

RESPUESTA HIDROLÓGICA DE UNA CUENCA DE BANCALES ABANDONADOS (CAMERO VIEJO, LA RIOJA)

N. LANA- RENAULT¹, P. RUIZ-FLAÑO², J.A. LLORENTE¹, J. ARNÁEZ¹

¹Área de Geografía, Departamento de Ciencias Humanas, Universidad de La Rioja, 26004 Logroño

²Departamento Geografía, Universidad de Valladolid, 46071 Valladolid.
E.mail: noemi-solange.lana-renault@unirioja.es

RESUMEN

El abandono de bancales implica cambios sustanciales en las dinámicas hidrológicas y geomorfológicas de las laderas. Con el fin de entender cómo se reorganiza la red fluvial tras el abandono agrícola y su efecto sobre los mecanismos de transferencia de sedimentos y agua de las laderas a los cauces se ha monitorizado una pequeña cuenca en Camero Viejo (Sistema Ibérico riojano), en la que los bancales ocupan el 40% de su superficie. En este trabajo se presentan los primeros resultados del estudio de la respuesta hidrológica de la cuenca, correspondiente al año 2012-2013. El coeficiente de escorrentía anual fue moderado (0,13). Se registraron 9 crecidas entre enero y mayo, y una crecida de pequeña magnitud al inicio del otoño. La mayor parte de las crecidas presentaron respuestas limitadas ($CE < 0,10$) y picos moderados. Sólo dos crecidas ocurridas tras unas precipitaciones abundantes ($P \approx 43$ mm) produjeron una respuesta significativa, con picos de caudal $> 45 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. La forma de los hidrogramas de crecida, con tiempos de respuesta lentos, picos moderados y curvas de recesión largas sugiere el predominio de procesos de generación de escorrentía subsuperficial, posiblemente favorecidos por la presencia de bancales con suelos profundos y bien estructurados.

Palabras clave: *Respuesta hidrológica, bancales abandonados, cuenca experimental, Sistema Ibérico.*

ABSTRACT

The abandonment of bench terraces results in significant hydrogeomorphological changes at the hillslope scale. In order to study the restitution of the fluvial network after land abandonment and its effects on the water and sediment transfer from the hillslopes to the channels, a small experimental catchment was monitored in the Camero Viejo (Iberian Range). Here we present the first hydrological results corresponding to the year 2012-2013. The annual runoff coefficient was moderate (0,13). Nine floods were registred from January to May, and a small flood in October. Most of the floods were of small magnitude ($RC < 0,10$) and presented low peakflows. Only two floods that occurred after large rainstorms ($P \approx 43$ mm) recorded peakflows $> 45 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. The shape of the hydrographs, with slow response times, moderate peakflows and long recession limbs suggests a large contribution of subsurface flow, probably favoured by the thick and well structured soils of the bench terraces.

Keywords: *Hydrological response, abandoned terraces, experimental catchment, Iberian Range.*

1. INTRODUCCIÓN

Los bancales han desempeñado un importante papel productivo y ambiental en las áreas de montaña de muchos lugares del mundo, y de forma muy especial en las de clima mediterráneo. En éstas, la escasez de espacios aptos para la agricultura obligó a roturar las laderas mediante terrazas con el fin de disponer de espacios llanos y suelos relativamente fértiles para el cultivo, al tiempo que se favorecía la infiltración y se reducía la erosión. En España, los bancales son habituales en el Pirineo central y oriental (Lasanta, 1989), el Maestrazgo (Asins, 2007), el Sistema Ibérico (Arnáez *et al.*, 1990) y la Comunidad Valenciana (Rodríguez Aizpeolea, 1990). En el Sistema Ibérico riojano están muy presentes en los valles más orientales del Leza, Jubera y Cidacos (Camero Viejo), donde llegaron a ocupar el 67,1% del espacio agrícola tradicional (Lasanta *et al.*, 2007). En el valle del Cidacos, esta cifra ascendió al 92.5%. Desde mediados del siglo XX, se producen importantes cambios demográficos y económicos en las montañas medias españolas, Camero Viejo entre ellas, que se manifiestan en la contracción de las áreas agrícolas tradicionales (Ruiz-Flaño *et al.*, 2009). Se abandonan los cultivos en terrazas y, con ellos, los sistemas de mantenimiento y conservación que sólo se justificaban por elevados recursos demográficos en una economía de subsistencia. Tras el abandono, nuevas coberturas del suelo (matorral, repoblaciones) y nuevas dinámicas hidrológicas y geomorfológicas se instalan en las vertientes.

