

Estudio cualitativo de la respuesta, de mayo 2002 a abril 2003, del manantial kárstico de Fuenmayor (San Julián de Banzo, Huesca) a la lluvia y a la temperatura atmosférica

J.L. Villarroel^(1,3) y J.A. Cuchi^(2,3)

(1) Dpto. de Informática e Ingeniería de Sistemas. Centro Politécnico Superior. c/ María de Molina, 3. 50071 Zaragoza.
Email: jlvilla@unizar.es

(2) Dpto. de Agricultura y Economía Agraria. E. Politécnica Superior de Huesca. C^a. Cuarte s/n. 22071 Huesca.
Email: cuchi@unizar.es

(3) Grupo de TecnoEspeleología. Universidad de Zaragoza. <http://webdiis.unizar.es/gte/>

RESUMEN

El manantial de Fuenmayor se localiza en San Julián de Banzo, Huesca. Drena un pequeño acuífero kárstico situado en el Prepirineo. En el año 2000 se instaló una estación hidrológica que monitoriza lluvia, caudal, temperaturas de aire y agua, así como la conductividad eléctrica del agua. A partir de los datos obtenidos, entre mayo de 2002 y abril de 2003, se ha estudiado cualitativamente la dinámica de las señales de respuesta (caudal, temperatura, conductividad eléctrica) en relación con las entradas (lluvia y temperatura ambiente). La relación lluvia-caudal presenta tres clases de comportamiento. El más habitual es un típico hidrograma con un retraso de 7 horas desde el comienzo de la lluvia. La lluvia tiene un doble efecto sobre la conductividad eléctrica. Durante unas pocas horas, después del inicio del incremento del caudal, la conductividad eléctrica decae del orden de un 10% del valor inicial. Tras esta fase, el parámetro asciende aproximadamente un 4,5% por encima de los valores previos a la lluvia, para luego volver a descender a los valores iniciales. Este efecto es largo y puede detectarse varias semanas después de la lluvia. La respuesta de la temperatura del manantial depende de las dos entradas estudiadas en el sistema. Variaciones de la temperatura ambiente llevan a cambios directos en la temperatura del agua, con un retraso de 3 horas. El intervalo anual de variación de la temperatura del agua, del orden de 3 grados Celsius, es menor que el de la temperatura atmosférica. Por otro lado, sólo los picos de caudal, relacionados con fuertes lluvias, producen suaves descensos en la temperatura del agua.

Palabras clave: Huesca, karst, Prepirineo, respuesta de manantiales

Qualitative study of the response, from May 2002 to April 2003, of the karstic spring of Fuenmayor (San Julián de Banzo, Huesca) to rainfall and atmospheric temperature

ABSTRACT

The spring of Fuenmayor is located at San Julian de Banzo, Huesca. It drains a small karstic aquifer in the Sierras Exteriores range of the south central Pyrenees. A hydrologic monitoring station was installed in the year 2000, measuring rainfall, discharge, water and atmospheric temperatures and the electrical conductivity of the water. From the obtained data, between May 2002 to April 2003, the dynamic of the response signals (discharge, temperature, electrical conductivity) has been qualitatively studied in relation of the input signals (rainfall, atmospheric temperature). The relationship rainfall-discharge shows three classes of behaviour. The normal one is a typical hydrograph, with a delay of 7 hours from the start of the rainfall. The rainfall has a double effect on the electrical conductivity. During a few hours, after the start of the increase of the discharge, the electrical conductivity drops about 10% of the initial value. After that phase, the parameter increases about 4.5% above the pre rain values and then returns to the initial values. That effect is lengthy and may be detected several weeks after the rainfall. The temperature response of the spring depends on the two studied inputs of the system. The variation of the atmospheric temperature leads to a direct change of the water temperature, with a delay of 3 hours. The annual interval of variation of the water temperature, approximately 2 Celsius degrees, is lesser than the atmospheric one. In other hand, the most important peaks of discharge, related with heavy rains, only yields mild drops of the water temperature.

Key words: Huesca, karst, Prepirineo, spring response

Introducción

El manantial de Fuenmayor (coordenadas UTM: 30T

719.100, 4.678.775, altitud: 710 m s.n.m., ya citado por Mallada (1878), se encuentra al pie de las sierras exteriores prepirenaicas (Fig. 1), en la localidad de

San Julián de Banzo (Huesca). Desde finales del siglo XIX, el Ayuntamiento de Huesca ha utilizado sus aguas, acusando los problemas derivados de los bajos caudales de estiaje y la pérdida del exceso de agua durante las temporadas de lluvias. En adición a otras alternativas, esto llevó a la realización de diversos estudios. Lasierra (1955) estimó un primer balance hidrológico y propuso la construcción de una galería de captación. En 1972 se reconoció explícitamente la naturaleza kárstica del manantial, con inicio de afloros sistemáticos, correlación con la lluvia y análisis de la curva de agotamiento del manantial (Pascual, 1974; Trilla y Pascual, 1974). En 1984, el Ayuntamiento de Huesca realiza un sondeo de 60 m, a percusión, en la "Gorga Mora", situada en la cabecera del manantial que no consiguió los resultados apetecidos.

En 1990, la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) instaló dos vertederos de aforo en la tubería de Huesca y en el aliviadero del manantial. En las mismas fechas, el Servicio Geológico del Ministerio de Obras Públicas realiza, a rotación directa, un sondeo de investigación en las inmediaciones de Fuenmayor, donde se testificaron 237 metros. Posteriormente ha sido acondicionado como piezómetro (con número de registro 2911-7-0013), tras taponarlo a 79 metros. Aproximadamente 1 km al sureste, junto a las instalaciones de la Pirotécnica Oscense, se perforó, por percusión, un pozo experimental (número 2911-7-0012) que alcanzó los 300 metros. Capta un segundo acuífero que drena por el manantial de los Dos Caños (Octavio de Toledo *et al.*, 1995).

Los análisis químicos del agua del manantial, realizados por Larrey y Lasaosa (1992), sugirieron una cierta estabilidad química. En 1992 se realizó un primer seguimiento diario de la evolución de caudal, temperatura del agua y algunos parámetros químicos que confirmaron este aspecto, a pesar de la clara respuesta del caudal frente a las precipitaciones (Cuchí *et al.*, 2002). Posteriormente, en 2000, aprovechando los vertederos instalados por la CHE, se instrumentó el manantial para una monitorización en continuo de lluvia, caudal, conductividad eléctrica y temperatura del agua. Los resultados iniciales, incluida una función de transferencia preliminar del sistema kárstico, se presentaron en Villarroel y Cuchí (2002). El presente trabajo realiza un primer análisis cualitativo de los datos obtenidos en un período anual, de mayo de 2002 a abril de 2003.

