

## LA SALINIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES EN EL PIRINEO OSCENSE

José Manuel BESCÓS ROY<sup>1</sup>

**RESUMEN.**—Se estudia la composición química de las aguas de los ríos del Pirineo oscense para determinar su régimen natural de salinidad, identificando aquellos focos naturales de sales de mayor importancia y concentrando los muestreos sobre aquellas áreas donde afloran los materiales evaporíticos del Keuper. Se han localizado numerosos manantiales, unos salinos, otros minero-medicinales y termales, que provocan variaciones en la composición de las aguas superficiales. Igualmente se identifican algunos de los más importantes focos difusos de sales de la zona. Paralelamente a este estudio de salinidad y composición química, se tratan algunas de las anomalías térmicas detectadas.

**ABSTRACT.**—Chemical composition of waters from Pyrenean rivers (province of Huesca) is studied in order to determine their salinity regime, recognizing the most important salinity sources, especially in those areas where evaporitic Keuper outcrops are present. Saline, mineral and thermal sources are located, some of them bringing about changes in chemical composition of surface waters. Non-point sources of salts are also identified. In parallel to the salinity and chemical composition studies, are treated some of the thermal anomalies taking place in different rivers.

**KEY WORDS.**—Salinity, rivers, Keuper, sources, Pyrenees, Huesca.

---

<sup>1</sup> C/ Vía Universitat, 19, casa 4, 1.º A. E-50010 ZARAGOZA.

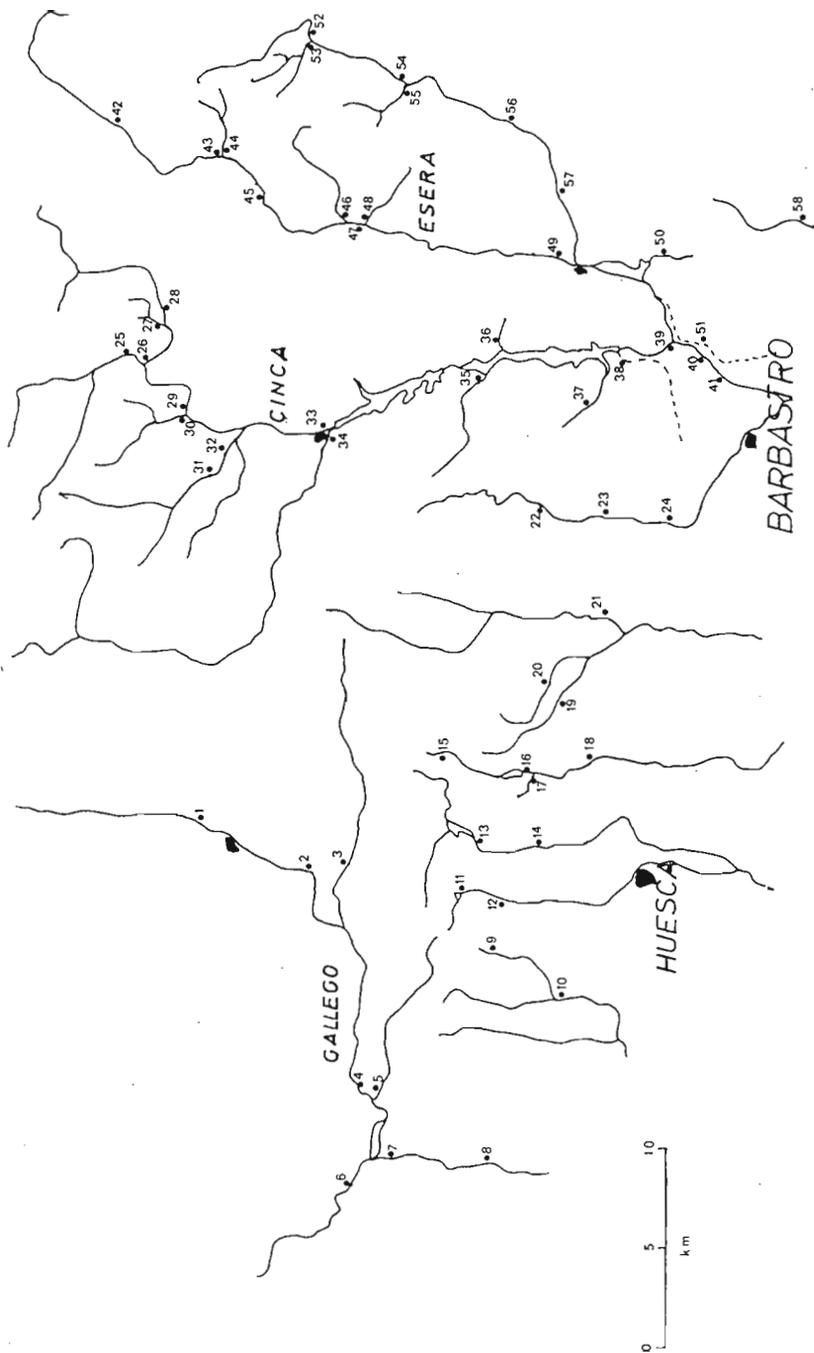


Fig. 1. Localización geográfica de la zona estudiada con los puntos de muestreo de aguas.

