

ENCOMIENDA DE GESTIÓN PARA LA REALIZACIÓN DE TRABAJOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS DE APOYO A LA SOSTENIBILIDAD Y PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Actividad 4:

Identificación y caracterización de la
interrelación que se presenta entre aguas
subterráneas, cursos fluviales, descargas por
manantiales, zonas húmedas y otros
ecosistemas naturales de especial interés hídrico

Demarcación Hidrográfica del EBRO

MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA

091.066 FITERO-ARNEDILLO



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL Y MARINO



Instituto Geológico
y Minero de España

DIRECCIÓN GENERAL
DEL AGUA

**IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA INTERRELACIÓN QUE SE PRESENTA ENTRE
AGUAS SUBTERRÁNEAS, CURSOS FLUVIALES, DESCARGA POR MANANTIALES, ZONAS
HÚMEDAS Y OTROS ECOSISTEMAS NATURALES DE ESPECIAL INTERÉS HÍDRICO**

091.066 FITERO-ARNEDILLO

ÍNDICE

1. CARACTERIZACIÓN DE MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA	1
1.1 IDENTIFICACIÓN, MORFOLOGÍA Y DATOS PREVIOS	1
1.2 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO	4
1.2.1 Litoestratigrafía y permeabilidad	4
1.2.2 Estructura geológica	5
1.2.3 Funcionamiento hidrogeológico	8
2. ESTACIONES DE CONTROL Y MEDIDAS DE CAUDALES	12
2.1 ESTACIONES DE LA RED OFICIAL DE AFOROS	12
2.2 ESTACIONES DE LA RED OFICIAL DE CONTROL HIDROMÉTRICO	12
2.3 OTRA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA	12
3. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS TRAMOS DE RÍO RELACIONADOS CON ACUÍFEROS	15
3.1 IDENTIFICACIÓN Y MODELO CONCEPTUAL	15
3.2 RELACIÓN RÍO-ACUÍFERO	20
3.2.1 Análisis de series de aforos	20
3.2.2 Otros datos hidrométricos	21
4. MANANTIALES	27
4.1 MANANTIALES PRINCIPALES	27
4.2 RESTO DE MANANTIALES	30
5. ZONAS HÚMEDAS	33
6. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN UTILIZADA Y PROPUESTA DE ACTUACIONES	34
6.1 VALORACIÓN DE LA INFORMACIÓN UTILIZADA Y DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	34
6.2 PROPUESTA DE ACTUACIONES	34
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
8. BIBLIOGRAFÍA DE INTERÉS	37

ANEJOS:

Anejo 1 Tablas de estaciones de control y medida
Anejo 2 Listado de manantiales

**IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA INTERRELACIÓN QUE SE PRESENTA ENTRE
AGUAS SUBTERRÁNEAS, CURSOS FLUVIALES, DESCARGA POR MANANTIALES, ZONAS
HÚMEDAS Y OTROS ECOSISTEMAS NATURALES DE ESPECIAL INTERÉS HÍDRICO**

091.066 FITERO-ARNEDILLO

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Corte geológico de la MASb 091.066 Fitero-Arnedillo en la localidad de Jubera. Tomado de MAGNA nº 242.....	6
Figura 2. Corte geológico de la MASb 091.066 Fitero-Arnedillo an las cercanías de Arnedillo. Tomado de MAGNA nº 242.....	7
Figura 3. Localización y cortes hidrogeológicos esquemáticos del funcionamiento de la FGP Jurásico marino y las descargas localizadas en la MASb 091.066 relacionadas con flujos regionales. El corte 1 superior interpreta el sistema de flujo que origina las surgencias Arnedillo (La Rioja) y el 2 inferior las de Baños de Fitero (Navarra). Tomado de Coloma López, P. et al., 1997.....	9
Figura 4. Descomposición del hidrograma (método Barnes) de la estación de aforos nº 253 (Cidacos en Arnedillo)	21
Figura 5. Análisis del hidrograma EA nº 253 (Cidacos en Arnedillo)	21
Figura 6. Hidrograma de las descargas al río Jubera para el periodo 1993-1996. Tomado de Coloma López, P. et. al, 1997.	22
Figura 7. Hidrograma de las descargas al río Cidacos para el periodo 1993-1996. Tomado de Coloma López, P. et. al, 1997.....	23
Figura 8. Hidrograma de las descargas al río Alhama para el periodo 1993-1996. Tomado de Coloma López, P. et. al, 1997.	24

**IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA INTERRELACIÓN QUE SE PRESENTA ENTRE
AGUAS SUBTERRÁNEAS, CURSOS FLUVIALES, DESCARGA POR MANANTIALES, ZONAS
HÚMEDAS Y OTROS ECOSISTEMAS NATURALES DE ESPECIAL INTERÉS HÍDRICO**

091.066 FITERO-ARNEDILLO

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Estaciones de medida y control correspondientes a la red oficial de aforos	12
Tabla 2.	Datos en estaciones de medida y control hidrométrico	13
Tabla 3.	Identificación de los tramos de ríos conectados	16
Tabla 4.	Modelo conceptual relación río-acuífero según tramos	19
Tabla 5.	Resumen de la cuantificación río-acuífero.....	25
Tabla 6.	Manantiales principales. Fitero-Arnedillo (091.066).....	30
Tabla 7.	Estaciones de control propuestas relación río-acuífero.....	35

**IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA INTERRELACIÓN QUE SE PRESENTA ENTRE
AGUAS SUBTERRÁNEAS, CURSOS FLUVIALES, DESCARGA POR MANANTIALES, ZONAS
HÚMEDAS Y OTROS ECOSISTEMAS NATURALES DE ESPECIAL INTERÉS HÍDRICO**

091.066 FITERO-ARNEDILLO

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1.	Mapa de situación de la Masa de Agua Subterránea	3
Mapa 2.	Mapa de permeabilidades	11
Mapa 3.	Mapa de estaciones de control y medida de caudales	14
Mapa 4.	Mapa sinóptico de la relación río-acuífero	26
Mapa 5.	Mapa de manantiales	32

1. Caracterización de MASA de AGUA SUBTERRÁNEA

1.1 *Identificación, morfología y datos previos*

La MASb Fitero-Arnedillo, a la que corresponde el código de identificación 091.066 dentro de la Demarcación Hidrográfica del Ebro, se integraba en la anteriormente conocida como Unidad Hidrogeológica Fitero-Arnedillo (09.35), la cual pasó posteriormente a denominarse UH 05.02 y cuya división ha dado lugar a la presente MASb y al Detrítico de Arnedo como MASb independiente (identificada con el código 091.067). Se identifica con la banda de materiales carbonatados del Jurásico inferior y medio que afloran en el borde septentrional de la Sierra de Cameros, entre las localidades de Fitero y Santa Engracia.

Constituye una franja alargada de dirección NO-SE cuyos límites hidrogeológicos están configurados de la siguiente forma:

- El límite septentrional lo configura la traza del frente de cabalgamiento de la orla mesozoica sobre la Cuenca Terciaria del Ebro, de manera que se constituye así un límite cerrado tanto cuando aflora la traza como cuando ésta se encuentra fosilizada. Desde el NO y hacia el SE, este límite septentrional se establece según la traza del cabalgamiento en la zona de Jubera. El límite continúa atravesando un recubrimiento Mioceno que fosiliza el cabalgamiento hasta conectar de nuevo con la traza cartográfica en las inmediaciones de Arnedillo y no abandonarlo, más o menos con la misma dirección, aunque con la traza del cabalgamiento ya fosilizada desde el río Cidacos, hasta alcanzar el río Alhama en los Baños de Fitero (cierre suroriental cerrado).
- El límite meridional se traza sobre los materiales en facies purbeck-weald que recubren los afloramientos del jurásico marino y paralelo a estos últimos. Es de carácter abierto en función de la inmersión del jurásico hacia el S.

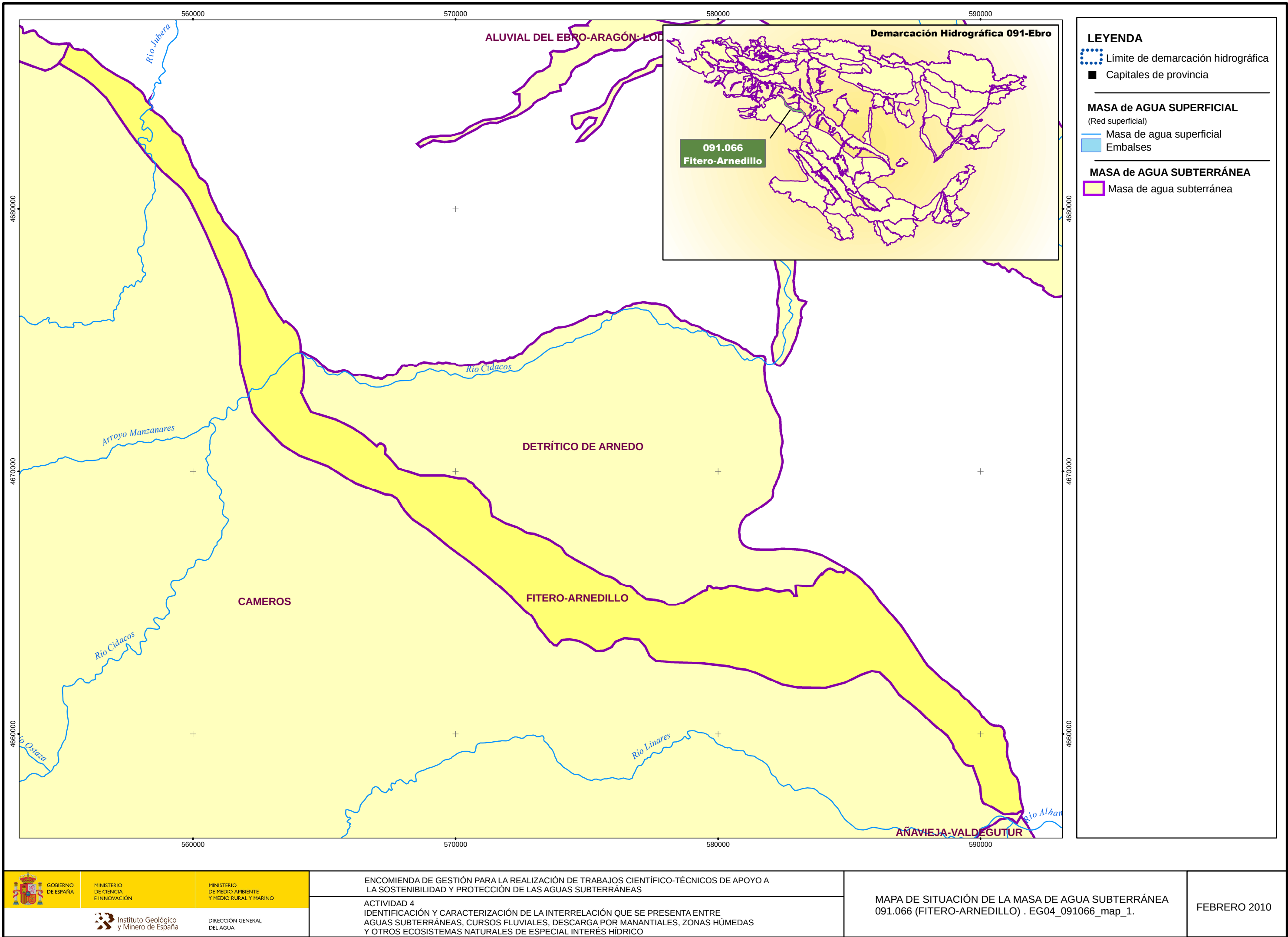
Presenta una superficie total de 97,4 km², distribuidos aproximadamente de la siguiente forma: 96,2 km² (88,8%) en la provincia de La Rioja (Comunidad Autónoma de La Rioja) y 1,2 km² (1,2%) en la provincia de Navarra (Comunidad Foral de Navarra). En el ámbito geográfico definido por los límites de esta MASb la cota máxima es de 1.467 m snm y la mínima de 471 m snm, fijándose la cota media en 879 m snm. Se trata de una unidad de relieve suavizado y estructuralmente compleja, al encontrarse la franja mesozoica enmarcada en una tectónica de cabalgamiento del Mesozoico de la Sierra de Cameros sobre la Cuenca terciaria del Ebro, con alta fracturación, de manera que los niveles acuíferos se acomodan a estas estructuras y la

conexión de los distintos niveles permeables de la serie se ve muy favorecida, de ahí que históricamente en la literatura científica se hayan considerado al conjunto de materiales carbonatados jurásicos como un único acuífero.