Actualmente se dispone de mucha información sobre la evolución hidrogeomorfológica del abandono de laderas abancaladas (García-Ruiz *et al.*, 1988; Ga-

llart *et al.*, 1994; Lasanta *et al.*, 2001). Se sabe que el proceso geomórfico más importante es el desplome de los muros de piedra causado por movimientos en masa; también se han detectado flujos laminares, especialmente en los taludes al pie de los bancales y en las áreas sometidas a un pastoreo más intensivo; en muchos casos, el abandono implica el deterioro de los sistemas de drenaje, favoreciendo la saturación de los suelos de la parte interna del bancal. No obstante, todavía se desconocen muchas cuestiones relacionadas con la restitución de la red fluvial, con la identificación y evolución de las áreas productoras de escorrentía y sedimento, y con la intensidad de los cambios de conectividad hidrológica y geomorfológica entre laderas y cauces. Responder a estas cuestiones requiere una perspectiva integrada que contemple los fenómenos a escala de cuenca.

En este trabajo se presentan los primeros resultados hidrológicos obtenidos de la monitorización reciente de una cuenca en Camero Viejo en la que los bancales abandonados ocupan una importante superficie. El objetivo de la investigación llevada a cabo en esta cuenca experimental es conocer y analizar en detalle los procesos hidrogeomorfológicos, especialmente la reorganización de la red fluvial tras el abandono agrícola y su efecto sobre los mecanismos de transferencia de sedimentos y agua de las laderas a los cauces.

2. LA CUENCA EXPERIMENTAL “SAN VICENTE DE MUNILLA”

La cuenca experimental “San Vicente de Munilla” se localiza en la Sierra de Camero Viejo, en el Sistema Ibérico riojano. Está drenada por el Barranco de La Canal, pequeño afluente del río Manzanares,

tributario a su vez del Cidacos. Tiene una superficie de 189 ha, con altitudes comprendidas entre los 775 y 1175 m s.n.m. La litología está compuesta por materiales secundarios de la facies Weald (margas y limolitas que alternan con potentes estratos de areniscas calcáreas), que originan relieves de suaves divisorias y laderas relativamente abruptas. La pendiente media de la cuenca está en torno al 36%. El clima es mediterráneo de montaña, con precipitaciones anuales entre 500-700 mm, que presentan un carácter marcadamente equinoccial, con máximos en primavera. Durante el invierno pueden ocurrir nevadas. Agosto es el mes más seco y llega a registrar un importante déficit hídrico. Las precipitaciones estivales tienen en general carácter tormentoso. Las temperaturas medias anuales se sitúan en 10°C. La vegetación potencial está representada por *Q. ilex* y *Q. faginea*, aunque las formaciones vegetales actuales consisten en prados de diente y formaciones más o menos densas de matorral de recolonización compuestas básicamente por *G. scorpius* o *C. laurifolius* (Rubio Sesma, 2013). Los bancales ocupan el 40% de la superficie de la cuenca. En la mayor parte de los casos están delimitados por un muro de entre 1 y 4 m de altura en función de la pendiente de la ladera. Estuvieron en cultivo hasta mediados de los años sesenta del siglo XX, fechas en las que se abandonan prácticamente por completo. Actualmente en toda la cuenca pasta ganado vacuno en régimen extensivo.

