

## **EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO EN NITRATOS EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA HOYA DE HUESCA (MARZO DE 2016 – FEBRERO DE 2017)**

Raquel ZUFIAURRE<sup>1</sup>  
Óscar GRACIA<sup>2</sup>  
José Antonio CUCHÍ<sup>3</sup>

**RESUMEN.**— En este artículo se presenta la evolución, durante un año, del contenido de nitratos en las aguas subterráneas de la zona occidental de la Hoya de Huesca. A partir de 21 puntos de agua se constata que, en general, las aguas subterráneas de la zona estudiada superan los 50 mg/L de ion nitrato. Se comprueba la existencia de un viejo problema de contaminación difusa.

**ABSTRACT.**— This work presents the evolution, over a year, of nitrate content in the groundwater of the western area of La Hoya de Huesca. The observation of 21 water points indicates that the groundwater of the studied area normally exceeds 50 mg/L of nitrate ion. It also confirms the existence of an old problem of diffuse contamination.

**KEY WORDS.**— Groundwater, nitrate pollution, Bolea-Ayerbe aquifers, Apiés, Hoya de Huesca (Spain).

Recepción del original: 12-1-2018

<sup>1</sup> Departamento de Química Analítica. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. [zufi@unizar.es](mailto:zufi@unizar.es)

<sup>2</sup> [oscargraciallinares@gmail.com](mailto:oscargraciallinares@gmail.com)

<sup>3</sup> Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. [cuchi@unizar.es](mailto:cuchi@unizar.es)

## INTRODUCCIÓN

La hidroquímica de los acuíferos aluviales de la Hoya de Huesca ha sido estudiada por diversos autores: LARREY y LASAOSA (1994), GIMENO y CUCHÍ (1994, 1997), GIMENO (1996), LARREY y cols. (1996), IGUAL (2014), TRABA (2015), BOSQUE (2015) y ZUFIAURRE y cols. (2015). Una conclusión general en todos los trabajos es la presencia de concentraciones de nitratos que superan el nivel de los 50 mg/L, en un amplio número de puntos de agua de los acuíferos aluviales de esta zona. Se hace evidente que estos son especialmente vulnerables a la contaminación por nitratos debido a que son acuíferos libres, a la gran permeabilidad de los depósitos aluviales, a la proximidad del nivel freático a la superficie del terreno, a la buena conexión hidráulica entre aguas superficiales y subterráneas y, sobre todo, a la fertilización nitrogenada de la agricultura cerealista extensiva en las zonas de recarga. Esta vulnerabilidad se incrementará con el aumento de las granjas de porcino y la consecuente eliminación de purines por vertido en el terreno. Los trabajos más recientes muestran que la concentración de nitratos sigue alta, a pesar de la declaración de acuíferos vulnerables realizada por la Diputación General de Aragón en las Órdenes de 11 de diciembre de 2008 (BOA, 2 de enero de 2009) y 10 de septiembre de 2013 (BOA, 9 de octubre de 2013).

La mayor parte de los datos de los trabajos anteriores han sido tomados en campañas de muestreo realizadas en una sola vez y en un corto intervalo de tiempo. La única excepción es el trabajo de LARREY y LASAOSA (1994), publicado como LARREY y cols. (1996), quienes realizaron muestreos en las cuatro estaciones. Sin embargo, son datos ya antiguos.

Por ello, el objetivo de este artículo es analizar la concentración de nitratos durante doce meses consecutivos, desde marzo de 2016 a febrero de 2017 en una serie de puntos de agua representativos. Además, se pretende caracterizar químicamente, de forma más completa, las aguas subterráneas, después y antes de las fases de abonado agrícola en abril y septiembre.

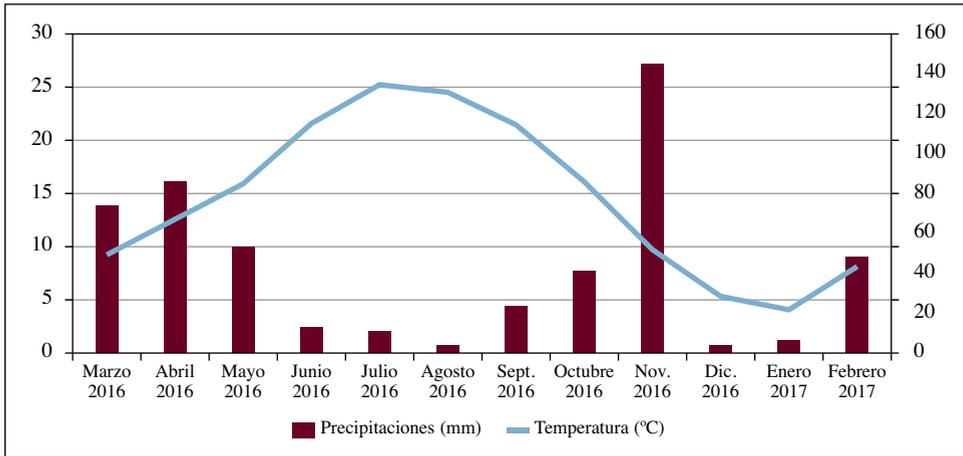
## ZONA DE ESTUDIO

El artículo se centra en el sector occidental de la comarca de la Hoya de Huesca. La zona está dividida en dos grandes unidades. Al norte están las

sierras prepirenaicas, sin superficie cultivada y en creciente proceso de matorralización y reforestación espontáneas. Por el contrario, la zona meridional es mucho más llana y está cultivada en un alto porcentaje. Cereal de invierno en secano, fundamentalmente cebada, es el cultivo extensivo más abundante (80%), que se está rotando con colza o guisante. Almendros y olivos son cultivos leñosos secundarios. En el entorno de Huesca, hay una zona de regadío, unas 2000 hectáreas, con consumos limitados de agua procedentes de las aguas superficiales del río Isuela desde el pantano de Arguis. Parte de la zona regada se está transformando a actividades periurbanas tipo parcelas recreativas. La superficie real regada en el entorno de Ayerbe no supera las 500 hectáreas con dotaciones reducidas. Hay también un porcentaje mínimo de regadío con aguas subterráneas en Cillas, Bolea y Plasencia del Monte.

Los acuíferos de la zona norte, de tipo kárstico en su mayor parte, presentan niveles bajos de concentración de nitratos, por debajo de los 5 mg/L (IGUAL, 2014). En la zona meridional hay una serie de acuíferos aluviales (SÁNCHEZ, 1988; GARRIDO y AZCÓN, 1994; CUCHÍ, 1998; CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO, 2008-2011). Son acuíferos libres, alimentados fundamentalmente por agua de lluvia y, en menor medida, por infiltraciones de ríos prepirenaicos y algunos regadíos tradicionales. La precipitación media anual de la zona supera ligeramente los 500 milímetros de lluvia (AEMET, 2001) y se puede estimar que la recarga de los acuíferos es del orden de un 10%. Los niveles saturados no superan la decena de metros de espesor, están muy cerca de la superficie y son, por tanto, muy vulnerables. Las aguas de estos acuíferos presentan, desde hace tiempo, un nivel elevado de nitratos. La principal aportación de nitrógeno, en la zona estudiada, es el abonado agrícola. Para el cereal de invierno, en abonado de fondo se suelen utilizar 300 kg/ha de complejo 15:15:15. En cobertera, como más habitual, se emplean 180 kg/ha de urea del 46%. En almendro se utiliza complejo 15:15:15, del orden de los 400-600 kg/ha.

