CARACTERIZACIÓN DEL CAUDAL BASE EN ZONAS DE ALTA MONTAÑA A PARTIR DE UN ANÁLISIS ESTACIONAL DE RECESIONES

Agustín Millares [1*], María José Polo [2], Miguel Ángel Losada [1], Cristina Aguilar [2], Javier Herrero [1]

1: Grupo de Dinámica de Flujos Ambientales
Universidad de Granada
Edificio CEAMA, Avda. del Mediterráneo s/n.18006, Granada
e-mail: mivalag@ugr.es, web: www.ugr.es/local/mivalag

2: Grupo de Hidrología e Hidráulica Agrícola
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes
Universidad de Córdoba
Campus de Rabanales. Edificio Leonardo da Vinci. Área de Ingeniería Hidráulica. 14071, Córdoba
e-mail: mjpolo@uco.es, web: www.dinamicaambiental.com

Palabras clave: Caudal base, Análisis de recesión, Concatenación, Modelo hidrológico

RESUMEN. *El estudio del caudal base resulta esencial en la caracterización y cuantificación de recursos hidrológicos de zonas montañosas. En este sentido, el análisis de curvas de recesión proporciona una valiosa información referente a la respuesta de estos aportes y las características medias de los acuíferos, cuando se emplean metodologías que seleccionan y sintetizan fragmentos de recesión en una sola curva, la Curva de Recesión Maestra (CRM), y se comparan los resultados con recesos estivales con el fin de establecer relaciones entre las respuestas. Este procedimiento es clave en la configuración y calibrado de un modelo de aportaciones de caudal base que se integre en un modelo hidrológico global. En este trabajo se ha aplicado esta metodología en tres subcuencas pertenecientes a Sierra Nevada (Granada), en entorno mediterráneo. Los resultados han permitido identificar las diferentes respuestas del caudal base y modelar estas aportaciones, verificando la validez del método propuesto.*

ABSTRACT. *The study of baseflow in mountainous areas is essential in the characterization and quantification of water resources in mountainous areas. In this sense, the recession analysis provides information on the type of response of the subterranean systems and on the average characteristics of aquifers, when methodologies which select and combines fragments of recession into a single curve, the Master Recession Curve (MRC), are applied and the study of recessions during the dry season are used to compare and validate the results obtained. This procedure is essential in the configuration and validation of a hydrological model which include baseflow contributions. In this work, this methodology has been applied to three sub-basins belonging to a high altitude mountain basin in Sierra Nevada (Granada). The results show the existence of two different responses of baseflow and allow the modeling of these flows, checking the validity of the proposed methodology.*

1. INTRODUCCIÓN

Dependiendo de la procedencia de los recursos hidrológicos, la escorrentía puede definirse de una manera muy simplificada como la suma de dos componentes; escorrentía directa y la escorrentía subsuperficial y base correspondiente a la fracción de agua que, una vez infiltrada, recarga y circula a través del suelo y los acuíferos descargando posteriormente su almacenamiento en los ríos, lagos o en el mar. Este segundo tipo de aportes, de respuesta más lenta y continuada se denomina flujo base o **caudal base** y su importancia es crucial desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo de los recursos del sistema hidrológico.

La heterogeneidad en el origen del caudal base (Hall, 1968) obliga a analizar cada sistema separando cada uno de los procesos involucrados. Para ello, es preciso diferenciar aquellas aportaciones procedentes de la zona no saturada del suelo. Este flujo recibe el nombre de flujo intermedio (*interflow*) o caudal lateral y Beven (1989), lo define como un flujo cercano a la superficie dentro del perfil del suelo y el marco temporal asociado al evento,

que ha de diferenciarse de las aportaciones subterráneas procedentes de la zona saturada tanto en su delimitación espacial como en el tiempo de respuesta. Esta discretización coincide con los estudios de muchos autores que asocian la mayor parte de las aportaciones en forma de caudal base con la zona saturada del suelo y, en la mayoría de los casos, con acuíferos poco profundos generalmente no confinados (Hall, 1968; Wittenberg y Sivapalan, 1999; Sophocleus, 2002; Chapman, 2002).

