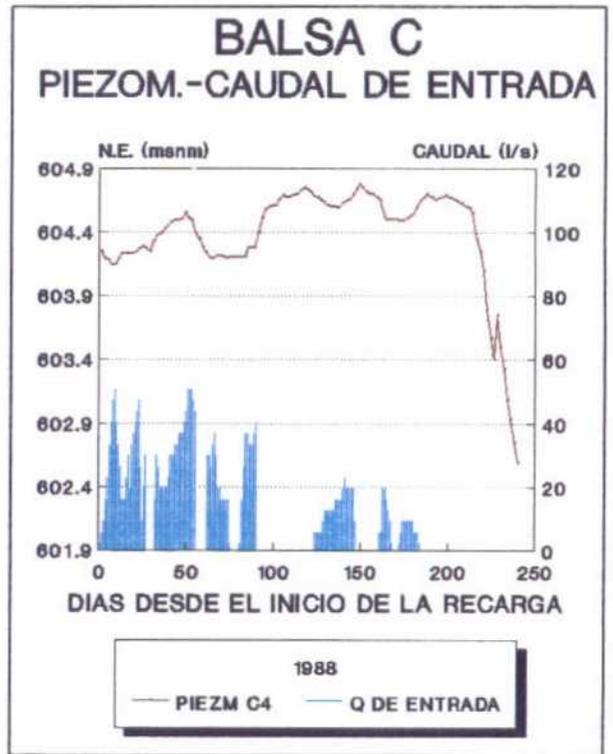
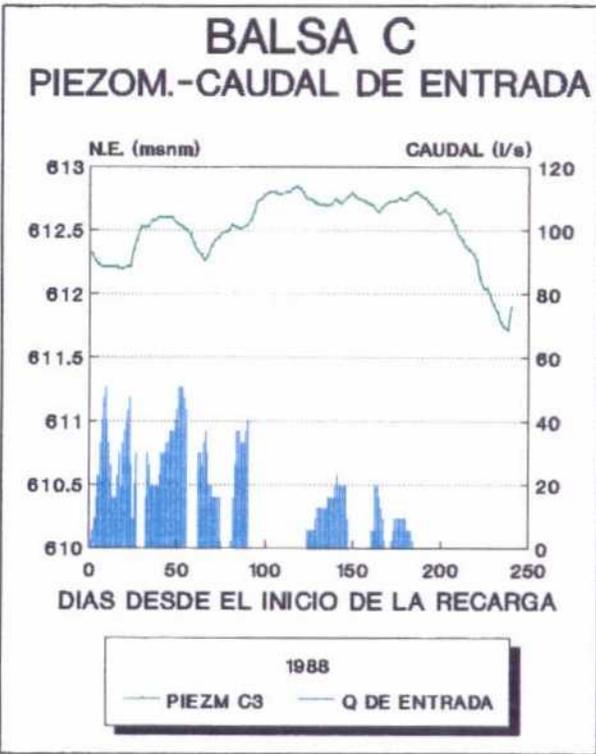
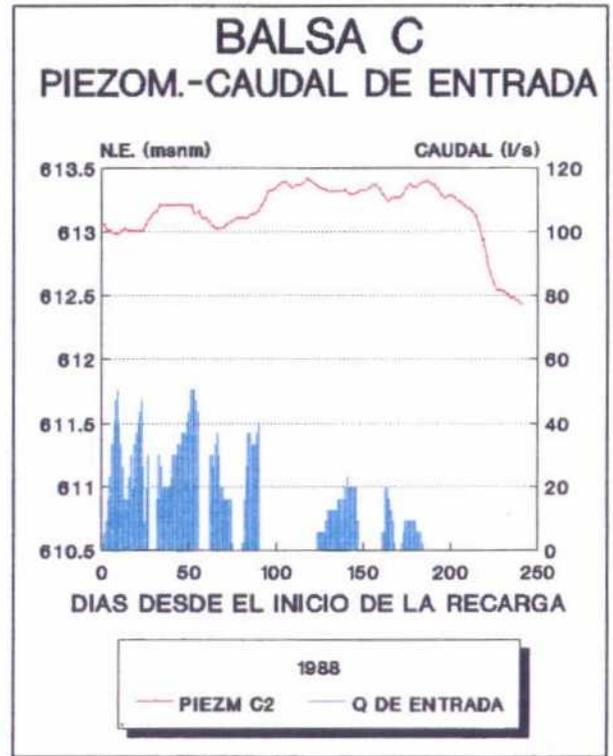
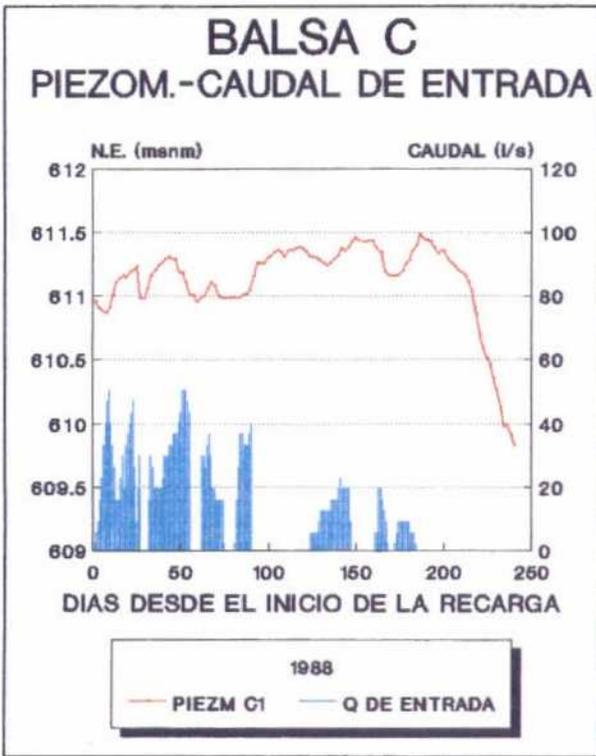
De la observación de los gráficos de control piezométrico (Figuras n° 30, 31, 32 y 33), se desprende que los pozos C2 y C3 no aparecen influenciados por la recarga, mientras que en el C1 y en el C4 si se nota una clara relación entre el caudal de entrada a la balsa y la respuesta piezométrica; detectándose aumentos en el nivel del agua cuando el caudal aumenta, y descensos más o menos acusados cuando este desciende, o se interrumpe la entrada de agua.

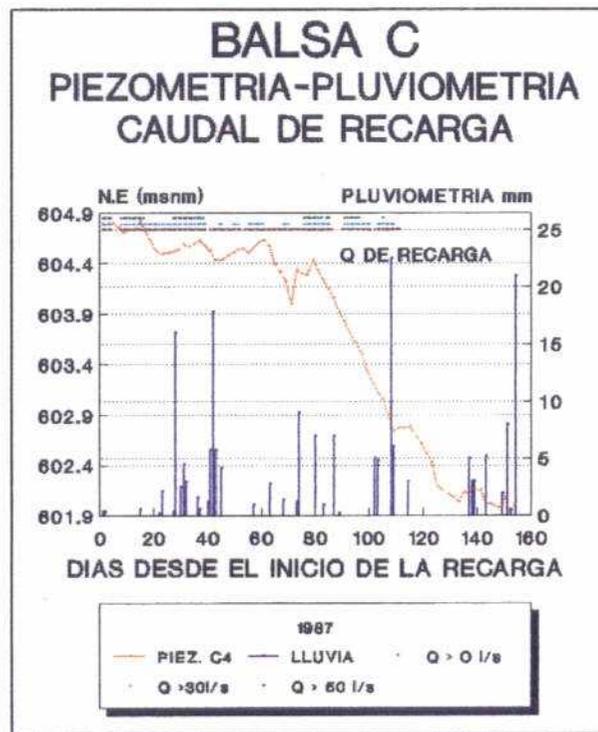
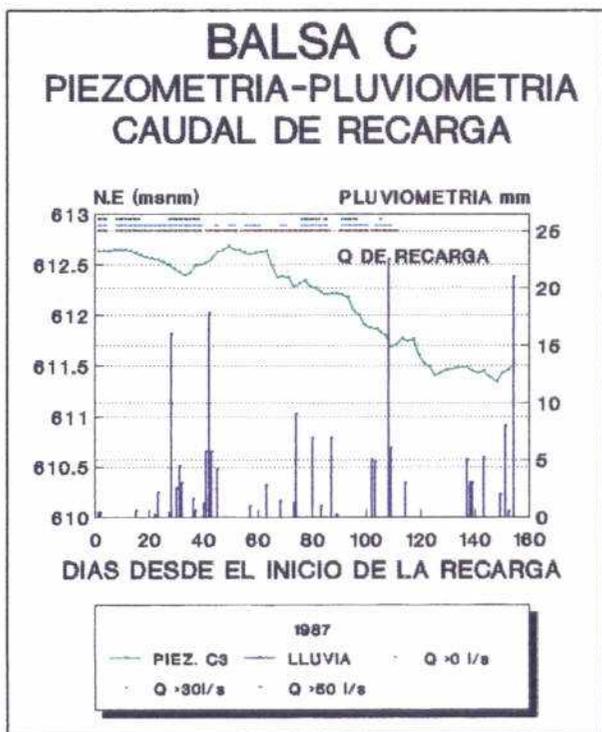
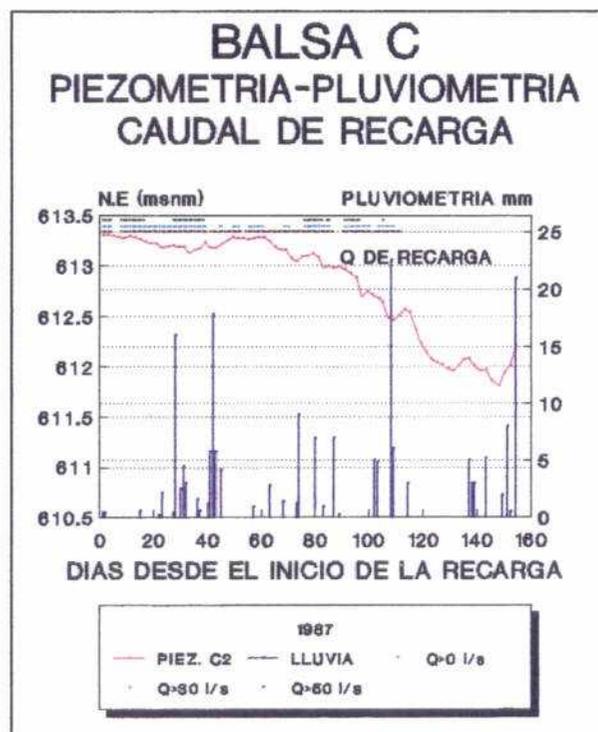
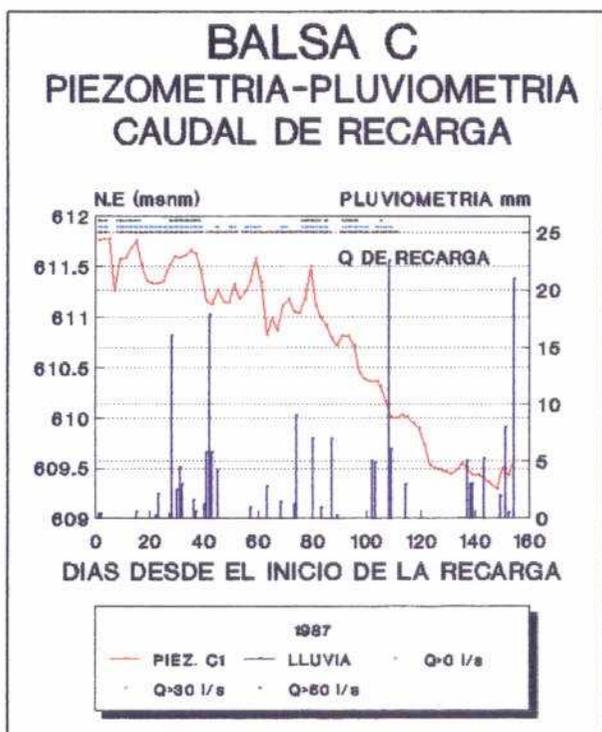
Estas manifestaciones son muy netas durante los primeros meses de la recarga, tanto para la experiencia de 1987 como para la de 1988; ya que durante este periodo el acuífero no se ve influenciado por los bombeos. Hecho este, que si sucede a partir de finales de abril o principio de mayo.

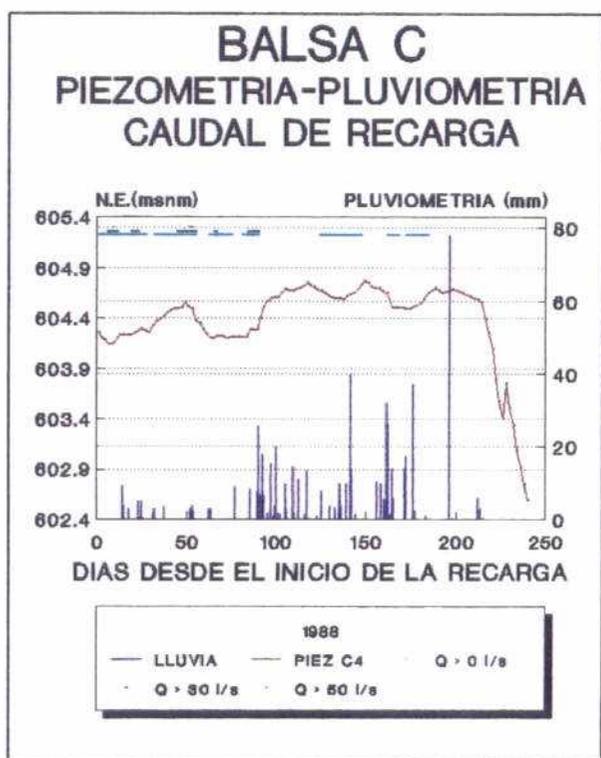
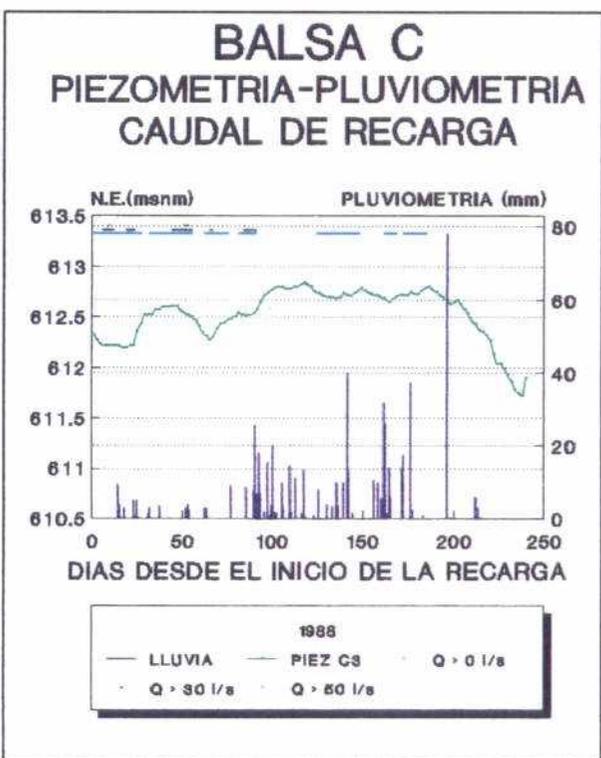
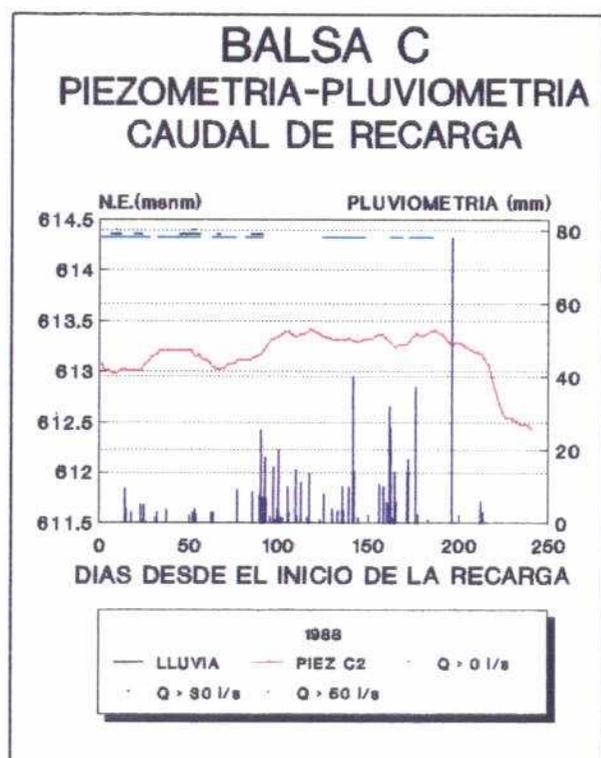
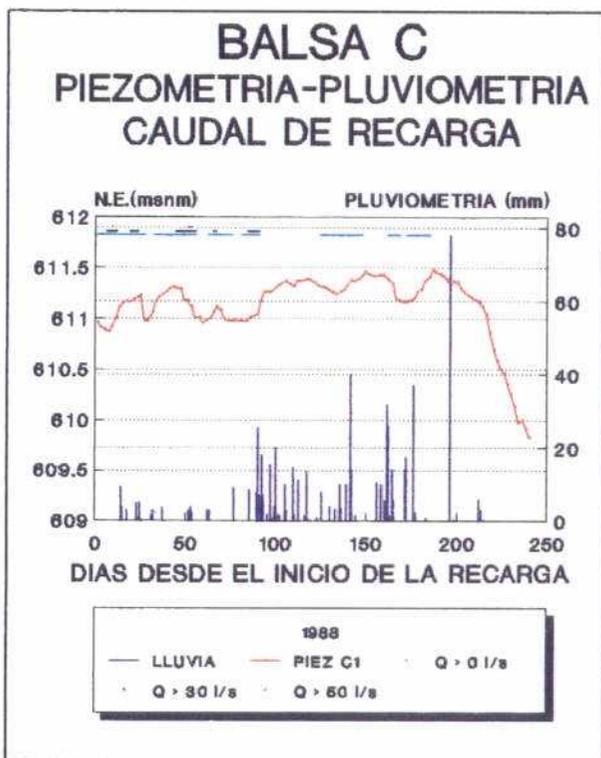
Los caudales de entrada al dispositivo de infiltración son bastantes reducidos, menores de 60 l/s en la prueba de 1987, y normalmente inferiores a 40 l/s en la de 1988, lo que se traduce en incrementos muy pequeños del nivel piezométrico. Asimismo, cuando empieza la época de los bombeos el nivel desciende muy rápidamente, aunque se esté realizando recarga artificial, esto es debido, a que el caudal que se está infiltrando, tan solo es equivalente al caudal de extracción de 2 ó 3 pozos; dicha zona es una de las más explotadas del acuífero pudiendo existir en la misma del orden de 100 captaciones.

