

ESTUDIO HIDROQUÍMICO DEL RÍO ISUELA (HUESCA)

Héctor SAMPIETRO¹ | Raquel ZUFIAURRE² |
Rocío LÓPEZ-FLORES³ | José Antonio CUCHÍ⁴

RESUMEN.— El río Isuela es un modesto curso con problemas por detracción de caudales y aportación de aguas residuales urbanas y efluentes de regadío. En este artículo se realiza su estudio hidrológico y fisicoquímico. Se han calculado diversos parámetros de forma, relieve, red hidrográfica y cobertura del suelo. También se han realizado aforos y muestreos de agua para análisis fisicoquímicos: conductividad eléctrica, pH, T^a, oxidabilidad al permanganato, alcalinidad y los iones HCO₃⁻, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺, y elaborado los diagramas hidroquímicos de Piper y Stiff. El río tiene una compleja hidrología y, prácticamente, queda seco en tres puntos distintos. En la parte final se recarga por aguas subterráneas y por el vertido de la EDAR de Huesca, *de facto* su afluente más importante.

ABSTRACT.— The Isuela River is a modest water stream with problems due to the reduction of flows and the contribution of urban wastewater and

Recepción del original: 10-1-2019

¹ hectorsampietro@gmail.com

² Departamento de Química Analítica. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. zufi@unizar.es

³ Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Área de Ecología. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. rocio.lopez@unizar.es

⁴ Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Área de Ingeniería Agroforestal. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. cuchi@unizar.es

irrigation effluents. In this work a hydrological and physicochemical study of the river is carried out. Several parameters of shape, relief, hydrographic network and land cover have been calculated. Gauging and water sampling have been carried out for physicochemical analysis: electrical conductivity, pH, T^a , oxidability to permanganate, alkalinity and the HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ and K^+ . In addition, the Piper and Stiff hydrochemical diagrams were prepared. The river has a complex hydrology and practically remains dry in three different points. In the final part the river is recharged by underground water and by the discharge of the WWTP of Huesca, in fact its most important tributary.

KEY WORDS.— Isuela River, hydrochemistry, hydrology, Huesca (Spain).

INTRODUCCIÓN

El río Isuela es un modesto cauce que nace en las estribaciones meridionales de la sierra de Bonés, alimenta el embalse de Arguis y vierte sus aguas en el río Flumen a la altura de Buñales, tras pasar por Huesca. En su estado natural, el Isuela es un río mediterráneo. Sin embargo, y desde hace siglos, es un río muy antropizado que ha aportado su agua para los sistemas de riego de Nueno, Arascués, Igríes y, sobre todo, Huesca, para lo que se construyó el embalse de Arguis. Además, aguas abajo de Huesca el río recibe sus aguas residuales, hoy tratadas en la EDAR de Huesca.

El río ha sido estudiado desde diferentes puntos de vista. Probablemente, el más detallado es el dedicado a la historia de su regadío: LALIENA (coord.) (1994), GARCÉS (2006), GARCÉS y CUCHÍ (2008) y otros autores. A nivel hidrológico, posiblemente el primer trabajo fue el realizado por SÁNCHEZ (1988). Diversa información hidroquímica aparece en BESCÓS (1991), MONESMA y cols. (1994), LARREY y cols. (1997), DARWICHE (2012), DARWICHE y COMÍN (2014), MONAJ y cols. (2014), MONCAYOLA (2015) y ZUFIAURRE y cols. (2015 y 2017). Sin embargo, no parece haber un estudio que englobe ambos aspectos a lo largo de todo el río.

La combinación de los flujos naturales, la gestión humana del agua y las actividades de la cuenca hacen que tanto la hidrología como la hidroquímica del Isuela se puedan calificar, cuanto menos, de complejos. Este artículo tiene como objetivo presentar los datos de una campaña de aforos y muestreos hidroquímicos a lo largo de todo el río, realizado en la primavera de

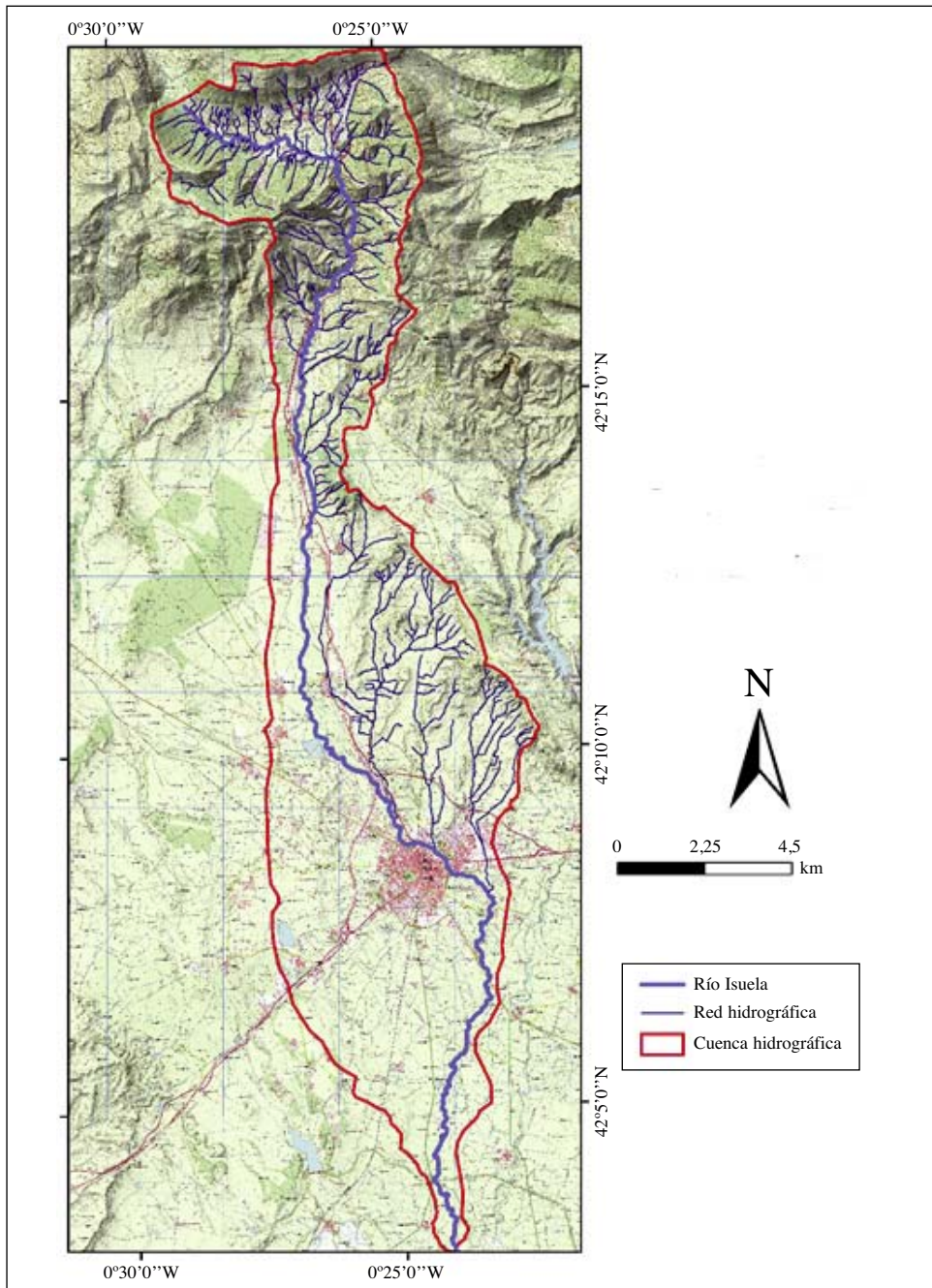


Fig. 1. Cuenca hidrográfica del río Isuela y su red hidrográfica. (Héctor Sampietro)

2017. Es parte del trabajo fin de grado en Ciencias Ambientales del primer firmante, codirigido por el resto de los autores. Por otra parte, se realizó un estudio biológico que, por sus características singulares y la extensión de los resultados, se presentará en una comunicación específica.

EL MARCO NATURAL

La cuenca del Isuela se distribuye entre el Prepirineo y el somontano oscense. En el primero, se pueden diferenciar la depresión de Arguis, en las margas grises del Eoceno medio, y el cañón del Isuela, que se abre en el cabalgamiento frontal del Pirineo, formado por calizas del Muschelkalk, Cretácico superior y Eoceno medio (formación Guara). En la zona superior, es relativamente sencillo delimitar su divisoria de aguas, con las cuencas del Flumen y de la Garona de Rasal.

En el somontano, el río entra en las arcillas y areniscas del Mioceno de la cuenca del Ebro, muy recubiertas por materiales cuaternarios. Por el este, la divisoria está controlada por el escarpe de Sabayés y Fornillos hasta las cercanías de Huesca. A partir de aquí, la cercanía del Flumen y el desarrollo del regadío complican el trazado. Sin embargo, por el oeste, la divisoria con el barranco de la Bala, en el carrascal del saso de Arascués, está mucho menos definida. Al sur de Huesca sucede lo mismo, en la alberca de Loreto y en los restos del carrascal de Pebredó. El giro del barranco de la Bala por Banariés, Cuarte, Torón y Valdabra limita definitivamente la cuenca del Isuela. La figura 1 muestra la delimitación de la cuenca realizada en este artículo.

Morfología del río y su cuenca

El río Isuela tiene una longitud de 43,38 kilómetros. Salvo el barranco de Manjarrés, que desemboca en el Isuela cerca de la ermita de Jara, la mayor parte de sus afluentes son temporales salvo el afluente subterráneo que aflora al pie de la cueva de Sanclemente, y que tiene a esta como aliviadero.

La cuenca tiene una superficie de 132,79 km² con un perímetro de 78,99 kilómetros. Es una cuenca alargada, con un valor de C_g superior a

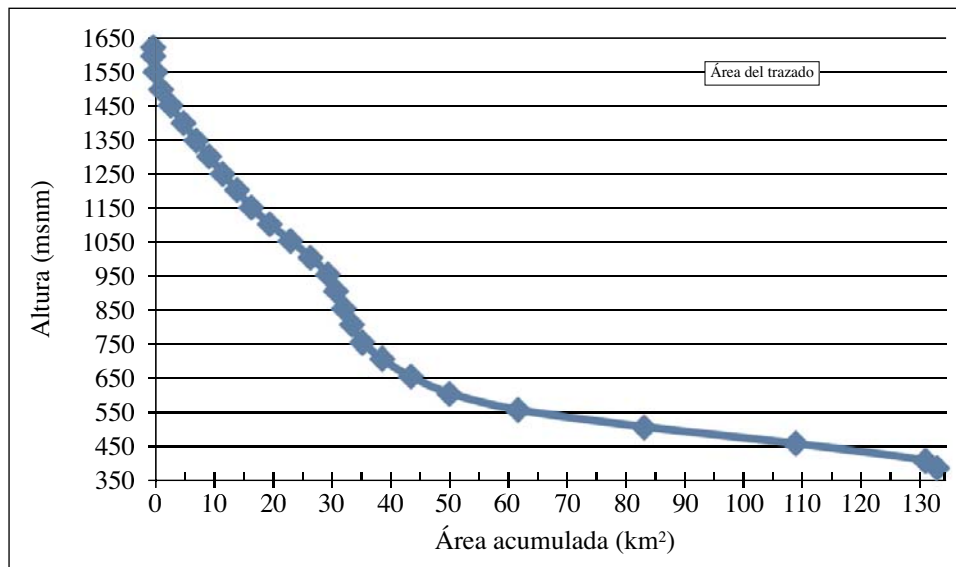


Fig. 2. Curva hipsométrica de la cuenca hidrográfica del río Isuela.