La MASb presenta dos ríos que discurren por ella durante pocos kilómetros, Jubera y Cidacos, con direcciones S-N y SO-NE, respectivamente.

Esta MASb involucra exclusivamente materiales acuíferos que forman parte de la cobertera mesozoica. Estas FGP's presentan escasos afloramientos que quedan restringidos a la zona del importante contacto cabalgante entre el macizo de Cameros y la Cuenca Terciaria del Ebro. Se trata de una serie de acuíferos carbonatados cársticos desarrollados en las formaciones calcáreas del jurásico marino: Fms Carniolas de Cortes de Tajuña y Calizas tableadas de Cuevas Labradas, del Lías y la Fm Carbonatada de Chelva, del Dogger. Todo el conjunto presenta potencias variables entre 300 y 800 m, siendo su sustrato impermeable los materiales margo-evaporíticos del Keuper.

Dentro de la MASb se ha modelizado, mediante el modelo de elementos finitos TRACONF, el flujo y el transporte de calor en un corte vertical representativo del funcionamiento hidrogeológico de los manantiales termales de Baños de Fitero y Arnedillo (Coloma López, P., et al. 1998c).



1.2 Contexto Hidrogeológico

1.2.1 Litoestratigrafía y permeabilidad

Dentro de la MASb 091.066 Fitero-Arnedillo los materiales que constituyen la FGP son los Jurásico marinos, principalmente las formaciones calcáreas del Lías (Grupo Renales) y Dogger, con una potencia que varía entre 300m en la parte oriental y 900m en la occidental, para el conjunto. Como ocurre en toda la Cordillera Ibérica, tanto en la Rama Aragonesa como Castellana, la facies margo-evaporítica del Keuper ha actuado como nivel de despegue de los mantos de cabalgamiento y se caracteriza por presentar una permeabilidad muy baja, con lo que constituye el sustrato impermeable de todos los materiales suprayacentes. Las unidades del Jurásico marino se encuentran muy fracturadas, permitiendo su conexión hidráulica, de ahí que en el contexto regional se puedan considerar como una FGP (Coloma López, P. et al., 1997), de ahí que, a efectos prácticos, los materiales margo-calcáreos del Jurásico inferior (Grupo Ablanquejo)¹, que presentan una potencia de unos 200m y que se caracterizan por su baja permeabilidad, no actúen como un auténtico nivel confinante que separe las Fms carbonatadas de alta permeabilidad del Lías de las del Dogger. El Jurásico, o lo que es lo mismo, los materiales de la FGP aparecen a techo semiconfinados por los materiales discordantes en facies Purbeck-Weald (tránsito de plataforma carbonatada marina a sedimentos continentales fluvio-lacustres) del relleno de la Cuenca de Cameros, que, en líneas generales, presentan un comportamiento de acuitardo y actúan recargando la FGP.

Atendiendo a lo expuesto anteriormente, y al carácter que se le da a los materiales acuíferos en la literatura científica consultada, se considera que la FGP Jurásico marino es la única con características acuíferas que tenga relaciones río-acuífero en la MASb.

La **FGP Jurásico marino** está constituida por todas las Fms carbonatadas del Jurásico inferior y medio. Los materiales carbonatados del Lías están formados por carnioles, dolomías, brechas dolomíticas y calizas (Fms Carnioles de Cortes de Tajuña y Dolomías tableadas de Cuevas Labradas) que configuran un conjunto hidrogeológico que presenta una alta porosidad y permeabilidad debido a una densa red de fisuración y, sobre todo, a un gran desarrollo de las oquedades interconectadas que favorecen la circulación de las aguas subterráneas. La potencia de estos materiales es variable, entre 60 y 400m y se encuentra impermeabilizada a muro y techo por las facies margo-evaporíticas del Keuper y las margo-calcáreas del Gr. Ablanquejo, respectivamente. Los materiales carbonatados del jurásico medio incluyen las Fm Carbonatada de Chelva, Calizas negras de Aldealpozo y Calizas con corales de Torrecilla de Cameros. Presenta una abundante fisuración por la fracturación que las afecta y tienen un

¹ Está constituido por las Fms Margas del Cerro del Pez, Calizas Bioclásticas de Barahona y Calizas de Turmiel.

notable desarrollo cárstico, resultado así una alta difusividad hidráulica (alta permeabilidad y baja porosidad).

1.2.2 Estructura geológica

Básicamente, la MASb comprende los afloramientos mesozoicos (desde el Keuper hasta el Dogger) del borde septentrional del macizo de Cameros (jurásico terminal-cretácico inf. de carácter continental) que quedan individualizados por dos grandes accidentes tectónicos: al N el frente septentrional de cabalgamiento de la orla mesozoica sobre la potente serie del terciario de la Depresión del Ebro, con orientación más o menos NO-SE y vergencia S, en la que el plano de contacto entre el mesozoico y el Terciario aflora escasamente. Al S la falla asociada al hundimiento del conjunto Purbeck-Weald (relleno fluvio-lacustre de la Cuenca de Cameros) cuyo salto podría ser de unos 1.000m. Destaca, a su vez, la presencia de un fuerte nivel de despegue a favor de los materiales margo-evaporíticos en facies Keuper (Figuras 1 y 2). Esta franja se encuentra fuertemente tectonizada con fracturación intensa, lo que ocasiona que la serie mesozoica se encuentre muy deformada, con los materiales Jurásicos conformando bloques fallados con direcciones NNO-SSE y una geometría en laxo sinclinal en profundidad de la Cuenca de Cameros. Al O de Villarroya la serie del Jurásico marino aparece bastante completa, buzando entre 0° y 50° al S, cabalgando sobre la Fm Arenas de Escucha-Utrillas, en rellano de bloque superior, cuyo contacto con el Terciario es, hasta Peña Isasa, una discordancia colocada en posición vertical. Hacia el O, la Fm Arenas de Escucha-Utrillas se encuentran cabalgando sobre los conglomerados terciarios en un dispositivo de doble cabalgamiento. Entre Peña Isasa y Muro de Aguas se observan varias fallas de plano vertical y direcciones NO-SE y NNO-SSE que afectan al Jurásico marino y a los materiales basales de las facies weald.

La estructura de la Sierra de Cameros refleja la inversión tectónica de la serie mesozoica ocurrida durante el Terciario, siendo la geometría en esta zona una rampa en el bloque inferior, con buzamiento en torno a los 30° hacia la parte central, donde aparece un rellano en los dos bloques desarrollado en los materiales Triásicos (Figura 3). El sentido de desplazamiento del bloque superior es hacia el NNO. Gracias a la sísmica reflexión y a datos de sondeos profundos se ha deducido el carácter fuertemente cabalgante de la Sierra de Cameros, con un desplazamiento máximo deducido para este cabalgamiento del orden de 30 km hacia el NNO, destacando la disposición sigmoidal de los cuerpos sedimentarios del relleno de la Cuenca de Cameros.

Las Figuras 1 y 2 muestran sendos cortes geológicos que cortan transversalmente la MASb a la altura de Jubera (corte con dirección NO-SE) y las cercanías de Arnedillo (corte con dirección NE-SO), respectivamente.

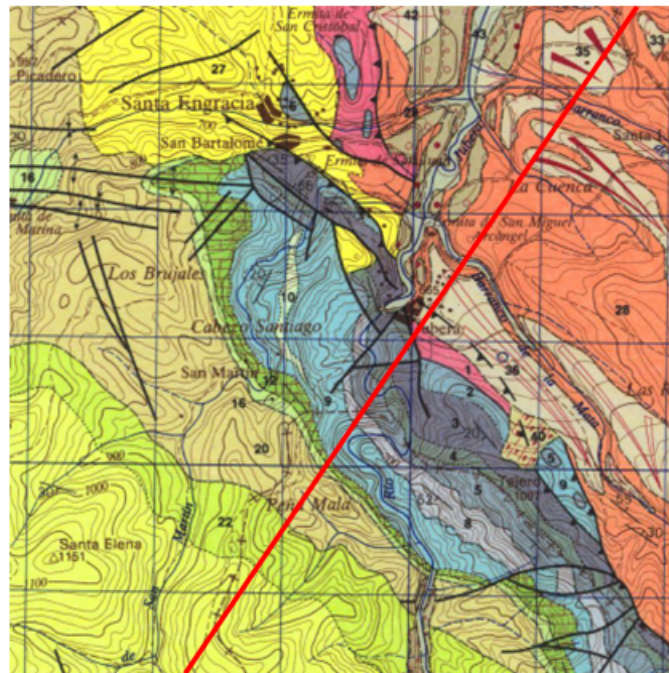
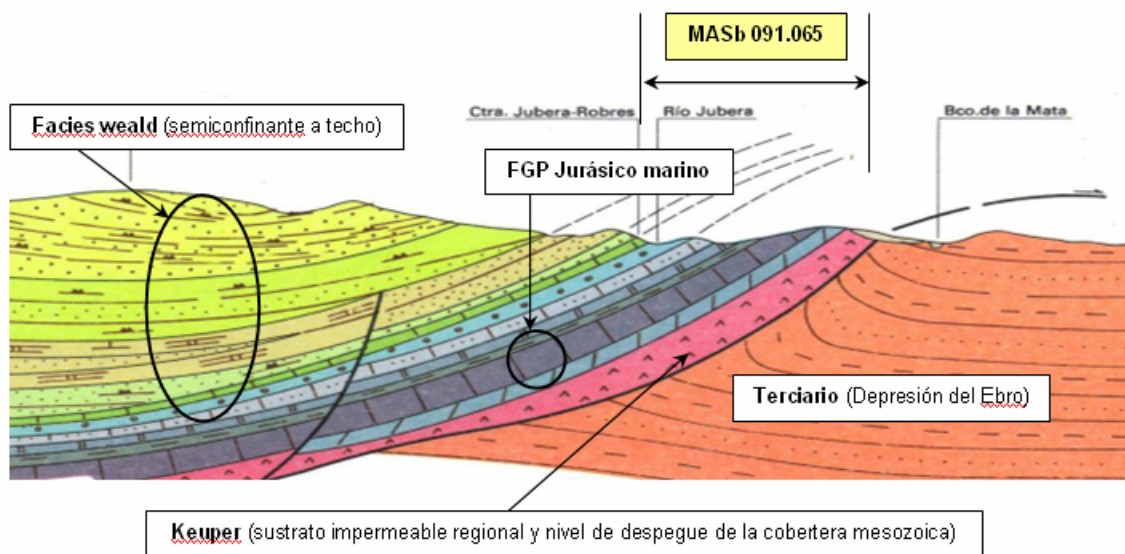


Figura 1. Corte geológico de la MASb 091.066 Fitero-Arnedillo en la localidad de Jubera. Tomado de MAGNA nº 242.