Por su posible relación con los parámetros fisicoquímicos, se han recogido de la AEMET los valores climatológicos, durante el periodo del estudio, marzo de 2016 a febrero de 2017, registrados en la estación meteorológica de Monflorite (fig. 1). Se observan los dos periodos de lluvia en primavera y otoño típicos del clima mediterráneo continental del Prepirineo,



**Fig. 1.** Evolución mensual de temperatura y precipitación en el observatorio de Monflorite entre marzo de 2016 y febrero de 2017. (Fuente: AEMET)

así como los estiajes del invierno y del verano. A las lluvias corresponderían los momentos de lixiviación de abonos hacia los acuíferos.

#### PUNTOS DE MUESTREO

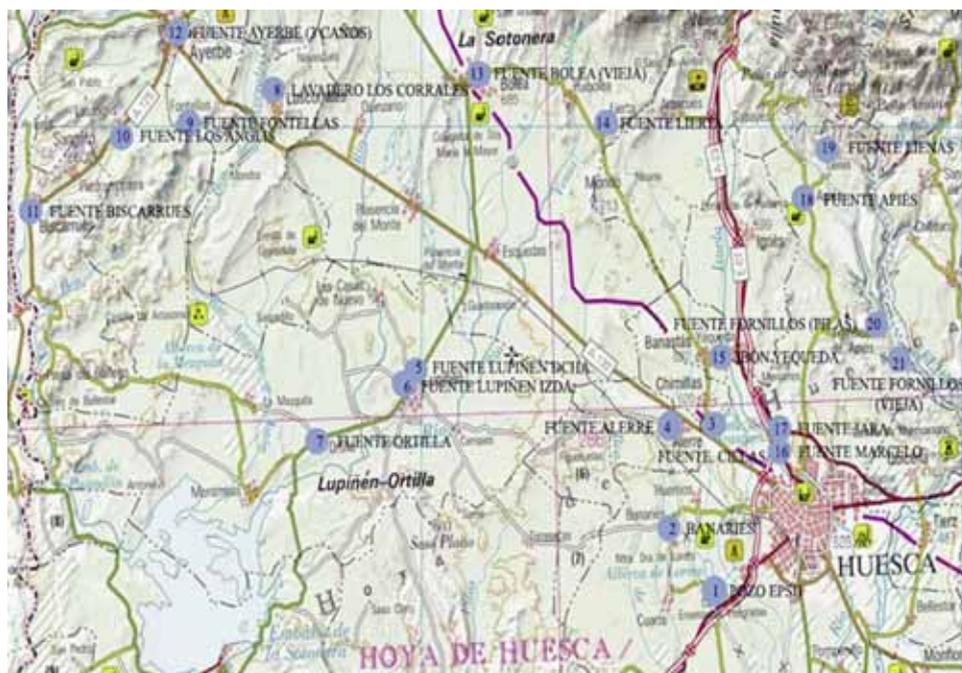
Para este artículo, a partir de la experiencia de los estudios ya realizados, se han seleccionado 21 puntos de muestreo (tabla I y fig. 2). Pertenecen a tres acuíferos distintos: Hoya de Huesca (H), Saso Bolea-Ayerbe (BA) y Apiés (A). Para el muestreo se descartaron puntos de agua situados en el Prepirineo donde ya se conoce que los niveles son bajos, como se puso de relieve en el trabajo de ZUFIAURRE y cols. (2016).

#### MATERIAL Y MÉTODOS

La campaña de muestreo se llevó a cabo entre los meses de marzo de 2016 y febrero de 2017. Se utilizaron botellas nuevas de PET. *In situ* se determinó la temperatura del agua y su conductividad eléctrica. Las muestras se trasladaron en el día a la Escuela Politécnica Superior de Huesca, donde se almacenaron en nevera a una temperatura de 4 °C para su análisis a la mayor brevedad posible. Los métodos analíticos se presentan en la tabla II.

**Tabla 1.** Puntos de agua subterránea muestreados en la Hoya de Huesca.

Número de muestra		Número de muestra	
1	Pozo de la EPS de Huesca (H)	12	Fuente de los Tres Caños de Ayerbe (BA)
2	Manantial de Banariés (H)	13	Fuente vieja de Bolea (BA)
3	Fuente de Cillas (H)	14	Fuente de Lierta (H)
4	Fuente de Alerre (H)	15	Ibones de Yéqueda (H)
5	Fuente de Lupiñén (dcha.) (H)	16	Fuente de Marcelo (H)
6	Fuente de Lupiñén (izda.) (H)	17	Fuente de Jara (H)
7	Fuente de Orilla (BA)	18	Fuente de Apiés
8	Lavadero de Loscorrales (BA)	19	Fuente de Lienas (A)
9	Fuente de Fontellas (BA)	20	Fuente de las Pilas de Fornillos (A)
10	Fuente Losanglis (BA)	21	Fuente vieja de Fornillos (A)
11	Fuente de Biscarrués (BA)		



**Fig. 2.** Mapa de los puntos de muestreo.

**Tabla II.** Métodos analíticos empleados en la determinación de los parámetros fisicoquímicos.

	<i>Método analítico</i>
pH	Método electroquímico. Electrodo de vidrio de pH
Conductividad eléctrica (CE)	Método electroquímico. Conductimetría
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Volumetría ácido-base
Cl <sup>-</sup>	Volumetría de precipitación (método de Mohr)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Espectroscopia de absorción molecular en UV
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Método turbidimétrico. Espectroscopia de absorción molecular en el visible
Ca <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup>	Espectroscopia atómica de llama (absorción / emisión)

A partir de los datos de la determinación de nitratos, se ha precisado la materia orgánica presente en el agua, calculada mediante la correlación entre la absorbancia a 275 nm y la materia orgánica expresada como oxidabilidad al permanganato obtenida por ZUFIAURRE y cols (2016). Con los resultados analíticos de septiembre de 2016 y abril de 2017, se han elaborado diagramas de Piper con el programa Diagrammes. Además, se ha realizado un análisis de componentes principales utilizando el programa estadístico SPSS 15.0. También se ha calculado el índice de saturación mediante WATEQF, del US Geological Survey.

## RESULTADOS

Los principales resultados de este estudio se presentan en las tablas III, IV y V.

