

EL ARROYO SALADO DE PUIBOLEA: FÍSICO-QUÍMICA DE SUS AGUAS Y POSIBILIDADES DE UTILIZACIÓN

J.A. SÁNCHEZ NAVARRO*
F.J. MARTÍNEZ GIL*
J. SAN ROMÁN SALDAÑA*
C. CASTAÑEDA DEL ÁLAMO*

ABSTRACT.—*Puibolea Salty stream: physicochemistry of its waters and possibility of use.* The waters of the Salty stream and those of its affluent, the Bueno ravine, are analysed to characterize them both from the point of view of hydrogeochemistry and also in relation to their quality for town and agricultural supply. The hydrogeological knowledge of the area has permitted to explain the variety of composition observed in the waters and to make plans to reduce the degree of their salinity in order to make it possible to use them.

RESUMEN.—Se analizan las aguas del arroyo Salado y de su afluente, el barranco Bueno, con el objeto de caracterizarlas tanto hidrogeoquímicamente como en relación con su calidad para el

* Cátedra de Hidrogeología, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza. 50009 ZARAGOZA.

abastecimiento urbano (potabilidad) y agrícola. El conocimiento hidrogeológico de la zona ha permitido explicar las variaciones de composición observadas en las aguas y plantear alternativas que disminuyan su salinidad posibilitando así su utilización.

KEY WORDS.—Hydrogeology, hydrogeochemistry, salinity, Pyrenees, Ebro basin, Huesca, Spain.

INTRODUCCIÓN

Al N.W. de la ciudad de Huesca, en la vertiente meridional de la Sierra Prepirenaica, y dentro del término municipal de Bolea-Sotonera, se encuentra el arroyo Salado. Este arroyo es un afluente del río Sotón que, a su paso por Puibolea, destaca por la permanencia de sus caudales, aun en época estival, lo que contrasta con otros cauces próximos de régimen ocasional y de fuerte torrencialidad.

Aguas arriba de Puibolea (fig. 1), el arroyo Salado recibe por su izquierda las aguas del barranco Bueno; la toponimia de estos cauces hace referencia a una composición de sus aguas notablemente diferente. Son precisamente esas diferencias las que mediante los correspondientes análisis físico-químicos se pretenden cuantificar y, también, justificar hidrogeológicamente.

Por otra parte, la imposibilidad actual de utilizar las aguas del arroyo Salado, tanto para abastecimiento como para regadío, plantea la búsqueda del origen de su salinidad y de los medios para evitarla.

HIDROGEOLOGÍA

La cuenca del arroyo Salado se ubica entre dos grandes dominios geológicos: la Cadena Pirenaica y la Cuenca Terciaria del Ebro.

A los Pirineos pertenece la zona montañosa septentrional, la cual se engloba dentro de las "Sierras Exteriores Prepirenaicas". Estas sierras están formadas por materiales meso-cenozoicos que constituyen el frente de amortiguamiento de la unidad cabalgante de Gavarnie (SEGURET, M., 1970). Actualmente, se sabe que el cabalgamiento frontal surpirenaico no