Marco geológico

San Julián de Banzo se encuentra en un glacis del arranque del Somontano oscense, dominado por el

escarpe del Prepirineo, el cual está formado por los conglomerados de Salto de Roldán (1121 m s.n.m.) y San Martín de la Baldonsera (1431 m s.n.m.), y las calizas de Serreta de Vallés (1128 m s.n.m.) y Matapaños (1532 m s.n.m.). La figura 1 presenta un esquema de la localización del manantial.

La zona este y noreste está ocupada por calcarenitas del Cretácico superior, arcillas rojas y calizas lacustres (facies Garum) y calizas del Eoceno Medio (Formación Guara). La zona noroeste está formada por el edificio conglomerático de San Martín de Baldonsera. Aunque hidrológicamente de baja permeabilidad, se especula su participación a partir de pérdidas del barranco homónimo y sus afluentes. El límite meridional está formado por areniscas y arcillas del Mioceno (Formación Sariñena), recubierta por las terrazas y glacis.

Estructuralmente se enmarca en la inflexión del cabalgamiento frontal surpirenaico, entre San Julián de Banzo y La Almunia del Romeral. Está formado por una serie de pliegues de eje este-oeste. Millán (1996) señaló los retrocabalgamientos, de contactos complejos, de San Julián y Cuello Bail (Figura 2). Desde un punto de vista regional, la geomorfología ha sido estudiada por Rodríguez Vidal (1986) y la hidrogeología por Sánchez (1988).

Hidrología superficial e hidrogeología

La zona está drenada superficialmente por los cauces de los barrancos de San Martín y Molón. El primero, que drena un acuífero calizo en su zona superior (cascada de San Martín), sólo lleva agua en su cauce inferior durante época de fuertes lluvias, existiendo pérdidas al abandonar la zona de conglomerados. El segundo, que alcanza superficialmente el polje de Ciano, sólo lleva agua a partir de Fuenmayor, aunque ocasionalmente recoge agua de una zona de arcillas y areniscas situada inmediatamente aguas arriba del manantial.

De forma similar a otros acuíferos del Prepirineo altoaragonés, poco se conoce de la geometría del de Fuenmayor. Se estima que se alberga en la caliza de la Fm. Guara, en la escama situada entre los retrocabalgamientos de San Julián y superior de cuello Bail. Como muestra la figura 2, se trata de una estructura sinclinal encajada entre los retrocabalgamientos de San Julián y superior de cuello Bail. Superficialmente, por el este y el sur, queda limitado por las areniscas del Mioceno en San Julián y el límite oriental de los conglomerados de San Martín. Por el norte, pueden cerrar por la base del cabalgamiento o, más probablemente, por el afloramiento del Garumniense

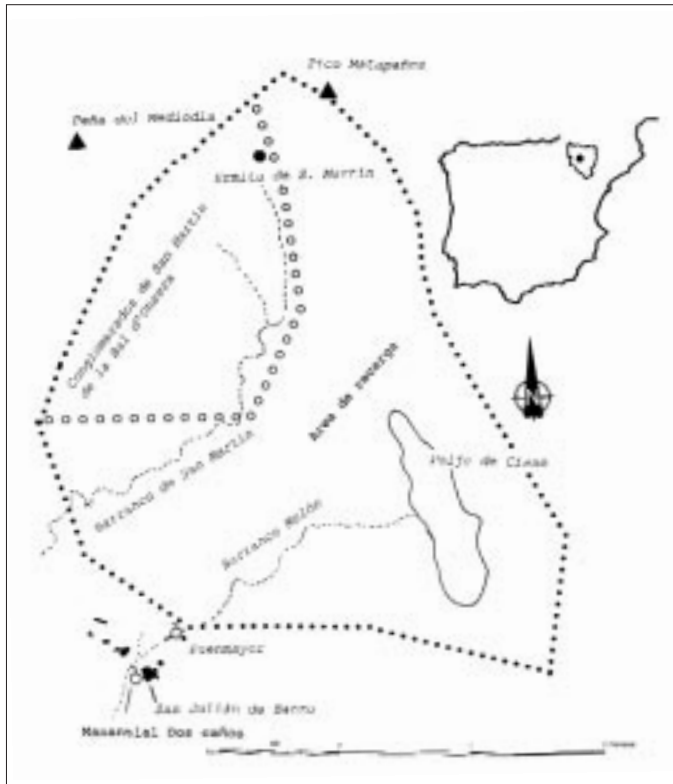


Fig. 1. Ubicación de la zona de Fuenmayor (Huesca)
 Fig. 1. Location of the Fuenmayor area (Huesca)

en Cuello Bail. Hacia el este, donde esta escama alcanza el Guatizalema, el límite hidrológico puede trazarse, de forma tentativa y con las normales reservas, por la divisoria superficial de aguas, en la pista de Santa Eulalia la Mayor hacia Sescún. Por el sur, el Keuper separa esta unidad hidrológica de otra escama de caliza triásica, delimitada por el barranco del Lobo y el cerro La Cuasta. Esta escama meridional alberga a un acuífero más salino, que drena en la cercana Fuente de los Dos Caños.

Por la complejidad de la estructura geológica, en Fuenmayor, como en otros manantiales kársticos del Prepirineo aragonés sólo se puede aproximar el área de recarga de forma indirecta. Trilla y Pascual (1974) la estimaron en 15 km², incluidos 5 km² de conglomerados de San Martín de Baldonsera. Cuchi *et al.* (2002) estimaron que la superficie total del acuífero, incluidos los conglomerados de la Baldonsera, no supera los 10 km². Villarroel y Cuchi (2002), a partir de un balance simplificado, realizado con datos de la estación de monitorización, obtienen una superficie de recarga de 4,65 km².