1. Río Gállego antes de Sabiñánigo.
2. Río Gállego en Hostal de Ipiés.
3. Río Guarga en Lanave.
4. Río Gállego en Anzánigo.
5. Río Garona en la desembocadura.
6. Río Asabón en Salinas de Jaca.
7. Río Gállego en la salida del embalse de La Peña.
8. Río Gállego en Santa Eulalia.
9. Arroyo Salado en Puibolea.
10. Río Sotón en Esquedas.
11. Río Isuela en la salida del embalse de Arguis.
12. Río Isuela en Nueno.
13. Río Filumen en la salida del embalse de Belsué.
14. Río Flumen en Chibluco.
15. Río Guatizalema en Nocito.
16. Río Guatizalema en la salida del embalse de Vadiello.
17. Barranco de Vadiello en Vadiello.
18. Río Guatizalema en Sipán.
19. Río Calcón en Aguas.
20. Río Formiga en Panzano.
21. Río Alcanadre en Bierge.
22. Río Vero en Lecina.
23. Río Vero en Alquézar.
24. Río Vero en Huerta de Vero.
25. Río Cinca en Bielsa.
26. Río Cinqueta en Salinas.
27. Barranco del Mon en la carretera de Sin.
28. Río Cinqueta en el desfiladero de La Inclusa.
29. Río Cinca en Hospital de Tella.
30. Río Yaga en Hospital de Tella.
31. Río Bellós en Molino de Aso.
32. Río Bellós en Puyarruego.
33. Río Cinca en Aínsa.
34. Río Ara en Aínsa.
35. Río Susia.
36. Barranco de Trillo.
37. Río Naval en Naval.
38. Río Cinca en el canal del Cinca.
39. Río Cinca en Olvena.
40. Río Cinca en Estadza.
41. Río Cinca en Estadilla.
42. Río Ésera en Benasque.
43. Río Ésera en Castejón de Sos.
44. Barranco de Bisaurri.
45. Río Ésera en Seira.
46. Río Rialvo en Campo.
47. Río Ésera en Morillo de Liena.
48. Río Bacamorta en Morillo de Liena.
49. Río Ésera en Torres de Ésera.
50. Barranco de Agualiu.
51. Río Ésera en el canal de Aragón y Cataluña.
52. Río Isábena en el puerto de Bonansa.
53. Río Blanco.
54. Río Isábena en el barrio del Pou.
55. Arroyo de Villacartí.
56. Río Isábena en Güel.
57. Río Isábena en Capella.
58. Río Sosa en Peralta.

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo se encuadra dentro de los estudios que desde hace varios años se llevan a cabo en la Unidad de Edafología de la Estación Experimental de Aula Dei (C.S.I.C., Zaragoza) sobre el problema de la salinidad en las aguas de la cuenca del río Ebro.

Durante el estudio de la participación que en esta salinidad tienen los focos puntuales naturales de sales se evidenció la abundancia de aguas muy mineralizadas que afloraban en terrenos yesíferos pertenecientes a las facies Keuper del Triásico. Para la evaluación de la incidencia de estos focos de sales en la salinidad global de la red fluvial, se eligió la provincia de Huesca, por la abundancia de afloramientos de estas facies Keuper dentro de zonas con contexto climático muy diferente.

Como primer paso se estableció una red de control en la que efectuar muestreos periódicos y centrar aquellas zonas más interesantes. Los resultados generales de estos muestreos, junto con aspectos puntuales de interés, configuran la base del presente artículo.

Los datos de salinidad de las aguas de los ríos oscenses son escasos. El Ministerio de Obras Públicas, a través de la red de estaciones de control de calidad (red COCA), ofrece aproximadamente desde 1970 datos mensuales de composición química de las aguas de los ríos Gállego (en Anzánigo), Aragón (en Jaca), Cinca (en El Grado y en Monzón) y Ésera (en el embalse de Barasona).

Otros datos publicados, de carácter puntual, proceden de los escasos trabajos existentes y que generalmente se limitan a las Sierras Exteriores y Somontanos (MARTÍNEZ *et al.*, 1988; SÁNCHEZ, 1987, 1988; SÁNCHEZ *et al.*, 1987, 1988a,b), o bien de estudios limnológicos (AVILÉS *et al.*, 1973; MARGALEF *et al.*, 1976) llevados a cabo en embalses.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La zona estudiada abarca una buena parte del Pirineo oscense, quedando excluida la cuenca del Aragón, la cabecera del río Gállego y la cuenca del Noguera Ribagorzana. En la figura 1 se recogen los cauces estudiados, así como los puntos de muestreo básicos.

Los muestreos de las aguas comenzaron en enero de 1989, prolongándose hasta la primavera de 1990. En enero y febrero de 1989, aprovechando los caudales bajos invernales, se realizaron dos campañas para determinar aquellos puntos o tramos que por su salinidad o composición química singular debían ser estudiados más exhaustivamente. Se seleccionaron los ríos Sotón, Blanco (cuena del Isábena) y Naval (cuena del Cinca). Además se estudió la evolución anual de la calidad de las aguas en el río Gállego.