**Tabla III.** Concentración de nitratos en mg/L (marzo de 2016 – febrero de 2017).

	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
1	60,92	70,83	62,01	58,91	39,86	39,56	46,70	53,93	52,44	74,01	91,98	113,03
2	53,43	95,87	77,81	83,89	68,81	68,40	73,14	63,17	70,19	87,48	66,22	81,50
3	90,17	96,85	88,35	79,75	68,27	68,08	84,10	85,31	76,34	62,75	85,60	91,15
4	116,26	139,93	140,33	152,44	103,55	104,38	42,85	55,70	40,03	161,93	110,83	158,16
5	134,56	134,42	113,46	113,58	82,31	82,61	98,53	92,92	102,51	108,82	120,64	43,71
6	105,22	86,54	74,16	61,92	52,27	52,77	88,08	90,88	85,88	91,76	79,44	79,56
7	156,01	157,56	164,40	165,48	151,78	150,77	165,25	178,78	170,54	177,87	186,04	189,57
8	84,29	87,27	86,44	82,42	72,85	72,75	84,36	78,92	82,96	85,57	88,24	51,69
9	77,37	78,25	75,11	76,48	65,16	64,36	77,01	65,16	72,39	111,45	77,68	76,08
10	55,92	68,49	72,86	78,63	61,44	60,38	70,35	60,94	66,12	50,38	45,37	71,03
11	85,67	98,69	102,36	109,81	93,96	94,29	105,73	106,17	93,78	106,57	92,73	93,33
12	28,97	29,02	31,65	32,85	30,57	30,38	28,05	28,09	31,76	31,57	32,15	31,66
13	2,37	1,64	1,47	3,38	0,37	0,54	1,46	1,10	1,58	5,68	2,78	2,89
14	146,09	108,62	136,73	135,73	119,07	117,99	120,62	120,79	135,67	207,74	186,87	315,23
15	20,11	13,50	14,74	14,15	12,01	11,95	15,65	15,46	19,39	17,76	19,16	16,88
16	26,30	25,23	28,79	30,42	21,18	21,18	20,87	19,81	19,60	22,32	26,89	26,94
17	44,48	40,14	45,13	43,88	34,13	34,30	42,18	42,56	42,59	42,57	42,98	40,57
18	120,59	117,22	110,77	107,94	97,49	97,90	86,25	106,06	128,67	102,12	117,87	119,98
19	111,36	96,96	101,25	101,62	83,07	82,47	107,44	105,46	99,74	98,34	64,61	96,17
20	220,99	220,32	210,01	216,45	177,97	175,32	182,01	191,13	183,73	176,07	183,80	186,24
21	210,29	208,06	226,49	214,01	182,79	181,44	205,49	183,14	178,18	200,65	232,70	248,56

**Tabla iv.** Caracterización hidroquímica (abril de 2016).

	<i>CE</i> ( $\mu\text{s/cm}$ 25 °C)	$\text{NO}_3^-$ (mg/L)	$\text{HCO}_3^-$ (mg/L)	$\text{Cl}^-$ (mg/L)	$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)	$\text{Ca}^{2+}$ (mg/L)	$\text{Mg}^{2+}$ (mg/L)	$\text{K}^+$ (mg/L)	$\text{Na}^+$ (mg/L)
1	893,00	70,83	387,61	36,21	132,80	160,63	24,53	2,76	24,72
2	876,00	95,87	303,97	49,35	137,25	143,05	36,60	9,72	28,33
3	834,00	96,85	344,77	44,73	122,77	143,42	35,65	4,54	26,04
4	1008,00	139,93	369,25	55,03	151,74	162,99	38,79	13,12	35,70
5	832,00	134,42	301,93	39,76	99,15	149,58	23,15	1,29	27,53
6	719,00	86,54	281,53	36,21	91,80	129,03	23,82	2,07	25,07
7	757,00	157,56	246,85	38,34	68,18	125,02	21,66	1,26	30,52
8	607,00	87,27	303,97	18,82	33,13	140,43	7,16	0,92	11,63
9	728,00	78,25	297,85	32,31	80,66	158,71	12,66	2,63	22,54
10	705,00	68,49	373,33	26,63	49,69	156,64	10,57	3,24	20,54
11	864,00	98,69	352,93	51,48	92,91	134,97	28,99	31,84	47,72
12	783,00	29,02	338,65	28,76	151,96	151,97	27,57	2,37	28,09
13	979,00	1,64	273,37	36,57	357,62	225,12	32,05	2,44	23,00
14	687,00	108,62	326,41	25,56	44,11	136,51	21,26	16,78	9,41
15	675,00	13,50	275,41	35,86	128,57	133,32	21,84	2,71	24,15
16	959,00	25,23	387,61	52,90	198,75	177,34	38,33	3,49	34,06
17	1124,00	40,14	420,25	91,95	218,81	173,72	42,24	5,67	62,06
18	795,00	117,22	342,73	33,73	126,78	151,15	29,84	1,55	12,09
19	945,00	96,96	375,37	39,76	133,69	117,73	77,32	0,81	26,66
20	1337,00	220,32	354,97	86,62	167,86	184,65	20,71	154,58	55,90
21	985,00	208,06	340,69	72,42	53,48	167,46	28,10	1,79	44,59

**Tabla v.** Caracterización hidroquímica (septiembre de 2016).

	<i>CE</i> ( $\mu\text{s/cm}$ 25 °C)	$\text{NO}_3^-$ (mg/L)	$\text{HCO}_3^-$ (mg/L)	$\text{Cl}^-$ (mg/L)	$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)	$\text{Ca}^{2+}$ (mg/L)	$\text{Mg}^{2+}$ (mg/L)	<i>Potasio</i> (mg/L)	<i>Sodio</i> (mg/L)
1	833,00	46,70	352,93	33,37	82,36	125,52	23,99	3,59	35,97
2	969,00	73,14	326,41	50,77	137,48	121,11	32,32	8,97	44,16
3	813,00	84,10	330,49	42,25	104,96	121,31	38,20	3,89	39,01
4	960,00	42,85	387,61	46,15	105,16	134,91	33,10	51,05	45,14
5	778,00	98,53	308,05	36,57	87,44	122,33	27,44	1,12	35,96
6	715,00	88,08	277,45	35,86	84,69	110,10	24,10	1,94	49,23
7	740,00	165,25	248,89	36,57	86,06	108,45	24,68	0,86	52,89
8	598,00	84,36	293,77	17,75	25,49	118,43	10,37	0,64	35,29
9	712,00	77,01	289,69	29,47	106,73	132,59	12,85	2,42	41,41
10	706,00	70,35	352,93	28,05	58,70	132,83	15,05	0,66	41,94
11	999,00	105,73	369,25	55,03	102,40	119,19	28,81	38,00	60,16
12	785,00	28,05	346,81	26,63	157,32	128,21	27,79	1,95	40,28
13	923,00	1,46	285,61	36,21	298,82	155,34	29,29	2,14	36,30
14	764,00	120,62	314,17	24,50	61,85	115,28	21,67	7,86	17,32
15	672,00	15,65	285,61	35,15	116,77	101,60	19,72	2,23	36,94
16	915,00	20,87	367,21	46,51	162,28	134,91	34,66	2,81	43,07
17	1146,00	42,18	412,09	85,56	216,22	147,20	45,42	5,28	66,68
18	829,00	86,25	330,49	34,44	61,06	121,68	23,49	1,23	19,82
19	978,00	107,44	387,61	40,12	134,72	92,34	48,36	0,57	40,58
20	1290,00	182,01	346,81	78,81	139,90	140,67	20,25	147,32	59,82
21	1087,00	205,49	352,93	74,20	35,28	139,80	29,66	1,63	59,63