1,75, un R_f muy inferior a 0,22, valores R_c , C_c y K_f muy cercanos a 0 y unos desproporcionados lados mayor y menor del rectángulo equivalente, etcétera (TRAGSA, 1998). Es aparentemente simétrica en cuanto a la superficie por orillas, 67,84 y 63,96 km², respectivamente, con un índice asimétrico de 1,061. Pero la mayoría de los cauces secundarios, todos temporales, están en la orilla izquierda. El pico del Águila (1619 metros) es la cota más alta. La desembocadura se produce hacia la cota 378 metros. El cauce propio tiene un desnivel de 710 metros, por lo que la pendiente media del río es relativamente baja (1,64%). La pendiente más elevada se da en el congosto del Isuela, desde el embalse de Arguis hasta Bueno, con una diferencia de 271 metros en 5,5 kilómetros y una pendiente del 4,93%. El total de la red de drenaje alcanza los 272,38 kilómetros y obtiene un índice de 5 en la clasificación de Strahler, ya desde el embalse de Arguis. La tabla I presenta la parametrización de la cuenca en relación con el orden de cauces, y la tabla II, los diversos parámetros de forma, de relieve y de la red hidrográfica de la cuenca del río Isuela. La figura 2 muestra la curva hipsométrica, típica de un cauce con cabecera de montaña y cuenca baja en el llano.

Tabla 1. Índices de Strahler de la cuenca del río Isuela.

<i>Orden del cauce (índice de Strahler)</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Número de cauces de orden u (Un)	371	116	32	5	1
Longitud total de los cauces de orden u (Lt)	119,04	65,44	33,39	16,21	38,30
Relación Lu (Lt / Nu)	0,32	0,56	1,04	3,24	38,30
<i>Relación de cauces</i>	<i>1/2</i>	<i>2/3</i>	<i>3/4</i>	<i>4/5</i>	<i>Media</i>
Relación de bifurcación (Rb)	3,20	3,625	6,4	5	4,56
Relación de longitud (Rl)	0,57	0,54	0,32	0,42	0,08

Hidrología del río Isuela

En régimen natural, el Isuela sería de tipo mediterráneo relacionado con las lluvias de primavera y de otoño, y estiajes en invierno y en verano (VALLE, 1989 y 1996). Entre otros parámetros, se ha calculado el tiempo de concentración, tiempo que tardaría una gota de agua en recorrer la cuenca desde el punto más alejado a la desembocadura, mediante métodos diferentes (tabla II). Como es habitual, se obtienen diferentes valores y los más bajos no tienen sentido dado que $t_c < 5$ horas suponen velocidades medias próximas a los 2,5 m/s, totalmente imposibles en la zona baja. T_c próximos a 20 horas parecen más lógicos de esta zona. Pero caudal y velocidad del agua están muy condicionados por la gestión humana y necesitarían estudios más detallados.

Afecciones antrópicas

Como se ha señalado, la hidrología del Isuela está muy condicionada por la actividad humana. En la cabecera, la cuenca recibe modestos trasvases estacionales en invierno y en primavera. Del Garona, desde el barranco de la Barza, del siglo XVI (CUCHÍ y GARCÉS, 2008; GARCÉS y cols., 2011). De más entidad es el trasvase del Flumen, a través de la acequia de Bonés (1655 y 1657), donde el agua salta junto a Mesón Nuevo (GARCÉS, 2006; GARCÉS y cols., 2011).

Tabla II. Parámetros hidrológicos de la cuenca del río Isuela.

Tipo	Parámetro	Unidad	Magnitud	
De forma	Perímetro (P)	78,99	km	
	Área (A)	132,79	km ²	
	Coefficiente de Gravelius (C _g)	1,934	Adimensional	
	Radio de círculo de igual área	6,501	km	
	Lados del rectángulo equivalente (L y l)	36,12 y 3,68	km	
	Longitud axial (L _a)	31,38	km	
	Ancho máximo de la cuenca	7,18	km	
	Índice de alargamiento (I _a)	4,37	Adimensional	
	Factor o relación de forma de Horton (R _f)	0,07	Adimensional	
	Coefficiente de circularidad de Miller (C _c)	0,27	Adimensional	
	Índice de forma de la cuenca (K _f)	0,07	Adimensional	
	Área vertiente mayor	67,84	km ²	
	Área vertiente menor	63,96	km ²	
	Índice asimétrico (I _{as})	1,061	Adimensional	
De relieve	Altura máxima de la cuenca (CM _C)	1619	msnm	
	Altitud máxima del cauce principal (CM _c)	1090	msnm	
	Altura mínima de la cuenca (Cm _C) y cauce (Cm _c)	378	msnm	
	Altura media de la cuenca	683,4	msnm	
	Pendiente media de la cuenca	17,81	%	
	Coefficiente de masividad – F. Fournier (tgα)	5,14	Adimensional	
	Coefficiente orográfico – F. Fournier (CO)	3516,89	Adimensional	
De la red hidrográfica	Longitud del cauce principal (L _c)	43,38	km	
	Longitud total de la red hidrográfica (L _u)	272,38	km	
	Orden del cauce principal (índice de Strahler)	5	Adimensional	
	Número de cauces (N _i)	525		
	Textura	3,95	Cauces / km ²	
	Densidad de drenaje	2,05	km ⁻¹	
	Coefficiente de torrencialidad	2,79	Cauce 1.º orden / km ²	
	Pendiente media del cauce principal (J)	1,64	%	
	Alejamiento medio (a)	3,76	Adimensional	
	Relación de bifurcación (R _b)	4,56	Adimensional	
	Tiempo de concentración (t _c)	Kirpich	0,99	Horas
		California Culvert Practice	19,57	
		Témez (1978)	4,80	
		Giandotti	0,052	
		V. T. Chow	3,34	
Clark		5,26		
Passini	1,51			
Sinuosidad	Línea recta (30,49 km)	1,42	Adimensional	
	Siguiendo el valle (33,85 km)	1,28		

La presa de Arguis es del tipo de gravedad de mampostería. Se finalizó en 1704, tras dieciocho años de trabajo bajo la dirección de Francisco de Artiga. Después de varias reformas, a partir de 1929 la presa alcanzó los 27,3 metros de altura, y una capacidad de almacenamiento de 2 686 000 metros cúbicos (VICENTE, 1926; JIMÉNEZ DEL YERRO, 1931; GIL OLCINA, 1972). Dispone de dos válvulas de desagüe (grande y pequeña), además de aliviadero independiente. Las válvulas tienen una capacidad de desagüe máxima de 19 m³/s, y el aliviadero, de 72 m³/s (BARRERA, 1976). Debido a problemas de aterramiento, por la alta erosionabilidad de las margas de la cubeta de Arguis, se estima su cabida actual en 2,3 hm³ (CUCHÍ, 2006).

La gestión del embalse de Arguis supone un almacenamiento invernal y en el inicio de la primavera, donde el agua suele saltar sobre el aliviadero de obra y una adición removible de madera, en años húmedos e incluso normales. A inicios de abril se hace una suelta importante (boquera, 1000 l/s), aproximadamente hasta un tercio del volumen total. Durante el verano se dan sueltas menores para riego de huertas hasta otro tercio (aproximadamente cada dos semanas, 250 l/s). Una fuerte suelta final, hacia finales de octubre, intenta eliminar los lodos depositados en la captación tubular del desagüe de fondo, afectando a las repoblaciones de peces del embalse y aportando lodos al cauce. El nivel de llenado del embalse puede seguirse a partir de los datos de la red SAIH de la CHE.

Durante una parte importante del año los azudes de Nueno, Arascués y Huesca extraen prácticamente todo el agua del cauce. El reparto entre los dos últimos responde a acuerdos antiguos reflejados en la morfología del partidor de Arascués (CUCHÍ y ANDRÉS, 2012).

De facto, en verano el río queda seco aguas abajo de Nueno, aunque comienza a recoger aguas subterráneas. Los azudes de Igríes toman más agua. En el partidor de Bastarás se devuelve temporalmente algo de agua que se retira unos metros más abajo en el azud de Coliñenigue. Algunas de las escorrentías temporales se recogen en el azud del Cajigar. Ya en las cercanías de Huesca, por el partidor de la Cruz de Palmo, desde la alberca de Cortés se vierte agua al río, que se capta en el azud del puente de San Miguel para la acequia de Almería. Salvo los desagües de las acequias de La Magantina y la fuente de Santa Lucía, al inicio, el cauce urbano hormigonado no recibe normalmente agua. Tras fuertes lluvias pueden actuar los

barrancos del Infierno y de la Alfándiga. A la altura de la ermita de Salas el río recibe los vertidos de la EDAR, de hecho el aporte artificial más destacable, que recibe agua de múltiples orígenes (SÁNCHEZ, 1988; SANCHO y PABLO, 2010). La captación principal de abastecimiento de Huesca es el embalse de Vadiello, en el Guatizalema, de donde capta 125 l/s. El alcantarillado de Huesca también recoge una importante cantidad de agua del freático, al que hay que añadir los bombeos de garajes. Además de aportar materia orgánica y nutrientes, la EDAR añade un caudal irregular que fluctúa a lo largo del día, debido a que no dispone de tanque de homogeneización. A esto hay que sumar las aguas de retorno de riego de las comunidades de Arguis y Ribera del Flumen. En el tramo final hay alguna captación por bombeo y se reciben retornos de riegos y aguas subterráneas del acuífero 55 (Hoya de Huesca).

Los sistemas de riego de la cuenca del Isuela

Cinco comunidades de regantes existen en esta cuenca. La primera de ellas, recortada por las obras de la A-23, riega en el entorno de Nueno. Inmediatamente se toma agua para los riegos de Arascués, que dispone de una balsa de regulación y un sistema de tuberías. Este sistema dispone de 2/3 del agua de viernes y sábados. En la orilla izquierda, Igríes capta agua por dos azudes en la zona de Las Paulesas (CUCHÍ, 2006; CUCHÍ y GARCÉS, 2008).

