

HIDROQUÍMICA DE AGUAS NATURALES DEL PIRINEO ALTOARAGONÉS

Miguel Ángel PUYAL ROMERO¹
José Antonio CUCHÍ OTERINO²
José Antonio MANSO ALONSO²

RESUMEN.—Se ha realizado un estudio hidroquímico de aguas relacionadas con diversas facies geológicas en el Pirineo del Alto Aragón.

ABSTRACT.—The hydrochemistry of the waters related with several geological facies of the Alto Aragón Pyrenees was studied.

KEY WORDS.—Hydrochemistry, Pirineo, Huesca.

INTRODUCCIÓN

En las diversas facies litológicas del Pirineo altoaragonés se encuentran corrientes de agua superficial y fuentes con diferentes hidroquímicas. Aunque se han utilizado desde la antigüedad, no existe demasiada información sobre las mismas. Solo BESCÓS (1991), BUERA (1998), LARREY y cols.

¹ HUESCA.

² Escuela Universitaria Politécnica de Huesca. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA.

(1996), MORENO y cols. (1997), NINOT y cols. (1993), SÁNCHEZ (1987) y SAZ (1991) presentan algunos datos de calidad química en diversos puntos del Pirineo.

Para ampliar el nivel de información, se ha realizado un amplio barrido del Pirineo altoaragonés, donde se ha intentado incluir aguas relacionadas con las facies geológicas más características.

MARCO GEOGRÁFICO, GEOLÓGICO E HIDROLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio abarca el Pirineo de la provincia de Huesca, desde el valle de Oza hasta el de Llauset. La frontera francesa forma el límite norte y los somontanos subpirenaicos actúan como margen sur. Se han incluido, por tanto, Pirineo, Prepirineo y las depresiones interiores.

La geología de la zona de estudio es relativamente compleja. Una visión simplificada puede encontrarse en PEDROCCHI (1997). En una primera aproximación, las facies que se han considerado más interesantes son calizas del Devónico y del Cretácico-Eoceno, areniscas rojizas del Estefano Pérmico, batolíticos graníticos y sus aureolas metamórficas, salmueras del Keuper y margas grises del Eoceno.

En cuanto a aguas superficiales, todos los materiales albergan corrientes de agua, cuya hidrología cuantitativa depende del régimen nival/pluvial de las precipitaciones y la relación entre aguas superficiales y subterráneas. La hidrogeología de la zona pirenaica está todavía poco estudiada. Los acuíferos en calizas tienen claras características de *karst* de montaña. Existe un amplio número de unidades kársticas con extensas zonas de adsorción, importantes sumideros, grandes sistemas de cavidades y surgencias de caudal variable. En los granitos existe un doble flujo fisurado, de caudales modestos. La lajación superficial transmite aguas frías, visibles en Resposmuso, Bachimaña y Literola, mientras que las fracturas estructurales parecen ser responsables de las aguas termales en Panticosa y Benasque. Las areniscas parecen presentar un flujo poroso. Los materiales del Keuper y las margas grises han sido considerados como acuícludos, aunque en ellos afloran aguas con interés hidroquímico.

MATERIAL Y MÉTODOS

Las muestras se seleccionaron a partir de diversas fuentes de información geológica, geográfica y etnológica, así como por referencias de pastores, montañeros, agentes forestales y autoridades locales. A partir de la información obtenida se seleccionaron las siguientes zonas:

- Cabecera del Aragón Subordán: Hecho, Oza y Aguas Tuertas.
- Cabecera del Aragón: Astún, Rioseta, Canal Roya y Villanúa.
- Cabecera del Gállego: Portalet, Corral de las Mulas, embalse de La Sarra, balneario de Panticosa, Santa Elena.
- Cabeceras del Cinca: minas de Parzán (Liena), Tabernés y Viadós.
- Cabecera del Ésera: Eriste, Aigualluts, Vallibierna y Campo.
- Cabecera del Isábena: Villarrué y Capella.
- Cabecera del Noguera Ribagorzana: Llauset.
- Prepirineo y depresiones interiores: salinas de Naval, balnearios de Estadilla y Arro, Sabiñánigo, Senegüé, Ordovés.

In situ, se determinaron temperatura y conductividad mediante un conductímetro Orion 122; pH y potencial redox, con un pHmetro Orion 920A; oxígeno disuelto, con un YSI 55.

Según las circunstancias, en cada punto de agua se llegó a tomar hasta cuatro muestras diferentes, en botellas de PVC o polipropileno, para alcalinidad, iones normales, metales pesados y sulfuros. Las dos primeras se transportaron y almacenaron con refrigeración. Se añadieron 5 cm³ de ácido nítrico concentrado a las muestras para análisis de metales pesados. Para sulfuros, solo en aquellas en que se detecta organolépticamente su presencia, se adicionaron 2 gramos de acetato de zinc sólido. Todas las botellas habían sido previamente lavadas con HCl concentrados y enjuagadas con agua desionizada. En el muestreo se enjuagaron al menos tres veces con el agua a analizar.