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

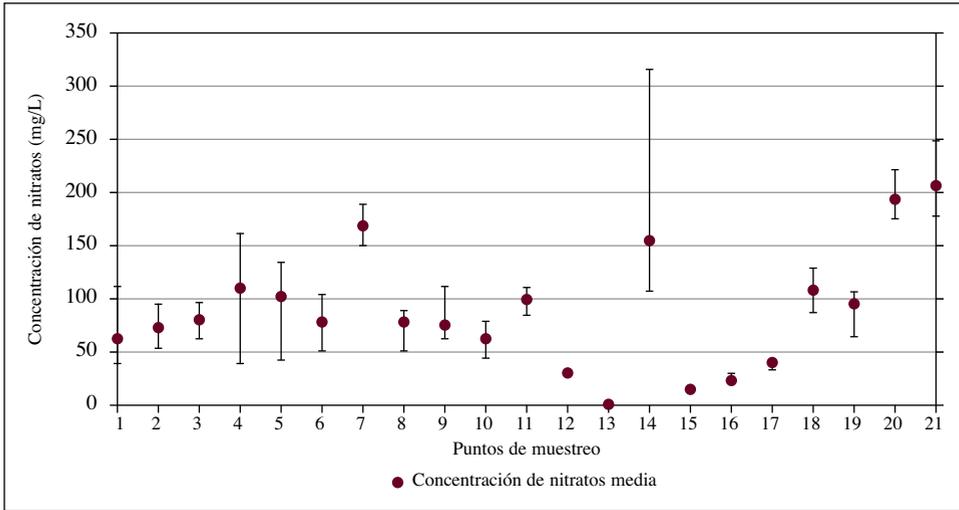
Los resultados corresponden a puntos de agua de diversas características donde afloran o se pueden captar aguas subterráneas de los tres acuíferos considerados. Para cada punto de agua es necesario señalar que las aguas que allí brotan han tenido tiempos de residencia y recorridos diferentes. Esto supone que variaciones de lluvia y fertilización (señal de entrada) no se reflejarán necesariamente en tiempos similares e idéntica intensidad en las concentraciones en los manantiales y los pozos (señal de salida). Además, los acuíferos tienen una clara capacidad de amortiguación temporal de las señales de entrada por procesos de mezcla, de modo que para los flujos que tengan recorridos largos, la respuesta puede ser más modesta de lo esperable, a cambio de una mayor duración del impacto. Por último, es necesario recordar que los límites de los acuíferos estudiados son puramente administrativos y no tienen necesariamente que reflejar el comportamiento real del agua subterránea. Baste con recordar la persistente confusión administrativa entre los acuíferos de Apiés y de la Hoya, que se encuentran completamente desconectados a efectos hidrológicos.

Por tanto, no es fácil establecer en estos momentos una relación causa-efecto, dado que no ha sido posible definir las cuencas de captación de manantiales concretos ni cuantificar con una mínima fiabilidad las aportaciones agropecuarias reales.

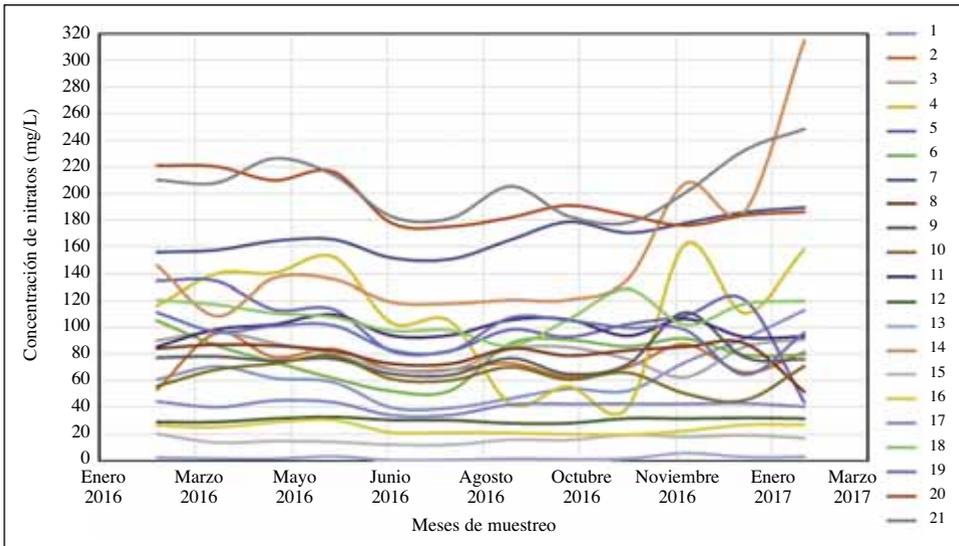
### *Nitratos en las aguas subterráneas*

Solo 5 de los 21 puntos muestreados estuvieron, en los doce meses, por debajo del límite sanitario de los 50 mg/L en nitratos (figs. 3 y 4). Las excepciones son las fuentes de los Tres Caños de Ayerbe, vieja de Bolea, Yéqueda, Marcelo y Jara. Las dos primeras parecen asociadas con los aluviales de los correspondientes aluviales de los ríos Secos de Loarre y Bolea.

El núcleo de fuentes conocido como *ibones de Yéqueda* (en la *güega* Huesca-Yéqueda-Banastás) podría estar relacionado con aguas superficiales del río Isuela, directamente o a través del sistema de riegos (acequia de Coliñenigue). Además, en estos cinco puntos, los rangos de concentración observados son muy pequeños.



**Fig. 3.** Valor medio y rango de concentración de nitratos en puntos de aguas subterráneas de la Hoya de Huesca.



**Fig. 4.** Evolución temporal de la concentración de nitratos en aguas subterráneas de la Hoya de Huesca entre febrero de 2016 y marzo de 2017.

En el resto de los puntos, los valores medios están por encima del umbral mencionado. En ciertos casos, algunos valores mensuales descienden ligeramente por debajo de ese límite, aunque las medias anuales se

mantienen por encima de los 50 mg/L. Como era de esperar, en un análisis temporal a lo largo del año de estudio se observa un comportamiento diverso. Los puntos de agua con bajas concentraciones muestran un comportamiento prácticamente constante. Por el contrario, hay variaciones importantes en las fuentes con niveles altos. En algunos puntos de agua, como en la fuente de Alerre (4), parecen insinuarse aumentos de concentración tras las fases de abonado con un desfase de algunas semanas. En otros puntos, esto no es tan claro. Los repuntes de febrero en las fuentes de Lierta y vieja de Fornillos tienen el aspecto de problemas de contaminación.

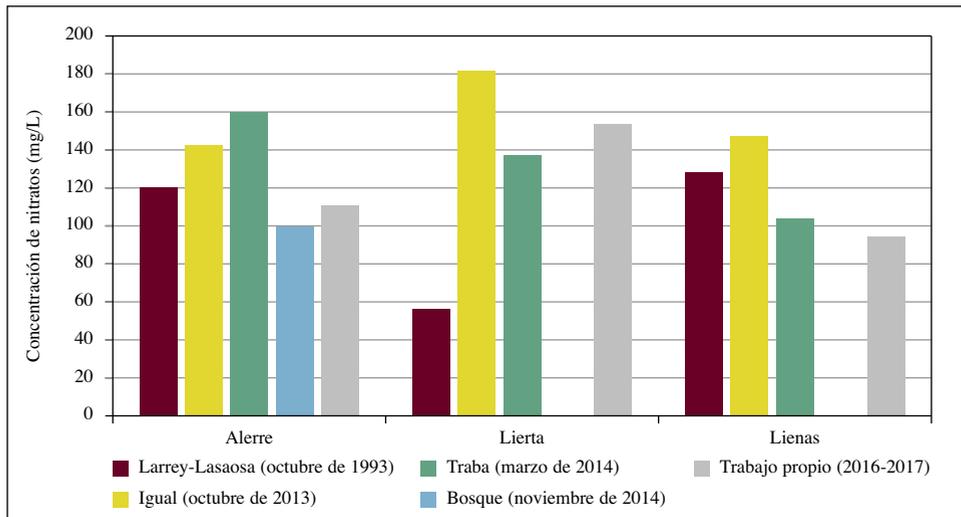
El problema de los nitratos es antiguo en la zona, como muestran datos del abastecimiento de Ayerbe, realizados por su farmacéutica titular (tabla VI).