Aguas abajo de Nueno, el azud de Huesca, aquí definido como Nueno II, capta por la orilla derecha el agua de la acequia mayor de Huesca que abastece a la Comunidad de Regantes del Pantano de Arguis, localizada en torno a Huesca. Es el sistema más grande del Isuela. Dispone de un modesto embalse regulador, la alberca de Cortés, de 385 000 m³. La de Loreto (205 700 m³) solo se recarga por aguas sobrantes en una parte del invierno (GIL OLCINA, 1972; JIMÉNEZ DEL YERRO, 1931; LÓPEZ GÓMEZ, 1992; LATORRE, 1994). Se sigue un antiguo sistema de reparto de agua, por días para los diferentes términos y dentro de ellos por orden descendente. Su funcionamiento es complejo. Por ejemplo, los miércoles se devuelve agua de la *acequia madre* al Isuela en la Cruz de Palmo para captarla en el azud de Almériz, aguas arriba del puente de San Miguel. Riega unas 2000 hectáreas de modo que gran parte del riego es deficitario y se divide en cuatro categorías de desigual dotación efectiva y alfarda. Su historia aparece descrita en LALIENA (coord.) (1994)

y SALINAS (2004). Quizás tuvo origen en el periodo ibérico (REY y cols., 2000). La urbanización afecta al uso del terreno, pero la superficie total se mantiene dado que se desplazan dotaciones hacia las zonas más meridionales del sistema.

Aguas abajo de Huesca, hay otros usuarios. La Comunidad de la Retuerta tenía derecho a aguas de la *acequia negra* de Huesca. Algunos usuarios bombean del río.

El total de superficie regable, en forma deficitaria, no supera las 2500 hectáreas. La mayor parte del agua se destina para cultivos de invierno, sobre todo cebada, que cubren aproximadamente un 80% de la superficie. El resto del agua se usa para hortalizas, maíz y alfalfa.

Aguas subterráneas

Además de la interacción directa con la lluvia, el río está alimentado por diversos acuíferos. Entre la presa de Arguis y Nueno afloran las denominadas *aguas vivas*. A pocos cientos de metros del muro de la presa, en calizas de la formación Guara, el río recibe el acuífero kárstico que drena en la fuente que abastece a Arguis y el espectacular *tropplein* de Sanclemente. Es un río subterráneo que drena las faldas de La Calma y, probablemente, llega hasta Foz Gabarda, recorrida por el gasoducto del Serrablo. Informaciones orales señalan la existencia de un río subterráneo con cuatro sifones, recorridos mediante espeleobuceo. Los únicos datos conocidos del caudal se presentan en GIMENO y CUCHÍ (1996), quienes señalan un caudal base del orden de los 50 l/s y puntas de hasta 1500 l/s.

Hacia el centro del cañón aflora un acuífero ligeramente termal (SÁNCHEZ, 1988; CUCHÍ y cols., 2003). Se utilizó en los antiguos baños de Nueno, a la altura de la ermita de Ordás, y ahora en el abastecimiento mediante sondeo de Nueno y la urbanización del campo de golf. En el tramo final hay diversas fuentes también de tipo bicarbonatado cálcico. La más conocida es la denominada de *la Rayeta*, en el primer túnel de la carretera antigua.

Ya en el somontano, desde el azud de Huesca hasta la ciudad, hay una serie de aportes de aguas subterráneas, como las fuentes de Las Paulesas y los ibones de Yéqueda, ligeramente más salinas que las anteriores. Cerca de Huesca, hay retornos de regadíos, y junto al puente de San Miguel aflora

un pequeño manantial. Aguas abajo de Huesca, especialmente por debajo del vertido de la EDAR, se descarga el acuífero de la Hoya de Huesca, que tiene un nivel alto de nitratos.

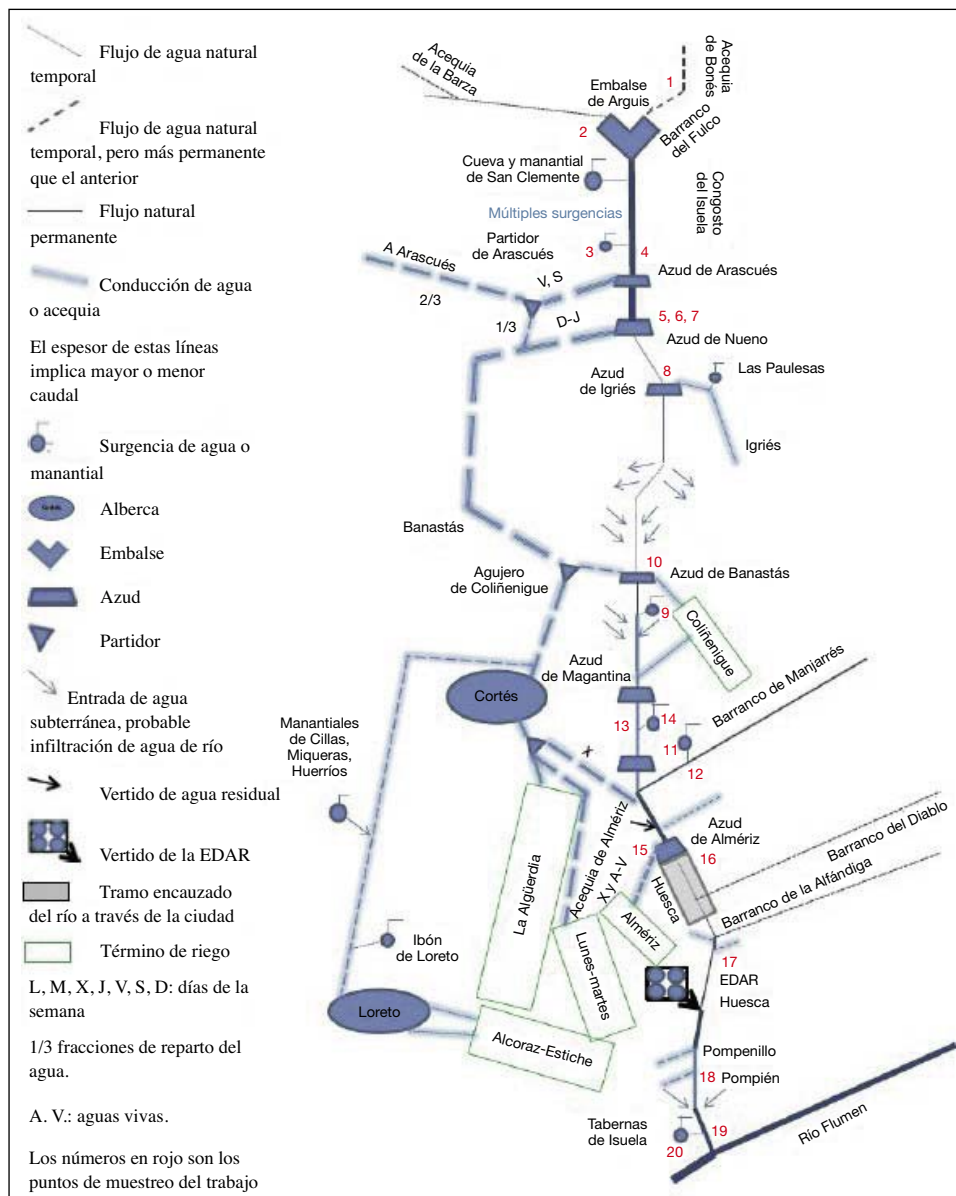


Fig. 3. Esquema hidrológico del río Isuela.

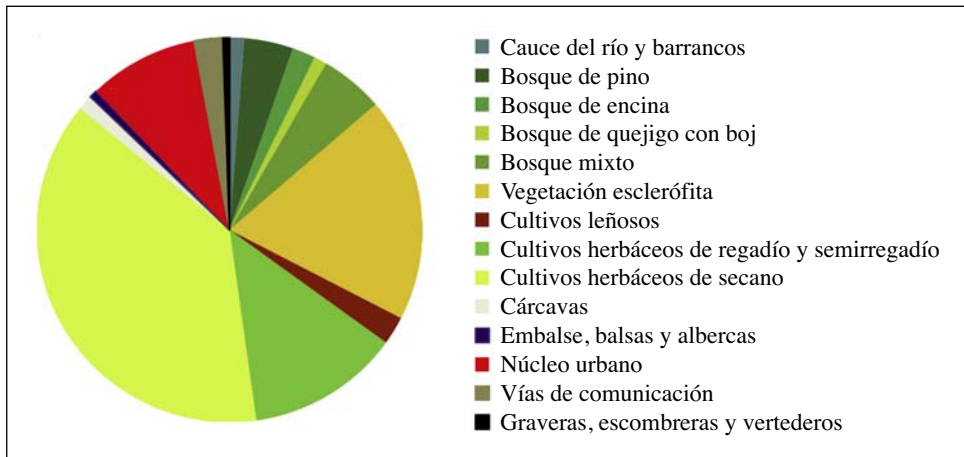


Fig. 4. Cobertura de suelo en la cuenca del río Isuela.

Con la información recogida, se ha elaborado un esquema sintético del funcionamiento hidrológico del Isuela, que se presenta en la figura 3, que puede servir de base para futuros estudios en otros momentos del año y de más detalle.

Usos del territorio

Existe una clara heterogeneidad en el uso del suelo entre las zonas alta y baja. En la primera, predominan las cubiertas naturales, las cárcavas, la roca, el matorral, el bosque y los pequeños núcleos de Arguis y Nueno. Véase, por ejemplo, CRUCHAGA (2013). La zona llana está dominada por los cultivos de secano, en unión de unas 2200 hectáreas de regadío y la zona urbana de Huesca y otras localidades. La figura 4 presenta un diagrama de la cobertura del suelo por categorías en la cuenca del Isuela.

MATERIAL Y MÉTODOS

Cartografía

Se ha realizado el correspondiente trabajo cartográfico mediante ArcGIS v 10.1, trabajando en todo momento con el datum ETRS89. Todo el trabajo cartográfico fue realizado por el primer autor.

Para delimitar la cuenca hidrográfica, se ha utilizado el mapa topográfico nacional (MTN) digital, a escala 1 : 50 000 (hojas 286 y 248, Apiés y Huesca, respectivamente). Para identificar y trazar la distribución de la red hidrográfica, se ha usado, de forma complementaria, tanto el MTN (siguiendo las convergencias de las curvas de nivel), como las ortofotos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea de 2012.

En el estudio de la red hidrográfica se ha procurado reflejar tan solo las redes de drenaje natural, o poco antropizadas. No se ha tenido en cuenta el sistema de drenaje muy antropizado del entorno de Huesca. Para elaborar la curva hipsométrica, se creó un nuevo ráster mediante una reclasificación con las líneas de ruptura cada 50 metros (a excepción de los valores máximos y mínimos), usando el MDT. Con la capa ráster creada, el SIG calculó las áreas entre dichos intervalos y la altura media en cada intervalo, y se exportaron los datos a Excel. Para el mapa de cobertura del suelo, se usaron de forma complementaria los mapas de usos agrícolas, mapas de unidades de paisaje, el visor SIGA, y, en especial, las capas del CORINE land cover. Además, se han realizado comprobaciones mediante visualización *in situ* del paisaje.

Muestreo

Se realizó una campaña de muestreo en botellas de PET, los días 29, 30 y 31 de mayo de 2017, de muestras simples, sin réplicas. A partir del conocimiento previo de la cuenca se seleccionaron veinte puntos de muestreo, en su mayoría aguas superficiales (tabla III). No se pudo muestrear, por razones de seguridad, el río inmediatamente por debajo del embalse de Arguis y el manantial de San Clemente, inferior.

