



X Congreso Ibérico de Agroingeniería X Congresso Ibérico de Agroengenharia

Huesca, 3-6 septiembre 2019



Nitratos en aguas subterráneas de acuíferos del Somontano occidental de la Hoya de Huesca

R. Zufiaurre¹, J.A. Cuchi².

¹ Departamento de Química Analítica. Escuela Politécnica Superior de Huesca; zufi@unizar.es

² Área de Ingeniería Agroforestal. Escuela Politécnica Superior de Huesca; cuchi@unizar.es

Resumen: La presencia de elevados niveles de nitratos, derivados de actividades agropecuarias, en aguas subterráneas, es tema de preocupación por sus repercusiones sanitarias y ambientales. El problema es complejo y requiere estudios detallados. El presente trabajo se centra en el acuífero de Huesca, de modestas dimensiones, que se extiende desde el pie del Prepirineo y descarga al sur de la ciudad homónima. Se trata de un acuífero libre, de unos 80 km² de extensión, a poca profundidad de la superficie utilizada fundamentalmente para cebada y en menor medida, regadíos tradicionales y zonas urbanas. Volumen del acuífero y tiempos de residencia son también reducidos. El problema de la presencia de nitratos por encima de los 50 mg/l es conocido desde 1990, estimándose que proceden fundamentalmente del abonado del cereal de invierno. Estudios más recientes han puesto de manifiesto que los niveles de nitrato en el acuífero son mayores en la zona de secano que bajo la zona regada. La comunicación resume el actual estado de la cuestión sobre este problema.

Palabras clave: Contaminación difusa, zonas vulnerables, actividad agropecuaria, fertilización, Huesca.

1. Introducción

La presencia de elevados niveles de nitratos en aguas subterráneas es tema de preocupación en la Unión Europea, plasmada en la Directiva 91/676/CEE del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura y en http://ec.europa.eu/environment/water/water-nitrates/index_en.html.

El problema también existe en España, donde se asocia a zonas de cultivo en regadío. Ver por ejemplo [1,2]. Lo mismo sucede a nivel aragonés: [3,4,5,6,7]. Estudios prospectivos [8] sugieren que el problema se puede incrementar por las características de los acuíferos. En el Somontano de Huesca, varias localidades que se abastecen de manantiales presentan, en sus aguas de bebida, valores de nitrato superando los 50 mg l⁻¹. Los primeros datos se deben a análisis farmacéuticos, no publicados. Estudios posteriores [9,10,11] asociaron esos valores con aguas subterráneas de acuíferos bajo zonas agrarias en cultivos de cereal de invierno. En este sentido, la Orden de 19 de julio de 2004, del departamento de Agricultura y Alimentación declara zona vulnerable a los sectores oeste y centro del Acuífero de Apiés, englobando las parcelas de regadío de Alerre, Banastás, Chimillas, Igriés, Nueno, Huesca, Quicena y Tierz. Por Orden de 11 de Diciembre de 2008, del Consejero de Agricultura y Alimentación (BOA del 02/01/2009) se mantienen las parcelas de Alerre, Banariés y Huesca y se excluyen las de Banastás, Chimillas, Igriés, Nueno y Quicena del acuífero 090.055 (Hoya de Huesca). La Orden de 10 de septiembre de 2013 (BOA de 09 de octubre) mantienen como zona vulnerable las parcelas agrícolas de regadío y añade las de secano en los términos municipales y agregados de Alerre,

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
3 – 6 septiembre 2019, Huesca – España

Apiés, Banariés, Bellestar del Flumen, Cuarte, Huesca y Tabernas del Isuela. Además añade, entre otros los de Aniés, Banastás, Chimillas, Esquedas, La Sotonera; Lierta, Lupiñén-Ortilla, Ortilla, Plasencia del Monte y Quinzano. La información pública de Orden en 2018 (accedido en mayo de 2019) mantiene las masas de agua subterránea: 090.054 Saso de Bolea–Ayerbe y 090.055 Hoya de Huesca. Se mantienen como zona vulnerable las parcelas agrícolas, según el SIGPAC, de los términos municipales de Alerre, Banastás, Chimillas, Huesca, La Sotonera, Lupiñén-Ortilla. Se incluyen como zona vulnerable los términos municipales de Ayerbe y Loscorrales en la masa de agua 090.055 (Sasos de Bolea-Ayerbe). Esto obliga al cumplimiento del Código de Buenas Prácticas Agrarias, para la percepción de las ayudas agroambientales.

