

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE AGUAS EN LA HOYA DE HUESCA

Raquel ZUFIAURRE¹
Lourdes TRABA¹
José Antonio CUCHÍ¹

RESUMEN.— El presente artículo estudia la hidroquímica de 39 puntos de aguas superficiales y subterráneas situados en las cercanías de la ciudad de Huesca. La mayoría de las muestras tienen características similares, dada la presencia generalizada de caliza en toda la zona. En las muestras de áreas naturales hay un bajo nivel de nitratos de origen natural. El nivel de nitratos es elevado en la zona de agricultura de secano, pero menor en las zonas regadas por el río Isuela.

ABSTRACT.— The paper shows the hydrochemistry at 39 points of surficial and underground waters near the city of Huesca. Most water samples show similar characteristics given the general presence of limestone in the whole area. The samples from natural areas show a low level of nitrate ion from natural sources. The nitrate concentration is high in the dry farming area, but lower in the land irrigated with the water of the Isuela River.

KEY WORDS.— Hydrochemistry, nitrate pollution, Hoya de Huesca (Spain).

Recepción del original: 14-4-2015

¹ Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. zufi@unizar.es, lourdestraba@gmail.com, cuchi@unizar.es

INTRODUCCIÓN

El estudio de la calidad química de las aguas subterráneas es un tema de cierto interés en la hoya de Huesca. En esta, hasta 1970 los estudios fueron escasos y muy puntuales. Entre los años 1970 y 1980 se realizaron trabajos muy específicos, en su mayor parte dedicados a solucionar el abastecimiento de pequeñas localidades, por la Dirección General de Obras Públicas, el Instituto Geológico y Minero de España y la Diputación General de Aragón. En la década siguiente, SÁNCHEZ (1988) aportó una visión de conjunto de la hidrología de la sierra de Guara y los somontanos de Huesca. Más adelante, GARRIDO y AZCÓN (1994) detallaron una primera propuesta de unidades hidrogeológicas en los somontanos basadas en criterios geomorfológicos. Ese mismo año, Óscar Larrey y Julio Carlos Lasasosa realizaron su proyecto fin de carrera de ingeniero técnico químico en la Escuela Politécnica de Huesca sobre las “Características hidroquímicas de las aguas subterráneas en el somontano de Huesca”. Sus resultados se publicaron en LARREY y cols. (1996). Del mismo periodo son los trabajos de GIMENO (1995) y GIMENO y CUCHÍ (1997), donde se puso de manifiesto la contaminación por nitratos en el acuífero de Apiés. Posteriormente, el interés hidroquímico se desplazó hacia las cercanas Sierras Exteriores: BUERA y cols. (1997), CUCHÍ y cols. (1998), SUBÍAS y cols. (2002), CUCHÍ y cols. (2002) y VILLARROEL y cols. (2002). Recientemente, se han vuelto a estudiar las aguas de los somontanos por IGUAL (2014) y TRABA (2015). Este artículo tiene como objeto presentar los resultados de este último trabajo académico, cuyos objetivos eran caracterizar desde el punto de vista hidroquímico las aguas de los acuíferos de la hoya de Huesca y de Apiés, y evaluar la posible contaminación por nitratos derivada de las actividades agrícolas.

ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se enmarca fundamentalmente en la cuenca del río Isuela, pequeño afluente del río Flumen. También abarca una pequeña parte de la de este último, en torno a la localidad de Apiés. La descripción de las características generales de ambas se encuentra en MONAJ y cols. (2014).

En estas cuencas se han identificado diversos acuíferos. En el cañón de la cuenca alta del río Isuela afloran varias surgencias relacionadas con calizas,

destacando la de San Clemente, aguas abajo del embalse de Arguis y descrita en GIMENO y CUCHÍ (1996). En la zona llana se encuentra el acuífero de Huesca, que se engloba dentro de la Masa de agua subterránea 055 de la Confederación Hidrográfica del Ebro. Es un acuífero modesto, de tipo libre, en gravas y limos de aluviones del Cuaternario y del Holoceno, que recubren en una potencia máxima de 10 metros sobre areniscas y lutitas del Mioceno de la cuenca del Ebro, que se consideran impermeables. El espesor saturado rara vez supera los 5 metros. El acuífero tiene unos 80 km² de superficie de recarga, en su mayor parte dedicada al cultivo de cereal de invierno en régimen de secano. En el entorno de la ciudad de Huesca hay unos 2 km² de regadío abastecidos con aguas del río Isuela a través de sistemas tradicionales de riego que se describen sucintamente en CUCHÍ (2006).

El acuífero de Apiés, cerca de esta localidad, es mucho más modesto, del orden de los 10 km². Tiene características similares al anterior, aunque no existe recarga por regadío.

Ambos acuíferos se consideran afectados por nitratos de origen agrario y han sido designados como vulnerables a la contaminación por nitratos de origen agrícola, por la Orden de 10 de septiembre de 2013 del Departamento de Agricultura y Medio Ambiente de la Diputación General de Aragón.

MATERIAL Y MÉTODOS

En marzo de 2014 se muestrearon 39 puntos de aguas subterráneas y superficiales. La tabla I presenta la nomenclatura, la ubicación y la fecha de muestreo. La temperatura, la conductividad eléctrica (CE) y el oxígeno disuelto (OD) se determinaron *in situ*. Las muestras se trasladaron con rapidez a los laboratorios del Departamento de Química Analítica de la Escuela Politécnica Superior de Huesca (EPSH) para su conservación y análisis.

Las muestras se analizaron siguiendo los procedimientos indicados en los métodos oficiales de análisis de aguas potables según Orden de 1 de julio de 1987 (PANREAC, 1999) y en los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (APHA, AWWA y WPCF, 2012). En la tabla II se muestran los parámetros fisicoquímicos determinados y los métodos analíticos utilizados.

Tabla 1. Nomenclatura y ubicación de los puntos de agua muestreados.

<i>Muestra</i>	<i>Punto de muestreo</i>	<i>Coordenadas UTM</i>			<i>Fecha de muestreo</i>	<i>Localidad</i>
		X	Y	Z		
1	Pozo de la EPSH	711013	4666082	460	17/3/2014	Huesca
2	Fuente en Cillas	710565	4671015	510	17/3/2014	Cillas
3	Río Isuela, en Banastás	711083	4673264	530	17/3/2014	Banastás
4	Dren de la alberca de Loreto	710520	4666985	465	18/3/2014	Huesca
5	Acequia de la alberca de Loreto	710437	4666960	465	18/3/2014	Huesca
6	Alberca de Loreto	710521	4666931	465	18/3/2014	Huesca
7	Ibones de Yéqueda	711206	4673214	525	18/3/2014	Yéqueda
8	Pantano de Arguis	711893	4686754	960	19/3/2014	Arguis
9	Manantial de San Clemente	711893	4686493	890	19/3/2014	Arguis
10	Fuente de San Miguel	713980	4669101	460	24/3/2014	Huesca
11	Río Isuela, en San Miguel	713940	4669074	460	24/3/2014	Huesca
12	Fuente vieja de Fornillos	717047	4673973	640	24/3/2014	Fornillos
13	Fuente de Apiés	714327	4678122	681	24/3/2014	Apiés
14	Fuente de Lienas	714850	4678484	669	24/3/2014	Lienas
15	Fuente del Huerto, en Sabayés	712741	4680500	760	24/3/2014	Sabayés
16	Río Isuela, en Nueno	711412	4682584	700	24/3/2014	Nueno
17	Fuente de la Ralleta	712109	4683929	750	24/3/2014	Nueno
18	Pozo de los Baños, en Nueno	712291	4685412	820	25/3/2014	Nueno
19	Fuente de la Cantera	712173	4684586	840	25/3/2014	Nueno
20	Fonturbia, en Nueno	710829	4683013	770	25/3/2014	Nueno
21	Fuente vieja de Nueno	711130	4682620	730	25/3/2014	Nueno
22	Pozo de abastecimiento en Arascués	711089	4680627	650	25/3/2014	Arascués
23	Pozo de la Huerta del Molino, en Nueno	711221	4681589	680	25/3/2014	Nueno
24	Pozo de la EDAR de Huesca	715633	4666197	435	26/3/2014	Huesca
25	Pozo de J. M. R. y C.	712312	4671430	505	26/3/2014	Huesca
26	Fuente de Marcelo	712151	4671277	500	26/3/2014	Huesca
27	Fuente de la Jara	712872	4671182	490	26/3/2014	Huesca
28	Barranco de Manjarrés, en Jara	712873	4671182	490	26/3/2014	Huesca
29	Las Paulesas	711046	4679636	630	26/3/2014	Igriés
30	Ibón de Cuarte	709843	4666908	470	26/3/2014	Cuarte
31	Manantial de Banariés	709142	4667945	470	26/3/2014	Banariés
32	Fuente de Huerrios	710202	4669151	490	26/3/2014	Huerrios
33	Pozo de Atades	710878	4670891	505	28/3/2014	Huesca
34	Fuente de Alerre	709589	4670958	500	28/3/2014	Alerre
35	Pozo de A. B.	710549	4672984	530	28/3/2014	Banastás
36	Pozo de A. S.	712385	4670600	495	31/3/2014	Huesca
37	Pozo de T. R.	712161	4670866	500	31/3/2014	Huesca
38	Pozo de P. S.	712970	4669808	485	31/3/2014	Huesca
39	Fuente vieja de Lierta	706898	4680163	670	31/3/2014	Lierta

Tabla II. Métodos analíticos utilizados.

<i>Parámetro</i>	<i>Método analítico</i>
pH	Método electroquímico. Electrodo de vidrio de pH
Conductividad eléctrica (CE)	Método electroquímico. Conductimetría
Oxígeno disuelto (OD)	Método electroquímico. Electrodo de membrana
Residuo seco	Gravimetría
Oxidabilidad	Volumetría de oxidación-reducción
Alcalinidad / hidrogenocarbonatos	Volumetría ácido-base
Dureza	Volumetría de formación de complejos
Cloruros	Volumetría de precipitación. Método de Mohr
Nitratos	Espectroscopia de absorción molecular UV (ultravioleta)
Fosfatos	Espectroscopia de absorción molecular VIS (visible). Molibdato amónico
Sulfatos	Turbidimetría-Espectroscopia de absorción molecular VIS (visible)
Calcio, sodio y potasio	Espectroscopia de emisión atómica de llama
Magnesio	Espectroscopia de absorción atómica de llama

Los índices de saturación en minerales se calcularon mediante el programa WATEQ4 del US Geological Survey. Se representaron diagramas de Piper y Stiff mediante el programa Diagrammes. El análisis factorial se hizo mediante el programa SPSS 15.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de campo (CE, temperatura y OD) y de laboratorio (resto de análisis) se presentan en la tabla III. Las determinaciones de laboratorio se realizaron por triplicado y se presentan los valores medios y la desviación estándar. La dureza se ha calculado por suma de los valores medios (en meq/L) de Ca^{2+} y Mg^{2+} . La relación de adsorción de sodio (SAR) se obtiene a partir de los cationes anteriores y del sodio.