En otros cursos en los que se sospechaba podía existir algún aporte salino significativo se llevaron a cabo recorridos de los mismos para tratar de localizarlos.

En total se recogieron 1.117 muestras de agua, en las que se determinó la temperatura (campo), conductividad eléctrica, pH, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, calcio, magnesio, sodio, potasio, fluoruros, boro, estroncio y sílice.

Los resultados que se ofrecen en el presente artículo corresponden a valores medios de los diferentes muestreos, salvo que se señale específicamente otra cosa.

## RESULTADOS

Se exponen los resultados obtenidos agrupándolos por cuencas para una mejor visualización espacial.

*Río Gállego:* En este río se llevaron a cabo muestreos semanales durante más de un año en las estaciones de Anzánigo y Santa Eulalia, para controlar el sector en que afloran los materiales del Keuper por una parte, y para establecer la variación anual de la composición química de las aguas. Además se valoró la composición de las aguas de desembalse del pantano de La Peña. Otros muestreos puntuales a lo largo del curso medio-alto del río se llevaron a cabo en diferentes momentos.

La tabla I recoge los valores medios y extremos de la serie de datos obtenidos en las estaciones de Anzánigo, Santa Eulalia y en las aguas de desembalse. De la misma pueden extraerse las siguientes afirmaciones:

ESTACIÓN	CE	pH	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Ca	Mg	Na	K	F	SiO <sub>2</sub>	TEMP
	dS/m		meq/L			meq/L		meq/L		ppm	mg/L	°C
<i>Media</i>												
ANZÁNIGO	0.344	8.05	2.42	0.383	0.86	2.32	0.621	0.448	0.212	0.071	2.670	12.1
S. EULALIA	0.351	8.09	2.45	0.400	0.885	2.37	0.666	0.453	0.186	0.074	2.706	13.5
EMBALSE	0.374	8.08	2.51	0.477	0.950	2.53	0.606	0.472	0.151	0.100	3.120	13.1
<i>Máxima</i>												
ÁNZANIGO	0.582	8.60	3.29	1.260	1.900	3.22	1.010	1.690	0.500	0.236	6.234	19.0
S. EULALIA	0.607	8.52	3.02	1.400	1.980	2.96	1.070	1.850	0.350	0.111	4.284	22.0
EMBALSE	0.884	8.47	3.29	2.840	3.080	4.08	2.320	2.650	0.230	0.592	5.091	25.0
<i>Mínima</i>												
ANZÁNIGO	0.231	7.63	1.70	0.150	0.480	1.67	0.307	0.116	0.090	0.042	0.000	4.5
S. EULALIA	0.264	7.52	1.86	0.220	0.560	1.88	0.338	0.162	0.080	0.048	0.000	5.8
EMBALSE	0.272	7.56	1.49	0.220	0.580	1.89	0.375	0.193	0.050	0.044	1.307	5.5

**Tabla I.** Concentraciones medias y extremas de los elementos analizados en las aguas del río Gállego.

ESTACIÓN	CE	pH	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Ca	Mg	Na	K	F	B	Sr	SiO <sub>2</sub>
	dS/m		meq/L			meq/L		meq/L		ppm	mg/L	meq/L	mg/L
SALADO													
Media	8.75	8.17	3.05	84.98	7.19	6.68	3.85	82.81	0.980	0.134	0.055	0.050	3.335
Máxima	11.99	8.60	3.54	136.54	10.50	9.14	4.94	128.10	1.500	0.202	0.074	0.072	4.704
Mínima	7.43	7.56	2.60	66.13	5.20	5.34	3.31	68.02	0.650	0.086	0.039	0.035	0.635

**Tabla II.** Concentraciones medias y extremas de los elementos analizados en las aguas del Arroyo Salado (río Sotón).

- Las aguas son bicarbonatado-cálcicas, salvo momentos de bajos caudales, en que son bicarbonatado-sulfatadas.
- Las concentraciones en las aguas de desembalse son más altas que en el resto de los puntos controlados.
- Las mínimas concentraciones se dan en junio, coincidiendo con los caudales altos del deshielo, mientras que las máximas se alcanzan en octubre-noviembre.
- En Anzánigo y Santa Eulalia la relación cloro/sodio' es inferior a uno, salvo en los más altos caudales.
- Las concentraciones en potasio son las más altas de todos los ríos del Pirineo de cierta entidad, localizándose el origen en Sabiñánigo.
- Existen picos de concentración en flúor muy marcados.

*Río Sotón:* En la localidad de Esquedas se llevaron a cabo cinco muestreos, encontrando en todos los casos altas salinidades (superiores a un gramo por litro) y composición clorurado-sulfatada sódico-cálcica.

Diversos recorridos del río y sus afluentes mostraron que una buena parte de esta salinidad se debía a los aportes del Arroyo Salado, en el que se localizaron varios rezumes y manantiales hipersalinos (TDS superior a 100 g/L). Se llevaron a cabo muestreos con periodicidad variable de este arroyo, controlándose también un episodio tormentoso. En la tabla II se recogen los valores medios y extremos de la serie anual, de los que se desprende una baja variación anual, con aguas siempre clorurado-sódicas.