Desde la década de 1990, la Escuela Politécnica Superior de Huesca lleva realizando una serie de estudios, en parte trabajos fin de carrera de Ingeniería Técnica en Explotaciones Agropecuarias y de Graduado en Ciencias Ambientales, sobre la presencia en nitratos en las aguas subterráneas de esta zona para intentar definir el problema en el espacio y en el tiempo. El presente trabajo resume la información obtenida.

Características hidrogeológicas

La zona estudiada comprende una parte de las estribaciones meridionales del Prepirineo aragonés y las llanuras situadas a su pie, entre los ríos Gállego y Guatizalema. Son dos unidades bien diferenciadas topográfica y geológicamente. La primera, accidentada, está formada por materiales calizos del Cretácico Superior y Eoceno. En la segunda, mucho más llana, dominan areniscas y arcillas del Terciario final del valle del Ebro, con recubrimientos de sedimentos aluviales cuaternarios. Están separadas por una orla de mallos de conglomerados

Diversos acuíferos existen en ambas unidades. En el Prepirineo suelen ser de tipo kárstico. En el Somontano prepirenaico existen varios pequeños acuíferos de tipo detritico [12,13 y 14], que han permitido el desarrollo de algunas localidades en las inmediaciones de sus fuentes. Por sus reducidas dimensiones, han sido poco estudiados. En estos momentos, a nivel administrativo por parte de la CHE, las aguas subterráneas de la zona de estudio se han agrupado en dos unidades: 091.054 Saso de Bolea-Ayerbe y 091.055 Hoya de Huesca. Estas, especialmente la segunda engloban varias subunidades y quedan al margen algunas pequeñas unidades como el acuífero de Apiés o los situados en las terrazas del Gállego. Evidentemente, los límites administrativos, municipales o de otro tipo, no coinciden con los límites hidrogeológicos con los consiguientes problemas.

El acuífero 091.055 es un aluvial de tipo glacis-somontano formado por gravas, arenas, arcillas aluviales y terrazas cuaternarias, especialmente del río Isuela. Se le estima una superficie aproximada de 110 km². Tiene una notable heterogeneidad granulométrica, lateral y vertical, con potencias entre 12 y 15 m. El yacente de baja permeabilidad son depósitos lutíticos con intercalaciones de areniscas en geometría de paleocanales. La recarga del acuífero se realiza por infiltración de las precipitaciones, anualmente unos 14 hm³, perdidas de ríos y retornos de regadío 2 hm³. La descarga se realiza a través de manantiales 6,5 hm³, pozos (0,5 hm³) y hacia el río Isuela al sur de Huesca. (CHE, 2008-2011).

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
3 – 6 septiembre 2019, Huesca – España

