

## S-5.2. ENTRADAS Y SALIDAS DE AGUA Y SALES EN EL POLIGONO PILOTO

J. Faci<sup>1</sup>, R. Aragüés<sup>1</sup>, F. Alberto<sup>2</sup>, J. Machín<sup>2</sup>, J.L. Arrué<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Suelos y Riegos. I.N.I.A. CRIDA-03. Zaragoza.

<sup>2</sup>U.E.I. Edafología. C.S.I.C. Est. Experimental Aula Dei.  
Zaragoza.

Jefe de proyecto, jefes de Departamento, colaborador científico y becario postdoctoral, respectivamente.

### RESUMEN

En esta comunicación se presenta la metodología y resultados del trabajo realizado para la obtención de los principales componentes del balance de agua y sales de un polígono de riego de 5.256 has del I tramo del Canal de Monegros. El objetivo fundamental de este balance es, en primer lugar, la calibración del modelo conceptual hidrosalino y, en segundo lugar, el análisis del rendimiento del riego y su relación con la salinidad en un polígono representativo de los regadíos de la Cuenca del Ebro.

Los componentes del balance de agua de dicho polígono fueron calculados por períodos mensuales durante el año hidrológico 1982 (Octubre 1981-Septiembre 1982). El volumen anual de los aportes correspondientes al agua de riego aplicada, precipitación y agua proveniente de áreas contiguas ("aportes laterales") al polígono fue-

ron de 3.880, 2.430 y 154 ha-m\* respectivamente. El volumen anual de las salidas de agua del polígono, correspondientes a las aguas de retorno y evapotranspiración, ascendió a 3.164 y 3.400 ha-m respectivamente.

El contenido de sales medio anual de las aguas de riego, precipitación y aportes laterales fue de 190,51 y 283 mg/l respectivamente, mientras que en las aguas de retorno fue de 2.273 mg/l.

La descarga unitaria media anual de sales del polígono analizado es de 18 t/ha, cifra muy elevada debido a la presencia de yeso en el perfil del suelo, y al bajo rendimiento del agua aplicada que conduce a unas fracciones de lavado medio del polígono de riego del orden del 30 al 50 %. Se concluye que el aumento de la eficiencia de distribución y aplicación del agua es el factor fundamental para el control de la salinidad de los efluentes de polígonos de riego.

Palabras llave: balance agua, balance sales, aguas de retorno, eficiencia de riego, evapotranspiración, disolución de yeso, fracción de lavado.

## INTRODUCCION

El estudio de los flujos de agua y sales en un suelo regado es muy complejo y normalmente requiere de la utilización de modelos matemáticos simplificados para su simulación (Hornsby, 1973).

---

\* 1 ha-m =  $10^4$  m<sup>3</sup> que equivale a  $10^3$  mm = 1 m.

La calibración y verificación de estos modelos matemáticos requiere una importante y continua toma de datos de campo, y los cálculos correspondientes para la estimación de las entradas y salidas que forman parte de los componentes del balance hídrico-salino - - (Oosterveld y cols., 1978, Tanji, 1981). Es evidente que la bondad de los datos recogidos en la calibración determinará asimismo la bondad de las predicciones obtenidas mediante la ejecución del modelo.

La Fig. 1 presenta el esquema de los principales flujos de agua y sal en la zona radicular de un suelo regado, e indica las entradas y salidas requeridas por el modelo, cuyo análisis detallado se presentó en el capítulo de descripción del "modelo conceptual hidrosalino".

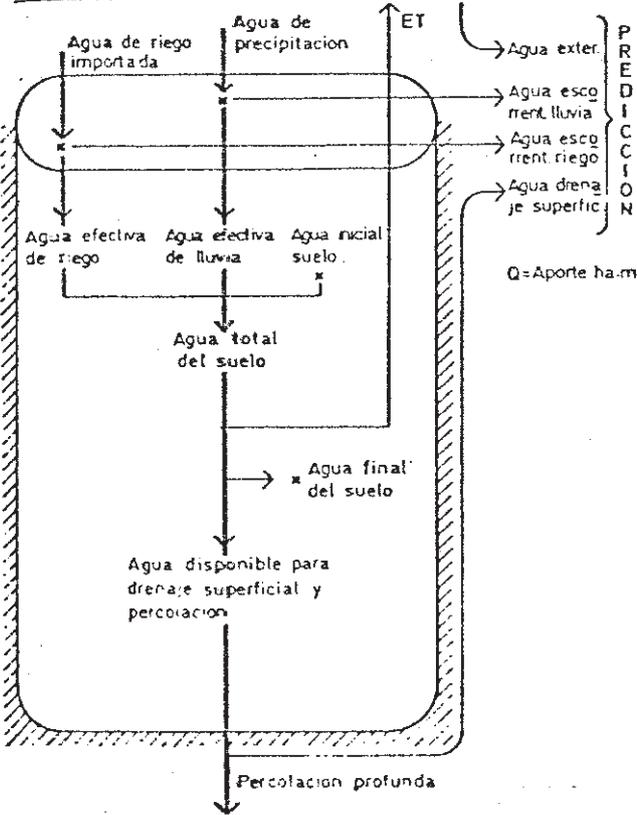
En este capítulo se presenta la metodología utilizada y los resultados obtenidos en las medidas de estas entradas y salidas realizadas en un polígono de riego de la zona regable del I tramo del Canal de Monegros (Huesca), discutiéndose algunos aspectos del rendimiento del riego y su relación con la masa de sales exportadas en los efluentes de áreas regadas.

#### DESCRIPCION GENERAL DEL POLIGONO DE RIEGO

La descripción detallada de las características geográficas, edafológicas, hidrológicas y de utilización del suelo del polígono de riego se presentó en un capítulo anterior.

El polígono piloto tiene una superficie de 5.256 ha, de las cuales 3.913 ha son regadas. Los cultivos más frecuentes en el riego son: los cereales de invierno - principalmente trigo y algo

MODELO SUELO (SUBMODELO HIDROLOGICO)



MODELO SUELO (SUBMODELO SALINO)

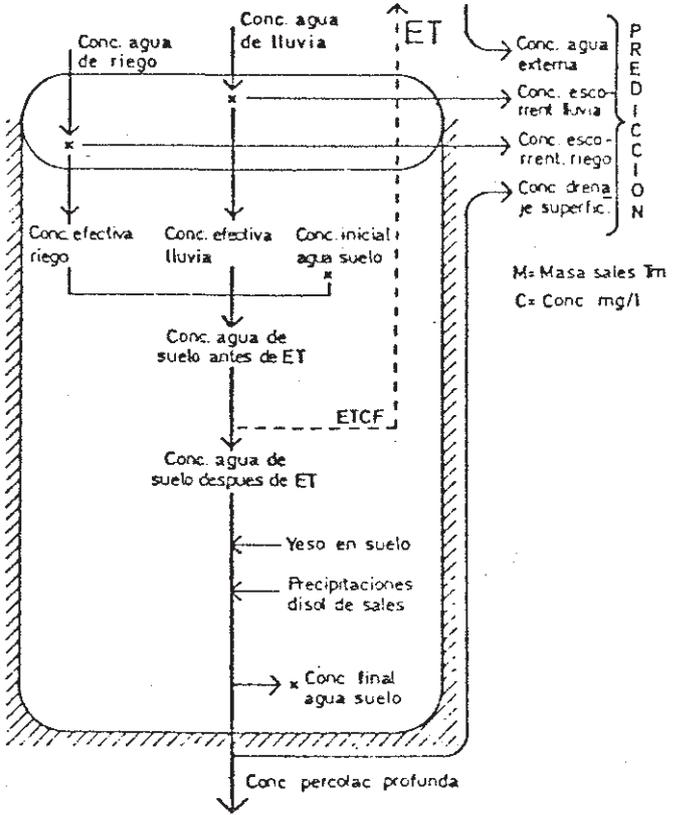


Fig. 1. Flujos de Agua y Sal del Modelo conceptual hidrosalino.

de cebada (58 % de la superficie) -, alfalfa (21 % de la superficie), maiz (19 % de la superficie) y huerta y frutales (2 % de la superficie).

El sistema de riego utilizado es por inundación de tablares - nivelados a cero o con pendientes muy suaves, excepto en una superficie de 93 ha en la que se utiliza el riego por aspersión. El tamaño medio de las unidades de riego varía entre 1,0 y 2,0 ha. Estas parcelas están rodeadas por caballones de tierra a lo largo de todo su perímetro, con lo cual la escorrentía superficial durante la aplicación del riego es prácticamente nula. La distribución del agua se realiza en base a turnos de riego de 24 horas de duración,

mediante los cuales el agricultor puede regar a intervalos fijos - entre 12 y 20 días. El período normal de riego se extiende de Marzo a Octubre, aunque se dan riegos ocasionales en los restantes me ses del año.

## AGUA DE RIEGO APLICADA

### Metodología

Agua. La Fig. 2 presenta el plano de situación de los puntos - de control de aforo de las acequias del polígono piloto. En el Canal de Monegros y en la acequia Violada se han controlado las nueve y trece acequias, respectivamente, que riegan el polígono piloto. En la acequia Q, debido a la dificultad de controlar las acequias que derivan de la misma por ser muy numerosas, de difícil ac ceso, algunas muy pequeñas y sin revestir y otras de sección irregular, se ha medido directamente en 4 puntos de la acequia (denominados  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  y  $Q_4$ ) y el agua total aplicada por ella ha sido - calculada por la diferencia de caudales ( $Q_1 - Q_4$ ), sirviendo los - puntos  $Q_2$  y  $Q_3$  de comprobación de los resultados.

Los puntos de control de aforos se seleccionaron en tramos - rectos de las acequias, de secciones uniformes y suficientemente - alejados del canal o acequia del que derivan con el fin de evitar efectos perturbadores sobre el régimen de las mismas. En estos pun tos de control se midió la distancia entre la superficie libre del agua en la acequia y una señal de referencia en forma de "T" pinta da en el borde superior de la acequia o puentes o travesaños sobre dichas acequias (medida "T-agua").