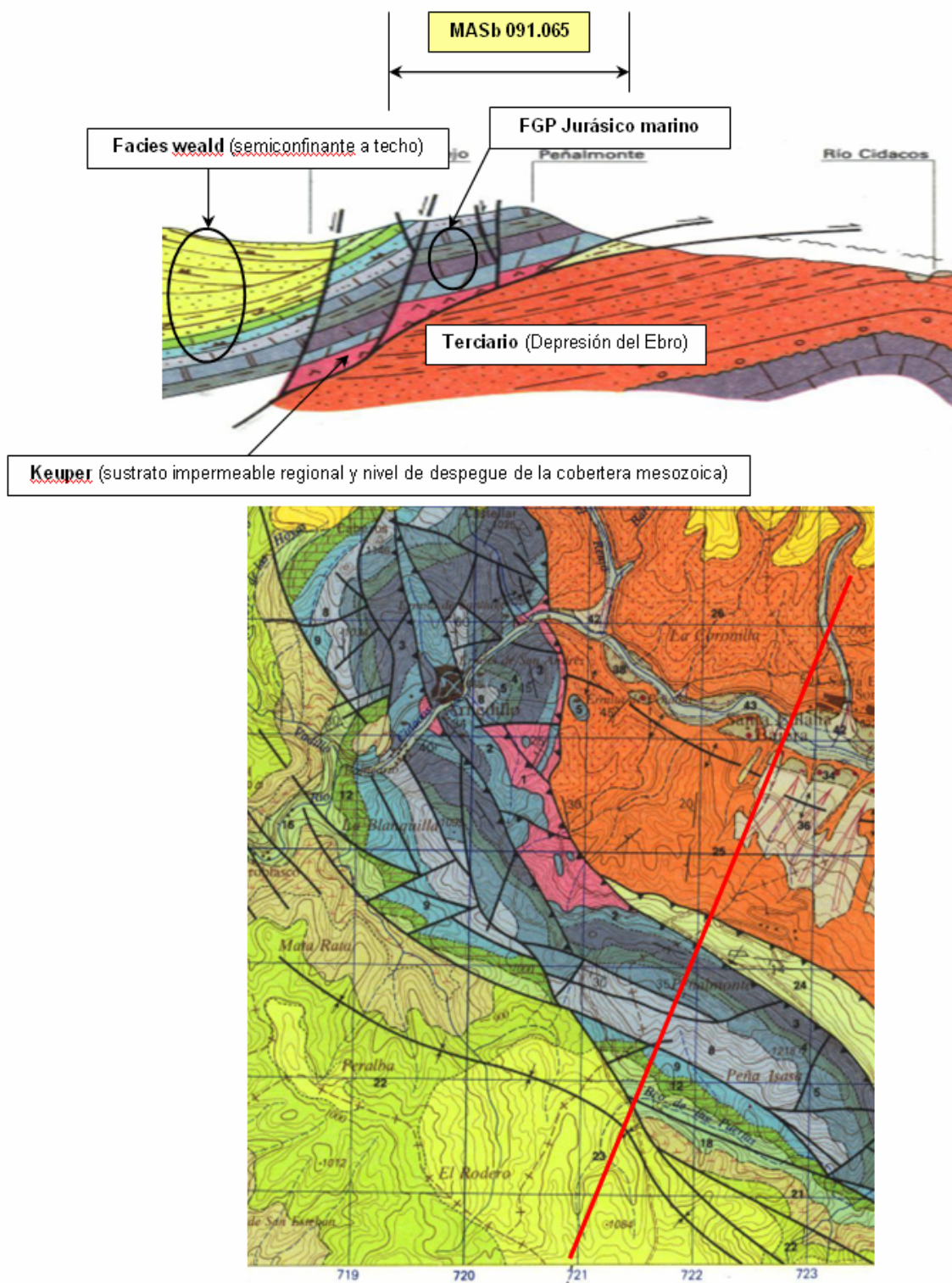


Figura 2. Corte geológico de la MASb 091.066 Fitero-Arnedillo an las cercanías de Arnedillo. Tomado de MAGNA nº 242.

1.2.3 Funcionamiento hidrogeológico

En la MASb 091.066 Fitero-Arnedillo se ha identificado que en la FGP Jurásico marino la circulación del agua tiene lugar por dos tipos de flujo: profundo y somero, cuya génesis obedece a causas distintas, aunque en las zonas de descarga de Baños de Fitero y Arnedillo puedan confluir ambas tipologías de descargas.

La recarga de la FGP Jurásico marino se produce por infiltración directa de las precipitaciones en los afloramientos y por percolación del agua infiltrada en los materiales en facies purbeck-weald que no es descargada por pequeños manantiales. Estos materiales son predominantemente poco permeables, lo que unido a las elevadas pendientes que presentan hace que la escorrentía directa sea claramente predominante frente a la infiltración. Sin embargo, sus características de acuitardo y su gran extensión areal (ocupan buena parte de la superficie de la vecina MASb 091.069 Cameros) permiten que la recarga de la FGP Jurásico marino pueda ser importante.

En líneas generales, cuando las MAS que atraviesan la MASb lo hacen por los materiales de la FGP Jurásico marino, aquellas actúan como nivel de base para la descarga de los flujos subterráneos. De este modo, las descargas tienen lugar en la zona cabalgante, en la que se ponen en contacto los materiales de la FGP Jurásico marino con las facies margo-evaporíticas del Keuper o el Terciario. Estas descargas son de tipo difuso y tienen lugar en los puntos más bajos de ese contacto, en la zona en la que los cauces superficiales lo cortan, constituyendo tramos influentes.

De las dos tipologías de flujo deducidas en la MASb, el primer tipo es lento y profundo, y está originado por la percolación que se produce a través de los materiales en del macizo de Cameros. Esta circulación da lugar a un importante flujo regional de agua subterránea que discurre a través de fracturas y de la Fm Carniolas de Cortes de Tajuña (colector general), en contacto con las facies margo-evaporíticas del Keuper, que conforman el impermeable basal de la FGP. Esto último se ha puesto de manifiesto mediante sondeos del petróleo realizados en la zona, en la que se evidenciado una anomalía geotérmica que comporta un flujo térmico elevado y, posiblemente, acumulaciones puntuales de calor en trampas geotérmicas. Así el recalentamiento del agua y su elevado confinamiento crean un rápido flujo ascendente que se manifiesta en las surgencias termales de Baños de Fitero y Arnedillo, principales descargas de la FGP Jurásico marino en la MASb (Figura 3). Estas descargas se caracterizan por presentar un caudal constante, temperatura algo inferior a los 50°C y con una facies hidroquímica de aguas cloruradas sódicas de elevada mineralización.

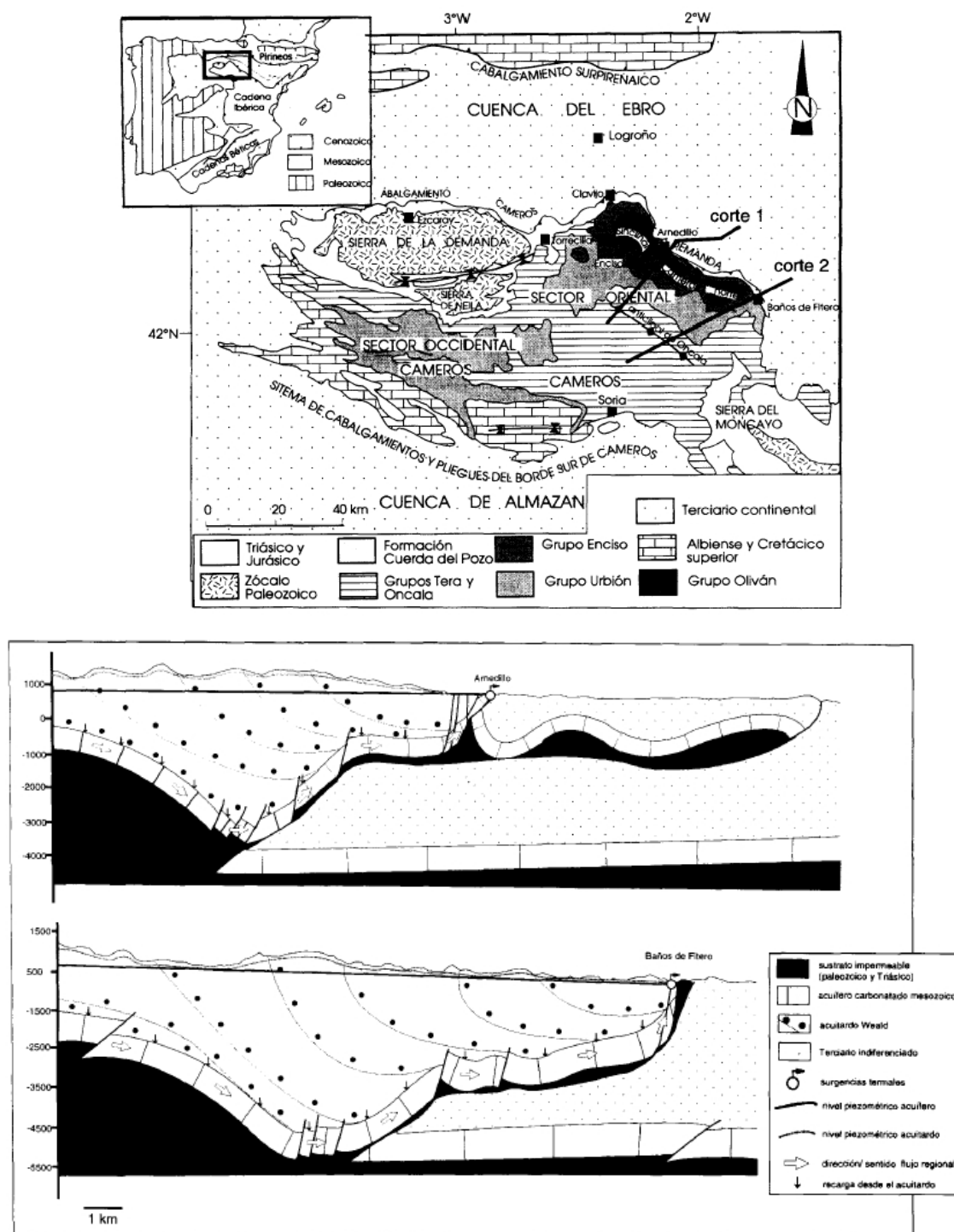


Figura 3. Localización y cortes hidrogeológicos esquemáticos del funcionamiento de la FGP Jurásico marino y las descargas localizadas en la MASb 091.066 relacionadas con flujos regionales. El corte 1 superior interpreta el sistema de flujo que origina las surgencias Arnedillo (La Rioja) y el 2 inferior las de Baños de Fitero (Navarra). Tomado de Coloma López, P. et al., 1997.

El segundo tipo de flujo se produce cuando el agua alcanza la primera zona cárstica de la FGP Jurásico marino, afectada por una intensa fracturación, siendo éste un flujo rápido y muy influenciado por el régimen pluviométrico y de deshielo. Estas descargas se caracterizan por presentar un caudal más irregular, temperatura inferior a los 20°C y con una facies hidroquímica de aguas bicarbonatadas cálcicas de baja mineralización. En las zonas de Jubera, Fitero y Arnedillo se han identificado descargas de este tipo de flujo.

2. Estaciones de control y medidas de caudales

Las estaciones de medida y control de la MASb 091.066 Fitero-Arnedillo corresponden a una única estación oficial de aforos de la CHE situada en el río Cidacos en Arnedillo (EA nº 253), a algunas secciones de control de la red histórica de control de aguas subterráneas del IGME y a numerosos puntos de control de caudales de la CHE.

2.1 Estaciones de la red oficial de aforos

La red oficial de aforos que la CHE mantiene incluye una estación, la EA nº 253, situada en la localidad de Arnedillo y que controla el caudal del río Cidacos a su paso por la citada localidad, aguas abajo de la zona de descarga de los manantiales de Arnedillo. Esta estación dispone de una serie incompleta, con datos del periodo comprendido entre 1990 y 2002.

Código estación de control	Nombre de la estación	Estado	Ubicación geográfica			Cauce		Serie de Datos		
			Coordenada UTM Huso 30		Cota (m snm)	Nombre	MAS (codificación CEDEX)	Número de datos disponibles	Amplitud de la serie	Índice de representatividad
			X	Y						
253	Arnedillo	Activa	563388	4674043	657	Cidacos	288	4.321	Oct 1991 a Sept 2002	-

Tabla 1. Estaciones de medida y control correspondientes a la red oficial de aforos

2.2 Estaciones de la red oficial de control hidrométrico

Según la información recopilada, no se dispone de puntos pertenecientes a la red oficial de control hidrométrico en esta MASb.