Se desconoce cuál es la unidad impermeable de base. Pinilla (1996) sugiere las arcillas del Keuper. También podrían actuar como tales las arcillas del Garum o, incluso, alguna de las intercalaciones arcillosas del interior de la Fm. Guara. El manantial surge

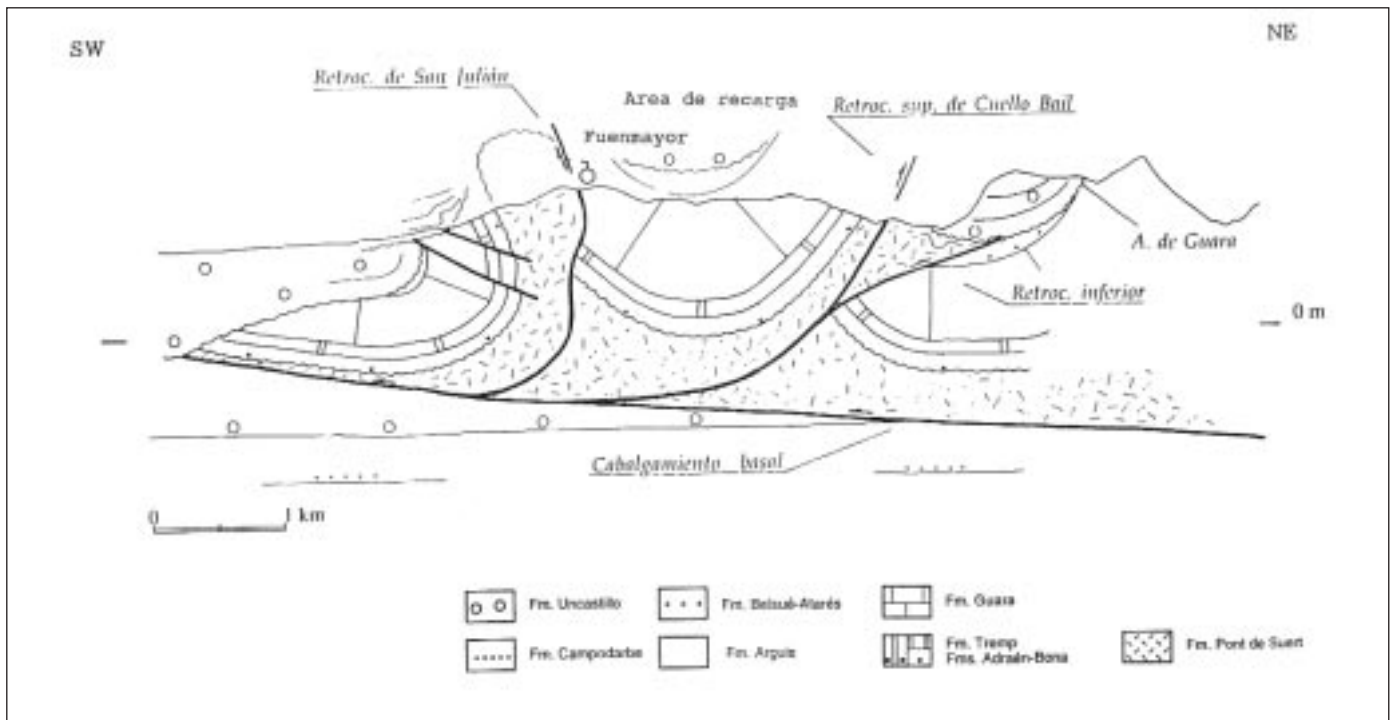


Fig. 2. Estructura geológica de la zona de Fuenmayor, según Millán (1986)
 Fig. 2. Geological structure of Fuenmayor area, after Millán (1986)

en el contacto entre calizas y areniscas. Los datos de un sondeo del Servicio Geológico de Obras Públicas sugieren un cabalgamiento de cierta complejidad (Octavio de Toledo *et al.*, 1995).

Características de la estación hidrológica

Para estudiar en detalle la respuesta del manantial a las precipitaciones, los autores del trabajo diseñaron y mantienen una estación hidrológica instalada en el manantial, que ha experimentado varias remodelaciones. Consta de un pluviógrafo Young 52202, dos sondas PT 100 para temperaturas ambiente y de agua, una sonda de conductividad Global Water WQ301 y dos sondas de presión PDCR 130/D como medidores de nivel de agua en cada uno de los vertederos. Los datos se almacenan en un datalogger Campbell CR10X-2M, con descarga a un PC portátil por la línea serie RS232 mediante el software PC208W. La instalación se alimenta mediante baterías de 12 voltios. Detalles de las características actuales de la estación se encuentran en Monaj (2003).

Resultados de la campaña 2002/2003

Se han registrado datos durante un período anual, entre los meses de mayo de 2002 a abril de 2003. Las figuras 3 a 5 muestran, de forma gráfica y para el período de estudio, la evolución del caudal del manantial, conductividad eléctrica y temperatura del agua frente a las precipitaciones de acuerdo a las muestras recogidas por la estación instalada en el manantial. Las precipitaciones se representan mediante la lluvia acumulada o integral de la intensidad instantánea de lluvia. Se ha elegido esta representación, ya que permite visualizar, de forma sencilla, el instante en el que se produce la precipitación (aparición de un escalón), discriminar la existencia de varias lluvias en un día y mejorar la apreciación de las que se producen en días consecutivos. También ofrece información sobre el volumen de precipitación (altura del escalón) y la intensidad de la misma (pendiente del escalón), así como obtener directamente el volumen total de precipitación en el período de trabajo.

Durante el período estudiado, el caudal ha variado en un rango entre 30 y 1500 litros por segundo. La figura 3, con la escala temporal en días julianos, muestra el estiaje durante el verano, donde las precipitaciones no tienen prácticamente efecto sobre el flujo. Las lluvias de otoño e invierno tienen un efecto mucho más marcado, especialmente las precipitaciones de febrero de 2004 (día 432 y siguientes).

La conductividad del agua de Fuenmayor, (figura 4), presenta una cierta estabilidad, en torno a los 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a 25°C. Las variaciones se relacionan con precipitaciones concretas, que se analizan en un apartado posterior, así como periódicas caídas en la medi-

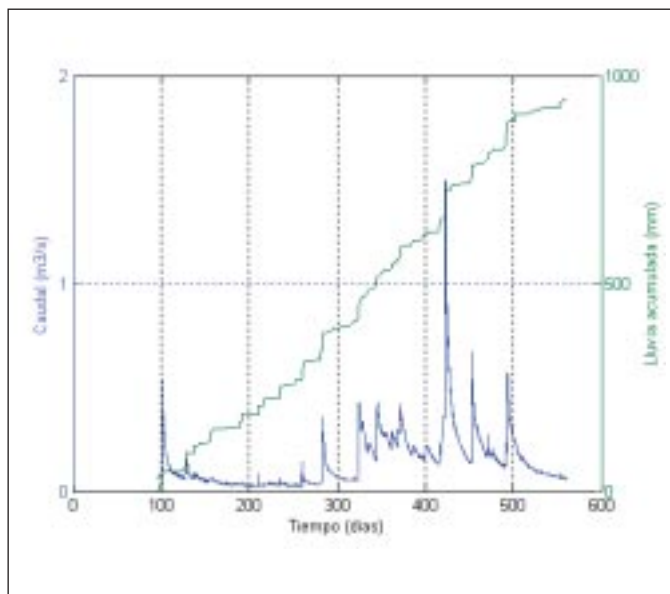


Fig. 3. Evolución del caudal en función de la lluvia entre mayo 2002 a abril 2003 en Fuenmayor (Huesca)