La frecuencia de las medidas fue diaria, excepto días festi-

POLIGONO PILOTO DE LA VIOLADA (I TRAMO CANAL MONEGROS) ACEQUIAS Y DESAGÜES

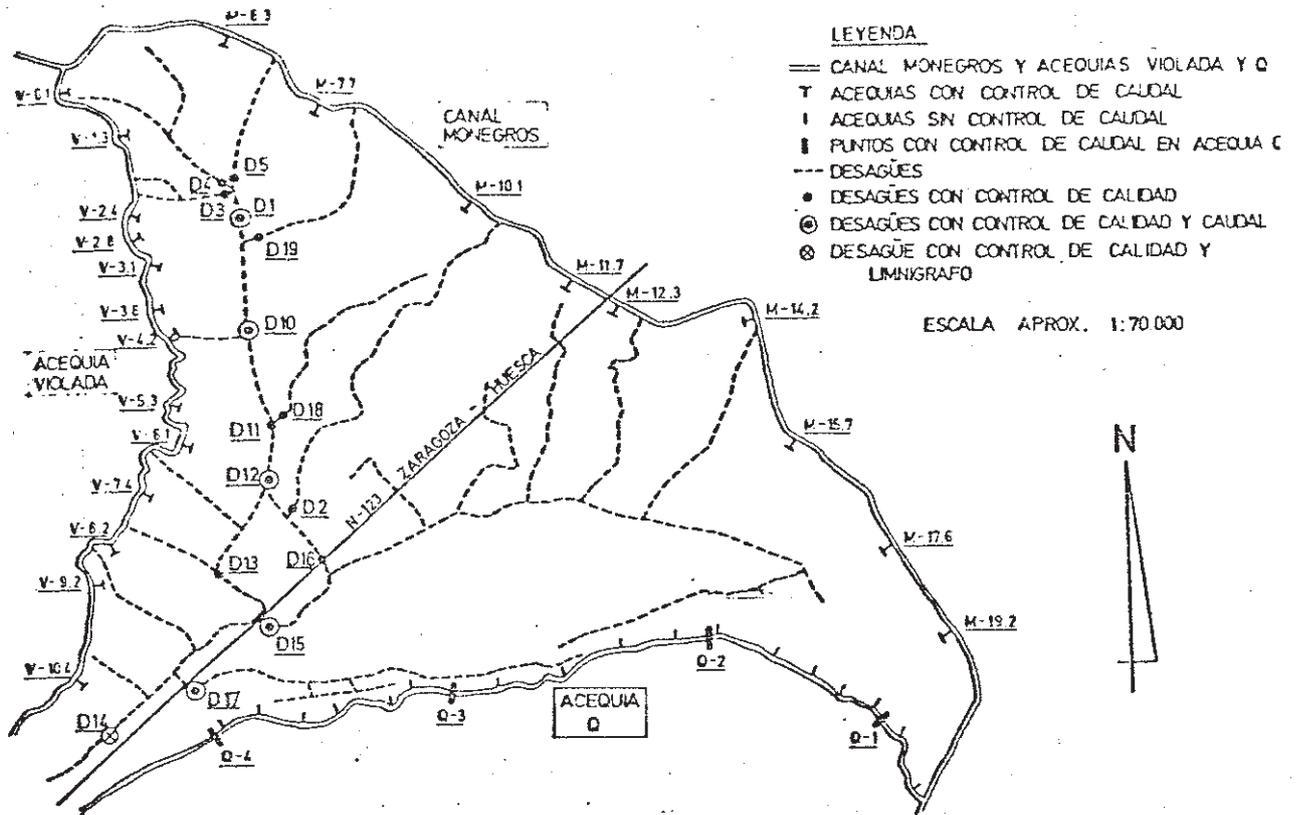


Fig. 2. Plano de Situación de las Estaciones de Control en Acequias y Desagües del Polígono Piloto.

vos (días sin medida) y meses de invierno (Noviembre a Febrero), en que la frecuencia fue semanal.

Para cada sección de control se obtuvo la curva de gasto (caudal frente a lectura "T-agua") por medio de un minimolinete Seba M-1, utilizando la metodología de aforo de la Comisaría de Aguas del Ebro.

En los días en que existió medida de "T-agua", el volumen dia-

rio de riego aplicado se calculó, por consiguiente, a partir de estas curvas de gasto. En los días en que no hubo medida de "T-agua" el volumen de riego aplicado se estimó de los datos suministrados por los sindicatos de riegos.

Sales. La calidad del agua de riego se dedujo de sus análisis periódicos. Se midieron TDS (sólidos disueltos totales), CE (conductividad eléctrica), Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, Na, Ca y Mg por los métodos comunmente empleados en análisis de aguas.

### Resultados

Agua. La Fig. 3 presenta las curvas de gasto obtenidas para los puntos de control de entrada de agua del polígono piloto de La Violada. Las regresiones de tipo lineal y polinomial se obtuvieron con un número de observaciones variable entre 3 y 6, y muestran en general unos coeficientes de determinación ( $r^2$ ) muy próximos a la unidad.

Con el fin de estimar el error que podría cometerse al calcular el aporte de las acequias en 24 horas a partir de una sola medida de "T-agua", se procedió, durante un período de 11 días, a realizar esta lectura tres veces al día (a las siete de la mañana, y una y seis de la tarde) en dos puntos del Canal de Monegros, tres puntos de la Acequia Violada, y en los puntos de control de entrada de agua al polígono (Fig. 4). Evidentemente, cuanto mayor es la distancia de 'T al agua', menor es el caudal que circula por la acequia. Cuando la acequia no lleva agua, los puntos se han situado en la posición 'S'. Los resultados muestran que las lecturas de T-agua se mantuvieron constantes a lo largo del día, si bien la

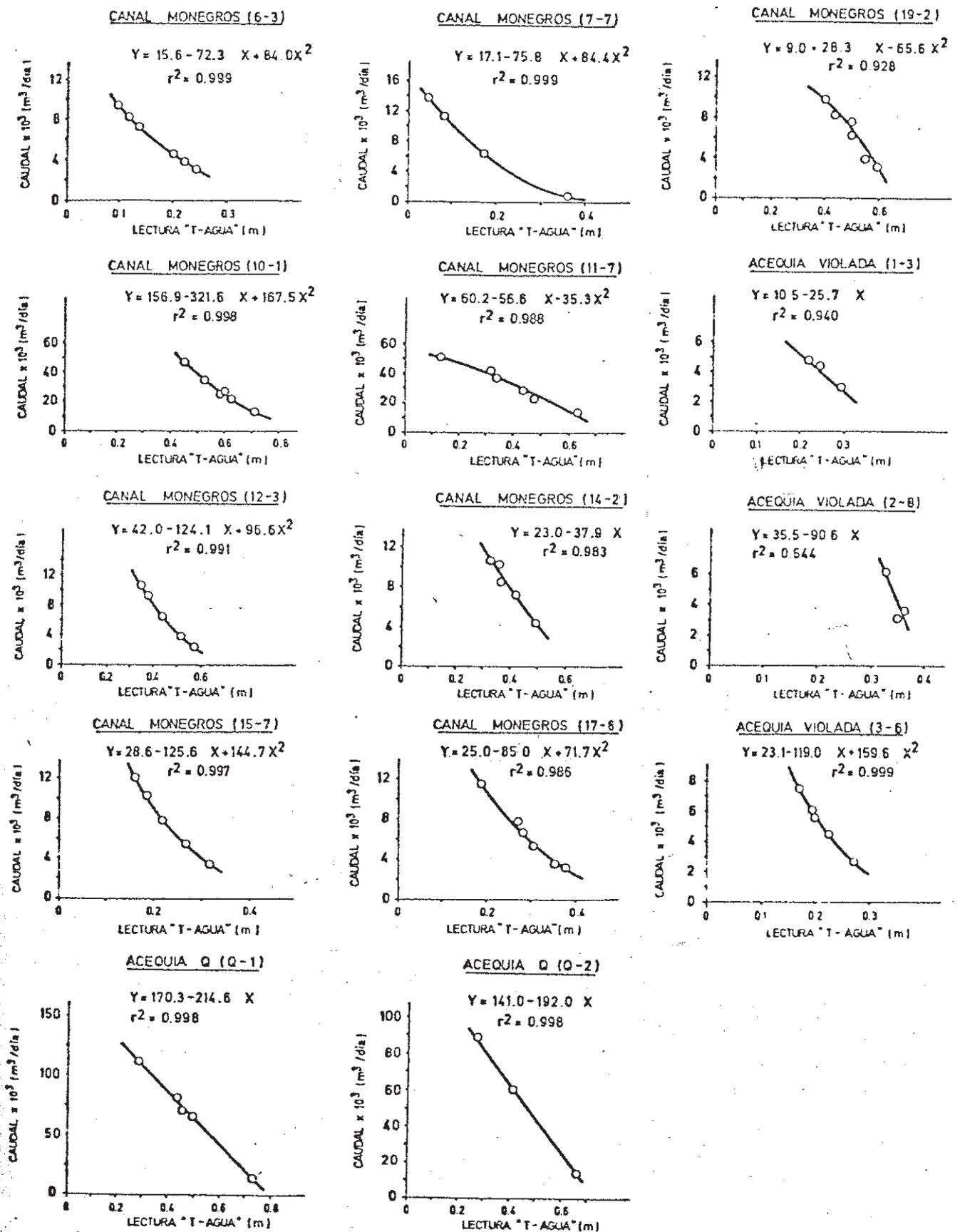


Fig. 3. Curvas de Gasto en los Puntos de Control de las Acequias del Polígono Piloto de La Violada.

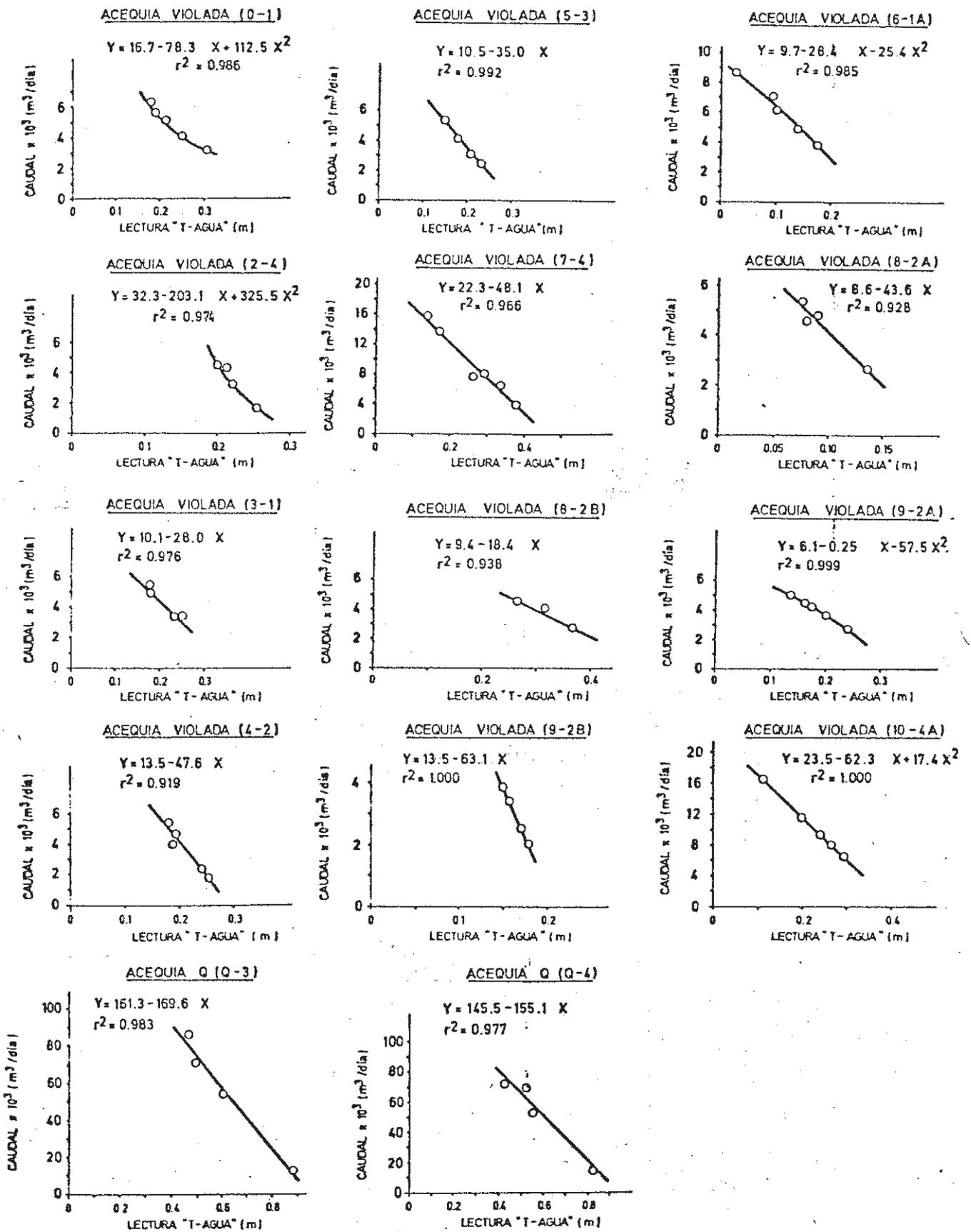


Fig. 3. Continuación.

MEDIDAS EN MONEGROS, VIOLADA Y Q.