Aforo

Simultáneamente, se realizaron aforos con un minimolinete Ott C2 en los puntos 1, 4, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 17, 19. Los caudales de los puntos 3, 18 y 20 se estimaron. Se calcularon mediante aforo químico en los puntos 5 y 7. El punto 14 se realizó por combinación de métodos. Los puntos 2 y 11 no se aforaron por ser aguas estancadas.

Tabla III. Puntos de muestreo. Tipo de muestra (1: agua superficial; 2: agua subterránea). Coordenadas UTM ETRS89. Tipo de determinación: Q: muestreo químico; A: aforo; B: muestro biológico. Distancia a la cabecera.

	Nombre de la muestra	Muestra	Coordenada X	Coordenada Y	Tipo de determinación	Distancia (km)
1	Mesón Nuevo	1	713070	4689209	Q, A, B	—
2	Embalse de Arguis	1	711857	4686746	Q	5,30
3	Fuente de la Rayeta	2	712048	4683931	Q	—
4	Azud de Nueno I	1	711855	4683721	Q, A, B	9,18
5	Azud de Nueno II. Fuga	1	711014	4681534	Q	12,51
6	Azud de Nueno II. Suma Q	1 + 2	711026	4681512	Q, A, B	12,52
7	Azud de Nueno II. Fuente	2	711028	4681536	Q	—
8	Vado de Igríés. Bajo Las Paulesas	1	711329	4678246	Q, A, B	16,33
9	Ibones de Yéqueda	2	711210	4673199	Q, A	—
10	Vado de Yéqueda – Banastás	1	711082	4673262	Q, A, B	21,81
11	Fuente de la Jara	2	712863	4671181	Q	—
12	Barranco de Manjarrés	1	712866	4671185	Q, A	—
13	Río Isuela en Marcelo	1	712715	4670897	Q, A, B	25,67
14	Fuentes de Marcelo	2	712728	4670918	Q, A	—
15	Acequia de Almería	1	714053	4669070	Q, A	28,37
16	Río Isuela bajo el azud de San Miguel	1 + 2	713998	4669096	Q, A	28,38
17	Vado en Salas	1	715868	4667139	Q, A, B	31,82
18	Pompién	1	714053	4669070	Q	38,99
19	Tabernas de Isuela	1	713998	4669096	Q, A, B	42,90
20	Fuente de Tabernas de Isuela	2	715868	4667139	Q	—

Métodos analíticos

In situ se determinaron la conductividad eléctrica y la temperatura mediante una sonda WTW 3110. Las muestras se transportaron en unas pocas horas al laboratorio de Química Analítica de la Escuela Politécnica Superior de Huesca, se guardaron en nevera a 4 °C y en el menor plazo posible se determinaron diversos parámetros fisicoquímicos siguiendo los protocolos usados en dicho laboratorio. El pH se determinó mediante un pHmetro Orion Star A 111 y la CE en un Analytical Control Model 120; la alcalinidad (bicarbonatos y carbonatos), por volumetría con HCl 0,1 M; los cloruros, mediante el método de Mohr (valoración con AgNO₃); los nitratos,

mediante espectrofotómetro de absorción molecular de doble haz, AA Unicam V2, a una λ de 220 μm y corrección de interferencias por materia orgánica a 275 μm ; los sulfatos, por turbidimetría con sulfato de bario en el citado espectrofotómetro de AA a 420 μm ; el calcio, el sodio y el potasio se midieron mediante espectroscopia de emisión atómica de llama, en un Varian Spectra AA 1110. Ca^{2+} (422,7 μm); Na^+ (589,6 μm); K^+ (766,5 μm). En el mismo equipo, Mg^{2+} por absorción atómica a 202,6 μm . La oxidabilidad (presencia de materia orgánica) se determinó mediante valoración redox con permanganato potásico.

Los resultados de los parámetros químicos permitieron caracterizar las aguas mediante los diagramas de Piper y de Stiff usando el programa Diagrammes v.6.52. Los datos se trataron con un programa estadístico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evolución del caudal

La tabla IV y la figura 5 presentan los datos de los aforos. Como ya se ha señalado, el caudal del río está sometido a una profunda gestión humana y los aforos corresponden a un momento determinado, caracterizado por un invierno con abundantes nieves y una primavera lluviosa. En el momento del muestreo, funcionaba el trasvase desde el Flumen por Mesón Nuevo. Las compuertas de fondo del embalse de Arguis se encontraban en funcionamiento y no se pudo aforar ni ver la aportación de Sanclemente. Algún dato extremo de esta surgencia kárstica se encuentra en GIMENO y CUCHÍ (1996), pero en el momento del estudio no saltaba el agua por el *tropplein* superior.

No se pudo aforar en el cañón por los altos caudales y los escombros de las obras de la A-23 hasta el nuevo azud de Nueno. Aguas abajo de esta localidad, los diversos azudes retiraban prácticamente toda el agua del cauce, excepto algunas filtraciones. Sin embargo, desde el pie del azud se detectan afloramientos de aguas subterráneas, ligeramente más salinas. Hasta el azud de Igríes, el río mantiene prácticamente el mismo caudal. Aguas abajo, hacia el vado de Banastás, el río pierde caudal como ya señalaba SÁNCHEZ (1988), aunque probablemente también haya afloramientos en la parte inferior de este tramo. En el momento del muestreo, el río no recibía agua del partidor de Banastás. El azud de Coliñenigue estaba seco y no entraba agua hacia

Coliñenigue ni pasaba agua. Aguas abajo el río recibe aguas subterráneas de los ibones de Yéqueda, del barranco de Manjarrés y de las fuentes de Marcelo.

Entre Marcelo y el azud del puente de San Miguel, el caudal se duplica, por aguas superficiales y retornos de regadío. El aforo se realizó en martes, por lo que no era de esperar el tradicional retorno de la acequia madre, en la Cruz de Palmo, hasta el azud de Almería, en San Miguel. El tramo canalizado urbano solo recibe los aportes de los barrancos de la Alfándiga y del Diablo, escasos salvo en respuesta en lluvias intensas sobre sus cuencas arcillosas. En el vado de Salas, el caudal era de 10,66 l/s. Inmediatamente recibe el vertido de la EDAR de Huesca, cuyo caudal no se pudo conocer. A partir de este punto, el caudal aumenta por aguas subterráneas y retornos de riego, hasta la desembocadura en el Flumen, como ya se indicó en MONESMA y cols. (1994).

Tabla iv. Caudales medidos por punto de muestreo.

<i>Punto de muestreo</i>	<i>Número</i>	<i>Caudal (l/s)</i>
Mesón Nuevo	1	11,45
Embalse de Arguis	2	—
Fuente de la Rayeta	3	1,50
Azud de Nueno I	4	650,10
Azud de Nueno II. Fuga	5	8,91
Azud de Nueno II. Suma de caudales	6	24,07
Azud de Nueno II. Fuente	7	15,19
Vado de Igriés. Bajo Las Paulesas	8	26,11
Ibones de Yéqueda	9	10,02
Vado de Yéqueda – Banastás	10	12,86
Fuente de la Jara	11	—
Barranco de Manjarrés	12	25,27
Río Isuela en Marcelo	13	64,12
Fuentes de Marcelo	14	3,00
Acequia de Almería	15	170,06
Río Isuela bajo el azud de Almería	16	1,00
Salas	17	10,66
Pompién	18	—
Tabernas de Isuela	19	137,59
Fuente de Tabernas de Isuela	20	—

En resumen, el río sufre una profunda y prolongada influencia humana, que se puede considerar multiseccular. En condiciones normales, es decir, cuando no hay crecidas, el embalse de Arguis acumula todo el caudal de la cabecera y sus sueltas se destinan a su total captación por el sistema de riegos en Nuño. A partir de este, en al menos tres ocasiones, el río queda seco para recuperarse por aporte de aguas subterráneas, aunque se pudiera considerar permanente el barranco de Manjarrés, quizás por parte de los vertidos de Yéqueda.

Sin embargo, de hecho, el mayor aporte de caudal es el vertido de la EDAR, formado por 125 l/s del trasvase desde el Guatizalema para abastecimiento urbano de Huesca, cuya calidad se presenta en SANCHO y PABLO (2011), más agua del freático de Huesca, en parte captado directamente por los colectores y en parte resultado del bombeo de achique de los garajes. Posiblemente algunos ramales de acequia viertan también a los colectores. Esporádicamente hay que añadir las escorrentías de agua de lluvia en la zona urbana. Los resultados se presentan gráficamente en la figura 5.

Parámetros fisicoquímicos

Los resultados fisicoquímicos se presentan en las tablas V y VI. La evolución de temperatura de las aguas superficiales está condicionada por la climatología del día del muestreo y el horario. En las subterráneas, se ve un claro aumento hacia el sur, conforme se incrementa la temperatura media del punto de muestreo. Sin embargo, estos valores son más altos que las medias atmosféricas para Huesca cifrados en 12 °C.

Las muestras de agua superficiales incluidas hasta P.5 muestran un pH > 8 resultado de la interacción del agua con la roca caliza del valle, similares a los datos de ELPUNTE y cols. (2016). Este parámetro disminuye ligeramente en el momento en que afloran las aguas subterráneas del somontano, quizás debido al efecto del abonado.

La conductividad aumenta a lo largo del río. Hasta la salida al llano aparecen conductividades típicas de aguas calcáreas al igual que se observa en MONAJ y cols. (2014) y ELPUNTE y cols. (2016). A partir de este punto se incrementa por la aportación de aguas superficiales (barranco de Manjarrés)