Los gráficos de piezometría, correspondientes a 1987, muestran un descenso progresivo de niveles a pesar de la









recarga artificial. Ello es consecuencia de la importante nevada que tuvo lugar en la última semana de enero de 1987, con un deshielo muy lento, que probablemente produjo una infiltración muy elevada en acuífero, registrándose en un gran número de piezómetros de la red general de control máximos históricos. Evidentemente, el reducido caudal de entrada a la balsa "C", no pudo evitar un lento descenso de estos niveles al producirse el drenaje paulatino del acuífero a través de los puntos de descarga. Este descenso también es apreciable en los piezómetros C2 y C3, aunque en los mismos no se notan como en C1 y C4 los picos provocados por el efecto de la recarga artificial. En los piezómetros correspondientes a la balsa "A" no se detectan estos descensos, ya que el caudal de entrada a la misma es muy superior al de la balsa "C", lo que permite, aunque tenga lugar un cierto drenaje, que se mantenga más o menos constante, en la zona de influencia de esta balsa, el nivel piezométrico inicial.

En los gráficos de piezometría correspondientes a 1988 se aprecia, para todos ellos, una mayor estabilidad en los niveles, que se prolonga incluso hasta casi finales de julio. El efecto de la recarga es detectable en C1 y C4 hasta el día 75 u 80 (finales de marzo) después de haber comenzado la misma. A partir de ese día, y sin entrar agua en la balsa, salvo algunos días en mayo y junio, el nivel piezométrico aumenta, para permanecer más o menos constante hasta casi el final del periodo de control; ello es debido a las frecuentes lluvias que tuvieron lugar a lo largo de abril, mayo y junio.

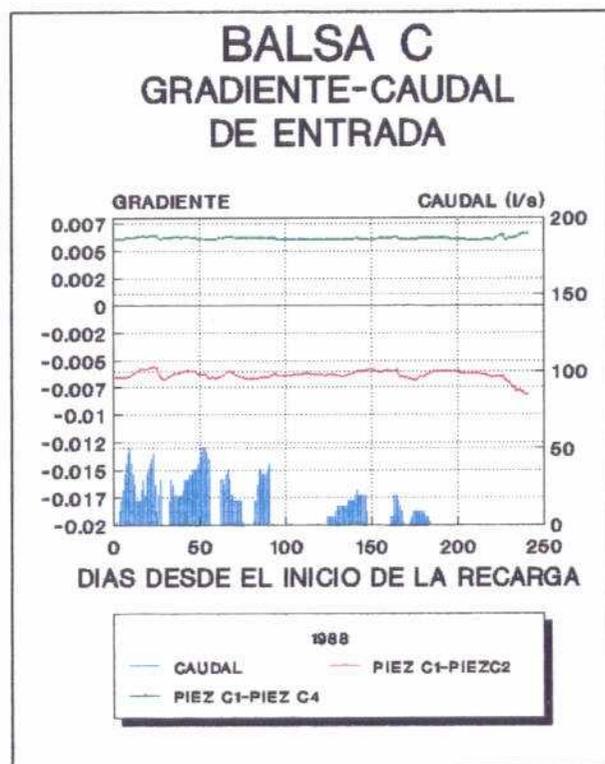
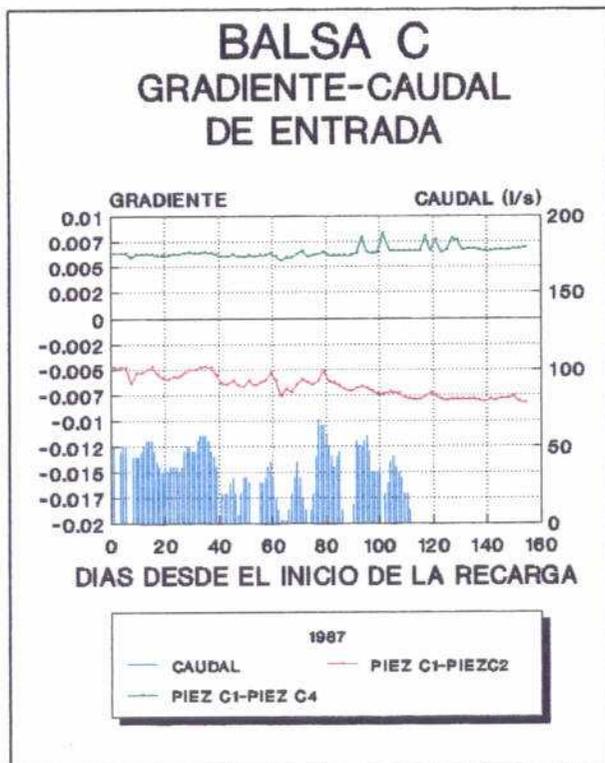
Por otro lado, quizás sea interesante comentar, que las variaciones que tienen lugar en el piezómetro C1 pueden ser más bien debidas a la pérdida de caudal en el canal de la Piscina, que a la cola del domo de recarga que se produce bajo la balsa "C", dado el escaso caudal que se infiltra en

la misma. En la figura nº 34, se ha representado la evolución del gradiente entre el punto de control C1 que es el más cercano a la balsa, y el C2 y C4 que están situados respectivamente al oeste y al este de la balsa.

De la observación de este figura, se desprende, que el agua infiltrada en la balsa "C" parece dirigirse hacia la cuenca del arroyo Zamaca, que está situado al noreste-este de la balsa de recarga, no existiendo circulación de agua hacia el oeste (río Oja), ya que el gradiente entre C1 y C2 es negativo, lo que implica que el agua circula de C2 a C1. Esto concuerda con las conclusiones deducidas de los gráficos piezométricos correspondientes a los puntos de control C2 y C3, en los que no se apreciaba ninguna correlación entre la piezometría de estos puntos, y el aumento o disminución del caudal de entrada a la balsa de recarga.

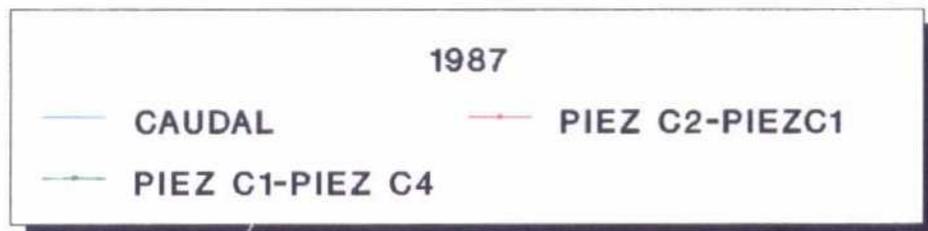
Por otro lado, y dado que el punto de control C2 no está influenciado por la recarga, y la circulación del agua es en el sentido C2-C1; la gráfica del gradiente deducida a partir de C2 y C1 (Fig nº 35 y 36) pone muy claramente de manifiesto las variaciones del domo de recarga, pudiéndose observar muy netamente, que un aumento en el caudal de entrada a la balsa da lugar a una disminución del gradiente existente entre C2 y C1, y una disminución de este caudal a un aumento de dicho gradiente. Asimismo las interrupciones en el caudal de entrada dan lugar a aumentos bruscos del gradiente. Por consiguiente, el domo de recarga se comporta como una barrera hidráulica que frena la circulación subterránea oeste-este (hacia la cuenca del Zamaca-Bañares), desplazando la misma hacia el norte-noreste (Castañares de Rioja).

Por el contrario, el comportamiento del gradiente deducido a partir de los puntos C1 y C4 es inverso, es decir, a aumentos en el caudal de entrada corresponden incrementos



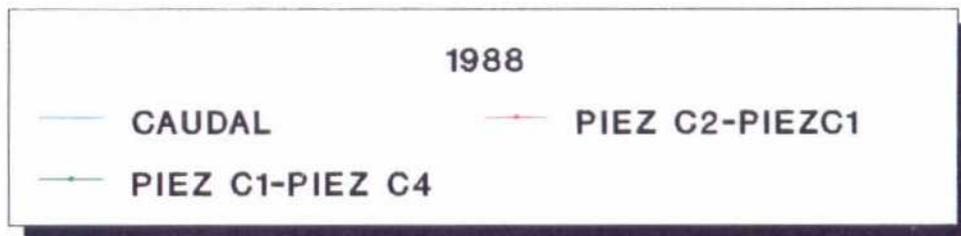
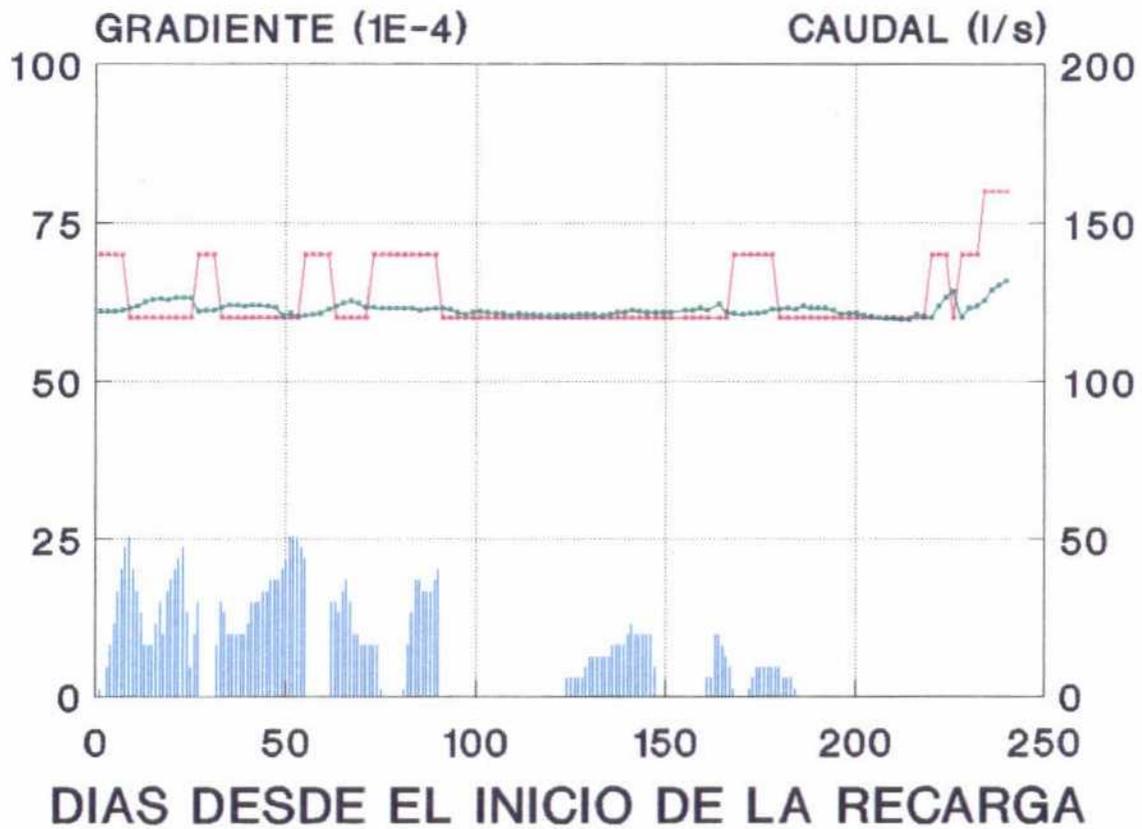
BALSA C