Tabla III. Resultados analíticos de aguas de la hoya de Huesca.

<i>Muestra</i>	<i>pH</i>	<i>CE</i> <i>μS/cm 20 °C</i>	<i>Temp. (°C)</i> <i>OC</i>	<i>OD</i> <i>(mgO₂/L)</i>	<i>Porcentaje</i> <i>sat. O₂</i>	<i>Dureza</i> <i>(mg/L CaCO₃)</i>	<i>SAR</i>
1	7,0	953	14,5	3,09	30,4	438	0,47
2	7,0	940	14,0	4,13	40,1	436	0,51
3	8,1	580	14,2	3,64	35,5	269	0,51
4	7,9	4920	9,5	1,30	11,4	1967	1,77
5	8,1	905	11,3	3,65	34,3	444	0,52
6	7,6	686	11,6	3,80	35,0	312	0,55
7	7,5	785	13,0	4,63	44,1	373	0,54
8	8,0	456	10,8	7,47	67,0	222	0,46
9	7,4	435	8,9	4,25	36,7	230	0,02
10	7,0	796	11,5	3,30	27,3	359	0,55
11	8,0	731	8,6	2,83	25,0	328	0,57
12	6,9	1500	14,6	2,54	24,9	439	1,08
13	6,9	904	13,0	2,85	26,5	392	0,26
14	7,2	1035	12,4	4,15	38,5	472	0,49
15	6,9	851	13,5	3,30	31,8	399	0,25
16	8,0	553	11,7	3,36	30,8	260	0,49
17	7,4	689	12,8	2,50	24,5	288	0,81
18	7,4	823	18,7	1,61	17,3	374	1,20
19	7,4	604	12,2	3,03	28,7	292	0,27
20	7,4	828	11,1	3,55	32,5	368	1,13
21	7,1	828	13,1	3,11	29,0	478	0,12
22	7,2	853	11,6	1,76	15,7	399	0,50
23	7,3	767	11,0	4,54	42,0	358	0,48
24	6,9	1345	15,7	2,23	22,1	533	1,34
25	6,9	1110	14,4	3,83	35,8	483	0,64
26	6,8	1080	14,4	3,09	30,5	478	0,60
27	6,8	1355	13,2	3,49	33,1	544	1,17
28	7,5	1524	9,0	2,85	25,0	521	2,12
29	7,1	804	12,8	2,22	21,0	348	0,53
30	6,9	978	13,9	3,07	30,0	418	0,60
31	7,1	947	13,2	2,02	19,6	429	0,52
32	6,9	877	12,8	2,69	25,0	390	0,51
33	7,2	800	12,0	1,85	17,8	372	0,48
34	7,7	1241	12,2	3,07	29,0	531	0,70
35	7,1	764	15,0	2,85	28,0	271	0,60
36	7,0	936	14,3	2,37	23,7	432	0,52
37	7,0	961	14,0	2,88	27,7	425	0,59
38	7,0	914	14,7	3,17	31,9	415	0,54
39	7,1	840	12,8	1,85	17,8	382	0,20

Tabla III. (continuación)

Muestra	Oxidabilidad (mgO ₂ /L)	Residuo seco (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)
1	0,54 ± 0,08	713,0 ± 25,4	394,5 ± 7,0	56,8 ± 0,5	92,2 ± 4,5
2	0,12 ± 0,04	774,5 ± 16,2	313,1 ± 7,0	95,8 ± 1,3	126,6 ± 1,5
3	0,73 ± 0,08	372,0 ± 11,3	211,5 ± 7,0	1,7 ± 0,1	94,6 ± 3,9
4	22,71 ± 0,88	422,0 ± 5,6	300,0 ± 0,0	0,09*	1546,8 ± 190,2
5	0,80 ± 0,02	637,5 ± 7,7	305,0 ± 0,0	60,3 ± 0,3	142,7 ± 1,5
6	23,19 ± 0,37	491,0 ± 1,4	239,9 ± 7,0	16,5 ± 0,4	102,6 ± 0,9
7	0,32 ± 0,06	561,2 ± 1,4	264,3 ± 7,0	13,4 ± 0,2	166,6 ± 3,2
8	1,31 ± 0,04	248,1 ± 4,9	200,0 ± 0,0	0,7 ± 0,2	36,3 ± 0,3
9	0,35 ± 0,02	229,5 ± 6,3	313,1 ± 7,0	2,4 ± 0,1	7,1 ± 0,2
10	0,46 ± 0,03	525,0 ± 8,4	300,9 ± 7,0	7,6 ± 0,2	168,8 ± 4,6
11	0,76 ± 0,11	483,5 ± 7,7	284,7 ± 7,0	15,8 ± 0,2	123,7 ± 4,1
12	0,54 ± 0,06	1131,0 ± 5,6	313,1 ± 7,0	240,9 ± 3,4	149,4 ± 9,2
13	0,80 ± 0,11	612,1 ± 45,2	357,9 ± 7,0	115,9 ± 3,2	94,2 ± 0,9
14	0,12 ± 0,04	763,5 ± 2,1	394,5 ± 7,0	104,6 ± 3,1	159,7 ± 3,7
15	0,14 ± 0,06	554,1 ± 2,8	361,9 ± 7,0	78,2 ± 1,0	90,9 ± 3,7
16	0,62 ± 0,06	340,2 ± 19,8	239,9 ± 7,0	1,8 ± 0,2	73,4 ± 2,3
17	0,26 ± 0,00	434,5 ± 3,5	292,8 ± 12,2	4,3 ± 0,1	97,7 ± 3,2
18	0,19 ± 0,06	502,5 ± 16,2	272,5 ± 7,0	1,2 ± 0,0	83,3 ± 5,2
19	0,09 ± 0,02	336,5 ± 3,5	341,6 ± 0,0	0,4 ± 0,2	31,6 ± 0,8
20	0,13 ± 0,06	495,5 ± 4,9	280,6 ± 12,2	1,2 ± 0,0	100,0 ± 2,5
21	0,46 ± 0,04	642,2 ± 3,5	288,7 ± 7,0	1,9 ± 0,1	213,7 ± 3,5
22	0,28 ± 0,02	488,0 ± 2,8	292,8 ± 0,0	4,2 ± 0,0	193,1 ± 2,8
23	0,35 ± 0,02	519,0 ± 5,6	260,3 ± 7,0	3,1 ± 0,1	180,6 ± 3,8
24	0,93 ± 0,05	945,1 ± 3,5	435,1 ± 7,0	23,0 ± 0,1	301,6 ± 5,1
25	0,34 ± 0,04	725,2 ± 13,2	346,7 ± 14,1	32,5 ± 0,3	260,6 ± 6,8
26	0,15 ± 0,02	765,6 ± 9,2	349,7 ± 7,0	26,9 ± 0,8	228,7 ± 0,8
27	0,23 ± 0,05	932,0 ± 0,0	410,7 ± 7,0	50,1 ± 0,3	254,6 ± 14,6
28	1,79 ± 0,06	1050,5 ± 11,3	406,7 ± 7,0	34,3 ± 0,4	309,0 ± 3,8
29	0,27 ± 0,02	522,5 ± 2,1	313,1 ± 7,0	3,2 ± 0,0	148,8 ± 2,7
30	0,62 ± 0,04	691,0 ± 18,3	305,0 ± 0,0	86,6 ± 1,7	154,9 ± 7,1
31	0,13 ± 0,02	644,5 ± 59,4	292,8 ± 12,2	90,2 ± 0,9	150,4 ± 1,3
32	0,03 ± 0,02	611,5 ± 8,5	313,1 ± 14,1	49,6 ± 1,5	130,5 ± 2,6
33	0,85 ± 0,09	545,8 ± 0,7	317,2 ± 0,0	16,6 ± 0,3	123,4 ± 8,8
34	0,69 ± 0,02	949,5 ± 17,7	349,7 ± 7,0	159,8 ± 4,6	173,8 ± 1,5
35	0,28 ± 0,04	567,5 ± 4,9	215,5 ± 7,0	65,4 ± 1,1	108,4 ± 5,8
36	0,36 ± 0,05	624,0 ± 7,7	427,0 ± 12,2	7,5 ± 0,1	135,1 ± 5,3
37	0,35 ± 0,02	658,1 ± 4,2	359,9 ± 7,0	13,7 ± 0,2	175,4 ± 4,3
38	0,24 ± 0,02	602,1 ± 11,3	370,1 ± 7,0	16,5 ± 0,2	138,2 ± 2,9
39	0,35 ± 0,06	603,5 ± 9,2	313,1 ± 7,0	137,8 ± 2,2	54,5 ± 0,8

* El método analítico no es aplicable debido al elevado contenido de materia orgánica de la muestra.