**Tabla VI.** Datos antiguos en abastecimiento de Ayerbe (farmacia de Ayerbe).

<i>Fecha</i>	$NO_3^-$ (mg/L)	<i>Fecha</i>	$NO_3^-$ (mg/L)
12/5/1987	15	12/1/1993	30
12/2/1989	27	22/3/1994	39
11/5/1989	25,3	27/2/1995	36
8/2/1990	19,3	3/3/1995	35
13/2/1990	26	21/2/1996	37
16/3/1990	14	10/1/1997	57,4
13/2/1991	26	20/2/1997	40

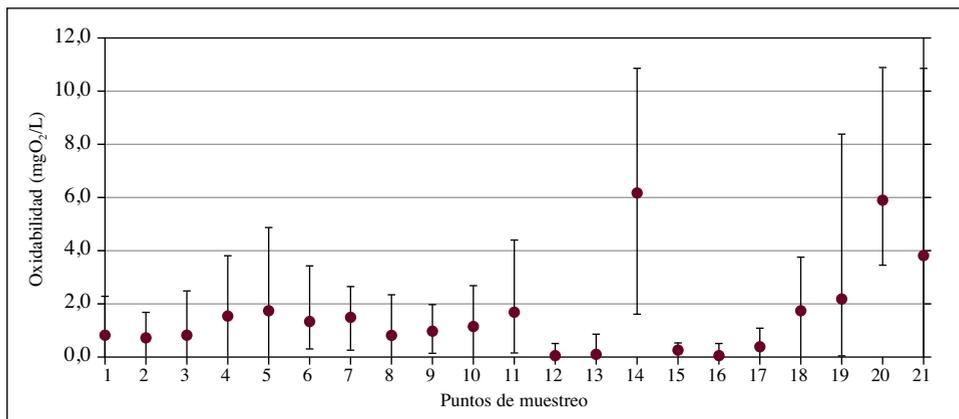
Para analizar la evolución del nivel de nitratos, se han comparado algunos datos de este artículo con los de estudios anteriores. Se han seleccionado las fuentes de Alerre, Lierta y Lienas (fig. 5) donde se observa que los niveles se mantienen altos en dos casos durante más de dos décadas, e indican que no han tenido éxito las medidas de reducción de nitratos asociadas a la declaración de Zona Vulnerada. Este problema debería estudiarse con más detalle.

Por tanto, es evidente que existe un gran problema de contaminación por nitratos que afecta a los usos naturales, agropecuarios y a los abastecimientos urbanos. En los primeros, el incremento de nitratos aumentará el crecimiento de vegetación natural en la zona de descarga. Para el riego, no



**Fig. 5.** Histórico de la concentración de nitratos en algunos puntos de agua de la Hoya de Huesca.

se han señalado efectos indeseables en los modestos sistemas que riegan de alguna de las fuentes citadas. Más complejo es su uso para bebida del ganado donde hay debate sobre los niveles admisibles de nitratos en la ingesta de los animales. Alguna publicación técnica señala un nivel máximo de 100 mg/L, pero este es un tema que requiere más estudio. Por otro lado, el número de granjas en la zona es todavía limitado. La afección fundamental de la presencia de nitratos, y probable de nitritos, es el abastecimiento urbano, especialmente de las pequeñas localidades donde el problema es persistente y es prácticamente imposible la reducción de los niveles por debajo de 50 mg/L a partir de la limitación voluntaria de la causa, el abonado agrícola, por la general oposición de los agricultores. Una solución sería el establecer perímetros de protección entorno a los puntos de abastecimiento. Esto implicaría realizar estudios hidrológicos y restricciones de abonado obligatorias en áreas próximas a los abastecimientos. Otra solución sería la implantación de equipos de desnitrificación con una adecuada gestión técnica y un control continuo de la calidad del agua. Una solución más costosa y políticamente compleja sería el establecimiento de una red comarcal de agua potable, entre el Guatizalema y el Gállego, a partir de los diversos puntos de agua del Prepirineo.



**Fig. 6.** Valor medio y rango de concentración de materia orgánica en aguas subterráneas de la Hoya de Huesca.

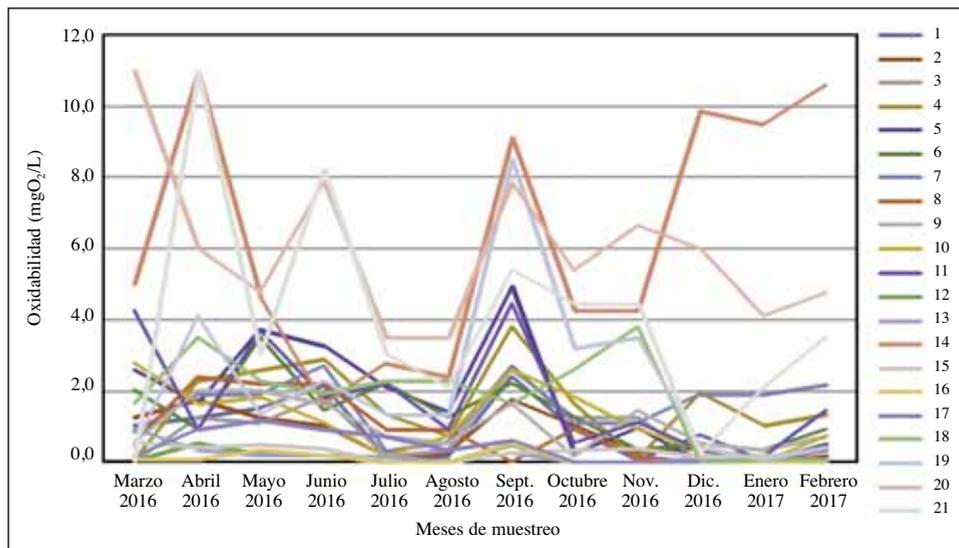
### *Materia orgánica*

La presencia de materia orgánica disuelta en el agua subterránea es un parámetro importante dentro del ciclo del nitrógeno, dada su implicación en los procesos de reducción. Como ya se ha indicado en el apartado de métodos, este parámetro se ha calculado a partir de la correlación que se presenta en ZUFIAURRE y cols. (2016). Los resultados se resumen en las figuras 6 y 7.

La normativa española sobre aguas de consumo humano (RD 140/2003) establece un parámetro indicador para la oxidabilidad de 5 mg/L. En general, los valores encontrados son menores. Las fuentes de los Tres Caños de Ayerbe y vieja de Bolea, y los ibones de Yéqueda y Marcelo, tienen valores bajos, en la línea de lo ya visto en el contenido de nitratos. Por el contrario, las fuentes de Lierta y Pilas de Fornillos muestran evidentes signos de contaminación por materia orgánica, además de altos niveles de nitratos.

La evolución temporal muestra, una vez más, un comportamiento diverso. Los puntos con valores medios bajos en materia orgánica muestran un rango mucho más estrecho que los ya señalados como contaminados. Sorprende la variabilidad tanto en Lierta como en Fornillos, que necesitan de un estudio específico.