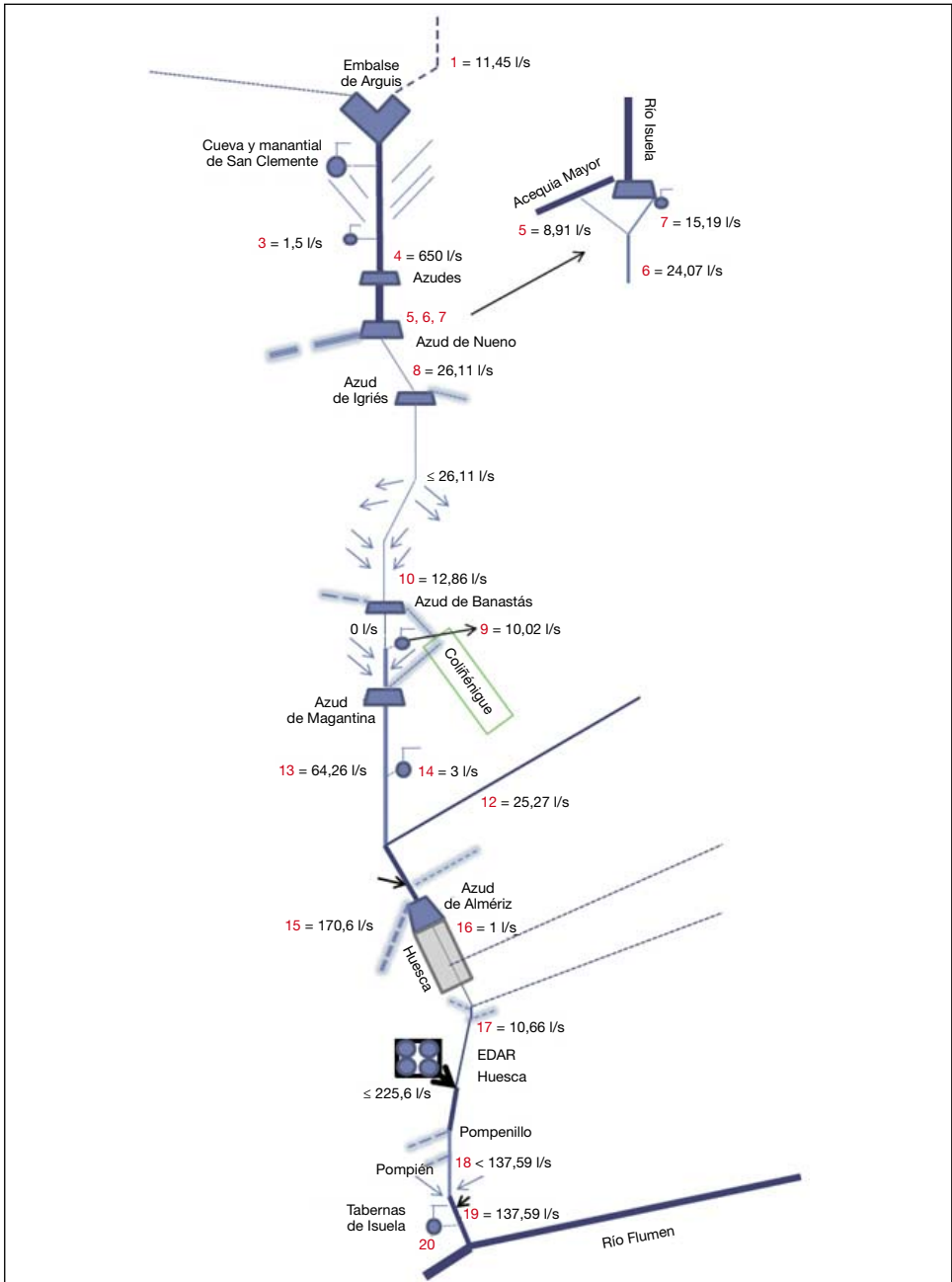


Fig. 5. Esquema hidrológico del río Isuela con los aforos realizados durante la campaña de muestreo.

y subterráneas en contacto con materiales del Mioceno, donde la alteración de las areniscas produce soluciones salinas. Aguas abajo de la EDAR, la salinidad alcanza valores relativamente altos. Puede ser debido a los efluentes de aquella, a la presencia de evaporitas en los materiales arcillosos del Mioceno o a la descarga de un acuífero artesiano profundo y salino, detectado en Monflorite y la Paúl de Estiche.

Las concentraciones de especies iónicas son las habituales en los ríos del Prepirineo, con un dominio de facies bicarbonatado cálcicas, donde el calcio supera al resto de cationes y el bicarbonato al resto de iones. En general, los iones aumentan en las aguas superficiales, hacia la desembocadura, indicando la incidencia, en la zona sur, de las facies geológicas con sus correspondientes acuíferos ligeramente salinos. Además, hay que

Tabla v. Resultados del análisis de los parámetros fisicoquímicos.

N.º	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T (°C)	Oxidabilidad (mg O ₂ /l)	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
1	8,3	351	12,2	0,2 ± 0,1	239,6 ± 7,7	292,4 ± 9,4	ND
2	8,2	405	21,2	1,3 ± 0,1	187,9 ± 3,9	229,2 ± 4,7	40,5 ± 2,8
3	7,7	695	12,9	ND	258,7 ± 3,9	315,6 ± 4,7	99,4 ± 1,8
4	8,2	455	14,0	1,0 ± 0,1	217,9 ± 1,2	265,8 ± 2,7	59,9 ± 7,2
5	8,0	478	14,0	0,7 ± 0,1	215,1 ± 3,9	262,5 ± 4,7	62,1 ± 11,9
6	7,6	731	13,1	0,1 ± 0,0	261,4 ± 1,1	318,9 ± 2,5	166,5 ± 12
7	7,4	839	12,0	ND	285,9 ± 3,9	348,8 ± 4,7	236,1 ± 26,9
8	7,9	737	15,7	0,3 ± 0,0	334,9 ± 3,8	408,6 ± 4,7	198,5 ± 10,6
9	7,5	742	13,6	ND	285,9 ± 3,8	348,8 ± 4,7	119,3 ± 8
10	7,8	739	17,2	ND	285,9 ± 3,8	348,8 ± 4,7	103,0 ± 11,2
11	7,2	1272	14,0	ND	430,3 ± 7,70	524,9 ± 9,4	149,0 ± 0,7
12	7,6	1002	17,2	0,9 ± 0,1	329,5 ± 3,8	402,0 ± 4,7	172,7 ± 20,8
13	7,8	765	16,8	ND	313,2 ± 3,8	382,1 ± 4,7	78,1 ± 18,4
14	7,1	1071	14,8	ND	370,4 ± 8,2	451,8 ± 8,7	220,8 ± 17,8
15	8,2	764	19,2	0,3 ± 0,0	294,1 ± 2,8	358,8 ± 3,9	134,5 ± 5,5
16	7,9	952	22,4	1,0 ± 0,2	321,3 ± 7,7	392 ± 9,4	180,9 ± 2,5
17	8,1	600	13,5	0,6 ± 0,1	253,3 ± 3,8	309 ± 4,7	98,0 ± 7,6
18	7,8	1118	17,1	2,3 ± 0,1	403,03 ± 0,0	491,7 ± 0,0	178,9 ± 11,3
19	7,9	1389	16,6	2,4 ± 0,3	381,25 ± 9,43	465,1 ± 11,5	293,3 ± 7,6
20	7,4	1383	14,7	ND	476,56 ± 3,85	581,4 ± 4,7	240,5 ± 19,1

considerar el efecto de la EDAR, cuyas aguas aumentan las concentraciones de Na^+ , Cl^- , K^+ y NO_3^- como indica, por ejemplo, HERNÁNDEZ (1992).

La presencia del ion nitrato en aguas superficiales y subterráneas tiene evidente interés. En las primeras, las aguas subterráneas muestran resultados similares a los presentados en ZUFIAURRE y cols. (2015 y 2017), es decir, ausencia en la zona alta y niveles elevados en el área cultivada. Destaca el valor de 45,42 mg/l para la fuente de la Jara, aunque en ningún caso se superaron los 50 mg/l marcados como límite para catalogar el agua como potable, según la legislación vigente. En las aguas superficiales, la concentración aumenta en la zona cultivada, por debajo de Igriés, aunque, en general, no se superan los 20 mg/l.

Tabla vi. Resultados de los parámetros fisicoquímicos (continuación).

N.º	Cl^- (mg/l)	NO_3^- (mg/l)	Ca^{2+} (mg/l)	Na^+ (mg/l)	Mg^{2+} (mg/l)	K^+ (mg/l)
1	8,5 ± 0,0	ND	56,3 ± 5,7	2,5 ± 0,8	4,8 ± 0,1	0,9 ± 0,0
2	17,9 ± 0,25	ND	51,7 ± 3,0	15,2 ± 3,2	9,6 ± 0,0	2,4 ± 0,0
3	52,6 ± 0,2	2,6 ± 1,6	69,5 ± 1,9	44,5 ± 3,1	16,9 ± 0,4	3,0 ± 0,0
4	20,4 ± 0,2	ND	55,2 ± 2,7	16,8 ± 4,7	10,0 ± 0,0	2,8 ± 0,2
5	21,1 ± 0,2	ND	59,2 ± 1,6	17,7 ± 5,3	10,5 ± 0,5	2,6 ± 0,1
6	30,2 ± 0,7	3,0 ± 1,2*	104,8 ± 0,7	21,2 ± 4,0	16,5 ± 0,5	3,0 ± 0,1
7	34,7 ± 1,5	5,0 ± 1,1	122,1 ± 1,6	23,8 ± 4,8	20,8 ± 0,1	3,2 ± 0,0
8	44,7 ± 2,7	6,8 ± 0,8	115,3 ± 1,2	34,5 ± 9,2	25,1 ± 0,1	3,4 ± 0,1
9	33,8 ± 1,1	15,3 ± 0,2	81,2 ± 0,3	24,5 ± 5,0	21,1 ± 1,2	2,6 ± 0,0
10	33,0 ± 0,5	25,7 ± 0,2	78,7 ± 1,2	24,0 ± 4,6	19,9 ± 1,2	2,5 ± 0,0
11	87,7 ± 3,3	45,4 ± 2,5	145,4 ± 0,9	63,6 ± 14,2	24,9 ± 0,3	5,9 ± 0,0
12	74,8 ± 0,5	22,5 ± 0,2	86,5 ± 0,6	65,7 ± 15,9	26,8 ± 1,7	6,2 ± 0,9
13	39,4 ± 0,5	20,1 ± 0,3	89,7 ± 0,4	39,9 ± 7,5	19,8 ± 1,0	2,5 ± 0,0
14	57,1 ± 0,5	35,5 ± 0,5	136,8 ± 0,7	59,3 ± 2,2	31,5 ± 1,7	3,7 ± 0,1
15	44,9 ± 2,0	15,3 ± 0,3	82,7 ± 4,5	48,9 ± 2,8	20,4 ± 1,2	3,5 ± 0,1
16	53,2 ± 1,1	14,0 ± 0,1	95,2 ± 0,1	52,0 ± 23,4	26,2 ± 1,6	6,7 ± 0,0
17	28,8 ± 1,5	4,3 ± 0,2*	74,5 ± 2,0	27,8 ± 5,3	14,7 ± 1,0	3,2 ± 0,0
18	102,8 ± 1,1	16,0 ± 0,1	111,9 ± 20,1	83,2 ± 16,6	28,4 ± 2,0	12,5 ± 0,1
19	115,0 ± 2,4	23,3 ± 0,1	130,6 ± 3,7	98,3 ± 29,3	26,3 ± 0,1	10,4 ± 1,1
20	96,8 ± 0,0	24,7 ± 0,1	147,6 ± 0,2	82,6 ± 20,9	30,4 ± 1,2	5,3 ± 0,0

* La elevada cantidad de materia orgánica disuelta con respecto a la cantidad de nitratos es muy elevada, por lo que el valor es aproximado.

La oxidabilidad al permanganato de las aguas superficiales se incrementa a lo largo del cauce, lo que indica un aumento de las aportaciones contaminantes. En la zona alta, es interesante el valor de este parámetro en el embalse comparado con el agua del trasvase del Isuela. Hay que señalar que allí se reciben las aguas residuales sin depurar de Arguis. En el cañón disminuye este parámetro, dado que las aguas subterráneas están por debajo del límite de detección. Lógicamente, es por debajo de Huesca donde se presentan los valores más elevados, 2,36 mg O₂/l, para el P.19, en la desembocadura. Sin embargo, este valor no es demasiado elevado, en parte debido a la actividad de la EDAR y, por otro lado, a la autodepuración en el cauce.