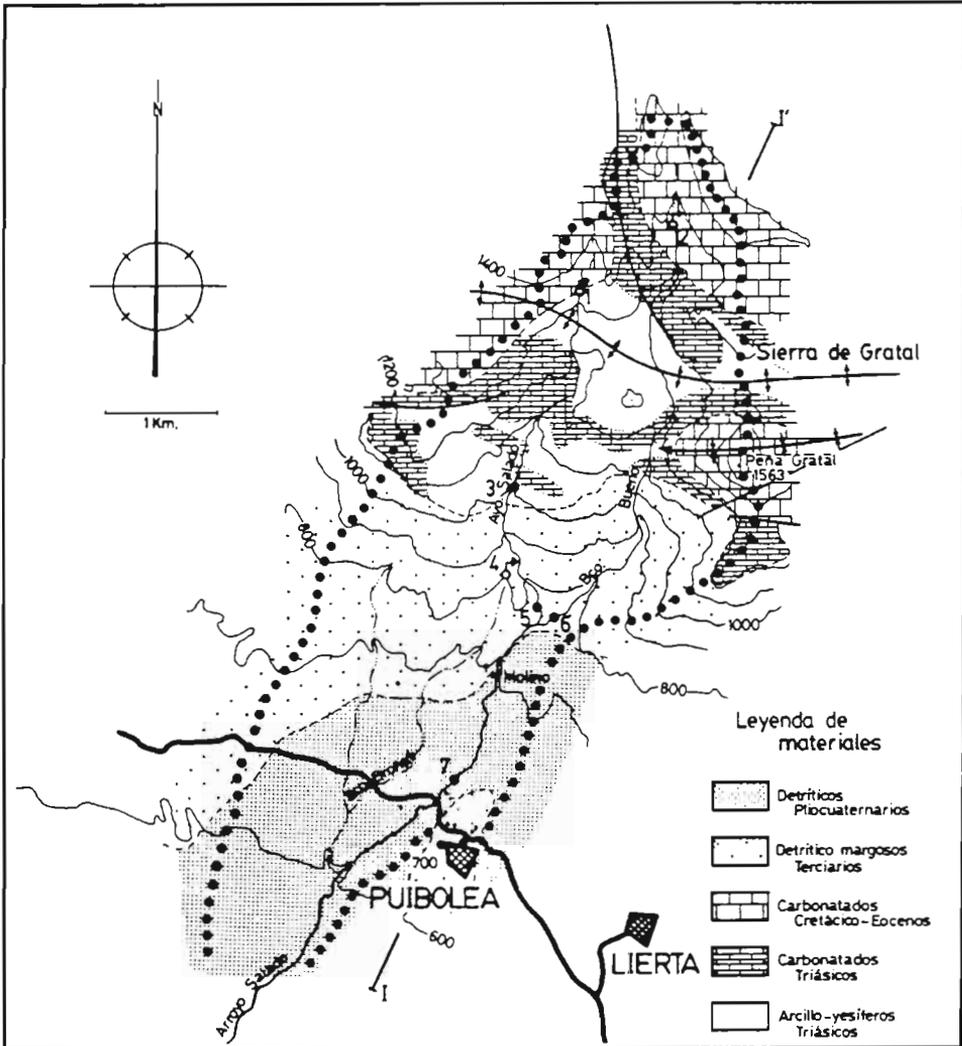


Fig. 1. Mapa hidrogeológico con localización de los puntos de muestreo hidroquímico.

es un frente único, sino la suma de varios emplazados progresiva y simultáneamente a lo largo del Eoceno y Oligoceno (CÁMARA, P. y KLIMOWITZ, J., 1985).

Todo el piedemonte (Somontano) que desciende de las sierras pertenece a la Cuenca Terciaria del Ebro; lo forman materiales detrítico-arcillosos dispuestos horizontalmente, de forma que fosilizan el cabalgamiento de las sierras. La edad de estos materiales abarca desde el Mioceno al Cuaternario.

Atendiendo a sus características hidrogeológicas, se han diferenciado las siguientes unidades (ver fig. 1):

— *Materiales Triásicos en facies Keuper*: Formados por margas, arcillas y evaporitas, constituyen el sustrato impermeable de todos los acuíferos carbonatados. Localmente, se producen zonas permeables por disolución que provocan aguas muy mineralizadas.

— *Materiales Triásicos carbonatados*: Asociados a las facies Keuper, afloran calizas, dolomías y carniolas, que constituyen un acuífero de alta permeabilidad y elevada porosidad. La intensa fracturación existente en el área de las sierras hace que estos acuíferos estén muy compartimentados, por lo que no alcanzan una gran extensión.

— *Materiales carbonatados Cretácico-Eocenos*: Incluyen las calizas y dolomías del Cretácico superior, las facies Garum (Paleógeno) y la formación "Calizas de Guara" (Eoceno). Los materiales calizos de esta unidad se caracterizan por su elevada permeabilidad, pero tienen una escasa porosidad, lo que hace que su capacidad de regulación sea reducida.

— *Materiales detrítico-arcillosos de la formación Sariñena*: Esta formación se extiende al sur de las sierras y está constituida por margas y arcillas que alternan con paleocanales de areniscas. Hidrogeológicamente, pueden considerarse como un extenso y potente acuitardo.

— *Materiales detríticos cuaternarios y pliocuaternarios*: Formados por gravas con cantos, arenas, limos y arcillas, se presentan con una morfología de glacis y terrazas. Hidrogeológicamente, son materiales de alta porosidad y elevada permeabilidad, que constituyen excelentes acuíferos, aunque de recursos limitados por su pequeña extensión y disposición topográfica.

HIDROGEOQUÍMICA

Para conocer las características físico-químicas de las aguas de esta pequeña cuenca, se han tomado siete muestras de agua (fig. 1), de las que tres corresponden al arroyo Salado, dos al barranco Bueno y la otra procede de un área de rezumes donde se precipitan sales.