La presencia de materia orgánica supone el incremento del consumo de hipoclorito en los procesos de potabilización del agua tratada, juntamente



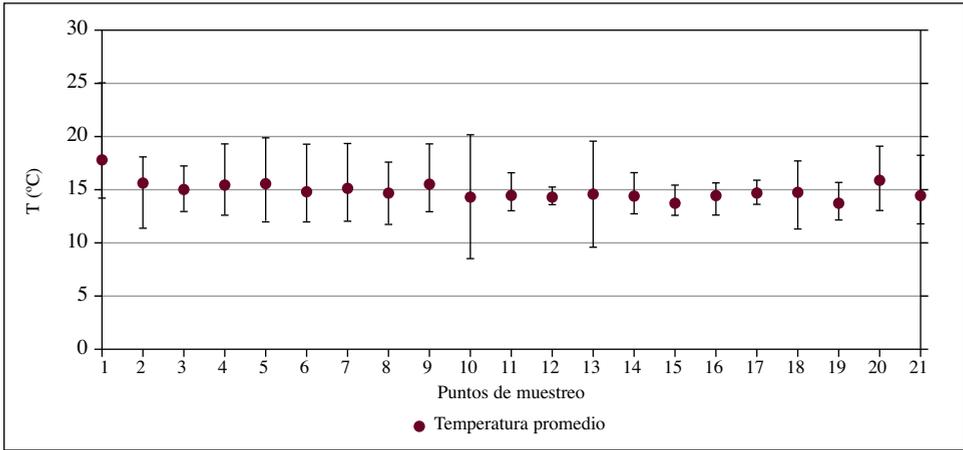
**Fig. 7.** Evolución temporal de materia orgánica en aguas de la Hoya de Huesca entre febrero de 2016 y marzo de 2017.

con la formación de trihalometanos. Además, su presencia en aguas subterráneas puede aumentar el riesgo de formación de nitritos. Este parámetro debería ser adecuadamente vigilado, especialmente si aumentan las aportaciones de purines y estiércoles de granjas industriales.

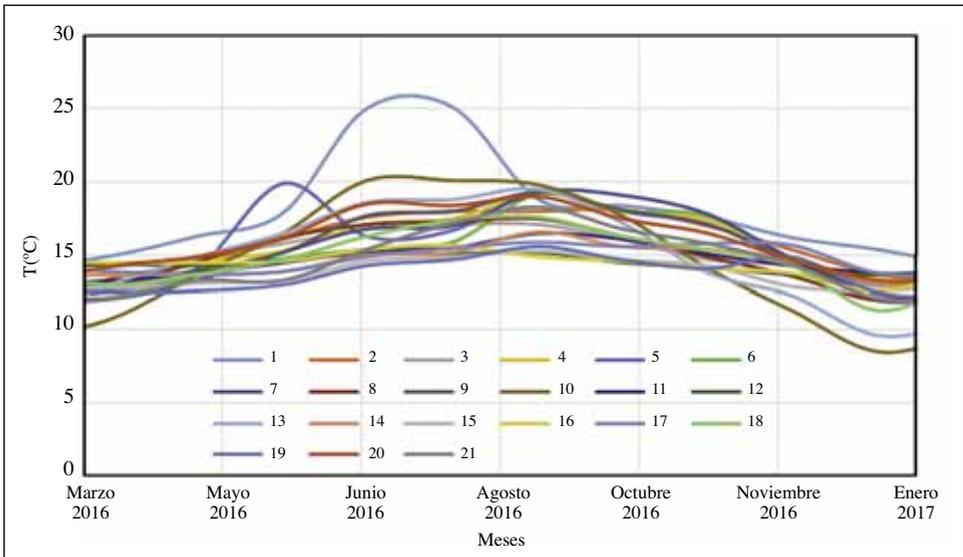
#### *Temperatura y conductividad eléctrica de las aguas subterráneas*

Durante el muestreo se ha seguido también la evolución mensual de la temperatura y la conductividad eléctrica de las aguas subterráneas estudiadas. En aras de la brevedad de este artículo se omiten los datos numéricos, que son consultables en GRACIA (2017).

Las temperaturas medias de campo del agua (figs. 8 y 9) están próximas a los 15 °C. Este valor está por encima de los 12 °C, temperatura media anual de la zona, y que suele considerarse, en los manuales, como la temperatura normal de las aguas subterráneas. Los rangos de oscilación y la variación mensual muestran una clara influencia de la temperatura ambiente inmediata sobre la temperatura del agua, efecto de la poca profundidad del acuífero en la mayoría de los puntos de captación. En el pozo de la

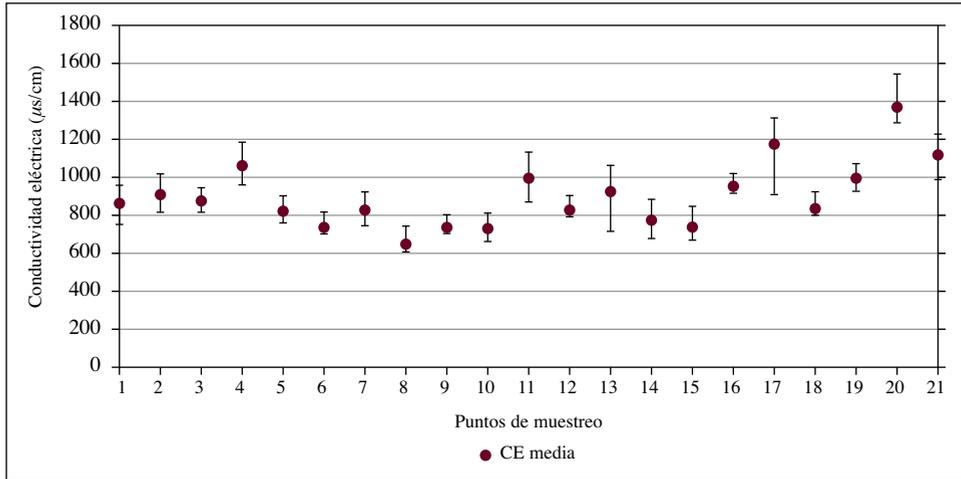


**Fig. 8.** Valor medio y rango de la temperatura en aguas subterráneas.

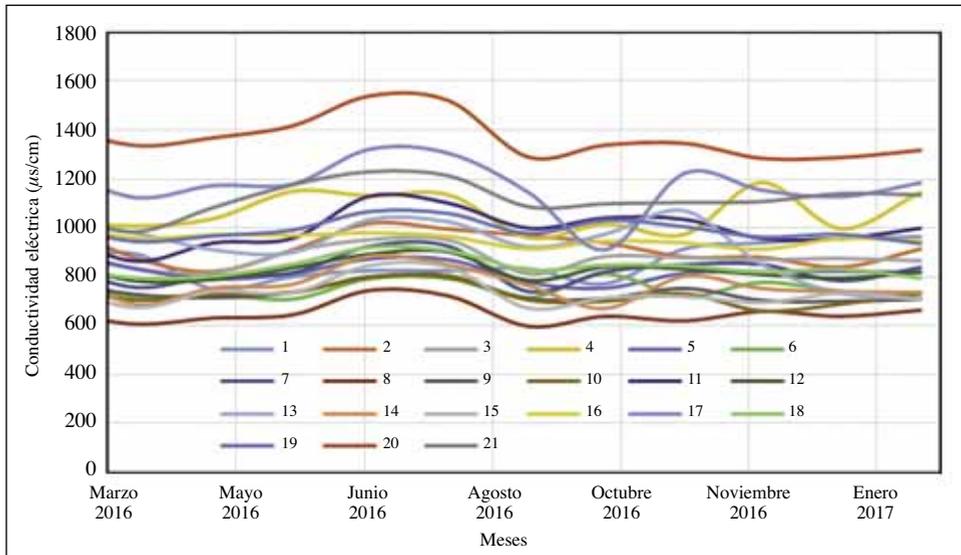


**Fig. 9.** Variación temporal de la temperatura en aguas subterráneas de la Hoya de Huesca entre febrero de 2016 y marzo de 2017.