Por otra parte, el estudio de la respuesta subterránea así como su cuantificación constituye uno de los problemas con mayor grado de incertidumbre dentro del estudio del ciclo hidrológico. El carácter "oculto" y las dificultades en la obtención de datos correspondientes al almacenamiento subterráneo otorgan una dificultad añadida a su estudio frente al de procesos superficiales. El problema resulta más complejo a la hora de identificar aportes subterráneos en zonas montañosas y cabeceras de cuencas, donde las características de los materiales, en muchos casos fracturados, se alejan de las consideraciones clásicas de medio poroso adoptadas en la hidrogeología convencional. Para caracterizar estos aportes es necesario por tanto recurrir al estudio indirecto a partir del análisis de las curvas de recesión suponiendo que, cuando la recarga hidrogeológica cesa, el estudio de caudales superficiales representa una relación entre almacenamiento-descarga que permite caracterizar el acuífero (Tallaksen, 1995).

El objetivo principal de este trabajo es caracterizar y modelar las aportaciones de caudal base a partir de una metodología que diferencie entre tipos de respuesta en entornos montañosos de materiales fracturados. Para ello, el análisis clásico de fragmentos de recesión se completa con a) un pre-análisis hidrológico que selecciona los fragmentos representativos de los aportes subterráneos b) el empleo de concatenación descendente de estos fragmentos que permite identificar la escala temporal de la respuesta más rápida y c) el estudio de los recesos estivales. Para este fin, se proponen algoritmos automáticos de selección y extracción de fragmentos de recesión, así como algoritmos de concatenación para la generación de la CRM, tanto de manera ascendente como descendente, a partir de los principios de concatenación automática de recesiones (Lamb y Beven, 1997; Millares et al, 2009), utilizando como apoyo la información aportada por el modelo hidrológico WiM-Med, *Watershed Integrated Management*, (Herrero et al., 2008). Se analizará además la influencia de diferentes procesos hidrológicos (evapotranspiración, fusión de nieve y almacenamiento inicial) durante el receso a partir de los resultados obtenidos con el modelo hidrológico mencionado. Finalmente se realiza una primera valoración del modelado del caudal base integrado en el modelo WiM-Med.

2. METODOLOGÍA

2.1. Análisis de recesión

La caracterización del caudal base propuesta, se apoya en el análisis de recesión de caudales superficiales como punto de partida para el modelado de las aportaciones subterráneas integrado en un modelo hidrológico. Generalmente, estos estudios se han enfocado desde perspectivas temporales claramente diferenciadas. Por un lado, a partir de periodos largos y continuos de tiempo donde las entradas al sistema son nulas o mínimas, como el periodo estival, valorando la relación almacenamiento-descarga del sistema de manera continuada con la seguridad de que los caudales proceden totalmente del sistema subterráneo (Tallaksen, 1995; Wittenberg, 1999; Chapman 2002). Por otro lado, se pueden utilizar fragmentos de recesión teniendo en cuenta procesos de escala temporal más corta (infiltración, evapotranspiración, fusión,...) con el fin de verificar que su influencia no sea significativa y no "enmascaran" la procedencia del flujo subterráneo (Lamb y Beven, 1997; Fenicia et al., 2006).

El análisis de fragmentos de recesión, requiere evaluar la relación existente entre ellos para que reproduzcan la respuesta conjunta del flujo subterráneo concatenándolos en una Curva de Recesión Maestra (CRM). Esta curva representa las contribuciones medias de los fragmentos (Tallaksen, 1995; Hammond, 2006), y su análisis puede realizarse de forma ascendente o descendente. De manera ascendente, la CRM resultante refleja fundamentalmente la parte del receso correspondiente a un flujo lento y de mayor inercia del sistema. Ordenando los fragmentos en sentido descendente, la curva resultante permitiría valorar aquellas recesiones que, perteneciendo a la descarga subterránea, se producen de forma más rápida.

La selección de fragmentos de recesión a partir de la serie histórica de caudales y su posterior corrección de la influencia de procesos hidrológicos se ha efectuado con el apoyo del modelo hidrológico WiM-Med, calibrado y

validado para el periodo 1969-2004 en la zona de estudio (Aguilar, 2006; Millares, 2006; Herrero, 2007), siguiendo los pasos descritos en Millares et al. (2009). Por otra parte, el estudio de fragmentos de recesión de manera ascendente se ha validado a partir del análisis de recesos en periodo estival. Por último, se han analizado los efectos de la evapotranspiración y la fusión de nieve en los recesos estivales seleccionados como principales agentes influyentes en la relación almacenamiento-descarga durante el periodo de recesión ya que, en determinados sistemas, pueden ocasionar alteraciones notables en el ritmo de agotamiento del sistema acuífero, con un marcado carácter estacional (Wittenberg y Sivapalan, 1999).