MEDIDAS EN ACEQUIAS QUE DERIVAN DEL C.DE MONEGROS

MEDIDAS EN ACEQUIAS QUE DERIVAN DE LA A. DE LA VIOLADA

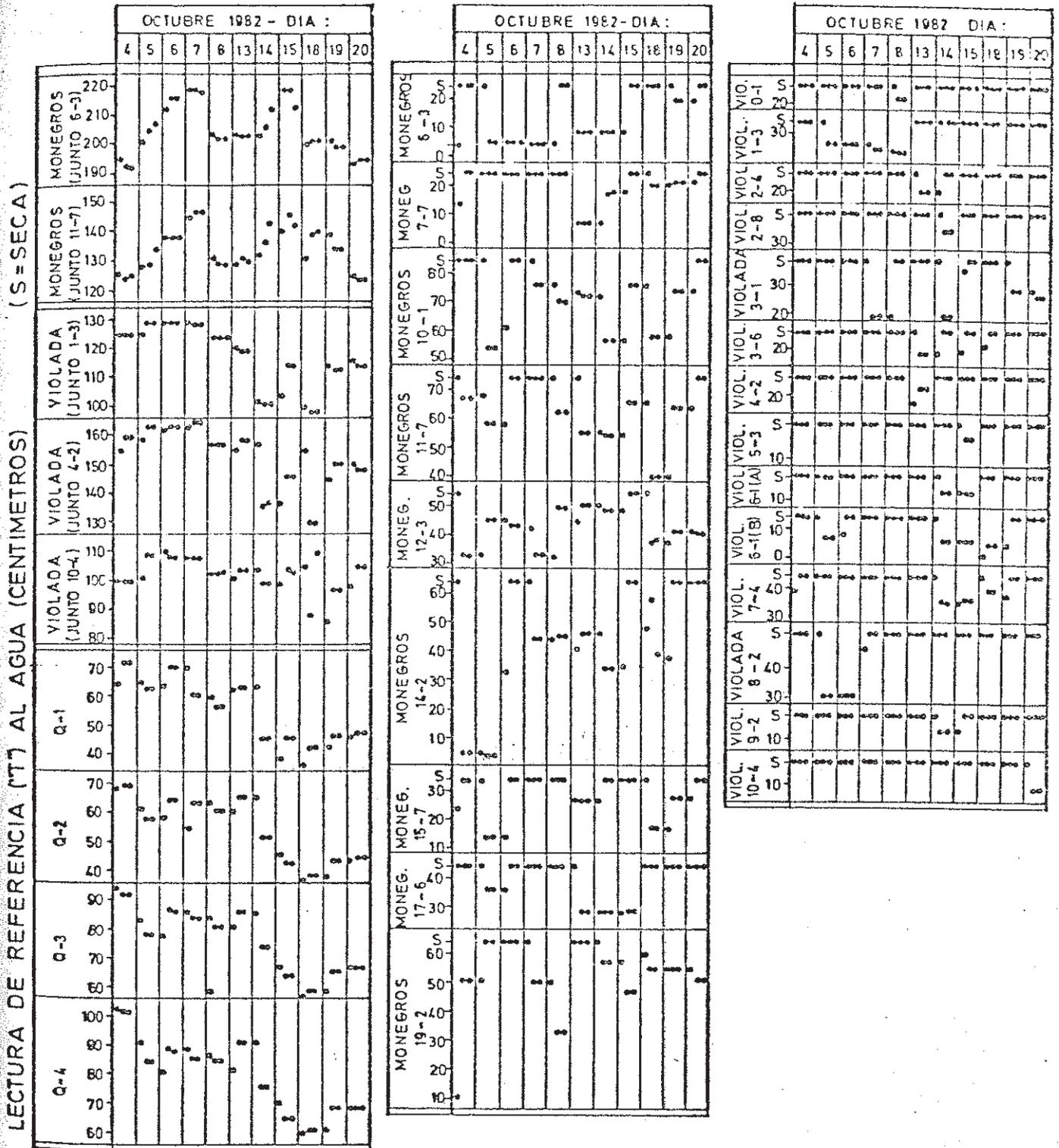


Fig. 4. Variación diaria de la Altura de Agua en los Puntos de Control del Polígono y en los Canales principales. Los tres Puntos de cada Día corresponden a Lecturas realizadas a las 7 de la Mañana y 1 y 6 de la Tarde.

primera lectura del día (a las 7 de la mañana) es a veces cuestionable, pues puede representar el caudal del día anterior si la misma se ha realizado antes de que haya pasado el compuertero para establecer los nuevos caudales solicitados. Puede concluirse por lo tanto que la metodología utilizada es apropiada en este caso, ya que las lecturas se realizaron en general a mediodía o por las tardes.

La Tabla 1 presenta el volumen mensual (ha-m) y volumen unitario ( $m^3/ha$ ) de agua de riego aplicada al Polígono Piloto de La Violada por el canal de Monegros y por las acequias Violada y Q. Asimismo se resumen los aportes para la estación de 'no riego', 'riego' y año hidrológico 1982.

Las superficies de regadío del polígono piloto dominadas por el Canal de Monegros, Acequias de Violada y Q son 2.302,2 ha, 748,2 ha y 862,5 ha o un 58,8 %, 19,2 % y 22,0 % de la superficie total del regadío respectivamente. De la Tabla 1 se deduce que el 54 % del agua aplicada proviene directamente del Canal de Monegros y el 22 y 24 % provienen de las acequias Violada y Q respectivamente. Estas cifras indican un mayor rendimiento del agua aplicada por el Canal de Monegros que por las otras dos acequias. Una de las razones de este rendimiento más alto puede ser la mayor capacidad de sus acequias (ver Fig. 3), que permiten un menor tiempo de aplicación que incrementa la uniformidad y reduce la percolación profunda. Por otro lado, puede observarse que los consumos de agua de riego fueron máximos en los meses de Abril (último riego del trigo), Mayo (pre-riego del maíz) y Julio y Agosto (meses de máxima ET).

Finalmente, aunque el aporte medio unitario de agua fue de

TABLA 1. Consumo mensual de Agua de Riego del Polígono Piloto y de la Precipitación durante el Año hidrológico 1982

M e s	Agua aplicada en riego								Precipitación	
	Monegros		Violada		Q		Total		Año Hidrológico 1981-82	
	m <sup>3</sup> /ha	ha-m	m <sup>3</sup> /ha	ha-m	m <sup>3</sup> /ha	ha-m	m <sup>3</sup> /ha	ha-m	Regadío (ha-m)	Polígono (ha-m)
Octubre 81	782	180,1	850	63,6	1061	91,5	857	335,2	33,3	44,7
Noviembre 81	230	53,0	216	16,1	337	29,1	251	98,2	0,0	0,0
Diciembre 81	40	9,1	37	2,8	262	22,6	88	34,5	348,3	467,8
Enero 82	0	0	0	0	0	0	0	0	58,7	78,8
Febrero 82	0	0	0	0	0	0	0	0	192,9	259,1
Marzo 82	326	75,1	375	28,0	549	47,4	385	150,5	84,5	113,5
Abril 82	1466	337,4	1829	136,8	1435	123,8	1528	598,0	97,0	130,3
Mayo 82	1309	301,3	1617	120,9	1464	126,3	1402	548,5	209,3	281,2
Junio 82	900	207,2	1292	96,7	950	81,9	986	385,8	179,2	249,7
Julio 82	1789	411,8	2308	172,6	1939	167,2	1921	751,6	148,3	199,2
Agosto 82	1196	275,2	1682	125,8	1357	117,0	1324	518,1	228,5	306,9
Septiembre 82	1114	256,5	1139	85,2	1372	118,3	1176	460,0	228,9	307,5
Oct 81-Mar 82 No riego	1379	317,4	1478	110,5	2210	190,6	1581	618,4	717,6	963,9
Abr 82-Sep 82 Riego	7773	1789,4	9867	738,1	8517	734,5	8337	3262,1	1091,3	1465,9
Oct 81-Sep 82 Año Hidrológ.	9152	2106,8	11345	848,6	10727	925,1	9918	3880,5	1808,9	2429,8

9.918 m<sup>3</sup>/ha, esto es, muy próximo a las dosis de riego utilizadas comúnmente en los proyectos de riegos, no debe olvidarse que, como se verá más adelante, la precipitación en ese año hidrológico fue muy importante. En consecuencia, el rendimiento del agua aplicada (entendida esta como la suma de riego y precipitación) fue muy bajo. El efecto de esta ineficiencia del agua aplicada sobre la masa de sales en el efluente del regadío se discutirá más adelante.

Sales. En la Tabla 2 se resumen los análisis efectuados en las aguas de riego; en ella se incluyen también los publicados por el M.O.P.U. en los libros de calidad de aguas para la estación del Canal de Monegros en Almodévar. Además, se analizaron periódicamente los cationes K y Li, que dieron valores constantes de 0,07 y 0 meq/l, respectivamente.

De esta tabla puede deducirse que el agua es de una calidad excelente desde el punto de vista de la salinidad (Aragüés y cols., 1979). Sin embargo, aun cuando el SAR (relación de adsorción de sodio,  $SAR = Na / [(Ca + Mg) / 12]^{1/2}$ , iones en meq/l) es muy bajo (SAR = 0,43), estas aguas pueden presentar ciertos problemas potenciales debido a la baja concentración salina, que puede reducir la conductividad hidráulica del suelo. Afortunadamente la presencia de yeso y calcita en el polígono debe minimizar este problema.

Finalmente, dados los valores bajos de las desviaciones estándar de las medias (Tabla 2) puede concluirse que las características del agua han sido bastante constantes a lo largo del período analizado. Ello es consecuencia del carácter pirenaico del río Gállego, de su bajo grado de contaminación en el punto de detracción del Canal de Monegros y del efecto homogeneizador del Pantano de La Sotonera.

TABLA 2. Calidad del Agua de Riego consumida en el Polígono Piloto de La Violada (I Tramo Canal de Monegros). La primera Serie de Datos se ha recogido de los Libros de Calidad de Aguas del M.O.P.U. y la segunda Serie son Análisis propios

Fecha	TDS <sup>1/</sup> (mg/l)	CE-25°C <sup>2/</sup> (mmho/cm)	Cl meq/l	SO <sub>4</sub> meq/l	HCO <sub>3</sub> meq/l	Na meq/l	Ca meq/l	Mg meq/l
Feb 80	-	0.034	-	-	-	-	-	-
Mar 80	-	0.315	-	-	-	-	-	-
Abr 80	194	0.339	0.50	1.00	1.15	0.34	2.30	1.00
May 80	-	0.358	-	-	1.15	-	-	-
Jun 80	-	0.336	-	-	1.15	-	-	-
Jul 80	-	0.346	-	-	1.15	-	-	-
Ago 80	166	0.316	0.42	0.45	1.15	0.42	2.10	0.90
Sep 80	-	0.309	-	-	1.15	-	-	-
Oct 80	-	-	-	-	-	-	-	-
Nov 80	-	-	-	-	-	-	-	-
Dic 80	192	0.291	-	-	1.25	-	-	-
Ene 81	194	0.398	-	-	1.23	-	-	-
Feb 81	224	0.383	-	-	1.20	-	-	-
Mar 81	216	0.397	-	-	1.15	-	-	-
Abr 81	236	0.313	0.56	0.83	1.08	0.42	2.30	0.90
May 81	214	0.317	-	-	1.13	-	-	-
Jun 81	188	0.319	-	-	1.10	-	-	-
Jul 81	154	0.303	-	-	1.00	-	-	-
Ago 81	184	0.327	0.45	0.59	1.00	0.44	2.20	0.40
Sep 81	150	0.291	-	-	1.00	-	-	-
Oct 81	172	0.293	-	-	-	-	-	-
Nov 81	124	0.280	-	-	-	-	-	-
Dic 81	-	0.291	-	-	-	-	-	-
Ene 82	224	0.315	-	-	-	-	-	-
Feb 82	-	0.304	-	-	-	-	-	-
Mar 82	-	0.321	-	-	-	-	-	-
Abr 82	206	0.323	0.41	0.53	1.35	0.42	2.50	0.50
May 82	-	0.320	-	-	-	-	-	-
Jun 82	-	0.294	-	-	-	-	-	-
Jul 82	184	0.269	-	-	-	-	-	-
Ago 82	-	0.291	0.54	0.49	1.25	0.34	2.61	0.30
Sep 82	-	0.263	-	-	-	-	-	-
<hr/>								
16-7-81	-	0.320	0.52	-	-	0.60	1.29	0.66
17-7-81	-	0.350	0.84	-	-	-	1.50	0.58
20-7-81	-	0.310	0.42	-	-	-	1.45	0.65
31-7-81	-	0.310	0.40	-	-	-	1.54	0.56
14-8-81	226	0.280	0.44	-	-	-	1.40	0.59
31-8-81	-	0.290	0.40	-	-	-	1.42	0.64
15-9-81	171	0.310	0.44	-	-	-	1.39	0.62
30-9-81	-	0.310	0.50	-	-	0.60	1.74	0.71
15-12-81	-	0.690	0.68	-	-	1.05	2.62	2.22
31-12-81	-	0.300	0.34	-	-	0.40	1.41	0.71
30-3-82	-	0.330	0.32	-	-	0.55	2.24	1.02
15-4-82	-	0.340	0.30	-	-	0.55	2.53	1.15
15-5-82	-	0.330	0.28	-	-	0.35	2.37	0.81

$\bar{x} \pm \sigma_n^3/$  190±29 .325±.062 .46±.13 .65±.20 1.15±.09 0.50±.18 1.94±.48 0.79±.40

1/ TDS: sólidos disueltos totales.