Escuela Politécnica Superior de Huesca (EPSH) (punto 1), se considera que el resultado no es representativo del acuífero, dado que tiene su boca cerrada por una chapa metálica negra que concentra el calor veraniego y calienta el agua superficial del pozo. En otros casos, como en la fuente vieja de



**Fig. 10.** Valores medios de la conductividad eléctrica por punto de muestreo.



**Fig. 11.** Variación temporal de la conductividad eléctrica en los 21 puntos de muestreo entre febrero de 2016 y marzo de 2017.

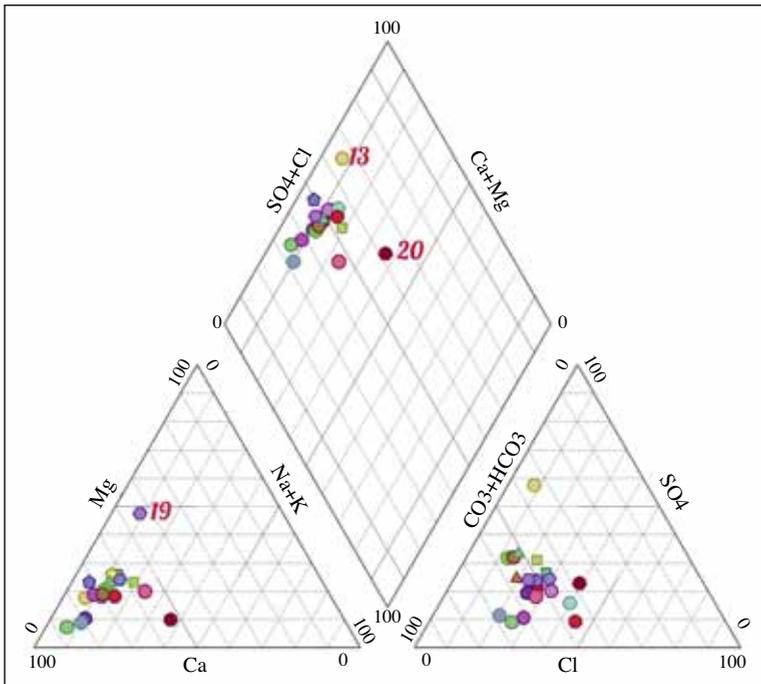
Bolea y en Losanglis, el punto de muestreo en el casco urbano está alejado del manantial y el agua se calienta o enfría durante el transporte.

Los valores medios de la conductividad eléctrica (figs. 10 y 11) oscilan en torno a los 900 µS/cm 25 °C. Son más altos que los que se encuentran en

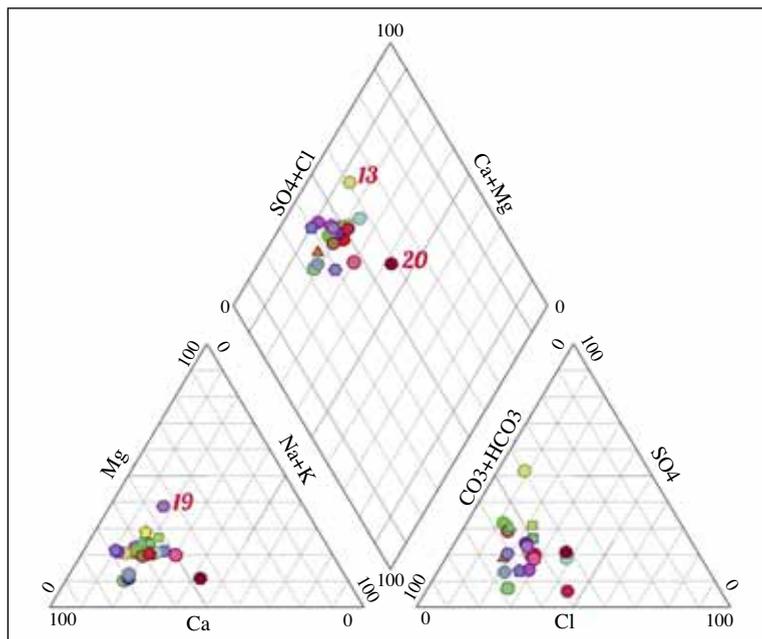
los manantiales kársticos del Prepirineo y reflejan la existencia de sales en los materiales del Mioceno. Esta influencia es más patente hacia el este de la zona de estudio, como se observa en las fuentes de Jara y Fornillos. Los rangos temporales son pequeños, como suele ser habitual en aguas subterráneas. Las variaciones en la fuente de Jara pudieran deberse a la influencia del vecino barranco de Manjarrés.

### *Caracterizaciones hidroquímicas de abril y septiembre de 2016*

Se realizaron dos análisis más completos en los muestreos de abril y septiembre de 2016 (tablas IV y V). Los resultados puntuales señalan que las aguas son relativamente homogéneas, con una clara influencia en la geología local donde abunda el carbonato cálcico en suelos y areniscas. La presencia de evaporitas está asociada con las arcillas del Mioceno subyacente que dan valores más elevados de algunos iones como magnesio, sodio y potasio, en Jara y Fornillos.



**Fig. 12.** Diagrama de Piper (abril de 2016).

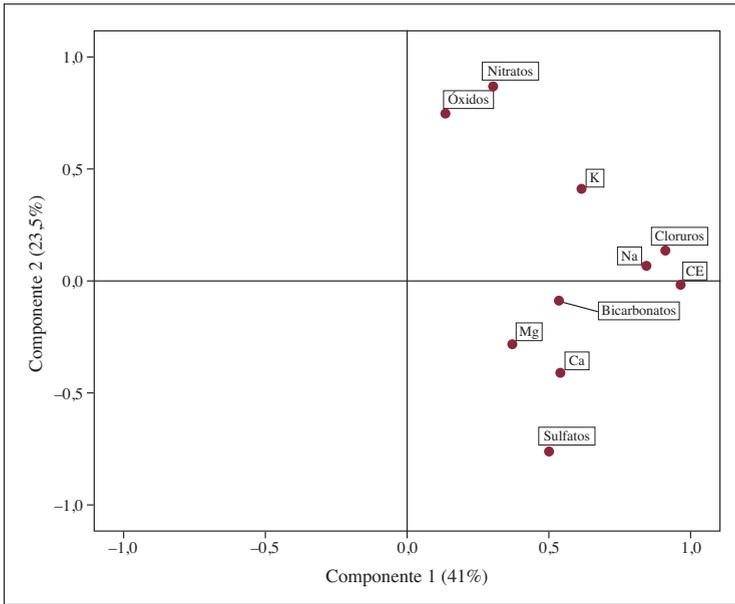


**Fig. 13.** Diagrama de Piper (septiembre de 2016).

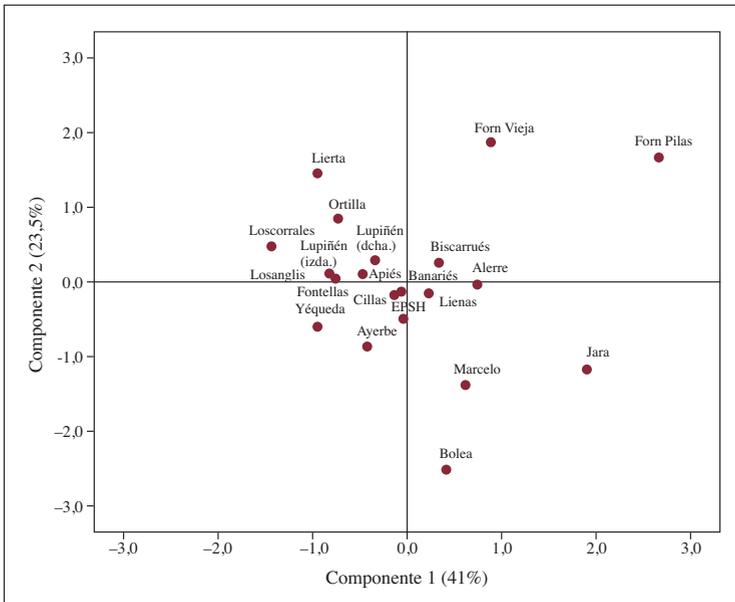
Los diagramas de Piper de las figuras 12 y 13 refuerzan la conclusión de homogeneidad de las aguas muestreadas. Predomina lógicamente una clasificación de tipo bicarbonatado cálcica. De la agrupación se diferencian, una vez más, las fuentes de Lienas, vieja de Bolea (13) y vieja de Fornillos. No hay variaciones sensibles entre los dos muestreos.