2.2. Integración del caudal base en un modelo hidrológico

La integración del modelo de caudal mase propuesto dentro del modelo hidrológico se basa en tres líneas principales (figura 1): por un lado, el estudio de las características de los acuíferos existentes en la zona; por otro, el estudio de caudales superficiales con el fin de determinar las relaciones almacenamiento-descarga del sistema; finalmente la intervención del hombre en forma de extracciones.

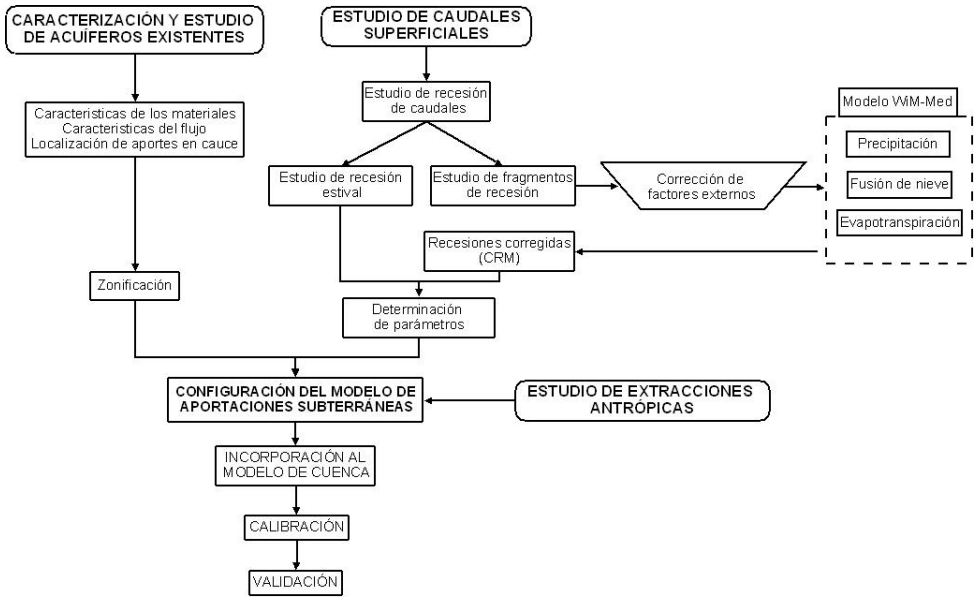

Figura 1. Esquema metodológico propuesto para la configuración de un modelo de aportes subterráneos.

El estudio y caracterización de los acuíferos que componen la cuenca supone una tarea fundamental previa a la configuración del modelo resultando muy importante la descripción del tipo de flujo asociado a los materiales existentes con el fin de modelar correctamente la capacidad del almacenamiento así como su respuesta. La localización de los puntos de descarga donde los diferentes acuíferos realizan aportaciones hacia la red de drenaje, permitirá la definición de las zonas homogéneas, "Zonas Acuíferas" (ZA), necesarias para la simulación de las aportaciones subterráneas de manera agregada. Paralelamente se realiza el estudio de recesión de caudales, de acuerdo a lo descrito en el apartado anterior, estimando los valores de los parámetros que definen la relación almacenamiento-descarga, los coeficientes de almacenamiento, k (T). Por último, se analizan los efectos antrópicos ejercidos sobre el almacenamiento subterráneo.

Para incorporar las aportaciones subterráneas en el modelo WiM-Med, se ha adoptado un modelo conceptual de depósito cuyas bases se describen de manera detallada en el documento *Integración del caudal base en un modelo distribuido de cuenca. Estudio de las aportaciones subterráneas en ríos de montaña* (Millares, 2008). Este

modelo agregado, divide en diferentes unidades homogéneas (ZA), que incluyen multitud de elementos (celdas) del modelo de cuenca distribuido y supone que los acuíferos se comportan como depósitos que retienen temporalmente el agua que entra en ellos. Por lo tanto, una vez calculada la recarga distribuida desde la zona no saturada, esta pasará a un modelo agregado compuesto por dos depósitos lineales para cada ZA; uno con dos salidas, una hacia el cauce, simulando la respuesta rápida del sistema acuífero, y otra que recarga a su vez un segundo depósito encargado de modelar los aportes de mayor inercia. Este modelo simplificado requiere los diferentes coeficientes de almacenamiento k que definen el comportamiento de las aportaciones de cada depósito pudiendo ser estimados a partir del análisis de recesión planteado.