2/ CE: conductividad eléctrica.

3/  $\bar{x} \pm \sigma_n$  : media ± desviación estandar.

## PRECIPITACION

### Metodología

Agua. La precipitación del polígono piloto se calculó utilizando los datos pluviométricos de la estación climatológica de la Granja de Almodévar (C.H.E.).

Para el cálculo del volumen aportado mensualmente en ha-m se utilizó la expresión:

$$Q_p \text{ (ha-m/mes)} = P \text{ (mm/mes)} \times 10^{-3} \text{ m/mm} \times A \text{ (has)}$$

donde  $Q_p$  es el volumen de precipitación (ha-m/mes),

$P$  es la precipitación mensual (mm/mes), y

$A$  es la superficie considerada (has)

Los cálculos de precipitación se han realizado para la superficie de regadío (3.913 ha) y para la superficie total del polígono piloto (5.256 ha).

Sales. Mediante un pluviómetro especial de plástico, instalado en la estación climatológica de Almodévar, se recogió el agua de lluvia para la medida de la conductividad eléctrica desde Abril a Diciembre de 1982.

### Resultados

Agua. La pluviometría de este año hidrológico fue similar a la del año medio (493,0 mm). Sin embargo, su distribución mensual fue algo diferente: frente a los valores de 183,4 mm y 278,9 mm de los períodos de no riego y riego del año hidrológico 1982 los del año medio fueron de 237 y 256 mm respectivamente.

El volumen anual de la precipitación sobre el polígono piloto ascendió a 2.430 ha-m. Sin embargo, este valor debe ser considerado con precaución; ya que fue obtenido a partir de un solo pluviómetro. Así, McGowan y cols. (1980), en el estudio del balance de agua de una zona de superficie similar, emplearon una red de 9 pluviómetros y encontraron variaciones en la pluviometría anual entre estaciones del  $\pm 10\%$  respecto al valor medio.

Los coeficientes de escorrentía y evaporación de la precipitación se estimaron en 0,013 y 0,03 respectivamente.

Salas. La Tabla 3 presenta la CE del agua de precipitación y el TDS estimado a partir de ella. Como en el caso de las aguas superficiales, puede observarse también (Fig. 5) una relación de tipo logarítmico entre CE y precipitación ( $CE = a - \ln \text{ precipitación}$ ). De allí que el valor más representativo de la salinidad del agua de precipitación sea la media ponderada. El valor deducido de 51 mg/l es bastante elevado en relación con otros descritos en la literatura (Tanji, 1977), probablemente debido a su contaminación por partículas en suspensión del suelo y por las de la industria de Zaragoza, relativamente próxima al polígono estudiado.

#### AGUA EXTERNA AL POLIGONO ("APORTES LATERALES")

##### Agua

No se ha medido cuantitativamente la cantidad de agua que de forma superficial o subsuperficial penetra en el polígono de sus áreas de circunvalación. Sin embargo, ya se discutió anteriormente la existencia de numerosos desagües que entran en el polígono por debajo de las acequias de Violada, Q y Canal de Monegros, que nor-

TABLA 3 . Calidad del Agua de Precipitación Recogida en la Estación de la Granja de Almodévar. Polígono Piloto de La Violada (I Tramo Canal de Monegros)

<u>Fecha</u>	<u>CE-25°C (mmhos/cm)<sup>1/</sup></u>	<u>TDS (mg/l)<sup>2/</sup></u>	<u>mm</u>
4- 4-82	0.180	115	4.9
16- 4-82	0.060	38	16.0
3- 5-82	0.020	13	8.9
4- 5-82	0.090	58	5.0
15- 5-82	0.080	51	9.7
26- 5-82	0.230	147	1.6
29- 5-82	0.070	45	10.2
6- 6-82	0.082	51	3.0
11- 6-82	0.076	49	25.0
29- 9-82	0.170	109	30.1
22-10-82	0.076	49	74.5
13-11-82	0.042	27	48.4
22-12-82	0.062	40	24.8
<hr/> $X_p$ <sup>3/</sup>	<hr/> 0.0795	<hr/> 51	

1/ CE-25°C : Conductividad eléctrica a 25°C.

2/ TDS : Sólidos disueltos totales estimados de la relación: TDS (mg/l) = 640 CE (mmhos/cm).

3/  $X_p$  : media ponderada =  $\frac{\sum (CE \times mm)}{\sum mm} = \frac{20.824}{262.1} = 0.0795$

### ALMUDEVAR

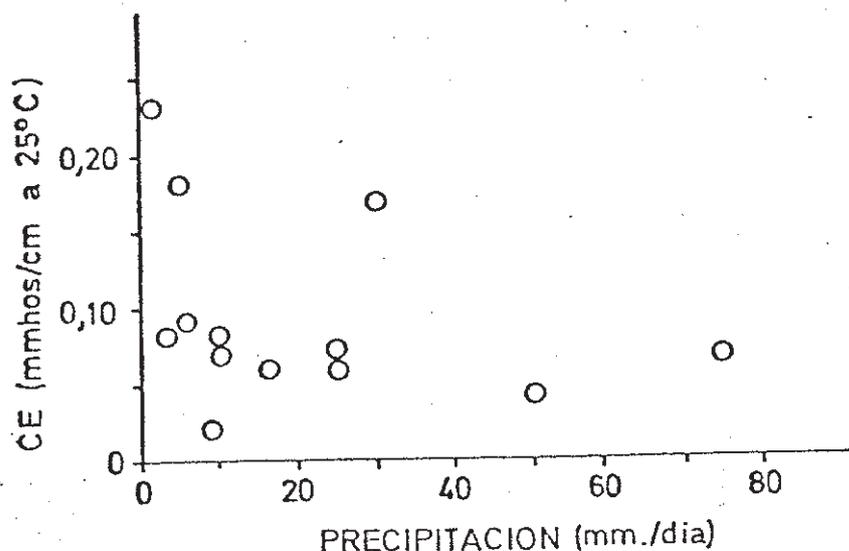


Fig. 5. Relación entre la Precipitación diaria (mm) y su Conductividad eléctrica (µmhos/cm) en la Estación climatológica de Almuévar.

malmente están secos, pero que durante las tormentas pueden representar una importante entrada de agua externa.

A partir de la variación diaria del limnigrama del punto final de desagüe del polígono piloto (punto 14), se estimó que la escorrentía de la precipitación en el total de la cuenca de recepción es en promedio de alrededor de un 2 %.

El aporte de agua externa al polígono se estimó por consiguiente de la expresión:

$$Q_E = \text{Precipitación (0,4623 m)} \times \text{Cuenca de recepción menos regadío (20.542 ha - 3.913 ha)} \times 0,02 = 154 \text{ ha-m}$$

## Sales

En diferentes momentos del año hidrológico analizado se tomaron muestras de agua de los aportes laterales superficiales. El TDS medio de los mismos arroja un valor de 283 mg/l.

Respecto a los aportes laterales subsuperficiales cabe pensar que, por razones geológicas y ausencia de capas freáticas y pozos en la zona, no son muy importantes, aunque debe reconocerse que es ta entrada es una de las de mayor incertidumbre del modelo.

## EVAPOTRANSPIRACION (ET)

### Metodología

Evapotranspiración potencial (ETP): El cálculo de la ETP se hizo a partir de los datos diarios de evaporación del tanque evaporímetro clase "A" (Jensen, 1973) - situado en la estación climatológica de la Granja de Almodévar - por medio del método del tanque evaporímetro (Doorenbos y Pruitt, 1977) mediante la relación:

$$ETP = K_p \times E$$

donde ETP es la evapotranspiración potencial media mensual (mm/día)

Kp es un coeficiente que depende de la situación del tanque clase "A" y que bajo las condiciones existentes - se estimó en 0,75, y

E es la evaporación media mensual de la lámina de agua del tanque evaporímetro clase "A" (mm/día)

Evapotranspiración del regadío (ET<sub>reg</sub>). El cálculo de la ET<sub>reg</sub> se basó en los valores mensuales de ETP, coeficientes de cultivos

y superficies de cada tipo de cultivos de necesidades hídricas similares.

La evapotranspiración real de cada tipo de cultivos del regadío se obtuvo mediante la expresión:

$$ET_{\text{cultivo}} = K_c \times ETP$$

donde  $ET_{\text{cultivo}}$  es la evapotranspiración de los cultivos considerados (mm/mes)

$K_c$  es el coeficiente mensual de los cultivos considerados y  $ETP$  es la evapotranspiración potencial (mm/mes)

Los coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) empleados se obtuvieron de la publicación de la FAO "Crop Water Requirement", Irrigation and Drainage Paper No. 24 y se adaptaron a las condiciones de cultivo del polígono piloto.

En los meses en que la superficie no estuvo ocupada por el cultivo (barbecho) - meses posteriores al cosechado del trigo, cebada y maíz - el consumo de agua de dichas superficies es debido fundamentalmente a la evaporación directa de la superficie del suelo y al uso de agua de la vegetación existente. La estimación del consumo de agua durante estos meses es problemática, ya que depende fundamentalmente del agua almacenada en el suelo, cantidad de lluvia, frecuencia de las mismas y cantidad de malas hierbas que ocupan la superficie del terreno (Penman y cols., 1967). Para realizar dichas estimaciones, se realizó un simple balance de agua en el suelo teniendo en cuenta unas hipótesis de cálculo según las condiciones existentes.

Evapotranspiración del secano ( $ET_{\text{sec}}$ ). Debido a las condiciones semi-áridas existentes en el polígono piloto, la  $ET_{\text{sec}}$  depende

rá fundamentalmente de la frecuencia e intensidad de la precipitación (Van Bavel, 1966). Su estimación se realizó mediante un balance de agua en el suelo considerando una precipitación efectiva de un 93 %.

### Resultados

La Tabla 4 resume los valores de evaporación del tanque "A", ETP,  $ET_{reg}$ ,  $ET_{sec}$  y ET global de la superficie total del polígono piloto ( $ET_{pol}$ ).

La evaporación del tanque clase "A" para el año hidrológico 1982 fue de 1.557,9 mm. Este valor parece muy alto para este tipo de zona, pero sin embargo el viento es muy frecuente y de gran intensidad, lo cual aumenta notablemente la evaporación de la lámina de agua del tanque.

Los valores más altos de ETP ocurrieron en los meses del verano, con el máximo en el mes de Julio (valor medio de 6,12 mm/día). En los meses de verano, la radiación solar y las temperaturas alcanzan los valores máximos, aumentando considerablemente el uso consuntivo de agua de las plantas.