3. EQUIPAMIENTO DE LA CUENCA Y METODOLOGÍA

Para estudiar la respuesta hidrogeomorfológica de los bancales a la escala se-

leccionada, la cuenca experimental de San Vicente de Munilla se ha equipado con el siguiente instrumental (Fig. 1):

- Una estación meteorológica completa (Fig. 2A), dotada de sensores de temperatura y humedad relativa del aire, velocidad del viento y radiación solar, y alimentada con una placa solar de 20W. Los datos registrados por los sensores se almacenan cada 10 minutos en un *data-logger* (DataTaker DT50).
- Dos pluviómetros de balancín (Campbell Scientific) instalados en los sectores más alto y más bajo de la cuenca respectivamente. Los datos se almacenan en *dataloggers* HOBO Pendant.
- Dos aforos dotados de sensores de presión (MiniDiver Eijkelkamp), instalados en el lecho del cauce, que registran y almacenan cada 10 minutos la altura de la lámina de agua. Uno de ellos se ha dispuesto en la desembocadura de la cuenca (Fig 2B), mientras el otro mide el caudal de una subcuenca en la cabecera. En ambos lugares se han realizado perfiles transversales de los cauces que permiten estimar los respectivos caudales.
- Un “muestreador de nivel” (Llorens, 1988) diseñado a partir del modelo de Gordon *et al.* (2004) e instalado en el cauce, en la desembocadura de la cuenca. Cuenta con 8 botellas que recogen muestras de agua cuando la lámina de agua alcanza una altura de 18 cm.

La información almacenada en los *dataloggers* se descarga en un ordenador portátil una vez al mes y se incorpora en una base de datos para su posterior análisis. En este trabajo se han analizado los datos de precipitación y escorrentía del

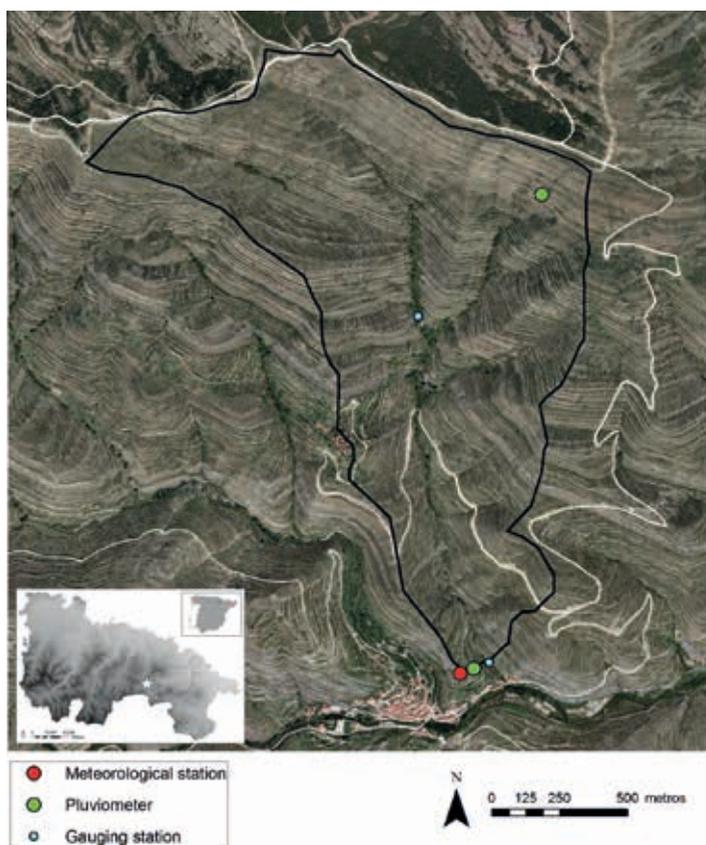


Figura 1. Dispositivo experimental en la cuenca "San Vicente de Munilla".