Con objeto de observar las similitudes o diferencias en la composición química entre las muestras analizadas, a partir de los parámetros medidos, se ha aplicado un análisis factorial (análisis de componentes principales), cuyos resultados se visualizan en las figuras 14, 15 y 16. La conductividad eléctrica, los cloruros y el sodio, todos ellos atribuibles a la geoquímica natural por influencia de las evaporitas del Mioceno, están en la Componente 1. Por otro lado, los nitratos y la oxidabilidad, parámetros asociables con la contaminación antrópica, aparecen como Componente 2.

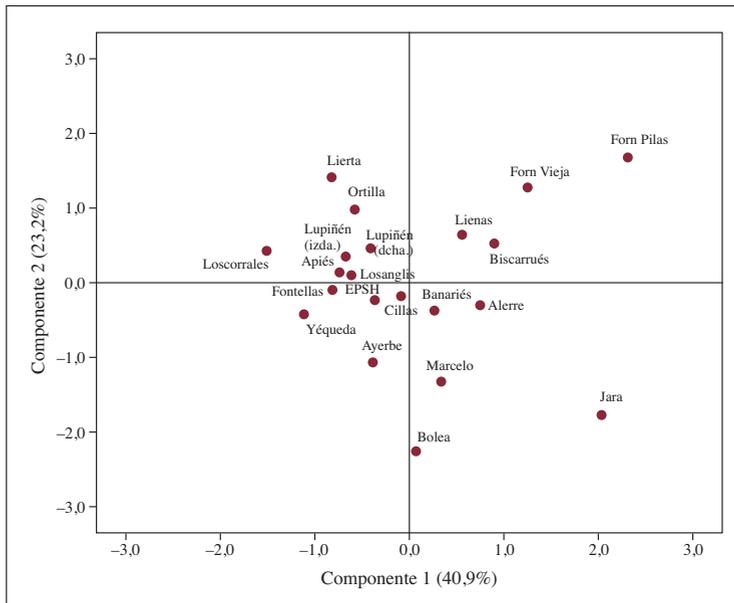
La aplicación de esta técnica a los conjuntos de abril y septiembre (figs. 15 y 16) también corrobora que el quimismo de las aguas subterráneas en



**Fig. 14.** Representación de los parámetros químicos sobre las dos componentes principales en análisis factorial.



**Fig. 15.** Representación de las muestras sobre las dos componentes principales en análisis factorial. Muestreo de abril de 2016.



**Fig. 16.** Representación de los parámetros químicos sobre las dos componentes principales en análisis factorial. Muestreo de septiembre de 2016.

estos acuíferos no experimenta variaciones considerables en periodos de tiempo cortos.

Los resultados de la aplicación de WATEQF, que también se presentan en GRACIA (2017), son similares a los obtenidos en otros estudios ya publicados como ZUFIAURRE y cols. (2016). Las aguas presentan una saturación o ligera sobresaturación en calcita, otra vez en coherencia con la geología y la causa de los conocidos problemas de incrustación calcárea en electrodomésticos que usan agua caliente.

## CONCLUSIONES

El artículo pone de manifiesto la presencia bastante general de la contaminación por nitratos en la zona occidental de la Hoya de Huesca que se ha mantenido a lo largo del año de estudio. Existen, sin embargo, interesantes excepciones que superan las declaraciones de zonas vulnerables por acuíferos y, desde luego, por municipios o comarcas, aunque sea lo más fácil a nivel administrativo.

Es evidente que el problema es antiguo y que no parece resolverse con las actuales medidas administrativas, por lo que habrá que convivir con el problema. La instalación de equipos de desnitrificación o el establecimiento de una red comarcal de abastecimientos de agua potable pueden paliar el problema.

Por último, sería conveniente definir una red de puntos de control del problema de los nitratos en las aguas subterráneas de la Hoya de Huesca, analizados con la adecuada frecuencia para evaluar la evolución del problema.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Ana Carmen Sauras que haya despertado nuestro interés por la presencia de nitratos en las aguas de la comarca. También la ayuda y la colaboración de José Antonio Manso y del resto del personal de los laboratorios de la Escuela Politécnica Superior de Huesca.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEMET (2001). *Guía resumida del clima en España 1971-2000*. INM. Madrid.
- BOSQUE, J. (2015). *Hidroquímica de aguas superficiales y subterráneas del Somontano de Huesca*. Trabajo fin de grado de Ciencias Ambientales. EPSH. Huesca.
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO (2008-2011). *Informe sobre la masa de agua subterránea de la Hoya de Huesca (09.55)*. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Gobierno de España. Madrid.
- CUCHÍ, J. A. (1998). Esquema general de las unidades hidrogeológicas del Alto Aragón. *Lucas Mallada*, 10: 87-105.
- 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. TIASA. Madrid.
- GIMENO, Y. (1996). *Impacto del uso de agroquímicos (nitratos y fitosanitarios) en agricultura de secano. Aplicación al acuífero detrítico de Apiés (Huesca)*. Proyecto fin de carrera de Ingeniería Técnica en Explotaciones Agropecuarias. EUPH. Huesca.
- GIMENO, Y., y J. A. CUCHÍ (1994). Contaminación por nitratos en el acuífero de Apiés (Huesca). *Actas de la Semana Tecnológica del Medio Ambiente*: 77-82. Zaragoza.
- GIMENO, Y., y J. A. CUCHÍ (1997). Contaminación por nitratos en el acuífero de Apiés (Huesca). *Geológica*, 5: 59-71.

- GRACIA, O. (2017). *Evolución del contenido en nitratos en aguas subterráneas de la Hoya de Huesca (marzo de 2016 – febrero de 2017)*. Proyecto fin de carrera de Ingeniería Química. Escuela de Ingeniería y Arquitectura. Zaragoza.
- IGUAL, N. (2014). *Contaminación por nitratos en acuíferos del somontano altoaragonés*. Trabajo fin de grado de Ciencias Ambientales. EPSH. Huesca.
- LARREY, O., y J. LASAOSA (1994). *Estudio de las características hidroquímicas de las aguas subterráneas en el somontano de Huesca*. Proyecto fin de carrera de Ingeniería Técnica Industrial (Química). EUPH. Huesca.
- LARREY, O., 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.
- SÁNCHEZ, J. A. (1988). *Los recursos hídricos de las sierras de Guara y sus somontanos*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 27). Huesca.
- TRABA, L. (2015). *Caracterización hidroquímica del acuífero de Huesca*. Trabajo fin de grado de Ciencias Ambientales. EPSH. Huesca.
- ZUFIAURRE, R., L. TRABA y J. A. CUCHÍ (2015). Caracterización hidroquímica de aguas en la Hoya de Huesca. *Lucas Mallada*, 17: 17-44.