El diagrama de Piper, para los iones mayoritarios, se muestra en la figura 6.

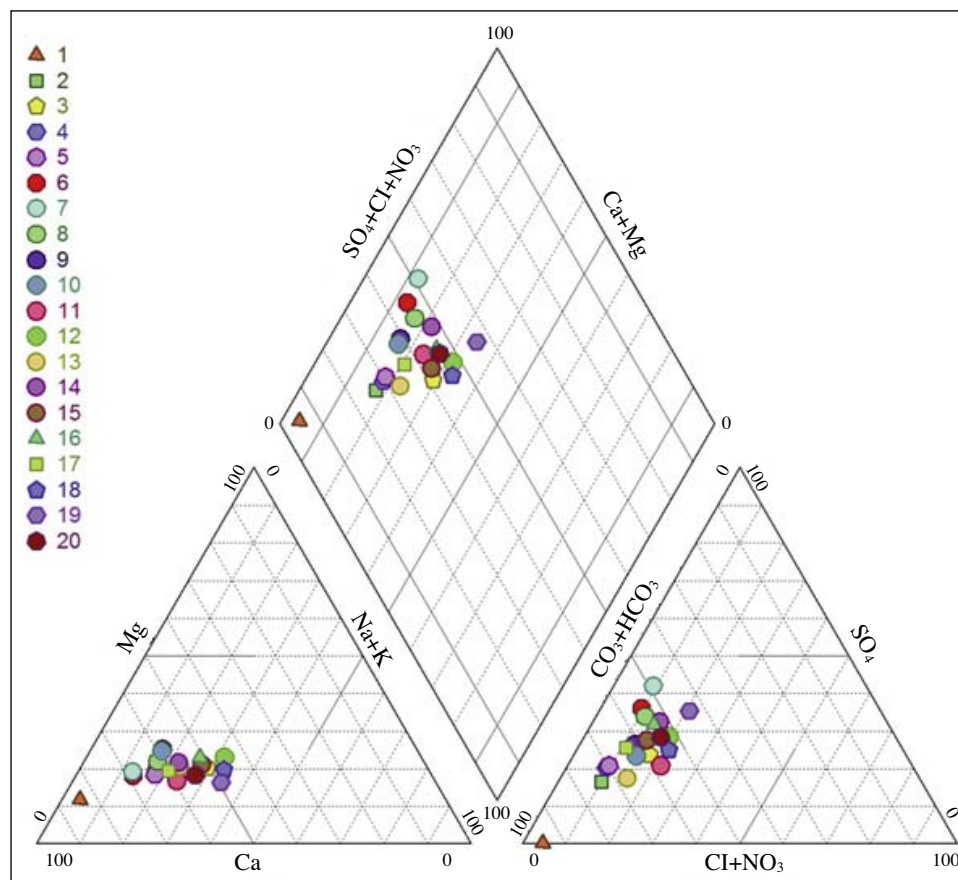


Fig. 6. Diagrama de Piper para las muestras de agua de la cuenca del río Isuela.

En el diagrama de Piper, se observa que todas las muestras están alineadas, indicando una evidente evolución desde aguas ricas en bicarbonato cálcico hacia aguas más ricas en sodio, y una combinación de sulfatos y cloruros hacia la desembocadura. La mayor parte de las muestras son de tipo bicarbonatado cálcico, siendo mixtas conforme se avanza río abajo. Los resultados son similares a los encontrados en el acuífero de la Hoya de Huesca por TRABA (2015).

Matriz de correlación y análisis factorial de los datos

La matriz de correlaciones entre los diferentes parámetros se presenta en la tabla VII.

Los resultados obtenidos son similares a los presentados por TRABA (2015) y BOSQUE (2015). Como era de esperar, la temperatura deriva del clima y no tiene relación con la química del agua. Como es sabido, la CE está positivamente bien correlacionada con la concentración de cualquier ion, pero

Tabla VII. Matriz de correlaciones de los parámetros fisicoquímicos.

	T°	pH	CE	Oxidabilidad	HCO_3^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Cl ⁻	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
T°	1											
pH	0,287	1										
CE	0,113	-0,645**	1									
Oxidabilidad	0,437	0,371	0,207	1								
HCO_3^-	0,051	-0,616**	0,937**	0,079	1							
NO_3^-	0,148	-0,679**	0,781**	-0,098	0,786**	1						
SO_4^{2-}	0,054	-0,575**	0,841**	0,204	0,727**	0,476*	1					
Cl ⁻	0,162	-0,448*	0,937**	0,441	0,877**	0,654**	0,740**	1				
Ca^{2+}	-0,096	-0,743**	0,888**	-0,038	0,890**	0,700**	0,860**	0,741**	1			
Mg^{2+}	0,231	-0,680**	0,888**	0,101	0,868**	0,736**	0,846**	0,797**	0,830**	1		
Na^+	0,259	-0,405	0,923**	0,443	0,854**	0,655**	0,742**	0,977**	0,708**	0,824**	1	
K^+	0,314	-0,192	0,738**	0,757**	0,652**	0,400	0,617**	0,870**	0,516*	0,636**	0,847**	1

* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

no con la materia orgánica y, lógicamente, tampoco a la inversa. En general, los diferentes iones presentan elevadas relaciones entre aniones y cationes, dado que provienen de sales simples. El caso más interesante es el de los nitratos de reconocido origen artificial. Su baja correlación con el potasio indica que una parte de este nitrato puede estar relacionada con la urea agrícola y que el potasio puede tener origen triple: de la hidrólisis de las ilitas naturales presentes en el suelo, del abonado y de las aguas de la EDAR.

Los resultados del análisis factorial para los parámetros fisicoquímicos se muestran en la figura 7. Se han considerado los dos primeros componentes que explican el 61,54 y el 21,57% de la varianza, respectivamente. Atendiendo al primer gráfico, la componente 1 está representada por la CE y los iones mayoritarios (eje positivo), y en menor medida por el pH (eje negativo), por lo que podría interpretarse como un indicador de la mineralización. Por otra parte, la componente 2 podría interpretarse como un indicador de la contaminación orgánica, dado que está representada por los parámetros de la oxidabilidad y del potasio.

En el segundo gráfico se puede ver claramente cómo las muestras de agua de la izquierda corresponden al tramo alto del cauce del río, principalmente, mientras que las muestras localizadas a la derecha corresponden al tramo bajo. De este modo, se marca una tendencia del aumento de la mineralización de izquierda a derecha, y, en cierto modo, de norte a sur.

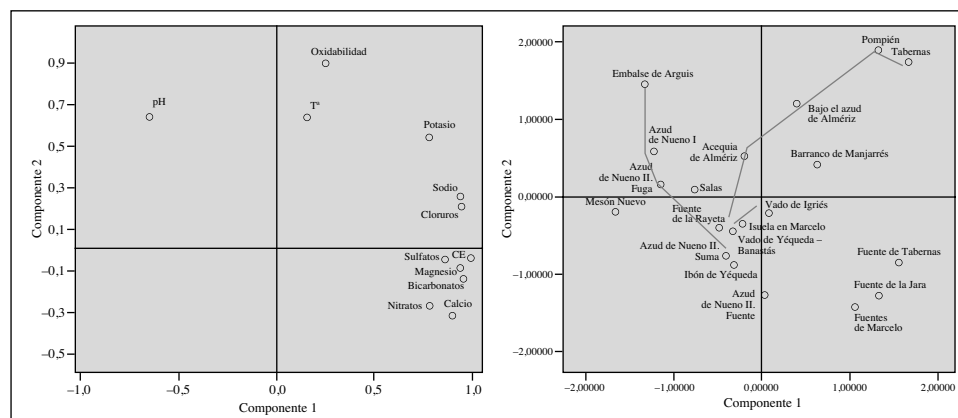


Fig. 7. Gráfico de cargas y de proyección de los puntos de muestreo para las dos componentes principales.

Atendiéndose al recorrido del río (marcado *grosso modo* con las líneas negras), se puede ver cómo el río comienza en el extremo menos mineralizado, y de pH más básico del gráfico (P.2), y acaba en la parte más mineralizada y contaminada del gráfico (puntos 18 y 19). Se marca, además, un cambio de tendencia radical a partir del P.6 (azud de Nueno II. Suma), marcando así que los cambios a partir de este punto no son progresivos, como pasa en la secuencia de los puntos 2, 4 y 5. Además, estos cambios no implican necesariamente una mineralización, sino que, tal y como se dijo en apartados anteriores, se dan situaciones inversas, como puede verse entre los puntos 8 y 10 (vado de Igriés y vado de Yéqueda – Banastás), y entre los puntos 16 y 17 (bajo el azud de Almería – Salas).

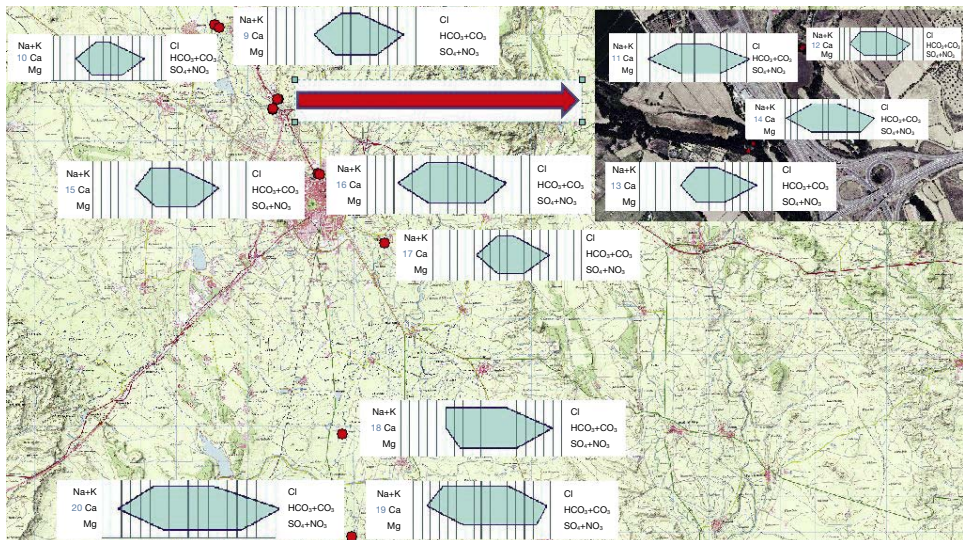
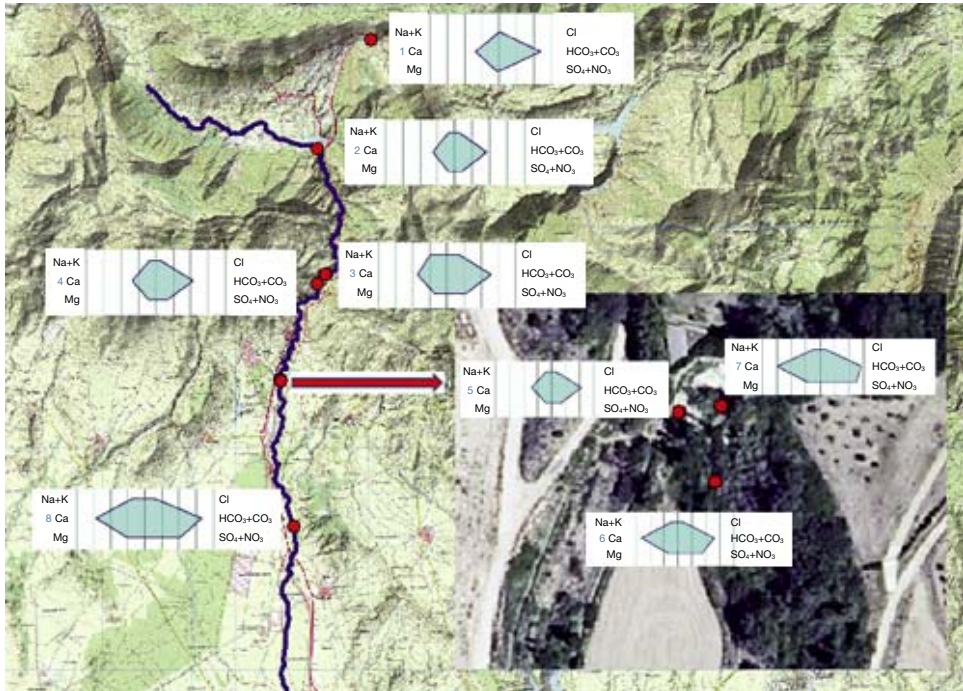
Las aguas subterráneas están más mineralizadas que las superficiales próximas. En su mayoría se encuentran en el sector negativo de la componente 2, debido a su mayor acidez, y a la ausencia de materia orgánica.