2.3. Zona de estudio

El río Guadalfeo nace en la vertiente meridional del macizo de Sierra Nevada, en el sur de España (figura 2). Las elevadas cotas favorecen la presencia de nieve desde noviembre a junio. Esto disminuye los flujos de escorrentía directa durante eventos de precipitación y los lamina con ciclos intermedios de fusión que, a su vez, recargan los acuíferos y mantienen los caudales superficiales durante el periodo de estiaje. Por encima de 2000 metros de cota, más del 75 % de la precipitación anual se produce en forma de nieve (Herrero, 2007).

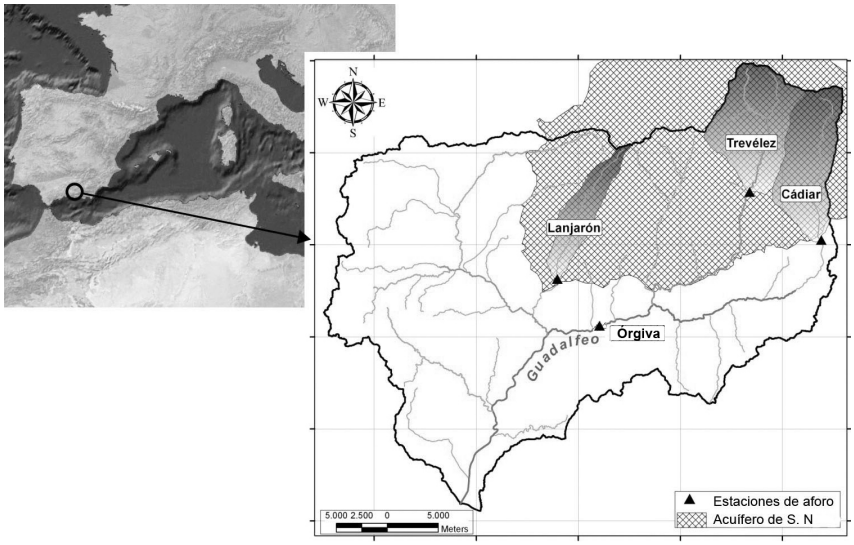

Figura 2. Localización de la cuenca del río Guadalfeo y subcuencas de estudio.

El área seleccionada para este estudio corresponde a la zona acuífera de los materiales metamórficos del macizo de Sierra Nevada, donde se pueden diferenciar: 1) un flujo subsuperficial, rápido, ligado a la franja de depósitos, alteración y fracturación más superficial, con espesores poco profundos, y 2) un flujo profundo, relacionado con la circulación a través de grandes fracturas, accidentes tectónicos y niveles de mármoles y cuarcitas interestratificadas (Castillo et al., 1999). Esto condiciona la existencia de abundantes surgencias; unas constituyen puntos de salida de un flujo subsuperficial poco profundo, de respuesta rápida mientras que otras presentan caudales de mayor entidad, de respuesta más lenta, que no llegan a agotarse y mantienen el flujo superficial de estos ríos de montaña en época estival.

La metodología descrita se ha aplicado a tres subcuencas pertenecientes a la misma formación geológica, Cádiar, Trevélez y Lanjarón (figura 2), todas influenciadas por la dinámica de la nieve, en cuyos puntos de cierre

se cuenta con series de caudal diario (fuente: Cuenca Mediterránea Andaluza), de extensión 38, 10 y 17 años, respectivamente.

3. RESULTADOS

A partir de los resultados obtenidos con el modelo hidrológico correspondientes a precipitación, fusión de nieve y evapotranspiración para cada subcuenca estudiada, se han seleccionado y corregido un total de 171, 31 y 61 fragmentos de recesión para los puntos de aforo de Cádiar, Trevélez y Lanjarón, respectivamente. Por otra parte, se seleccionó un conjunto de recesiones estivales, concretamente 17, 5 y 9 recesos para las mismas subcuencas. El estudio detallado de las recesiones obtenidas evidencia la existencia de dos tramos diferenciados en ellas; una zona de mayor pendiente que se corresponde con respuestas rápidas del sistema subterráneo y una zona de pendiente menor donde sólo se producen aportes más lentos procedentes de zonas más profundas (Millares et al., 2009).