Fig. 3. Discharge evolution related to rainfall from May 2002 to April 2003 at Fuenmayor spring (Huesca)

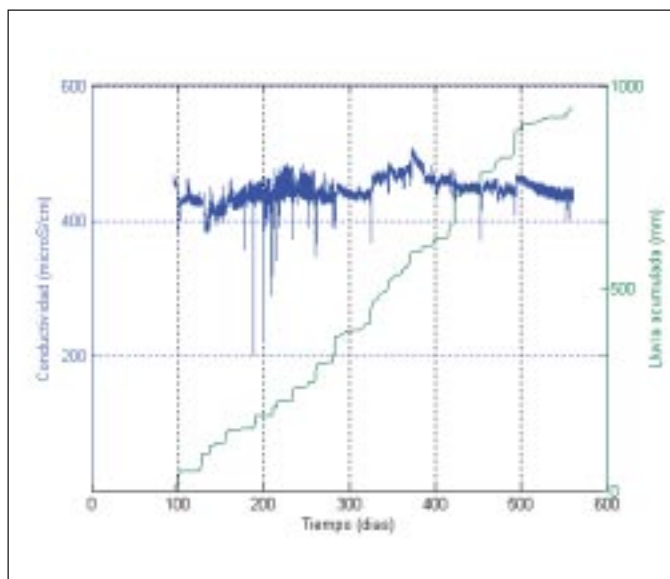


Fig. 4. Evolución de la conductividad eléctrica del agua en función de la lluvia entre mayo 2002 a abril 2003 en Fuenmayor (Huesca)

Fig. 4. Evolution of the electrical conductivity of the water related to rainfall from May 2002 to April 2003 at Fuenmayor spring (Huesca)

ción durante el verano. Estas últimas se asocian con la derivación periódica y total del caudal, de forma puntual, para riego de los huertos cercanos. Esto lleva a que el sensor quede total o parcialmente en seco, dando medidas erróneas.

La temperatura del agua presenta una evolución aparentemente independiente de la precipitación como muestra la figura 5. La temperatura del agua está comprendida entre 11 y 13,75°C, con un valor medio próximo a los 12,5°C, que coincide con la temperatura media atmosférica de estaciones termométricas cercanas.

Balance hidrológico

A partir de los datos de la estación se ha realizado un balance hidrológico para el acuífero durante el período de estudio. Como datos de partida se ha utilizado la superficie de 4,65 km², estimada por Villarroel y Cuchi (2002), así como los datos mensuales de precipitación y la descarga total del manantial registrada por la estación de monitorización. Para la evapotranspiración potencial se han utilizado los valores medios que presentaron Liso y Ascaso (1969) para la cercana presa (8 km) de Santa María de Belsué. La reserva máxima, entre suelo y epikarst, se ha estimado en 34,2 mm, a partir de la máxima precipitación diaria que no ha originado incremento de caudal en el manantial durante el período de estudio.

En el período de mayo 2002 a abril 2003, 775,3 mm de lluvia generaron una aportación en el manantial de 1.277.600 m³. El balance mensual, realizado en forma convencional, estima un drenaje profundo de 302 mm, que sobre la superficie de 4,65 km² supone un volumen de 1.400.000 m³.

Clasificación del manantial

Se ha estudiado el manantial de Fuenmayor de acuerdo con la clasificación propuesta por Mangin (1984), ampliamente adoptada y posteriormente ampliada por diversos autores como, por ejemplo, Garay (2002). Uno de los parámetros utilizados en esta clasificación es el efecto memoria, o tiempo expresado en días que tarda la función de autocorrelación del caudal de salida del manantial en descender por debajo de un valor de $r = 0,2$. La figura 6 muestra dicha función de autocorrelación para el manantial en estudio. En esta figura se observa como el efecto memoria es de 10 días, lo cual permite clasificar al manantial como de tipo "Baget".

La figura 6 muestra asimismo el hidrograma uni-

tario del manantial o función de correlación cruzada lluvia-caudal. Atendiendo a este se obtiene una clasificación coincidente con la obtenida en la función de autocorrelación, próximo al tipo "Baget", lo cual pone de manifiesto una karstificación elevada.

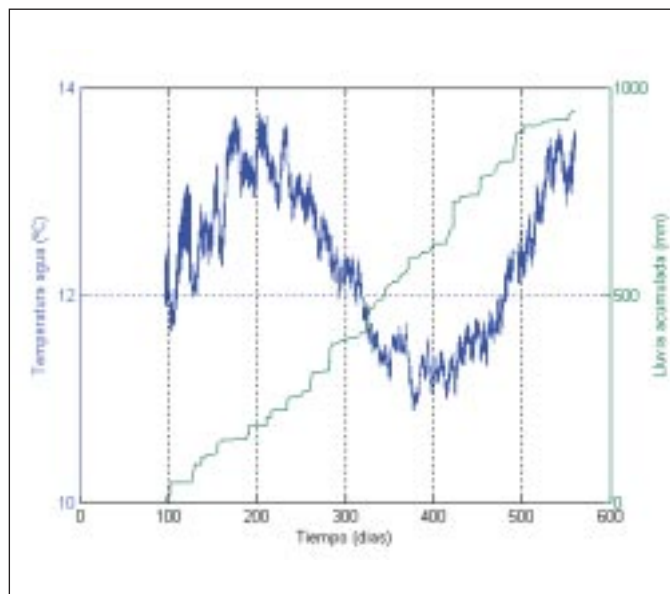


Fig. 5. Evolución de la temperatura del agua en función de la lluvia entre mayo 2002 a abril 2003 en Fuenmayor (Huesca)
 Fig. 5. Evolution of the temperature of the water related to rainfall from May 2002 to April 2003 at Fuenmayor spring (Huesca)