GRADIENTE-CAUDAL DE ENTRADA



BALSA C

GRADIENTE-CAUDAL DE ENTRADA

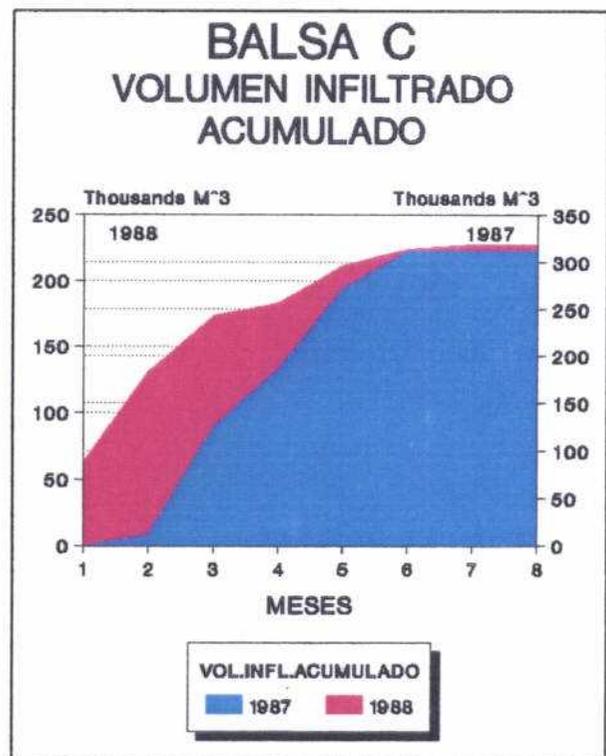
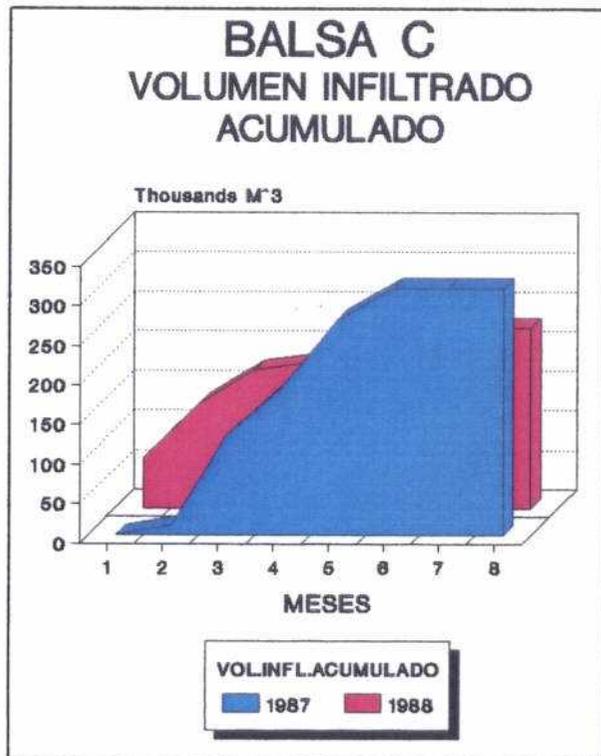
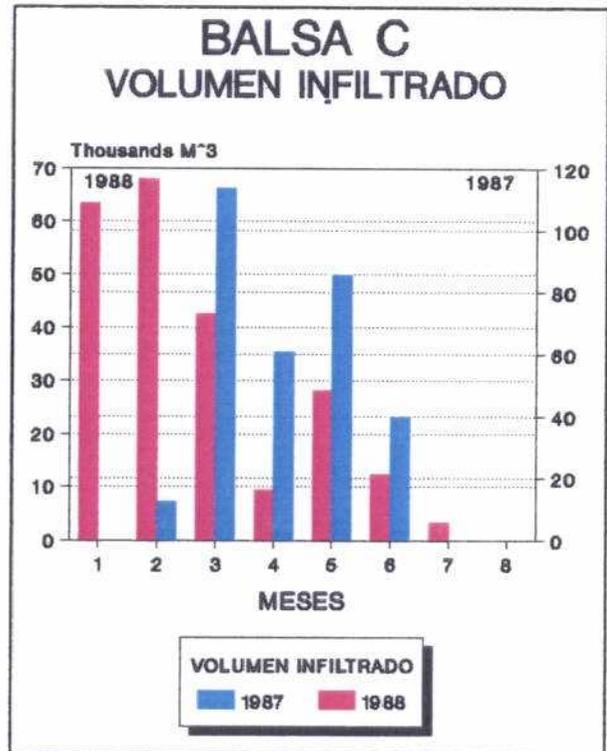
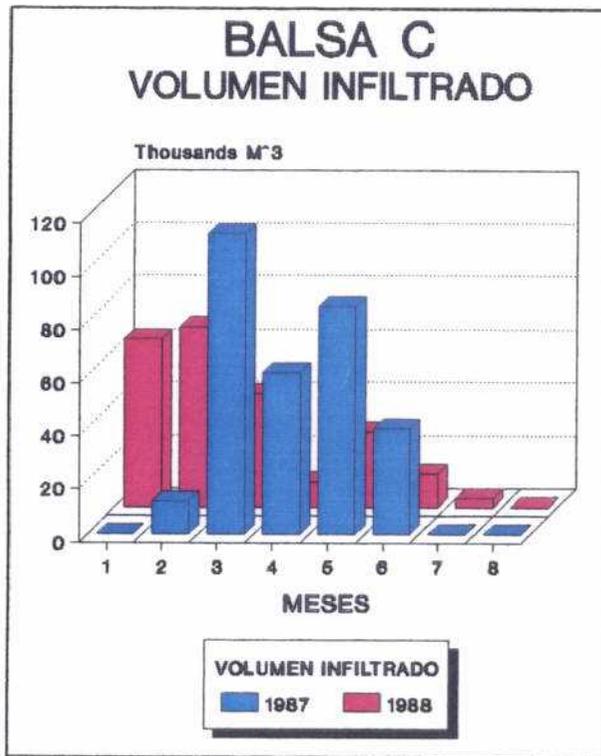


positivos del gradiente, y a disminuciones en el primero, reducciones en el segundo.

En el Cuadro n° 34 y en la figura n° 37 se muestran los volúmenes infiltrados mensualmente en la balsa "C".

CUADRO
N° 34
BALSA C

| MES | VOLUMEN TOTAL INFILTRADO (m ³) | |
|---------|--|----------|
| | 1987 | 1988 |
| ENERO | | 62911.1 |
| FEBRERO | 12805.1 | 67880.6 |
| MARZO | 113255.5 | 42562.4 |
| ABRIL | 60825.6 | 9527.8 |
| MAYO | 85750.5 | 28255.8 |
| JUNIO | 39892.9 | 12483.3 |
| JULIO | | 3265.3 |
| AGOSTO | | |
| TOTAL | 312529.6 | 226886.3 |



7. ENSAYOS CON TRAZADORES.

Para complementar el primer análisis efectuado en base a los controles anteriormente expuestos, y así poder determinar, y conocer con precisión otra serie de parámetros de primordial importancia para una evaluación más detallada de los resultados producidos por los dispositivos de recarga, se planteó como totalmente necesario una campaña con trazadores.

Esta se abordó mediante la utilización de un trazador químico (ClNa), dado que el contenido en Cl^- del agua subterránea en el entorno de la zona donde se encuentran localizadas las balsas es muy bajo. Además de resultar una solución de bajo coste económico y de fácil manejo, ya que únicamente hay que añadir sal común al agua a la entrada de los dispositivos de recarga. Este trazador también puede considerarse muy adecuado, puesto que es fácilmente soluble en agua, estable química y biológicamente, no altera las propiedades del agua ni del acuífero, no produce contaminación alguna ya que la disolución es muy rápida, y es muy fácil de detectar.

El agua de recarga con la sal común disuelta, al infiltrarse en el acuífero, genera una nube que va aumentando progresivamente a la vez que se va diluyendo, este fenómeno se conoce como difusión; por otra parte, el flujo natural empuja la nube, que recorre un camino originándose una dispersión. Se pueden producir intercambios iónicos del catión en algunas arcillas, y también puede acontecer la fijación de cloruros por los hidrosilicatos (lutitas), esta cloritización consiste en la sustitución de OH^- por Cl^- en las capas intermedias. Dada la baja salinidad de las aguas del acuífero cuaternario del río Oja (mineralización muy débil a ligera 65-500 micromhos/cm) puede despreciarse el efecto de variaciones en el contenido en Cl^- por

transformaciones minerales. No obstante, en las zonas marginales de las terrazas próximas al talud impermeable, si pueden encontrarse aumentos en el contenido de Cl^- por efecto de la disolución de las evaporitas incluidas en las lutitas.

Por lo que se refiere a la cantidad de trazador a añadir, y visto que el contenido en Cl^- del agua del acuífero era bajo, se pretendió crear un frente con un contenido algo mayor, pero no erosivo, para crear así dos fluidos, el natural y el contaminado, de análogas características en cuanto a su permeabilidad intrínseca y su viscosidad dinámica, que evitarán en los cálculos futuros los problemas derivados de reajustes. Los cálculos se realizaron para una nube de 100 x 100 m de superficie y 10 m. de altura, y un contenido en Cl^- de 50 p.p.m. para que fuera fácil de detectar.

La determinación de los cloruros se efectuó por el método de Mohr-Winkler. En este procedimiento se valoran conjuntamente como cloruros, los bromuros y yoduros, pero sus cantidades en las aguas de este acuífero son claramente despreciables o nulas.

El número de ensayos realizados fue de dos: uno en la balsa B y otro en la C, empleándose un total de 1250 Kg de sal común en el primer caso y de 1000 Kg en el segundo. El número de valoraciones de precisión, efectuadas "in situ" ascendió a más de 150.

La red de puntos que se utilizó para el seguimiento del trazador en el acuífero es la indicada en la Fig. nº 38. Dicha red se estableció en función de los pozos existentes en la zona, que están distribuidos según las necesidades de riego de los distintos propietarios, y no según el diseño de

una red de control establecida específicamente para una prueba concreta de estas características.

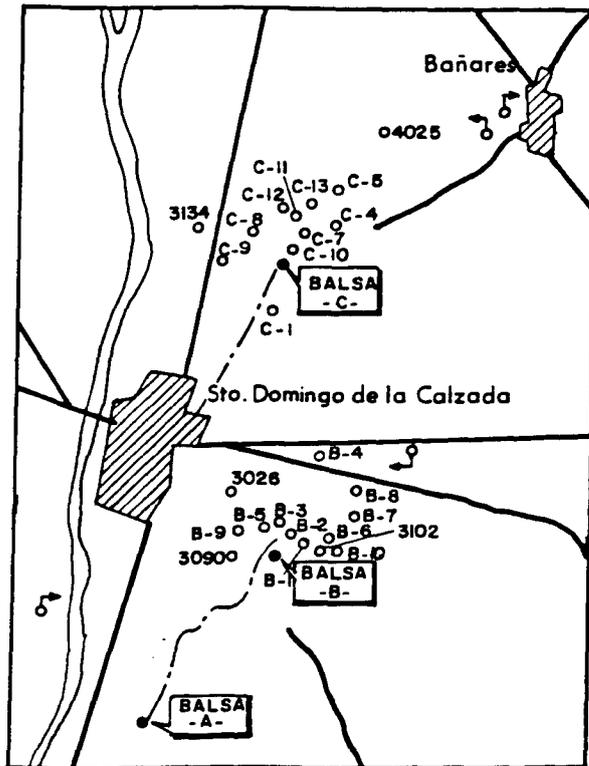


Fig. N° 38

En el ensayo realizado en la balsa B, el paso de la nube únicamente se registró con total fiabilidad en un punto de control (B-1).

Antes de comenzar la prueba, el contenido en Cl^- en dicho punto era de 7'1 mg/l, mientras que a las 40 horas de realizada la inyección se detectaron 65'6 mg/l, registrándose un máximo de 74'5 mg/l a las 49 horas de iniciarse el ensayo.

En el resto de puntos de control no se advirtieron modificaciones, salvo ligeras variaciones en algunos de ellos (B-2, B-5 y B-8), que podrían muy bien incluirse dentro del

margen de error de la valoración analítica, la recogida de muestras o las operaciones realizadas para la adición del trazador.

La distancia existente entre la balsa y el punto en que se detectó el trazador es de 344 metros, por lo que la velocidad real en el acuífero puede ser del orden de 200 m/día. Muy cerca de la balsa de recarga (800 m) el ITGE realizó en 1987 un ensayo de bombeo en el que se obtuvieron valores de transmisividad de 3800 m²/día y coeficiente de almacenamiento de 0'12. Resultados similares a los obtenidos en otros ensayos de bombeo efectuados en la margen derecha del río Oja (Punto 40074 T=2000 m²/día S=0'15, 40067 T=2300 m²/día S=0'11, 3162 T=3000 m²/día y 70004 T=2300 m²/día). Operando con estos órdenes de magnitud del coeficiente de almacenamiento, y como el gradiente medio en la zona donde está ubicada la balsa B es de 0'011, se puede estimar que la permeabilidad en dicha área será aproximadamente de 2200 m/día, valor alto, pero acorde con las litologías observadas (gravas y gravillas limpias; $K > 10^{-2}$ m/s), aunque discordante con la que se obtiene a partir de la transmisividad y del espesor saturado deducidos de las campañas de piezometría, inventario, geofísica y ensayos de bombeo, que puede alcanzar una magnitud hasta de 380 m/día.

Por lo que respecta a la dirección que sigue el agua, y en función de la ubicación del punto de control B-1, esta parece describir una trayectoria clara hacia la pequeña cuenca del Arroyo Zamaca. De acuerdo con la velocidad registrada, el agua infiltrada recorre los 1.600 m. que separan la balsa B del manantial de Sachandreu (antiguo nacimiento del Zamaca) en 8 días y los 4.500 m. del cauce del Zamaca en Bañares (actual nacimiento del Zamaca) en 23 días, cifras que coinciden aproximadamente con lo observado por los agricultores en el campo, y que justificarían el nacimiento del Zamaca durante el tiempo que se recargó en la

balsa B, así como los encharcamientos que se produjeron algo más abajo, y la causa de que al poco tiempo de cesar la recarga dejara de salir agua en estos puntos.

En el ensayo realizado en la balsa C, no se puede afirmar con total precisión, durante las 72 horas que duraron los muestreos, que se detectara el paso de la nube por los puntos de control, aunque en el punto C-7 situado a 173 m. del dispositivo de recarga, pareció apreciarse un pequeño efecto de salinización, el contenido en Cl^- al iniciarse la prueba era de 9'5 mg/l, mientras que a las 24 horas se detectaron 14'2 mg/l, para descender a 10'6 mg/l a las 48 horas de comenzar el ensayo.

Los resultados de esta prueba pueden ser muy dispares según se admita o no que en ese punto se notó la presencia del trazador. En el primer caso, la velocidad real tendrá el mismo valor numérico de la distancia que separa el dispositivo de infiltración del punto de control C-7, y la permeabilidad, como en los alrededores de la balsa C el coeficiente de almacenamiento es de 0'15 y gradiente de 0'14, será de 1860 m/día. Determinación que, como en el caso de la balsa B, no coincide con la deducida de los ensayos de bombeo (200-300 m/día).

En el segundo supuesto, que viene apoyado por el hecho de que en el punto de control C-10, situado entre la balsa y el punto de control C-7, y aproximadamente en la misma dirección determinada por estos, y a una distancia de 125 m. del aparato de recarga, no se detectará variación en el contenido en Cl^- , la velocidad real deberá ser inferior a 40 m/día y la permeabilidad tomar valores inferiores a 425 m/día. Resultados, evidentemente, más acordes con los obtenidos a partir de los ensayos de bombeo.

8. EVOLUCION DE LA TASA DE INFILTRACION.

La tasa de infiltración es uno de los valores que más interesa conocer con referencia a la planificación y construcción de una obra de recarga de tipo superficial, en especial de extensión y balsas; ya que condiciona el tamaño y diseño de las mismas.

Se denomina tasa de infiltración I , o también capacidad de infiltración a: $I=Q/S$. donde Q es el caudal que se infiltra y S la superficie por la que se realiza la infiltración.

CUADRO N° 35

| k, PERMEABILIDAD HORIZONTAL DEL TERRENO SUPERFICIAL (m/día) | I, TASA DE INFILTRACION, m/día | |
|---|--------------------------------|---|
| | MEDIA | VALORES EXTREMOS DEL INTERVALO DE PROBABILIDAD 68% |
| 10 (ARENAS) | 0.25 | 0.1-0.85 |
| 100 (ALUVIONES) | 1.50 | 0.5-4.5 |
| 1000 (ALUVIONES MUY GROSEROS) | 8.30 | 2.8-25 |

En general, resulta muy difícil predecir "a priori" su valor, así como su evolución con el tiempo, que esencialmente dependerá de las características del agua de recarga, y del grado y progresión de la colmatación que se produzca. Sin embargo, a través del inventario de instalaciones de recarga realizado por la Asociación Internacional de Hidrología Científica, es posible, si se conoce la permeabilidad del acuífero, estimar un valor inicial orientativo (Cuadro nº 35) con el que se pueda tantear el tamaño óptimo de las instalaciones.

En los dispositivos de recarga, existentes en el acuífero cuaternario del río Oja, el cálculo de la tasa de infiltración, y su evolución con el tiempo, no se evaluaron hasta 1990 en que se instaló en el centro de las balsas "A" y "B" una escala graduada, que permitió, mediante un detallado levantamiento topográfico de las instalaciones, relacionar la altura de lámina de agua con la capacidad de cada balsa, es decir, determinar el volumen residual embalsado. Asimismo, también se colocaron una serie de referencias visuales (barras metálicas de 1 m. de altura), a lo largo de los dispositivos de recarga, y equidistantes 5 m entre si, con el objetivo de poder cuantificar, en forma rápida, desde el borde de la instalación de infiltración, la superficie máxima mojada en el caso de que el área encharcada no llegara a cubrir toda la extensión de las balsas.

Los resultados obtenidos se exponen en el cuadro nº 36.

CUADRO N° 36

| BALSA A | | | |
|---------|---|------------------------------------|--------------------------------|
| FECHA | ALTURA DE LA LAMINA DE AGUA EN LA Balsa (m) | CAUDAL DE ENTRADA A LA Balsa (l/e) | TASA DE INFILTRACION (m/día) |
| 17-2-90 | 0.69 | 49 | 1.47 |
| 19-2-90 | 0.37 | 41 | 1.44 |
| 20-2-90 | 0.27 | 39 | 1.45 |
| 21-2-90 | 0.14 | 36 | 1.45 |
| 7-5-90 | 0.70 | 42 | 1.15 |
| 10-6-90 | 0.24 | 27 | 0.95 |

Para la balsa "B" únicamente se realizó una determinación el día 6-10-90. El caudal de entrada a la balsa era de 8 l/s y la superficie encharcada de 108 m², por consiguiente la tasa de infiltración era de 6,4 m/día.