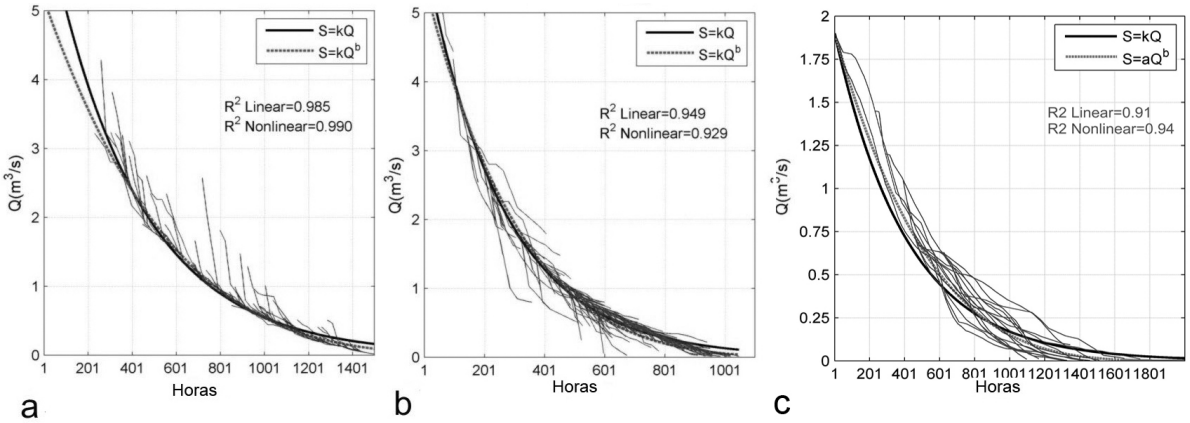

Figura 3. a-b) Concatenación ascendente y descendente de fragmentos de recesión. c) Curvas de recesión estival seleccionadas (Subcuenca de Cádiar). (Millares et al., 2009)

La figura 3(a-b), muestra ambos tipos de flujos, a partir de la concatenación de los fragmentos seleccionados, caracterizados por la CRM generada con criterio ascendente y descendente así como los recesos estivales (figura 3-c) seleccionados en la subcuenca de Cádiar. Los valores de los parámetros obtenidos para el ajuste lineal se recogen en la Tabla 1.

Tabla 1. Ajuste lineal de recesiones estivales y fragmentos de recesión (Millares et al., 2009)

		Recesiones estivales		Fragmentos de recesión	
		k(días)	R^2	k(días)	R^2
Cádiar	Estudio individual	16.3	0.97	-	-
	CRM ascendente	17.2	0.91	16.9	0.98
	CRM descendente	-	-	10.8	0.95
Trevélez	Estudio individual	21.9	0.95	-	-
	CRM ascendente	22.7	0.97	15.4	0.99
	CRM descendente	-	-	11.8	0.96
Lanjarón	Estudio individual	7.0	0.96	-	-
	CRM ascendente	7.2	0.85	10.5	0.97
	CRM descendente	-	-	10.4	0.90

Como se puede observar, los resultados medios obtenidos a partir del estudio individual de las recesiones estivales se encuentran en consonancia con los valores correspondientes a la CRM. Por otro lado, los valores correspondientes a las subcuencas de Cádiar y Trevélez, con valores entre 16-22 días, se diferencian claramente de la subcuenca de Lanjarón, con valores de almacenamiento menores.