La alcalinidad se determinó, en todos los casos, en menos de 24 horas desde la recogida, sobre muestras conservadas en nevera. El resto de iones comunes y los sulfuros se analizaron en menos de una semana en los laboratorios de la EUPH; los metales pesados, en el Servicio Central de Análisis de la Universidad de Zaragoza.

Los cloruros se determinaron mediante electrodo selectivo, con adición de nitrito sódico; los sulfatos, por turbidimetría con adición de cloruro de bario en medio acético, en un aparato Unicam UV2, a 470 nm; la alcalinidad, por adición de ácido sulfúrico, con naranja de metilo como indicador; los nitratos, por absorbancia a 220 nm en medio ácido; el sílice, por colorimetría a 820 nm, con formación de molibdosilicato; sodio, potasio y calcio, por fotometría de emisión de llama a 589 nm, 765 nm y 623 nm en un Jenway PFP7; el magnesio, por complexometría con AEDT a pH 10 y Negro de Eriocromo T como indicador; los fluoruros, por valoración potenciométrica con electrodo selectivo y electrodo de referencia; los sulfuros totales, mediante yodatometría.

Aluminio, arsénico, hierro, manganeso, cobre, zinc, plomo, boro y mercurio se analizaron mediante ICP; aluminio, arsénico, hierro y manganeso se determinaron también en algunas muestras por espectrometría analítica con cámara de grafito y efecto Zeeman en un Varian Spectra 300/400.

Los datos analíticos fueron procesados con el programa WATEQF, del U. S. Geological Survey, que calcula la especiación y grado de saturación/instauración de las muestras de agua en varios minerales.

RESULTADOS

Los resultados se presentan en la tabla I.

El pH se expresa en unidades de pH, temperatura en grados centígrados, conductividad en microsiemens/cm, a 20 °C, oxígeno disuelto en ppm, potencial redox en milivoltios, los iones mayoritarios en miligramos por litro. Los metales pesados, por ICP en miligramos por litro. Los datos entre paréntesis indican los valores extrapolados por debajo de los límites de detección por este método. Las cuatro últimas columnas presentan los datos de metales pesados en microgramos por litro determinados mediante efecto Zeeman. La última línea de la tabla muestra los límites de detección para ICP.

INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir de los resultados obtenidos se han clasificado las aguas en cuatro tipos. Como «normales» se han calificado las aguas relacionadas con macizos calizos y formaciones de areniscas. Más singularidad presentan las

Tabla I. Datos analíticos de diversas aguas del Pirineo del Alto Aragón.