Tabla III. (continuación)

<i>Muestra</i>	<i>Cl⁻</i> (mg/L)	<i>Fosfatos</i> (mg/L, P)	<i>Ca²⁺</i> (mg/L)	<i>Mg²⁺</i> (mg/L)	<i>Na⁺</i> (mg/L)	<i>K⁺</i> (mg/L)
1	35,0 ± 0,4	0,03	131,9 ± 0,9	26,5 ± 0,3	22,5 ± 0,1	2,16 ± 0,03
2	38,9 ± 0,2	0,04	119,0 ± 0,9	33,8 ± 0,0	24,6 ± 0,1	5,06 ± 0,03
3	24,8 ± 0,0	0,03	77,4 ± 2,3	18,5 ± 0,2	19,4 ± 0,0	2,16 ± 0,01
4	615,3 ± 4,1	0,25	341,4 ± 4,7	270,8 ± 0,5	180,1 ± 0,7	18,09 ± 0,53
5	44,2 ± 0,2	0,03	125,1 ± 2,8	32,1 ± 0,1	25,1 ± 0,1	4,22 ± 0,01
6	36,6 ± 0,2	0,04	82,2 ± 1,4	26,1 ± 0,3	22,5 ± 0,1	5,07 ± 0,03
7	36,0 ± 0,2	0,03	106,5 ± 3,3	26,2 ± 0,1	23,8 ± 0,1	2,71 ± 0,02
8	17,8 ± 0,2	0,03	69,3 ± 1,4	12,0 ± 0,1	15,7 ± 0,2	2,14 ± 0,02
9	4,6 ± 0,3	0,17	76,1 ± 3,3	9,8 ± 0,1	0,6 ± 0,0	0,21 ± 0,01
10	32,3 ± 0,3	0,05	105,5 ± 2,8	23,3 ± 0,0	24,1 ± 0,1	5,92 ± 0,06
11	40,7 ± 0,2	0,04	93,6 ± 2,4	22,9 ± 0,1	23,6 ± 0,3	2,63 ± 0,05
12	101,6 ± 0,5	0,04	141,3 ± 3,8	21,1 ± 0,1	52,2 ± 0,1	116,30 ± 3,25
13	30,1 ± 0,2	0,04	105,1 ± 1,4	31,5 ± 0,1	12,1 ± 0,0	1,52 ± 0,04
14	40,2 ± 0,2	0,05	82,8 ± 2,4	64,5 ± 0,1	24,6 ± 0,1	0,39 ± 0,03
15	24,3 ± 0,2	0,04	100,7 ± 0,0	35,9 ± 0,1	11,3 ± 0,0	3,43 ± 0,01
16	25,7 ± 0,2	0,03	76,8 ± 2,4	16,8 ± 0,3	18,1 ± 0,1	1,99 ± 0,01
17	49,1 ± 0,2	0,03	82,8 ± 3,3	19,7 ± 0,1	31,7 ± 0,1	2,79 ± 0,01
18	78,5 ± 0,4	0,03	117,0 ± 2,8	19,9 ± 0,1	53,2 ± 0,1	4,16 ± 0,02
19	19,4 ± 0,2	0,03	82,8 ± 1,4	20,8 ± 0,3	10,5 ± 0,2	1,46 ± 0,02
20	79,7 ± 0,2	0,04	114,3 ± 3,3	20,3 ± 0,1	49,9 ± 0,1	3,99 ± 0,04
21	10,5 ± 0,2	0,05	144,7 ± 2,8	28,5 ± 0,1	6,2 ± 0,0	2,59 ± 0,04
22	33,2 ± 0,2	0,03	122,7 ± 2,3	22,7 ± 0,4	22,8 ± 0,0	3,43 ± 0,03
23	29,4 ± 0,3	0,04	110,5 ± 2,3	19,9 ± 0,1	20,9 ± 0,1	3,41 ± 0,02
24	75,9 ± 0,3	0,12	142,0 ± 0,9	43,4 ± 0,1	71,1 ± 0,0	34,71 ± 2,31
25	55,0 ± 0,3	0,03	136,9 ± 2,3	34,3 ± 0,1	32,3 ± 0,1	4,09 ± 0,03
26	50,7 ± 0,3	0,03	135,2 ± 1,9	34,1 ± 0,1	30,1 ± 0,0	3,48 ± 0,03
27	98,2 ± 1,0	0,04	142,0 ± 0,9	46,1 ± 0,1	62,9 ± 0,1	6,02 ± 0,04
28	121,1 ± 0,6	0,11	131,1 ± 0,9	47,0 ± 0,0	111,4 ± 0,3	8,99 ± 0,03
29	41,2 ± 0,0	0,03	105,5 ± 2,8	20,6 ± 0,4	22,5 ± 0,1	2,86 ± 0,02
30	52,5 ± 0,0	0,03	110,5 ± 0,4	34,6 ± 0,3	28,0 ± 0,1	6,39 ± 0,02
31	46,4 ± 0,8	0,04	114,9 ± 2,8	34,5 ± 0,1	24,6 ± 0,0	5,49 ± 0,04
32	49,2 ± 0,8	0,03	110,5 ± 0,5	27,8 ± 0,0	23,0 ± 0,1	3,54 ± 0,03
33	42,6 ± 0,0	0,07	110,2 ± 0,9	23,6 ± 0,3	21,5 ± 0,1	2,33 ± 0,01
34	66,7 ± 0,0	0,06	142,3 ± 0,5	42,7 ± 0,0	36,9 ± 0,2	9,83 ± 0,05
35	43,5 ± 0,8	0,03	74,1 ± 2,4	20,9 ± 0,1	22,5 ± 0,0	37,24 ± 3,52
36	41,2 ± 1,4	0,03	128,1 ± 1,4	27,4 ± 0,3	24,9 ± 0,0	2,12 ± 0,02
37	48,3 ± 0,0	0,03	119,0 ± 0,9	31,1 ± 0,0	28,1 ± 0,0	2,93 ± 0,02
38	45,4 ± 0,0	0,03	123,0 ± 0,9	26,4 ± 0,1	25,4 ± 0,1	4,56 ± 0,04
39	26,9 ± 0,0	0,02	109,5 ± 0,0	26,5 ± 0,3	8,8 ± 0,0	4,84 ± 0,03

Del conjunto de muestras destacan los resultados de un dren temporal (muestra 4), que aportaba agua a la alberca de Loreto, y de la fuente vieja de Fornillos (muestra 12). Ambas muestras se consideran singulares y debieran ser objeto de estudios específicos.

La temperatura de las muestras de agua varía de 8,6 °C a 18,7 °C. Los valores más bajos corresponden a las aguas superficiales, influenciadas por la temperatura ambiente del mes de marzo. La mayoría de las muestras de agua subterránea presentan un valor más alto y próximo a la temperatura media local, entre 11 y 13 °C. La muestra 18, un pozo que capta aguas del acuífero de los baños de Nueno para el abastecimiento de esta localidad y del campo de golf, muestra un débil termalismo ya conocido de antiguo (CUCHÍ, 2006).

La CE oscila entre 435 y 4920 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 20 °C. El valor más bajo corresponde al manantial de San Clemente en Arguis. Es un típico valor de agua de un manantial kárstico. El valor más alto corresponde al dren de la alberca de Loreto, procedente de un campo de cultivo vecino. Posiblemente este parámetro está influenciado por la fertilización, ya que el muestro se realizó en marzo, poco tiempo después del abonado de primavera que habitualmente se hace con urea. Se considera una muestra atípica. El valor medio de la CE, sin considerar el dren, es de 895 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 20 °C. En aguas superficiales, el río Isuela en Nueno presenta una CE de 553 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 20 °C. Los restantes valores del agua de este río muestran un aumento de la CE conforme se adentra en la hoya debido al aporte de aguas subterráneas. El residuo seco (RS), evidentemente relacionado con la CE, oscila entre 229 y 1050 mg/L. El más bajo corresponde al manantial de San Clemente, en Arguis. El más alto, al punto 28, barranco de Manjarrés.

El pH de las muestras varía de 6,85 a 8,08. Corresponde a típicos valores de aguas relacionadas con carbonato cálcico. El valor más bajo pertenece a la fuente vieja de Fornillos, un manantial con diversas singularidades. El más alto, a las aguas de la alberca de Loreto, quizás como consecuencia de la actividad biológica. En el mismo sentido, las aguas del río Isuela presentan los valores más altos de pH.

Los valores de oxígeno disuelto varían entre 1,30 (muestra 18) y 7,47 (muestra 8) mgO_2/L . El máximo corresponde al agua superficial del pantano de Arguis, y el menor, al pozo de los baños de Nueno, que capta un acuífero

para el que se presume un flujo profundo. Sorprenden los valores tan bajos de este parámetro para aguas naturales subterráneas, sospechándose un problema en la medición en campo de este último parámetro. La oxidabilidad varía entre 0,03 (muestra 32, fuente de Huerrios) y 23,19 mgO₂/L (muestra 6, alberca de Loreto). Las muestras de agua superficial tienen en general valores más altos que las subterráneas, que se puede relacionar con la mayor actividad biológica de las aguas superficiales frente a las subterráneas, donde no hay luz. Sin embargo, algunas aguas subterráneas como en las muestras 24 (pozo de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Huesca) y 33 (pozo de Atades) presentan valores algo más altos que podrían explicarse por problemas de contaminación.

Los hidrogenocarbonatos oscilan entre 200 (muestra 8, pantano de Arguis) y 435 mg/L (muestra 24, depuradora de Huesca). El valor más bajo puede ser resultado de la geología de la cuenca del embalse. El valor alto pudiera estar relacionado con un problema de contaminación local del acuífero por aguas ricas en materia orgánica que incrementasen el primer parámetro por acción biológica.

Los nitratos tienen un rango de entre 0,07 (muestra 8, pantano de Arguis) y 240,9 mg/L (muestra 12, fuente vieja de Fornillos). En las aguas superficiales del Isuela, los valores son bajos en Nueno y Banastás, para aumentar en la zona urbana de Huesca. Sorprende que el valor más alto no corresponda al dren de Loreto. Si se tiene en cuenta el valor de su oxidabilidad (22,71 mgO₂/L), pudiera deberse a que la fertilización fuera por urea, dado el intenso olor a amoníaco que se detectó durante su muestreo.

Los sulfatos oscilan entre 7,1 (muestra 9, manantial de San Clemente) y 309 mg/L (muestra 28, barranco de Manjarrés). El valor más bajo se relaciona con la ausencia de yesos en las calizas por donde fluye el agua de esta fuente. El valor elevado se ha encontrado en un barranco natural que presenta localmente eflorescencias de evaporitas. Los cloruros tienen un rango de entre 4,6 (muestra 9, manantial de San Clemente) y 121,1 mg/L (muestra 28, barranco de Manjarrés). Este parámetro tiene un comportamiento similar a los sulfatos, así que se sospecha un origen natural.

Los valores de fosfatos, expresados como P, son muy bajos, entre 0,02 (muestra 39, fuente vieja de Lierta) y 0,17 (muestra 9, manantial de San Clemente). Esto es normal dentro de un ambiente general donde domina

el carbonato cálcico calcáreo. Sorprende un poco el valor relativamente elevado de la muestra 9, un manantial que drena una zona natural sin cultivos ni ganadería.

El rango de calcio oscila entre 69 (muestra 8, pantano de Arguis) y 145 mg/L (muestra 21, fuente vieja de Nueno). El agua del pantano de Arguis presenta mínimos tanto de calcio como de bicarbonatos, aspecto que se puede achacar a razones litológicas. El valor máximo responde a una fuente con un claro depósito de toba por reprecitación de carbonato cálcico. El rango de ion magnesio oscila entre 9,8 (muestra 9, manantial de San Clemente) y 64,5 mg/L (muestra 14, fuente de Lienas). El valor más bajo corresponde a un manantial kárstico que ya daba los menores valores de CE. El más alto se encuentra en un punto del acuífero de Apiés (muestra 39, fuente vieja de Lierta), doblando prácticamente los valores de las restantes muestras pertenecientes al mismo acuífero (muestras 12, 13 y 15). La dureza, relacionada con los dos parámetros anteriores, tiene un rango de entre 222,7 (muestra 8, pantano de Arguis) y 544,5 mg/L CaCO_3 (muestra 27, fuente de Jara). Como era de esperar por CE y pH, las aguas superficiales tienen valores bajos. Todas las aguas se clasifican como muy duras, dado que todas superan el valor de 180 mg/L como CaCO_3 .

