

# **NUEVOS DATOS SOBRE EL PROCESO: SALINIZACION-DESALINIZACION DEL ACUIFERO ALUVIAL DE RIO VERDE (ALMUÑECAR)**

## **1. Introducción**

## **2. Datos de partida**

## **3. Tratamiento de datos**

## **4. Evolución de la salinidad**

### **4.1. Comportamiento general**

### **4.2. Salinización de 1982**

### **4.3. Desalinización de 1983**

### **4.4. Salinización de 1983**

### **4.5. Desalinización de 1984**

### **4.6. Salinización de 1984**

### **4.7. Desalinización de 1985**

### **4.8. Salinización de 1985**

### **4.9. Desalinización de 1985**

### **4.10. Salinización de 1986**

### **4.11. Desalinización de 1987**

### **4.12. Salinización de 1987**

### **4.13. Desalinización de 1988**

## **5. Conclusiones**

## **Bibliografía**

**NUEVOS DATOS SOBRE EL PROCESO: SALINIZACION-DESALINIZACION  
DEL ACUÍFERO ALUVIAL DE RIO VERDE (ALMUÑÉCAR)**

R. Fernández-Rubio  
Cátedra de Hidrogeología. E.T.S. Ingenieros de Minas de Madrid

M. Jalón Morente  
Farmacéutico Titular. Almuñécar, Granada

## **1. INTRODUCCION**

El acuífero aluvial del río Verde presenta una dinámica muy peculiar, en el proceso de intrusión del agua de mar, que hemos descrito en trabajos anteriores.

El funcionamiento, que hemos definido como tipo "pistón", es inusual en el proceso al que nos referimos, ya que lo habitual es que, cuando se produce la intrusión, el agua salobre o salada intruida permanezca en el acuífero, y la recuperación de su calidad original no se vuelva a conseguir, o requiera muchos años para llegar a aproximarse a ella.

En el caso que nos ocupa se sigue un ciclo anual muy patente, de intrusión-extrusión, cuyo seguimiento venimos haciendo (MJM), a partir del control hidroquímico de aguas bombeadas. En este trabajo presentamos los últimos datos adquiridos, que añaden algún aspecto de sumo interés para el futuro de este acuífero.

## **2. DATOS DE PARTIDA**

El abastecimiento de agua, de la población urbana de Almuñécar, se realiza en buena parte a partir de tres sondeos, perforados en el acuífero aluvial, que lo atraviesan totalmente, con profundidades del orden de 56 m, y que se ubican en una sección transversal a dicho aluvial (figura 1), localizada a unos 1.200 m de la línea de costa, y que se ubican entre otras captaciones destinadas, prioritariamente, al regadío. El caudal de explotación de cada sondeo del Ayuntamiento es del orden de 60 l/seg.

De estas aguas, bombeadas del acuífero, se facilitan por el Ayuntamiento muestras para su análisis (MJM), aunque en los periodos de intrusión más intensa esta entrega no se hace con la frecuencia que sería deseable e, incluso, deja de hacerse en los últimos años. No obstante, la serie de datos supone el registro disponible más largo y completo, para el seguimiento de la calidad de estas aguas. En este trabajo nos vamos a ocupar del control del ion  $Cl^-$ , en dichas muestras.

El otro dato de control, que vamos a utilizar es el correspondiente al registro de precipitaciones en este entorno. Incomprendiblemente no existe en la actualidad una estación meteorológica en Almuñécar, desde que dejara

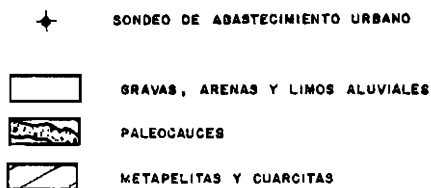
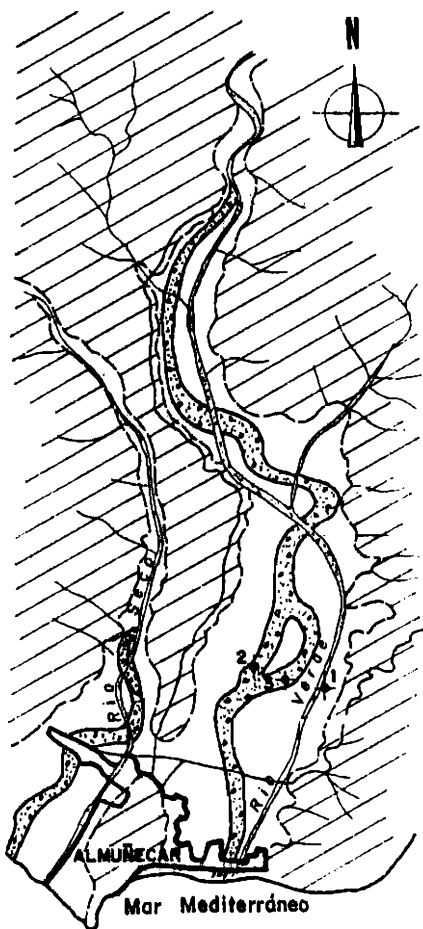