2.3 Otra información hidrométrica

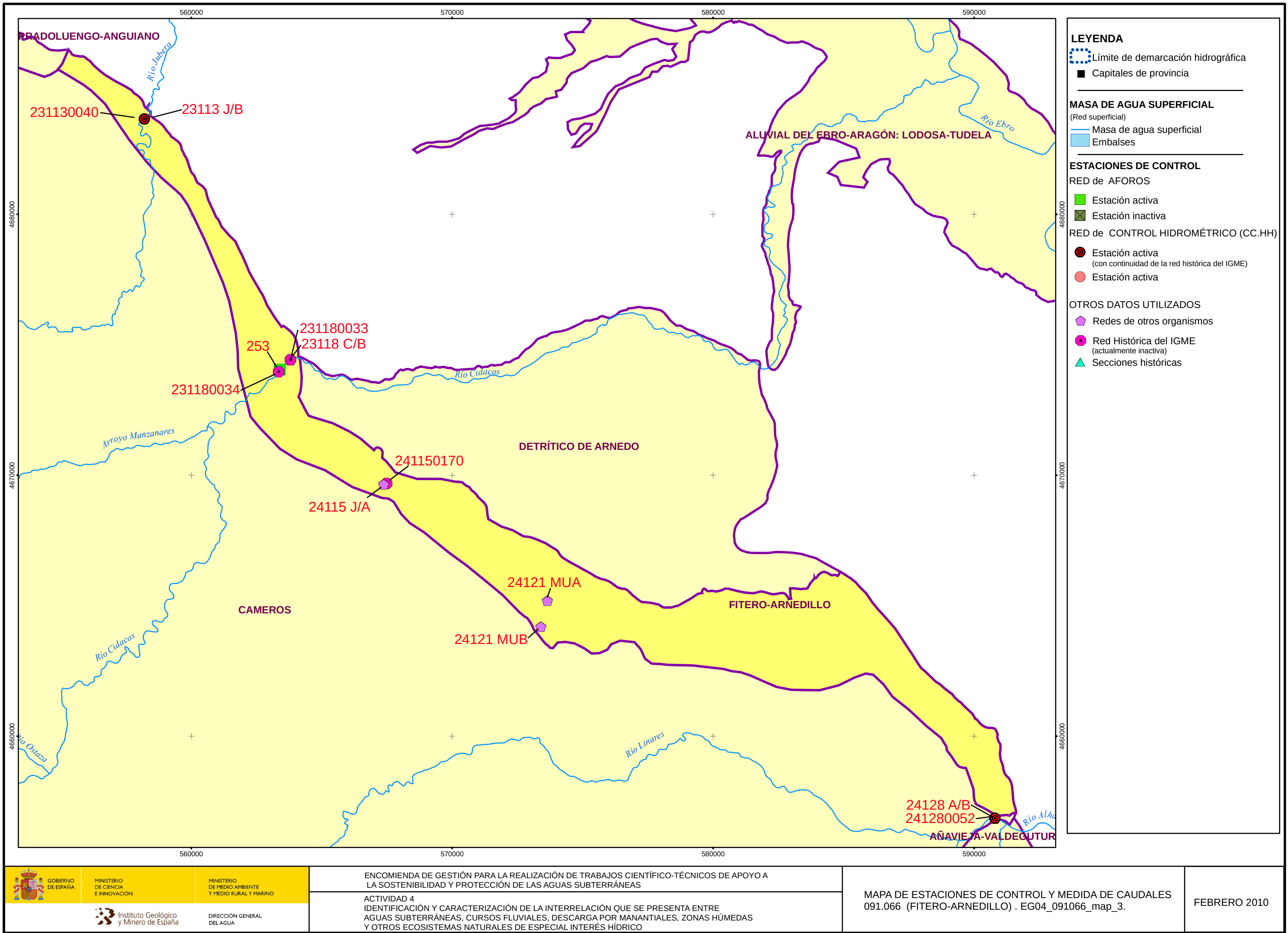
Se tiene constancia de medidas específicas realizadas en el ámbito geográfico de la MASb por la CHE en puntos de control que pudieron medirse bien durante un periodo de tiempo, bien ocasionalmente; así como datos de aforos realizados por el IGME en las secciones de control que conformaron la red histórica de control hidrométrico de este organismo. Las secciones y puntos de control quedan sintetizadas en la siguiente tabla.

Se ha optado por incluir en la tabla 6 puntos de control (4 secciones históricas del IGME y 2 de la CHE) que, si bien no se encuentran dentro de los límites de la MASb 091.066 sino en la vecina MASb 091.069, pudieran resultar de utilidad a la hora de cuantificar algunos de los tramos identificados. Se ha optado por representarlas en color azul en la tabla.

Código estación		Observaciones	Datos de Caudal				
Código	Referencia bibliográfica		Número de datos	Amplitud de la serie	Caudal mínimo (l/s)	Caudal promedio (l/s)	Caudal máximo (l/s)
23113 J/A	IGME	Río Jubera en Robres del Castillo	8	Jun 90 – nov 94	5	53	262
23113 J/B	IGME	Río Jubera en Jubera	8	Sep 90 – nov 94	5,7	29	85
23118 C/B	IGME	Puente Santiago. Río Cidacos aguas abajo de Arnedillo.	28	Oct 83 – jun 01	50	125	2.883
23118 C/A	IGME	Río Cidacos en Peroblasco, aguas arriba de Arnedillo.	27	Oct 83 – jun 01	0	631	2.875
24115 J/A	IGME	Manantial de San Juste	5	Sep 90 – nov 94	5	11	18
24121 MUB	IGME	Manantial. Arroyo Muro de Aguas	336	Sep 90 – ago 91	0	2,9	14,3
24121 MUA	IGME	Manantial. Arroyo Muro de Aguas en lavadero	444	Jun 89 – jun 01	1	4,4	15
24128 A/A	IGME	Río Alhama antes de Baños de Fitero	18	Oct 90 – jun 01	24	461	3.028
24128 A/B	IGME	Río Alhama después de Baños de Fitero	19	Oct 91 – jun 01	94	502	3.007
	231130039 ⁽¹⁾	Escalera Jubera en Robres del Castillo	4	sep 90 – nov 91	10	26	50
	231130040 ⁽¹⁾	Escalera Jubera en Jubera	4	sep 90 – ago 91	5,7	18,7	50
	231180033 ⁽¹⁾	Escalera Puente Santiago. Río Cidacos aguas abajo de Arnedillo.	31	sep 90 – abr 06	44	937	3.841
	231180031 ⁽¹⁾	Escalera Puente Peroblasco. Río Cidacos aguas arriba de Arnedillo.	33	sep 90 – jun 06	0	814	3.317
	231180034 ⁽¹⁾	Escalera Congosto. Río Cidacos en Arnedillo.	4	sep 90 – ago 91	83	234	446
	241150170 ⁽¹⁾	San Juste	1	sep 90		12	

(1) Punto de control realizado por la CHE.

Tabla 2. Datos en estaciones de medida y control hidrométrico



3. Identificación y caracterización de los tramos de río relacionados con acuíferos

En líneas generales, en la MASb 091.066 Fitero-Arnedillo las descargas de la **FGP Jurásico marino** se verifican o bien a través de la red fluvial por salidas directas o mediante manantiales ubicados en sus proximidades, al actuar los ríos como niveles de base, o bien a través de manantiales termales asociados a flujos regionales profundos que circulan hasta las Carniolas de Cortes de Tajuña, que actúan como colector regional del drenaje, y que surgen en el contacto entre la unidad cabalgante de Cameros y el Terciario detrítico del Ebro, como es el caso de manantiales termales en Arnedillo y Baños de Fitero.

3.1 *Identificación y Modelo Conceptual*

Dentro de la MASb 091.066 Fitero-Arnedillo se han definido 4 tramos donde existe conexión hidráulica entre los ríos y la FGP Jurásico marino.

Los tramos identificados son los siguientes:

- **Tramo río Jubera I** (091.066.001-tramo conectado con la MAS código 277).
Corresponde al tramo del río Jubera en el que éste discurre dentro de la franja tectonizada mesozoica por los materiales permeables de la FGP, aguas arriba de la localidad de Jubera, hasta una cota aproximada de 600m snm. En total puede decirse que se trata de unos 800m de longitud del tramo en el que la MAS es drenada a favor de la FGP Jurásico marino. La MAS relacionada es el río Jubera desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Leza, que corresponde con un río de montaña mediterránea calcárea.
- **Tramo río Jubera II** (091.066.002-tramo conectado con la MAS código 277).
Corresponde al tramo del río Jubera en el que éste discurre por los materiales permeables del Lías de la franja tectonizada mesozoica. Se inicia ligeramente aguas arriba de la localidad de Jubera, a una cota aproximada de 598m snm (Coloma López, P., et al., 1997), en la intersección del cauce con el frente cabalgante de Cameros, y acaba unos cientos de metros aguas abajo. En este tramo de unos 500m, esto es, hasta el límite de la MASb, la MAS recibe la descarga difusa y directa a través del manantial de la Fuente del Lavadero de la FGP Jurásico marino. La MAS relacionada es el río Jubera desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Leza, que corresponde con un río de montaña mediterránea calcárea.

- **Tramo río Cidacos (manantiales de Arnedillo)** (091.066.003-tramo conectado con la MAS código 288). Corresponde al tramo del río Cidacos en el que éste recibe la descarga difusa de la FGP Jurásico marino y directa a través de diversos manantiales termales y no termales situados en la población de Arnedillo. De acuerdo con Coloma López, P., et al., 1998d, la descarga difusa tiene lugar entre las cotas de 685 y 645m snm, en el tramo de unos 1.500 en que la MAS atraviesa las Fms basales de la FGP en el frente de cabalgamiento de Cameros. Se han identificado 5 manantiales que descargan muy cerca unos de otros, a una cota de 675m snm (Coloma López, P., et al., 1997), conformando un tramo de unos 400m. La MAS relacionada es el río Cidacos desde el río Manzanares y el inicio de la canalización de Arnedillo hasta su desembocadura en el río Ebro, que corresponde con un río de montaña mediterránea calcárea.
- **Tramo río Alhama (manantiales de Baños de Fitero)** (091.066.004-tramo conectado con la MAS código 297). En este tramo del río Alhama su paso por la localidad de Baños de Fitero tienen lugar descargas difusas no termales y directas en forma de manantiales termales de un flujo regional profundo que se canaliza a través de la FGP Jurásico marino (la circulación se produce a través de la Fm Carniolas de Cortes de Tajuña) entre las cotas de 501 y 435m snm, en el tramo de unos 800 en que la MAS atraviesa las Fms basales de la FGP en el frente de cabalgamiento de Cameros. La MAS relacionada es el río Alhama desde el río Linares hasta el río Añamaza, que corresponde con un río de montaña mediterránea calcárea.

Código del tramo	Nombre del cauce	MAS relacionada según codificación CEDEX		Características de la MAS a relacionada			Formación Geológica Permeable
		Código	Nombre	Categoría	Tipología	Alteración	
091.066.001	Río Jubera	277	Río Jubera desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Leza	Río	Río de montaña mediterránea calcárea	Masa natural	Jurásico marino
091.066.002	Río Jubera	277	Río Jubera desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Leza	Río	Río de montaña mediterránea calcárea	Masa natural	Jurásico marino
091.066.003	Río Cidacos	288	Río Cidacos desde el río Manzanares y el inicio de la canalización de Arnedillo hasta su desembocadura en el río Ebro	Río	Río de montaña mediterránea calcárea	Masa natural	Jurásico marino
091.066.004	Río Alhama	297	Río Alhama desde el río Linares hasta el río Añamaza	Río	Río de montaña mediterránea calcárea	Masa natural	Jurásico marino

Tabla 3. *Identificación de los tramos de ríos conectados*

A continuación se describe el modelo conceptual de la relación río-acuífero de los tramos identificados en la MASb Fitero-Arnedillo.

- **Tramo río Jubera I (091.066.001).** En este tramo del río Jubera el agua se infiltra a través de los materiales carbonatados permeables del Lías, drenando la FGP Jurásico marino a la MAS, ya que el nivel piezométrico se encuentra por debajo del nivel de base del río en dicho tramo. Esto se ha podido constatar a partir de las informaciones recogidas en la bibliografía consultada (Coloma López, P., 1998a) y del dato procedente de dos sondeos de la red piezométrica de la CHE situados en las cercanías del tramo: IPA 231130018, situado en Robres del Castillo a 670m snm y perforado hasta la FGP a 210m de profundidad, cuyo nivel piezométrico se encontró a cota 632m snm, lo que lo sitúa por debajo del nivel de base del río Añamaza en el inicio del tramo considerado (655m snm al inicio y al final del tramo), y NIPA 231130019 SGOP-2J, situado en Santa Engracia a 650m snm y perforado hasta la FGP a 200m de profundidad, cuyo nivel piezométrico se encontró a cota 638m snm, lo que lo sitúa ligeramente por debajo del nivel de base del río Jubera en el final del tramo considerado (635m snm), cerca del ya del inicio del tramo efluente del río (descrito en el siguiente tramo).