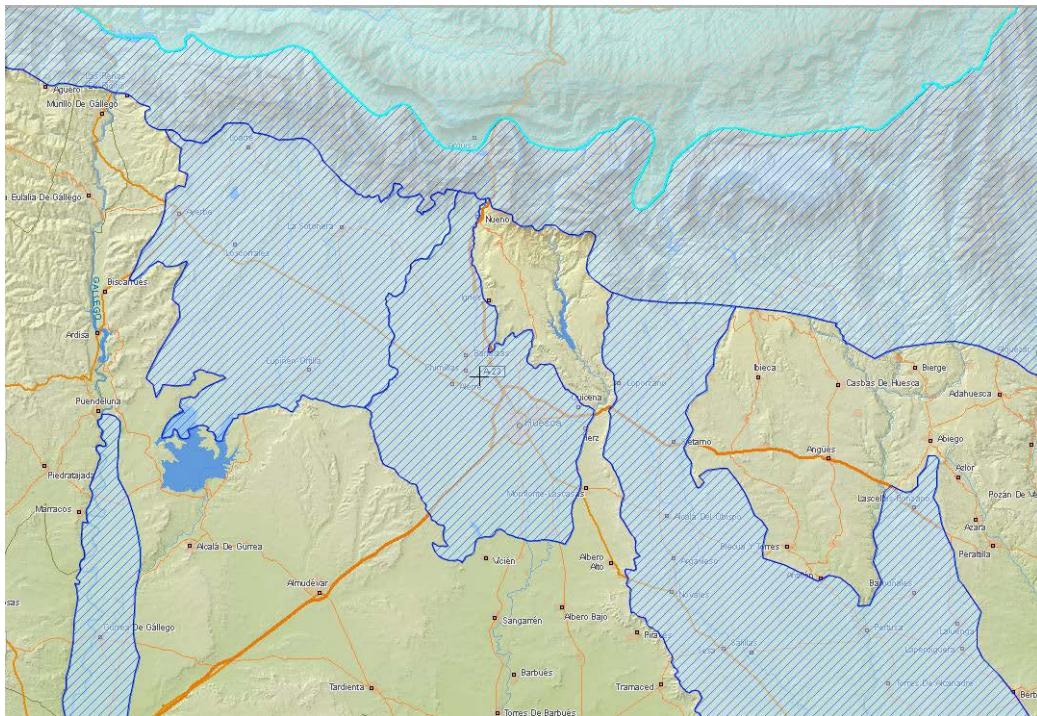


Figura 1. Acuíferos del Somontano occidental de la Hoya de Huesca según XX.

El acuífero 091.054, formado por diversos glaciares y alguna terraza fluvial tiene características muy similares al anterior. Su superficie es de 292 km² en las cuencas de los ríos Seco de Ayerbe, Astón, Riel, Seco de Bolea y Sotón, de los que se estima que pierden en la zona superior y recogen agua en la zona inferior, localizándose sistemas de drenaje abiertos, de edad desconocida en la zona de Guadasespe-Lupiñén. No hay datos sobre recarga anual, que se estima en unos 20 hm³. La explotación del agua subterránea es mínima, salvo para uso de boca, con interesantes ejemplos de recarga artificial en Plasencia del Monte y Lupiñén.

En ambos casos, es dominante el uso agrícola de la mayoría de la superficie de recarga. Es un secano fresco, en un 80% de cereal de secano, actualmente un tercio de trigo y el resto cebada. La superficie restante está ocupada por cultivos leñosos, de almendro en su mayoría. En consultas a agricultores del entorno de Huesca-Ayerbe, manifiestan que como abonado de fondo suelen utilizar 200 kg de 18-46-0 o 250 kg 300 kg /ha de 15:15:15 o similares. En cobertura, como más habitual, emplean urea del 46% a razón de 180-200 kg/ha. Hasta el presente, la ganadería intensiva era minoritaria y, por tanto, el aporte de purines era limitado, pero esta situación está cambiando.

2. Materiales y métodos

2.1. Muestreo

Para comprobar la relación entre usos del terreno y presencia de nitratos en aguas subterráneas se muestrearon 39 puntos de agua en marzo de 2014 en la cuenca del río Isuela (ver tabla 1). Se abarcaron algunos acuíferos del Prepirineo y los ya citados de Aragón y de la Hoya de Huesca. La evolución temporal del contenido se estudió en 21 puntos de muestreo en ambos acuíferos con una toma mensual de marzo de 2016 a febrero 2017 (tabla 2).

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
 3 – 6 septiembre 2019, Huesca – España