El sodio oscila entre 0,6 (muestra 9, manantial de San Clemente) y 111,4 mg/L (muestra 28, barranco de Manjarrés, en Jara). El valor más bajo corresponde a un agua kárstica con disolución predominante de carbonato cálcico. El valor más alto se ha encontrado en una cuenca de materiales del Mioceno donde hay presencia de evaporitas, incluidos cloruros. El potasio tiene un rango de entre 0,2 (muestra 9, manantial de San Clemente) y 116,3 mg/L (muestra 12, fuente vieja de Fornillos). El valor más bajo aparece en el mismo punto que los mínimos de sodio y cloruros. El más alto aparece en la fuente que ha dado los valores más altos en cloruros y nitratos y que debiera estudiarse con mayor detalle. Parece un problema de contaminación, pero pudiera ser también de tipo natural, por su ubicación hidrogeológica. Sorprende que el dren de Loreto, como en el caso de los nitratos, no sea el que presente mayor concentración por ser un parámetro típico de abonado. Los datos de SAR, parámetro utilizado para evaluar la calidad de las aguas para regadío, no muestran ningún riesgo de sodificación al usarlas en riego.

Análisis factorial

Para reducir la información contenida en los resultados analíticos de las muestras de agua, se ha llevado a cabo un análisis factorial (componentes principales) con el programa SPSS, que permite establecer asociaciones entre los parámetros fisicoquímicos estudiados, y observar diferencias o similitudes entre las muestras analizadas. Como primer resultado se ha obtenido la matriz de correlaciones que se muestra en la tabla IV y que mide el grado de dependencia lineal que existe entre variables.

El valor de correlación más alto (0,930) se observa entre los iones de cloruro y de sodio y sugiere la presencia de halita en la zona. Evidencias de este mineral se han observado en sondeos geológicos en la zona del barranco A Batalla, en la zona de Nueno. Las correlaciones entre la CE y los iones naturales del agua son también muy elevadas, especialmente con cloruros y calcio, pero son más bajas con nitratos y potasio. Esto se puede achacar a la concentración relativamente elevada de estas especies (principalmente nitratos) en muchas muestras debido a un origen antropogénico. El comportamiento del potasio es un poco anómalo y se achaca a posibles problemas de contaminación urbana, dados los altos valores en algunas de las muestras. Como era de esperar, es alta la correlación CE – residuo seco (0,851), dado que la mayor parte del material disuelto se encuentra en forma iónica.

La oxidabilidad y el fósforo no están bien correlacionados, como también era de esperar, con los parámetros iónicos. Por el contrario, las correlaciones entre los iones naturales son relativamente buenas y se diferencian de las que se establecen entre estos y los nitratos y el potasio de aporte antrópico.

Las únicas dos correlaciones esperadas, pero no encontradas, son la oxidabilidad con el oxígeno disuelto, por un lado, y el sodio con el potasio, por otro. La primera se puede atribuir a un fallo en la medición del oxígeno comentada con anterioridad, ya que la correlación entre la oxidabilidad y la medida de absorbancia a 275 nm (en el método para determinar nitratos), que también refleja el contenido de materia orgánica en las muestras, tiene un nivel de correlación relativamente elevado ($r = 0,768$). Por ello, se supone que el error pudiera encontrarse en las mediciones en campo con el oxímetro portátil. La baja correlación entre sodio y potasio, habitualmente del orden de 10/1, podría deberse a problemas de contaminación que necesitarían mayor estudio.

Tabla IV. Matriz de correlaciones para aguas de la hoya de Huesca.

	CE	OD	Ox	RS	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
pH	-,468 (**)	,380 (*)	,188	-,469 (**)	-,549 (**)	-,267	-,355 (*)	-,194	,014	-,494 (**)	-,311	-,082	-,232
CE	1	-,317	-,118	,851 (**)	,666 (**)	,541 (**)	,766 (**)	,817 (**)	,112	,786 (**)	,703 (**)	,748 (**)	,487 (**)
OD		1	,119	-,228	-,322 (*)	-,157	-,177	-,293	,037	-,360 (*)	-,101	-,197	-,165
Ox			1	-,087	-,216	-,082	-,072	-,037	,008	-,208	-,028	-,009	-,019
RS				1	,542 (**)	,481 (**)	,688 (**)	,619 (**)	,034	,713 (**)	,622 (**)	,541 (**)	,396 (*)
HCO ₃ ⁻					1	,207	,475 (**)	,385 (*)	,257	,591 (**)	,665 (**)	,395 (*)	,010
NO ₃ ⁻						1	,023	,303	-,087	,286	,384 (*)	,087	,606 (**)
SO ₄ ⁼							1	,579 (**)	,147	,703 (**)	,626 (**)	,649 (**)	,144
Cl ⁻								1	,082	,545 (**)	,425 (**)	,930 (**)	,461 (**)
P									1	,015	,069	,255	,069
Ca ²⁺										1	,431 (**)	,472 (**)	,247
Mg ²⁺											1	,434 (**)	-,038
Na ⁺												1	,316
K ⁺													1

CE: conductividad eléctrica; OD: oxígeno disuelto; RS: residuo seco.

* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral), para un coeficiente de Pearson con un tamaño muestral > 35 de 0,320.

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral), para un coeficiente de Pearson con un tamaño muestral > 35 de 0,410.

A partir de la matriz de correlación, se ha realizado un análisis de componentes principales, en el que se ha eliminado el oxígeno disuelto por falta de confianza en sus resultados y la muestra número 4, dren de Loreto, cuyas características peculiares distorsionan el análisis. Se han seleccionado las tres primeras componentes, que son las que aportan la mayor parte de la información (77%): 46%, la primera; 12%, la segunda, y 11%, la tercera. Los resultados se presentan en la tabla v.

Tabla v. Matriz de componentes principales para las aguas de la hoya de Huesca.

	<i>Componente</i>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>pH</i>	-,530	-,034	,580
<i>CE</i>	,989	,086	,046
<i>Oxidabilidad</i>	-,156	,041	,457
<i>RS</i>	,876	,100	-,079
<i>Bicarbonatos</i>	,710	-,361	-,338
<i>Nitratos</i>	,470	,710	-,224
<i>Sulfatos</i>	,795	-,345	,113
<i>Cloruros</i>	,800	,103	,451
<i>Fósforo</i>	,148	-,324	,316
<i>Calcio</i>	,807	-,076	-,184
<i>Magnesio</i>	,716	-,264	-,163
<i>Sodio</i>	,745	-,137	,573
<i>Potasio</i>	,432	,767	,207

La proyección de los parámetros fisicoquímicos en las dos nuevas componentes se presenta en la figura 1. La figura 2 representa las muestras en las mismas componentes. La componente 1 reflejaría de manera general la mineralización natural de las aguas, relacionada con la litología. La 2 da información acerca de una posible contaminación agropecuaria o urbana, por los contenidos de nitrato y potasio.

En la figura 2, las muestras de la componente 1 se distribuyen de acuerdo con el contenido salino. Se observa que la mayoría de las muestras aparecen agrupadas por lo que no presentan variabilidad en cuanto a la composición química como cabe esperar en un entorno geológico donde predomina la

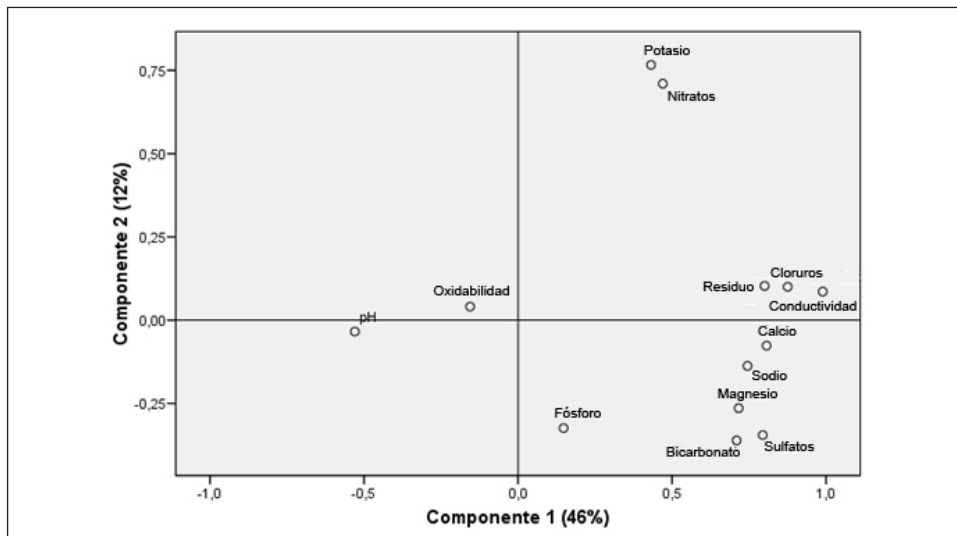


Fig. 1. Representación de parámetros fisicoquímicos sobre dos componentes principales para aguas de los acuíferos de Huesca y Apiés.