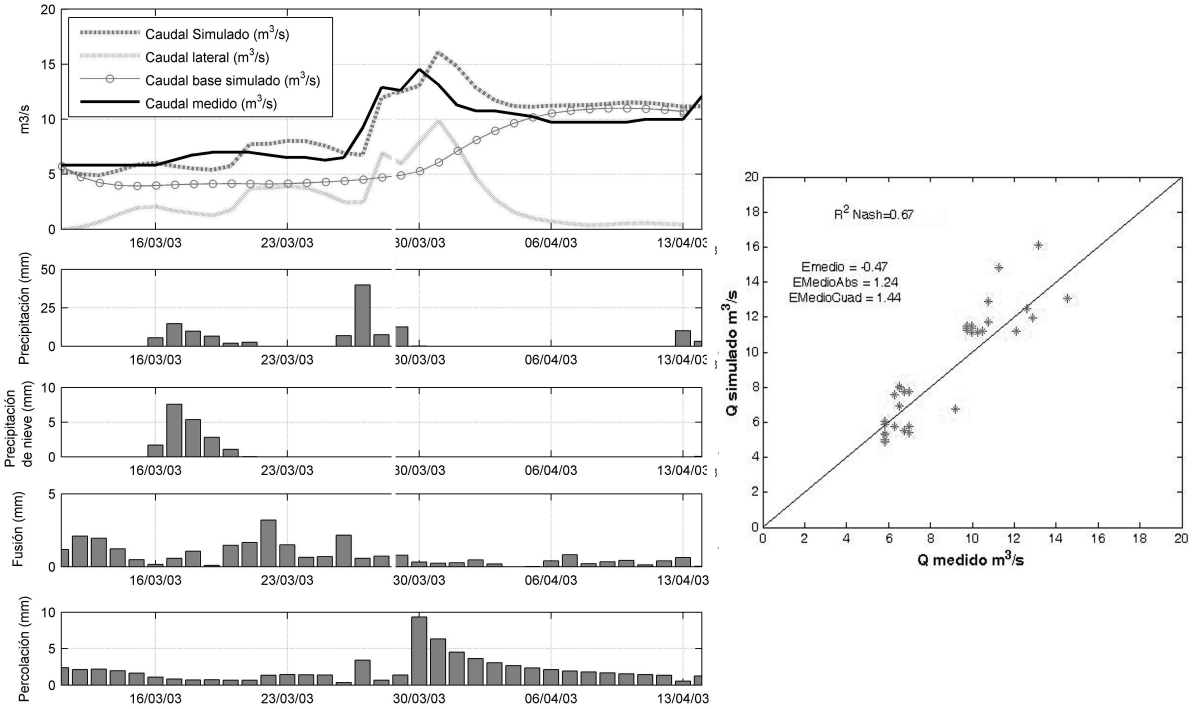

Figura 4. Simulación del modelo de aportaciones subterráneas integrado en el modelo hidrológico WiM-Med.

Estos resultados se utilizaron como base en el proceso de calibración y validación del modelo de aportaciones subterráneas ya integrado en el modelo hidrológico WiM-Med, fijando los parámetros de k_1 y k_2, coeficientes de almacenamiento de respuesta rápida y lenta respectivamente (Millares, 2008). En la figura 4 se exponen los resultados simulados con el modelo WiM-Med para secuencia de eventos registrados en la estación de aforo de Órgiva, para el que las aportaciones de caudal base procedentes de la zona alta de Sierra Nevada tienen especial relevancia. En la configuración inicial de la simulación, se han tenido en cuenta las condiciones de contorno simuladas a escala anual, en donde se han utilizado los resultados de cantidad de nieve acumulada, fusión de nieve, estado de almacenamiento de los depósitos que simulan el caudal base, y estado de humedad del suelo.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el estudio de recesión muestran muy poca inercia en la respuesta subsuperficial. Otros trabajos (Castillo et al., 2002), obtuvieron valores similares en la misma zona, mostrando un componente inercial muy escaso, lo que no es de extrañar debido a las características particulares de este acuífero de montaña.

Es destacable la similitud en la respuesta para el flujo rápido en las tres subcuencas. Esta homogeneidad en la respuesta rápida refleja características muy similares en la fracturación superficial del suelo en toda la zona de estudio. Los resultados correspondientes a las subcuencas de Cádiar y Trevélez permiten identificar una respuesta rápida (11 días) y una respuesta ligeramente más lenta (17 días), caracterizadas por los diferentes valores de la

CRM descendente y ascendente. Para la subcuenca de Lanjarón, sin embargo, no se detecta esta diferencia de respuesta, obteniendo valores similares con ambos criterios de concatenación, en torno a 10.5 días.

Los resultados obtenidos a partir de los recesos estivales guardan una gran similitud con el estudio de fragmentos de recesión de metodología ascendente, teniendo en cuenta las importantes diferencias metodológicas en proceso de selección de recesiones a partir de la misma serie de datos. Para este periodo estacional, se han analizado las influencias de factores hidrológicos externos. Los resultados (figura 5), muestran las relaciones existentes entre el parámetro lineal ajustado y los efectos de fusión, caudal inicial y evapotranspiración. Como se observa, existe una baja correlación que confirma la escasa influencia de las extracciones por evapotranspiración durante el periodo seco. En cuanto a la influencia de la fusión de nieve, se ha analizado la fusión correspondiente a los 90 días previos al periodo de recesión estival. Los resultados no muestran un efecto de recarga lo que confirma que las recesiones seleccionadas en Cádiar no se encuentran influenciadas por procesos de fusión de nieve. Por último se ha estudiado la influencia del estado inicial del sistema representado por el caudal inicial (Q_0) de cada periodo de recesión mostrando una relación muy baja.