Tabla 1. Información acerca de los puntos de muestreo

Nº de muestra	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM			Fecha de muestreo	Localidad
		X	Y	Z		
1	Pozo EPSH	711013	4666082	460	17/03/2014	Huesca
2	Fuente en Cillas	710565	4671015	510	17/03/2014	Cillas
3	R. Isuela en Banastás	711083	4673264	530	17/03/2014	Banastás
4	Dren alberca Loreto	710520	4666985	465	18/03/2014	Huesca
5	Aceq. alberca Loreto	710437	4666960	465	18/03/2014	Huesca
6	Alberca Loreto	710521	4666931	465	18/03/2014	Huesca
7	Ibones de Yéqueda	711206	4673214	525	18/03/2014	Yéqueda
8	Pantano Arguis	711893	4686754	960	19/03/2014	Arguis
9	Manantial S. Clemente	711893	4686493	890	19/03/2014	Arguis
10	Fuente de San Miguel	713980	4669101	460	24/03/2014	Huesca
11	R. Isuela en San Miguel	713940	4669074	460	24/03/2014	Huesca
12	Fte Vieja de Fornillos	717047	4673973	640	24/03/2014	Fornillos
13	Fuente de Apiés	714327	4678122	681	24/03/2014	Apies
14	Fuente de Lienas	714850	4678484	669	24/03/2014	Lienas
15	Fte Huerto en Sabayés	712741	4680500	760	24/03/2014	Sabayés
16	Isuela en Nueno	711412	4682584	700	24/03/2014	Nueno
17	Fuente de la Ralleta	712109	4683929	750	24/03/2014	Nueno
18	Pozo Baños Nueno	712291	4685412	820	25/03/2014	Nueno
19	Fuente de la Cantera	712173	4684586	840	25/03/2014	Nueno
20	Fonturbia, Nueno	710829	4683013	770	25/03/2014	Nueno
21	Fuente Vieja Nueno	711130	4682620	730	25/03/2014	Nueno
22	Pozo Arascués	711089	4680627	650	25/03/2014	Arascués
23	Pozo Huerta molino	711221	4681589	680	25/03/2014	Nueno
24	Depuradora Huesca	715633	4666197	435	26/03/2014	Huesca
25	Pozo de R y C.	712312	4671430	505	26/03/2014	Huesca
26	Fuente Marcelo	712151	4671277	500	26/03/2014	Huesca
27	Fuente Jara	712872	4671182	490	26/03/2014	Huesca
28	Bco. Manjarrés Jara	712873	4671182	490	26/03/2014	Huesca
29	Las Paulesas	711046	4679636	630	26/03/2014	Igriés
30	Ibón de Cuarte	709843	4666908	470	26/03/2014	Cuarte
31	Manantial Banariés	709142	4667945	470	26/03/2014	Banariés
32	Fuente Huerrios	710202	4669151	490	26/03/2014	Huerrios
33	Pozo Atades	710878	4670891	505	28/03/2014	Huesca
34	Fuente Alerre	709589	4670958	500	28/03/2014	Alerre
35	Pozo A. B.	710549	4672984	530	28/03/2014	Banastás
36	Pozo A. S.	712385	4670600	495	31/03/2014	Huesca
37	Pozo T. R.	712161	4670866	500	31/03/2014	Huesca
38	Pozo P. S.	712970	4669808	485	31/03/2014	Huesca
39	Fuente Vieja Lierta	706898	4680163	670	31/03/2014	Lierta

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
3 – 6 septiembre 2019, Huesca – España

Tabla 2. Puntos de agua subterránea muestreados en acuíferos de la Hoya de Huesca y Saso Bolea-Ayerbe.

Nº	Punto de muestreo	Nº	Punto de muestreo
1	Pozo EPS Huesca (H)	12	Fte. 3 Caños (Ayerbe)(BA)
2	Manantial Banariés (H)	13	Fuente Vieja (Bolea) (BA)
3	Fuente de Cillas (H)	14	Fuente de Lierta (H)
4	Fuente Alerre (H)	15	Ibones de Yéqueda (H)
5	Fte Lupiñén (Dcha) (BA)	16	Fuente de Marcelo (H)
6	Fte Lupiñén (Izqda) (BA)	17	Fuente de Jara (H)
7	Fuente Ortilla (BA)	18	Fuente de Apiés (A)
8	Lavadero Os Corrales (BA)	19	Fuente de Lienas (A)
9	Fuente de Fontellas (BA)	20	Fuente Pilas (Fornillos) (A)
10	Fuente de Los Anglis (BA)	21	Fte Vieja (Fornillos) (A)
11	Fuente de Biscarrués (BA)		

2.2. Metodología analítica

El contenido en nitratos de las muestras de agua se realizó por espectrofotometría VIS-UV a 220 y 275 nm, tras acidificación con HCl, dado que las aguas objeto de análisis tienen, en general, un bajo contenido en materia orgánica.

3. Resultados y discusión

Los resultados del estudio espacial de la cuenca del río Isuela se resumen en la figura 2. Puede comprobarse como los niveles son bajos en la cuenca alta del río, sin uso agrario, tanto para aguas superficiales como subterráneas.