	pH	t °C	CE μ S/cm	OD ppm	Eh mV	HCO ₃ ⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	F ⁻	Cl ⁻	S ²⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Sílice	Fechas
Liena	5,35	5,1	127	9,51	533	68,32	4,94	15,9	0	0,12	0,242	0,07	0,07	3,16	0,39	0	17/6/95
Arro	7,7	19	1,192	2,6	-280	244	50,08	36,1	123	4,2	0,445	11,3	2,56	3,46	369,8	0,79	17/6/95
Estadilla	7,12	12,5	1,872	0,46	163	351,26	135,5	89,03	99	6,79	0,32	65,2	0,48	12,4	406,4	3,55	24/6/95
Naval	7,16	21,5	298,000	5,9	289	178,61	234,4	1,850	26,050	903	0,33	151,200		4,230	1,015	0	24/6/95
Portalet	6,77	8,1	336	6,77	374	113,12	8,46	51,8	0	0,07	2,16	1,19	1,19	2,8	49,8	0	17/8/95
Corral de las Mulas	7,19	16,5	128	5,7	397	53,58	0,78	19,6	0	0,21	0	1,06	1,06	1,79	19,12	0	17/8/95
La Sarra	7,55	8,3	306	10,02		161,08	14	36,6	2,47	0,21	0	0,96	0,96	11,3	21,13	0,57	6/9/95
Tiberio	9,1	47	176	2,89		50,49	2,92	0	26,56	0,9	0,98	14,2	1,92	9,64	27,43	9,99	6/9/95
La Belleza	9,15	27,9	164	2,03	-139	52,87	2,92	0	25,57	0,73	0,87	9,46	0,32	11,6	22,43	8,32	6/9/95
Ordovés	7,37	22,4	523	4,56		281,25	31,64	47,23	7,59	2,13	0	8,04	8,04	17,5	27,97	1,87	6/9/95
Ordovés (piedra)	7,54	22,3	528	4,44		281,67	31,64	47,33	7,51	2,48	0	8,57	8,57	28,83	28,91	1,77	6/9/95
A. Claver	7,22	13,3	1,481	1,89	65,4	349,8	96,46	23,3	126	4,6	0,199	25,6	0,48	24,4	386,3	4,45	23/9/95
J. Claver	7,31	15,2	1,691	3,74	20,3	625,1	12,13	81,5	292	4,5	0,281	101	0,48	5,94	321,4	5,67	23/9/95
Aguas Tuertas	8,22	11,4	249	9,86	348	136,93	13,4	30,8	0	2,07	0,29	1,15	1,15	2,83	28,34	0,71	30/9/95
Oza	8,04	9,4	284	10,1	376	178,6	13,8	34,9	0	2,65	0,24	38,7	4,42	16	2	30/9/95	
Merendero de Oza	6,88	9,8	303	6,85	411	178,6	13,8	36,5	0	2,07	0,31	1,23	1,23	2,94	19,53	1,87	30/9/95
Barranco de la Mina	8,23	8,8	172	10,7	483	101,21	6,42	23,1	0	1,68	0,27	2,61	2,61	1,66	22,18	1,06	30/9/95
Acherito	8,18	12,6	178			101,2	6,32	23,3	0	1,48	0,31	1,09	1,09	1,15	20,02	0,93	30/9/95
Baños de Hecho	7,38	12,9	1,132	2,83	-74,1	666,8	12,94	23,5	234	7,71	3,35	56,1	4,9	4,69	41,95	7,47	30/9/95
C. Bachimala	6,07	6,7	54,9	9,36	264	3,57	1,83	4,2	0	0,28	0,49	0	0	1,59	20,9	1,81	7/10/95
Cinqueta de la Pez	6,68	6,7	44,9	9,15	438	7,14	0,07	6,3	0	0,46	0,34	0	0	1,41	33,94	1,46	7/10/95
Cinqueta de la Madera	4,07	7,7	71,4	9,13	396	0	2,59	1,34	0	0,26	0,52	0	0	0,66	23,51	1,98	7/10/95
Barranco Tabernés	3,61	10	63	9,51	506	0	0,97	0	0	0,04	0,42	0,86	0,86	0,34	10,48	0,69	7/10/95
Fuente Encante	6,86	8,4	279	8,25	330	19,65	7,76	36,11	0	0,62	0,77	1,07	1,07	0,55	80,87	4,36	7/10/95
Fuente Pista	6,22	10,1	125	9,27	445	71,44	3,2	14,62	0	0,42	0,38	1,33	1,33	1,38	7,87	3,03	7/10/95
Morgazos Villanúa	7,5	7,2	200	10,54	444	107,16	2,22	34,83	0	0,8	0,34	1,11	1,11	2,09	23,25	2,13	8/10/95
Viejas Villanúa	7,24	6,9	204	10,76	430	119,072	3,72	33,87	0	0,32	0,35	1,06	1,06	1,9	23,12	0,1	8/10/95
Astún	7,76	13,6	105	8,45	337	52,09	3,82	12,94	0	0,5	0,33	1,21	1,21	0,73	15,7	0,11	8/10/95
Canal Roya	7,41	10,8	132	10,65	323	72,93	2,66	19,66	0	0,28	0,27	1,02	1,02	0,87	6,57	2,33	8/10/95
Escorrentía C. R.	7,73	8,9	167	10,77	400	96,75	7,52	18,06	0	0,58	0,27	0,99	0,99	1,14	5,26	2,78	8/10/95
Santa Elena	7,01	9,4	294	10,12	398	171,2	12,56	37,01	0	0,84	0,3	1,01	1,01	1,15	5,26	4,35	8/10/95
Mátamoros	6,74	12,8	692	8,3	412	334,9	15,93	90,79	0	1,83	0,61	5,89	0,24	22,63	57,4	4,25	8/10/95
Desvío a Campo	6,61	14	617	8,26	414	342,3	2,16	114,6	1,16	0,4	0,35	1,5	1,5	3,26	58,71	3,37	12/10/95