Figura 1. Localización de los sondeos de abastecimiento a Almuñécar.

de funcionar la del Rancho California. Si existen una serie de pluviómetros, a nivel privado, que adolecen a veces de defectos de instalación o de lagunas de registro.

En este trabajo partimos del control de lluvias realizado por uno de los firmantes (MJM), en el propio casco urbano de Almuñécar.

### 3. TRATAMIENTO DE DATOS

La información anteriormente reseñada la tenemos almacenada (RFR) en un banco de datos, que incluye mucha otra documentación, relativa a pluviometría, bombeos, piezometría y quimismo de este sistema acuífero.

Todos estos datos son susceptibles de tratamientos informáticos muy diferentes, con una colección muy completa de programas de ordenador, con salidas gráficas, creados por S. y J. Fernández Lorca.

En este artículo, y como ya hemos mencionado, vamos a destacar los aspectos más significativos, relacionados con el comportamiento de la salinización, en función sólo de los parámetros: precipitación en Almuñécar - contenido en Cl<sup>-</sup> de los sondeos P1, P2 y P3, del Ayuntamiento de Almuñécar.

Para un mejor seguimiento vamos a trabajar sobre gráficos: tiempo-cloruros (en escala decimal y semilogarítmica) y tiempo-lluvias (en escala decimal).

### 4. EVOLUCION DE LA SALINIDAD

#### 4.1. Comportamiento general

La evolución de este parámetro se puede seguir bien en base al comportamiento del ion Cl<sup>-</sup>. La representación en escala decimal (figura 2) para las aguas bombeadas de dichos sondeos, desde octubre de 1982, aporta una

valiosa información relativa al quimismo de este acuífero.

Lo primero que destaca es el carácter rítmico de las variaciones del ion Cl<sup>-</sup>. Cada año, en julio-agosto, se inicia el incremento de salinidad, coincidente con el periodo de estiaje (a veces muy prolongado a lo largo de primavera-verano), y con la intensificación de las extracciones de agua para abastecimiento y regadíos.

El máximo se alcanza, habitualmente, hacia mitad de noviembre, y coincide con:

- episodios lluviosos (más o menos intensos),
- \* suspensión de los bombeos para riego, y
- \* disminución de las extracciones para abastecimiento urbano.

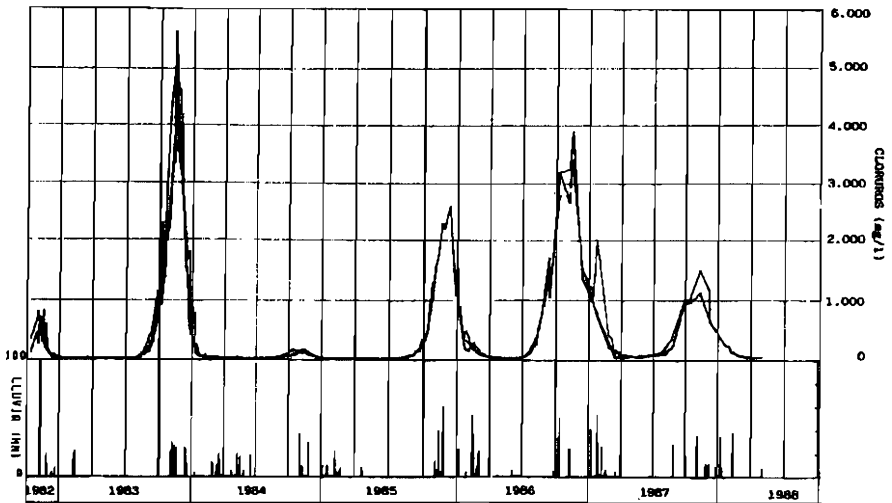


Figura 2. Variación, a lo largo del tiempo, del contenido de cloruros, en los sondeos de abastecimiento a Almuñécar.

Este comportamiento regular presenta variaciones que es importante matizar, para algunos años con datos suficientes, analizando sus causas.