El modelo conceptual del tramo corresponde a un río perdedor con conexión difusa directa en cauces influentes (código 402-Conexión difusa directa en cauces influentes). En este tramo el río dispone de un régimen hidrológico natural.

- **Tramo río Jubera II (091.066.002).** Corresponde al tramo del río Jubera en el que éste discurre por los materiales permeables del Lías de la franja tectonizada mesozoica y recibe la descarga difusa de la FGP Jurásico marino y directa a través del manantial conocido como “Fuente del Lavadero”. El tramo se inicia ligeramente aguas arriba de la localidad de Jubera, a una cota aproximada de 598m snm (Coloma López, P., et al., 1997), en la intersección del cauce con el frente cabalgante de Cameros, y acaba unos 500m aguas abajo, en el límite de la MASb. El manantial código IPA CHE 231130014 (aforado en ene 97 en 5 l/s) se sitúa en la localidad homónima y corresponde a la descarga de la FGP Jurásico marino que se produce en el contacto por falla entre las Carniolas de Cortes de Tajuña y las Dolomías tableadas de Cuevas Labradas y las facies purbeck (arenas y conglomerados calcáreos), de manera que se produce un contraste de permeabilidad (barrera brusca) y, consecuentemente, un rebose natural a una cota de 620m snm.

El modelo conceptual del tramo corresponde a un río ganador con conexión mixta difusa directa y a través de manantiales (código 471-Conexión mixta difusa directa y a través de manantiales en cauces efluentes). En este tramo el río dispone de un régimen hidrológico natural.

- **Tramo río Cidacos (manantiales de Arnedillo) (091.066.003).** En este tramo del río Cidacos a su paso por la localidad de Arnedillo, y a una cota en torno a los 675m snm, tiene lugar la descarga directa en forma de manantiales termales de un flujo regional profundo que se canaliza a través de la FGP Jurásico marino. En concreto la circulación se

produce a través de la Fm Carniolas de Cortes de Tajuña. Esta descarga se produce en virtud de un brusco contraste de permeabilidades provocado por el frente de cabalgamiento de Cameros, que pone en contacto a la Fm basal de la FGP Jurásico marino con las facies margo-evaporíticas del Keuper, originando un rebose hidrogeológico (Figuras 2 y 3). Esta descarga presenta un caudal constante y su temperatura es cercana a los 50°C, siendo su composición clorurada sódica. Además, entre los 685 y 645m snm, se produce la descarga difusa al cauce del Cidacos y directa en forma de manantiales no termales de la FGP Jurásico marino (Coloma López, P., et al., 1988d), durante el tramo en el que la MAS atraviesa las Fms basales de la FGP. Estas descargas, sin embargo, muestran un régimen más irregular y una temperatura y mineralización notablemente más bajos.

De este modo, se pone en evidencia la presencia de dos tipos de flujo en este tramo, uno asociado a las surgencias termales de caudal y parámetros físico-químicos bastante constantes en el tiempo que indicarían la relación con un acuífero cárstico de elevado poder regulador, elevada inercia y reservas importantes, correspondiente a un flujo profundo de carácter regional. La otra circulación sería de régimen típicamente cárstico relacionada con un sistema de menor capacidad de regulación y de respuesta más rápida a los episodios de recarga, que descargaría esencialmente a través de los afloramientos jurásicos del entorno de Arnedillo.

Los manantiales que surgen en Arnedillo son los siguientes: manantiales de Baños de Arnedillo (IPA CHE 231180011, 231180012 y 231180013) y manantiales de “Las Pozas”, ubicados en el propio cauce del río Cidacos (IPA CHE 231180022 y 231180025).

El modelo conceptual del tramo corresponde a un río ganador con conexión mixta difusa directa y a través de manantiales (código 471-Conexión mixta difusa directa y a través de manantiales en cauces efluentes). En este tramo el río dispone de un régimen hidrológico natural.

- **Tramo río Alhama (manantiales de Baños de Fitero)** (091.066.004). Igual que sucede en el tramo anterior en Arnedillo, en este tramo del río Alhama su paso por la localidad de Baños de Fitero tienen lugar descargas directas en forma de manantiales termales y, en menor medida, difusas al río. Estas últimas se originan por un flujo regional profundo que se canaliza a través de la FGP Jurásico marino (la circulación se produce a través de la Fm Carniolas de Cortes de Tajuña) entre las cotas de 501 y 435m snm. Esta descarga se produce en virtud de un brusco contraste de permeabilidades provocado por el frente de cabalgamiento de Cameros, que pone en contacto a la Fm basal de la FGP Jurásico marino con las facies margo-evaporíticas del Keuper, originando un rebose hidrogeológico (Figura 3). Sus rasgos característicos son la elevada temperatura de emergencia (algo menos de 50°C), elevada mineralización (entre 4.500 y 5.000 mg/l) y su facies hidroquímica (clorurada sódica) y que sus aguas son utilizadas con fines mineromedicinales en sendos centros balnearios: el Virrey Palafox, que surge a cota 501m snm y con un caudal constante de 18 l/s, y el Gustavo Adolfo Bécquer, que lo hace a cota 499m snm y un caudal

constante de 30 l/s (Coloma López, P., 1988b). Estas surgencias se ubican en fracturas que afectan a materiales del Gr. Tera (facies weald del relleno de la cuenca de Cameros) y funcionan como vías preferentes de ascenso de los flujos termales desde los materiales carbonatados jurásicos. Los manantiales termales que surgen en Baños de Fitero son los siguientes:

- Balneario Viejo (IPA CHE 241280020).
- Baños Palafox (IPA CHE 241280025).
- Baños Bécquer (IPA CHE 241280026).
- Monasterio de Fitero (IPA CHE 241280006).
- IPA CHE 241280005.
- Fuente Badillo (IPA CHE 241280007).

Asimismo, en la intersección del cauce del río Alhama, pero dentro de la vecina MASb 091.069 Cameros y en el contacto con el manto cabalgante, se localizan otros manantiales que descargan directamente al río y descargas difusas, provenientes en parte de la FGP Dogger-Malm de la vecina MASb 091.070 Añavieja-Valdegutur (Coloma López, P., et al., 1997).

El modelo conceptual del tramo corresponde a un río ganador con conexión mixta difusa directa y a través de manantiales (código 471-Conexión mixta difusa directa y a través de manantiales en cauces efluentes). En este tramo el río dispone de un régimen hidrológico natural.

Código del tramo	Nombre del cauce	Modelo conceptual relación río-acuífero	Régimen hidrogeológico	Características del lecho del cauce	Hidrogeología del techo	Génesis de la descarga	Longitud del tramo (m)
091.066.001	Río Jubera	Conexión difusa directa en cauces influentes	Natural	Sin lecho o de muy limitado desarrollo	-	Infiltración a través de los materiales permeables de la FGP Jurásico marino	800
091.066.002	Río Jubera	Conexión mixta difusa directa y a través de manantiales en cauces efluentes	Natural	Sin lecho o de muy limitado desarrollo	-	Descarga hidráulica directa en tramo permeable.	500
091.066.003	Río Cidacos	Conexión mixta difusa directa y a través de manantiales en cauces efluentes	Natural	Sin lecho o de muy limitado desarrollo	-	Descarga hidráulica en tramo permeable debido a rebose hidrogeológico asociado al frente de cabalgamiento de Cameros.	1.500
091.065.004	Río Alhama	Conexión mixta difusa directa y a través de manantiales en cauces efluentes	Influenciada	Con depósitos Cuaternarios	-	Descarga hidráulica en tramo permeable debido a rebose hidrogeológico asociado al frente de cabalgamiento de Cameros.	800

Tabla 4. *Modelo conceptual relación río-acuífero según tramos*

3.2 Relación río-acuífero

Los tramos de cauces en los que se han definido conexión río-acuífero en la MASb 091.066 Fitero-Arnedillo corresponden a:

- Tramos perdedores mediante conexión difusa indirecta con efecto ducha (091.065.001).
- Tramos ganadores con conexión difusa directa y descarga a través de uno (091.066.002) varios manantiales (091.066.003 y 091.066.004).

Así pues, las cuantificaciones presentadas se han podido realizar o bien porque para los tramos identificados se ha encontrado alguna estación oficial de aforos aguas abajo de los tramos identificados (EA nº 253 para el tramo 091.066.003) o existe información en las bases de datos de la CHE y/o IGME de aforos diferenciales, o se han recopilado estimaciones de caudales que aparecen recogidos en la bibliografía consultada².

3.2.1 Análisis de series de aforos

En la MASb Fitero-Arnedillo sólo se encuentra una estación oficial de aforos que resulta útil para cuantificar la relación río-acuífero en el tramo 091.066.003. La EA de la CHE nº 253 dispone de una serie incompleta que comprende el periodo de 1990 a 2002.

Se ha procedido a descomponer por el método Barnes el hidrograma de la serie media mensual correspondiente al periodo que va desde octubre de 1990 a septiembre de 2002 en la EA nº 253 (Figura 4) y cuyo resultado arroja los siguientes valores:

- Aportación media anual: 1.234 l/s
- Aportación subterránea: 442 l/s (36%)
- Aportación superficial: 792 l/s (64%)

² Fundamentalmente, Coloma López, P., 1998a, Coloma López, P., 1988b y Coloma López, P. et al., 1997.

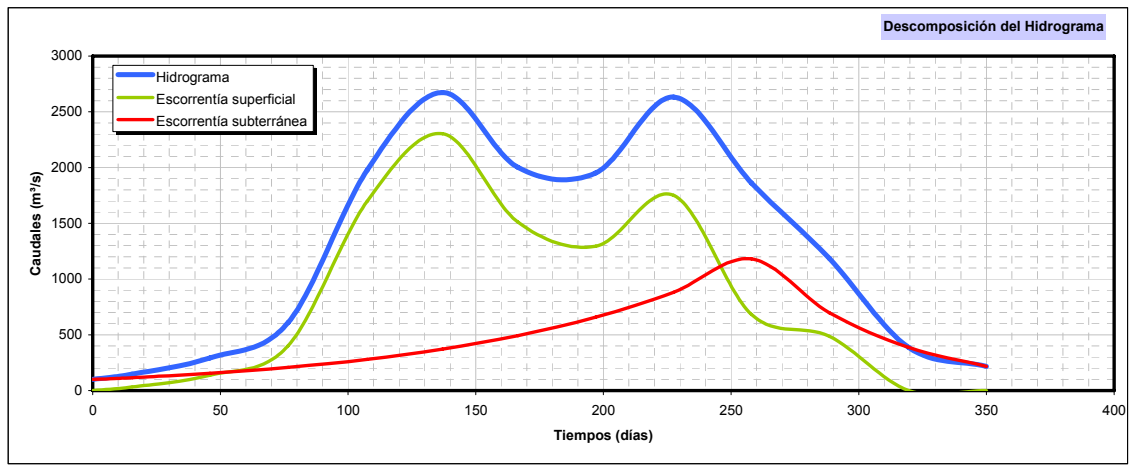


Figura 4. Descomposición del hidrograma (método Barnes) de la estación de aforos nº 253 (Cidacos en Arnedillo)

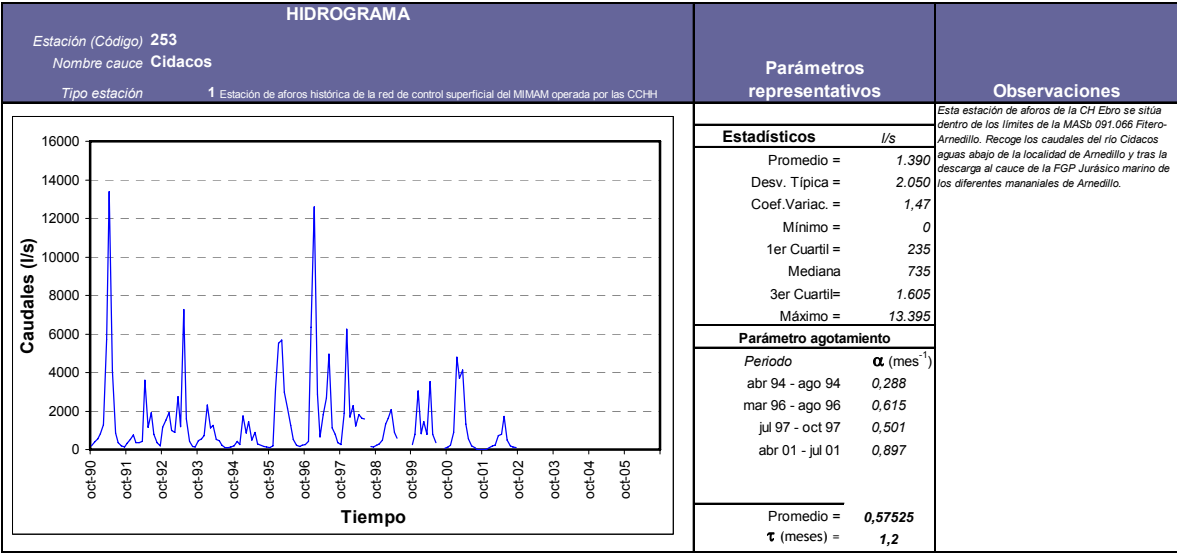


Figura 5. Análisis del hidrograma EA nº 253 (Cidacos en Arnedillo)

Según el análisis de las curvas de agotamiento del hidrograma correspondiente a la EA nº 253 (Figura 5) se obtiene un parámetro de agotamiento promedio de 0,5752 mes⁻¹, lo que implica un periodo de semi-agotamiento de 1,2 meses.