Los valores de la tasa de infiltración, en la balsa "A", para los años 1987 y 1988, se han determinado, en forma aproximada, en función del caudal de entrada a la balsa y de la superficie encharcada en la misma. Estimándose, que el primer año, el valor de la misma pudo oscilar entre 19 m/día y 12 m/día, y el segundo entre 11 m/día y 5 m/día.

Durante la experiencia de 1987, la extensión del fondo de la balsa que se inundó alcanzó la mitad de la superficie de ésta, aunque hacia el final de la experiencia (meses de abril y mayo) llegó a ocupar las dos terceras partes de la misma. En 1988 el agua abarcó a toda la superficie de la balsa, si bien únicamente la llegó a cubrir con una finísima lámina de agua.

Para las balsas "B" y "C" no se ha realizado una evaluación de la evolución de la tasa de infiltración debido en el primer caso a que se desconocen los caudales de entrada a la balsa "B", y en el segundo, a que en la balsa de sedimentación, que se llenaba totalmente, se acumulaba un cierto volumen residual imposible de cuantificar.

Por otro lado, la evolución de la tasa de infiltración, en la mayor parte de las experiencias realizadas, en diversos países, parece ajustarse a una curva de tipo exponencial una vez finalizada la llamada fase hidráulica que está compuesta por dos etapas:

Etapa I.- Se produce un rápido descenso de la tasa de infiltración por humectación e hinchamiento de las arcillas de la parte superior del suelo.

Etapa II.- La velocidad de infiltración crece debido a la expulsión del aire que llena los poros del terreno bajo la superficie inundada.

En la fig. nº 39 se ha ajustado, para los valores de la tasa de infiltración, que se muestran en el cuadro nº 36, una curva del tipo $I = Ae^{Bt}$, donde I es la tasa de infiltración (m/día), y t el tiempo acumulado (días) en que se ha realizado recarga a lo largo de las distintas experiencias. En la curva nº1, cuya ecuación es $I = 3'31 e^{-0'0052t}$, únicamente se han utilizado los valores indicados en el cuadro

TASA DE INFILTRACION EVOLUCION



TASA DE INFILTRACION EVOLUCION PREVISIBLE



nº 36. En las curvas nº 2 y nº 3 se han utilizado respectivamente estos valores junto con los máximos y mínimos estimados para la tasa de infiltración en la balsa "A" durante los años 1987 y 1988.

De la observación de la figura parece deducirse casi una total superposición entre las curvas nº 1 y nº 2 (valores máximos de la tasa de infiltración), mientras que la curva nº 3 (valores mínimos) parece distanciarse bastante de la curva nº 1. No obstante, y dado el escaso número de puntos empleados, así como la forma en que se ha calculado la tasa de infiltración para los años 1987 y 1988, quizás es conveniente ser prudente, y únicamente precisar, que la tasa de infiltración a podido evolucionar entorno a una curva de tipo exponencial perteneciente o próxima al haz que delimitan las curvas nº 2 y nº 3.

En la fig. nº 39 se han representado las curvas anteriormente mencionadas para el intervalo de t comprendido entre 400 y 1.100. El objetivo es realizar una extrapolación para cuantificar un orden de magnitud del previsible caudal, que se infiltrará, en la balsa, en las sucesivas etapas de recarga, que se efectúen posteriormente a 1990. Cada una de estas etapas se ha estimado en seis meses; es decir del orden de 180 días. Los resultados se resumen en el cuadro nº 37.

CUADRO Nº 37

| AÑO | | 1991 | 1992 | 1993 |
|--------------------------------------|-------------------|-------|------|------|
| CAUDAL PREVISIBLE DE INFILTRACION | MAXIMO (l/s) | 20-11 | 11-8 | 6-4 |
| | MINIMO (l/s) | 18-8 | 8-4 | 4-2 |

Por consiguiente, se puede estimar, que la instalación de recarga, denominada balsa "A", se encuentra en una etapa de su vida útil en la que es preciso realizar obras de acondicionamiento para restablecer mayores caudales de infiltración.

En materiales groseros, como es el caso del aluvial del río Oja, y en función de los resultados obtenidos en otras experiencias realizadas en distintas partes del mundo, la penetración de los productos colmatantes se produce según dos etapas. En la primera, la penetración es fácil y profunda, de algunos a varios decímetros, con una acumulación mucho mayor en los primeros centímetros. En la segunda etapa, que no es más que la evolución sin solución de continuidad de la primera, domina el efecto de la acumulación de materiales producidos en la primera etapa, que filtrará la nueva materia que va llegando, de modo que esta es rápidamente retenida, y tiende a no penetrar más allá de algunos centímetros. La eliminación de estos primeros centímetros restablecerá la permeabilidad, pero con ello, no se retiran todos los sólidos en suspensión aportados, pues permanecerán los que penetraron durante la primera etapa, que no son eliminados con una limpieza superficial.

Por esta razón, se recomienda reprofundizar la balsa "A" entre 0'5 m y 1 m para así asegurar un alto porcentaje de eliminación. En otras experiencias, en las que existían macroporos, la penetración alcanzó hasta 2'7 m, penetrando el 50% del sedimento hasta 45 cm de profundidad.

Por último, únicamente indicar, que el valor de la tasa de infiltración obtenido para la balsa "B" es casi siete veces superior al de la balsa "A", y que ello puede responder al efecto que se comenta a continuación.

En dos instalaciones idénticas y a igualdad de calidad del agua de recarga, la tasa de infiltración disminuye más rápidamente en aquella instalación que recibe mayor cantidad de agua, ya que el aporte de colmatante que llega es mayor.

Los análisis realizados para determinar la cantidad de sólidos en suspensión, que aporta el agua de recarga a cada una de las instalaciones, han puesto de manifiesto, que estos son los mismos para los dos dispositivos, excepto en época de lluvia en que el agua que entra en al balsa "B" lleva de orden de ocho veces más sólidos en suspensión que la que recibe la balsa "A".

Ahora bien, estos periodos suelen ser muy puntuales, y de corta duración, y como por otro lado, se tiene también que el volumen de agua que se infiltra en la balsa "A" es bastante más elevado, que el que lo hace en la balsa "B", resulta evidente, que la tasa de infiltración haya disminuido más rápidamente en el dispositivo "A" que en el "B".

9. REDUCCION DE LA CAPACIDAD DE RECARGA. COLMATACION.

En general cabe distinguir las siguientes formas de reducción progresiva de la capacidad de recarga:

- a) Por alteración de la superficie del suelo.
- b) Por adición de materia en suspensión.
- c) Por actividad biológica.
- d) Por cambios en la composición o incompatibilidad del agua de recarga, bien con el agua del acuífero, o bien con las distintas formaciones geológicas.

9.1.- Reducción de la capacidad de recarga por alteración de la superficie del suelo.

Normalmente se produce por compactación de la superficie del terreno por el paso de vehículos en los procesos de limpieza y mantenimiento. Esta forma de reducción de la capacidad de infiltración se ha descartado en las instalaciones de recarga del río Oja, ya que en las mismas nunca se ha procedido a la realización de labores de descolmatación tanto de tipo manual como mecánicas.

9.2.- Reducción de la capacidad de recarga por adición de materia en suspensión.

Por lo que respecta a esta segunda forma de colmatación, que con frecuencia es considerada el factor dominante, se ha realizado una estimación de la cantidad de materiales que se han podido depositar por el agua de recarga en las balsas "A" y "C". (Cuadro nº 38), en función del volumen mensual de agua que ha entrado en las mismas, y de la cantidad de sólidos en suspensión que aporta el agua de recarga. Estos se han estimado en un valor medio de 10 mg/l.

CUADRO
N° 38

| MES | CANTIDAD DE MATERIALES (Tn) DEPOSITADOS POR EL AGUA DE RECARGA EN LAS BALSAS | | | |
|---------|--|------|---------|------|
| | BALSA A | | BALSA C | |
| | 1987 | 1988 | 1987 | 1988 |
| ENERO | | 4.3 | | 0.6 |
| FEBRERO | | 4.4 | 0.1 | 0.7 |
| MARZO | 4.4 | 5.0 | 1.1 | 0.4 |
| ABRIL | 5.2 | 3.6 | 0.6 | 0.1 |
| MAYO | 1.3 | 3.1 | 0.8 | 0.3 |
| JUNIO | | 1.4 | 0.4 | 0.1 |
| JULIO | | 0.8 | | 0.05 |
| AGOSTO | | | | |
| TOTAL | 10.9 | 22.6 | 3.0 | 2.25 |

El espesor de sedimentos acumulados sobre el fondo de las balsas (Cuadro n° 39), se ha calculado en función de la consideración que se expone a continuación (E. Custodio), en la que se admite, que las costras de arcilla, una vez secas, pueden tener altas densidades aparentes (hasta 2.33 g/cm^3), por colocarse las partículas planas de forma paralela unas a otras y a máxima compactación.

Estos resultados, parecen guardar una cierta congruencia, con los obtenidos a partir de una serie de pequeños sondeos realizados con taladro manual y tomamuestras, en la balsa de sedimentación de la instalación denominada "A",

durante el año 1990 (Cuarto año de funcionamiento de los dispositivos).

CUADRO N° 39

| AÑO | ESPESOR DE SEDIMENTOS DEPOSITADOS (cm) | | | |
|-----------------|--|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| | BALSA A | | BALSA C | |
| | SOBRE TODA LA SUPERFICIE | SOLO SOBRE LA BALSA DE SEDIMENTACION | SOBRE TODA LA SUPERFICIE | SOLO SOBRE LA BALSA DE SEDIMENTACION |
| 1987 | 0.23 | 2.30 | 0.07 | 0.19 |
| 1988 | 0.49 | 4.84 | 0.05 | 0.14 |
| TOTAL ACUMULADO | 0.72 | 7.14 | 0.12 | 0.33 |

En dichos ensayos, se pudo estimar, que el espesor de sedimentos era del orden de 15 a 20 cm. en la mayor parte de la instalación de decantación, si bien en la zona más alejada de la entrada del agua a la balsa el espesor de estos disminuía (5 cm). En el resto de la balsa, que constituye propiamente el dispositivo de infiltración, y cuyo fondo tiene forma de surcos, se ha podido observar, que los sedimentos se han acumulado preferentemente en el fondo de los mismos, si bien su espesor es muy reducido. No observándose,

a simple vista, en los laterales y en las crestas efectos de sedimentación.

9.3.- Reducción de la capacidad de recarga por actividad biológica.

La colmatación biológica puede ser tanto o más importante que la mineral, y a nivel del medio filtrante es más compleja que esta última.

En la balsa "A", se ha observado durante los meses de junio y julio un crecimiento de algas y plantas en la balsa de sedimentación. En estos meses, el caudal de entrada a la misma es reducido, y la superficie encharcada, prácticamente, tan solo abarca a esta última. Dado la cada vez más baja permeabilidad, que ha ido adquiriendo la misma, se produce un importante efecto de estancamiento del agua de recarga, que unido a las altas temperaturas que se registran en esta época, quizás propicia o favorece el desarrollo de esta vegetación.

En los sondeos, comentados en el apartado anterior, que se han realizado en esta balsa de sedimentación, se ha detectado en los testigos extraídos la presencia de hojas muertas, arrastradas por el agua de recarga, en estado de putrefacción, así como de otros restos de vegetación. Asimismo en los sondeos realizados en el área más próxima a la entrada de agua a la balsa de recarga, donde el espesor de sedimentos es mayor (hasta 30 cm o más), se ha podido comprobar que las muestras correspondientes a los tramos finales (más profundos) de estos sondeos presentan un color negrozco y un cierto aspecto gelatinoso, por lo que probablemente la zona más profunda de este área haya pasado a anaerobia, y como el medio anaeróbico, según diversas investigaciones, es menos eficaz que el aeróbico en la degradación de la materia orgánica, la colmatación biológica en esta zona

será más rápida y penetrante al producirse una mayor obstrucción de los poros con restos celulares no destruidos. Asimismo, y dado, que probablemente, y a medida que avance la experiencia de recarga, se seguirá produciendo un aumento de la carga orgánica, es previsible, que la zona anaerobia se expanda rápidamente, tanto lateralmente como hacia arriba, dando lugar a que la permeabilidad en la balsa de sedimentación decrezca aun más.

Por lo que respecta al resto de la balsa de recarga "A" no se ha detectado, mientras la misma ha estado cubierta con agua, crecimiento de vegetación. No obstante, en los periodos en que se deja secar la instalación se produce un crecimiento de vegetación, que en principio, se considera positiva, ya que sus raíces perforarán y romperán la zona colmatada facilitando así el posterior paso de agua.

9.4.- reducción de la capacidad de recarga por cambios en la composición o incompatibilidad del agua de recarga, bien con el agua del acuífero o bien con las distintas formaciones geológicas.

La temática mencionada en este epígrafe es un problema, en estos momentos, difícil de resolver, y en la mayor parte de las ocasiones sin solución con los datos y medios actuales disponibles.

En este apartado únicamente se hace referencia al hecho, de que los cambios de composición en el agua de recarga pueden jugar un papel importante en la alteración de la tendencia de la arcilla a estar defloculada (dispersa) o floculada (aglomerada), que pueden afectar incluso a la movilización o fijación de la arcilla del propio acuífero, creando alteraciones que pueden ser irreversibles.

En principio, se estima, que el problema de la dispersión de arcilla no es importante para aguas cuyo SAR, según algunos autores no supere el valor 15, y según otros no sobrepase valores comprendidos entre 3 y 5. Asimismo, parece que resulta efectivo para evitar la dispersión de arcillas mantener una predominancia de Ca^{++} y Mg^{++} en el agua de recarga, así como evitar altas concentraciones de Na^+ y K^+ . Las aguas de recarga, que alimentan las balsas del río Oja, presentan un S.A.R. notablemente inferior a los valores indicados anteriormente, existiendo además, una preponderancia de Mg^{++} (5-15 mg/l) y Ca^{++} (22 a 65 mg/l) sobre el K^+ (1 mg/l) y el Na^+ (2-3 mg/l), por lo que el problema de la dispersión de arcillas puede descartarse. No obstante, en aguas bicarbonatadas como es el caso de las que alimentan a estas instalaciones de infiltración, la evaporación produce una fácil precipitación de Ca^{++} y luego de Mg^{++} , mientras que el Na^+ permanece, con lo cual el valor del S.A.R. crece aumentando el peligro de dispersión de arcilla.

Como se ha comentado anteriormente, en la balsa de sedimentación, dada su baja permeabilidad, y el escaso caudal que penetra en la misma durante los meses de junio y julio, el efecto de la evaporación (que es máxima en esos meses) puede ser importante, y producir los fenómenos anteriormente mencionados. Hasta el momento, no se han realizado análisis que puedan confirmar este hecho. Sin embargo, es necesario admitir, que existe dicha posibilidad, y que la arcilla dispersada, al acumularse en determinados tramos del terreno, puede provocar reducciones de la permeabilidad en la dirección del flujo.

Por consiguiente, y tanto por las consecuencias que se pueden derivar de las puntualizaciones que se han realizado en este apartado, como por las expuestas en el relativo a la reducción de la capacidad de recarga por actividad biológica, sería recomendable proceder periódicamente

(probablemente todos los años) a la limpieza de la balsa de sedimentación, con el objetivo de paliar o disminuir los efectos negativos comentados, así como probablemente otra serie de ellos, que en estos momentos no se pueden predecir ni evaluar.

10. INFLUENCIA DE LA RECARGA ARTIFICIAL SOBRE EL AGUA DEL ACUIFERO.

En acuíferos con unas características hidrogeológicas como el presente: alta permeabilidad, elevada velocidad del flujo subterráneo, recuperación total de niveles de un año a otro, y drenaje rápido a través de las surgencias naturales, el único objetivo, que quizás se pueda perseguir con esta técnica es el de mejorar la calidad del agua subterránea. Ya que, el agua introducida se extiende deprisa, y se aleja a gran velocidad; logrando solamente desplazar unas aguas por otras o producir mezclas.