La  $ET_{reg}$  calculada mediante la suma de las ET de las distintas superficies de tipos de cultivos representó un uso consuntivo medio de 721 mm por año; de éste, 188 correspondieron a la estación de no riego y 533 mm a la estación de riego. Estos valores suponen un 59 %, 63 % y 62 % de los valores de la ETP para las estaciones de no riego, riego y año hidrológico 1982 respectivamente.

La  $ET_{sec}$  obtenida a partir del balance de agua en el suelo ascendió a 430 mm para el año hidrológico 1982.



TABLA 4. Datos de Evaporación del Tanque Clase A, de la Evapotranspiración del Regadío (ET<sub>reg</sub>), del Secano (ET<sub>sec</sub>) y Total del Polígono

		Periodo no riego Oct 81-Mar 82	Periodo riego Abr 82-Sept 82	Año Hidrológico Oct 81-Sept 82
EVAPORACION TANQUE "A"	mm/día	2.30	6.20	4.25
	mm acum.	422.6	1135.3	1557.9
ETP método tanque "A"	mm/día	1.73	4.65	3.19
	mm acum.	316.7	852.4	1169.1
REGADIO	ETR ha-m	737.2	2084.6	2821.8
	ETP ha-m	1239.3	3335.5	4574.0
	Km	.59	.63	.62
SECANO	ETR mm	170.6	259.4	430.0
	ETR ha-m	229.1	348.4	577.5
	ETP ha-m	425.3	1144.8	1570.1
	Km	.54	.30	.37
SECANO + REGADIO	ETR ha-m	966.3	2433.0	3399.3
	ETP ha-m	1664.6	4480.2	6144.8
	Km	.58	.54	.55

Sumando mes a mes los valores de ET<sub>sec</sub> y ET<sub>reg</sub> se obtuvieron los valores mensuales de la ET<sub>pol</sub>, que referidos a la unidad de una hectárea del polígono piloto suponen un consumo de un 58 %, 54 % y 55 % de la ETP para los períodos de no riego, riego y año hidrológico 1982 respectivamente. La ET media anual de una hectárea representativa del polígono fue, por lo tanto, de 643 mm.

## AGUA EXPORTADA (DRENAJE SUPERFICIAL)

### Metodología

Agua. El control de los puntos de desagüe se realizó de forma análoga al de las acequias de riego; diariamente (excepto días festivos) se midió la distancia de la superficie libre del agua hasta la señal de referencia, pintada en puentes de sección uniforme en 6 puntos del polígono piloto (Fig. 2).

El caudal medio diario en estos puntos se obtuvo a partir de las curvas de gasto obtenidas en cada uno de ellos. Para los días sin medida, dicho caudal se estimó como media de los valores del día anterior y posterior.

Evidentemente, esta metodología produce errores por el hecho de extrapolar una medida puntual a un período de 24 horas, dado que el caudal no es necesariamente el mismo a lo largo de ese período. Por ello se instaló en el punto 14 (punto que recoge todas las aguas de drenaje del polígono piloto) un limnógrafo (que registra de forma continua la altura de la lámina de agua en el desagüe), a partir del cual puede estimarse el caudal con mayor precisión.

Salas. El control de la salinidad de las aguas de drenaje se realizó en 15 desagües (Fig. 2), con una frecuencia de toma de muestras de una a cinco veces por semana. La medida de la CE se realizó de forma rutinaria, y más esporádicamente se analizaron TDS, pH, Na, K y Li. Finalmente, en la estación 14 se realizaron además análisis completos de 19 muestras tomadas de forma periódica.

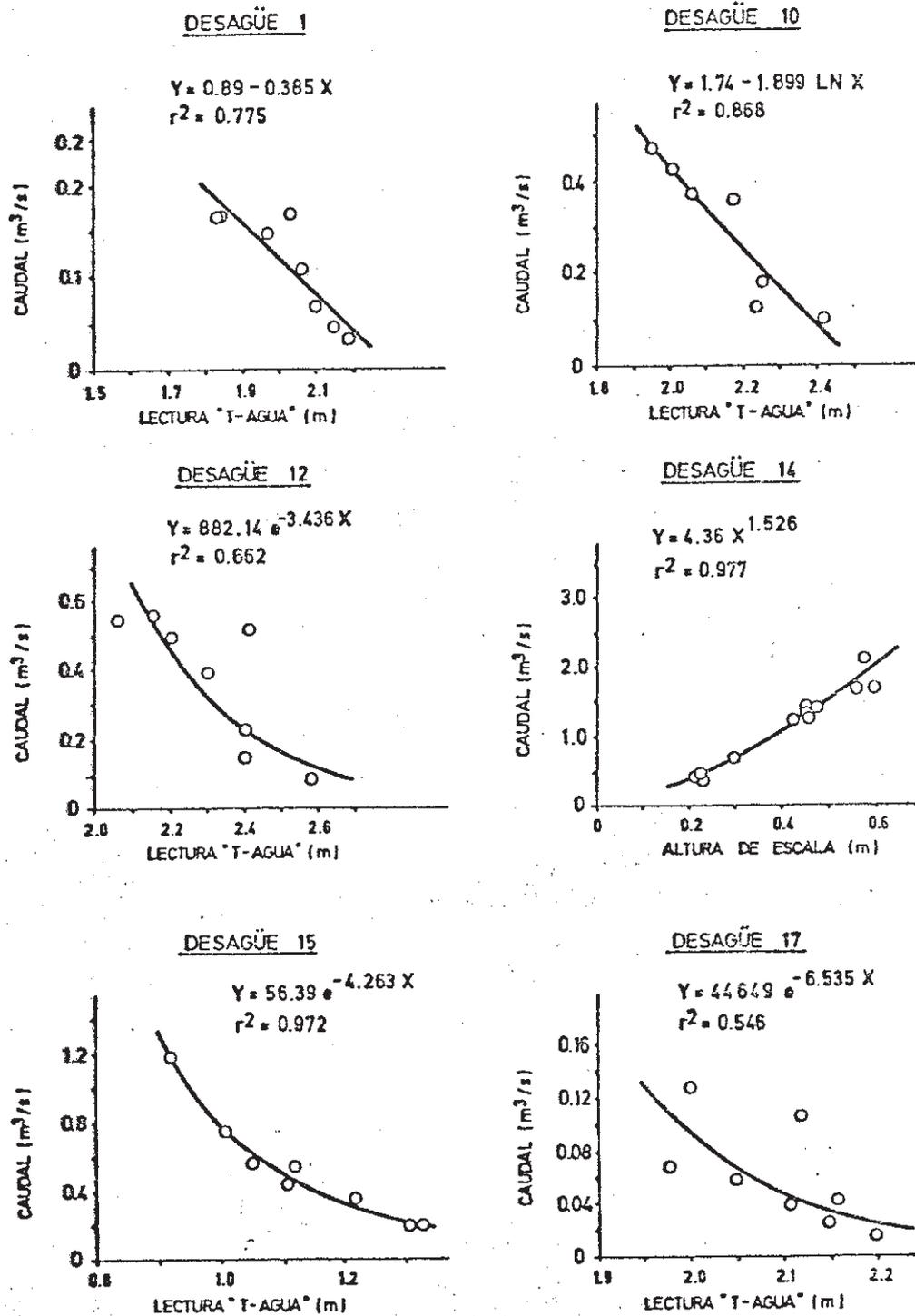


Fig. 6. Curvas de Gasto en los Puntos de Control del Desagüe en el Polígono de Riego. La Curva de Gasto de Punto D14 se obtuvo para Altura de Agua en el Desagüe en vez de Lectura "T-Agua", para la mejor Conversión de Alturas del Limnigrama a Caudales. Los Aforos fueron realizados por Comisaría de Aguas del Ebro.

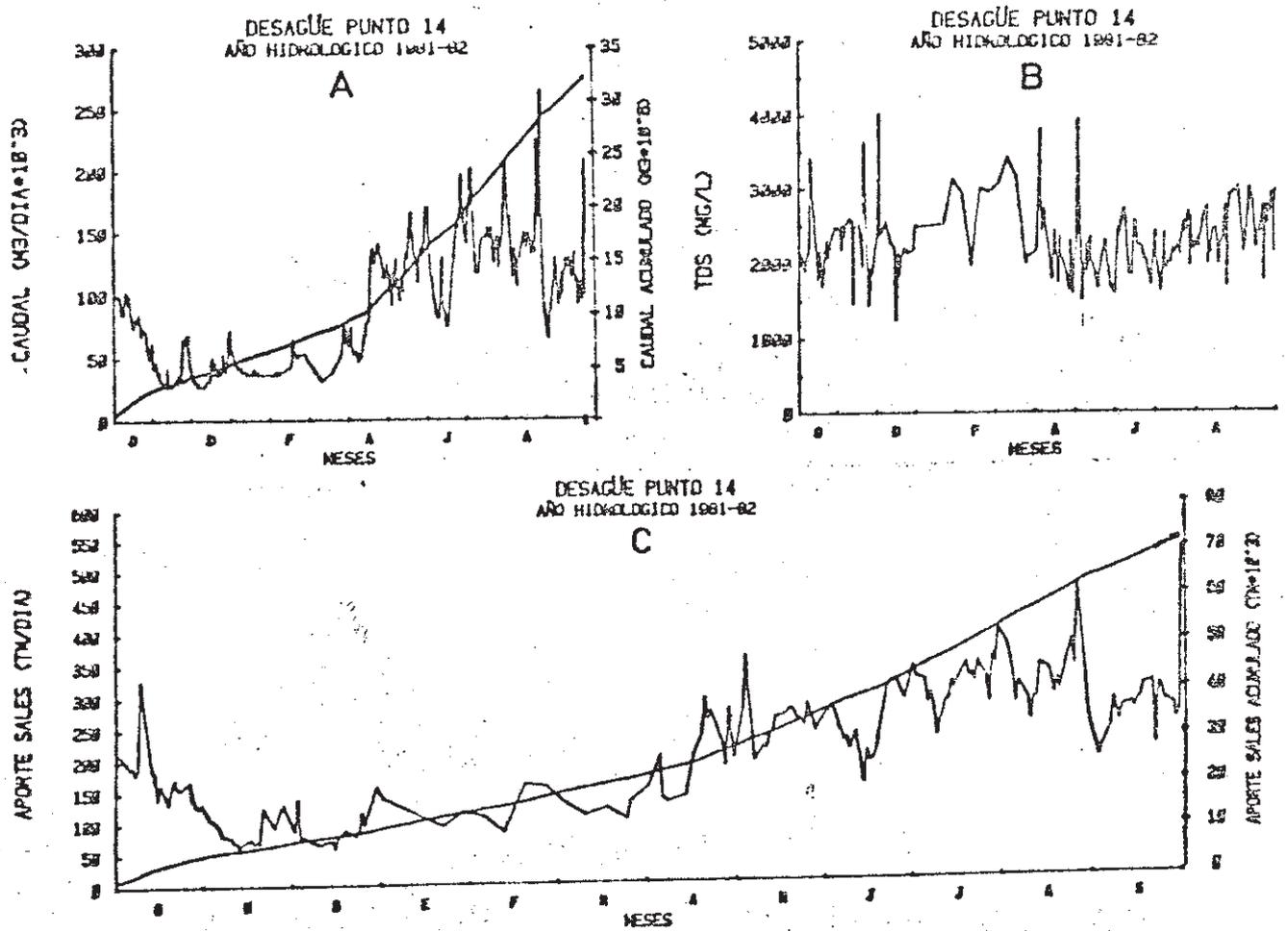


Fig. 7. Caudal (A), Concentración (B) y Masa de Sales (C) de las Aguas de Retorno del Polígono Piloto de La Violada. Año Hidrológico 1982.

## Resultados

Agua. La Fig. 6 presenta las curvas de gasto de las seis estaciones de aforos, a partir de las cuales y de la lectura de T-agua se dedujo el caudal. Puede observarse el elevado coeficiente de determinación de la estación n° 14, que es la utilizada para el cálculo del volumen de agua exportada.