Variabilidad espacial

La variabilidad espacial de los parámetros iónicos se suele presentar bien por diagramas de Stiff o mediante la evolución a lo largo del cauce. En las figuras 8 y 9 se muestran los primeros, sobre la topografía de la cuenca. Una vez más se comprueba la dominancia de Ca^{2+} y HCO_3^- aumentando la importancia de los restantes hacia el sur, al cambiar las litologías. A partir de la EDAR se iguala la concentración de los iones Na^+ y K^+ con la del Ca^{2+} .

La evolución de los diferentes parámetros estudiados a lo largo del recorrido del río se presenta en las figuras 10 a 16. En estas se recogen los parámetros en función de la distancia al origen. En todos los casos, los rombos azules corresponden al parámetro del eje vertical izquierdo, y el cuadrado rojo corresponde al eje vertical de la derecha. No todas las escalas verticales son iguales.

Queda claro que la evolución de los parámetros fisicoquímicos en los diagramas de dispersión no siguen una sucesión uniforme y están ligados con distintos elementos antrópicos, tales como el embalse, los distintos azudes y el vertido de la EDAR; además de otros naturales, como la afluencia del barranco de Manjarrés, y aguas subterráneas.



Figs. 8 y 9. Diagramas de Stiff de aguas del río Isuela.
Intervalo entre cada columna azul, de 2 meq/l.

La variación de los parámetros entre unos puntos y otros puede ser muy acusada, pero en general siguen una misma tendencia de crecimiento y decrecimiento. No obstante, se pueden encontrar interesantes excepciones. Entre los puntos 8 y 10, descienden las concentraciones de todos los iones excepto NO_3^- , que aumenta por aportación de aguas subterráneas locales cargadas de nitratos. Estos presentan una tendencia claramente decreciente entre los puntos 10, 13 y 15, mientras que para el resto de los iones la tendencia es, o bien creciente, o bien las concentraciones se mantienen más o menos constantes. Esto puede explicarse por el afloramiento de otras aguas subterráneas más bajas en nitratos. Esto es coherente con lo presentado por ZUFIAURRE y cols. (2015) quienes indican dos niveles diferentes de ion nitrato en aguas subterráneas quizás en relación con el diferente uso agrícola de los suelos cercanos, donde se aporta más en los cultivos extensivos de secano que en las zonas de huertas más urbanizadas.

Entre los puntos 17 y 18 es obvio el incremento de gran parte de los parámetros debido al vertido de la EDAR. Llama la atención que la concentración de calcio suba tanto, ya que esos vertidos no suelen tener tanto calcio a nivel general (HERNÁNDEZ, 1992). Esto se debe posiblemente a que en este tramo hay entradas de aguas subterráneas ricas en calcio o por la riqueza de este ion en el agua de abastecimiento.

En la cuenca baja, entre los puntos 18 y 19, hay divergencia de tendencias en la concentración de iones. HCO_3^- , Mg^{2+} y K^+ muestran una tendencia decreciente, mientras que crecen Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- , y, especialmente, SO_4^{2-} (especialmente este último) la tiene creciente, y ligeramente el ion Na^+ también. Es evidente que hay una nueva aportación de aguas subterráneas salinas y, por otra parte, la actividad agrícola y ganadera, que al ser más intensiva que aguas arriba genera un importante lixiviado de nitratos.

El resultado final es que todos los iones alcanzan su valor máximo en el P.19, salvo para los casos de HCO_3^- y K^+ , que obtienen su valor máximo en el P.18.

Por otra parte, la evolución de la oxidabilidad y, por tanto, de la materia orgánica no muestra las mismas tendencias que la de los iones anteriores. En todos los casos presenta valores bajos y cabe mencionar, además del vertido de la EDAR, los casos de los puntos 2 y 16. En ambos los valores

cuantificados se deben al estancamiento del agua, y es especial el caso del P.2 (embalse de Arguis), porque en un embalse la concentración de materia orgánica tiende a ser más alta en el *epilimnion*, la capa más superficial de la columna de agua (MARGALEF, 1983). Sería interesante realizar estudios limnológicos de este embalse que recibe las aguas residuales sin depurar de la localidad homónima.

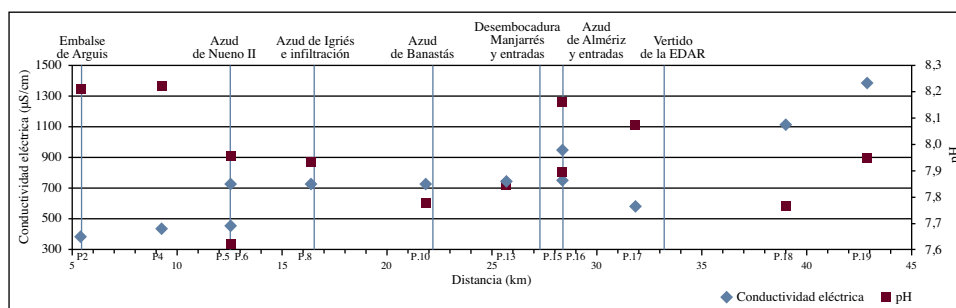


Fig. 10. Variación espacial de la CE y del pH en el río Isuela.

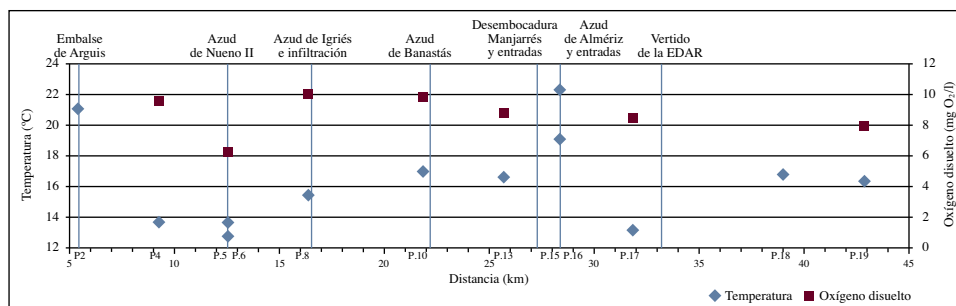


Fig. 11. Variación espacial de la Tª y de la concentración de oxígeno disuelto en el río Isuela.

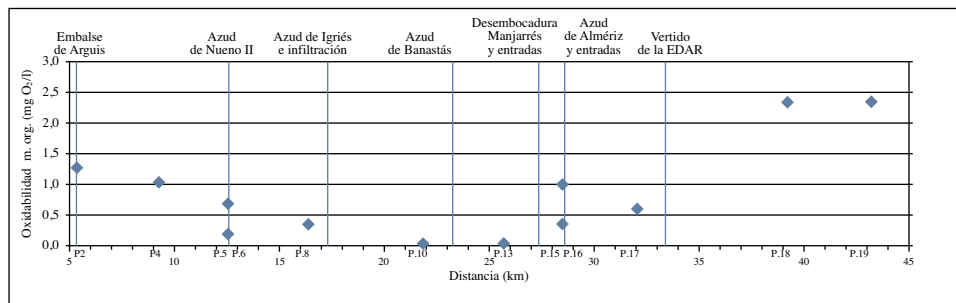


Fig. 12. Variación espacial de la oxidabilidad en el río Isuela.

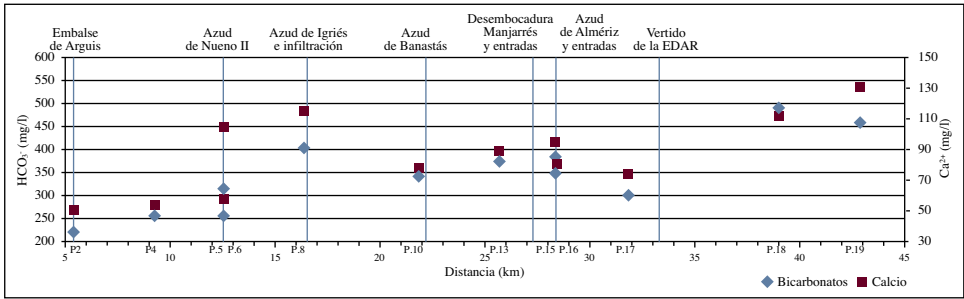


Fig. 13. Variación espacial de la concentración de HCO₃⁻ y de Ca²⁺ en el río Isuela.

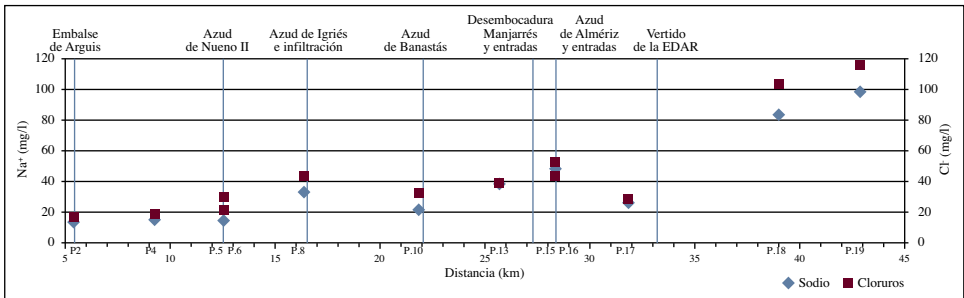


Fig. 14. Variación espacial de la concentración de Na⁺ y de Cl⁻ en el río Isuela.