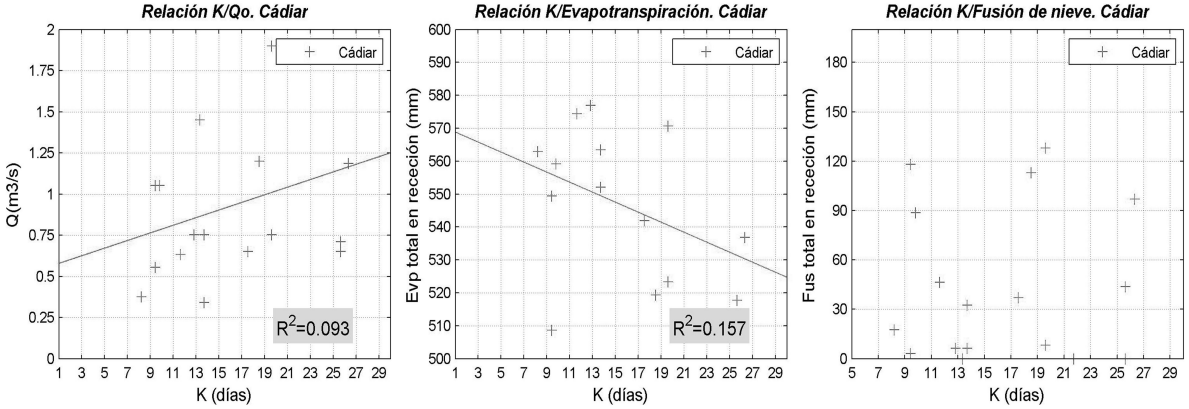

Figura 5. Relación evapotranspiración/k, fusión de nieve/k y caudal inicial/k en recesos estivales.

En ambos conjuntos de recesiones, el ajuste lineal proporciona una aproximación suficiente, aunque los resultados del ajuste no lineal permiten analizar el comportamiento del flujo subsuperficial de cada zona. La escasa diferencia encontrada entre el ajuste lineal y no lineal permite aproximar el sistema estudiado a un sistema lineal, teniendo en cuenta los resultados correspondientes a los factores externos, principales responsables de no-linealidad en la respuesta subterránea como la evapotranspiración o fusión de nieve.

Los resultados obtenidos con el modelo de aportaciones subterráneas en forma de caudal base integrado en el modelo hidrológico WiM-Med, muestran un comportamiento adecuado de estas aportaciones diferenciadas de las aportaciones en forma de caudal lateral, con una respuesta vinculada a los pulsos de precipitación y fusión de nieve intensa. El grado de ajuste entre valores simulados y medidos muestra un ajuste adecuado a esta escala. La respuesta de las aportaciones subterráneas dentro del modelo hidrológico muestra una buena relación entre éstas y la recarga procedente de la zona no saturada.

5. CONCLUSIONES

La selección y corrección de fragmentos de recesión con un modelo hidrológico permite disponer de recesos fuera del periodo estival con los que caracterizar el flujo subsuperficial de respuesta rápida en materiales fracturados. Esto hace disponer de mayor información de partida y, por otra parte, permite caracterizar una respuesta rápida del sistema procedente de una zona de almacenamiento subterráneo donde es difícil explicar la evolución del caudal base debido a la naturaleza de los materiales.

El uso de criterios clásicos ascendentes para obtener la CRM ha arrojado valores de coeficientes de almacenamiento coherentes en las tres subcuencas estudiadas que permite reproducir y caracterizar la respuesta de las

aportaciones subterráneas y configurar un modelo de estas aportaciones integrado en un modelo hidrológico global. En este sentido, la comparación de metodologías a partir de fragmentos de recesión o recesos estivales permite comparar y validar los resultados correspondientes a la relación almacenamiento-descarga desde dos aproximaciones diferenciadas. En la zona estudiada los valores de la subcuenca de Cádiar han sido muy similares desde estos dos enfoques con un valor de $k = 17$ días, existiendo diferencias en la subcuenca de Lanjarón $7 > k > 10$ días y diferencias más notables en Trevélez $15 > k > 22$ debidas a la menor cantidad de datos disponibles.

La concatenación descendente de estos fragmentos ha mostrado ser un método válido para cuantificar la dinámica de estos flujos rápidos en las cuencas estudiadas. En conjunto, la metodología propuesta para diferenciar el flujo subsuperficial de respuesta rápida en materiales fracturados ha proporcionado resultados satisfactorios y ha identificado este flujo con órdenes de 10 días con respecto del receso producido en zonas más profundas del acuífero que muestran un comportamiento ligeramente más lento.