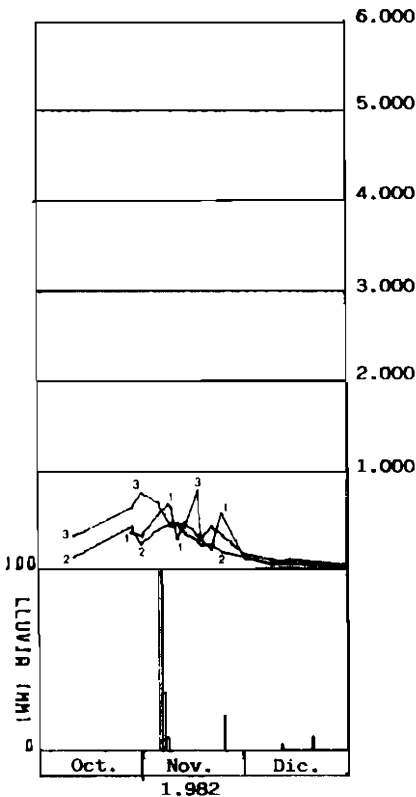
#### 4.2. Salinización de 1982

Ante la situación alarmante de incremento de la salinidad, en algunos sondeos para regadío, predicha con anterioridad (RFR), se inicia en octubre de 1982, el control analítico sistemático de los sondeos de abastecimiento urbano, cuando ya el contenido de cloruros alcanza las siguientes cifras:

Fecha	Cloruros (mg/l)		
	P1	P2	P3
11/10/82	-	172	354
28/10/82	390	460	670

El incremento se produce aceleradamente (figura 3), y los contenidos máximos analizados, en esta intrusión, fueron los siguientes:

Sondeo	Cloruros (mg/l)	Fecha
P1	702	08/11/82
P2	495	09/11/82
P3	849	17/11/82



Estos valores suponen multiplicar el quimismo inicial del acuífero, por factores del orden de 20 a 40.

Si se observa en detalle el comportamiento (figura 3), destaca que el sondeo P3 es el que alcanza cotas más elevadas de salinidad, al tiempo que también en él se manifiestan las oscilaciones más bruscas del contenido de Cl<sup>-</sup>. El P2 es el menos afectado y las oscilaciones de los cloruros son menos bruscas. El P1 tiene unas reacciones intermedias.

Este comportamiento lo explicamos por:

- \* una circulación preferencial de flujo-reflujo de agua de mar, a favor del paleocanal en el que se ubica el sondeo P3 (figura 1),
- un mayor caudal circulante hacia el mar, por el paleocanal en el que se ubica el sondeo P2, y
- \* una extensión lateral de la intrusión, a partir de dichos paleocanales, hacia el acuífero limítrofe, en el que se ubica el sondeo P1).

Figura 3. Evolución del contenido de cloruros, durante la intrusión del estiaje de 1982.

### 4.3. Desalinización de 1983

En la primera decena de noviembre de 1982 se producen lluvias intensas en Almuñécar (y mayores en la cabecera de la cuenca), con 137 l/m<sup>2</sup> en tres días (y máximo de 98 mm), que provocan una gran avenida que cubre todo el encauzamiento del río Verde. Por otra parte se termina la temporada de bombeos para riego, y se reducen las extracciones para abastecimiento.

Como consecuencia se produce una elevación brusca del nivel piezométrico, se frena la intrusión, comienza el descenso de cloruros y, a partir de final de diciembre de 1982 (figura 4), se llega a un contenido de cloruros por debajo de 30 mg/l, que casi corresponde al inicial.

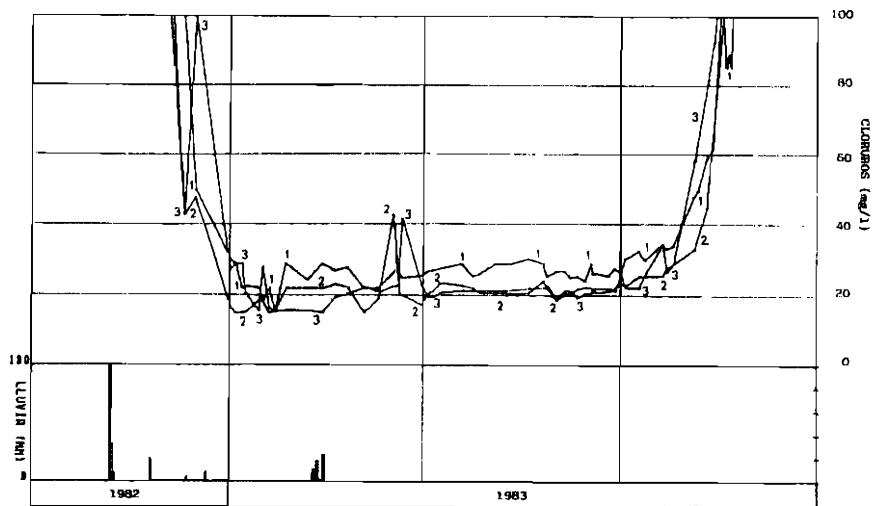


Figura 4. Desalinización durante el año hidráulico 1982/83.