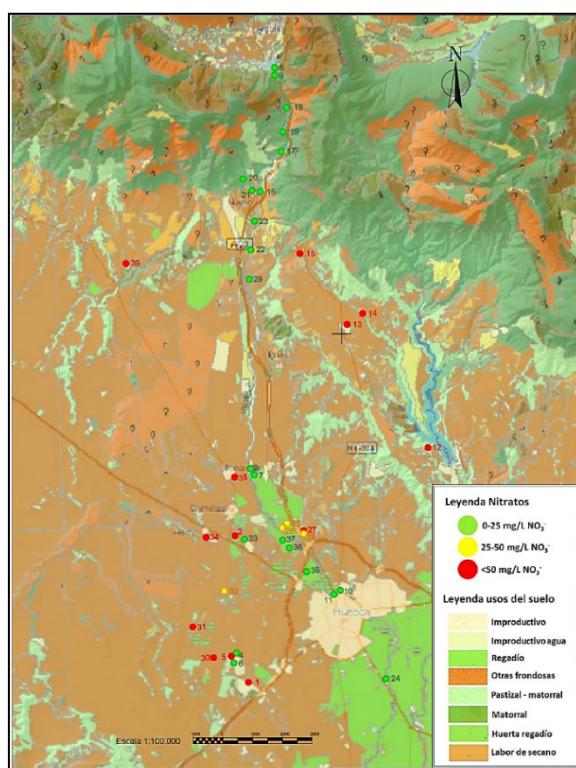


Figura 2. Concentración de ion nitrato y uso del territorio en la cuenca del río Isuela. Puntos de la tabla 1.

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
 3 – 6 septiembre 2019, Huesca – España

En la zona del Somontano, sin embargo, los niveles en aguas subterráneas son mucho más altos, especialmente en las zonas de cultivo de secano. En las zonas regadas con agua del Isuela a través del sistema de riegos del pantano de Arguis, los niveles son menores. Es difícil, con la información actual, saber si es un efecto de dilución por el agua de riego, baja en nitratos, o por el uso preferentemente periurbano del entorno cercano. Posiblemente sea un efecto conjunto.

La evolución temporal, a lo largo de un año, (figura 3) muestra una cierta estabilidad, aunque en algunos puntos se observa un efecto, con retraso, del abonado. Algunas evoluciones necesitan un estudio más detallado.

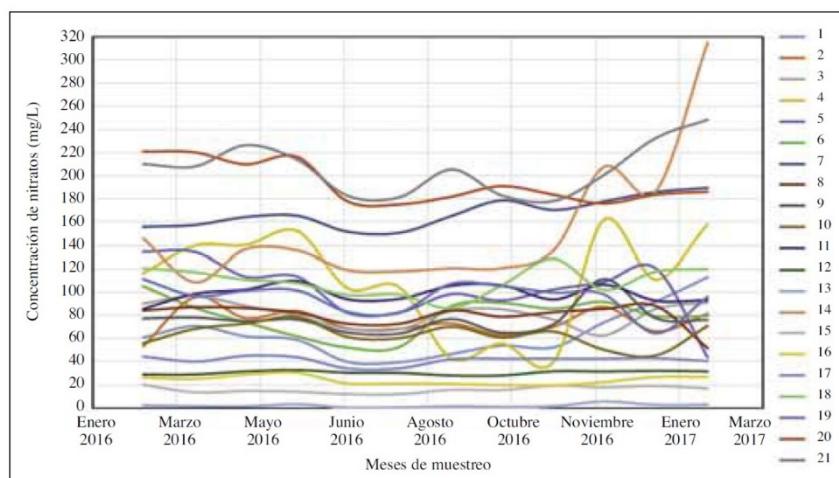


Figura 3. Evolución de nitratos en puntos de agua seleccionados (tabla 2) de acuíferos del Somontano occidental de la Hoya de Huesca.