En la tabla I se acompañan los resultados de los análisis realizados. Como puede observarse, destaca la elevada salinidad de las aguas procedentes de los citados rezumes (muestra 4): son aguas de auténtica salmuera, con un contenido en sales de 134 g/l, lo que supone más de cuatro veces el contenido del agua del mar.

N.º	pH	Res. seco	CO ₃ H ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Dureza
1	7,8	206	161,7	31,4	3,7	54,1	4,8	3,8	15,5
2	7,9	202	158,6	29,3	3,4	52,0	4,2	5,1	14,0
3	8,0	274	208,6	55,6	12,7	68,1	14,6	12,2	23,0
4	7,8	134.480	161,7	7.360,0	80.840,0	1.723,0	2.675,0	56.300,0	541,0
5	8,1	1.794	205,2	141,8	987,0	80,1	24,3	676,5	30,0
6	8,0	378	217,8	119,8	18,8	80,1	19,4	17,0	28,0
7	8,5	1.154	180,6	143,0	474,7	68,1	19,9	355,5	25,0

1. Arroyo Salado en cabecera (*bicarbonatada, cálcica*).
2. Barranco Bueno en cabecera (*bicarbonatada, cálcica*).
3. Arroyo Salado después de atravesar las calizas del Triásico (*bicarbonatada-sulfatada, cálcica*).
4. Rezumes salinos (*clorurada, sódica*).
5. Arroyo Salado después de los rezumes salinos (*clorurada, sódica*).
6. Barranco Bueno antes de su confluencia con el arroyo Salado (*bicarbonatada-sulfatada, cálcico-magnésica*).
7. Arroyo Salado en Puibolea (*clorurada, sódica*).

Tabla I. Características físico-químicas de las aguas analizadas (los contenidos iónicos están expresados en mgr/l).

Se ha tomado como criterio de clasificación de las aguas el de SCHOUKAREV-SLAVIANOW, que denomina a éstas con los nombres de los componentes aniónicos y catiónicos que alcanzan una proporción superior

al 25% de sus contenidos respectivos. En la tabla I puede observarse cómo las aguas son inicialmente *bicarbonatadas, cálcicas*, y que posteriormente, al atravesar el acuífero carbonatado triásico, pasan a ser *bicarbonatadas-sulfatadas, cálcicas* o *cálcico-magnésicas*.

Es en los límites con los materiales del terciario de la Cuenca del Ebro donde los rezumes salinos que se incorporan al arroyo Salado modifican la composición de las aguas, convirtiéndolas en *cloruras, sódicas*.

De una forma gráfica, la composición de las aguas queda expresada en los diagramas de PIPER-HILL-LANGELIER (fig. 2). En estos gráficos se muestran los porcentajes de aniones y cationes que contienen las aguas, tanto por separado (diagramas triangulares) como en conjunto (diagrama rómbico).

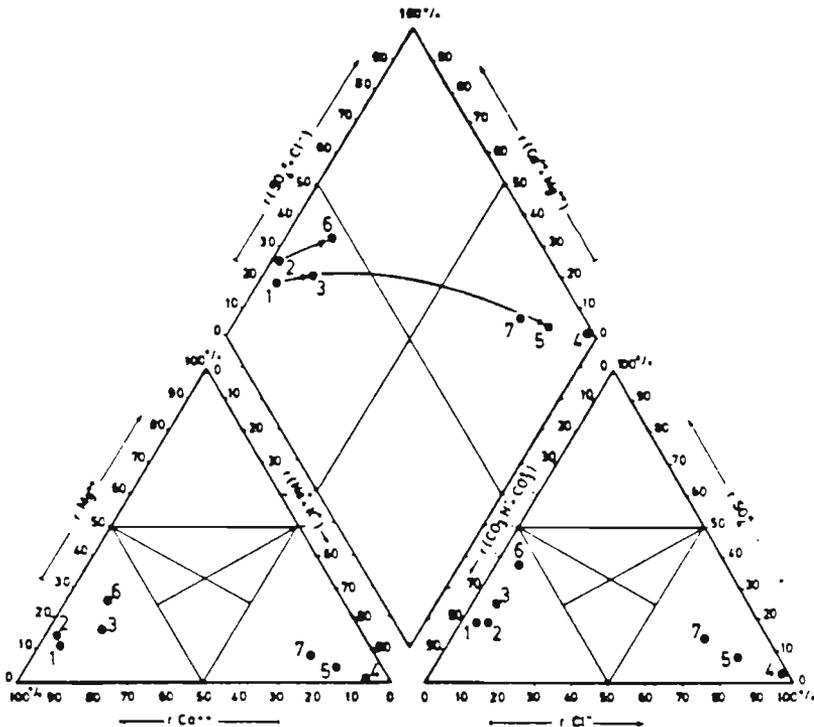


Fig. 2. Diagrama de PIPER-HILL-LANGELIER.