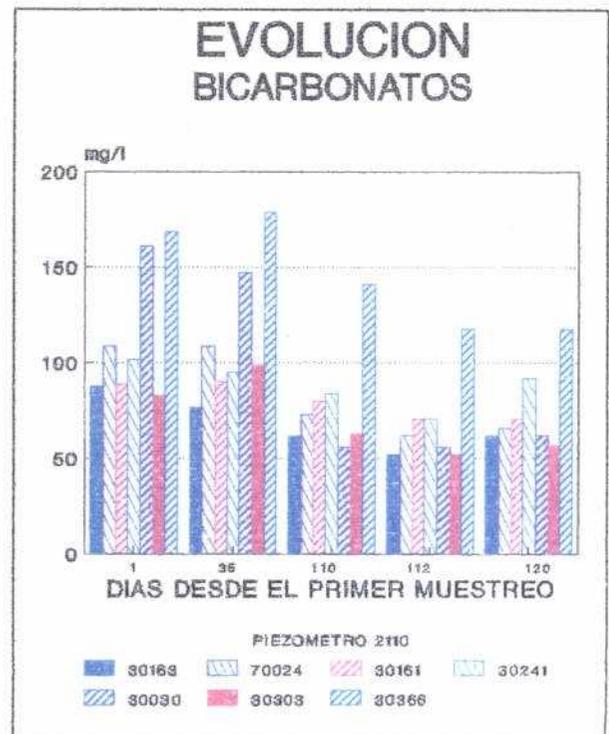
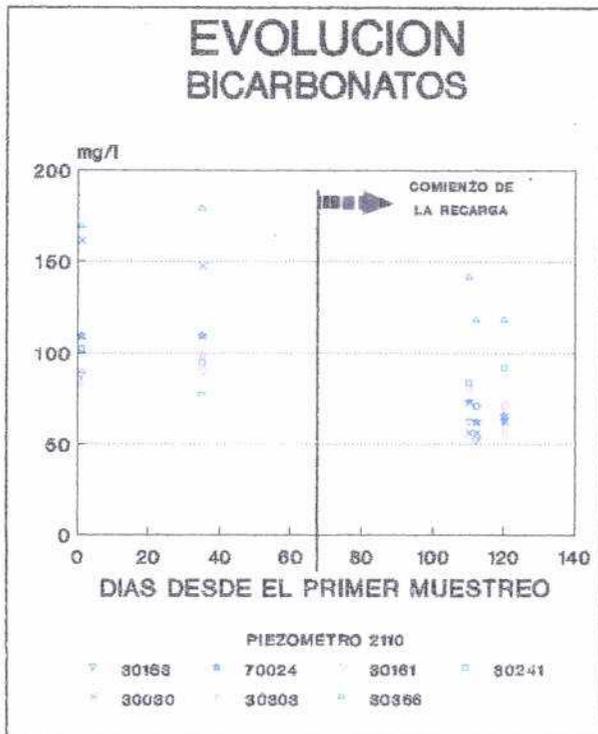
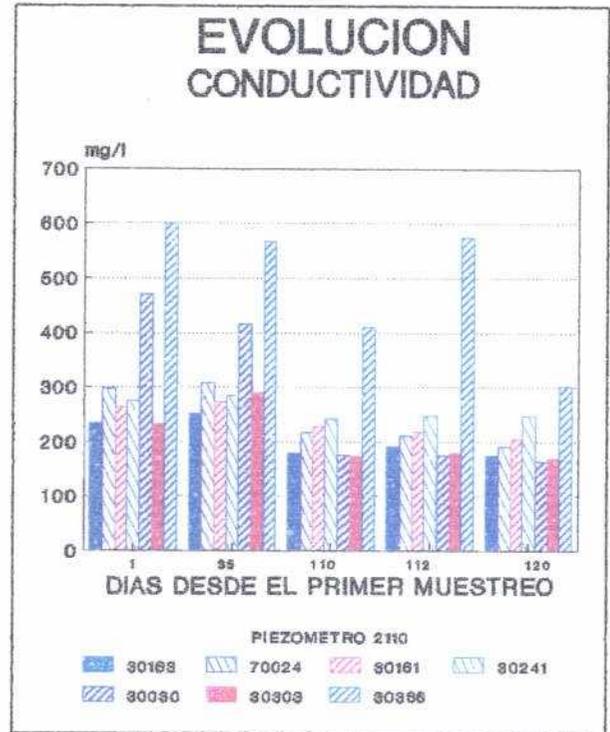
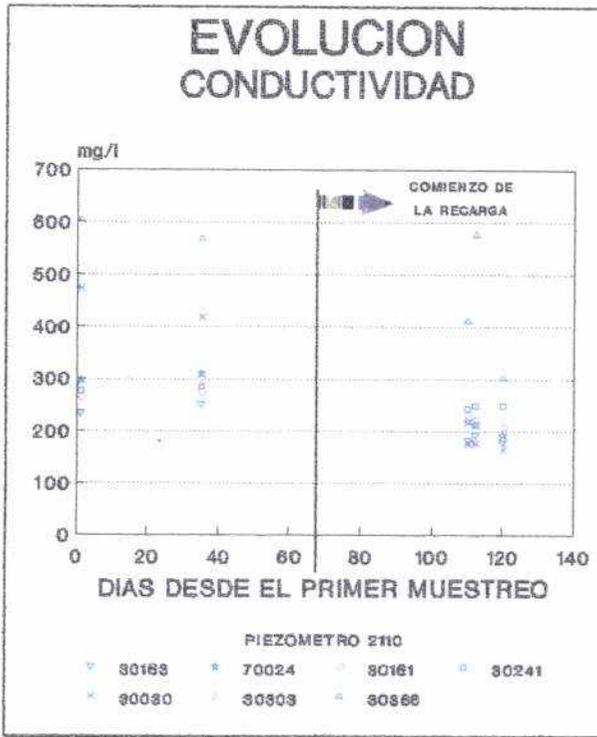
Para estudiar el efecto, que el agua de recarga podría producir sobre el agua del acuífero; se dispuso una red de control de calidad entorno a las balsas "A" y "B". Esta red estuvo constituida por catorce puntos, que se distribuyeron, en función de las captaciones existentes en la zona, en forma tal, que cubrieran un amplio campo de muestreo.

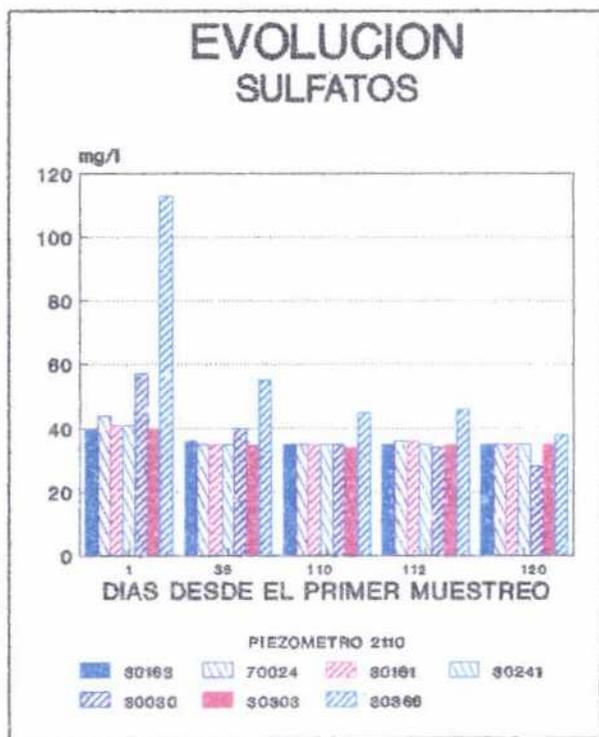
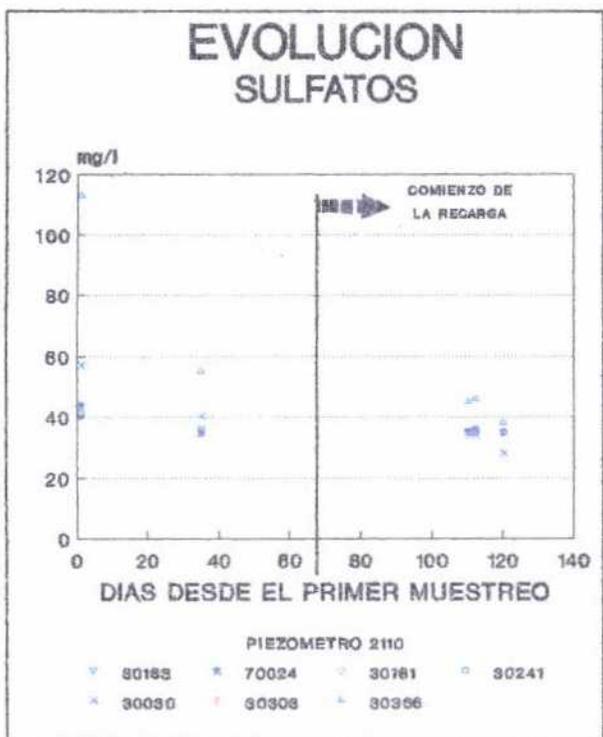
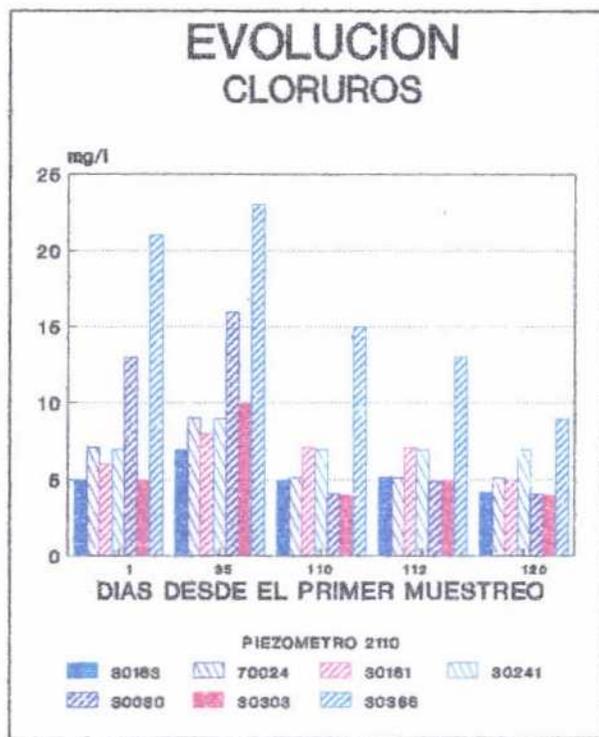
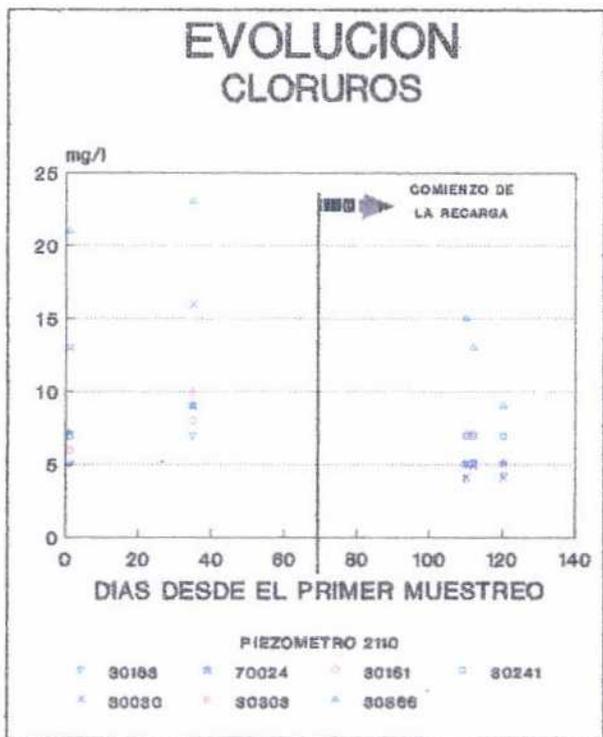
La cadencia establecida para la toma de muestras, se planificó en dos etapas: una anterior al comienzo de la recarga y otra durante la realización de la misma. En el primer periodo se tomaron dos campañas (18-10-89 y 22-11-89) y en el segundo tres (6-2-90, 8-2-90 y 16-2-90). Durante el intervalo de tiempo comprendido entre la primera y la última toma únicamente penetró agua en la balsa "A".

En los gráficos correspondientes a las figs. nº 40, 41, 42 y 43 se han representado la evolución de los iones principales, y de la conductividad, para los siete puntos de control establecidos alrededor de la balsa "A". En los mismos, se puede apreciar, que existe una notable mejoría en la calidad del agua entre los dos periodos de control considerados. Aunque la misma, sólo con este análisis, no se puede considerar que corresponda exclusivamente a la recarga

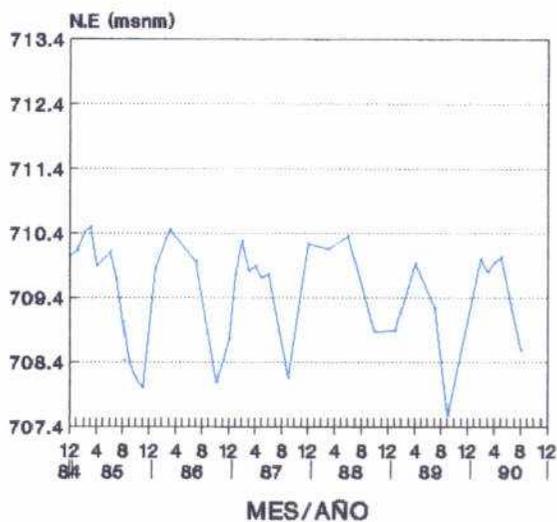
artificial; ya que, en función de los datos históricos de calidad, existentes en la Base de Datos Aguas del ITGE, se aprecia una disminución en la mineralización entre las campañas de aguas bajas y las de primavera.

Por esta razón, se han realizado diferentes mapas de isocontenidos, Figs. nº 44, 45, 46 y 47. En los mismos, que no necesitan mayor comentario, se puede apreciar el efecto que la mejor calidad del agua de recarga produce sobre el agua del acuífero.



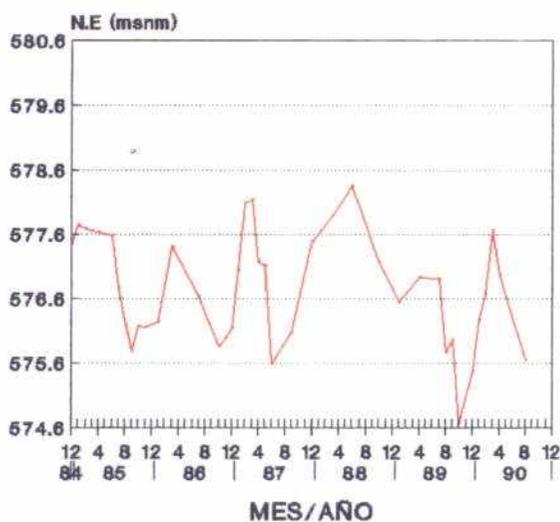


PIEZOMETRO 2110-70007



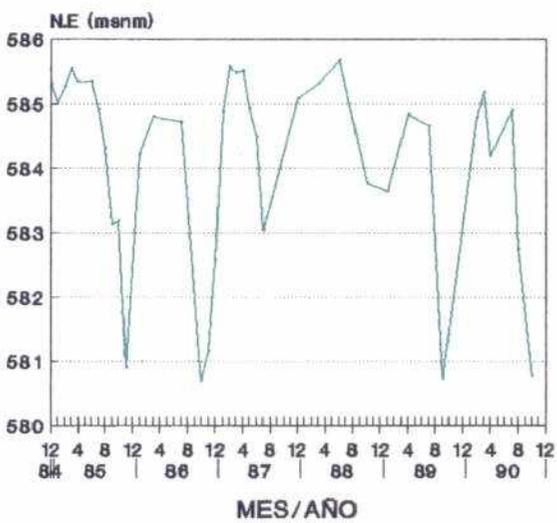
— N.E.

PIEZOMETRO 2110-40020



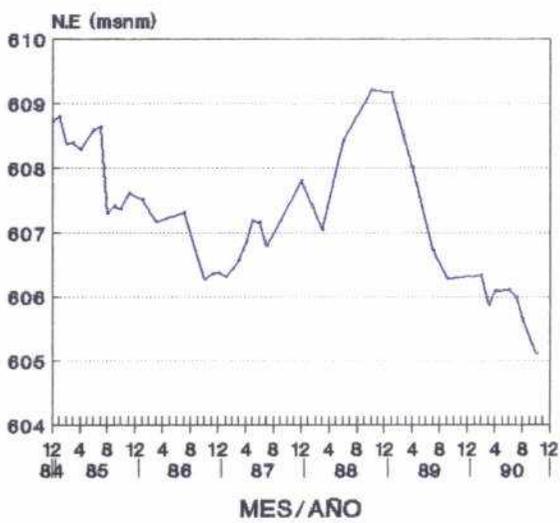
— N.E.