En el episodio tormentoso muestreado lo más destacable es el incremento de salinidad paralelo a la del caudal, alcanzándose el máximo de concentración salina inmediatamente después de la punta de la crecida y manteniendo siempre el carácter clorurado-sódico.

*Río Alcanadre:* Se incluyen aquí las cabeceras de los ríos Isuela, Guatizalema, Calcón, Formiga, Alcanadre y Vero (aun cuando este último no pertenece al Alcanadre), en los que las características geológicas son similares dentro de un contexto climático uniforme.

En la tabla III se recogen los datos medios de composición química de las aguas en las diferentes estaciones. En el caso del río Vero los datos corresponden a un único muestreo.

En las zonas más altas, y antes de introducirse en los macizos calcáreos de las Sierras Exteriores, las aguas son bicarbonatado-cálcicas, con baja salinidad.

Al atravesar las Sierras Exteriores se producen algunas variaciones en la salinidad total, composición química e incluso en el régimen térmico. Los ríos afectados son el Isuela, Guatzalema, Formiga, Alcanadre y Vero.

En el río Isuela, entre Arguis y Bueno, se produce un incremento salino (prácticamente se duplica la conductividad eléctrica), pasando las aguas a ser bicarbonatado-sulfatadas cálcicas. Paralelamente hay un apreciable incremento térmico, que puede llegar a ser de tres o cuatro grados en los meses fríos.

El río Guatzalema, aun cuando las variaciones no son especialmente importantes, experimenta también un incremento en la concentración de cloruros, sulfatos y sodio.

El río Formiga, con un único punto de muestreo, lleva aguas de composición bicarbonatado-clorurado-calco-sódica.

El río Alcanadre, el más importante de toda la cuenca y del que por su geología no debería esperarse una salinidad o composición reseñable, lleva en Bierge (tras la incorporación del Balcés, de baja salinidad) un apreciable contenido en cloruros, sulfatos y sodio, si bien las aguas siguen siendo bicarbonatado-cálcicas.

Por último, el río Vero, a la altura de la localidad de Alquézar, experimenta un incremento salino y térmico, con enriquecimiento en cloruros y sodio sobre todo.

*Río Cinca:* La amplitud de su cuenca, con numerosos puntos de muestreo, incluyendo los ríos Ara, Ésera e Isábena, hace que el seguimiento de la salinidad natural sea más complejo. Esta dificultad se ve acrecentada por los aprovechamientos hidráulicos (derivación de caudales) y los grandes embalses de regulación (Mediano, El Grado y Barasona).

RÍO	ESTACIÓN	CE	pH	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Ca	Mg	Na	K	F	B	Sr	SiO <sub>2</sub>
		dS/m		meq/L							ppm	mg/L	meq/L	mg/L
ISUELA	ARGUIS	0.410	7.98	3.43	0.17	0.87	2.94	1.00	0.140	0.025	0.096	0.005	0.020	3.912
GUATIZ.	NOCITO	0.342	8.10	3.69	0.07	0.42	3.23	0.66	0.134	0.010	0.093	0.000	0.004	4.770
VERO	LECINA	0.470	7.49	4.62	0.04	0.32	4.00	0.70	0.036	0.010	0.183	0.000	0.004	6.490
ISUELA	NUENO	0.722	7.92	3.30	1.29	3.28	4.42	2.00	1.29	0.048	0.226	0.006	0.064	6.073
GUATIZ.	SIPÁN	0.386	8.16	3.11	0.30	0.80	2.83	0.98	0.219	0.016	0.081	0.001	0.013	3.383
CALCÓN	BASTARÁS	0.501	8.14	4.15	0.25	1.17	3.03	1.69	0.332	0.016	0.113	0.005	0.027	7.370
FORMIGA	BASTARÁS	0.685	8.14	3.40	2.76	0.94	3.32	1.16	2.62	0.020	0.059	0.004	0.032	3.964
ALCAN.	BIERGE	0.498	8.12	3.27	0.91	1.01	3.12	1.04	0.888	0.013	0.122	0.000	0.017	4.025
VERO	ALQUÉZAR	0.440	7.80	3.27	0.74	0.60	3.11	0.78	0.834	0.020	0.176	0.000	0.017	5.110