La Fig. 7a presenta la variación estacional del caudal diario y acumulado de las aguas de desagüe (punto 14) del polígono piloto. Puede observarse claramente que durante los meses del período de no riego, el caudal de desagüe es inferior al de los de riego. Así, el caudal medio de desagüe durante el período de no riego fue de 570 l/sg, mientras que en el período de riego ascendió a 1.465 l/sg. Con el inicio de los riegos se observa un abrupto aumento del caudal de desagüe que se puede atribuir a las aguas de cola de las acequias que vierten directamente a los mismos y al drenaje superficial del regadío. El tiempo de respuesta de este último es alto debido a la lentitud del movimiento del agua a través del suelo. El efecto del agua de cola de las acequias se deduce claramente del limnigrama del punto 14, que da una línea plana en los meses sin riego, y ondulada, con un máximo durante la madrugada de cada día, en los meses de riego. Este aumento del caudal de desagüe, correspondiente a la diferencia diaria entre la línea base y la ondulada del limnigrama, se puede atribuir al vertido directo de las aguas de riego en azarbes. La estimación de estas pérdidas dio unas cifras de 22,5 ha-m en el período de no riego y de 216,3 ha-m en el período de riego, las cuales representan un 2,5 % y 9,4 % del caudal de desagüe total para los mismos períodos.

## Sales

Como se indicó anteriormente, la medida rutinaria para la determinación de la salinidad fue la CE. Dado que la entrada de salinidad requerida por el modelo es TDS (sólidos disueltos totales), la misma se estimó de la CE por medio de la ecuación de regresión deducida de 43 muestras de agua de la red de desagües del polígono (Fig. 8).

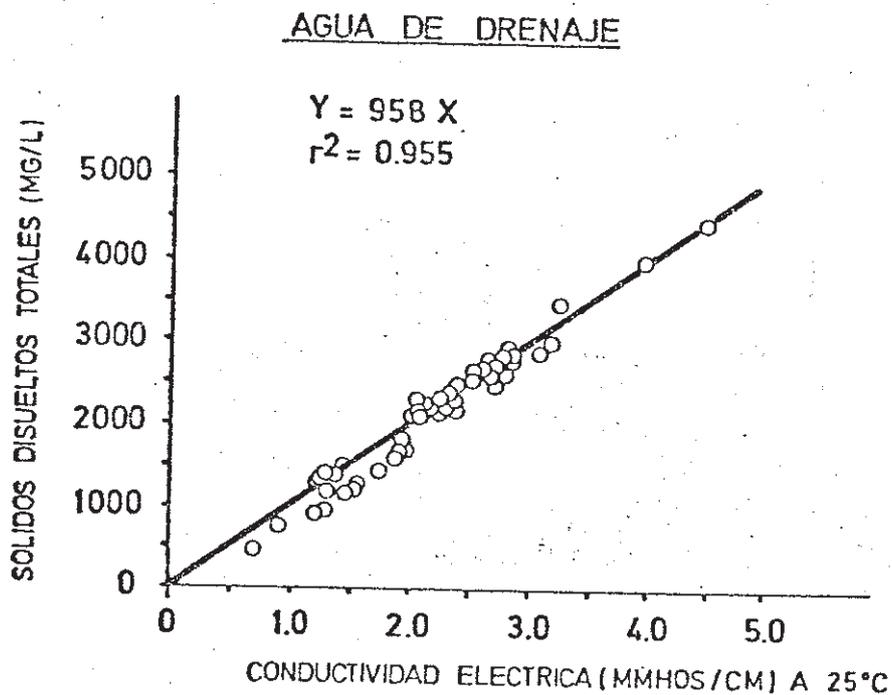


Fig. 8. Relación CE-TDS de las Aguas de Drenaje del Polígono Piloto de La Violada.

Puede observarse que el factor de transformación tiene un valor de 958, sensiblemente superior al valor medio obtenido en otros trabajos (por ejemplo, 631 para la Cuenca del Ebro (capítulo S2-1) ó 640 para las aguas superficiales del Oeste de USA, Richards, 1954). Como se verá más adelante, ello es debido a la elevada proporción de iones sulfato y calcio en las aguas de drenaje que conduce a -

una importante formación de pares iónicos neutros.

La Tabla 5 resume los TDS de los diferentes puntos de control de calidad del polígono piloto. También se analizaron periódicamente los cationes Na, K y Li, cuyos valores fueron bastante constantes (Na entre 2 y 4 meq/l, K entre 0.1 y 0.3 meq/l y Li entre 0.03 y 0.1 meq/l) y no se presentan.

De la Tabla 5 puede concluirse que el polígono es relativamente homogéneo desde el punto de vista de la salinidad de sus aguas de drenaje. Así, el TDS medio del polígono es 2.217 mg/l, con un coeficiente de variación del 22 %. El punto 17 es el único que muestra valores sustancialmente más elevados, debido a la presencia de suelos salinos en su área de recepción, ya mencionados en el capítulo de descriptiva general del polígono. Por otro lado, puede observarse que, en general, los TDS de la estación de no riego son mayores que los de la estación de riego, debido a los aportes de cola de las acequias que, al ser aguas de bajo TDS (190 mg/l) diluyen las aguas de percolación más concentradas.

La Tabla 6 resume los análisis completos efectuados periódicamente en las aguas del punto 14. Pueden observarse de nuevo las bajas desviaciones estandar de las medias, que indican una elevada constancia en la composición de las aguas, así como los valores muy elevados de los iones Ca y, fundamentalmente,  $SO_4$ , que reflejan la percolación del agua a través de perfiles de suelo con elevada proporción en yeso ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ).

A efectos comparativos, en la Fig. 9 se presenta la composición iónica media de las aguas de riego y de drenaje que ilustra claramente el aumento en la proporción de iones  $SO_4$ . Así, si se efectúa el cómputo de sales a partir de las concentraciones de los

TABLA 5. Concentración (sólidos disueltos totales, mg/l) de las aguas de drenaje del Polígono Piloto de La Viñalada (I tramo canal de Monegros). Valores medios para la estación de no riego, riego y año hidrológico 1981-82.

Sólidos disueltos totales, mg/l  
(media  $\pm$  desviación estandar)

Desagüe	Estación no riego	Estación riego	Año hidrológico
1	2576 $\pm$ 314	2172 $\pm$ 121	2308 $\pm$ 311
2	1365 $\pm$ 441	1372 $\pm$ 1229	1369 $\pm$ 912
3	1959 $\pm$ 467	2537 $\pm$ 834	2238 $\pm$ 727
4	2326 $\pm$ 388	2096 $\pm$ 444	2215 $\pm$ 430
5	2515 $\pm$ 364	2401 $\pm$ 525	2459 $\pm$ 450
10	2338 $\pm$ 239	2282 $\pm$ 150	2300 $\pm$ 233
11	2398 $\pm$ 316	2200 $\pm$ 315	2302 $\pm$ 330
12	2495 $\pm$ 295	2245 $\pm$ 126	2312 $\pm$ 298
13	2516 $\pm$ 409	2243 $\pm$ 321	2384 $\pm$ 393
14	2485 $\pm$ 256	2190 $\pm$ 172	2273 $\pm$ 274
15	1972 $\pm$ 317	1768 $\pm$ 98	1833 $\pm$ 276
16	1557 $\pm$ 500	1423 $\pm$ 923	1493 $\pm$ 735
17	3798 $\pm$ 554	3401 $\pm$ 96	3491 $\pm$ 471
18	2529 $\pm$ 420	2465 $\pm$ 718	2497 $\pm$ 587
19	1800 $\pm$ 341	1758 $\pm$ 377	1780 $\pm$ 358

TABLA 6. Calidad de las Aguas de Drenaje del Punto 14. Polígono Piloto de La Viola.  
(I Tramo Canal de Monegros)

Fecha	pH	TDS <sup>1/</sup> (mg/l)	CE-25°C <sup>2/</sup> (mmhos/cm)	Cl <sup>-</sup> meq/l	SO <sub>4</sub> meq/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq/l	Na meq/l	Ca meq/l	Mg meq/l
31- 7-81	7.94	2195	2.25	1.70	34.67	1.11	3.37	19.01	9.96
14- 8-81	7.65	-	2.33	1.70	32.00	1.21	3.37	18.99	10.33
31-8 -81	8.08	-	2.37	1.70	32.00	1.02	3.02	18.89	9.07
15- 9-81	8.17	-	2.37	1.60	29.34	1.24	3.07	18.22	8.77
30- 9-81	7.98	-	2.33	1.90	34.67	0.87	4.20	18.80	10.26
1-10-81	8.10	-	2.35	1.80	30.67	1.02	3.07	18.61	8.66
2-11-81	7.79	-	2.64	-	37.34	0.94	3.04	20.76	11.21
16-11-81	7.71	2520	2.79	2.10	33.33	2.09	4.42	19.10	10.61
30-11-81	7.85	-	2.45	1.90	30.67	1.12	4.07	17.23	10.07
1-12-81	8.03	-	2.51	1.90	30.00	1.17	3.57	17.38	10.54
15-12-81	8.26	1174	1.33	1.10	13.80	1.98	2.55	7.58	4.82
31-12-81	7.99	-	2.71	2.40	32.00	2.01	5.00	17.65	11.63
30- 2-82	7.88	-	1.78	1.30	19.60	3.61	3.07	15.23	6.60
11- 3-82	7.83	-	2.87	2.40	36.00	4.28	5.40	23.67	12.14
18- 3-82	8.26	-	2.59	2.10	29.34	2.92	4.70	19.93	11.16
25- 3-82	8.33	-	2.00	1.60	21.34	1.64	3.20	14.58	6.80
1- 4-82	8.33	-	2.10	1.70	22.00	3.17	3.75	17.06	8.24
15- 4-82	8.00	-	2.20	1.60	22.67	2.20	-	17.18	7.11
14- 5-82	8.08	-	1.92	1.30	23.60	1.35	-	15.66	7.09
$\bar{x} \pm \sigma_n$ <sup>3/</sup>	8.01±0.20	-	2.31±0.36	1.77±0.34	28.69±6.20	1.84±0.97	3.69±0.78	17.67±5.10	9.22±1.94

1/ TDS: Sólidos disueltos totales.

2/ CE: Conductividad eléctrica.

3/  $\bar{x} \pm \sigma_n$ : media ± desviación estandar.