3.2.2 Otros datos hidrométricos

Los datos hidrométricos disponibles que permiten cuantificar la relaciones identificadas corresponden tanto a la CHE y/o IGME como a datos de aforos diferenciales o estimaciones de caudales que aparecen recogidos en la bibliografía consultada.

Tanto los tramos que cuentan con datos disponibles, como los propios datos, se presentan a continuación:

- Tramos 091.066.001 y 091.066.002: Tanto las pérdidas en el primer tramo como las ganancias en el segundo no pueden ser cuantificadas con datos hidrométricos existentes en las bases de datos del IGME o la CHE (aforos llevados a cabo en los puntos de control situados aguas arriba del primer tramo -puntos 231130039 y 23111 J/A- y en mitad del segundo tramo -puntos 231130040 y 23111 J/B) a la vista del resultado contradictorio que aparece al estudiarlos:
 - Aforos diferenciales llevados a cabo con datos de la CHE en los puntos de control 231130039 (serie de 4 medidas tomadas desde sep 90 hasta nov 91 y que arrojan un caudal promedio de 26 l/s) y 231130040 (serie de 4 medidas tomadas desde sep 90 hasta oct 91 y que arrojan un caudal promedio de 18,7 l/s), indican una pérdida media de 7,3 l/s.
 - Aforos diferenciales llevados a cabo con datos del IGME recogidos entre 1990 y 1994 en sus secciones históricas 23111 J/A (serie de 8 medidas tomadas desde sep 90 hasta nov 94 y que arrojan un caudal promedio de 29 l/s) y 23111 J/B (serie de 8 medidas tomadas desde sep 90 hasta nov 94 y que arrojan un caudal promedio de 53 l/s), indican una ganancia media de 24 l/s.

No obstante, para el tramo 091.066.002 datos obtenidos de *Coloma López, P., 1999* indican que el río Jubera a su paso por la localidad homónima gana un caudal variable entre 0 y 175 l/s, presentando una considerable constancia, como muestra la Figura 6.

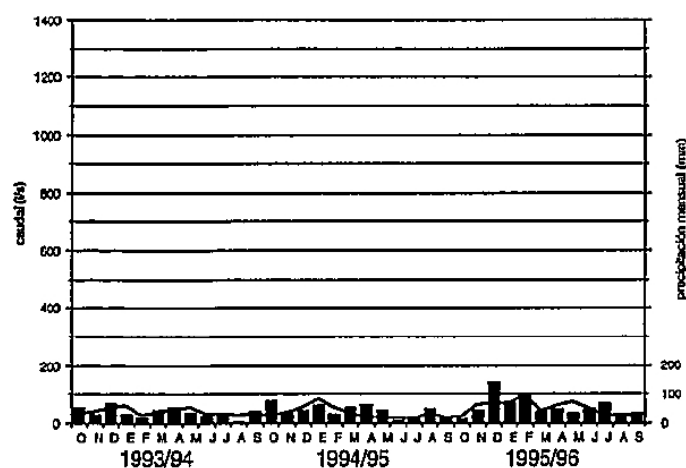


Figura 6. Hidrograma de las descargas al río Jubera para el periodo 1993-1996. Tomado de Coloma López, P. et. al, 1997.

- Tramo 091.066.003: Para el presente tramo existen diferentes datos a partir de los cuales establecer la cuantificación de los aportes al río Cidacos en Arnedillo, tal y como se presenta a continuación:
- A partir de la descomposición por el método Barnes del hidrograma de la serie media mensual correspondiente al periodo que va desde octubre de 1990 a septiembre de 2002 en la EA nº 253, situada aguas abajo de Arnedillo, se obtiene una aportación subterránea media de 136,1 l/s (11% del caudal circulante).
 - De Coloma López, P. et. al, 1997, para un periodo de control que va desde 1993 a 1996, se obtiene un caudal medio para el tramo citado, incluyendo manantiales y descargas difusas, de 172 l/s, con caudales que oscilan entre los 27 y los 385 l/s (Figura 7).
 - Aforos llevados a cabo por la CHE entre los puntos de control de la CHE en el río Cidacos 231180031 (serie de 33 medidas tomadas desde sep 90 hasta abr 06 y que arrojan un caudal promedio de 814 l/s) y 231180033 (serie de 31 medidas tomadas desde sep 90 hasta abr 06 y que arrojan un caudal promedio de 938 l/s), indican una ganancia media de 124 l/s.
 - Aforos llevados a cabo por el IGME en las secciones históricas 23118 C/A (serie de 27 medidas tomadas desde oct 83 hasta jun 01 y que arrojan un caudal promedio de 631 l/s) y 23118 C/B (serie de 28 medidas tomadas desde oct 83 hasta jun 01 y que arrojan un caudal promedio de 726 l/s), indican una ganancia media de 95 l/s.

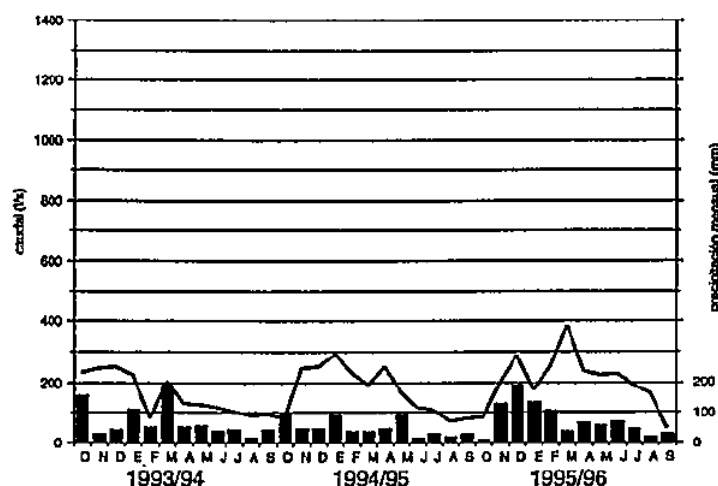


Figura 7. Hidrograma de las descargas al río Cidacos para el periodo 1993-1996.
Tomado de Coloma López, P. et. al, 1997.

- Tramo 091.066.004: Para el presente tramo existen diferentes datos a partir de los cuales establecer la cuantificación de los aportes al río Alhama en Baños de Fitero, tal y como se presenta a continuación:
- De Coloma López, P. et. al, 1997, para un periodo de control que va desde 1993 a 1996, se obtiene un caudal medio para el tramo citado, incluyendo manantiales termales que desaguan al río por el arroyo del Baño y las descargas difusas al río, de 112 l/s, con caudales que oscilan entre los 23 y los 287 l/s (Figura 8).
 - Aforos llevados a cabo por la CHE entre los puntos de control de la CHE, situados en el río Alhama en la vecina MASb 091.069 Cameros, 241280051 (serie de 69 medidas tomadas desde sep 89 hasta abr 06 y que arrojan un caudal promedio de 603 l/s) y 241280052 (serie de 70 medidas tomadas desde sep 89 hasta abr 06 y que arrojan un caudal promedio de 760 l/s), indican una ganancia media de 157 l/s. No obstante, el aforo diferencial entre estos puntos es posible que incluya parte de las aportaciones difusas provenientes de la FGP Dogger-Malm de la MASb 091.070 Añavieja-Valdegutur, que tienen en esta zona su descarga principal.
 - Aforos llevados a cabo por el IGME en las secciones históricas 24128 A/A (serie de 18 medidas tomadas desde oct 91 hasta jun 01 y que arrojan un caudal promedio de 461 l/s) y 24128 A/B (serie de 19 medidas tomadas desde oct 91 hasta jun 01 y que arrojan un caudal promedio de 502 l/s), indican una ganancia media de 41 l/s. Igual que para la cuantificación anterior, el aforo diferencial entre estos puntos es posible que incluya parte de las aportaciones difusas provenientes de la FGP Dogger-Malm de la MASb 091.070 Añavieja-Valdegutur.

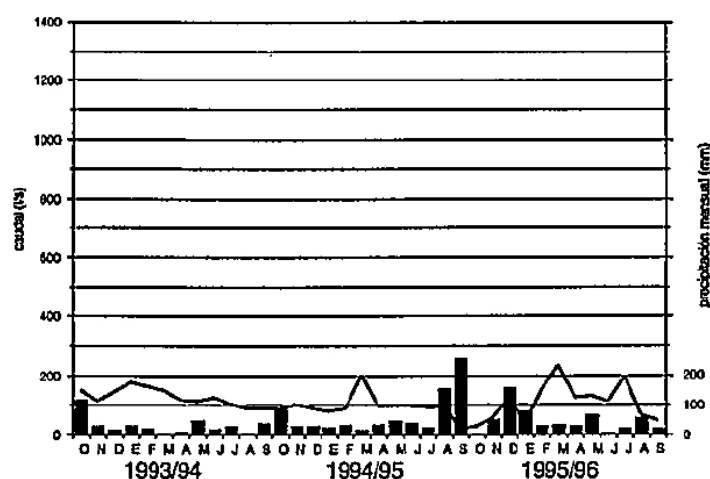


Figura 8. Hidrograma de las descargas al río Alhama para el periodo 1993-1996. Tomado de Coloma López, P. et. al, 1997.