	pH	t °C	CE μ S/cm	OD ppm	Eh mV	HCO ₃ ⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	F ⁻	Cl ⁻	S ²⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Silice	Fechas
Barranco Corvacho	7,58	12	474	9,68	370	297,7	0	109,5	1,93	0,57	0,25	2,2		1,11	26,12	3,79	12/10/95
Fuente de La Puda	8,99	13,2	980	2,7	-128,2	491,2	1,7	3,61	198	1,08	4,88	119,6	0,56	1,15	5,26	3,97	12/10/95
Isábena	8,34	9,8	272	9,85	144,7	166,7	0	56,9	0,85	0,16	0,25	1,17		0,78	17	1,93	12/10/95
Isábena Capella	8,07	17,3	496	8,54	388	142,9	9,03	59,7	0,51	1,32	0,22	56,12		1,39	45,67	0,69	13/10/95
Llauset	7,74	6,6	69,6	9,5	353	31,26	0,03	10,74	3,54	0,5	0,16	0,61		0,76	17	0,5	12/10/95
Túnel de Llauset	3,95	11,3	565	6,3	276	0	2,59	73,01	0,62	6,06	0,16	2,18		0,3	333,8	4,76	12/10/95
Túnel de Anglios	7,32	8,8	83	8,55	486	44,65	0	16,03	0	0,43	0,12	1,56		0,98	17	0	12/10/95
Rinero	6,8	6,6	306	11,16	212,7	10,42	7,22	38,94	0	0,53	0,26	0,56		0,32	144,74	0,67	13/10/95
Barranco Abetosa	7,83	7,7	124	10,13	410	67	0	26,2	0	0,1	0,12	1,03		1,08	11,78	2,76	13/10/95
Barranco Coronas	6,8	7,3	38	9,6	435	0	0	5,9	0	0,04	0,12	0,83		0,8	6,57	0,42	13/10/95
Royera	3,25	9,7	303	9,33	453,4	0	1,06	2,18	0	0,1	0,24	0,44		0,16	110,85	2,73	13/10/95
Aiguallut	5,89	10,1	35	9,35	423	17,9	0	5,96	0,05	0,29	0,11	1,01		0,04	7,87	0,65	13/10/95
Espiantosa	7,75	6,3	124	10,36	396	67	0	30,9	0,08	0,03	0,1	1,14		1,22	6,57	1,89	13/10/95
Aigieta Eriste	7,72	8,6	72,9	9,56	436	40,2	0	14,6	0,71	0,19	0,17	0,9		2,46	5,26	1,39	13/10/95

	Al	As	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	Hg	B	Al*	As*	Fe*	Mn*
Rinero	3,07	(0,13)	5,953	0,163	(-0,02)	(-0,035)	(0,023)	(0,24)					
Túnel de Llauset	9,47	0,62	52,2	0,468	0,172	(-0,036)	(-0,105)	(0,11)					
Llauset	0,30	(0,23)	0,258	0,019	(-0,07)	(-0,154)	(-0,04)	(0,03)		238	548		
La Puda	0,20	(0,33)	0,074	0,02	(-0,064)	(-0,149)	(0,020)	(0)		65			
Bachimala	0,43	(0,18)	1,014	0,032	(-0,073)	(-0,155)	(0,024)	(-0,08)					
Royera	1,23	(0,17)	15	0,153	(-0,066)	(-0,158)	(-0,004)	(-0,04)					
Aiguallut	(0,18)	(0,13)	0,143	0,024	(-0,072)	(-0,167)	(0,009)	(-0,03)		33			
Fuente Encante	(0,25)	(0,17)	7,032	0,074	(-0,049)	(-0,168)	(0,022)	(-0,02)		13			
Pozo J. Claver	0,67	(0,31)	0,953	0,026	(-0,017)	0,125	(0,062)	(-0,04)					
Barranco Tabernés	0,52	(0,14)	0,139	0,026	(-0,066)	(-0,159)	(0,016)	(-0,12)					
Merendero de Oza	(0,26)	(0,24)	(0,042)	(0,012)	(-0,059)	(-0,171)	(0,001)	(-0,06)		7	14	0,9	
Liena	(0,26)	(0,20)	(0,042)	(0,012)	(-0,062)	(-0,086)	(-0,043)	(0,02)		20	20	2	
Barranco Madera	1,32	(0,08)	0,463	0,029	(-0,066)	(-0,150)	(0,045)	(-0,01)					
Portalet	0,44	(0,35)	0,146	(0,015)	(-0,065)	(-0,177)	(0,083)	(0,06)				6	
Tiberio	(0,10)	(0,12)	0,07	(0,011)	(-0,055)	0,34	(0,037)	(-0,06)		41	339	1	
Salinas de Naval	1,25	(0,17)	0,129	0,065	(-0,017)	(-0,037)	(0,130)	(0,04)		3,885			
Límite ICP	0,28	0,53	0,046	0,014	0,077	0,018	0,42	0,25	0,048				

aguas en contacto con granitos, especialmente las termales. Estas y otras aguas relacionadas con margas y evaporitas presentan sulfuros disueltos. En las zonas de aureola metamórfica de los plutones graníticos se encuentran aguas con elevados niveles de acidez y presencia de metales pesados.