Los diagramas rómbicos expresan claramente la evolución de las aguas; así, se observa cómo las modificaciones que presentan el arroyo Salado y el barranco Bueno al atravesar las sierras son similares, y cómo los rezumes salinos (muestra n.º 4) son los que cambian drásticamente las proporciones de los aniones y cationes en el arroyo Salado (muestra n.º 5).

Al representar los diagramas anteriores valores porcentuales, no queda expresada la importancia cuantitativa de las modificaciones producidas; para ello, utilizamos los diagramas columnares (fig. 3). Se trata de rectángulos que expresan para cada muestra, de forma acumulada, el número miliequivalente por litro de cada ión principal que contiene. Los diagramas muestran claramente la incidencia de los rezumes salinos en el arroyo estudiado; también se observa la dilución que las aguas del barranco Bueno realizan al confluir con el arroyo Salado antes de Puibolea.

Relacionando estos datos con otros disponibles de toda la Sierra Prepirenaica y sus somontanos (SÁNCHEZ, J.A., 1987), se observa cómo las diferencias de composición química y de evolución de las aguas del arroyo Salado y del barranco Bueno al atravesar la Sierra Prepirenaica son coincidentes con las de otros ríos de estas sierras (Alcanadre, Guatizalema, Vero y Flumen), lo que pone de manifiesto la existencia de dos acuíferos carbonatados diferentes (MARTÍNEZ, F.J. *et al.* 1986):

— El acuífero Cretácico-Eoceno tiene aguas de composición *bicarbonatada, cálcica*, con una baja mineralización; representan aguas que, infiltradas en estas calizas, surgen a la superficie sin apenas regulación, por lo que tienen un tiempo de circulación subterránea reducido.

— El acuífero carbonatado Triásico tiene aguas de composición *bicarbonatada-sulfatada, cálcica* o *cálcico-magnésica*. Son aguas que tienen un mayor período de tiempo de residencia en el acuífero, lo que conlleva una mayor regulación.

Las aguas de los rezumes salinos proceden de los materiales yesífero-salinos del Keuper; su surgencia tiene lugar a través del frente de cabalgamiento de las sierras, aflorando por los materiales arcillosos del Terciario que recubren el citado cabalgamiento. Estos manantiales salinos han sido observados en disposición geológica similar en Hoz de Barbastro, Salinas de Jaca, Peralta de la Sal,...