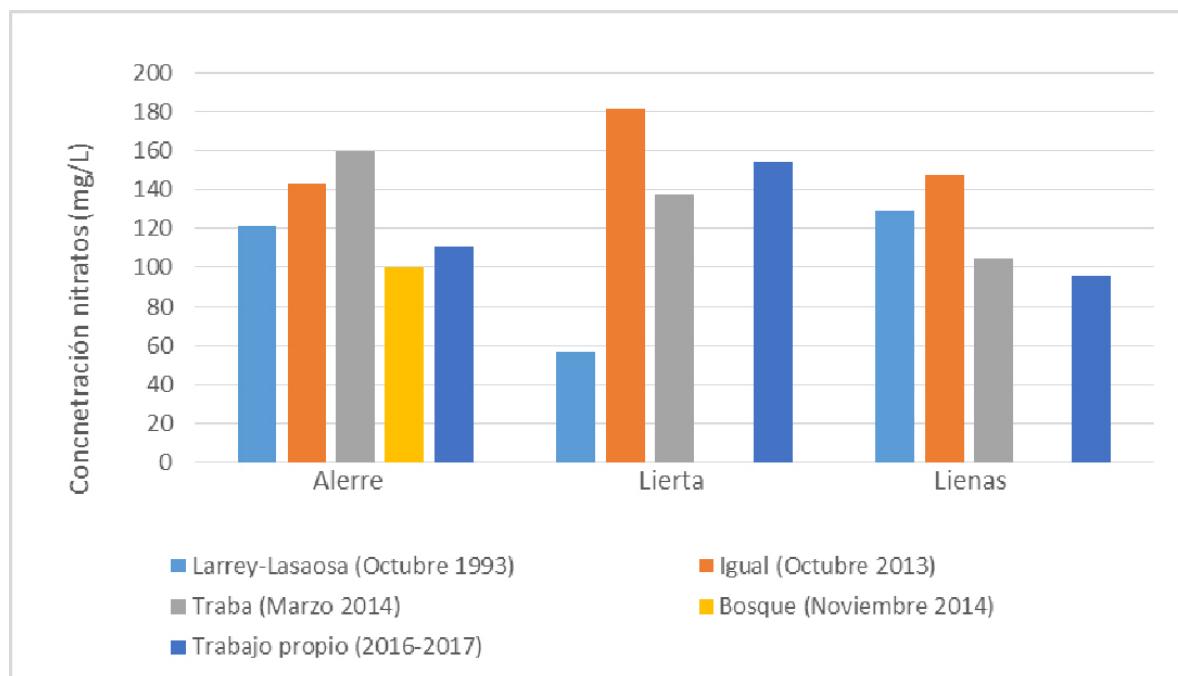


Figura 4. Evolución histórica de la concentración de nitratos en aguas subterráneas del Somontano occidental de la Hoya de Huesca.

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
3 – 6 septiembre 2019, Huesca – España

Se ha realizado una comparativa de los datos de tres puntos de agua que se han analizado en diversos trabajos (Figura 4). Se observa que, en general se mantienen los niveles elevados. No es fácil definir tendencias, a efectos de evaluar la aplicación del Código de Buenas Prácticas Agrarias.

4. Conclusiones

Los niveles de ion nitrato, en aguas superficiales y subterráneas en la cuenca alta del río Isuela, que recargan en zonas de uso forestal, son bajos, del orden de 5 mg/l.

Por el contrario, numerosos puntos de agua de los Somontanos, que recargan en zonas de agricultura de secano superan los 50 mg/l.

Estos valores se mantienen desde hace algunas décadas y se pueden relacionar con el abonado agrícola del cereal de invierno.

Se observa que los niveles en puntos de agua de la zona regada por el embalse de Arguis, son muchos más bajos. Puede ser un efecto de dilución o de menor abonado.

Se ha comprobado que los valores de nitratos se mantienen en un ciclo anual. En algunos casos parece observarse un incremento en la concentración de estos relacionada, con cierto desfase, con el abonado.

Es complicada la relación entre las unidades administrativas (términos municipales, parcelas PAC, etc) y las unidades hidrogeológicas.