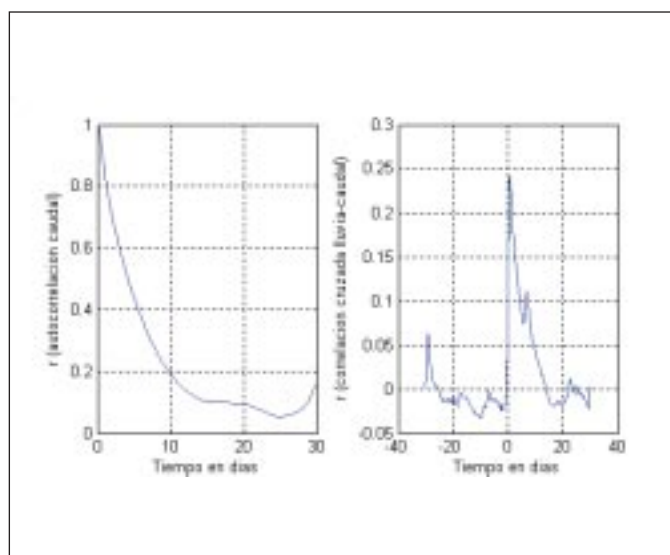


Fig. 6. Función de autocorrelación para los datos de caudal y función de correlación cruzada entre las señales de lluvia (entrada) y caudal (salida).
 Fig. 6. Autocorrelation function of the water discharge and cross-correlation function between the rainfall (input) and the discharge (output)

Evolución del caudal en función de la lluvia

A partir de los datos completos, se ha realizado un estudio de detalle de diversos episodios, con el objetivo de analizar la respuesta del sistema a las señales de entrada medidas: lluvia y temperatura ambiente. Este análisis es previo a la modelización numérica.

La relación lluvia-caudal en Fuenmayor ya ha sido estudiado para el año 2000 (Villarroel y Cuchí, 2002). Se confirmó el orden del retraso, entre 7 y 9 horas, conocido tradicionalmente por los guardas del manantial, entre el inicio de la lluvia y su efecto en el caudal. Utilizando técnicas de identificación de sistemas basadas en el minimización del error cuadrático medio en la estimación realizada por el modelo, se estableció la siguiente función de transferencia:

$$\frac{Q_s(z)}{Q_{ll}(z)} = \frac{0.0105 - 0.008z^{-1}}{1 - 1.7868z^{-1} + 0.7917z^{-2}} z^{-7}$$

En ella se observa un retraso puro de 7 períodos de muestreo (z^{-7}) y por lo tanto de 7 horas. Este resultado previo está de acuerdo con lo observado.

En el trabajo ya mencionado se observaron diferencias entre los comportamientos reales y simulados del sistema que se atribuyen a la no linealidad del mismo y al comportamiento estacional. Para profundizar en este comportamiento, de cara a mejorar el

modelo conceptual, se han analizado los diversos hidrogramas de este nuevo período de trabajo. Estos se han clasificado en tres tipos diferentes.

La figura 7 muestra un ejemplo típico de reacción de la descarga ante las lluvias. Este comportamiento corresponde a la mayor parte de los episodios de precipitación, aunque, en algunos casos, se han observado diferencias interesantes.

Esporádicamente no se ha observado la demora identificada de 7 horas. La figura 8 muestra uno de estos casos; el día 17 de septiembre de 2002 se observó una punta de caudal simultánea con la lluvia, de corta duración, y una muy rápida rama descendente, vino seguida, con el retraso habitual, por un segundo hidrograma de características normales. Este comportamiento se repitió, en menor magnitud, al día siguiente. En ambos casos, las precipitaciones fueron de tipo tormentoso. La doble respuesta se atribuye a una escorrentía superficial, poco frecuente, en los materiales miocénicos próximos y que se encauza, y mide, en uno de los dos vertederos.

Otra respuesta atípica se detectó durante enero y febrero de 2003, caracterizados por importantes precipitaciones en nieve en las áreas de montaña. El gradiente de altura entre el manantial (710 m s.n.m.) y la zona de recarga en el polje de Ciano (1000 m s.n.m.) ha supuesto que el pluviómetro situado en el manantial mida lluvia mientras que en altura se depositaba nieve. La aportación por fusión del manto

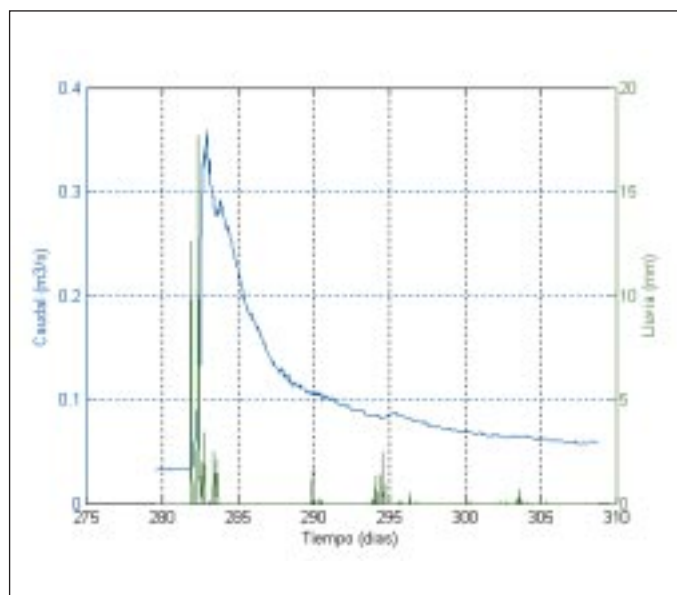


Fig. 7. Ejemplo de relación normal entre lluvia y caudal en Fuenmayor (días 9 y 10 de octubre de 2002)
 Fig. 7. Example of normal relation between rainfall and discharge at Fuenmayor spring (October 9 and 10 2002)