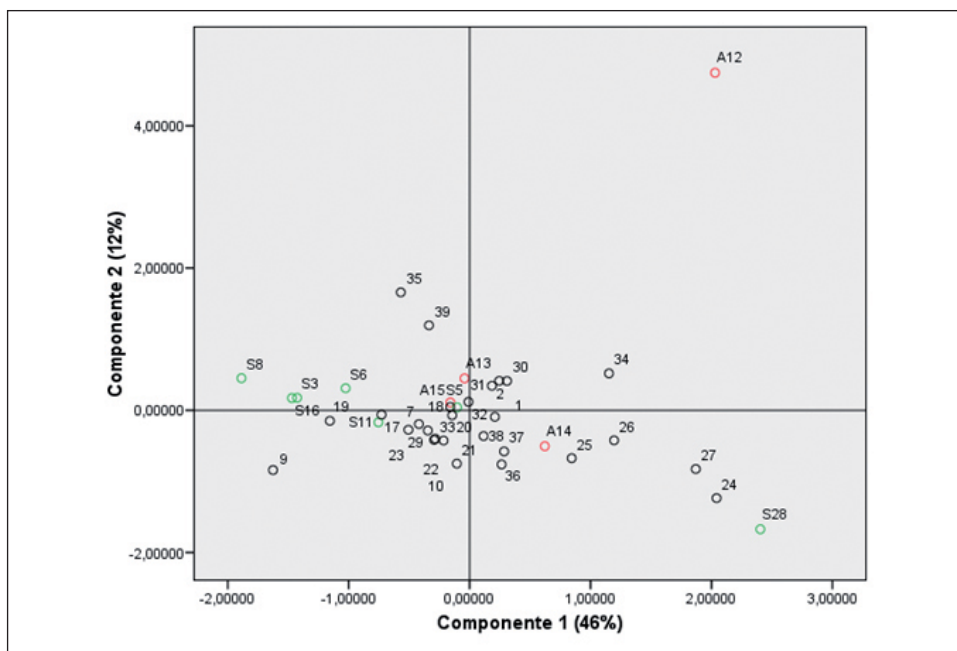


Fig. 2. Representación de muestras sobre dos componentes principales para aguas de la hoya de Huesca (en verde se representan las aguas superficiales; en rojo, las del acuífero de Apiés).

misma litología. Las aguas superficiales tienen menores contenidos en carga iónica que las subterráneas. La excepción es la muestra 28, del barranco de Manjarrés, que drena parcialmente materiales del Mioceno donde aparecen localmente eflorescencias evaporíticas, pero sin llegar a los niveles que hay en Monegros. En general, se aprecia un incremento de la mineralización hacia la zona meridional del acuífero, representada por las muestras 24, 25, 27 y 34.

Según la componente 2, las muestras de la zona superior destacan por tener mayores contenidos en potasio y especialmente nitratos. Entre estas sobresalen las muestras 12 (fuente vieja de Fornillos) y 35 (pozo de A. B.). Sería interesante realizar un estudio de detalle, asunto que sobrepasa los objetivos de este artículo.

Saturación en minerales

A los resultados analíticos se ha aplicado el programa de modelación hidroquímica WATEQF, que permite conocer el estado de saturación de las muestras de agua respecto a distintos minerales que pueden estar presentes en el terreno. El programa estudia la presencia de diversos minerales y compara los valores de saturación termodinámicos con los valores de las correspondientes actividades. Con la comparación y posterior cálculo logarítmico asigna los índices de saturación que, para las aguas estudiadas, se presentan resumidas en la tabla VI. Los índices en positivo indican una saturación o sobresaturación del mineral en la respectiva muestra de agua. En negativo indican, por el contrario, la insaturación del mineral en la muestra correspondiente. A partir de los datos utilizados, en ausencia de especies metálicas con comportamiento *redox* se han estudiado los siguientes minerales: anhidrita, CaSO_4 (An); aragonito, CaCO_3 (Arg); artinita, $\text{MgCO}_3\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (Art); brucita, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (Bru); calcita, CaCO_3 (Ca); dolomita, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (Do); halita, NaCl (Ha); hidromagnesita, $\text{Mg}_4(\text{CO}_3)_3(\text{OH})_2$ (Hidr); huntita, $\text{CaMg}_3(\text{CO}_3)_4$ (Hu); magnesita, MgCO_3 (Mag); mirabilita, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (Mi); nacolita, NaHCO_3 (Nac); natrón, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (Nat); nesquehonita, $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (Nes); termonatrita, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Them); ternardita, NaSO_4 (The); trona, $\text{Na}_3(\text{HCO}_3)(\text{CO}_3) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Tro), y yeso, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Y).

Tabla vi. Índices de saturación para agua de la hoya de Huesca según el programa WATEQF.

Muestra	Minerales estudiados																	
	An	Arg	Art	Bru	Ca	Do	Y	Ha	Hu	Hidr	Mag	Mi	Nac	Nat	Nes	The	Them	Tro
1	-1,77	-0,12	-7,45	-6,43	0,03	-0,42	-1,44	-7,67	-5,14	-16,15	-0,78	-7,84	-4,66	-10,07	-3,80	-9,27	-11,98	-16,75
2	-1,69	-0,29	-7,38	-6,40	-0,14	-0,62	-1,34	-7,58	-5,41	-16,25	-0,81	-7,57	-4,72	-10,07	-3,83	-9,05	-12,03	-16,90
N3	-1,91	0,39	-5,21	-4,64	0,54	0,66	-1,56	-7,88	-2,95	-12,11	-0,22	-7,85	-4,99	-9,46	-3,24	-9,34	-11,45	-16,55
4	-0,67	-0,24	-7,87	-6,08	-0,09	-0,12	-0,25	-5,61	-4,03	-14,06	-0,34	-4,82	-3,93	-8,38	-3,35	-6,57	-10,58	-14,93
5	-1,66	0,66	-5,00	-4,65	0,81	1,18	-1,27	-7,52	-1,91	-11,05	0,05	-7,36	-4,71	-9,00	-2,96	-9,00	-11,11	-16,13
6	-1,90	-0,58	-8,38	-6,71	-0,42	-1,19	-1,51	-7,62	-6,58	-17,68	-1,09	-7,52	-4,82	-10,15	-4,11	-9,16	-12,25	-17,39
7	-1,61	-0,42	-7,99	-6,59	-0,27	-0,98	-1,25	-7,63	-6,19	-17,28	-1,02	-7,41	-4,79	-10,14	-4,04	-8,94	-12,15	-17,15
8	-2,36	0,29	-5,62	-5,08	0,45	0,27	-1,96	-8,07	-3,93	-13,67	-0,49	-8,19	-5,04	-9,49	-3,51	-9,88	-11,65	-17,05
9	-3,05	-0,49	-8,51	-7,31	-0,03	-1,46	-2,62	-9,83	-7,55	-19,57	-1,43	-11,20	-6,02	-12,64	-4,44	-13,01	-14,89	-21,38
10	-1,63	-0,41	-8,14	-6,79	-0,25	-1,01	-1,24	-7,67	-6,36	-17,69	-1,07	-7,29	-4,71	-10,02	-4,09	-8,94	-12,13	-17,15
11	-1,82	0,48	-5,52	-5,00	0,64	0,76	-1,39	-7,55	-2,83	-12,34	-0,18	-7,26	-4,71	-8,96	-3,19	-9,06	-11,21	-16,39
12	-1,58	-0,23	-7,56	-6,56	-0,08	-0,76	-1,25	-6,86	-5,97	-17,25	-1,02	-6,95	-4,42	-9,49	-4,04	-8,38	-11,39	-15,92
13	-1,86	-1,29	-10,85	-8,51	-1,13	-2,61	-1,50	-8,01	-9,41	-22,34	-1,81	-8,27	-4,96	-11,61	-4,82	-9,80	-13,62	-18,79
14	-1,79	-0,40	-8,17	-6,29	-0,25	-0,43	-1,41	-7,57	-4,65	-14,94	-0,51	-7,38	-4,60	-9,92	-3,53	-8,96	-11,98	-16,84
15	-1,89	-1,29	-10,88	-8,44	-1,14	-2,55	-1,53	-8,14	-9,21	-21,99	-1,74	-8,36	-4,99	-11,68	-4,75	-9,89	-13,69	-18,89
16	-2,03	0,42	-5,32	-4,81	0,58	0,66	-1,66	-7,88	-3,00	-12,36	-0,24	-7,91	-4,94	-9,39	-3,25	-9,49	-11,44	-16,64
17	-1,90	-0,46	-8,11	-6,68	-0,30	-1,04	-1,54	-7,36	-6,35	-17,54	-1,06	-7,36	-4,61	-9,83	-4,08	-8,89	-11,84	-16,66
18	-1,80	-0,26	-7,34	-6,27	-0,11	-0,71	-1,52	-6,96	-5,74	-16,66	-0,95	-7,34	-4,49	-9,62	-3,98	-8,56	-11,34	-15,75
19	-2,36	-0,38	-8,08	-6,71	-0,22	-0,88	-1,99	-8,27	-6,04	-17,25	-0,98	-8,79	-5,03	-10,74	-3,99	-10,38	-12,79	-18,09
20	-1,81	-0,38	-8,06	-6,84	-0,23	-1,07	-1,42	-6,96	-6,58	-18,07	-1,15	-6,89	-4,42	-9,42	-4,17	-8,53	-11,52	-16,26
21	-1,41	-0,27	-7,73	-6,56	-0,12	-0,75	-1,05	-8,75	-5,84	-16,98	-0,96	-8,54	-5,36	-11,32	-3,97	-10,07	-13,32	-18,89
22	-1,51	-0,34	-7,94	-6,72	-0,19	-0,94	-1,14	-7,69	-6,27	-17,60	-1,07	-7,35	-4,76	-10,11	-4,08	-8,93	-12,16	-17,18

Tabla vi. (continuación)