5. Agradecimientos

J. A. Manso, O. Larrey, J.C. Lasaosa, N. Igual, L. Traba, H. Millán, J. Bosque, O. Gracia.

Referencias

1. Fernández Ruiz, L. F. (2007). Los nitratos y las aguas subterráneas en España. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15(3), 257-265.
2. López-Geta, J. A., López Vera, F. (2010). Estado del conocimiento de las aguas subterráneas en España. *Boletín geológico y minero*, 117(1), 89-114.
3. Rebolledo, B., Gil, A., Flotats, X., Sánchez, J. Á. (2016). Assessment of groundwater vulnerability to nitrates from agricultural sources using a GIS-compatible logic multicriteria model. *Journal of Environmental management*, 171, 70-80.
4. García-Garizábal, I., Causapé, J., Abrahao, R. (2012). Nitrate contamination and its relationship with flood irrigation management. *Journal of hydrology*, 442, 15-22.
5. Albiac, J., Playán, E., & Martínez, Y. (2007). Instruments for water quantity and quality management in the agriculture of Aragon. *Water Resources Development*, 23(1), 147-164.
6. Cavero, J., Beltrán, A., Aragüés, R. (2003). Nitrate exported in drainage waters of two sprinkler-irrigated watersheds. *Journal of Environmental quality*, 32(3), 916-926.
7. R. Andrés, J.A. Cuchí (2014). Salt and nitrate exports from the sprinkler irrigated Malfarás Creek Watershed (Ebro River Valley, Spain) during 2010. *Environmental Earth Sciences* 72 (7):2667-2682.
8. R. Andrés, J.A. Cuchí (2014). The use of nitrogen in a sprinkler-irrigated district in Monegros (Northeast Spain). *Agricultural Water Management* 144:120-133.
9. Rebolledo, B., Gil, A., Flotats, X., & Sánchez, J. Á. (2016). Assessment of groundwater vulnerability to nitrates from agricultural sources using a GIS-compatible logic multicriteria model. *Journal of Environmental management*, 171, 70-80.
10. Gimeno, Y. Cuchi J. A. Propuesta de gestión del agua del acuífero de Apiés. (Huesca). 1995. Geórgica (4): 363-369.
11. Y. Gimeno y J.A. Cuchi. 1995. Propuesta de gestión del agua del acuífero de Apiés. (Huesca). Geórgica (4): 363-369.
12. Larrey, O., Lasaosa, J.C., Díaz, R. C., J.A. Cuchi 1996. Niveles de ion nitrato en aguas subterráneas de la Hoya de Huesca. *Kalium*, (5): 117-127.

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
3 – 6 septiembre 2019, Huesca – España