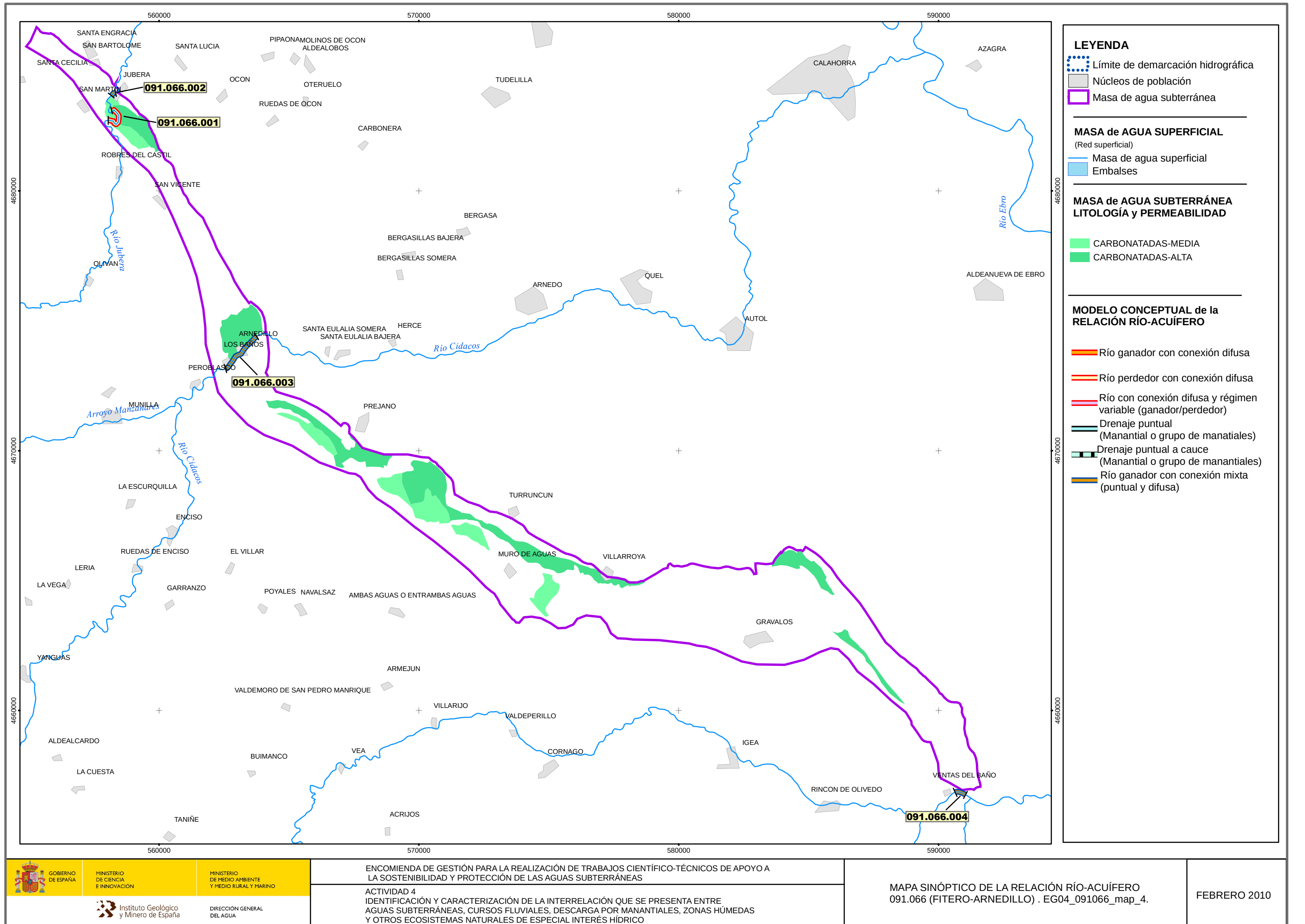
Código Tramo	Cuantificación				Régimen hidrológico	Observaciones
	Descarga puntual QCD (l/s)	Conexión difusa				
		Relación Unitaria de Transferencia RUT (l/s/m)	Amplitud de la serie (ASU)	Número de datos (NAE)		
091.066.001	No existen datos				Natural	Las pérdidas en este tramo del río no han sido controladas.
091.066.002	- 7,3 ⁽¹⁾ 24 ⁽²⁾ 0 - 175 ⁽³⁾	-		Natural	Como puede verse por los valores obtenidos, la ganacia es muy variable. No obstante, según Coloma López, P., et al., 1997, las ganancias son constantes, de manera que el tramo es efluente siempre.	
091.066.003	124 ⁽¹⁾ 442* ⁽¹⁾ 95 ⁽²⁾ 172 ⁽³⁾	-		Natural	* Calculado mediante descomposición del hidrograma de la EA nº 253.	
091.066.004	41** ⁽¹⁾ 157** ⁽²⁾ 112 ⁽³⁾	-		Influenciado	** Estos valores calculados podrían no diferenciar la parte proveniente de los aportes difusos al río Alhama de la FGP Dogger-Malm de la MASb 091.070 Añavieja-Valdegutur, que tiene en ese tramo su descarga final.	

⁽¹⁾ Dato obtenido de aforos diferenciales practicados con datos de la base de la CHE.

⁽²⁾ Dato obtenido de aforos diferenciales practicados con datos de la base del IGME.

⁽³⁾ Dato obtenido de Coloma López, P., et al., 1997.

Tabla 5. Resumen de la cuantificación río-acuífero



4. Manantiales

A continuación se describen los manantiales existentes en la MASb 091.066 Fitero-Arnedillo, diferenciando entre manantiales principales, aquellos vinculados a la FGP Jurásico marino y que por tanto corresponden a los puntos de descarga más significativos del sistema hidrogeológico, de aquellos manantiales que están asociados a otras formaciones permeables o que constituyen puntos hidrogeológicos de menor entidad dentro de la FGP definida.

4.1 Manantiales principales

En el ámbito de la MASb Fitero-Arnedillo se han identificado diferentes manantiales que corresponden con descargas preferenciales de las FGP Jurásico marino. Estos manantiales pueden agruparse o bien presentar un carácter aislado.

- Manantial de San Juste. Se sitúa en las cercanías de la localidad de Prejano y corresponde a la descarga de la FGP Jurásico marino que se produce en el contacto por el frente Cabalgante de Cameros entre las Carniolas de Cortes de Tajuña y las Dolomías tableadas de Cuevas Labradas y el Cretácico inf. (arenas y arcillas con lechos carbonosos), de manera que se produce un contraste de permeabilidad (barrera brusca) y, consecuentemente, un rebose natural a una cota de 740m snm. Tiene el código IPA CHE 241150047. Los datos de aforos disponibles indican una descarga promedio de 45 l/s (43 medidas registradas entre sep 90 y jul 97). Además, el IGME realizó 10 aforos en el manantial en su sección histórica 24115 J/A, en el periodo sep 90 – nov 94, con los que obtuvo un caudal promedio de 11,3 l/s.

- Manantiales termales de Arnedillo. En este tramo del río Cidacos a su paso por la localidad de Arnedillo, y a una cota en torno a los 675m snm, tiene lugar la descarga directa en forma de manantiales termales de un flujo regional profundo que se canaliza a través de la Fm Carniolas de Cortes de Tajuña. Esta descarga se produce en virtud de un brusco contraste de permeabilidades provocado por el frente de cabalgamiento de Cameros, que pone en contacto a la Fm basal de la FGP Jurásico marino con las facies margo-evaporíticas del Keuper, originando un rebose hidrogeológico. Estas descargas presentan un caudal constante y su temperatura es cercana a los 50°C, siendo su composición clorurada sódica. Además, se produce la directa de manantiales no termales durante el tramo en el que la MAS atraviesa las Fms basales de la FGP. Estas descargas, sin embargo, muestran un régimen más irregular y una temperatura y mineralización notablemente más bajos.

De este modo, se pone en evidencia la presencia de dos tipos de flujo en este tramo, uno asociado a las surgencias termales de caudal y parámetros físico-químicos bastante constantes en el tiempo que indicarían la relación con un acuífero cárstico de elevado poder regulador, elevada inercia y reservas importantes, correspondiente a un flujo profundo de carácter regional. La otra circulación sería de régimen típicamente cárstico relacionada con un sistema de menor capacidad de regulación y de respuesta más rápida a los episodios de recarga, que descargaría esencialmente a través de los afloramientos jurásicos del entorno de Arnedillo.

Los puntos de descarga directa son los siguientes:

- Manantiales de Baños de Arnedillo:
 - IPA CHE 231180011: Se dispone de una medida puntual de caudal de 10 l/s tomada en octubre de 1983. Según *Coloma López, P., 1999*, el caudal es de 1,6 l/s.
 - IPA CHE 231180012: Se dispone de una medida puntual de caudal de 15 l/s tomada en octubre de 1983. Según *Coloma López, P., 1999*, el caudal es de 3,3 l/s.
 - IPA CHE 231180013: Se dispone de una medida puntual de caudal de 20 l/s tomada en octubre de 1983. Según *Coloma López, P., 1999*, el caudal es de 4,2 l/s.
- Manantiales de “Las Pozas”, ubicados en el propio cauce del río Cidacos:
 - IPA CHE 231180022: Se dispone de una medida puntual de caudal de 4 l/s tomada en enero de 1996. Según *Coloma López, P., 1999*, el caudal es de 4 l/s.
 - IPA CHE 231180025: Se dispone de una medida puntual de caudal de 8 l/s tomada en enero de 1996. Según *Coloma López, P., 1999*, el caudal es de 8 l/s.
- Manantial de los 16 caños (Muro de Aguas). Se sitúa en la localidad homónima y corresponde a la descarga de la FGP Jurásico marino que se produce en el contacto por falla entre las Carniolas de Cortes de Tajuña y las Dolomías tableadas de Cuevas Labradas y las facies Purbeck (arenas y conglomerados calcáreos), de manera que se produce un contraste de permeabilidad (barrera brusca) y, consecuentemente, un rebose natural a una cota de 900m snm. Tiene el código IPA CHE 241210001. Los datos de aforos disponibles indican una descarga promedio de 10,4 l/s (2 medidas registradas en feb 69). A su vez, la CHE aforó 57 veces la escala del manantial en su punto de control 241210012, en el periodo jun 89 – dic 98, con los que obtuvo un caudal promedio de 9,3 l/s. Además, el IGME realizó 8 aforos en el manantial en su sección histórica 24121 MUA, en el periodo jun 89 – jun 01, con los que obtuvo un caudal promedio de 4,4 l/s.

- Manantiales termales de Baños de Fitero. En la localidad de Baños de Fitero tienen lugar descargas directas en forma de manantiales termales que se originan por un flujo regional profundo que se canaliza a través de la FGP Jurásico marino (la circulación se produce a través de la Fm Carniolas de Cortes de Tajuña) entre las cotas de 501 y 435m snm, a favor de fracturas que afectan a materiales del Gr. Tera (facies weald del relleno de la cuenca de Cameros), funcionando como vías preferentes de ascenso de los flujos termales. Esta descarga se produce en virtud de un brusco contraste de permeabilidades provocado por el frente de cabalgamiento de Cameros, que pone en contacto a la Fm basal de la FGP Jurásico marino con las facies margo-evaporíticas del Keuper, originando un rebose hidrogeológico (Figura 3). Sus rasgos característicos son la elevada temperatura de emergencia (algo menos de 50°C), elevada mineralización (entre 4.500 y 5.000 mg/l) y facies hidroquímica (clorurada sódica). Actualmente, en los dos manantiales más importantes sus aguas son utilizadas con fines mineromedicinales en sendos centros balnearios: el Virrey Palafox, que surge a cota 501m snm y con un caudal constante de 18 l/s, y el Gustavo Adolfo Bécquer, que lo hace a cota 499m snm y un caudal constante de 30 l/s (Coloma López, P., 1988b).

De acuerdo con la información disponible en la base de datos IPA CHE, los puntos de descarga termal son los siguientes:

- IPA CHE 241280020. Balneario Viejo: La base de datos IPA CHE dispone de 68 medidas de caudal tomadas en el periodo comprendido entre sep 89 y abr 06, que arrojan un caudal medio de 141,4 l/s.
- IPA CHE 241280025. Baños Palafox. Se dispone de una medida puntual de caudal de 18 l/s tomada en enero de 1997.
- IPA CHE 241280026. Baños Bécquer. Se dispone de una medida puntual de caudal de 30 l/s tomada en enero de 1997.
- IPA CHE 241280006. Monasterio de Fitero: La base de datos IPA CHE dispone de dos medidas de caudal tomadas en el periodo comprendido entre oct 83 y ene 97, que arrojan un caudal medio de 43,7 l/s. El IGME dispone de una medida puntual de caudal de 80 l/s tomada en octubre de 1983.
- IPA CHE 241280005: Se dispone de una medida puntual de caudal de 70 l/s tomada en octubre de 1983. El IGME dispone de una medida puntual de caudal de 70 l/s tomada en octubre de 1983.

Manantial	Código NIPA (IGME)	Cauce receptor de la descarga	Tramo conexión río-acuífero	Ubicación			FGP relacionada y Génesis Hidrogeológica
				Coordenadas UTM Huso 30		Cota (m snm)	
				X	Y		
San Juste	241150047	-	-	567332	4669634	734	Rebose hidrogeológico asociado a brusca barrera de permeabilidad al contacto entre la FGP Jurásico marino y el Cretácico sup. en el frente de cabalgamiento de Cameros.
Arnedillo	231180011 a 231180012	Río Cidacos	091.066.003	562821	4673114	700	Rebose hidrogeológico asociado a brusca barrera de permeabilidad entre la FGP Jurásico marino y el Keuper en el frente de cabalgamiento de Cameros. Flujo regional profundo.
	231180022 y 231180025			562900	4673450	675	
16 caños de Muro de Aguas	241210001	-	-	573650	4665200	900	Rebose hidrogeológico asociado a brusca barrera de permeabilidad al contacto entre la FGP Jurásico marino y areniscas y conglomerados de facies purbeck (Malm) como consecuencia de una falla.
Baños de Fitero	241280020	Río Alhama	091.066.004	590595	4656912	500	Rebose hidrogeológico asociado a brusca barrera de permeabilidad entre la FGP Jurásico marino y el Keuper en el frente de cabalgamiento de Cameros. Flujo regional profundo.
	241280005			590647	4657110	500	
	241280006			590647	4657110	500	
	241280025			590450	4657150	495	
	241280026			590590	4656912	500	

Tabla 6. Manantiales principales. Fitero-Arnedillo (091.066)

4.2 Resto de manantiales

En la MASb Fitero-Arnedillo hay inventariados numerosos manantiales asociados a la FGP Jurásico marino. La mayor parte de ellos presentan caudales inferiores a los 5 l/s.