Esta baja salinidad se va a mantener hasta final de junio de 1983, aunque, en general va a ser ligeramente superior en el sondeo P1, ubicado fuera de los paleocanales (figura 1).

La justificación del comportamiento del sondeo P1 pensamos es debida a la mayor componente arcillosa fuera de los paleocanales y, consecuentemente, al menor flujo de agua dulce, recargada en cabecera, con lo que se produce una mayor retención del agua salada intruida.

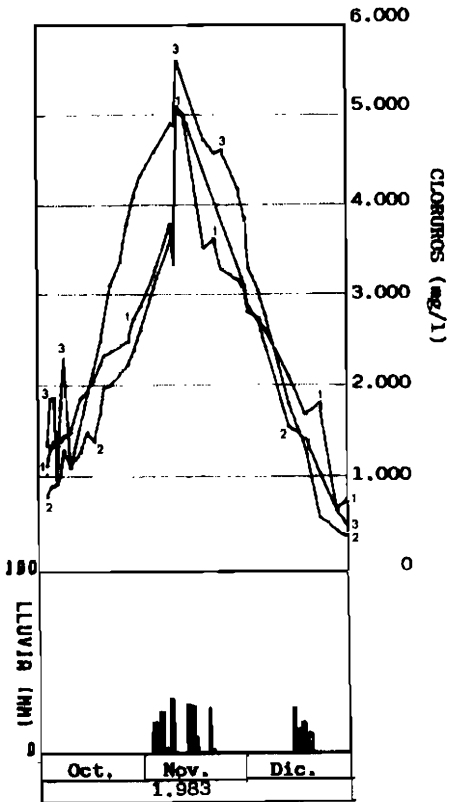
### 4.4. Salinización de 1983

En la primera decena de julio se inicia un lento incremento de cloruros, que se acelera en la segunda quincena de agosto (figura 5), para alcanzar los siguientes valores máximos:

Sondeo	Cloruros (mg/l)	Fecha
P1	5097	11/11/83
P2	5104	11/11/83
P3	5603	11/11/83

Las diferencias relativas, entre los valores máximos alcanzados, se justifican con la localización de los sondeos (figura 1):

- P3 en el paleocanal de mayor intrusión,
- \* P2 en un paleocanal con menor flujo de intrusión entrante, y
- \* P1 en el acuífero alejado de paleocanales.



La secuencia de muestras este año es muy continua y, por consiguiente, el seguimiento del proceso es muy preciso.

Con respecto a las causas se repiten las circunstancias del estiaje anterior pero, este año, con una reducción sensible en las reservas del acuífero, que ha hecho descender más a los niveles piezométricos, y una falta de concienciación de las repercusiones que acarrea esta explotación, por encima de los recursos.

Si queremos señalar que el penacho de intrusión tarda más en llegar al P2 (respecto al P3), y que el refluo del agua salada hacia el mar se produce más rápido en el P2 (figura 5). La justificación es la antes dada para la ubicación relativa, de cada uno de estos sondeos, al igual que lo es el hecho de que en el sondeo P1, fuera de paleocanales, tarde más en recuperar su baja salinidad.

La intrusión se detiene, finalmente, por las mismas causas anteriores, si bien hay que matizar que las lluvias de noviembre y diciembre (figura 5), aunque alcanzan menos intensidad, aportan volúmenes mayores (noviembre:

Figura 5. Evolución del contenido de cloruros, durante la intrusión del estiaje de 1983.

183 mm y diciembre 66). También juega un papel muy importante la recarga artificial de la que nos ocupamos enseguida.

#### 4.5. Desalinización de 1984

Para este periodo el aspecto más a resaltar (figura 6) se obtiene al comparar sus análisis con los del año 1983. En primer lugar destaca el hecho de que la disminución de la salinidad se produce con más retraso en el invierno de 1983/84, e incluso sus valores se mantienen, en general, por encima de los de 1982/83 hasta mediados de mayo. En segundo lugar se puede observar (figuras 5 y 6) que en 1983/84 el contenido bajo de cloruros se mantiene más tiempo (hasta mitad de agosto).