La influencia de factores externos sobre los recesos estivales revelan un escaso efecto ante una posible recarga por fusión de nieve en el sistema, lo que ocasionaría una sobreestimación del parámetro k, así como un bajo efecto ante extracciones por evapotranspiración debido a las características particulares del acuífero estudiado.

Los resultados correspondientes a las aportaciones de caudal base integrado en el modelo hidrológico WiMMed, reproducen un comportamiento adecuado aportando una información adicional basada en la configuración del modelo y en la metodología empleada que permite diferenciar tipos de respuestas en las aportaciones acuíferas.

Agradecimientos. Este trabajo ha sido posible gracias a la confianza y el apoyo económico de la Consejería de Medio Ambiente y la Agencia Andaluza del Agua, promotores e impulsores del modelo hidrológico de cuenca en el que se inserta este estudio.

REFERENCIAS

Aguilar, C., 2006. Efectos de escala en procesos hidrológicos. Aplicación a la cuenca del río Guadalfeo. DEA, Universidad de Córdoba. http://www.cuencaguadalfeo.com/archivos/DEA_Cristina_Aguilar.pdf

Beven, K.J., 1989. Interflow. *Morel-Seytoux HJ.Unsaturated flow in hydrologic modeling: theory and practice.*,191–219. Kluwer, Dordrecht.

Castillo, A., Cruz, J.J., Benavente, J., 1999. Aguas de Sierra Nevada. *Aguas de Lanjarón. Lanjarón: paisajes del agua.*,35–64. Balneario de Lanjarón, S.A. Granada.

Castillo, A., Fideli, B., 2002. Algunas pautas del comportamiento hidrogeológico de rocas duras afectadas por glaciarismo y periglaciarismo en Sierra Nevada (España). *Geogaceta 32*, 189–191.

Chapman, T.G., 2002. Modeling stream recession flows. *Environmental modeling & software, 18*, 683-692.

Fenicia, F., Savenije, H.H.G., Matgen P., Pfister L., 2006. Is the groundwater reservoir linear? Learning from data in hydrological modeling. *Hydrol.& Earth Syst. Sci., 10*, 139-150.

Hall, F. R., 1968. Baseflow recessions. A review. *Water Resor. Res., 4(5)*, 973-983.

Hammond, H. 2006. Recession curve estimation for storm event separations. *J. Hydrol., 330*, 573- 585.

Fenicia, F., Savenije, H.H.G., Matgen P., Pfister L., 2006. Modelo físico de acumulación y fusión de la nieve. Aplicación en Sierra Nevada (España). Tesis Doctoral. Universidad de Granada.http://www.ugr.es/local/herrero

Herrero, J., Millares, A., Aguilar, C., Ávila, A., Díaz, A., Moñino, A., Polo, M.J., Losada, M.A. , 2008. Manual teórico del Modelo WiM-Med (Watershed Integrated Management). Grupo de Dinámica de Flujos Ambientales-Sección de Ríos y Embalses. Universidad de Granada. Granada.

Lamb, R., Beven K.J. 1997. Using interactive recession curve analysis to specify a general catchment storage model. *Hidrol. Earth Syst. Sci., 1*, 101-113.

Millares, A., 2006. Estudio hidrogeológico para la gestión integrada de la cuenca del río Guadalfeo (Granada). DEA. Universidad de Granada. 108–131.http://www.cuencaguadalfeo.com/archivos/DEA_Agustin_Millares.pdf

Millares, A., 2008. Integración del caudal base en un modelo distribuido de cuenca. Estudio de las aportaciones subterráneas en ríos de montaña. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. http://www.cuencaguadalfeo.com/archivos/Guadalfeo/Tesis/TESIS_AgustinMillares.pdf

Millares, A., Polo, M.J., Losada, M.A., 2009. The hydrological response of baseflow in fractured mountain areas. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 6*, 1-26.

Sophocleous, M., 2002. Interactions between groundwater and surface water: the state of science. *Hydrog. Jour. 10*, 52-67.

Tallaksen, L. M., 1995. A review of baseflow recession analysis. *J. Hydrol., 165*, 349-370.

Wittenberg, H. , 1999. Baseflow recession and recharge as nonlinear storage processes. *Hydrol. Process., Special Issue Process Interactions in the Environment. 13,5*, 715-726.

Wittenberg, H. y Sivapalan, M., 1999. Watershed groundwater balance estimation using stream-flow recession analysis and baseflow separation. *J. Hydrol., 219*, 20-33.