**Tabla III.** Composición química de las aguas pertenecientes a la cuenca del río Alcanadre.

RÍO	ESTACIÓN	CE	pH	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Ca	Mg	Na	K	F	B	Sr	SiO <sub>2</sub>
		dS/m		meq/L							ppm	mg/L	meq/L	mg/L
CINCA	BIELSA	0.294	8.34	2.23	0.03	1.06	2.30	1.00	0.057	0.000	0.178	0.000	—	3.178
CINQUETA	PLANDES.	0.280	8.17	2.22	0.03	0.89	2.24	0.75	0.080	0.005	0.099	—	—	4.046
ÉSERA	BENASQUE	0.153	7.95	1.25	0.005	0.37	1.33	0.13	0.000	0.000	0.058	0.000	0.000	3.884
ISÁBENA	BONANSA	0.318	8.19	2.93	0.090	0.48	2.77	0.69	0.091	0.010	0.037	0.000	0.007	3.181
CINCA	HOSPITAL	0.279	8.41	1.92	0.10	0.89	2.06	0.78	0.103	0.000	0.143	0.000	0.005	2.453
CINQUETA	SALINAS	0.317	8.22	2.27	0.09	1.03	2.63	0.80	0.102	0.000	0.060	0.000	0.006	4.297
ÉSERA	MORILLO	0.284	8.62	1.73	0.45	0.76	1.86	0.49	0.386	0.005	0.053	0.000	0.004	2.825
ISÁBENA	BERANUY	0.559	8.34	2.69	1.94	1.05	2.89	0.94	1.93	0.015	0.053	—	0.005	3.926

**Tabla IV.** Composición química de las aguas pertenecientes a la cuenca del río Cinca, en los tramos de cabecera y sierras interiores.

Para el estudio de la cuenca se han separado cuatro tramos: Cabecera, Sierras Interiores, Depresión Media y Sierras Exteriores.

En la Cabecera se incluyen las estaciones de Bielsa (Cinca), Plandescún (Cinqueta), Benasque (Ésera) y puerto de Bonansa (Isábena). En todos los casos las salinidades son bajas, con aguas bicarbonatado-cálcicas y contenidos nulos en cloruros y sodio.

En las Sierras Interiores, con predominio de los materiales carbonatados meso-cenozoicos y varios afloramientos triásicos, incluyendo los niveles evaporíticos del Keuper, que se presentan jalonando grandes accidentes estructurales, se han establecido las estaciones de Salinas (Cinqueta), Hospital de Tella (Cinca), Morillo de Liena (Ésera) y Beranuy (Isábena).

En el río Cinqueta no hay variaciones significativas en lo referente a la composición química. Sin embargo, en el régimen térmico se ha detectado una importante anomalía, localizada en una zona donde las aguas del río se infiltran (entre Plandescún y paso de la Inclusa). Esta anomalía supone un incremento de cuatro o cinco grados en invierno con respecto al resto de los ríos próximos, mientras que en verano las temperaturas son menores.

En el río Cinca no se detectan variaciones de salinidad. Sin embargo, de entre sus afluentes merece destacar al río Bellós, que aunque desemboca aguas abajo de Hospital de Tella, atraviesa las Sierras Interiores (cañón de Añisclo). Sus aguas, de composición bicarbonatado-cálcica en el Molino de Aso, pasan a ser bicarbonatado-cloruradas calco-sódicas en Escalona, con un incremento térmico apreciable tan sólo en los meses invernales.

Tanto el río Ésera como el Isábena muestran en este sector importantes variaciones en la salinidad y composición química de sus aguas, con fuertes incrementos en cloruros y sodio y algo más bajos en sulfatos.

En el río Ésera el foco de sales más importante se ha localizado en Seira. En efecto, en las aguas que se derivan del azud de esta población hay un elevado contenido en sales. El foco exacto de las mismas no ha podido detectarse pero existe la sospecha de que el aporte pudiera produ-

cirse directamente a un canal que desagua en el mismo azud a través de tuberías de presión.

En el río Isábena el responsable del incremento salino es el río Blanco, que afluye al río principal en el desfiladero de Obarra. Este curso presenta una elevada salinidad, con composición clorurado-sódica y que está motivada por la presencia de manantiales salinos, así como de una gran extensión de Keuper en su cuenca.

En la tabla IV se recogen los datos relativos a los tramos de Cabecera y Sierras Interiores, en todos los casos correspondientes a valores medios de diferentes muestreos.

La Depresión Media pirenaica está ocupada principalmente por materiales detríticos finos y gruesos, de origen tanto marino como continental. Esta zona presenta una menor pluviometría que las dos anteriores, lo que hace que los cursos fluviales de cierta entidad sean escasos. La salida de esta zona se ha fijado en las poblaciones de Aínsa (ríos Cinca y Ara), Torres de Ésera (río Ésera) y Capella (río Isábena).

Los cambios en la salinidad global o en la composición química que se producen en este sector son escasos. Sin embargo, en pequeños cursos fluviales (Arroyo Villacartí, río Bacamorta, río Susia) se ha detectado una singular composición química, con predominio de los sulfatos y tendencia sódica. El efecto de todos estos afluentes sobre los grandes cursos a los que vierten es mínimo, si bien en el río Isábena se detecta un incremento de sulfatos con descenso en la relación cloro/sodio, que puede achacarse a estos materiales.

En todos los casos la composición química de las aguas de los grandes ríos, incluyendo el río Ara, del que sólo se muestreó en su desembocadura, sigue siendo bicarbonatada cálcica, si bien existe un ligero incremento salino.

En las Sierras Exteriores, camino ya de la depresión del Ebro, los materiales aflorantes son básicamente de edad meso-cenozoica, con recubrimientos oligocenos y miocenos de carácter detrítico y con presencia de diversos afloramientos de Keuper en los que el diapirismo ha jugado un papel importante.