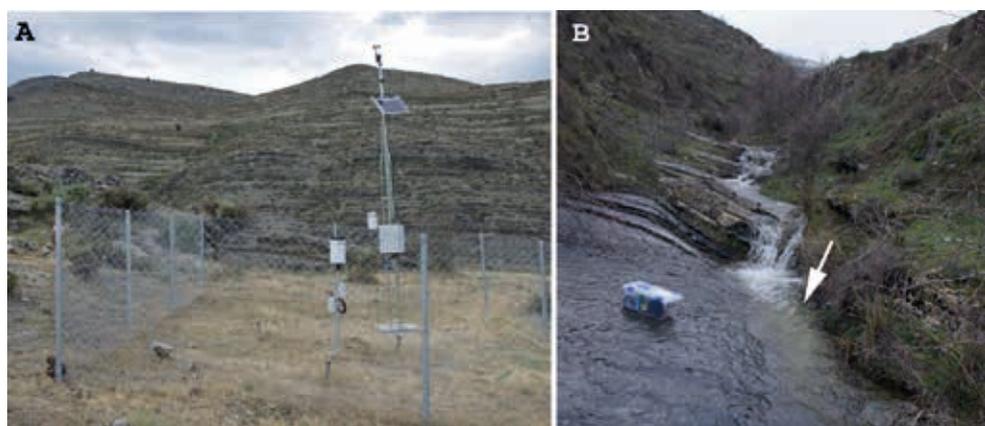


Figura 2. A) Estación meteorológica y pluviómetro de balancín; B) Aforo en la desembocadura de la cuenca (con una flecha blanca se ha señalado la localización del MiniDiver).

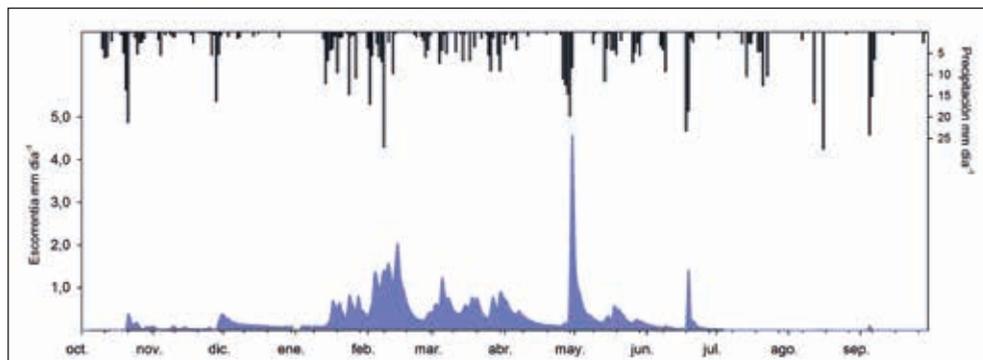


Figura 3. Precipitación y escorrentía diaria en la cuenca "San Vicente de Munilla" (año hidrológico 2012-2013).

primer año hidrológico (de octubre 2012 a septiembre de 2013) del que se tiene información completa. Las crecidas se han definido como un aumento de caudal ante un evento pluviométrico superior a 5 mm, y se han identificado visualmente a partir del hidrograma obtenido a un paso de tiempo de 10 minutos. Para la separación del hidrograma de crecida se ha utilizado el método de Hewlett & Hibbert (1967) utilizando una pendiente constante igual a $1,83 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2} \text{ día}^{-1}$, tal y como proponen Latron *et al.* (2008). Los aumentos de caudal observados durante el mes de febrero no se han considerado pues muy probablemente están relacionados con procesos de fusión de nieve.

4. PRIMEROS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 3 muestra la precipitación y la escorrentía diaria registradas en la cuenca durante el año hidrológico 2012-2013. La precipitación total fue 702 mm, un valor algo inferior al registrado ese mismo año en el pluviómetro de la Confederación Hidrográfica del Ebro localizado en Valloria (provincia de Soria), a 1188 m s.n.m y 40

km al SO de San Vicente de Munilla. Los datos recogidos en este pluviómetro (en torno a 750 mm) indican que el año hidrológico 2012-2013 fue un año relativamente húmedo en el periodo 2003-2013, en el que la precipitación media anual fue 690 mm.