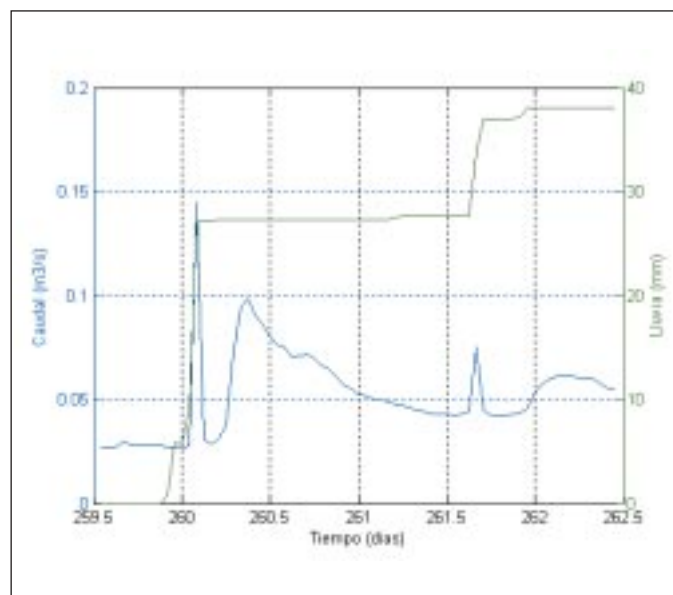


Fig. 8. Ejemplo de relación no habitual entre lluvia y caudal en Fuenmayor (17 y 18 de septiembre de 2002)
 Fig. 8. Example of unusual relation between rainfall and discharge at Fuenmayor spring (September 9 and 10 2002)

nival produce respuestas mucho más suaves y prolongadas que las derivadas de la lluvia. En la figura 9, el primer episodio es pluvial mientras que los dos siguientes son nivales.

Evolución de la conductividad eléctrica en función de la lluvia

La conductividad eléctrica muestra un interesante comportamiento frente a las precipitaciones. La figura 10 muestra en detalle el comportamiento de la conductividad eléctrica del manantial frente a las precipitaciones del mes de mayo de 2003. Se observa un primer ascenso, corto y moderado, seguido de un importante descenso relativo que dura un par de días y posteriormente una rápida recuperación por encima de los valores previos a la lluvia. Este ascenso puede detectarse a varias semanas del episodio de lluvia que lo ha generado.

Aunque no se ha determinado la conductividad del agua de lluvia en San Julián de Banzo, diversas medidas, realizadas en Huesca (observatorio de la EPSH) y en la cercana localidad de Nueno, ofrecen valores habituales por debajo de los 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C, con la excepción de las lluvias de barro. Por otro lado, datos presentados por Monaj (2003) indican que la interacción entre agua de lluvia y roca es muy rápida, dado que se observan importantes incrementos rela-

tivos de conductividad eléctrica en experimentos de laboratorio de percolación de agua por calizas de la zona. Aunque es todavía prematuro plantearse un modelo de acuífero, de la información acumulada parece sugerirse una aportación rápida de agua de lluvia (primer descenso de la conductividad) seguida de una aportación de agua de mayor antigüedad (repunte de la conductividad por encima de los valores iniciales), almacenada a cierta profundidad por debajo del nivel del manantial.

Evolución de la temperatura

La temperatura del agua del manantial evoluciona de forma más compleja que los parámetros estudiados anteriormente. Al estudiar el comportamiento de la temperatura del agua ante los episodios de lluvias, (figura 5), se comprueba que la temperatura no varía de forma perceptible después de las lluvias, salvo en caso de grandes avenidas. Dentro de los datos estudiados, el único episodio en el que se ha observado una variación apreciable de la temperatura es el acaecido a finales de febrero de 2002 que se corresponde con el caudal más elevado registrado en el manantial (1,5 m^3/s). Este episodio de fuertes lluvias supuso un descenso de 0,2°C durante dos días, recuperándose la temperatura al cabo de otros cuatro días más (véase la figura 11).

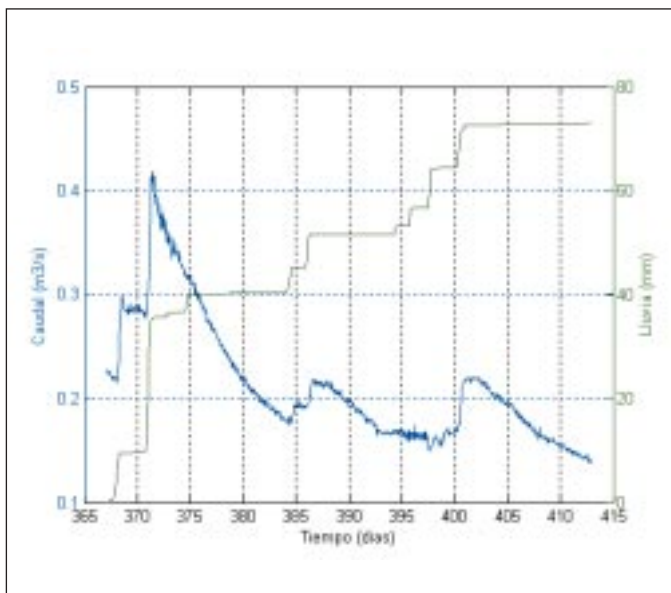


Fig. 9. Ejemplos de relación entre nieve y caudal en Fuenmayor (enero y febrero de 2003)
 Fig. 9. Example of unusual relation between snowfall and discharge at Fuenmayor spring (January and February 2003)

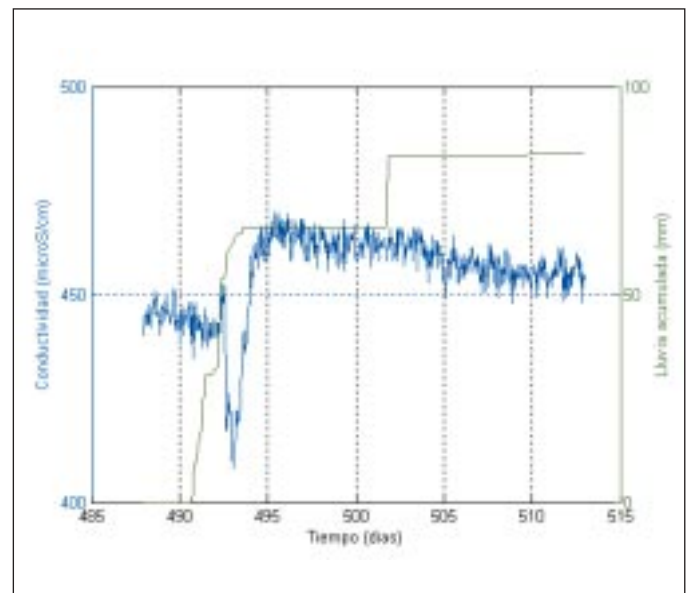


Fig. 10. Ejemplo de relación entre conductividad eléctrica del agua y caudal en Fuenmayor (mayo de 2003)
 Fig. 10. Example of relation between electrical conductivity and discharge at Fuenmayor spring (May 2003)