1. *Aguas relacionadas con calizas*

Las macizos calizos del Pirineo, formados por materiales del Devónico, Carbonífero, Cretácico superior, Paleoceno y Eoceno, albergan diversos acuíferos kársticos. En el presente trabajo se han estudiado aguas del valle de Hecho (barranco de la Mina, Acherito), Aragón (Morgazos y Viejas de Villanúa), Cinca (fuente en el desvío a Campo), Gállego (Portalet, barranco del Corral de las Mulas, fuente de La Sarra, Santa Elena). En este último punto se muestreó la fuente sita en la carretera, donde paran numerosos automovilistas.

En conjunto, las aguas son de tipo bicarbonatado cálcico y pH alcalino, presentan conductividades en un rango amplio entre 200 y 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, redox positivo y cercanas a la saturación en oxígeno. El pH de las surgencias es más bajo que el de los cursos de agua, hecho también observado en Guara por BUERA y cols. (1998) y atribuido a una posible actividad biológica en las aguas superficiales. Destaca el contenido de fluoruros en el nacimiento del Gállego. Aunque aflora en calizas, cabe recordar la existencia de minas de fluorita en los alrededores.

La aplicación del WATEQF muestra una insaturación general calcita/aragonito, en la mayor parte de las muestras. Cuando en estas aguas se incrementa la temperatura o el pH se produce la sobresaturación en calcita/aragonito (Corvacho). Es también común la saturación en sílice (Campo, Santa Elena, Corvacho). Como era de esperar, el agua del Portalet es más compleja y presenta saturación (de acuerdo con el programa informático) en varios oxihidróxidos de hierro III y aluminio.

2. *Aguas de areniscas*

Diversas formaciones de areniscas dominan el paisaje del Alto Aragón. En la zona pirenaica son características las formaciones rojizas del Estefa-

no-Pérmico, que aflora en Oza, Canal Roya, Bielsa, Viadós, Villanova y Laspaúles. En la ladera norte del Prepirineo, la formación Campodarbe cubre una extensa superficie desde el puerto de Santa Bárbara hasta Bara. Se ha muestreado preferentemente la primera de ellas, con varias muestras en Oza, Astún, Canal Roya, pista de Viadós (Fontaciellas), así como el alto Isábena, aguas arriba de Laspaúles. A efectos de una simple comparación se ha tomado otra muestra del río Isábena, en Capella. Como esta litología ha sido estudiada en BUERA y cols. (1998), solo se ha tomado una muestra de agua de las areniscas del Monrepós, en Ordovés.

Las aguas de las areniscas rojizas presentan características similares a las de las calizas; es de destacar que el pH de las fuentes es también mas bajo que el de los cursos superficiales.

WATEQF presenta solo saturación en aragonito, calcita y dolomita en Aguas Tuertas y la fuente de la carretera de Oza. El agua de la fuente del merendero de Oza, con un análisis más completo, presenta saturación en un amplio número de minerales. Las demás están insaturadas.

La muestra de agua de la fm. Campodarbe es similar a las anteriores, aunque con mayor contenido relativo en magnesio. Como curiosidad, se ha muestreado esta agua antes y después de introducir la piedra de Ordovés. El agua, una vez remojada la piedra en ella, se emplea como remedio popular contra mordeduras de algunas serpientes. Sin poder entrar en otras consideraciones, solo se ha observado un enriquecimiento en nitratos. También presenta saturación en calcita y dolomita.

3. *Aguas ácidas*

La mayor parte de las aguas superficiales y subterráneas del Pirineo central tienen pH cercano a la neutralidad. Aunque el pH del agua de fusión de la nieve pirenaica suele ser ligeramente ácido (CUCHÍ y MANSO, 1997), se neutraliza con cierta rapidez, al interaccionar con la roca. Sin embargo se detecta la presencia de aguas claramente ácidas en la aureola metamórfica de los batolitos del Aneto, Llardana (Posets) y Barrosa. Su origen parece relacionado con la oxidación de mineralizaciones de sulfuros metálicos, objeto de explotación en el pasado, como relaciona MALLADA (1878). No

se han encontrado, aunque se buscaron, indicios de aguas ácidas en los alrededores de las minas de cobalto de Gistaín.

Los valores más bajos corresponden a aguas de la zona de Royera, en el valle de Ballibierna y en el refugio de Tabernés. En el primer caso, las aguas discurrían sobre una amplia zona de aspecto ferruginoso característico. Junto al refugio de Tabernés, las aguas muestreadas se utilizan en un abrevadero.

En este mismo valle, el Cinqueta de la Madera y el barranco de Bachimala acidifican, a la altura del pluviómetro, al Cinqueta de la Pez. El agua del río permanece ácida, a pesar de la aportación del barranco Culrueba, hasta su confluencia con el Cinqueta de Añes Cruces. Esto puede explicar los fracasos en los intentos de repoblación piscícola en el tramo inferior del Cinqueta de la Pez, que, sin embargo, han tenido éxito aguas arriba, por encima del paso del Gato (P. BARRACHINA, com. personal).