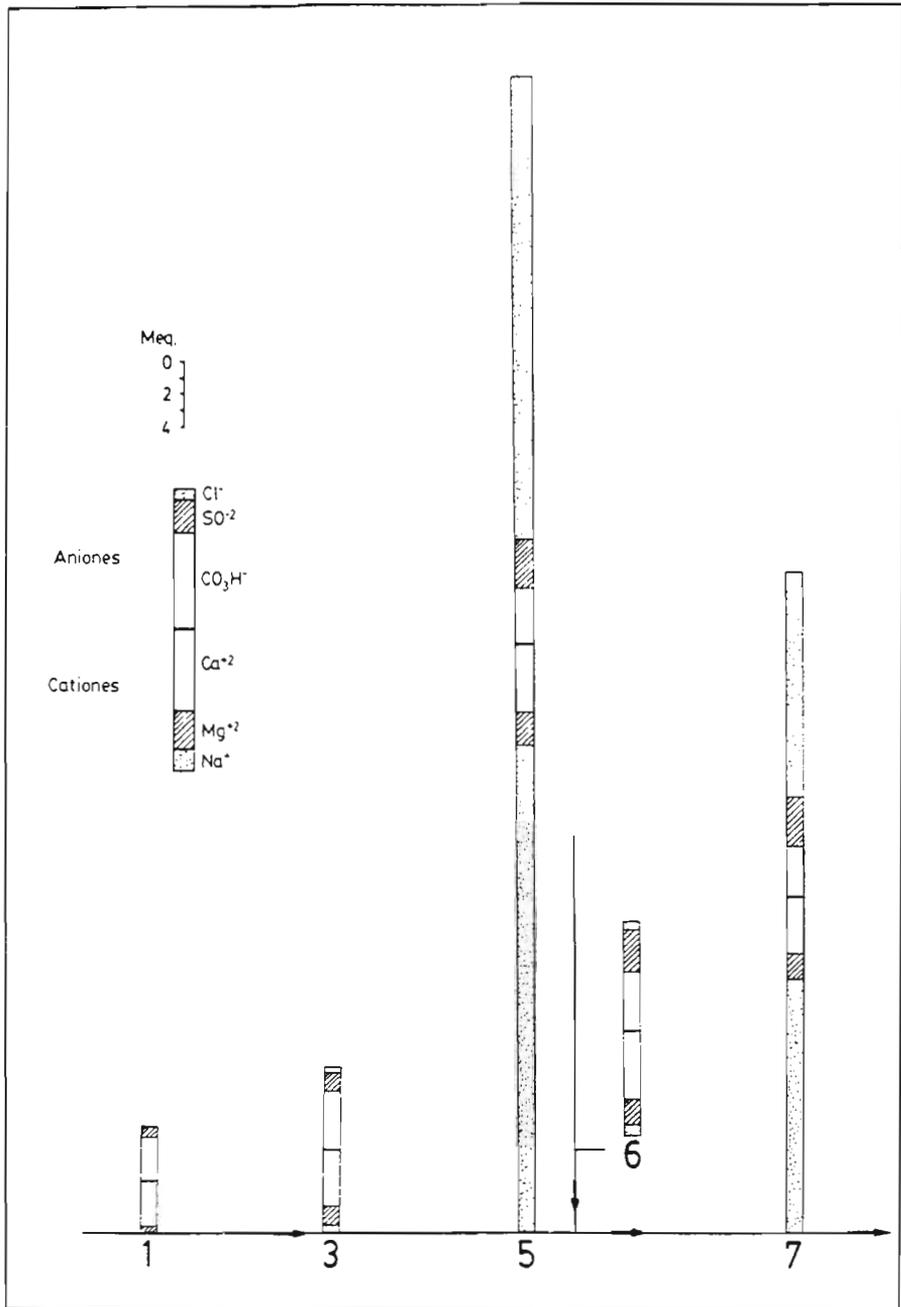


Fig. 3. Diagramas columnares de las muestras de agua consideradas.