Muestra	Minerales estudiados																	
	An	Arg	Art	Bru	Ca	Do	Y	Ha	Hu	Hidr	Mag	Mi	Nac	Nat	Nes	The	Them	Tro
23	-1,57	-0,44	-8,15	-6,85	-0,29	-1,17	-1,19	-7,77	-6,77	-18,25	-1,19	-7,38	-4,83	-10,20	-4,21	-9,02	-12,31	-17,45
24	-1,32	-0,11	-7,41	-6,22	0,04	-0,20	-0,99	-6,86	-4,51	-15,13	-0,58	-6,44	-4,16	-9,11	-3,60	-7,82	-10,97	-15,19
25	-1,37	-0,23	-7,66	-6,44	-0,08	-0,55	-1,03	-7,34	-5,34	-16,26	-0,81	-7,07	-4,57	-9,83	-3,82	-8,55	-11,78	-16,52
26	-1,42	-0,22	-7,65	-6,43	-0,07	-0,53	-1,08	-7,39	-5,29	-16,20	-0,79	-7,18	-4,59	-9,88	-3,81	-8,66	-11,83	-16,59
27	-1,41	-0,17	-7,67	-6,39	-0,02	-0,33	-1,05	-6,79	-4,80	-15,57	-0,64	-6,46	-4,20	-9,15	-3,66	-7,99	-11,15	-15,57
28	-1,41	-0,29	-8,14	-6,69	-0,13	-0,59	-0,99	-6,45	-5,34	-16,36	-0,76	-5,68	-3,92	-8,54	-3,78	-7,43	-10,75	-15,09
29	-1,66	-0,35	-7,92	-6,68	-0,19	-0,91	-1,29	-7,59	-6,16	-17,43	-1,04	-7,49	-4,73	-10,10	-4,05	-9,02	-12,11	-17,05
30	-1,64	-0,34	-7,83	-6,39	-0,19	-0,67	-1,29	-7,40	-5,48	-16,26	-0,82	-7,38	-4,68	-9,99	-3,83	-8,87	-11,94	-16,78
31	-1,65	-0,35	-7,89	-6,47	-0,20	-0,73	-1,29	-7,51	-5,63	-16,50	-0,86	-7,45	-4,73	-10,07	-3,88	-8,98	-12,08	-17,02
32	-1,70	-0,33	-7,88	-6,55	-0,18	-0,78	-1,34	-7,52	-5,78	-16,82	-0,92	-7,56	-4,74	-10,11	-3,93	-9,09	-12,11	-17,06
33	-1,73	-0,34	-7,96	-6,69	-0,18	-0,86	-1,36	-7,61	-6,05	-17,29	-0,99	-7,61	-4,76	-10,15	-4,01	-9,19	-12,20	-17,22
34	-1,56	0,75	-4,79	-4,47	0,91	1,47	-1,18	-7,18	-1,24	-10,12	0,24	-7,03	-4,50	-8,65	-2,78	-8,61	-10,71	-15,47
35	-1,88	-0,60	-8,16	-6,52	-0,45	-1,24	-1,55	-7,56	-6,64	-17,59	-1,12	-7,70	-4,91	-10,31	-4,14	-9,13	-12,22	-17,24
36	-1,64	-0,13	-7,55	-6,51	0,02	-0,43	-1,29	-7,56	-5,17	-16,24	-0,78	-7,55	-4,58	-9,94	-3,80	-9,03	-11,89	-16,64
37	-1,56	-0,24	-7,71	-6,45	-0,09	-0,56	-1,22	-7,45	-5,34	-16,26	-0,80	-7,33	-4,61	-9,92	-3,82	-8,81	-11,87	-16,64
38	-1,63	-0,19	-7,55	-6,45	-0,04	-0,53	-1,29	-7,52	-5,36	-16,37	-0,83	-7,58	-4,65	-10,03	-3,85	-9,01	-11,94	-16,69
39	-2,05	-0,31	-7,83	-6,57	-0,15	-0,75	-1,69	-8,18	-5,79	-16,88	-0,93	-8,75	-5,14	-10,92	-3,95	-10,28	-12,92	-18,27

En general, las aguas estudiadas están insaturadas en la mayoría de los minerales relacionados con las evaporitas. No ocurre lo mismo con los minerales carbonatados. Las muestras de agua superficial 3 (río Isuela en Banastás), 8 (pantano de Arguis), 11 (río Isuela en San Miguel) y 16 (río Isuela en Nueno), presentan índices positivos de saturación en varios minerales carbonatados. Esto indica una saturación o sobresaturación en aragonito, calcita y dolomita. Las muestras 5 (acequia de la alberca de Loreto) y 34 (fuente de Alerre) presentan saturación o sobresaturación en los minerales citados y, además, en magnesita. Finalmente, se observan índices ligeramente positivos, una leve saturación en calcita, para las muestras de agua de los pozos 1 (pozo de la Politécnica), 24 (pozo de la depuradora de Huesca) y 36 (pozo de A. S.). Esta saturación en minerales carbonatados cálcicos o magnésicos es coherente con la naturaleza carbonatada de la zona.

Para una presentación visual simple y lo más completa posible de las aguas estudiadas, se ha procedido a representarlas en los diagramas de Piper y Stiff.

Diagramas de Piper

Se han elaborado dos diagramas de Piper (figs. 3 y 4) utilizando el programa Diagrammes. Uno para la mayoría de las muestras, diferenciando las que pertenecen al acuífero de la hoya de Huesca y las que rodean a este. En el segundo, se presentan las muestras del acuífero de Apiés. Para la elaboración de ambos diagramas se ha tenido en cuenta el contenido de nitratos. La clasificación en los diversos tipos de agua se presenta en las tablas VII y VIII.

En ambos casos, se observa que las muestras se encuentran bastante agrupadas, indicando un quimismo similar que puede relacionarse con una litología con dominancia del carbonato cálcico, en la línea de lo indicado por el programa WATEQF. Hay excepciones como el dato aislado de la figura 3, el ya comentado dren de Loreto. La muestra aislada de la figura 4 es la fuente vieja de Fornillos.

La mayoría de las muestras de agua se encuentran clasificadas como bicarbonatadas y/o sulfatadas, cálcicas y/o magnésicas.

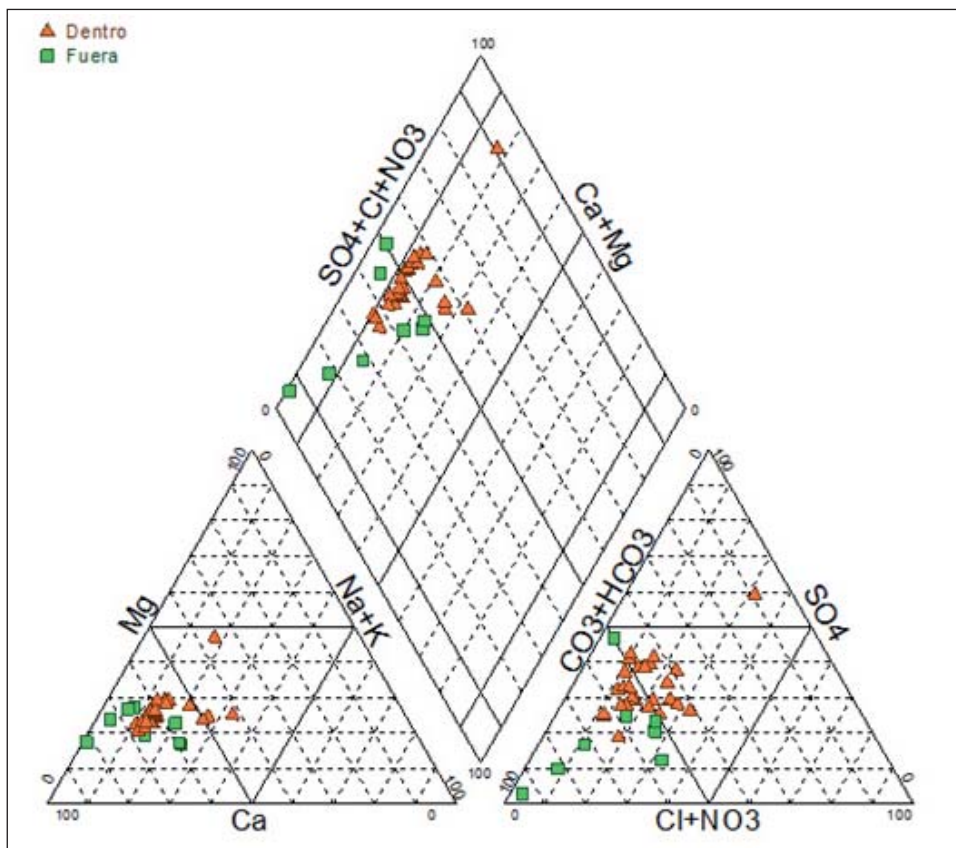


Fig. 3. Diagrama de Piper para aguas del acuífero de la hoya de Huesca y circundantes.

Tabla VII. Clasificación hidroquímica de las aguas del acuífero de la hoya de Huesca.

<i>Muestras</i>	<i>Clasificación del agua</i>
1, 3, 6, 8, 9, 10, 11, 16, 17, 18, 19, 29, 33, 36, 37, 38 y 39	Bicarbonatadas cálcicas
4	Sulfatada cálcica y/o magnésica
2, 5, 7, 21 y 32	Bicarbonatadas y/o sulfatadas cálcicas
22, 23, 25, 26, 27, 30 y 31	Sulfatadas cálcicas
24 y 28	Sulfatadas cálcicas y/o magnésicas
34	Clorurada cálcica
35	Clorurada cálcica y/o magnésica
20	Bicarbonatada y/o clorurada cálcica

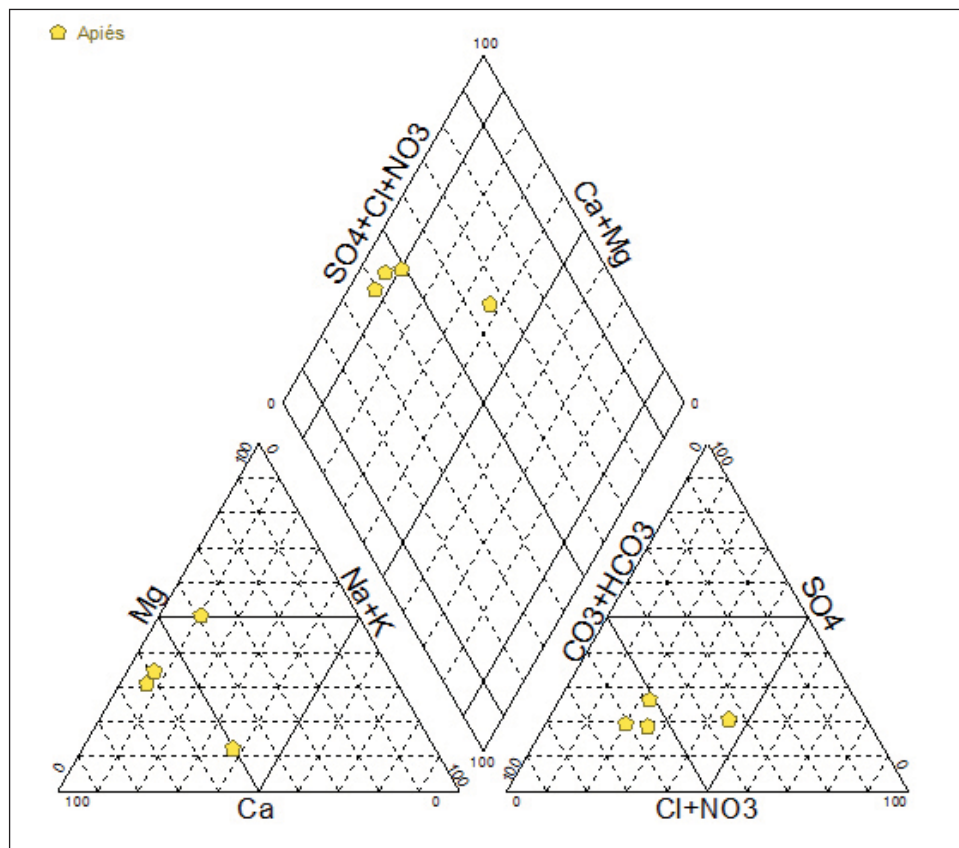


Fig. 4. Diagrama de Piper del acuífero de Apiés.