Estas aguas ácidas presentan contenidos importantes de metales pesados, acordes con su hipotética génesis por alteración de sulfuros. Destacan las concentraciones de aluminio en el túnel de Llauset (9,47 mg/L) y barranco Rinero (3,07 mg/L), y de hierro en Llauset (53,20 mg/L), Royera (15,00 mg/L), fuente del Encante (7,03 mg/L) y barranco Rinero (5,95 mg/L). Las concentraciones de manganeso son mucho menores, con los valores más altos también en Llauset (0,468 mg/L), Rinero (0,163 mg/L) y Royera (0,153 mg/L). Solo se ha detectado cobre en Llauset (0,172 mg/L) y posibles indicios de mercurio, por debajo del límite de detección del ICP, también en Rinero (0,24 mg/L) y Llauset (0,11 mg/L). Asimismo se detecta la presencia de arsénico (548 μ g/L) en una fuente que mana en un canchal cercano a la presa de Llauset.

A pesar de la acidez del agua de una de las bocas de la mina Robert (Liena, Chisagüés), sus niveles de metales pesados son relativamente bajos. Es posible que haya un efecto de dilución por agua de fusión de nieve infiltrada. En este sentido, cabría pensar en la posibilidad de variaciones de concentración a lo largo del ciclo anual.

Estos niveles de metales pesados detectados indican que pueden presentarse problemas si estas aguas se utilizasen de forma prolongada como aguas de bebida humana o animal. Sería conveniente realizar un muestreo más exhaustivo en las zonas señaladas.

En algunos manantiales de este tipo de aguas se han construido acumulaciones ferruginosas de cierta importancia, en el alto Cinqueta (Orieles, Encante) y Ballibierna (Royera). En el flujo superficial se produce la precipitación de óxidos de hierro, dando aspecto aceitoso e iridiscente a aguas tranquilas y tiñendo de ocre los cantos (Cinqueta de la Madera, Rinero). También se observa la producción de precipitados coloidales de color vario y composición desconocida en Tabernés y especialmente en Llauset.

La aplicación del programa WATEQF a este grupo de muestras indica en muchos casos la precipitación de numerosos minerales, coherente con las observaciones directas, como en Llauset y El Encante. Es interesante el hecho de que aparezcan teñidos de rojo los cantos y maderas en los arroyos que descienden del puerto de la Madera y de Bachimala, mientras que no lo están en el Cinqueta de la Pez, insaturado según el programa. No fue posible aplicar este a las aguas de Royera.

4. Aguas en granitos

Poca información se tiene todavía sobre la hidroquímica de las aguas superficiales y subterráneas en los diversos plutones graníticos, aunque muchos ibones y diversas corrientes, como Aguas Limpias y Caldarés, discurren por este material. Ejemplo de las mismas serían las muestras de los barrancos de Coronas, en Ballibierna, y Aigualluts en el *forau* del mismo nombre. Presentan valores de conductividad eléctrica francamente bajos y pH ligeramente ácido, que permiten relacionarlas con aguas de fusión de nieve y hielo glaciar. En todo caso presentan un enriquecimiento en calcio y sílice. Las aguas de Abetosa en Ballibierna, Espiantosa y Aigüeta de Eriste muestran un aumento en pH y contenido en sales disueltas, por discurrir en terrenos mixtos o ser resultado de mezclas de aguas.

Queda mucho por estudiar en la hidrología de los acuíferos en los granitos altoaragoneses, especialmente en su evolución química e isotópica, desde el agua de fusión de nieve hasta las aguas termales, pasando por los modestos flujos subsuperficiales a través del diaclasado de descompresión. Solo se han muestreado aguas profundas, que se consideran en el apartado de aguas sulfurosas.

WATEQF presenta una lógica insaturación en las aguas de Coronas, Abetosa, Espiantosa y Aigüeta de Eriste. Sin embargo en Aigualluts se presenta saturación en minerales de hierro y aluminio. Es posible que sea un «artefacto» analítico, dado que es la única con datos de metales pesados. Sin embargo, se ha observado el afloramiento de aguas procedentes de las laderas calcoesquistosas del norte del valle, de características diferentes que las que descienden de Aneto y Barrancs. Por ello es posible que la hidroquímica señale una mezcla de aguas y la zona sea hidrológicamente más complicada de lo supuesto inicialmente.

5. Aguas sulfurosas

Se constata la existencia de tres tipos de aguas sulfurosas en el Pirineo altoaragonés, en granitos, margas y evaporitas.