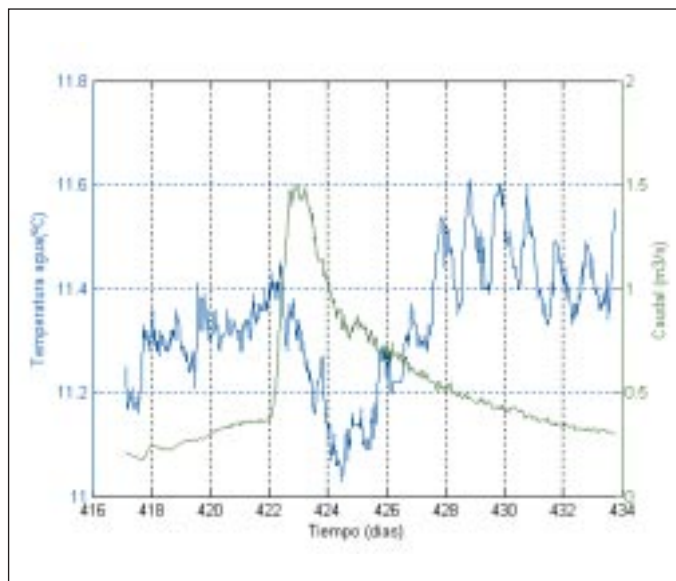


Fig. 11. Ejemplo de la evolución de la temperatura del agua en función del caudal en Fuenmayor (febrero de 2003)
 Fig. 11. Example of the evolution of the water temperature related to the discharge at Fuenmayor spring (February 2003)

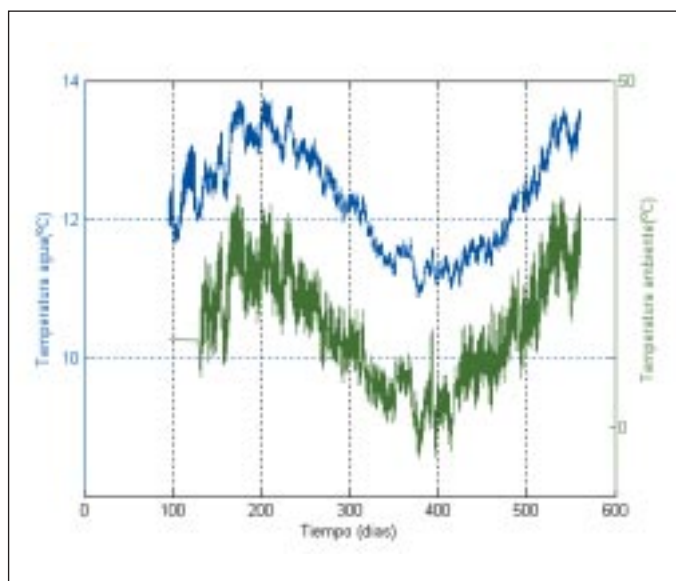


Fig. 12. Evolución de las temperaturas ambientales y del agua, entre mayo 2002 a abril 2003, en Fuenmayor (Huesca)
 Fig. 12. Evolution of the temperatures of the atmosphere and water, from May 2002 to April 2003, at Fuenmayor spring (Huesca)

La figura 12 muestra de forma simultánea las evoluciones de la temperatura del agua del manantial y de la temperatura ambiente. Se observa como las grandes variaciones estacionales de la temperatura ambiente son seguidas de forma atenuada por la temperatura del agua del manantial. Así, variaciones

en la temperatura ambiente de más de 40°C, entre verano e invierno, se traducen en variaciones de la temperatura del agua que llegan casi a los 3°C. Sin embargo, la temperatura del agua además de los grandes cambios estacionales también sigue los cambios de tiempo dentro de una estación como se observa en la misma figura.

La figura 13 muestra un detalle de la evolución de ambas temperaturas a lo largo de cuatro días. El comportamiento representado sorprende más que el anteriormente expuesto, dado que la temperatura del agua del manantial sigue a la temperatura ambiente, incluso en su evolución diaria, con un retraso aproximado de 3 horas.

De lo anteriormente expuesto se deduce que la dinámica de la temperatura del agua depende fundamentalmente de la temperatura ambiente como muestra la figura 14. En una primera fase se puede establecer visualmente una clara relación lineal entre ambas variables, que presentan un coeficiente de correlación de 0,9255. Esta dependencia permite suponer que el agua circula relativamente superficial, a una profundidad en la que la influencia de la temperatura externa no ha desaparecido. Hay que reseñar que el sensor de temperatura se encuentra en un claro punto de emergencia de agua, apantallado frente a la radiación solar. En todo caso, es posible que un análisis estadístico más profundo pueda revelar información complementaria de menor escala.

Conclusiones

El presente trabajo analiza cualitativamente la respuesta del manantial de Fuenmayor frente a las precipitaciones. Además de un comportamiento normal entre lluvia y precipitaciones, se detectan comportamientos minoritarios y diferenciados para lluvias de alta intensidad y precipitaciones en forma de nieve. Se han calculado la función de autocorrelación y el hidrograma unitario para el período de estudio, que sugieren una karstificación elevada del manantial.

La evolución, en detalle, de la conductividad ofrece información sobre el flujo de agua en respuesta a las precipitaciones. Ante episodios concretos, parece sugerirse una aportación rápida de agua reciente seguida de una aportación de agua de mayor antigüedad, almacenada a cierta profundidad por debajo del nivel del manantial.

La temperatura del agua parece muy poco relacionada con las precipitaciones. Por el contrario presenta oscilaciones estacionales y diarias relacionadas con la temperatura ambiente. Esto hace sugerir un flujo cercano a la superficie del agua subterránea.

En todo caso, el presente trabajo, de tipo básicamente descriptivo ofrece una serie de claves para intentar establecer un modelo conceptual y, posteriormente, un modelo numérico del manantial de Fuenmayor, que se considera característico de las surgencias kársticas del Prepirineo del Alto Aragón.