Tabla VIII. Clasificación hidroquímica de las aguas del acuífero de Apiés.

Muestras	Clasificación del agua
12	Sulfatada y/o clorurada cálcica
13 y 15	Bicarbonatadas cálcicas
14	Bicarbonatada magnésica y/o cálcica

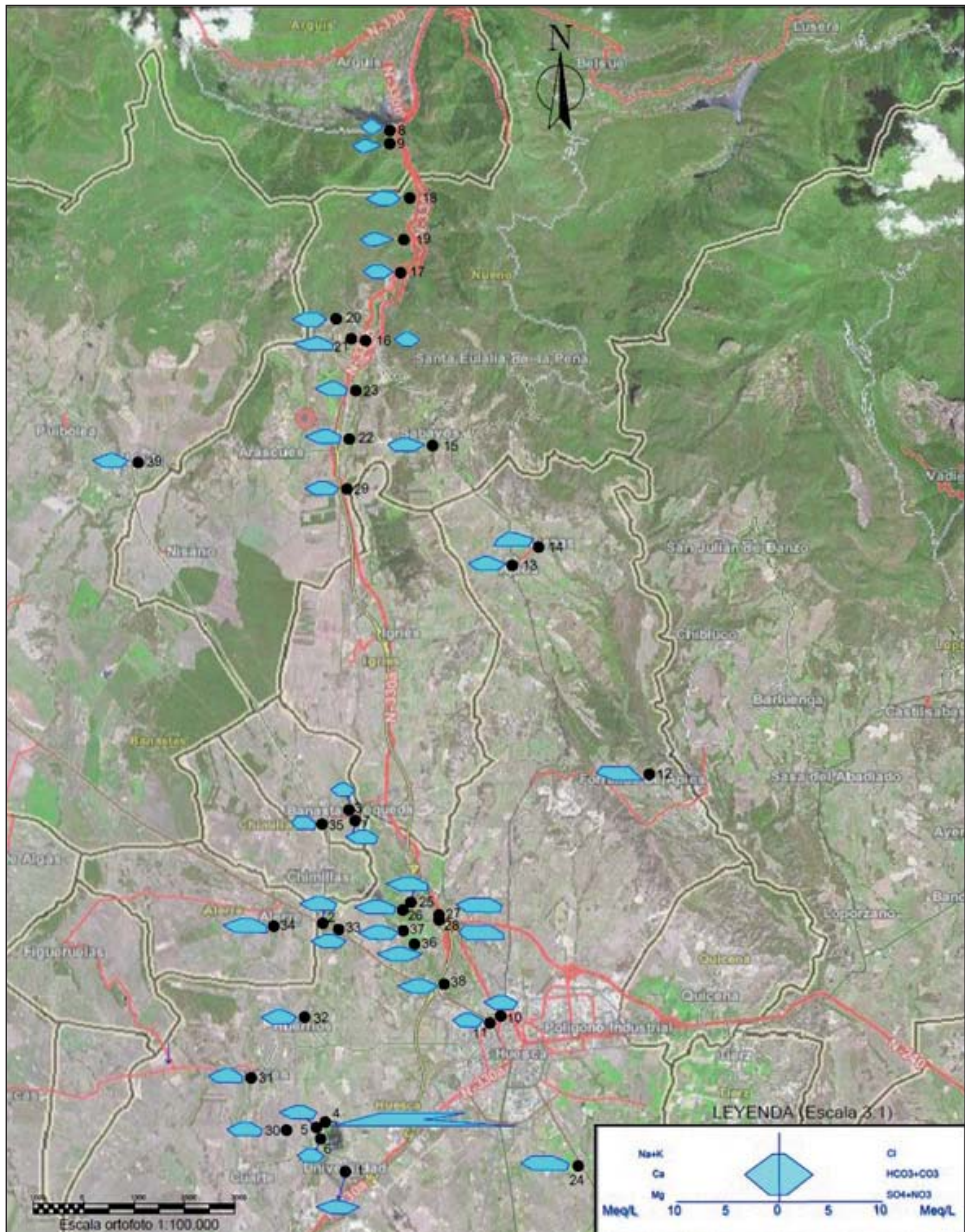


Fig. 5. Mapa – diagrama de Stiff de aguas de la hoya de Huesca sobre imagen de visor 2D del SITAR.

Diagramas de Stiff

Los diagramas de Stiff se han presentado sobre el mapa topográfico en la figura 5. Permiten apreciar y comparar la distribución geográfica de la composición química de las aguas. Refuerzan la conclusión sobre la similitud en la química de las aguas, dado que la mayoría de los polígonos indica agua bicarbonatada cálcica. También se encuentran muestras con distinta forma que reflejan una elevada carga en sulfatos, nitratos y magnesio, como la muestra 14 (fuente de Lienas) y las muestras 27 y 28 (barranco de Manjarrés y fuente de Jara). También se observa el mayor valor de cloruros en la muestra 12 (fuente vieja de Fornillos). La excepción, como tantas veces, es la muestra 4, dren de la alberca de Loreto.

Si se observa el mapa, parece establecerse de manera general una cierta tendencia espacial debida al aumento en la carga iónica de las muestras de agua en dirección sur del acuífero, reflejado por el aumento del tamaño de los polígonos.

Nitratos en aguas subterráneas

Como se ha señalado, se ha considerado de interés hacer un apartado específico sobre la presencia de nitratos. Parte de las muestras de agua analizadas en el presente artículo van destinadas al abastecimiento de poblaciones: 7 (ibones de Yéqueda); 9 (manantial de San Clemente), para Arguis; 18 (pozo de los baños de Nueno) y 20 (Fonturbia), para Nueno; 22 (pozo de Arascués); 29 (Las Paulesas), para Huesca; 30 (ibón de Cuarte); 31 (manantial de Banariés) y 32 (fuente de Huerrios), para estas localidades, y 33 (pozo de Atades), para este establecimiento. La 34 es la fuente tradicional de Alerre, junto a la iglesia. Teniendo en cuenta el Real Decreto 140/2003 que establece los valores límite o paramétricos para aguas destinadas a consumo humano, los datos obtenidos se encuentran por debajo de estos límites a excepción de los nitratos. En concreto, las muestras 30, 31 y 34 superan ampliamente el valor paramétrico de 50 mg/L. En adición, la muestra 32 está en el límite. Como el problema es persistente, varias localidades como Cuarte y Banariés disponen de equipos de desnitrificación.

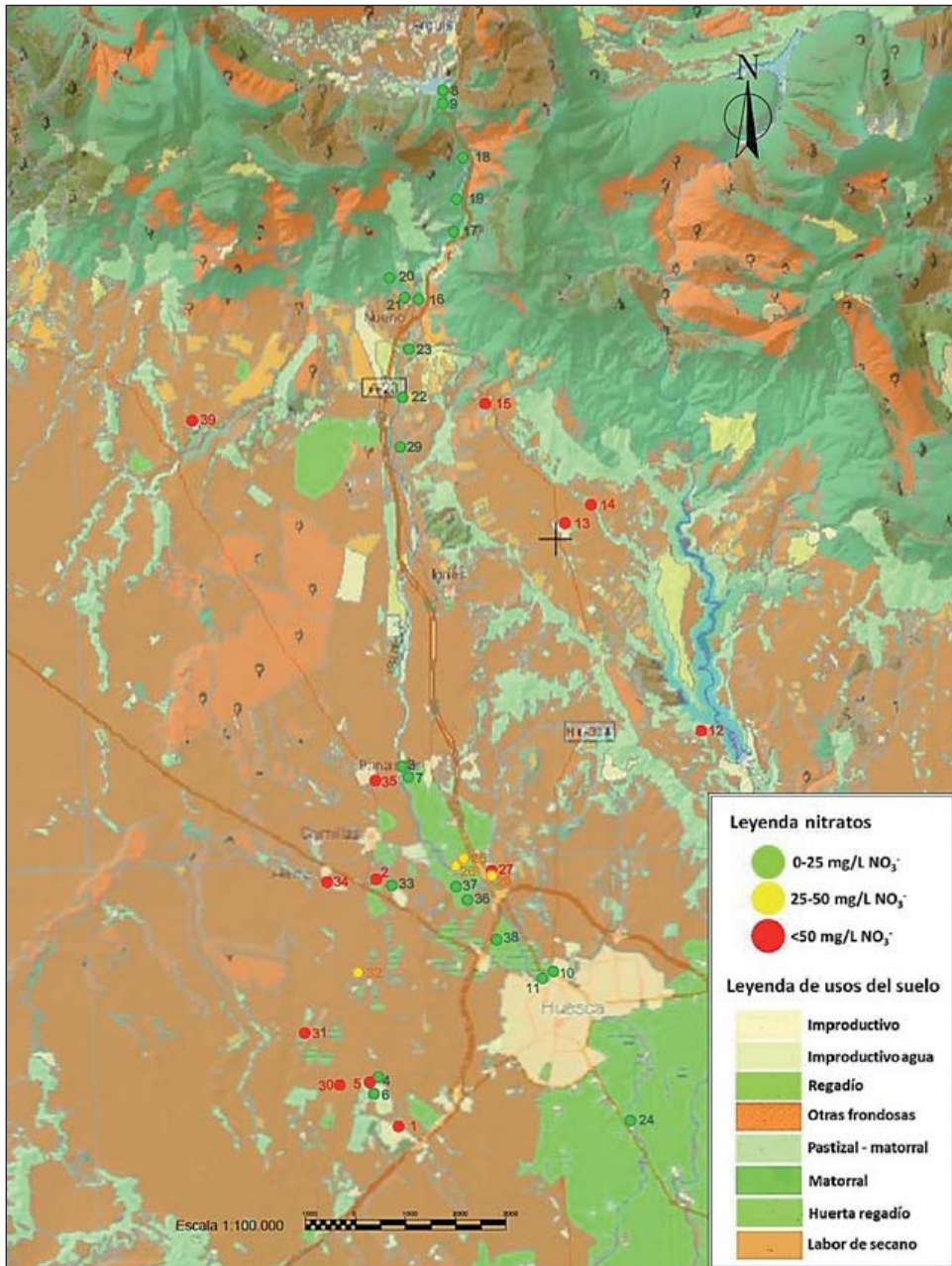


Fig. 6. Mapa de distribución espacial de la concentración de nitratos sobre usos del suelo según visor del SIGA.