En los batolitos graníticos del Paleozoico, por flujo a través de fisuras, se generan las aguas termales que afloran en los balnearios de Panticosa y Benasque. Además de su temperatura, se caracterizan por bajos valores de conductividad eléctrica y oxígeno disuelto, potencial redox negativo, presencia de sulfuros y carácter bicarbonatado sódico. Dado que han sido ampliamente estudiadas en diversos informes geológicos y médicos, solo se han muestreado las aguas del sondeo de Tiberio y la fuente de la Belleza en Panticosa. Estas aguas presentan los valores de pH más elevados del conjunto de las muestras, pues superan el valor de 9,0. Hay que destacar también la presencia de arsénico en Tiberio ($339 \mu\text{g/L}$), derivado posiblemente de la alteración de minerales arsenicales, citados por MALLADA (1878) en otras zonas del batolito (Yenefrito). Este dato complementa los valores presentados por MORENO y cols. (1997).

Aplicando WATEQF, Belleza aparece sobresaturado en cuarzo y varios silicatos magnesianos (talco, crisotilo) y en equilibrio con magnesita. Tiberio, con más datos analíticos, también lo está en los minerales magnesianos y en oxihidróxidos de hierro y manganeso. Sorprendentemente no está saturada en cuarzo.

Las aguas de la modesta fuente de La Puda, en Villarrué, afloran a través de areniscas rojizas. Su nombre en patués denota su olor. Por su pH ele-

vado, presencia de flúor y otras características, pudieran ser relacionables con flujo profundo por granitos. WATEQF presenta una saturación en minerales que en parte coinciden con los de Tiberio y, en parte, con la fuente del merendero de Oza.

En materiales terrígenos, en flujos aparentemente más superficiales, se producen también aguas de características sulfurosas. Tanto en el *flysch* del grupo de Hecho como en diversas formaciones margosas del Cretácico Superior al Oligoceno, aparecen pequeños manantiales. Salvo los casos de Tiermas y Assoveral, fuera de Huesca, en el resto de los casos sus caudales son mínimos, poco más que rezumes muy afectados por periodos prolongados de sequías. Se han empleado tradicionalmente para curar enfermedades de la piel. SAZ (1991) lista y presenta datos analíticos de varias de ellas.

La información hidrológica de estas unidades es prácticamente inexistente; en la práctica se consideran como impermeables. Hay, sin embargo, indicios de flujos localizados, posiblemente relacionados con fisuras, y además, en la confluencia del Aurín y el Gállego, evidencias de un acuífero en margas que abastece a varias propiedades. En este trabajo se han muestreado las fuentes de los Baños de Hecho y el balneario de Arro, el barranco de Corvacho en el valle de Bardají, la fuente de Matamoros, entre Senegüé y Sabiñánigo, y dos pozos de particulares en Foniles (Sabiñánigo).

Las dos primeras tienen temperaturas normales, pH próximo a 7,0, conductividad eléctrica superior a los $1.000 \mu\text{S}/\text{cm}$, reductoras, una mayor participación de iones divalentes frente al sodio, que se observa en aguas sulfurosas de granitos, así como valores altos de potasio. Características similares tienen las aguas de los dos pozos y en menor medida de la fuente de Matamoros. Por la presencia de nitratos parece evidenciarse, en estas últimas aguas, un cierto efecto de recarga desde el sistema local de riego. La aplicación de WATEQF pone de manifiesto la existencia de una cierta heterogeneidad en estas aguas. Así, Arro está saturada en calcita, dolomita y magnesita; Echo, en fluorita; Matamoros y el pozo de A. Claver, en cuarzo. Los datos más completos del otro pozo muestran saturación en una colección de minerales, incluido ilita, mineral que se considera dominante en las margas grises de la cuenca de Jaca.

El barranco de Corvacho en la falda del Turbón, donde NINOT y cols. (1993) citan una fuente sulfurosa, discurre sobre margas. Sin embargo, sus

aguas presentan características similares a las de calizas. Este hecho parece repetirse en otras zonas similares, como en los pies margosos de Sierra Ferrera y Castillo Mayor.

La génesis de los sulfuros pudiera explicarse como un proceso de reducción de los sulfatos a partir de la degradación bacteriana de la materia orgánica existente en las margas. En todo caso, existe muy poca información sobre las características de todo tipo, no solo hidrológicas, de las margas de la zona central del Alto Aragón. A pesar de su aspecto monótono, existen evidencias de una amplia heterogeneidad.

El tercer tipo de aguas con sulfuros se deriva de las arcillas y evaporitas del Keuper. Este participa en las estructuras geológicas del conjunto pirenaico y ha causado diversos diapiros desde Naval hasta el Noguera Ribagorzana. Aunque considerado como acuicludo, algún tipo de material asociado, quizás las carnioles, transporta salmueras. Su emergencia origina las numerosas fuentes y barrancos salados de la zona norte de la provincia: Salinas de Jaca, barranco salado de Puibolea, fuente salada de Guara, Chasa de Rodellar, salinas de Naval, barrancos salados de Aguinaliu y Gabás, Salinas de Trillo, Peralta de la Sal y Calasanz. En el presente trabajo se ha muestreado el manantial principal de las salinas de Naval y una de las piscinas subterráneas alimentadas por el pobre manantial en la galería del balneario arruinado de Estadilla.