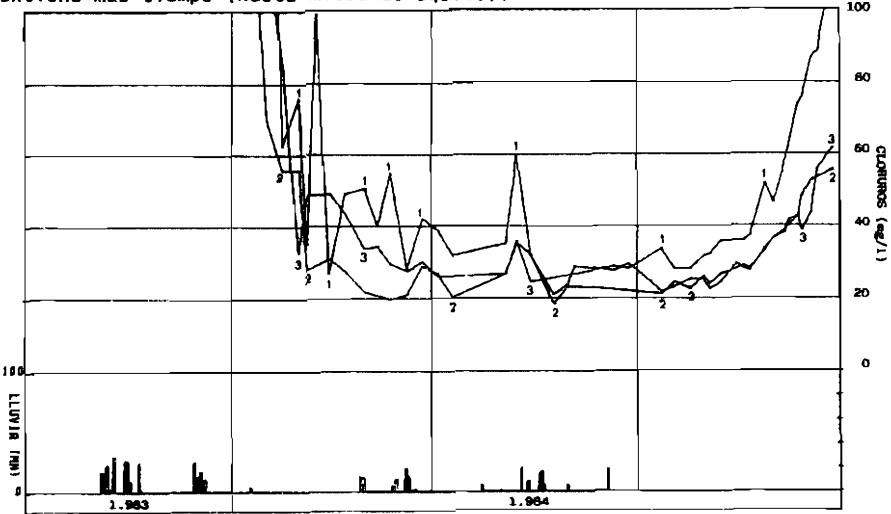


Figura 6. Desalinización durante el año hidráulico 1983/84.

Lo primero pensamos que es consecuencia de una intrusión inicial más acentuada, que la del periodo anterior, sin crecidas espectaculares del río, dada la menor intensidad de lluvias en noviembre-diciembre. Lo segundo debe ser consecuencia de una primavera-verano más lluviosa, así como de las operaciones de recarga artificial.

En efecto, hemos de resaltar que, aprovechando la circulación de escorrentías de superficie, en el río Verde, tras las lluvias de noviembre-diciembre de 1983, la Cámara Sindical Agraria de Almuñécar realizó, por recomendación nuestra (RFR) el arado con grada profunda, transversal al lecho del río, con lo que, al remover el limo de superficie, se consiguió la recarga de un caudal de, aproximadamente, 100 litros/seg. También, durante el periodo de lluvias, realizamos otra recarga artificial, durante dos semanas, en un pozo abierto, con aguas del manantial de Las Angosturas. La respuesta piezométrica fué muy sensible, en este cuarto trimestre de 1983.

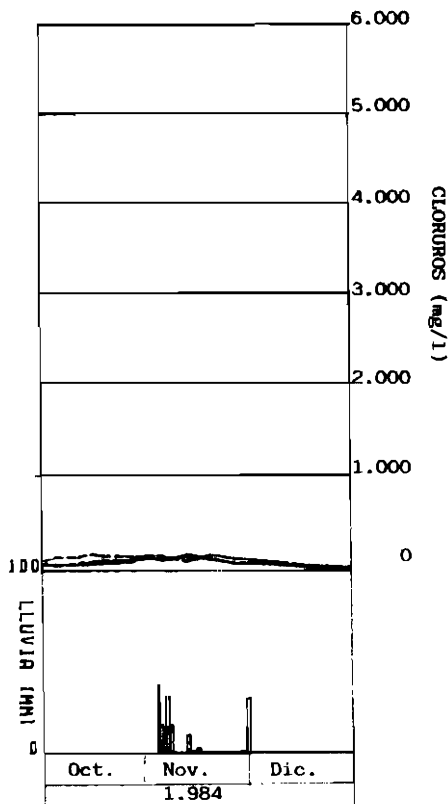
#### 4.6. Salinización de 1984

Se trata del registro más bajo de cloruros, durante el periodo de intrusión



(figura 7), ya que los máximos valores analizados han sido:

Sondeo	Cloruros (mg/l)	Fecha
P1	185	15/10/84
P2	180	12/11/84
P3	155	12/11/84



Pensamos que la justificación hay que ponerla en la recarga artificial y en las lluvias de marzo y mayo, que pudieron reducir los volúmenes de agua extraídos, y tal vez provocar alguna recarga complementaria, así como en un mes de noviembre con abundantes lluvias (145 mm en Almuñécar).

Por supuesto, la piezometría mínima estival alcanzada no fué tan baja como en el año anterior.