El problema de concentraciones elevadas de nitratos no es nuevo en esta zona, como ya señalaron LARREY y LASAOSA (1994) y LARREY y cols. (1996). Aunque el tema merece un estudio específico mucho más detallado, la distribución espacial de la concentración de nitratos se recoge en la figura 6, en la que se representan los datos del estudio. En la zona norte, por encima de Nueno, se observan puntos en color verde, que corresponden a bajas concentraciones de nitratos, en zonas sin uso agrario. Responderían a una concentración *base* de nitratos debida a causas naturales, del orden de los 5 mg/L. Al noreste de la figura se observan los cuatro puntos en color rojo correspondientes al acuífero de Apiés, cuyas aguas subterráneas están contaminadas por nitratos de tipo agrícola desde hace más de veinte años. En la parte sur del acuífero de la hoya de Huesca sería de esperar un incremento en la concentración de nitratos a favor del flujo del agua subterránea y de la incorporación progresiva de abonos. Efectivamente, esto se observa en la zona de agricultura de secano. Sin embargo, en el regadío de la Comunidad de Regantes del Pantano de Arguis aparece un conjunto de puntos (color verde) con concentraciones bajas en nitratos. Puede deberse a dos causas. Es posible que sea menor la fertilización nitrogenada, dado que abundan las residencias secundarias sobre los campos de cultivo. Pero, por otro lado, también a que se riega con aguas del río Isuela, que, como se muestra en la tabla III, tienen menor concentración de nitratos. En este caso, estaríamos ante un proceso de dilución.

Para establecer una posible evolución temporal en la concentración de nitratos, en la figura 7 se han comparado los valores obtenidos en este artículo con los que presenta IGUAL (2014) para esta misma zona, muestreados seis meses antes y que se determinaron mediante el mismo método analítico. Dejando aparte las aguas superficiales, en general se observan relativamente pequeñas variaciones en las concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas. De los resultados no se puede establecer que haya una variación general debido a periodos lluviosos de lavado o a las fases de fertilización de fondo (octubre) y cobertera (febrero). La excepción es el acuífero de Apiés, en el que se observa una disminución general, al igual que en la fuente vieja de Lierta, un punto de agua aislado que corresponde a un pequeño acuífero poco estudiado. Como no se ha controlado la gestión del nitrógeno agrícola, no es fácil sugerir una explicación. Una vez más, este tema necesitaría un estudio temporal más detallado.

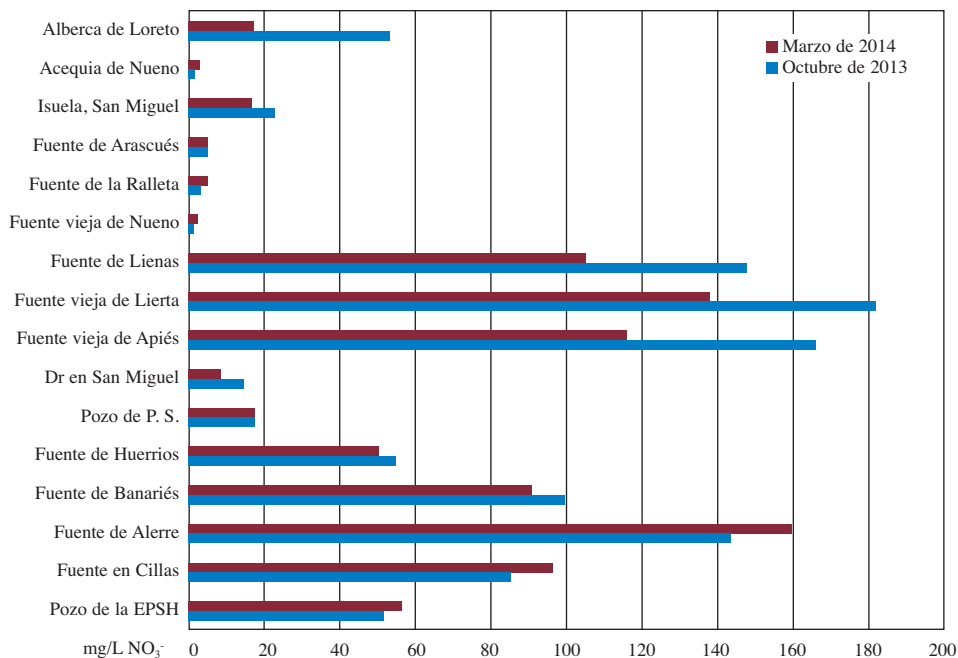


Fig. 7. Variación temporal de la concentración de nitrato en algunos puntos de la zona estudiada.

CONCLUSIONES

Las aguas del acuífero de la hoya de Huesca presentan una concentración creciente de contenido salino desde el norte hacia el sur, siguiendo la dirección de flujo del agua subterránea.

De manera general, las aguas analizadas en este artículo indican que son aguas muy duras o incrustantes y con muy bajos contenidos en materia orgánica.

Nueve muestras de agua presentan sobresaturación en minerales carbonatados, acorde con la litología calcárea dominante en la zona.

Según los diagramas de Piper, la mayoría de las muestras de agua se clasifican como bicarbonatado cálcicas. Los diagramas de Stiff indican una similitud en la química de las aguas, con alguna excepción interesante.

En las zonas de secano del acuífero de la hoya de Huesca se observan mayores niveles de nitratos que en las zonas de riego. Esto se atribuye al efecto del riego con agua del río Isuela, baja en nitratos.

Las aguas subterráneas del acuífero de Apiés presentan concentraciones elevadas en nitratos. Los altos niveles se deben a una contaminación de tipo agrícola.

De las muestras que se destinan a agua de boca, cuatro superan el valor límite de nitratos establecido para aguas de consumo humano.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Ó. Larrey, I. Monesma, D. Monaj, I. Bernal, P. Santolaria, A. Boné, A. Solanes, T. Rivarés y J. L. Villarroel su colaboración en el muestreo. A J. M. Garcés, J. A. Manso y A. Callizo, su ayuda en el laboratorio; y a E. Martínez, la suya en la confección de las figuras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) y WPCF (Water Pollution Control Federation) (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Díaz de Santos. Madrid.
- BUERA, J., J. A. CUCHÍ y J. A. MANSO (1997). Hidroquímica de las aguas naturales de los sectores occidental y central de la sierra de Guara (Huesca). *Lucas Mallada*, 9: 35-63.
- CUCHÍ, J. A. (1998). Esquema general de las unidades hidrogeológicas del Alto Aragón. *Lucas Mallada*, 10: 87-105.
- CUCHÍ, J. A. (2004). *Caracterización de las masas de agua subterráneas de la provincia de Huesca: Somontanos*. (Documento sin publicar).
- CUCHÍ, J. A. (2006). Anotaciones sobre la distribución de agua en los sistemas de riego tradicionales de la zona occidental de la hoya de Huesca. *Anales de la Fundación Joaquín Costa*, 22-23: 5-46.
- CUCHÍ, J. A., M. Á. PUYAL y J. A. MANSO (1998). Hidroquímica de aguas naturales del Pirineo aragonés. *Lucas Mallada*, 10: 173-188.
- CUCHÍ, J. A., J. L. VILLARROEL SALCEDO y J. A. MANSO (2002). Características del manantial de Fuenmayor (San Julián de Banzo, Huesca). *Geogaceta*, 31: 75-78.
- CUCHÍ, J. A., H. MILLÁN y A. POCOVÍ (2003). Quelques informations géologiques sur les eaux thermales en relation avec les calcaires dans le Haut Aragon (Espagne). *10^{ème} Journée technique du Comité Français de la AIH. Circulations hydrothermales en terrains calcaires*: 39-46. Carcasona.

- FAO (2002). Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas. FAO (FAO irrigation and drainage paper, 61). Roma.
- GARRIDO, E. A., y A. AZCÓN (1994). Naturaleza y características de los aprovechamientos con aguas subterráneas al sur de las Sierras Exteriores pirenaicas. *Actas del Congreso Nacional de Agua y Medio Ambiente*: 15-25. Zaragoza.
- GIMENO, Y. (1995). *Impacto del uso de agroquímicos (nitratos y fitosanitarios) en agricultura de secano. Aplicación al acuífero detrítico de Apiés (Huesca)*. Proyecto fin de carrera. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Huesca.
- GIMENO, Y., y J. A. CUCHÍ (1996). El karst de la cuenca alta del río Isuela (Prepirineo, Huesca). *Congreso sobre recursos hídricos en regiones kársticas*: 145-156. Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz. Vitoria.
- GIMENO, Y., y J. A. CUCHÍ (1997). Contaminación por nitratos en el acuífero de Apiés (Huesca). *Geológica*, 5: 59-71.
- IGUAL, N. (2014). *Contaminación por nitratos en acuíferos del somontano altoaragonés*. Trabajo fin de grado. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Huesca.
- LARREY, Ó., y J. C. LASAOSA (1994). *Estudio de las características hidroquímicas de las aguas subterráneas en el somontano de Huesca*. Proyecto fin de carrera. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Huesca.
- LARREY, Ó., y J. C. LASAOSA, R. C. DÍAZ y J. A. CUCHÍ (1996). Niveles de ion nitrato en aguas subterráneas de la hoya de Huesca. *Kalium*, 5: 117-127.
- MONAJ, D., J. L. VILLARROEL, J. A. MANSO y J. A. CUCHÍ (2014). Reacciones agua-roca en la cuenca alta de los ríos Isuela y Flumen (Huesca). *Lucas Mallada*, 16: 169-197.
- PANREAC (1999). Aguas potables de consumo público y aguas de bebida envasadas. En *Métodos oficiales de análisis. Analíticos en alimentaria*: 81-83. Panreac. Montcada i Reixac [Barcelona].
- Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. *BOE*, 21 de febrero de 2003, núm. 45: 7228-7245.
- SÁNCHEZ, J. Á. (1988). *Los recursos hídricos de las sierras de Guara y sus somontanos*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 27). Huesca.
- SUBÍAS, M., J. A. CUCHÍ y J. A. MANSO (2002). Hidroquímica de la cuenca del río Vero (Huesca). *Somontano*, 7: 33-45.
- TRABA, L. (2015). *Caracterización hidroquímica del acuífero de Huesca*. Trabajo fin de grado (Ciencias Ambientales). Escuela Politécnica Superior de Huesca. Huesca.
- VILLARROEL, J. L., y J. A. CUCHÍ (2002). Análisis de respuesta de Fuenmayor (San Julián de Banzo, Huesca): primeros resultados. *Geogaceta*, 31: 71-74.