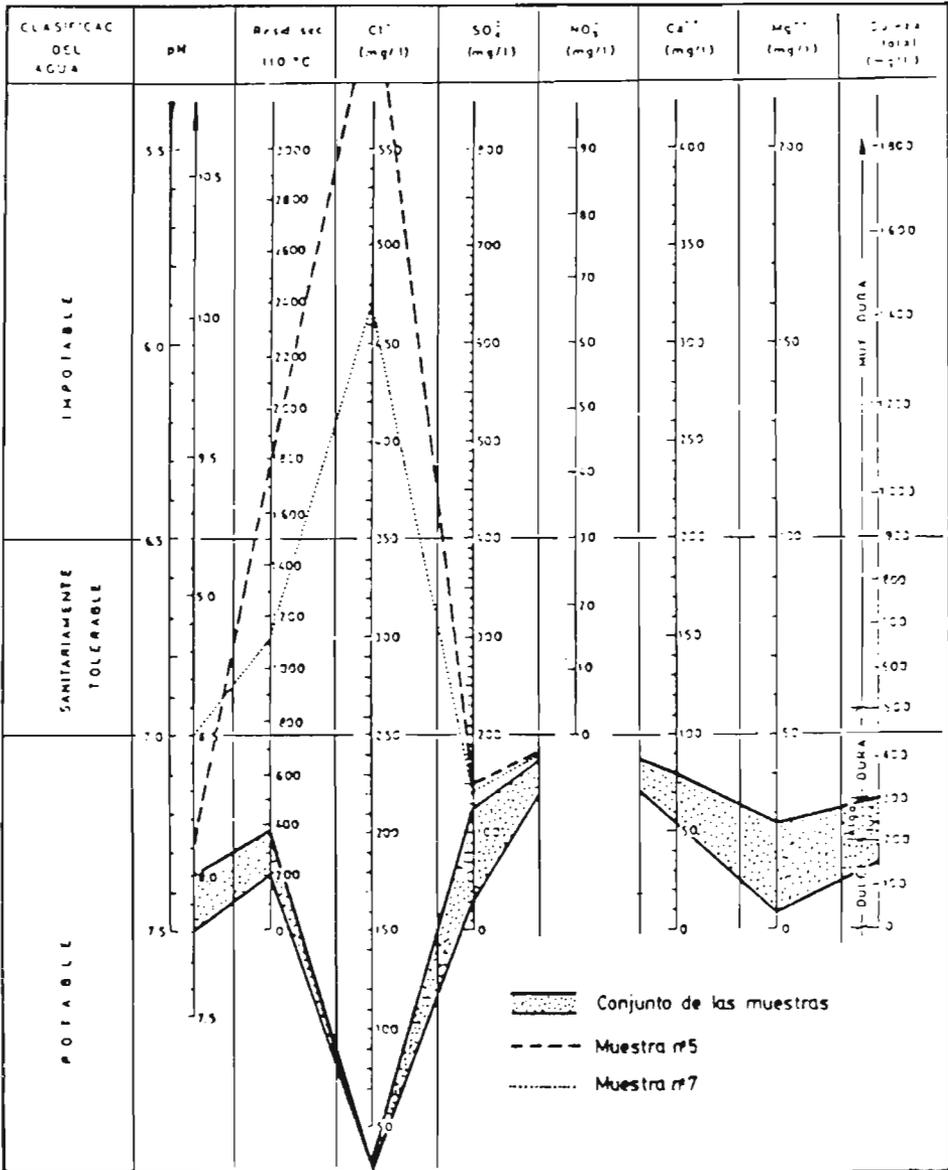


Fig. 4. Diagrama de potabilidad química de las aguas.

CALIDAD QUÍMICA DE LAS AGUAS

La composición química de las aguas y el uso a que se destinen determinan su calidad química. Así, las aguas que se utilizan para el abastecimiento a poblaciones deben tener unos contenidos iónicos dentro de unos rangos de valores que definen su potabilidad química. Con un gráfico como el de la fig. 4 se puede conocer si las aguas analizadas son potables químicamente. El resultado es que las tomadas en el barranco Bueno y arroyo Salado (antes de la confluencia con los rezumes salinos) son químicamente *potables*. Por el contrario, tanto los rezumes salinos como el arroyo Salado después de atravesar los citados rezumes son *impotables*.

En cuanto a la calidad de las aguas para su uso en regadío, los criterios de clasificación más utilizados son los del *U. S. Salinity Laboratory Staff*, que considera dos parámetros:

- *El índice de absorción de sodio (S.A.R.)*, que mide el peligro de sodificación del suelo. Se obtiene mediante la fórmula siguiente: $S.A.R. = Na / [(Ca + Mg) / 2]^{1/2}$, donde los contenidos se expresan en meq/l.
- *La conductividad del agua*, que está en relación con su contenido iónico y establece el peligro de salinización del suelo.

Relacionando estos dos parámetros, se establece una serie de categorías (fig. 5) que condicionan la aplicabilidad del agua de riego al suelo, el tipo de cultivos recomendable, las prácticas de riego aconsejables, etc. (tabla II).

Las aguas del arroyo Salado, antes de los rezumes salinos, y del barranco Bueno pertenecen a la categoría C_2S_1 , por lo que son perfectamente aprovechables para riego. Por el contrario, las aguas de los rezumes salinos y del arroyo Salado son de la categoría C_4S_4 y aun en Puibolea, después de diluirse con las aguas del barranco Bueno, tienen una categoría C_3S_3 , por lo que se desaconseja su utilización para riego.

POSIBILIDAD DE UTILIZACIÓN

Las aguas del arroyo Salado al llegar al Somontano (Puibolea) son *impotables*; por ello, la localidad de Puibolea se abastece de una toma de agua

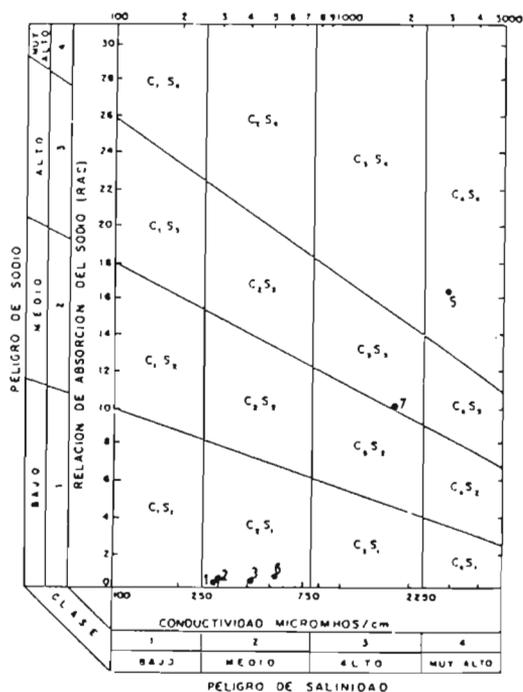


Fig. 5. Diagrama de caracterización de las aguas para riego.