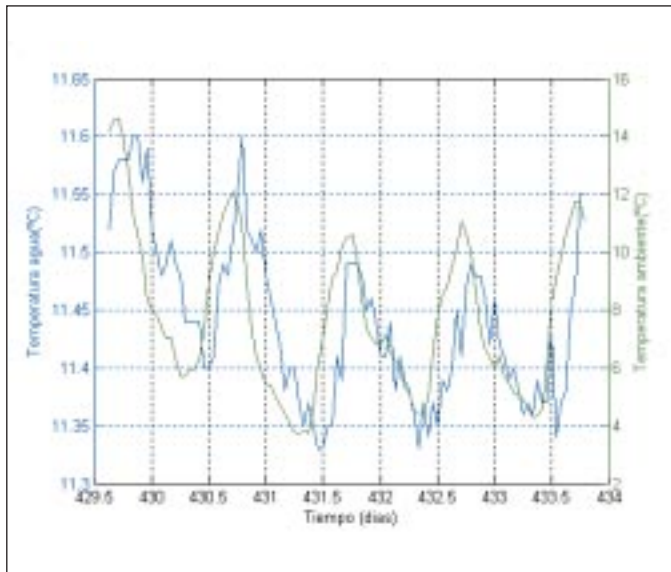


Fig. 13. Detalle de la evolución de las temperaturas del agua y ambiente (días) en Fuenmayor (Febrero 2003)

Fig. 13. Example of the evolution of the temperatures of water and atmosphere at Fuenmayor spring (February 2003)

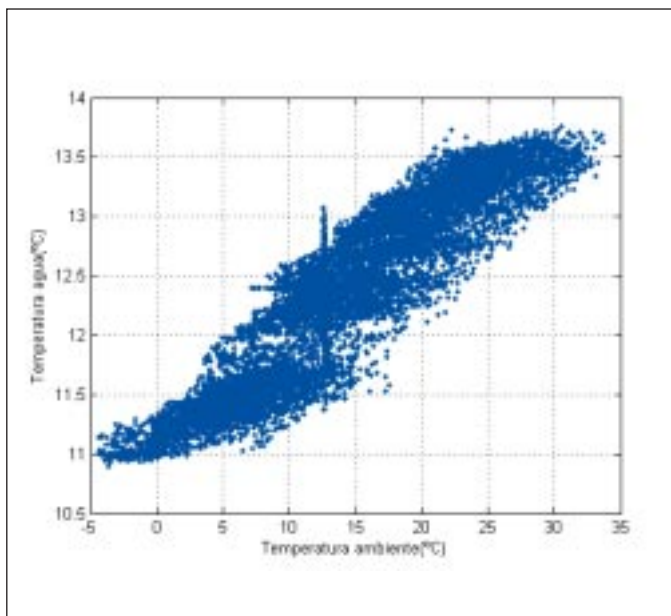


Fig. 14. Correlación entre las temperaturas ambiente y del agua
Fig. 14. Statistical correlation between the temperatures of water and atmosphere at Fuenmayor spring (Huesca)

Agradecimientos

El presente trabajo constituye una aportación al Proyecto IGCP 448. Se ha realizado con autorización del Ayuntamiento de Huesca. También hay que agradecer las atenciones de la familia Fortuño, guardas del manantial, la colaboración y permisos del Parque Natural de la Sierra y los Cañones de Guara, donde está situada el área de captación, así como financiación de la Confederación Hidrográfica del Ebro.

Referencias

- Clark, I. y Fritz, P. 1997. *Environmental isotopes in Hydrogeology*. Lewis Publishers. 328 pp
- Cuchi, J.A., Villarroel, J.L. y Manso, J.A. 2002. Características del manantial de Fuenmayor (San Julián de Banzo, Huesca). *Geogaceta*, 31, 75-78.
- Garay, P. 2002. Tipología de acuíferos kársticos basada en el análisis de correlación y espectral de sus descargas naturales: una propuesta de revisión y ampliación de la clasificación de Mangin. En: Carrasco, F., Durán, J.J. y Andreo, B. (eds). *Karst and Environment*. Patronato Cueva de Nerja. Nerja. 99-104.
- ITGE 1994. *Estudio de aguas minero-medicinales, minero-industriales, termales y de bebida envasadas en la Comunidad Autónoma de Aragón*. Informe inédito. Diputación General de Aragón.
- Larrey, O. y Lasoasa, J.C. 1993. *Estudio de las características hidroquímicas de las aguas subterráneas en el Somontano de Huesca*. Proyecto fin de carrera. Escuela Politécnica Superior de Huesca. U. de Zaragoza.
- Lasierra, M. 1955. *Informe sobre el abastecimiento de aguas a la ciudad de Huesca*. 18 pp. 6 zuras. Ayuntamiento de Huesca
- Liso, M. y Ascaso, A. 1969. *Introducción al estudio de la evapotranspiración y clasificación climática de la Cuenca del Ebro*. Anales de la Estación Experimental de Aula Dei. 10 (1-2), 1-505.
- Mallada, L. 1878. *Descripción física y geológica de la provincia de Huesca*. Imprenta de Manuel Tello. Madrid. 439 pp. 2 mapas.
- Mangin, A. 1984. Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatoire et spectrale. *Journal of Hydrology*, 67, 25-43
- Millán, H. 1996. *Estructura y cinemática del frente de cabalgamiento surpirenaico en las Sierras Exteriores Aragonesas*. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. 330 pp. 3 mapas.
- Monaj, D. 2003. *Interacción agua-roca en casos concretos del Prepirineo Altoaragonés*. Proyecto fin de carrera. Ingenieros Químicos. Centro Politécnico Superior. U. de Zaragoza.
- Octavio de Toledo, F., Ortiga, M. y San Román, J. 1995. Posibilidades hidrogeológicas de las estructuras cabalgantes del borde meridional de la sierra de Guara. *VI Simposio de Hidrogeología*. Tomo XXI. 57-64.

- Pascual, I. 1974. *Estudio hidrogeológico de la surgencia kárstica de Fuenmayor (San Julián de Banzo)*. Tesis de Licenciatura, U. de Barcelona, 54 pp. 1 mapa.
- Pinilla, L. 1996. *Estudio para la delimitación del perímetro de protección del acuífero del manantial de San Julián de Banzo (Huesca)*. CHE 58 pp. más anejos.
- Rodríguez-Vidal, J. 1986. *Geomorfología de las sierras exteriores oscenses y su piedemonte*. Colección de estudios Altoaragoneses, 4. Huesca. 172 pp.
- Sánchez, J.A. 1988. *Los recursos hídricos de las sierras de Guara y sus Somontanos*. Colección de Estudios Altoaragoneses, (Huesca), 27. 336 pp.
- Trilla, J y Pascual, I. 1974. Análisis de hidrogramas de una surgencia cárstica. *Agua*, 87, 20-28.
- Villarroel, J.L. y Cuchí, J.A. 2002. Análisis de respuesta de Fuenmayor (San Julián de Banzo, Huesca). Primeros resultados. *Geogaceta*, 31, 71-74.

Recibido: octubre 2003
Aceptado: enero 2004