POLIGONO PILOTO DE LA VIOLADA (I TRAMO CANAL MONEGROS)

COMPOSICION IONICA MEDIA DE LAS AGUAS (%)

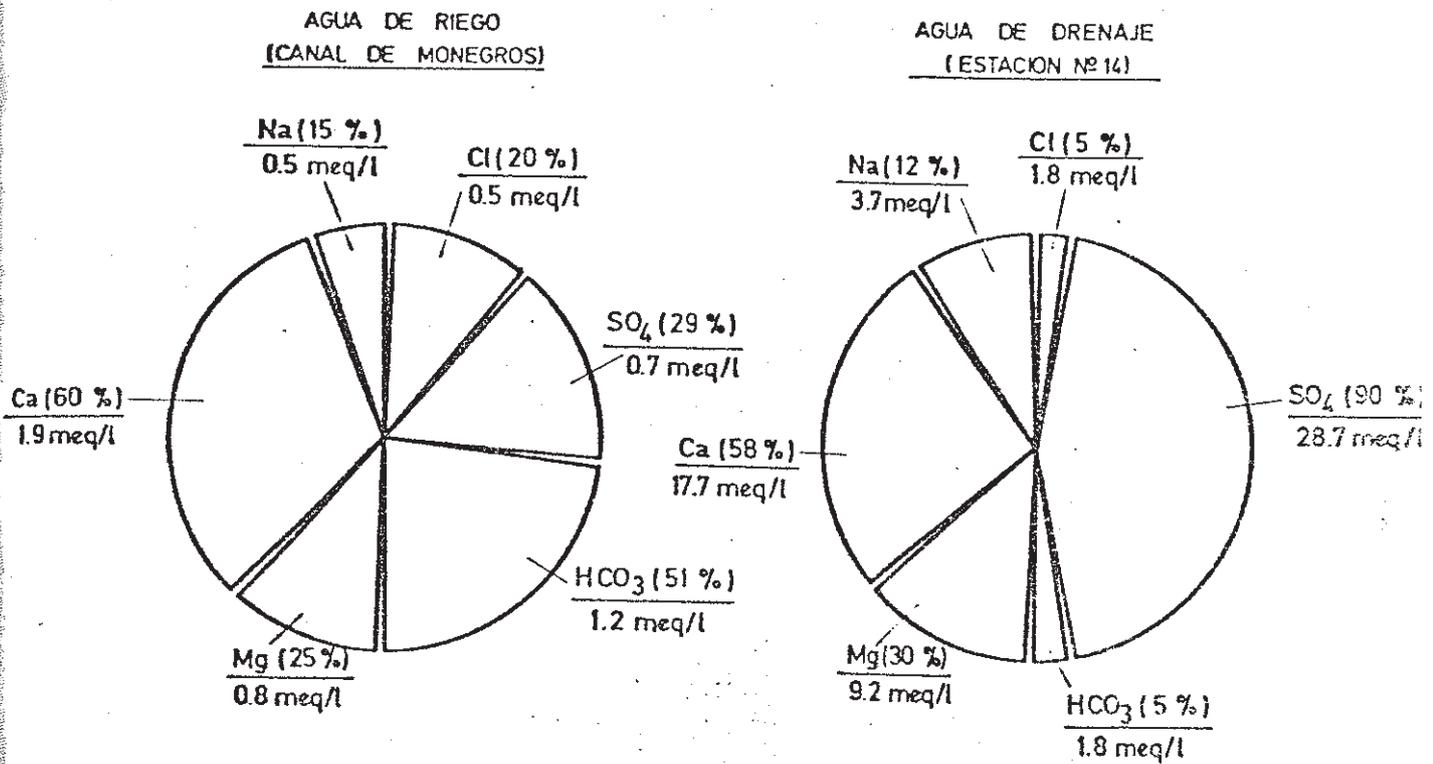


Fig. 9. Composición iónica media de las Aguas de Riego y de Drenaje del Polígono Piloto de La Violada.

distintos iones (Aragüés y Alberto, 1978) se obtiene la Tabla 7. En ella puede apreciarse la elevada concentración del  $\text{CaSO}_4$  y  $\text{MgSO}_4$  en las aguas de drenaje. De la comparación de la columna 3 (Agua de drenaje) con la columna 4 (que es una estimación del agua de drenaje "teórica" si la misma fuera sólo consecuencia del factor de concentración del agua en el suelo) se deduce, con todas las limitaciones de este tipo de análisis, la presencia importante de  $\text{CaSO}_4$  y  $\text{MgSO}_4$  en el perfil del suelo ( $D < Dt$ ). Estas estimaciones concuerdan de forma muy satisfactoria con resultados posteriores.

Finalmente, a partir de los caudales y TDS medidos en las aguas de drenaje, pueden calcularse las toneladas de sal exportadas por cada uno de los desagües. A efectos ilustrativos, en la Fig. 7 se presenta la evolución de estas tres variables durante el año hidrológico 1982 y en la <sup>¿dónde?</sup> Tabla 8 se resumen los valores medios para las 6 estaciones de control (ver su localización en el mapa de la Fig. 2). Los valores medidos en el desagüe 14 para el año hidrológico 1982 son los que se utilizarán posteriormente para la calibración del modelo conceptual hidrosalino.

#### Otras Entradas y Salidas de Agua y Sal

Agua del suelo. La descripción de los suelos del polígono se presentó en un capítulo anterior. Para cada uno de estos tipos se determinó su capacidad de retención de agua, obteniéndose un valor medio ponderado de 0,36 m/m. Por otro lado, se determinó la profundidad media de raíces en el polígono (considerando fundamentalmente los cultivos implantados), que dio un valor de 0,75 m. A partir de estos datos y de medidas de humedad del suelo se obtuvo una cifra -

TABLA 7. Cómputo de Sales de las Aguas de Riego y Drenaje  
(meq/l)

	Agua Riego (R)	Agua Drenaje (D)	Agua Drenaje Teórico (Dt)*
NaCl	0.43	1.73	1.73
Mg <sub>2</sub> Cl	0.13	0	0.52
Ca <sub>2</sub> Cl	0	0	0
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	2.07	0
MgSO <sub>4</sub>	0.52	9.50	2.08
CaSO <sub>4</sub>	0.27	16.41	1.08
NaHCO <sub>3</sub>	0	0	0
Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0	0	0
Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1.39	1.79	5.56

$$*Dt = \frac{NaCl(D)}{NaCl(R)} R = \frac{1.73}{0.43} R = 4R$$

de agua en el suelo de 841 ha-m. Dado que la calibración se ha -  
efectuado para el año hidrológico, se asumirá que el contenido ini-  
cial y final de agua en el suelo es el mismo.

Disolución de sales por escorrentía. Dados los valores tan pe-  
queños de la escorrentía del riego y de la lluvia, esta variable -

no tiene mayor significación en la calibración del modelo. En ambos casos, se considera que las aguas de escorrentía disuelven 20 mg/l de sal.

(Disolución-precipitación) sales por efecto del agua de riego.

La Fig. 10 presenta los resultados de la aplicación del modelo de Oster y Dell'Osso al agua de riego del polígono piloto. Considerando una fracción media de lavado de 0,4 y una presión parcial de  $\text{CO}_2$  entre  $10$  y  $3,5 \times 10^{-4}$  atm se obtiene una precipitación de sales de 0,04 g por litro de agua de riego aplicada, esto es, 1.552 toneladas para las 3.881 ha-m de riego del año hidrológico 1982.

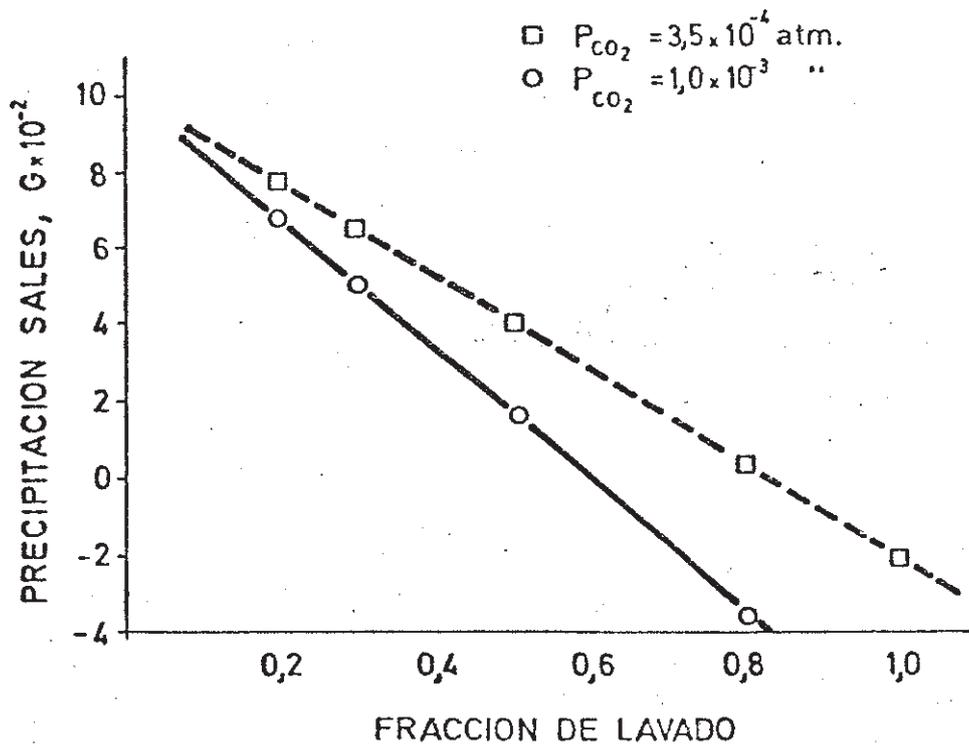


Fig. 10. Precipitación de Sales del Agua de Riego en Función de la Fracción de Lavado y la Presión parcial de  $\text{CO}_2$ .

De esta Fig. puede deducirse asimismo el importante efecto de la fracción de lavado, de tal manera que para una  $P_{\text{CO}_2} = 1 \times 10^{-3}$  atm, fracciones de lavado superiores a 0,6 producen la disolución

del  $\text{CaCO}_3$  del suelo, aumentando en consecuencia la masa de sales de los efluentes.

Conductividad eléctrica del extracto saturado ( $\text{CE}_e$ ). Para cada uno de los tipos de suelo descritos anteriormente se determinó la  $\text{CE}_e$  por el método usual (Richards, 1954), arrojando un valor medio ponderado para el regadío del polígono de 2,21 mmhos/cm a 25°C. El porcentaje de saturación medio de estos suelos es de 46,9 % en peso, esto es, 2.069 ha-m para el conjunto del regadío del polígono.

Yeso. Análogamente, se determinó el contenido de yeso para cada tipo de suelo y se obtuvo una media ponderada para el polígono igual a 1,52 millones de toneladas.

#### EFICIENCIA DE RIEGO, FRACCIÓN DE LAVADO Y SALINIDAD

La Fig. 11 resume los valores mensuales de los principales componentes del balance hídrico del regadío del polígono piloto. De dichos datos puede concluirse que la eficiencia media de aplicación del riego en el polígono, calculada como la fracción entre la evapotranspiración real del polígono (ETR) y la cantidad de agua de riego (Jensen, 1967), fue de 0,73 para el año hidrológico 1982. Sin embargo, si se considera la precipitación como un aporte análogo al riego, la eficiencia quedaría reducida a 0,50. Eerie (1968), en regadíos del Oeste de U.S.A., encontró unos valores de la eficiencia del riego en parcela del orden del 60 %, similares a las obtenidas en este trabajo.