Peligro de alcalinización	
S ₁ .	Aguas que pueden utilizarse en todos los suelos sin peligro de que se eleve excesivamente el nivel de sodio de cambio.
S ₂ .	Aguas que pueden originar un exceso de sodio en suelos de fina textura con alta capacidad de cambio de bases, especialmente en condiciones de escaso lavado, a menos que exista yeso en el suelo. Deben emplearse preferentemente en suelos de textura gruesa o suelos orgánicos con buena permeabilidad.
S ₃ .	Aguas que pueden producir peligroso nivel de sodio de cambio en la mayor parte de los suelos y requieren especial tratamiento de éstos, buen drenaje, abundante lavado y adición de materia orgánica. Los suelos yesíferos pueden resistir el empleo de estas aguas.
S ₄ .	Aguas que generalmente no son útiles para el riego, excepto si su salinidad es baja o media (C ₁ o C ₂), en cuyo caso el empleo de yeso o el calcio del propio suelo pueden atemperar la acción desfavorable del sodio.

Peligro de salinización	
C ₁ .	(de 0 a 250 μ mhos/cm) <i>agua con poca salinidad</i> . Se puede usar en el riego de la mayor parte de los suelos, con pocas probabilidades de que se salinicen. Puede ser necesario algo de lavado, pero esto ocurrirá en el riego en condiciones normales, excepto en los casos en que la permeabilidad sea muy escasa (queda con la misma significación que la que se le concede en el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos). Esta conductividad corresponde a 0-160 mg/l.
C ₂ .	(de 250 a 750 μ mhos/cm) <i>agua con salinidad moderada</i> . Puede usarse en el riego de todas las plantas, excepto en las más sensibles, siempre que la permeabilidad de los suelos sea de elevada a media. Con los suelos de poca permeabilidad, habrá que tener algunas precauciones con los lavados, y a veces será preciso seleccionar plantas de mediana tolerancia. Esta conductividad corresponde a 160-480 mg/l.
C ₃ .	(de 750 a 2.250 μ mhos/cm) <i>agua de salinidad media a elevada</i> . Debe usarse únicamente en los suelos de permeabilidad moderada a buena. Serán necesarios lavados regulares para evitar una salinización elevada. Es preciso a menudo la realización de prácticas especiales para el control de la salinidad y deberán elegirse plantas con tolerancia a la salinidad de moderada a buena. Esta conductividad corresponde a 0,480-1,44 g/l.
C ₄ .	(de 2.550 a 4.000 μ mhos/cm) <i>agua con salinidad elevada</i> . Puede usarse solamente en los suelos de buena permeabilidad y se deben dar lavados especiales para quitar el exceso de sal. Sólo se cultivarán cosechas tolerantes a la salinidad. Esta conductividad corresponde a 1,44-2,56 g/l.
C ₅ .	(de 4.000 a 6.000 μ mhos/cm) <i>agua con salinidad muy elevada</i> . Generalmente es inadecuada para el riego y debe usarse solamente en terreno muy permeable, con lavados frecuentes y con plantas de tolerancia elevada.

Tabla II. Características de las aguas para su uso en regadío, según la categoría que les corresponde. [Clasificación de THORN y PATERSON de los tipos de agua para riego (según los criterios del *Salinity Laboratory Staff*, U.S.A.)].

del barranco Bueno antes de confluir con el Salado. Tampoco son aptas para el riego.

El hecho de que estas características químicas indeseables las adquiriera el arroyo a la salida de las sierras permite plantear la posibilidad de su evitación. Para ello, en la fig. 6 se muestra cómo mediante un pequeño canal de derivación podría lograrse que las aguas del Arroyo fueran directamente al barranco Bueno sin atravesar los rezumes salinos. También estos rezumes podrían ser parcialmente evacuados por el barranco de las Broñas, con lo que se disminuiría su incidencia en el arroyo.