PIEZOMETRO 2110-40025

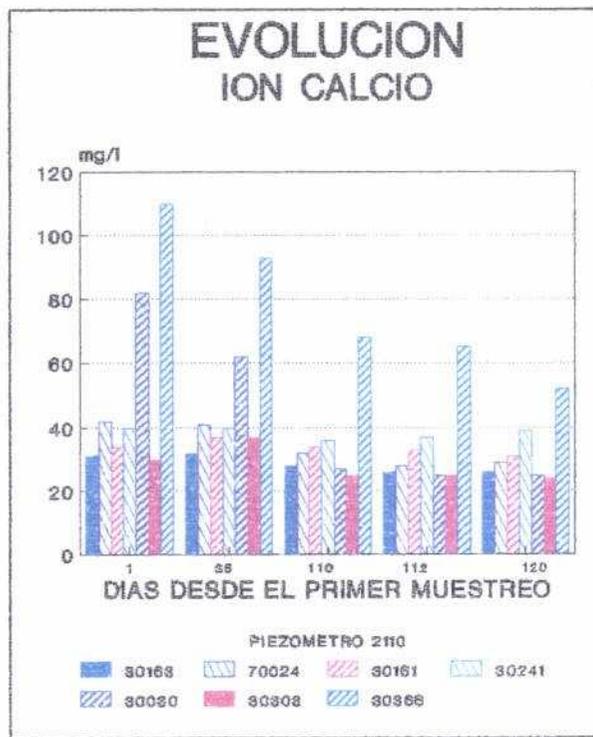
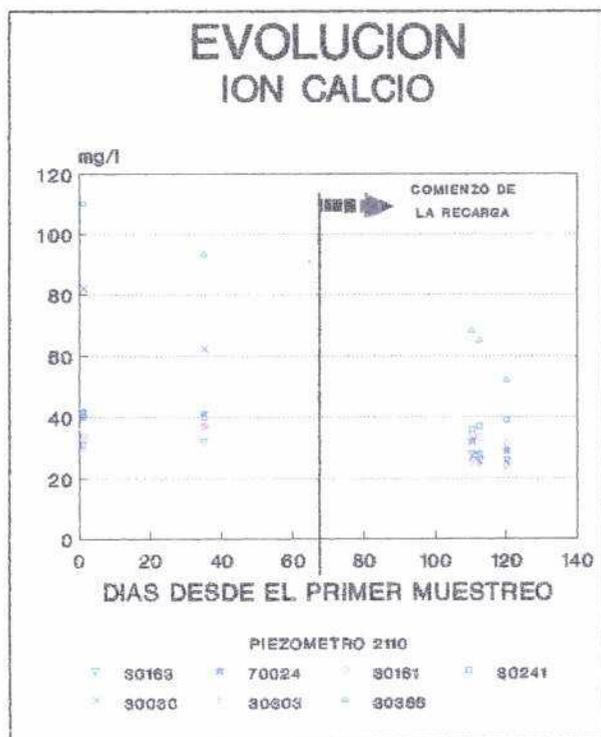
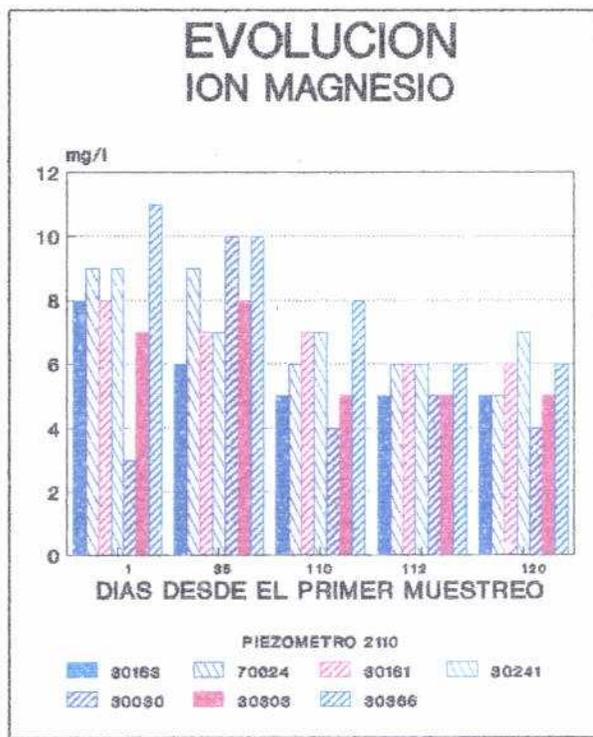
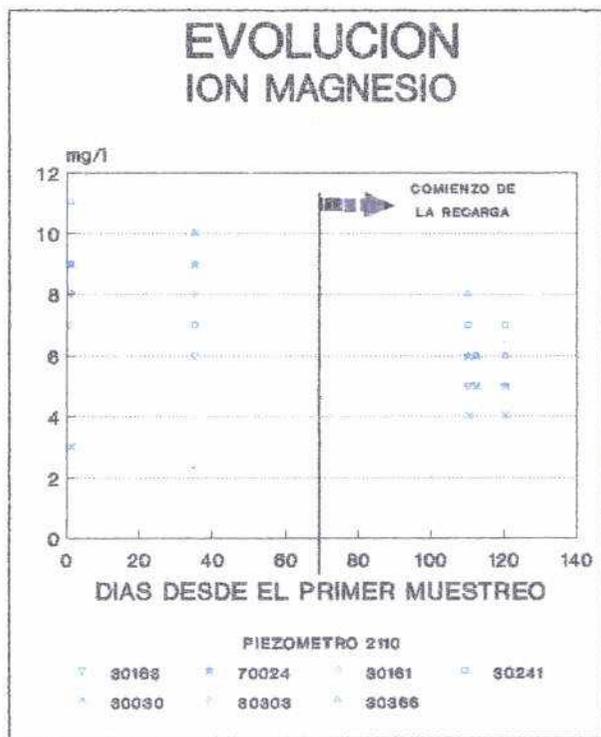


— N.E.

PIEZOMETRO 2110-40033



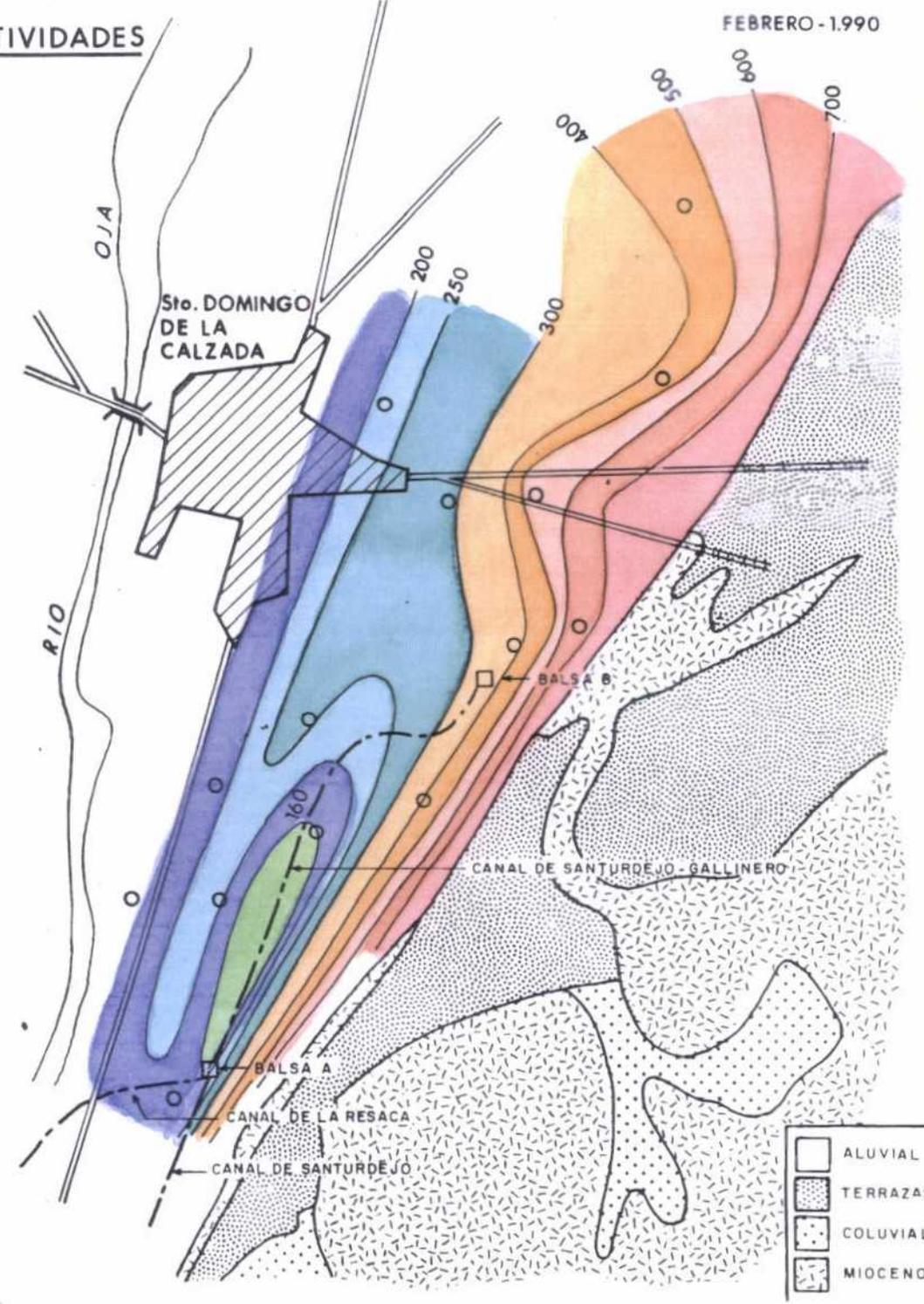
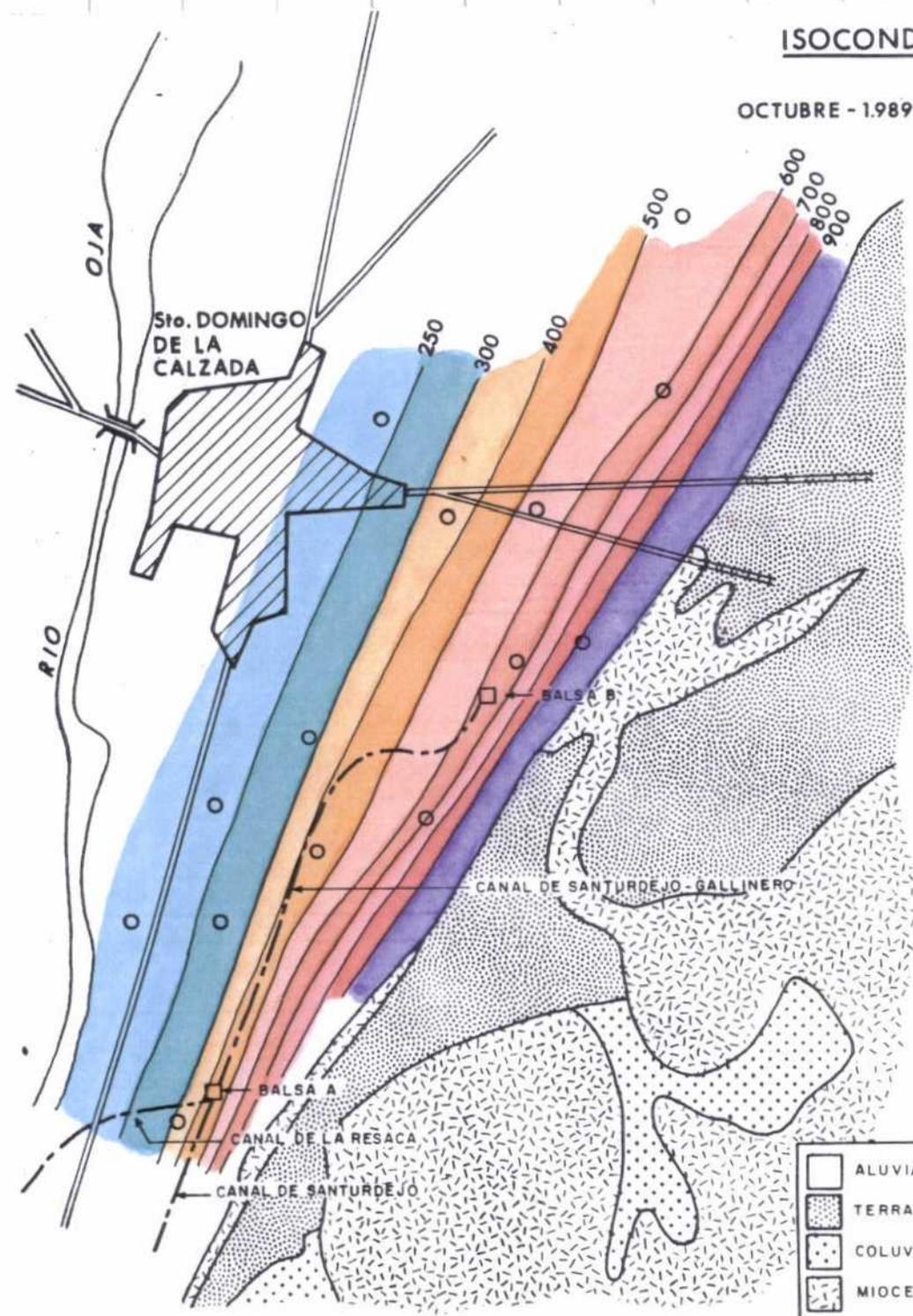
— N.E.