Estos valores de la eficiencia del riego indican que existen

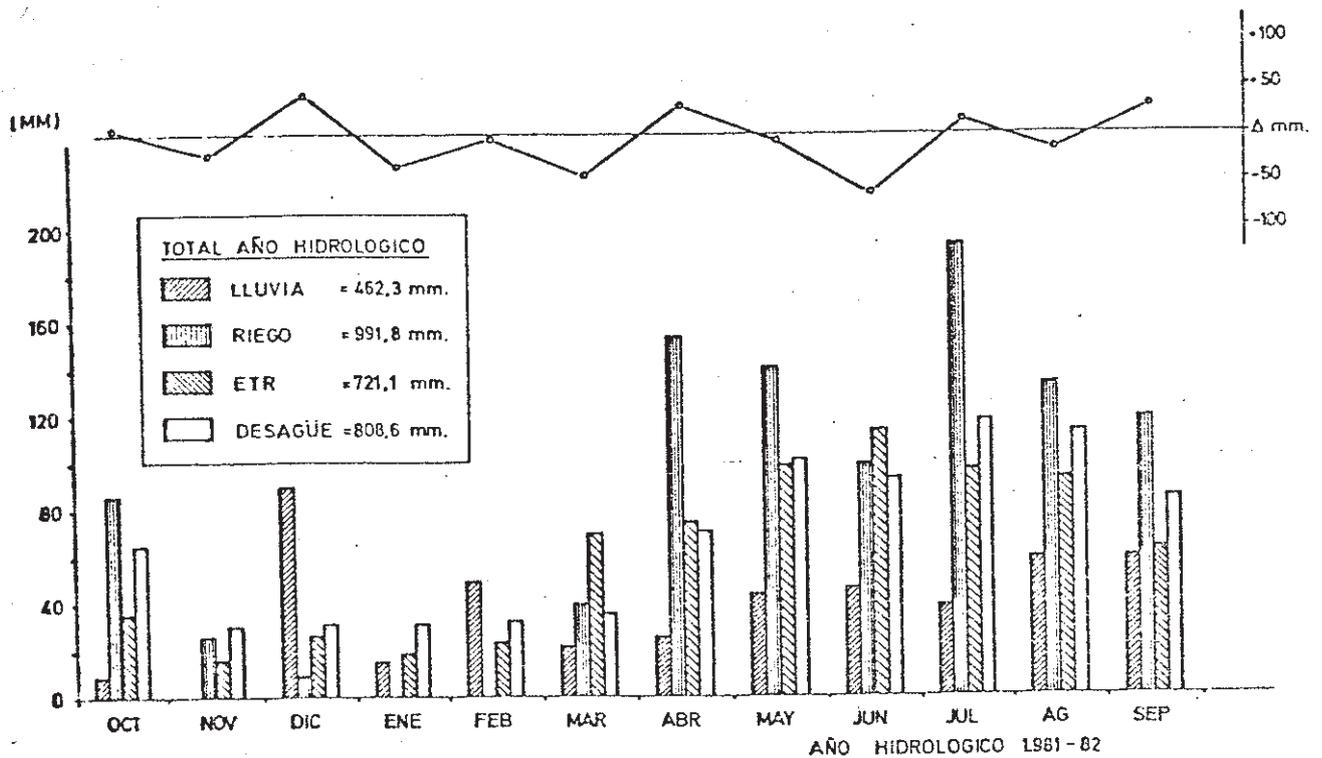


Fig. 11. Componentes del Balance Hídrico del Regadío del Polígono Piloto. Valores mensuales de Lluvia, Riego, Evapotranspiración real del regadío ( $ET_{reg}$ ) y Desagüe. La Línea representa el Valor del Balance mensual (Lluvia + Riego -  $ET_{reg}$  - Desagüe).

unas pérdidas de agua de riego que son debidas fundamentalmente a escorrentía en la aplicación del riego, vertido directo del agua de riego a los desagües, drenaje superficial y percolación profunda. Ya se mencionó que debido a las características de las parcelas, las pérdidas por escorrentía en la aplicación del riego son prácticamente nulas. Por otro lado, el vertido anual de aguas de cola fue de 238,8 ha-m, lo cual supone un 6,2 % del agua de riego. Finalmente, aunque la percolación profunda es de muy difícil estimación, por las condiciones geológicas del polígono, se puede considerar muy pequeña (el 5 % del agua total del suelo). Por lo tanto, la mayor parte de estas pérdidas corresponderían a aguas de

drenaje superficial.

Los valores del balance mensual de las aguas superficiales (Fig. 11) indican que existió una uniformidad de resultados con una variación de  $\pm 60$  mm. El balance anual fue de  $-75,5$  mm, que representan un volumen de  $295$  ha-m. De este volumen se estimó que  $154$  ha-m correspondía a aportes externos, y por tanto el resto ( $141$  ha-m) podría provenir de filtraciones de canales y/u otras fuentes difusas.

La eficiencia de riego utilizada en el modelo hidrosalino sólo incluye las pérdidas por escorrentía superficial y tomó un valor de  $0,94$ .

Por otro lado, el hecho de que en los meses de Noviembre y Enero el agua exportada por los desagües supere al agua aplicada (riego + precipitación) (esto es, 'agua exportada/agua aplicada'  $> 1$ , Figura 12) indica que los aportes de filtraciones de canales y aportes laterales provenientes de la cuenca de recepción del polígono son de mayor importancia relativa en estos dos meses.

De la Fig. 12 puede deducirse que, para la estación de 'riego', la relación media 'agua exportada/agua aplicada' es de  $0,48$ . Si se asume que no ha habido percolación profunda, esta cifra representaría la fracción de lavado media para esa estación (LF). Si, por otro lado, se asume que el desagüe en los meses de Noviembre, Diciembre y Enero ( $120$  ha-m/mes) representa la línea base del caudal debida básicamente a aportes difusos (filtraciones de canales, aportes laterales, etc.), la fracción de lavado media sería de  $0,33$ .

Otra forma de estimar la fracción de lavado (ET) es a través

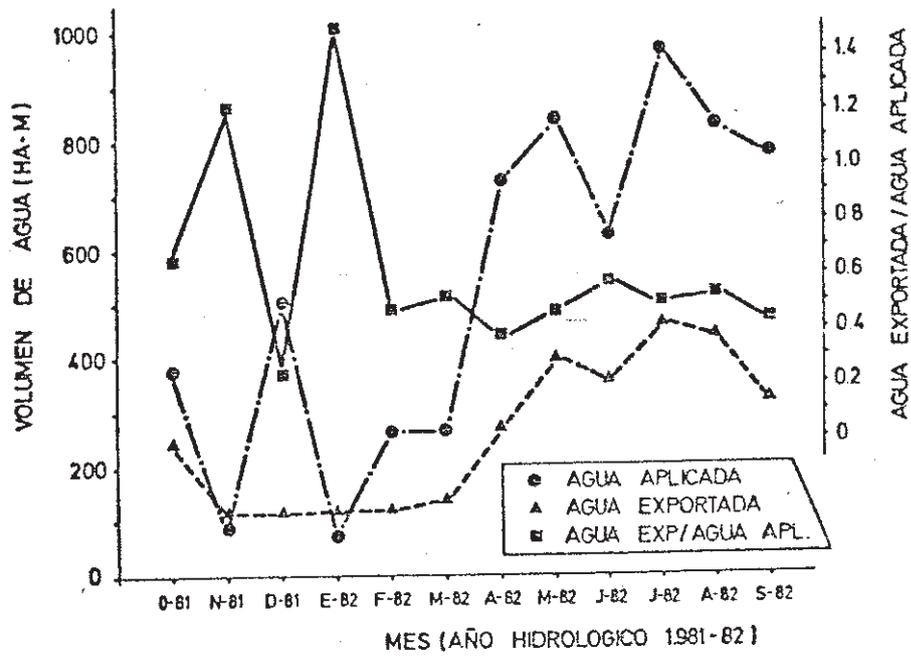


Figura 12. Relación entre el Volumen de Agua exportado y el Volumen total de Agua aplicado (Riego más Precipitación) al Polígono Piloto de La Violada (I Tramo del Canal de Mo-negros).

de la relación  $C1$  agua riego/ $C1$  agua de drenaje, puesto que se asu-me que este anión es inerte, esto es, no precipita ni reacciona con la matriz del suelo (Jury y cols., 1978). Tomando como agua de drenaje la del punto 14, la LF sería:

$$C1 \text{ agua riego} / C1 \text{ agua drenaje} = 0,46 / 1,77 = 0,26$$

Puede observarse que, a pesar de las limitaciones de este análisis - fundamentalmente derivadas de la variabilidad espacial y temporal del polígono en estudio - el valor de la LF es del mismo

orden de magnitud que el estimado de los volúmenes de agua aplicada y exportada (procedimiento más fiable de acuerdo con la metodología utilizada), lo cual demuestra la estrecha relación existente entre el manejo del agua y la salinidad de las aguas de drenaje.

A efectos de establecer la contribución relativa del regadío en la salinidad de las aguas, es ilustrativo comparar los aportes medios de la Cuenca del Ebro con los obtenidos en el polígono de riego en estudio: mientras el aporte medio de sales de la Cuenca del Ebro es de 104 mg de sal por  $m^2$  de superficie y por mm de precipitación (ver capítulo de balance de masas de la Cuenca del Ebro), el aporte del polígono en consideración es de 1.260 mg por  $m^2$  y por mm de precipitación y riego, esto es, unas doce veces superior al valor medio de la Cuenca. Si esta última cifra se expresa por unidad de superficie, puede concluirse que cada ha de regadío aporta 18 toneladas de sal por año hidrológico, cifra extraordinariamente elevada derivada de la presencia de yeso en el perfil y de un bajo rendimiento del agua aplicada.

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, el aumento en la eficiencia del uso del agua debe pasar por (a) una minimización de las filtraciones de los canales, (b) una reducción de los vertidos de cola de las acequias, modificando el sistema de gestión o automatizando la apertura y cierre de tajaderas, (c) un diseño apropiado de la red que tenga en cuenta el tamaño de las parcelas y las características de suelo, (d) un mayor rendimiento del riego, a través de la implantación del riego a la demanda y el cobro adecuado del coste del agua, y (e) un calendario de riegos (considerando los valores de ET, precipitación y clima) que permita la aplicación del riego en el momento preciso y en la cantidad

adecuada.

#### AGRADECIMIENTOS

- A I.R.Y.D.A. por su ayuda en personal para la recogida de datos de campo.
- A la Confederación Hidrográfica del Ebro por su ayuda en la toma de datos climatológicos y aforos de las acequias de riego.
- A los Sindicatos de Riegos de Almodóvar y Tardienta.
- A la Comisaría de Aguas del Ebro por la instalación del limnógrafo y aforos de los desagües.

## LISTA DE REFERENCIAS

- Aragués, R. y Alberto, F. (1978). "El Proceso de Recuperación de dos Suelos salinos de la Depresión media del Ebro. II. Dinámica de las Sales durante el Lavado". An. Est. Exp. Aula Dei, 14 - - (1/2), 245-258.
- Aragués, R.; Alberto, F.; Cuchi, J.A. y Machín, J. (1979). "Calidad del Agua para el Riego. I: Criterios Generales". ITEA, 37. 3-17.
- Doorenbos, J. y Pruitt, W.O. (1977). "Crop Water Requirements". - FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 24. FAO. Roma. 144 p.
- Erie, L.J. (1968). "Management: A Key to Irrigation Efficiency". Journal of the Irrigation and Drainage Division. ASCE, Vol. 94, No. IR3, 285-293.
- Hornsby, A.G. (1973). "Prediction Modeling for Salinity Control in Irrigation Return Flows". U.S. Environmental Protection Agency. Environmental Protection Technical Series, EPA-R2-73-168, 55 p.
- Jensen, M.E. (1967). "Evaluating Irrigation Efficiency". Journal - of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, Vol. 93, No. IR1, 83-98.
- Jensen, M.E. (1973). "Consumptive Use of Water and Irrigation Water Requirements". American Society of Civil Engineers. New York. - 215 p.
- Jury, W.A.; Frenkel, H. y Stolzy, L.H. (1978). "Transient Changes in the Soil-water System from Irrigation with Saline Water: I. Theory". Soil Sci. Soc. Am. J., 42, 579-585.

- McGowan, M.; Williams, J.B. y Monteith, J.L. (1980). "The Water Balance of an Agricultural Catchment. III. The Water Balance". Journal of Soil Sci., 1980, 31, 245-262.
- Oosterveld, M.; MacMullin, R.W. y Toogood, J.A. (1978). "Return Flow and Soil Salts in two Drainage Basins". Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, Vol. 104, No. IR4, 361-371.
- Penman, H.L.; Angus, D.E. y Van Bavel, C.H.M. (1967). "Microclimatic Factors affecting Evaporation and Transpiration". En Irrigation of Agricultural Lands. Ed. Hagan R.M., Haise H.R. y Edminster T.W. Agronomy, No. 11. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.
- Richards, L.A. (1954). "Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils" U.S.D.A. Agric. Handbook, No. 60, 160 p.
- Tanji, K.K. (1977). "A conceptual Hydrosalinity Model for predicting Salt Load in Irrigation Return Flows". En Managing saline Water for Irrigation. Ed. Dregne, H.E. Texas Tech. Univ. Lubbock, 49-65.
- Tanji, K.K. (1981). "California Irrigation Return Flow Case Studies". Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, Vol. 107, No. IR2, 209-219.
- Van Bavel, C.H.M. (1966). "Potential Evaporation: The Combination Concept and its Experimental Verification". Water Resources Research. 2 (3), 455-467.