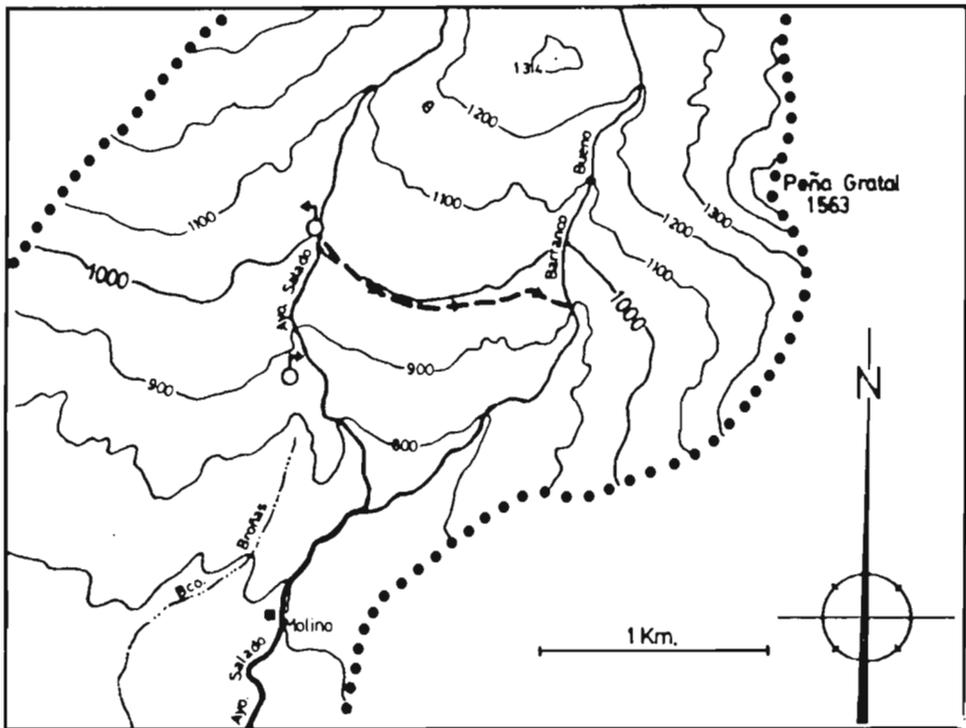


Fig. 6. Esquema de derivación de las aguas del arroyo Salado al Barranco Bueno para evitar su intersección con los rezumes salinos.

Las aguas derivadas del arroyo, junto con las del barranco, podrían utilizarse en pequeñas transformaciones de riego en las proximidades de Puibolea.



Fig. 7. Arroyo Salado. Al fondo, la localidad de Puibolca (foto J.A. Sánchez Navarro).



Fig. 8. Efloriscencias salinas en las proximidades del cauce del arroyo Salado (foto J.A. Sánchez Navarro).

BIBLIOGRAFÍA

- CÁMARA, P. & KLIMOWITZ, J., 1985. Interpretación geodinámica de la vertiente centro-occidental surpirenaica (Cuencas de Jaca y Tresp). *Est. Geológ.*, 41: 391-404.
- CUSTODIO, E. & LLAMAS, M.R., 1976. *Hidrología Subterránea*. Edit. Omega.
- FREEZE, A.R. & CHERRY, J., 1979. *Groundwater*. Englewood Cliffs.
- MARTÍNEZ, F.J.; PABLO, F. & SÁNCHEZ, J.A., 1986. Estudio hidrogeoquímico de los acuíferos carbonatados del macizo de Guara (provincia de Huesca). *In Libro Comunic. Congreso Karst Euskadi 86*: 253-275.
- SÁNCHEZ, J.A., 1987. Estudio hidrogeológico e hidroquímico de las Sierras de Guara y sus Somontanos. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza.
- SÁNCHEZ, J.A.; GASCÓN, B.; MARTÍNEZ, F.J.; DE MIGUEL, J.L. & SAN ROMÁN, J., 1987. Manifestaciones hidroquímicas de flujos hidrológicos profundos en el Somontano Oscense. *In 7.ª Conf. Hidrología Gral. y Aplicada. Comunic.*: 137-147.
- SÁNCHEZ, J.A.; MARTÍNEZ, F.J.; SAN ROMÁN, J. & CASTAÑEDA, C., 1987. Salinización natural en la cuenca del río Sotón y sus efectos en el medio ambiente. *In Geol. Amb. y Orden. del Territ.*: 513-527.
- SEGURET, M., 1970. Étude tectonique des nappes et series décollées de la partie centrale du versant Sud des Pyrénées. Thèse. Montpellier.