Entre los numerosos manantiales referidos se incluyen los siguientes:

- “Fuente del Lavadero”, en la localidad de Jubera, asociado a la FGP Jurásico marino y constituye la descarga directa del tramo 091.066.002. Su código IPA es 231130014 y en ene 97 se aforó en 5 l/s.
- Código IPA 241210002, en las cercanías de Muro de Aguas. En feb 69 se aforó en 6 l/s.
- En el entorno de Grávalos y relacionados con las facies weald de relleno de la Cuenca de Cameros se localizan numerosos manantiales de caudales inferiores a 1 l/s. Entre ellos los inventariados con los códigos 241230001 a 241230005.
- Código IPA 241230023, en las cercanías de Grávalos. En ene 97 se aforó en 6 l/s.
- Códigos IPA 241240008 y 241240003. Manantiales de Cantares. El primero de ellos dispone de 4 medidas realizadas por la CHE en el periodo ene 97 a feb 02, con un caudal medio de 7,5 l/s, mientras que el segundo muestra un caudal histórico de 6,5 en el año 68.

- IPA CHE 241280027. Fuente Badillo (zona Baños de Fitero): Se dispone de una medida puntual de caudal de 1,2 l/s tomada en enero de 1997.

Además existe un manantial de cierta importancia, aunque no se encuentra en relación con ninguna de las FGPs definidas. Se trata del manantial de Túneles de los Moros (Código IPA CHE 231130026) del que existe una medida de caudal de 40 l/s.

5. Zonas húmedas

En esta MASb no existe ningún humedal.

6. Análisis de la información utilizada y propuesta de actuaciones

6.1 Valoración de la información utilizada y de los resultados obtenidos

Para todos los tramos definidos, salvo para el primero, se han presentado dos tipos de cuantificaciones: aquellas provenientes de fuentes bibliográficas, cuyos valores han sido obtenidos a partir de trabajos de campo de varios años realizados por especialistas en la materia y conocedores de la zona, y las obtenidas en el presente trabajo a partir de datos disponibles, como son aforos en manantiales y puntos de control de la CHE y/o IGME y, en el caso del tramo 091.066.003, de la descomposición del hidrograma de la EA nº 237.

En general, las cuantificaciones se han llevado a cabo con escaso número de datos y muy espaciados en el tiempo y/o con medidas mayoritariamente puntuales. No obstante, se ha dispuesto de estaciones de control bien localizadas, de modo que se han podido realizar aforos diferenciales adecuados para determinar las descargas de la FGP Jurásico marino en las MAS, salvo para el tramo 091.066.001. De este modo, se considera que los valores obtenidos de cuantificación guardan una razonable coherencia con los obtenidos de las fuentes bibliográficas. Así pues, se considera que las cuantificaciones presentadas, especialmente las aportadas por las fuentes bibliográficas, resultan fiables para los tramos 091.066.003 y 091.066.004. En el caso del tramo 091.066.002, hay que tener presente la incertidumbre que pesa sobre el volumen de descarga al ser tan variable la ganancia interanual, de ahí que quizá no sea posible cuantificar con mayor precisión, pudiendo haber años con ganancias de escasos l/s y otros próximas a los 175 l/s, como se ha podido deducir de la variación de las cuantificaciones realizadas con los datos disponibles.

6.2 Propuesta de actuaciones

Considerando que las cuantificaciones presentadas para los tramos 091.066.003 y 091.066.004 se consideran razonablemente fiables, sobre todo las obtenidas de las fuentes bibliográficas, no se recomienda llevar a cabo actuaciones futuras en los mencionados tramos.

Ahora bien, al objeto de reducir la incertidumbre asociada al volumen de ganancia que existe en el tramo 091.066.002 y conocer, al mismo tiempo, las pérdidas que se pueden originar en el tramo 091.066.001 (ya que podrían guardar relación ambos aspectos dado que el final del tramo perdedor es el comienzo del ganador), se recomienda llevar a cabo una campaña de

aforos diferenciales de un año de duración y periodicidad mensual en tres puntos del río Jubera: uno de ellos ya existente y dos nuevos, tal y como se detalla en la tabla 7.

Nº estación	UTM X	UTM Y	Cota (m s.n.m.)	Cauce	Objetivo
231130039	558525	4680550	720	Jubera	Determinar el caudal de aportación de la MAS a la FGP Jurásico marino aguas arriba del tramo 091.066.001
1	558023	4683421	644	Jubera	Determinar el caudal de la MAS aguas abajo del tramo 091.066.001 y aguas arriba del tramo 091.066.002
2	558320	4684140	618	Jubera	Determinar el caudal de aportación de la FGP Jurásico marino a la MAS aguas abajo del tramo 091.066.002

Tabla 7. *Estaciones de control propuestas relación río-acuífero*

Estas propuestas de aforos diferenciales deberían complementarse con una mejora de la infraestructura de control de la red de aforos de la CHE, mediante la ubicación de estaciones de aforo permanentes en el río Jubera (Robles del Castillo y Santa Engracia de Jubera), así como estaciones de control permanentes de los manantiales de Muro de Agua y de Túneles de Moros.

7. Referencias Bibliográficas

- (1) Confederación Hidrográfica del Ebro (1991): Delimitación de las Unidades Hidrogeológicas de la Cuenca del Ebro (Plan Hidrológico).
- (2) IGME (1981): Investigación hidrogeológica de la Cuenca del Ebro. Informe Final.
- (3) IGME (1972): Mapa Geológico de España (MAGNA) a escala 1:50.000 2ª serie. Hojas 241, 242 y 281.
- (4) Coloma López, P. (1996). Zonas húmedas de interés medioambiental relacionadas con la descarga de aguas subterráneas. Cuencas de los ríos Alhama, Cidacos, Leza-Jubera e Iregua. Monográfico: Zubía nº 8, pp 187-204.
- (5) Coloma López, P. et al. (1997). Sistemas de flujo subterráneo regional en el acuífero carbonatado mesozoico de la Sierra de Cameros. Sector oriental. Est. Geológicos 53. pp. 159-172.
- (6) Coloma López, P. (1998a). El agua subterránea en La Rioja. Monográfico: Zubía nº 10, pp 63-132.
- (7) Coloma López, P. (1998b). Evaluación de las descargas subterráneas de los acuíferos kársticos jurásicos del macizo de Cameros en la Cuenca del Ebro. Geogaceta, 24 pp 83-86.
- (8) Coloma López, P. et al. (1998c). Simulación matemática del flujo de transporte y calor del sector oriental de la Cuenca de Cameros. Monográfico: Zubía nº 10, pp 45-63.
- (9) Coloma López, P. et al. (1998d). Hidrogeología de los manantiales termales de Arnedillo. Monográfico: Zubía nº 10, pp 11-25.
- (10) Coloma López, P. (1999). Estudio hidrogeológico de los sistemas acuíferos kársticos riojanos occidentales (Neila-La Demanda). Monográfico: Zubía nº 17, pp 195-232.
- (11) Dirección General del Agua (2004-2006): Trabajos de apoyo para atender los requerimientos de la Directiva Marco en materia de planificación hidrológica (Cuenca del Ebro).

8. Bibliografía de interés

- (1) Custodio, E. y Llamas, M.R (2001): Hidrología Subterránea. Editorial Omega, Barcelona.
 - (2) Web de la Confederación Hidrográfica del Ebro: www.chebro.es
 - (3) Web del Instituto Geológico y minero de España: www.igme.es
-

Anejo 1. Tabla de estaciones de control y medida

Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico. 091.066-Fitero-Arnedillo

Estación de control y medida			Cauce		Régimen hidrológico		MASb (a)		FGP	Tramo relación río-acuífero (b)			Situación geográfica respecto al tramo
Código	Nombre	Tipo	Código	Nombre	Tipo	Observaciones	Código	Nombre		Código	Cauce	Descripción	
EA 253	Cidacos en Arnedillo	01	288	Cidacos	Natural	Dispone de una serie corta que comprende el periodo 1991 a 2002. Controla el caudal del río Cidacos aguas abajo de la descarga de los manantiales de Arnedillo.	091.066	Fitero-Arnedillo	FGP Jurásico marino	091.066.003	Cidacos	Conexión mixta difusa y descarga directa por un grupo de manantiales	Aguas abajo

Anejo 2. Listado de manantiales

Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico. 091.066-Fitero-Arnedillo

Masa de aguas subterránea asociada (Codmsbt_def)			091.066	Fitero-Arnedillo			LISTADO DE MANANTIALES PRINCIPALES						
Código de la demarcación hidrográfica donde se ubica (Cod_demar_id)			091	Ebro									
Código del manantial (Cod_mant)	Código IGME del manantial (Codigme_mant)	Nombre del manantial (Nombre_mant)	Tramo relación río-acuífero asociado (Codrioacuif_id)	Formación geológica asociada (FGP_mant)	Ubicación geográfica			Cota MDT del manantial (Cotamdt_mant)	Datos de Caudales (l/s)				Uso del manantial-IGME (Usoigme_mant) (Uso_mant)
					Coordenad as UTM- Huso 30 (CoorX_mant)	Coordenad as UTM- Huso 30 (CoorY_mant)	Cota del manantial (Cota_mant)		Caudal histórico IGME (Qhistigme_mant)	Mínimo	Promedio	Máximo	
231180011		Baños de Arnedillo	091.066.003	Jurásico marino	562821	4673114	700	744	10	-	-	-	Aguas mineromedicinales (no de bebida envasada)
231180012	231180012								15	-	-	-	
231180013	231180013								20	-	-	-	
231180022					562873	4673454	675	656	4	-	-	-	Se desconoce
231180025									562900	4673450	8	-	
241150047	24115 J/A	San Juste	-	Jurásico marino	567332	4669634	734	780	12,8	5	11	18	Abastecimiento a núcleos urbanos
241210001	24121 MUA	16 caños de Muro de Aguas	-	Jurásico marino	573612	4665192	870	894	8	1	4,4	15	Lavadero público
241280006	241280006	Baños de Fitero	091.066.004	Jurásico marino	590647	4657110	500	528	80	-	-	-	Aguas mineromedicinales (no de bebida envasada)
241280005	241280005								70	-	-	-	
241280026					590498	4657147	490	500	-	-	-	-	-
241280025					590450	4657150	495	493	-	-	-	-	-
241280020					590590	4656912	500	488	-	-	-	-	-

Masa de aguas subterránea asociada (<i>Codmsbt_def</i>)		091.066	Fitero-Arnedillo			LISTADO DE OTROS MANANTIALES
Código de la demarcación hidrográfica donde se ubica (<i>Cod_demar_id</i>)		091	Ebro			
Código del manantial (<i>Cod_mant</i>)	Código IGME del manantial (<i>Codigme_mant</i>)	Ubicación geográfica			Datos de Caudales (l/s)	Uso del manantial-IGME (<i>Usoigme_mant</i>) (<i>Uso_mant</i>)
		Coordenadas UTM-Huso 30 (<i>CoorX_mant</i>)	Coordenadas UTM-Huso 30 (<i>CoorY_mant</i>)	Cota del manantial (<i>Cota_mant</i>)	Caudal histórico IGME (<i>Qhistigme_mant</i>)	
231130014		558120	4683558	617	-	-
241210002	241210002	573506	4664472	810	6	Se desconoce
241230023		586500	4662750	650	-	-
241240008		590148	4660690	560	-	-
	241240003	590089	4660654	570	6,5	Se desconoce
241280027		590800	4657050	454	-	-
Nota: Existen numerosos manantiales que surgen dispersos en los materiales de la FGP y también en relación con los materiales en facies weald del entorno de Grávalos. No se listan en la tabla al tener la mayoría caudales inferiores a 1 l/s.						