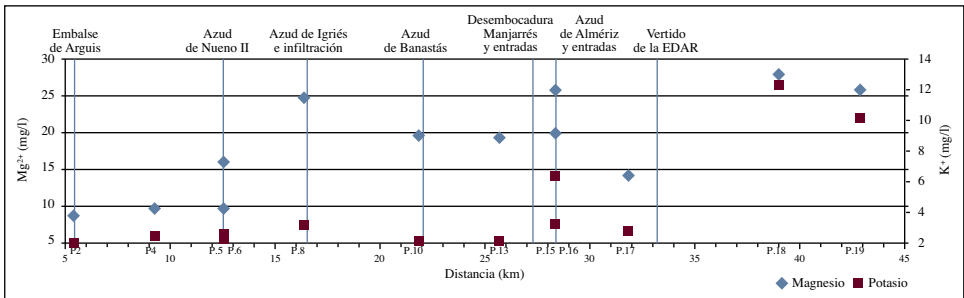


Fig. 15. Variación espacial de la concentración de Mg²⁺ y de K⁺ en el río Isuela.

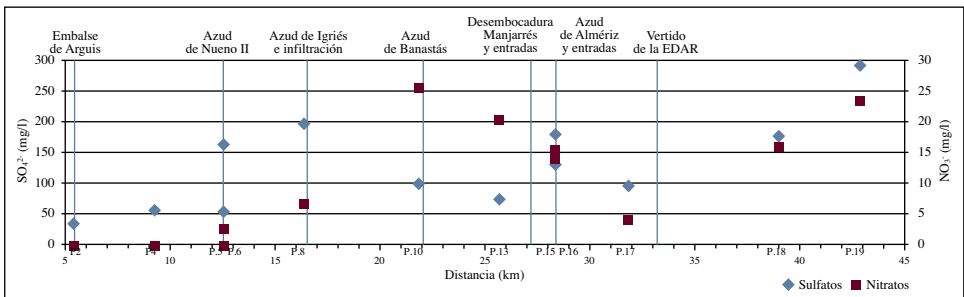


Fig. 16. Variación espacial de la concentración de SO₄²⁻ y de NO₃⁻ en el río Isuela.

CONCLUSIONES

La combinación de procesos naturales, la gestión humana del agua y las actividades de la cuenca hacen que tanto la hidrología como la hidroquímica del río Isuela sean complejas para un cauce de muy modestas dimensiones. Evidentemente, es necesario entender el funcionamiento de los trasvases y de las extracciones, la gestión del embalse de Arguis y de los sistemas de riegos, así como el impacto de la ciudad de Huesca, parcialmente amortiguado por la EDAR. Sorprende la capacidad natural del río, su resiliencia, para reconstruirse. Además algunos tramos, especialmente el ubicado por debajo del casco urbano de Huesca, son más complejos de lo inicialmente esperado. Evidentemente, los resultados solo responden al momento del muestreo.

Es inevitable realizar algún tipo de recomendación. Es evidente la dificultad práctica de aportar agua bajo los azudes de Nueno, pero es innegable que sería bueno para el río. Por otra parte, un tanque de homogeneización en la EDAR ayudaría a controlar las oscilaciones de caudal y la calidad en el bajo Isuela. Por último, resultará inevitable sugerir algún tipo de restauración del río en el cañón de Nueno, muy afectado por las obras de la A-23. Se podría intentar recrear algo de bosque de ribera en el tramo entre Nueno y Huesca, así como alguna solución menos *enérgica* para el tramo urbano canalizado en hormigón en el cauce no urbano.

Evidentemente, parece necesario estudiar el río con más detalle tanto en el espacio como en el tiempo, bajo diversas condiciones hidrológicas y de gestión del riego.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Inés Paja, José Antonio Manso y José María Garcés su ayuda en el análisis químico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRERA, M. (dir.) (1976). Embalse de Arguis. *Memoria de la CHE 1946-1975*. CHE. Zaragoza. 360 pp.
- BESCÓS, J. M. (1991). La salinidad de las aguas superficiales en el Pirineo oscense. *Lucas Mallada*, 3: 9-26.

- BOSQUE, J. (2015). *Hidroquímica de aguas superficiales y subterráneas del somontano de Huesca*. Trabajo fin de grado. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Huesca.
- CRUCHAGA, P. I. (2013). Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) a la estimación de la erosión de la cuenca del embalse de Arguis (Huesca). *Lucas Mallada*, 15: 67-84.
- CUCHÍ, J. A. (2006). Anotaciones sobre la distribución de agua en los sistemas de riego tradicionales de la zona occidental de la Hoya de Huesca. *Anales de la Fundación Joaquín Costa*, 22-23: 5-46.
- CUCHÍ, J. A., H. MILLÁN y Á. POCOVÍ (2003). Quelques informations géologiques sur les eaux thermales en relation avec les calcaires dans le Haut Aragon (Espagne). En *10^{ème} journée technique du Comité Français de la AIH. Circulations hydrothermales en terrains calcaires*: 39-46. Carcasona.
- CUCHÍ, J. A., 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.
- CUCHÍ, J. A., y R. ANDRÉS (2012). El partidur de Arascués: una obra hidráulica singular de la Huesca del siglo XVII. *Lucas Mallada*, 14: 31-40.
- DARWICHE, N. (2012). *Influencia de los usos del suelo sobre la calidad de las aguas y evaluación espacio-temporal de la transferencia de los contaminantes en la cuenca del río Flumen (Huesca)*. Trabajo fin de máster. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Huesca. 55 pp.
- DARWICHE, N., y F. A. COMÍN (2014). Tipificación de patrones espacio-temporales y en relación con las crecidas de NO₃⁻, sólidos en suspensión y sales disueltas en la cuenca del río Flumen (Huesca). *Lucas Mallada*, 16: 53-76.
- ELPUENTE, R., J. A. CUCHÍ, J. L. VILLARROEL y J. A. MANSO (2016). Interacción agua de lluvia – roca en calizas del valle del alto Isuela (Huesca). *Lucas Mallada*, 18: 147-177.
- GARCÉS, C. (2006). La mina de Bonés: agua y fracaso en la Huesca del siglo XVII. *Argensola*, 116: 111-170.
- GARCÉS, C., y J. A. CUCHÍ (2008). Historia de la Acequia Mayor de Huesca (siglos XII a XVII): de una orilla a otra del Isuela. *Anales de la Fundación Joaquín Costa*, 25: 59-100.
- GARCÉS, C., J. BERNUÉS y J. A. CUCHÍ (2011). El azud de Nueno y las tiras francas (1432): más sobre la historia de los regadíos del Isuela. *Argensola*, 121: 29-50.
- GIL OLCINA, A. (1972). Embalses españoles de los siglos XVII y XIX para riego. *Estudios Geográficos*, 129: 557-596.
- GIMENO, Y., y J. A. CUCHÍ (1996). El karst de la cuenca alta del río Isuela (Prepirineo, Huesca). En *Actas del Congreso sobre Recursos Hídricos en Regiones Kársticas*: 145-156. Vitoria-Gasteiz.
- HERNÁNDEZ, A. (1992). *Depuración de aguas residuales*. 2.^a ed. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. 1005 pp.

- JIMÉNEZ DEL YERRO, F. (1931). Las obras hidráulicas de la cuenca del Ebro. Labor de la Confederación. Pantanos de Santa María de Belsué, Arguis y Las Navas. *Revista de Obras Públicas*, año LXXIX (2574): 212-216.
- LALIENA, C. (coord.) (1994). *Agua y progreso social: siete estudios sobre el regadío en Huesca, siglos XII-XIX*. IEA. Huesca. 257 pp.
- LARREY, Ó., J. L. LASAOSA, R. C. DÍAZ y J. A. CUCHÍ (1997). Niveles de ion nitrato en aguas subterráneas de la Hoya de Huesca. *Kalium*, 4: 117-128.
- LATORRE, J. M.^a (1994). Regadío y producción agraria en Huesca durante el siglo XVI. En C. Laliena (coord.) (ed.), *Agua y progreso social: siete estudios sobre el regadío en Huesca, siglos XII-XIX*: 45-73. IEA. Huesca.
- LÓPEZ GÓMEZ, A. (1992). Presas y canales de riego en los siglos XVI y XVII. En A. Gil Olcina y A. Morales (eds.), *Hitos históricos de los regadíos españoles*: 91-142. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.
- MARGALEF, R. (1983). *Limnología*. Omega. Barcelona. 1919 pp.
- MONAJ, D., J. L. VILLARROEL, J. A. MANSO y J. A. CUCHÍ (2014). Reacciones agua – roca en la cuenca alta de los ríos Isuela y Flumen (Huesca). *Lucas Mallada*, 16: 169-197.
- MONCAYOLA, B. P. (2015). *Evaluación de la calidad del agua de una cuenca fluvial debido a un aumento en la afluencia del turismo. Caso del río Isuela, Huesca*. Trabajo fin de grado. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Huesca.
- MONESMA, J. I., M.^a P. CALLAO y J. A. CUCHÍ (1994). Aplicación del modelo QUALZE a los ríos Isuela y Flumen. *Actas del Congreso Nacional del Agua y Medio Ambiente*: 175-181. TIASA. Zaragoza.
- REY, J., Á. SERRETA y J. A. CUCHÍ (2000). Nota sobre una acequia perdida bajo el casco antiguo de la ciudad de Huesca. *Bolskan*, 17: 229-235.
- SALINAS, T. (2004). *Características del reparto del agua en la Comunidad de Regantes del Pantano de Arguis*. Proyecto fin de carrera. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Huesca.
- SÁNCHEZ NAVARRO, J. A. (1988). *Los recursos hídricos de las sierras de Guara y sus somontanos*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 27). Huesca. 336 pp.
- SANCHO, S., y M. PABLO (2010). Calidad del agua potable en Huesca. *Recien*, 1: 1-7.
- TRABA, L. (2015). *Caracterización hidroquímica del acuífero de la Hoya de Huesca*. Trabajo fin de grado. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Zaragoza.
- TRAGSA (1998). *Restauración hidrológico-forestal de cuencas y control de la erosión: ingeniería medioambiental*. Mundi-Prensa. Tragsatec. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. 945 pp.
- VALLE MELENDO, J. del (1989). El régimen pluviométrico de la Hoya de Huesca. *Lucas Mallada*, 1: 167-188.

- VALLE MELENDO, J. del (1996). *El clima del Prepirineo central y occidental aragonés y sus somontanos*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Zaragoza. 327 pp.
- VICENTE, M. (1926). El pantano de Arguis. *Aragón*, 10: 174-175.
- ZUFIAURRE, R., L. TRABA y J. A. CUCHÍ (2015). Caracterización hidroquímica de aguas en la Hoya de Huesca. *Lucas Mallada*, 17: 17-44.
- ZUFIAURRE, R., Ó. GRACIA y J. A. CUCHÍ (2017). Evolución del contenido en nitratos en aguas subterránea de la Hoya de Huesca (marzo de 2016 – febrero de 2017). *Lucas Mallada*, 19: 185-207.