#### 4.7. Desalinización de 1985

Tras los bajos valores alcanzados, en el periodo de intrusión anterior, se llega a principio de enero de 1985 con valores de cloruros del orden de 30 mg/l (figura 8), situación que se va a prolongar hasta julio, con valores muy semejantes para los sondeos P2 y P3, y ligeramente superiores para el P1, justificados, una vez más por la mayor dificultad de expulsión del agua salada, debido a no encontrarse en un paleocauce de alta permeabilidad.

En esta ocasión no se realiza recarga artificial.

Figura 7. Evolución del contenido de cloruros durante la intrusión del estiaje de 1984.

#### 4.8. Salinización de 1985

Desafortunadamente se trata de un periodo de intrusión en el que el Ayuntamiento facilitó pocas muestras, para su control analítico. Ya que no se dispuso de muestras de los sondeos P2 y P3 durante un periodo de 70 días, correspondientes a la cresta de la intrusión, y en el P1 son insuficientes los datos para analizarla con rigor (figura 9).

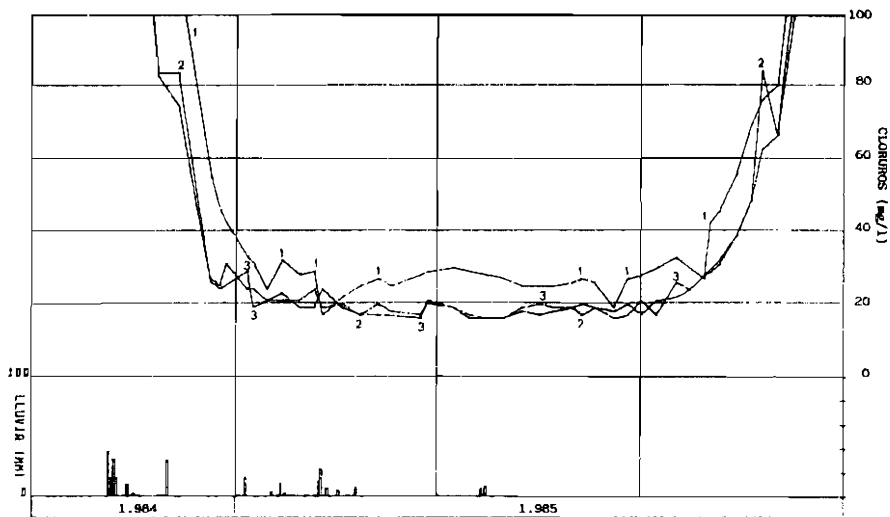


Figura 8. Desalinización durante el año hidráulico 1984/85.

Con estas reservas hay que señalar que la salinización fue más importante que en el periodo de intrusión anterior (ya que se superaron los 2.300 mg/l de cloruros), aunque menos que lo va a ser el periodo siguiente, y que esta situación responde exactamente a lo que ocurre con la piezometría mínima alcanzada en el estiaje.

De nuevo en noviembre se producen lluvias intensas, que se suman a la reducción de los bombeos para abastecimiento y a la suspensión de los riegos, y se produce la recuperación.

#### 4.9. Desalinización de 1985

El comportamiento en el invierno de este año es muy significativo por los siguientes hechos (figura 10):

- el descenso de la salinidad se produce con enorme lentitud, no obstante las precipitaciones intensas (137 mm en noviembre,

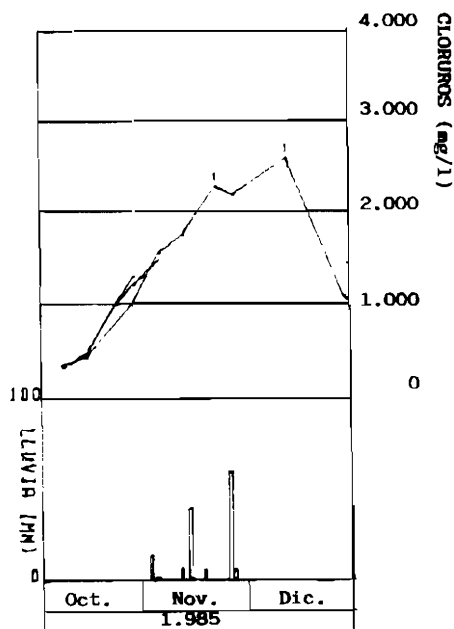


Figura 9. Evolución del contenido de cloruros, durante la intrusión del estiaje de 1985.