Los puntos elegidos para controlar la composición química de las aguas son el canal del Cinca en El Grado, que deriva aguas del embalse del mismo nombre, y el canal de Aragón y Cataluña en Estadilla, que deriva aguas del embalse de Barasona.

La presencia de estos grandes embalses dificulta notablemente el seguimiento del régimen natural de salinidad de los ríos, tanto por mezcla de aguas de composición variable, como por la estratificación química que se produce en los mismos y que puede llegar a ser muy importante (AVILÉS *et al.*, 1973; MARGALEF *et al.*, 1976).

En el río Cinca, a pesar de la incorporación de algunos afluentes de gran salinidad como el río Naval o los barrancos de Trillo y Secastilla, la variación con respecto a la población de Aínsa es mínima. En el río Naval se ha llevado a cabo una intensiva campaña de muestreos semanales y de episodios tormentosos. La salinidad media del cauce principal es de cinco gramos por litro, con composición clorurado-sódica, y viene motivada por la presencia de numerosos manantiales salinos y amplias superficies de Keuper.

En el Ésera, tras su unión con el Isábena, existe un notable incremento salino. Las causas del mismo son la propia incorporación del río Isábena y la presencia de diversos cursos de gran salinidad, como el barranco de Aguinaliu (15 gramos por litro de sales).

Fuera ya de las Sierras Exteriores y tras la unión del Cinca y el Ésera, las aguas atraviesan el diapiro de Estadilla, de actividad reciente, pues ha perforado las terrazas cuaternarias del Cinca (LAGO *et al.*, 1989). Un único muestreo en este punto nos ha indicado la existencia de un aporte salino importante que debe realizarse a través del aluvial y controlado por las oscilaciones de nivel del río Cinca.

La tabla V recoge los datos analíticos correspondientes a las aguas en los sectores Depresión Media y Sierras Exteriores. En todos los casos los valores son medios de la serie muestreada.

*Río Sosa:* Es el río más oriental de todos los estudiados. Presenta una elevada salinidad, como se desprende de los datos recogidos en la tabla VI, cuyo origen se localiza en el diapiro de Peralta de la Sal, con numero-

RÍO	ESTACIÓN	CE	pH	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Ca	Mg	Na	K	F	B	Sr	SiO <sub>2</sub>
		dS/m		—	meq/L	—				ppm	mg/L	meq/L	mg/L	
CINCA	AÍNSA	0.294	8.15	2.19	0.21	0.83	2.23	0.78	0.170	—	0.123	0.000	—	2.971
ÉSERA	TORRES	0.281	8.10	1.87	0.44	0.65	2.01	0.44	0.362	0.015	0.059	—	—	2.894
ARA	AÍNSA	0.361	8.02	3.26	0.15	0.66	2.85	0.94	0.126	0.001	0.062	—	—	2.881
ISÁBENA	CAPELLA	0.514	8.15	2.76	1.36	1.28	2.98	0.96	1.41	0.021	0.083	—	0.021	3.337
CINCA	A. ESTADI.	0.269	7.99	1.97	0.13	0.73	2.08	0.79	0.186	0.010	0.078	0.000	0.007	2.453
ÉSERA	BARASONA	0.390	8.14	2.02	1.05	0.84	2.21	0.61	1.050	0.023	0.086	—	0.008	3.075
CINCA	D. ESTADI.	0.383	8.07	2.60	0.40	1.08	2.76	0.96	0.546	0.020	0.109	0.004	0.012	3.191

**Tabla V.** Composición química de las aguas pertenecientes a la cuenca del río Cinca, en los tramos de depresión media y sierras exteriores.

RÍO	ESTACIÓN	CE	pH	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Ca	Mg	Na	K	F	B	Sr	SiO <sub>2</sub>
		dS/m		—	meq/L	—				ppm	mg/L	meq/L	mg/L	
SOSA	PERALTA (a)	2.950	7.78	4.02	19.02	6.80	8.93	2.47	18.32	0.150	0.157	0.061	0.125	2.518
SOSA	PERALTA (b)	5.270	7.83	4.74	39.69	12.00	9.20	8.13	39.02	0.400	0.281	0.128	0.206	6.620

(a) En altos caudales

(b) En bajos caudales

**Tabla VI.** Composición química de las aguas pertenecientes al río Sosa, en la localidad de Peralta de la Sal.

Los manantiales salinos que todavía se utilizan para la obtención de sal mediante evaporación. Las grandes obras que se realizaban en el diapiro para aumentar la superficie de explotación de estos manantiales modificaban notablemente el régimen natural del río, por lo que no se efectuaron muestreos periódicos.

## DISCUSIÓN

Las variaciones de salinidad global y composición química en los grandes ríos pirenaicos son en general de poca importancia. No obstante, en cursos menores se pueden llegar a alcanzar niveles elevados de concentración salina y composición química singular.

Desde la cabecera, con aguas de naturaleza bicarbonatado-cálcica, la tendencia general es al aumento de salinidad. Este aumento de concentración salina tiene su origen en diversos mecanismos, con predominio de los procesos naturales.