ISOCONDUCTIVIDADES

FEBRERO - 1990

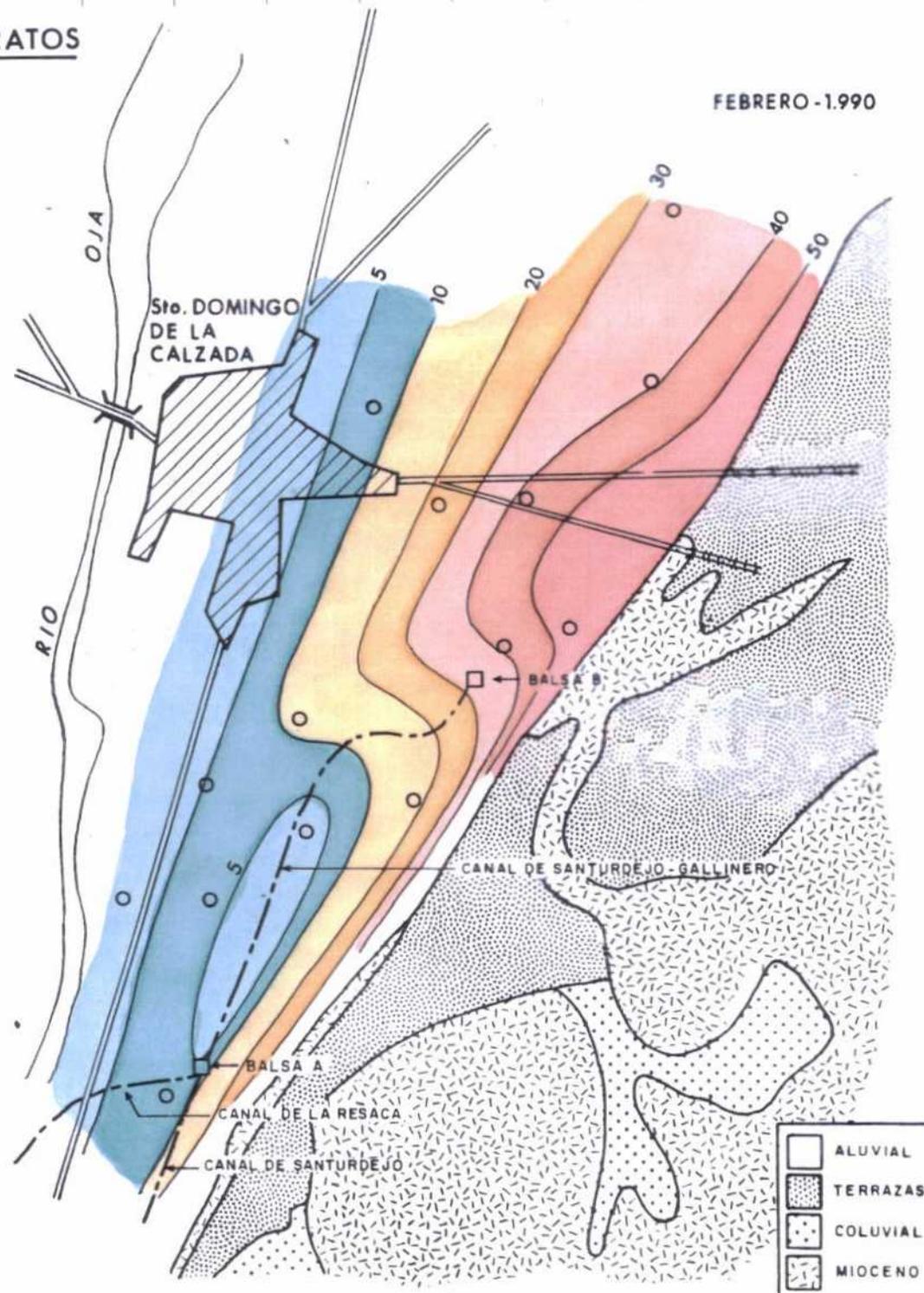
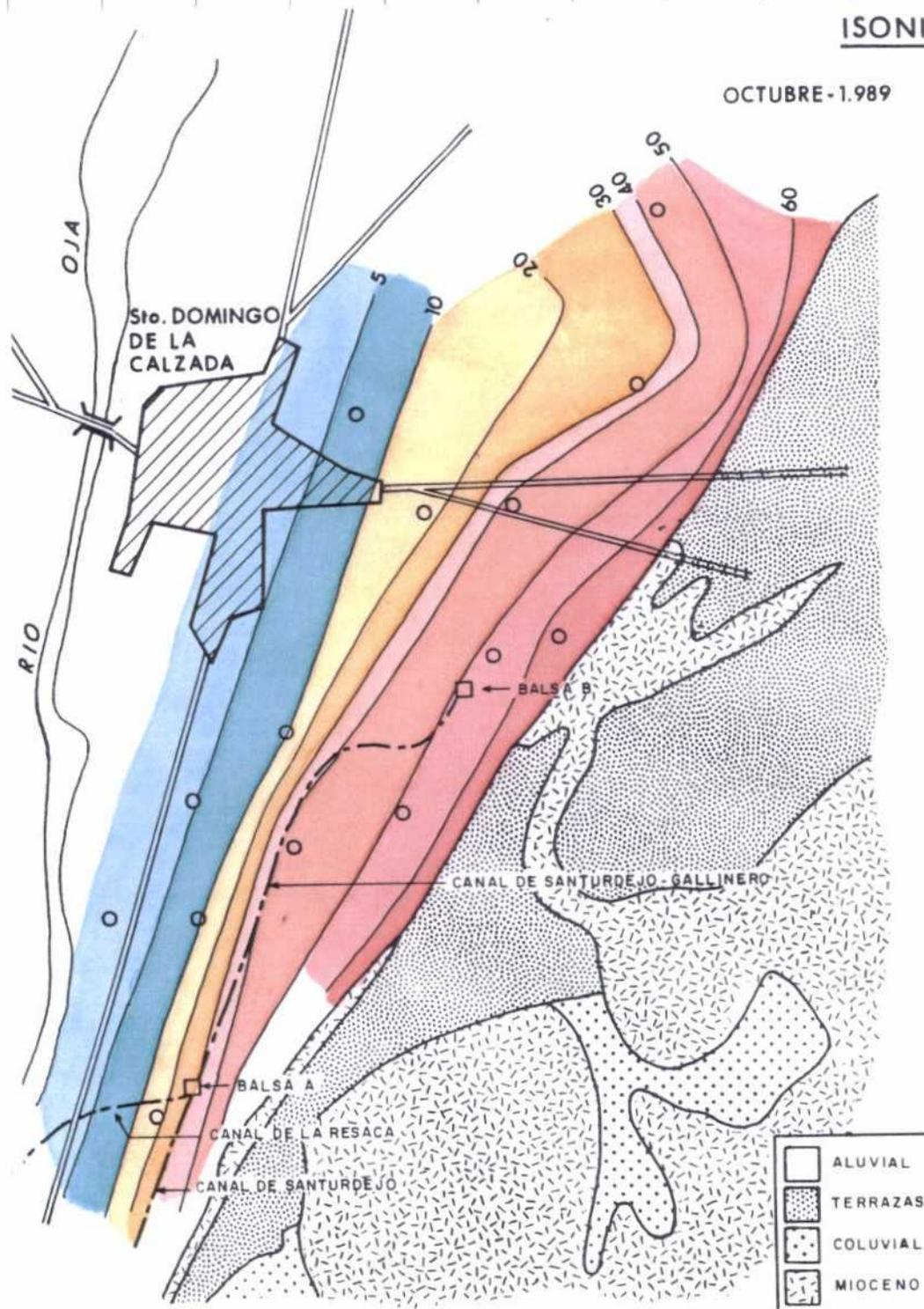
OCTUBRE - 1989



ISONITRATOS

OCTUBRE-1.989

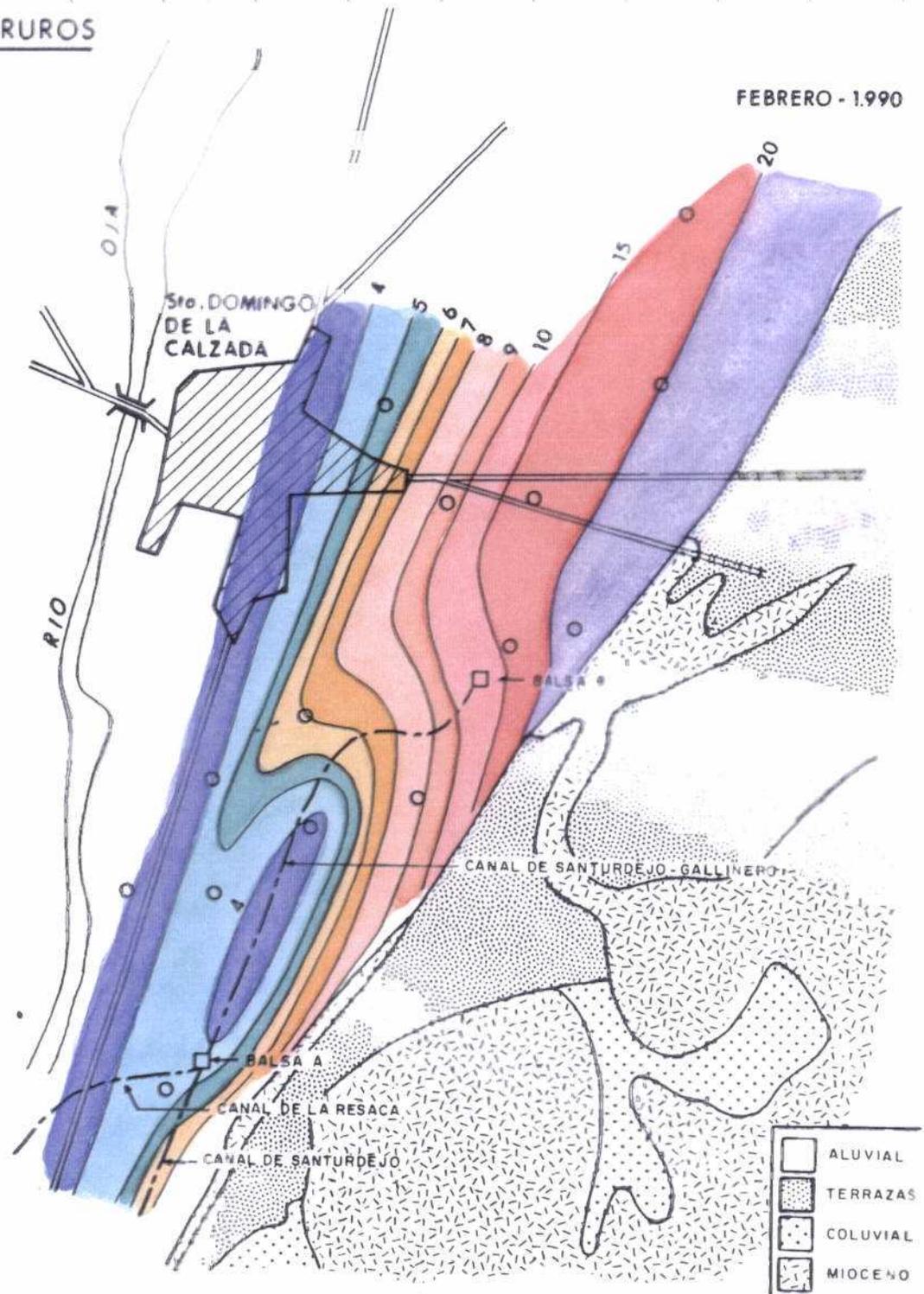
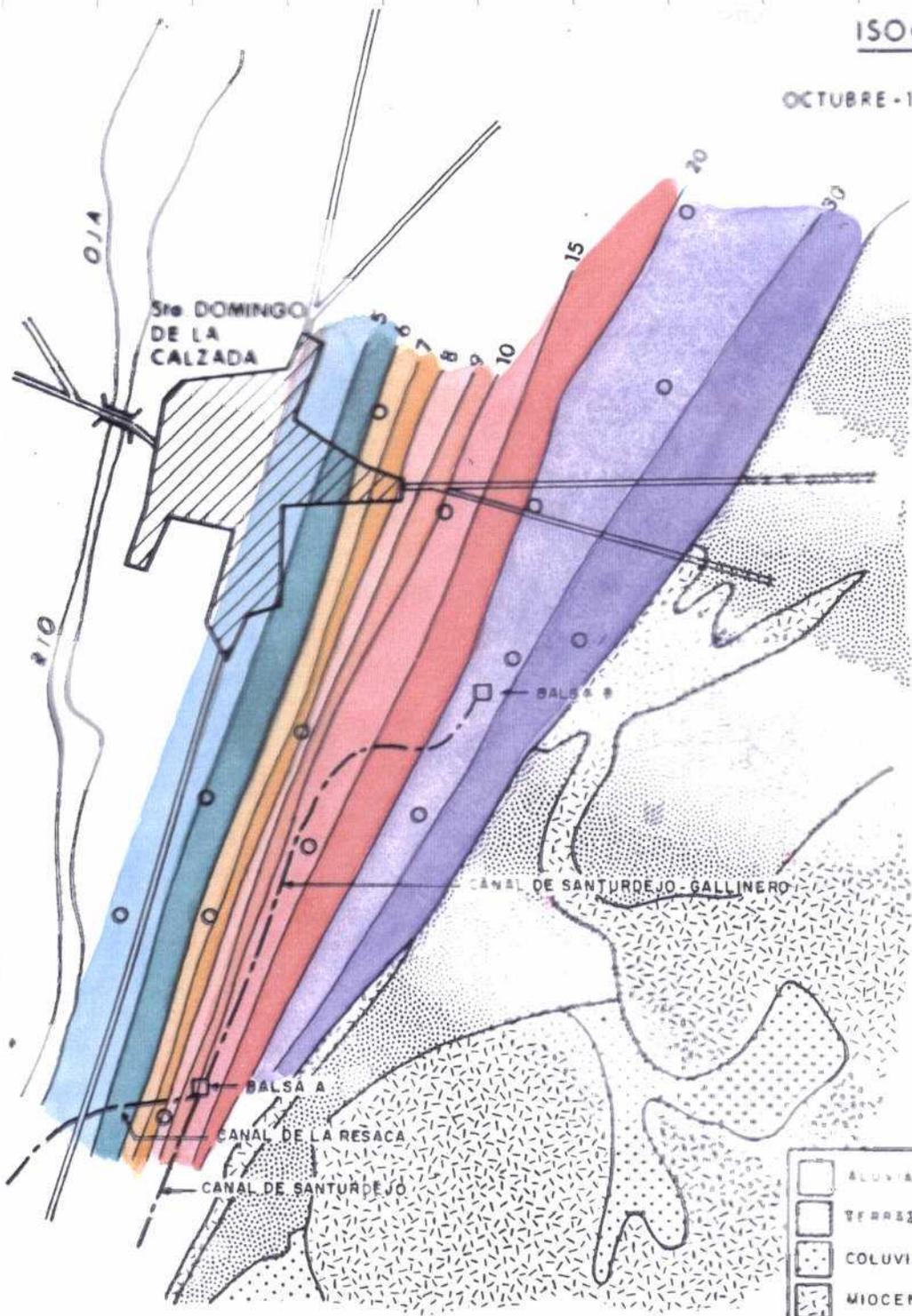
FEBRERO-1.990