Solo algunas de las surgencias saladas señaladas muestran signos organolépticos de presencia de sulfhídrico gaseoso, aunque es muy común la de azufre reducido de tipo bacteriano. Las características hidroquímicas de Estadilla son similares a las de Arro. En este punto, al igual que en el balneario de Camporrells, no podría descartarse la mezcla de agua de varios tipos, con dilución de las salmueras del Keuper. WATEQF indica para Estadilla un equilibrio con dolomita y cuarzo.

Evidentemente destacan los resultados de Naval, donde solo se ha muestreado la fuente de Rolda, que se emplea en las salinas de mayor entidad; por su temperatura, se puede incluir entre las manifestaciones débilmente termales del Prepirineo (Nueno, Alquézar, El Grado). Estas y las diversas salmueras del Prepirineo merecen mayor estudio.

Entre la elevada concentración de diversos iones, sorprenden los niveles de nitratos de Naval. De confirmarse su presencia general en aguas del

Keuper, ello podría constituir una explicación a los relativamente elevados niveles de nitratos presentes en algunos manantiales del pie del Prepirineo (LARREY y cols., 1996; BUERA y cols., 1998), para los que no se hace fácil pensar en una contaminación por actividades agropecuarias.

CONCLUSIONES

Las aguas del Pirineo altoaragonés presentan una amplia variedad de facies hidroquímicas, relacionadas con la litología de cuencas y acuíferos. Las más comunes son las derivadas de calizas y areniscas. Mayor singularidad presentan las aguas ácidas de las aureolas metamórficas de los plutones graníticos y las aguas sulfurosas de diverso origen.

El grado de conocimiento sobre las mismas es todavía muy insuficiente, en especial lo relacionado con la evolución hidroquímica en los flujos subterráneos.

AGRADECIMIENTOS

Entre las muchas personas que nos han ayudado, queremos agradecer la colaboración, dentro del COMENA, del ingeniero forestal Francisco Fábregas, la ictióloga Pilar Barrachina y los agentes forestales Enrique Alcaine, Rafael Vidaller, Javier Ricou y Ramón Espuña, así como de Antonio Arazo y Carlos Puyal, montañeros de Peña Guara.

BIBLIOGRAFÍA

- BESCÓS, J. M. 1991. La salinidad de las aguas superficiales en el Pirineo oscense. *Lucas Mallada*, 3: 9-26. Huesca.
- BUERA, J.; CUCHÍ, J. A., y MANSO, J. A. 1998. Hidroquímica de las aguas naturales de los sectores occidental y central de la sierra de Guara (Huesca). *Lucas Mallada*, 9: 35-63. Huesca.
- CUCHÍ, J. A., y MANSO, J. A. 1997. Calidad química de la nieve del Pirineo altoaragonés en 1997. *I Congreso Ibérico de Geoquímica – VII Congreso de Geoquímica de España (Soria)*: 427-433. CEDEX, Madrid.
- LARREY, Ó.; LASAOSA, J. C.; DÍAZ, R. C., y CUCHÍ, J. A. 1996. Niveles de ion nitrato en aguas subterráneas de la Hoya de Huesca. *Kalium*, 5: 117-127.

- MALLADA, L. 1878. *Descripción física y geológica de la provincia de Huesca*. 439 pp. Ed. facsimilar: *Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España*, IEA, Huesca, 1990.
- MORENO, L.; AZCÓN, A.; NAVARRETE, P., y GARRIDO, E. 1997. Caracterización geológica e hidroquímica de las surgencias con influencia termal en los macizos graníticos de la zona axial pirenaica. *I Congreso Ibérico de Geoquímica – VII Congreso de Geoquímica de España (Soria)*: 392-399. CEDEX, Madrid.
- NINOT, J. M^a; ROMO, À., y SESÉ, J. A. 1993. *Macizo del Turbón y Sierra de Sis (flora, paisaje vegetal e itinerarios; prepirineo aragonés)*. Naturaleza en Aragón, 6. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza. 495 pp.
- PEDROCCHI, C., (coordinador). 1997. *Guía del naturalista de los Pirineos*. Planeta, Barcelona. 495 pp.
- SÁNCHEZ, J. Á. 1987. *Estudio hidrológico e hidroquímico de las Sierras de Guara y sus Somontanos*. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. 851 pp. y 245 pp. de anexos.
- SAZ, P. 1991. *Fuentes minero-medicinales de la provincia de Huesca*. IEA, Huesca. 102 pp.