La actividad humana (residuos urbanos, industriales) parece tener poca incidencia en la composición de las aguas. Únicamente el río Gállego se ve afectado en gran medida por esta razón. Los elevados contenidos en potasio que se detectan, los más altos de los ríos pirenaicos, así como marcados picos en las concentraciones de flúor, tienen su origen en la localidad de Sabiñánigo, tal y como lo confirman los muestreos realizados antes y después de esta población, que presenta la concentración industrial más elevada de toda la zona estudiada.

Las concentraciones en potasio se mantienen elevadas todo el año, mostrando una relación inversa con los caudales. Por contra, los picos de concentración de flúor no muestran relación con los caudales o con otro parámetro físico-químico de los analizados.

Los focos de sales de origen natural son los que muestran una mayor importancia en la composición de las aguas de los ríos pirenaicos. Estos focos de sales pueden ser tanto puntuales (manantiales) como difusos (escorrentías, contacto agua-cauce).

Los focos puntuales se presentan con cierta frecuencia en la zona estudiada; así tenemos los manantiales del Baño (río Isuela), manantiales salinos de La Fueva (río Formiga), manantiales del Chaso de Rodellar (río Alcanadre), fuentes del Baño de Alquézar (río Vero), fuente de los Suspiros o de Puyarruego (río Bellós). Todos ellos presentan concentraciones salinas elevadas y composición sulfatada cálcica o clorurada sódica y son los responsables de parte de las variaciones detectadas. Otra característica que presentan es su relación con los materiales evaporíticos de las facies Keuper, origen de la salinidad de sus aguas.

Los focos difusos son de difícil localización y cuantificación; procesos de disolución entre las aguas circulantes y su cauce, fenómenos de intercambio iónico, escurrientías sobre materiales de diversa naturaleza, tanto por precipitaciones líquidas como por fusión del manto de nieve, etc.

A pesar de esta dificultad y de los escasos datos disponibles se han puesto de manifiesto algunos hechos que podrían asimilarse a este tipo de fenómenos. En los pequeños cursos fluviales que drenan los materiales arcillosos de la depresión media se encuentran composiciones anómalas, con tendencia sulfatada sódica, y relaciones cloro/sodio inferiores a uno. En los ríos Gállego e Isábena, tras atravesar estos materiales, se detecta una pequeña variación en ese sentido. CERLING *et al.* (1989) encuentran hechos parecidos en ríos franceses y norteamericanos que drenan materiales arcillosos de origen marino, atribuyéndolos a procesos de intercambio iónico de calcio y sodio, de modo que el calcio queda retenido liberándose ión sodio a las aguas. Este proceso podría resumirse según

arcilla con sodio + calcio → arcilla con calcio + sodio

y estaría básicamente controlado por las concentraciones relativas de los iones calcio y sodio.

En los materiales evaporíticos del Keuper también tiene lugar este fenómeno de intercambio iónico, mucho más acentuado, pero también más enmascarado por las elevadas concentraciones salinas. En el río Naval, concretamente en el barranco Llastres, se han encontrado relaciones inversas entre las concentraciones de sodio y calcio y, lo que es más importante, se ha visto que en momentos de bajos caudales la liberación

de sodio es mucho más intensa, invirtiéndose el equilibrio durante periodos de elevada escorrentía.

La combinación de focos puntuales y focos difusos dentro de un mismo cauce alcanza su máxima representación en los ríos que drenan materiales evaporíticos del Keuper. El río Blanco, responsable de una gran parte de la salinidad del río Isábena, y el río Naval, afluente del Cinca, son buenos ejemplos de este hecho.

En el río Blanco se encuentra un manantial salino (Font Salá) con una salinidad de 30 gramos por litro y responsable de las altas concentraciones en cloro y sodio. Por otra parte, los extensos afloramientos de yesos proporcionan sulfatos y calcio a las aguas a través de diversos procesos. Entre éstos tenemos la disolución directa del cauce por las aguas circulantes, disolución de materiales caídos al cauce por deslizamientos y otros movimientos de masa (reptaciones), disolución subterránea a través de un pequeño campo de dolinas existente en la cabecera, escorrentías por lluvia y fusión de nieve, etc. Durante las escorrentías se ha visto que aumenta considerablemente la masa de yesos disuelta, fenómeno más acentuado cuando hay fusión de nieve, ya que las aguas percolan en horizontes del suelo más profundos y por ello menos lavados de sales.

En el río Naval el esquema es parecido, si bien existe un mayor número de manantiales salinos de más alta concentración (hasta 300 gramos por litro) y que se utilizan para la obtención de sal por evaporación (salinas de Iruelas, Rolda, Aliagar). La disolución de yesos es efectiva por diversos procesos (contactos agua-cauce, deslizamientos, escorrentías), aumentando considerablemente la masa lixiviada durante altas precipitaciones. Se ha calculado que durante un episodio tormentoso la masa de yeso supera en ocho veces a la exportada en bajos caudales.

En relación con los deslizamientos se han encontrado “cantos de arcilla armados” (*armored mud balls*) que en España tan sólo se han citado en dos lugares (El Pobo de Dueñas en Guadalajara y la depresión Guadix-Baza en Granada) por VERA *et al.* (1970) y RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ y VERA (1981).