ISOCLORUROS

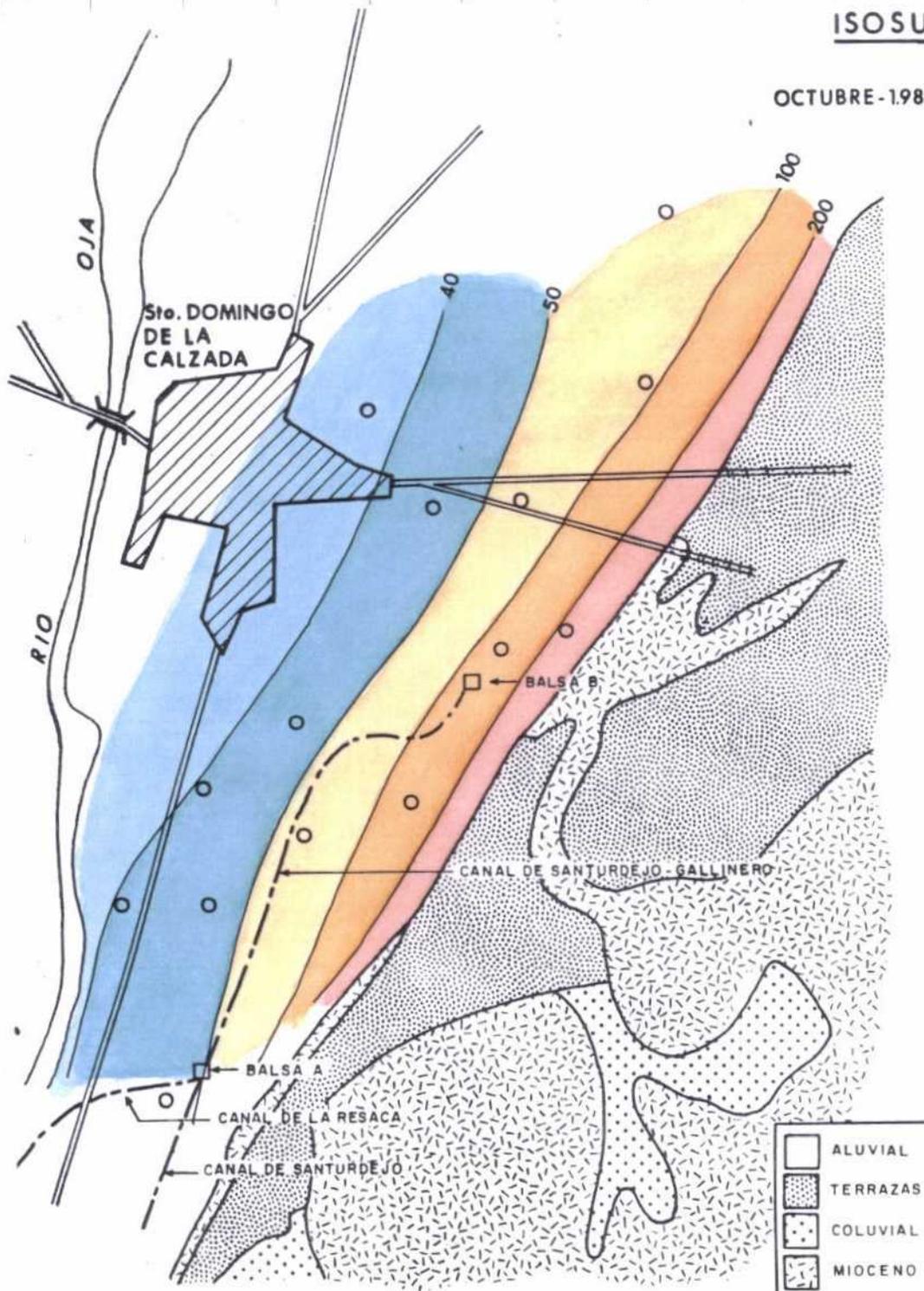
OCTUBRE - 1989

FEBRERO - 1990

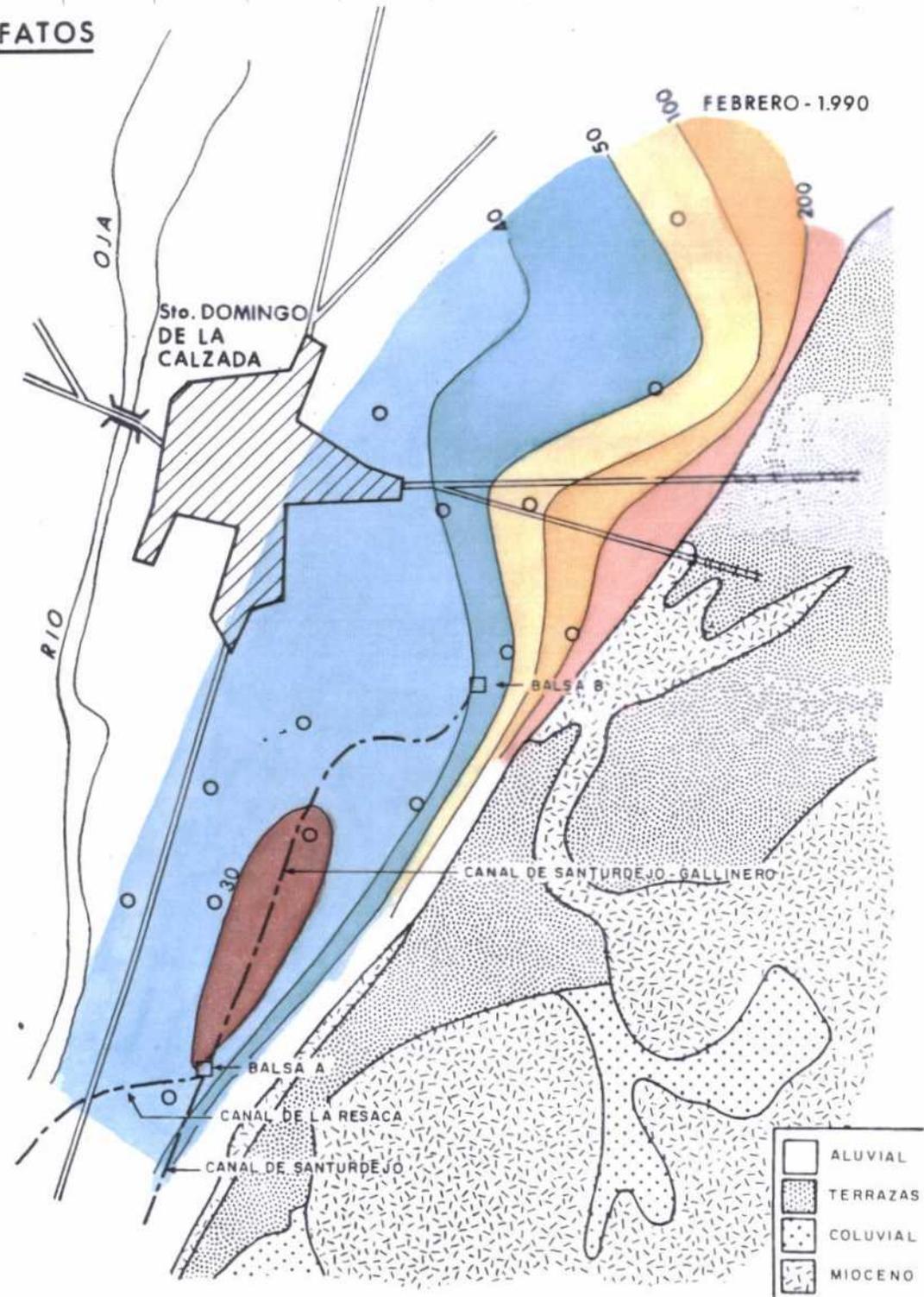


ISOSULFATOS

OCTUBRE - 1989



FEBRERO - 1990



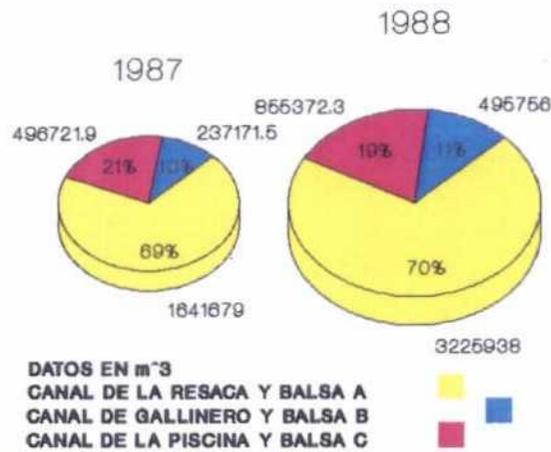
11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

1) En la figura nº 48 se ha representado gráficamente el volumen de agua infiltrada en el acuífero, tanto para la experiencia de 1987 como para la de 1988, que fue en el primer caso de 2'37 Hm³ y en el segundo de 4'57 Hm³. Ahora bien, dado que los recursos anuales del acuífero se han estimado en 30 Hm³ y los bombeos en 4 Hm³; el volumen de agua infiltrada en el acuífero representa sobre los recursos anuales el 7'9 % en la primera experiencia, y el 15'2 % en la segunda. Por lo que se refiere a los bombeos, este volumen de agua representa respecto a los mismos el 59'25 % y el 114'25 % para cada una de las experiencias.

Sin embargo, y como se puede apreciar en los gráficos piezométricos, representados en la fig. nº 49, correspondientes a la red general de control del acuífero, no se aprecia diferencias entre un año con recarga artificial y un año sin ella, existiendo además una recuperación total de niveles.

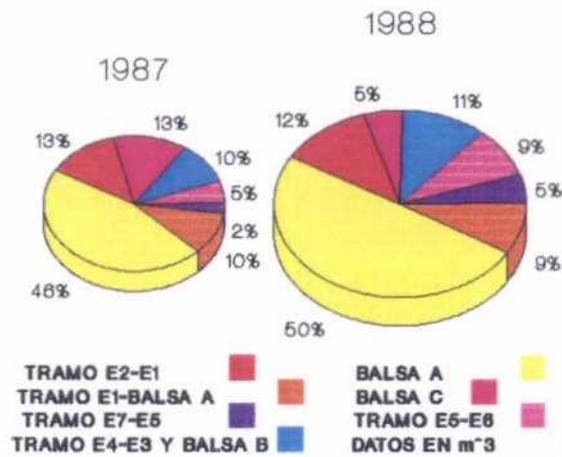
Por consiguiente, y con el grado actual de explotación que tiene el acuífero, la recarga artificial no constituye una técnica adecuada para conseguir una mejor regularización del acuífero. Ya que, para poder recuperar el agua recargada conviene que el medio no sea excesivamente transmisor ni con un flujo natural elevado (proposiciones estas que no se cumplen en el acuífero aluvial del río Oja); puesto que si se verifica lo contrario, el agua introducida se extiende deprisa y se aleja rápidamente. La recarga en el aluvial del río Oja se realiza cuando la piezometría está más alta, es decir, cuando todo está lleno de agua, y lo único que se consigue es desplazar un agua por otra, o bien producir mezclas que mejoran la calidad del agua del acuífero.

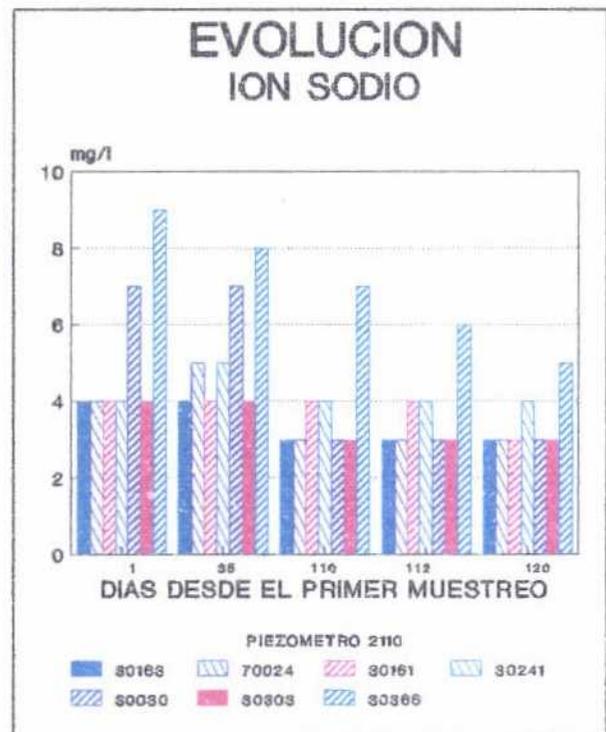
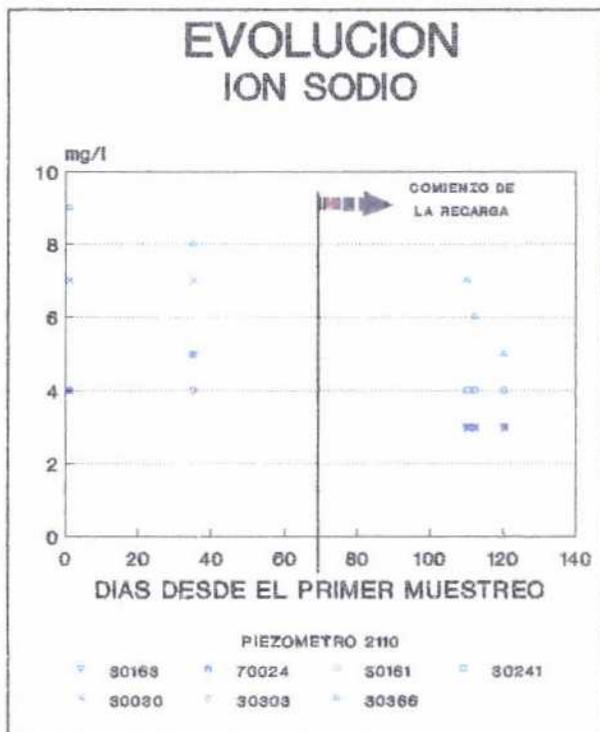
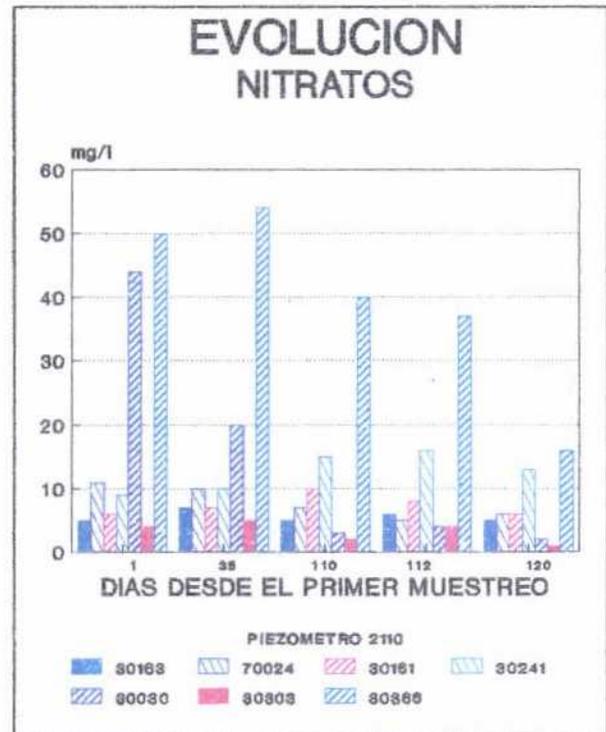
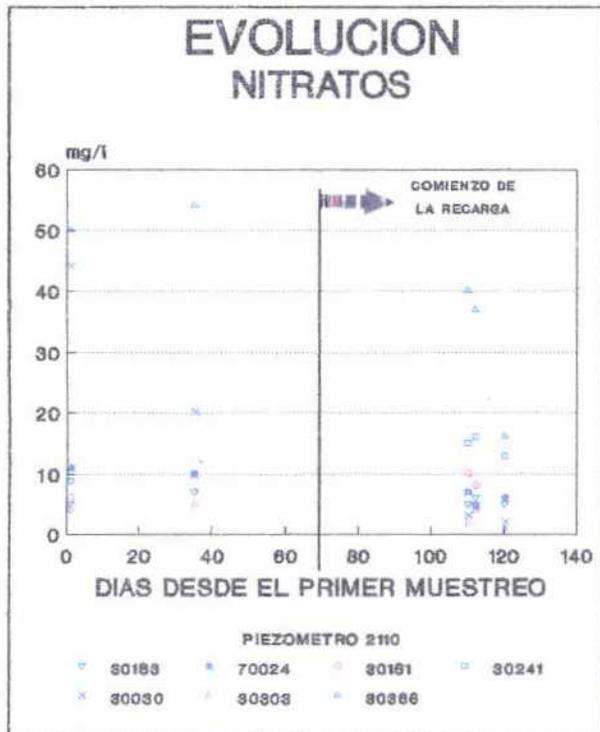
VOLUMEN TOTAL INFILTRADO POR ZONAS



VOLUMEN TOTAL INFILTRADO

1987.....2376572.6 m³
 1988.....4677065.8 m³





2) El problema fundamental que se plantea en la regulación del acuífero son las altas velocidades de circulación del agua subterránea, por lo que se habría de actuar sobre la permeabilidad y el gradiente, bien independientemente o bien conjuntamente sobre ambos factores, construyendo pantallas en el interior del acuífero mediante baterías de sondeos de inyección de fluidos arcillosos, que dificulten el tránsito del agua hacia las zonas de drenaje y faciliten el escalonamiento de la superficie piezométrica.

Ahora bien, resulta evidente, que una inversión de esta cuantía no es justificable; ya que, como se ha comentado anteriormente, existe una total recuperación de la piezometría de un año a otro.

3) En el supuesto, comentado en el apartado correspondiente a la introducción, en el que se propone la mejora de unas 3.000 Ha de regadío, que precisarían un volumen de agua de 15 Hm³/año, y provocarían un descenso del nivel piezométrico entre 8 y 10 m, que podría recuperarse sin ningún problema, si se apoya el efecto natural con una recarga artificial que aproveche los excedentes invernales del río Oja. No se puede afirmar, con los estudios realizados hasta el momento, si lo expuesto anteriormente sería factible. Ya que no se han simulado sobre el modelo matemático del aluvial del río Oja hipótesis de recarga artificial ni de aumento de la explotación.

No obstante, de los estudios realizados hasta la fecha en la zona, se desprende que la explotación por bombeos puede ser considerablemente mayor a la estimada en el estudio del ITGE de 1985. Asimismo, tampoco se conoce con total exactitud cual es la recarga natural del acuífero por infiltración del río Oja, que puede ser inferior a la estimada en el estudio comentado anteriormente. Estas consideraciones pueden hacer variar notablemente el balance actual del

acuífero, resultando que el mismo se encuentra en el límite de su explotación controlada.

4) Resulta por tanto, que se se quiere mejorar la explotación de este acuífero es necesario proponer otras alternativas que pasen por el uso conjunto aguas subterráneas-aguas superficiales; entendiéndose por tal al uso de la cuenca para transmitir y almacenar parte del agua del área coordinando las funciones del acuífero con obras artificiales, y permitiendo conservar toda la infraestructura hasta ahora creada.

Por ello, quizás sería conveniente analizar el esquema de gestión que se propone a continuación, aprovechando el hecho, de que en el área, que abarca el presente proyecto, se están efectuando estudios con vistas a realizar en el río Oja un embalse regulador de superficie. Dicho esquema de gestión consistiría en un embalse de superficie que regule la escorrentía superficial de la cuenca alta del río, y una toma de agua de recarga aguas abajo del embalse de superficie, para regular la escorrentía superficial de la cuenca media del río mediante una recarga artificial en las terrazas, que como se puede apreciar en la figura nº 49 presentan un descenso continuado del nivel piezométrico. Asimismo, habría que determinar la superficie de nuevos regadíos que se podrían crear en las áreas de Grañón, Corporales, Morales, etc, (Terciario impermeable) mediante el empleo de aguas superficiales, al mismo tiempo, que se garantiza el apoyo con éstas a los actuales regadíos del río Oja en el caso de que las condiciones reinantes sean desfavorables.

5) Aunque en principio parece derivarse de las conclusiones expuestas anteriormente, que los resultados obtenidos en el proyecto son negativos; lo cierto es que la experiencia ha resultado francamente positiva, y ha permitido profundizar en los conocimientos de los procesos de

investigación y técnicas de la recarga artificial de acuíferos, consiguiéndose una visión más actualizada de la realidad de la misma, y de sus variaciones en requisitos y tecnología.