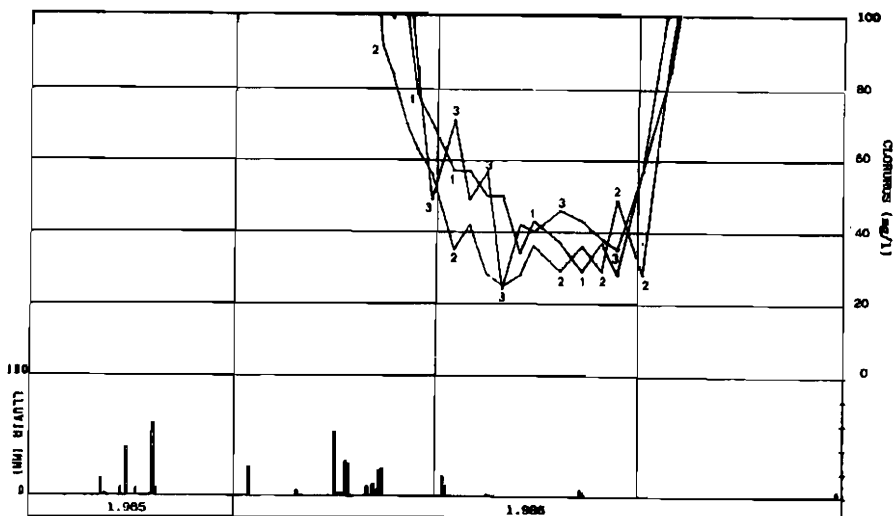


Figura 10. Desalinización durante el año hidráulico 1985/86.

29 en enero, 115 en febrero y 63 en marzo),

- hasta abril no se llega a la estabilización, y esta se produce con valores superiores a los años anteriores, y
- el aumento de la salinidad comienza a final de junio, es decir mucho antes que en ciclos anteriores

Parece deducirse, de todo ello, una degradación muy significativa de la calidad del acuífero que, al final del estiaje, va a registrar los niveles piezométricos más bajos de su historia.

#### 4.10. Salinización de 1986

Desafortunadamente nos encontramos con uno de los períodos con menor número de datos, pero en el que cabe destacar lo siguiente (figura 2):

- los valores máximos determinados de  $Cl^-$ , son muy altos (el 19/11/86 se encuentra: 3.420 mg/l en el P1, 3.929 mg/l en el P2, y 3.439 mg/l en el P3),
- \* el periodo de salinización elevada es el más prolongado que se ha registrado: de principios de julio de 1986 hasta finales de febrero de 1987.

Todo esto ocurre posiblemente porque el acuífero está cada año en peor situación, porque las lluvias de octubre (116 mm), son poco efectivas, las

de noviembre escasas (38 mm), y en diciembre y enero no llueve.

#### 4.11. Desalinización de 1987

Lo expuesto para el año anterior se acentúa más aquí (figura 11): el periodo de salinidad mínima se ha hecho más corto, y los valores de estos mínimos son superiores a los de todos los registros anteriores. No cabe duda de que estas condiciones vienen a confirmar la degradación del acuífero que, año tras año, se encuentra en peores condiciones, y con más imposibilidad de recuperación.

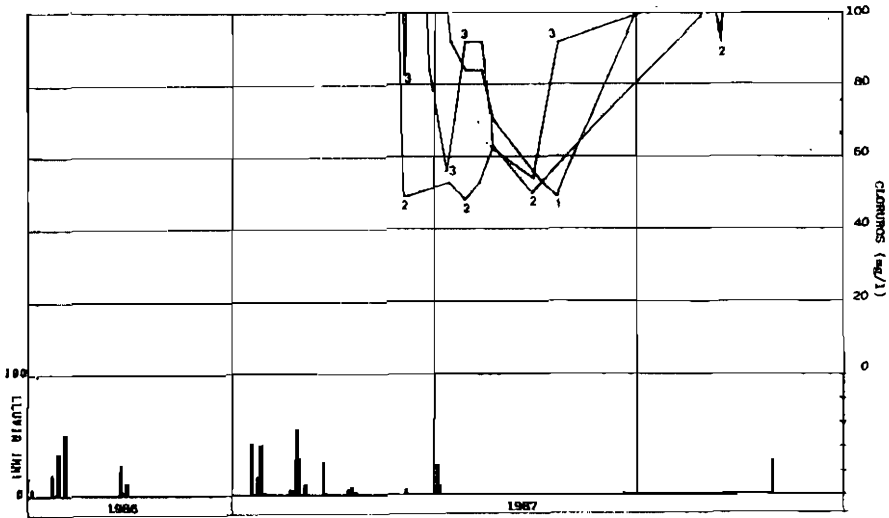


Figura 11. Desalinización durante el año hidrológico 1986/87.