Además de los ríos mencionados, fenómenos similares se dan en el Arroyo Salado (río Sotón), barranco del Mon (río Cinqueta), los barrancos de Aguinaliu y Puebla de Castro (río Ésera), Secastilla y Trillo (río Cinca) y Peralta de la Sal (río Sosa). Su importancia en el balance global de sales de los ríos pirenaicos es relativamente elevada, alcanzando gran importancia en los ríos Isábena, Sotón, Sosa y en menor proporción en el Ésera.

Las anomalías térmicas que se han detectado en el presente estudio, casi todas relacionadas también con aportes de sales, se deben a los manantiales del Baño (río Isuela), fuentes del Baño de Alquézar (río Vero) y fuente de los Suspiros o de Puyarruego (río Bellós). En el caso del río Cinqueta, quizás la anomalía más importante, se desconoce la causa directa si bien se ha localizado en una zona donde las aguas del río se infiltran en un macizo calcáreo (paso de la Inclusa).

Un último apunte puede hacerse sobre la influencia de los embalses en el régimen natural de salinidad de las aguas. En el embalse de La Peña, en el río Gállego, se ha llevado a cabo un muestreo semanal del que pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- Suavización de las oscilaciones de concentración.
- Incremento térmico global.

También se han visto variaciones importantes en los contenidos de sílice, de carácter estacional, en parte similares a las encontradas por WARD y KARAKI (1971) en un embalse norteamericano y que dichos autores atribuyen al ciclo vegetativo de las diatomeas y otras algas presentes en las aguas.

## BIBLIOGRAFÍA

- AVILÉS, J.; GONZÁLEZ, M.E.; PEÑA, R. 1973. *Reconocimiento limnológico de la Cuenca del Ebro*. Dirección General de Obras Hidráulicas, M.O.P., Madrid.
- CERLING, T.E.; PEDERSON, B.L.; VON DAMN, K.L. 1989. Sodium-calcium ion exchange in the weathering of shales: implications for global weathering budgets. *Geology*, 17: 552-554.

- I.G.M.E. 1982. *Mapa Geológico de España*. Escala 1: 50.000. Hoja n.º 178. BROTO.
- LAGO, M.; VAQUER, R.; POCOVI, A.; NAVARRO, J.; MILLÁN, H.; MARTÍNEZ, M.B. 1989. Características petrológicas y geoquímicas de las doleritas toleíticas triásicas (ofitas) del sector "El Grado-Aguinaliu" (provincia de Huesca). *III Congreso de Geoquímica de España. Soria 1989*, vol. I: 109-118.
- MARGALEF, R.; PLANAS, D.; ARMENGOL, J.; VIDAL, A.; PRAT, N.; GUISET, A.; TOJA, J.; ESTRADA, M. 1976. *Limnología de los embalses españoles*. Dirección General de Obras Hidráulicas. M.O.P. Madrid.
- MARTÍNEZ, F.J.; PABLO, F.; SÁNCHEZ, J.Á. 1988. Hydrogéochimie des aquifères carbonatés du massif de Guara (Huesca, Espagne). *Hydrogéologie*, 4: 273-280.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. *Anuarios de calidad de las aguas*. Años 1970-1985.
- RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, J.; VERA, J.A. 1981. Cantos de arcilla armados actuales y fósiles en la Depresión de Guadix-Baza. *Bol. R. Soc. Española Hist. Nat. (Geol.)*, 79: 149-159.
- SANCHEZ, J.Á. 1987. *Estudio hidrológico e hidroquímico de las Sierras de Guara y sus Somontanos*. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza. 851 pp.
- SANCHEZ, J.Á. 1988. *Los recursos hídricos de las sierras de Guara y sus somontanos*. Colección de Estudios Altoaragoneses, n.º 27. Instituto de Estudios Altoaragoneses. Huesca.
- SANCHEZ, J.Á.; MARTÍNEZ, F.J.; SANROMÁN, J.; CASTAÑEDA, C. 1987. Salinización natural en la cuenca del río Sotón y sus efectos en el medio ambiente. *Congreso Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*, vol. I: 513-526. Valencia.
- SANCHEZ, J.Á.; MARTÍNEZ, F.J.; SANROMÁN, J.; DE MIGUEL, J.L. 1988(a). Manifestaciones hidrológicas e hidroquímicas de flujos subterráneos procedentes de formaciones poco permeables del Terciario en el Somontano de Huesca. *Estudios Geológicos*, 44: 445-452.
- SANCHEZ, J.Á.; MARTÍNEZ, F.J.; SANROMÁN, J.; CASTAÑEDA, C. 1988(b). El arroyo salado de Puibolea: físico-química de sus aguas y posibilidades de utilización. *Lucas Mallada*, 1: 151-165.
- VERA, J.A.; VILLENA, J.; RIBA, O. 1970. Sobre el origen de los cantos de arcilla armados (armored mud balls). *Cuadernos de Geología. Universidad de Granada*, 1: 79-89.
- WARD, J.C.; KARAKI, S. 1971. *Evaluation of the effect of impoundment on water quality in Cheney Reservoir*. Water Resources Technical Publication, Research Report, n.º 25. USDI.