13. Sánchez, J. A. (1988). Los recursos hídricos de las sierras de Guara y sus somontanos. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 27). Huesca.
14. Garrido, E. A., Azcón, A. (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.
15. J.A. Cuchí, J.A. 1998. Esquema general de las unidades hidrogeológicas en el Alto Aragón. *Lucas Mallada*, (10): 87-105.
16. J.A. Cuchí, J.A. Manso, F. Pérez. 1993. Algunas características de la calidad del agua de lluvia en la Escuela Universitaria Politécnica de Huesca. *Kalium*, (2): 61-71.
17. J. Buera, J.A. Cuchí, 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.
18. M. Subías, J.A. Cuchí, J.A. Manso. 2002. Hidroquímica de la cuenca del río Vero (Huesca). Somontano, (7): 33-45.
19. Cuchí, J.A. 2004. La Comisión de riegos del Sindicato de Riegos del Pantano de Arguis: 1933-1938. Anales Fundación Joaquín Costa. 21: 31-45.
20. Cuchí, J.A. 2005. Características geoquímicas de las aguas del Pirineo aragonés. Anales de la Real Academia de Medicina de Zaragoza. Vol. LXXXVI: 301-327.
21. Cuchí, J.A., Montes, L., Justes, Lafragüeta, I. 2005. Roca y agua. El condicionamiento del entorno y el desarrollo histórico de la ciudad de Huesca. *Saldvie* 5, 159-175.
22. J.A. Cuchí. 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.
23. J.A. Cuchí, J.L Villarroel, C. Garcés, S. Fábregas, R. Hurtado, J. Bernués. 2007. La localización de la Mina de Bonés. Una obra hidráulica inacabada en Huesca del siglo XVII. *Argensola*. 116. 171-185.
24. J.A. Cuchí. 2007. El sistema de riegos Mondod-Rosel (Huesca, España). Anales de la Fundación Joaquín Costa. 24. 47-75.
25. J.A. Cuchí. 2008. Los sistemas de riego del río Riel (Provincia de Huesca). Anales Fundación Joaquín Costa, 25: 23-42.
26. J.A. Cuchí y C. Garcés. 2008 Aportaciones a la evolución del sistema de riegos del Isuela en la Ciudad de Huesca. Anales de la Fundación Joaquín Costa, 25: 43-58.
27. C. Garcés, J.A. Cuchí. 2008. Historia de la acequia Mayor de Huesca. (Siglos XII al XVII) De una orilla a otra del Isuela. Anales de la Fundación Joaquín Costa, 25: 59-100.
28. Monaj, D., Villarroel, J.L., Manso, J.A., Cuchí, J.A. 2014. Reacciones agua-roca en la cuenca alta de los ríos Isuela y Flumen (Huesca). *Lucas Mallada* 16: 169-197.
29. Elpuente, R., Cuchí, J.A., Villarroel, J.L., Manso, J.A. (2016). Interacción agua de lluvia-roca en calizas del valle del Alto Isuela (Huesca). *Lucas Mallada* 18: 147-177.
30. Manso, J.A., Lanuza, J., Gonzalo, G., Garcés, J.M., Jiménez, A., López, E., Arranz, J., Villarroel, J.L., Cuchi, J.A. (2016). Nota sobre algunas características químicas del agua de lluvia y de la nieve en Huesca. *Lucas Mallada* 18: 407-423.
31. R. Zufiaurre, O. Gracia, J.A. Cuchí (2017). Evolución de nitratos en aguas subterránea de la Hoya de Huesca (marzo 2016-febrero 2017). *Lucas Mallada* 19: 185-207.
32. Y. Gimeno, J.A. Cuchí. 1994. Contaminación por nitratos en el acuífero de Apiés (Huesca) Semana Tecnológica del Medio Ambiente 94. Zaragoza. 77-82.
33. Ballester, C., Cuchí, J.A., Andrés, R. 2010. Resultados de un primer balance de agua, sales y nitrógeno (2003) en la C.R. de Lasesa. (Riegos del Alto Aragón, Huesca). XXVIII Congreso Nacional de riegos. Junio. León.
34. 10.59. Andrés, R. Cuchí, J.A. 2010. Balance de aguas, sales y nitrógeno en 2008-2009. Cuenca de Malfaras (C.R. Lasesa, Riegos del Alto Aragón, Huesca). XXVIII Congreso Nacional de riegos. Junio. León.
35. Causapé, J., Quílez, D., Aragüés, R. (2006). Irrigation efficiency and quality of irrigation return flows in the Ebro River Basin: An overview. *Environmental monitoring and assessment*, 117(1-3), 451-461.
36. AEMET (2001). Guía resumida del clima en España 1971-2000. INM. Madrid.

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
3 – 6 septiembre 2019, Huesca – España

37. Bosque, J. (2015). Hidroquímica de aguas superficiales y subterráneas del Somontano de Huesca. Trabajo fin de grado de Ciencias Ambientales. EPSH. Huesca.
38. 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.
39. Cuchí, J. A. (1998). Esquema general de las unidades hidrogeológicas del Alto Aragón. Lucas Mallada, 10: 87-105.
40. 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.
41. 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.
42. Gimeno, Y., y J. A. Cuchí (1997). Contaminación por nitratos en el acuífero de Apiés (Huesca). Geórgica, 5: 59-71. 206
43. Raquel Zufiaurre y cols. Lucas Mallada-19 Imprenta 15/05/18 16:41 Página 206
44. 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.
45. Igual, N. (2014). Contaminación por nitratos en acuíferos del somontano altoaragonés. Trabajo fin de grado de Ciencias Ambientales. EPSH. Huesca.
46. 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.
47. 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.
48. Traba, L. (2015). Caracterización hidroquímica del acuífero de Huesca. Trabajo fin de grado de Ciencias Ambientales. EPSH. Huesca.
49. Zufiaurre, R., L. Traba y J. A. Cuchí (2015). Caracterización hidroquímica de aguas en la Hoya de Huesca. Lucas Mallada, 17: 17-4