#### 4.12. Salinización de 1987

Los datos disponibles son muy escasos (6 análisis en 150 días), para poder hacer un estudio serio del periodo. Por tanto sólo queremos señalar que el periodo es poco lluvioso (noviembre: 38 mm, diciembre: 64 mm, enero: 62mm y febrero 43mm) y, en consecuencia, la salinización se prolonga por un largo periodo.

#### 4.13. Desalinización de 1988

Al tratarse de un periodo no concluido, a la hora de realizar este trabajo, no pueden sacarse conclusiones de él.

No obstante hay un hecho a resaltar, de la observación del conjunto de datos analizados, y que se refleja bien en el gráfico semilogarítmico (figura 12):

nos referimos a que la observación plurianual permite constatar, sin ningún género de dudas, la degradación creciente del acuífero, puesta de manifiesto por el hecho de que cada año son más cortos los periodos de recuperación, y los valores mínimos en el contenido de cloruros se incrementan año tras año.

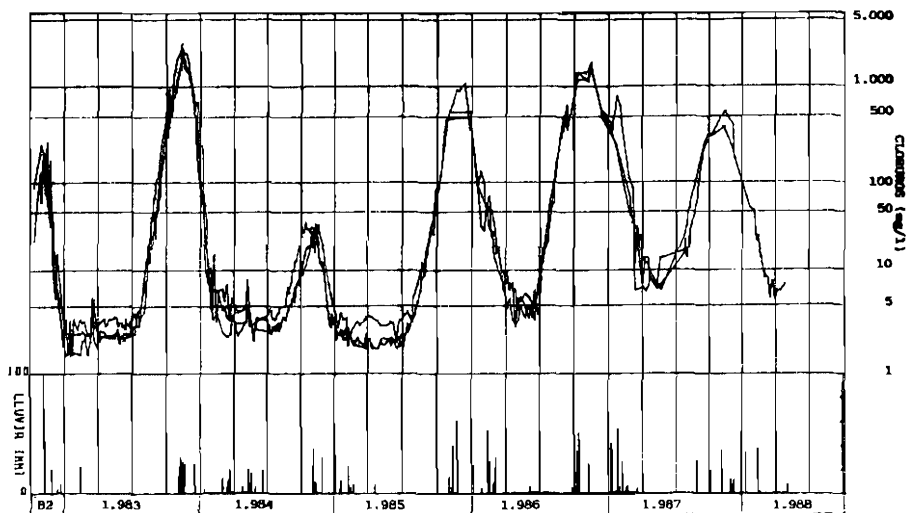


Figura 12. Variación, a lo largo del tiempo, del contenido de cloruros, en los sondeos de abastecimiento de Almuñécar (expresado en escala semilogarítmica).

## 5. CONCLUSIONES

Cuanto ha quedado expuesto, a lo largo de este trabajo, viene a confirmar el funcionamiento tipo "pistón", en el proceso de salinización de este acuífero, motivado por las extracciones y recargas.

Pone de manifiesto, igualmente, que la explotación viene consumiendo no sólo recursos, si no también reservas, lo que supone una degradación paulatina de la calidad año tras año, por la intrusión marina provocada, con periodos cada vez más cortos de recuperación parcial, y contenido cada vez mayor de sales.

Se constata la destacada influencia favorable, en la recuperación del acuífero, de las lluvias intensas de noviembre-diciembre y, especialmente, de las crecidas del río Verde (cuando tienen lugar).

Se confirma la viabilidad de la recarga artificial, del acuífero, que debe tenerse muy en cuenta, ante la posibilidad de aportar aguas de otras cuencas, con excedentes en invierno, o aguas reguladas en cabecera de la cuenca.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Benavente, J.; Fernández-Rubio, R. y Jalón Morente, M. 1984.  
Intrusión marina en el acuífero costero del río Verde (Granada).  
Congreso Español Geología. IV: 75-86. Segovia.
- Benavente, J.; Fernández-Rubio, R. y Pulido, A. 1982.  
Estudio hidrogeológico de los ríos Verde y Seco en el término municipal  
de Almuñécar (Granada). Cátedra de Hidrogeología. Informe inédito. 195  
pág. Granada.
- Fernández-Rubio, R.; Jalon Morente, M.; Benavente, J. y Fernández Lorca, S.  
1982.  
Proceso de salinización-désalinización en el acuífero costero del río  
Verde (Almuñécar, Granada). Simp. Agua Andalucía. II: 303-313. Granada.