La escorrentía medida en la desembocadura de la cuenca fue 90,2 mm y el coeficiente de escorrentía (CE) anual 0,13. Es interesante contrastar este valor con el obtenido en la cuenca de Arnás, en el Pirineo central, ocupada también por campos abandonados, pero en este caso en pendiente, y con un CE medio en torno al 0,25 (García-Ruiz *et al.*, 2008). El menor CE en Munilla podría explicarse, en parte, por la menor precipitación que se registra en este sector del Sistema Ibérico; sin embargo este factor no parece suficiente para explicar una diferencia tan importante.

La Figura 3 muestra claramente que la respuesta hidrológica de la cuenca se concentró en cuatro meses, desde mediados de enero hasta mediados de mayo. Este periodo, con abundantes precipitaciones (370 mm), produjo casi el 90% de la esco-

Tabla 1. Principales características de las crecidas observadas en la cuenca “San Vicente de Munilla” (año hidrológico 2013-2013).

	MEDIA	MÁX.	MÍN.
P (mm)	18,3	43,7	6,3
IP10min (mm h ⁻¹)	6,9	21,6	2,4
Qini (l s ⁻¹ km ⁻²)	4,3	8,7	0,4
Escorrentía de crecida (mm)	1,25	7,27	0,22
CE	0,06	0,17	0,02
Qmax (l s ⁻¹ km ⁻²)	24,8	72,3	12,1
Tiempo de respuesta	8h 17min	1día + 9h 20min	2h 30min
Duración de la crecida	1 día + 11h 22 min	5 días + 20h 10 min	1 día + 1h 30 min

P: precipitación; IP10min: intensidad de precipitación en 10 minutos; Qini: caudal de base al inicio de la crecida; CE: coeficiente de escorrentía; Qmax: caudal máximo en 10 minutos; Tiempo de respuesta: intervalo de tiempo entre el centroide de la tormenta y el pico de caudal.

rrerentía anual. Durante el resto del año la respuesta hidrológica fue muy limitada: en el otoño sólo se observó un aumento del caudal después de precipitaciones intensas ($P > 20$ mm) y en el verano, que fue inusualmente húmedo (durante los meses de julio, agosto y septiembre se registraron 148 mm de lluvia), la cuenca no respondió ante ningún evento pluviométrico, a pesar de registrarse tormentas superiores a 25 mm. Sólo en el mes de septiembre el cauce respondió tímidamente a una precipitación de 21 mm.

4.1. Respuesta hidrológica a escala de evento

Durante el año hidrológico 2012-2013 se registraron 10 crecidas cuyas características se resumen en la Tabla 1. Todas las crecidas se produjeron durante el periodo comprendido entre enero y mayo, salvo una crecida que se registró el 21 de octubre, como respuesta a una tormenta

de 20,8 mm. Las precipitaciones variaron entre 6,3 y 43,7 mm y no fueron particularmente intensas, salvo la ocurrida el 18 de junio en la que se registró un pico de intensidad en 10 minutos de 21,6mm h⁻¹ (ver Fig. 4).

Las crecidas fueron moderadas, con coeficientes de escorrentía y picos de caudal en general bajos. De las 10 crecidas, 8 tuvieron un $CE < 0,10$. El pico de caudal máximo ocurrió durante la crecida del 28 de abril (ver Fig 4), con un valor de 72,3 l s⁻¹ km⁻². Salvo en la crecida del 18 de junio, el resto de los picos de caudal no superaron los 25 l s⁻¹ km⁻². Es interesante destacar que las crecidas fueron especialmente largas: todas duraron más de un día entero y la más larga llegó a durar más de 5 días. Asimismo, el tiempo de respuesta también fue relativamente largo, con un valor medio de 8h 17 minutos. Éste dato contrasta con el observado en la cuenca de Arnás, con un valor medio de 2 horas;

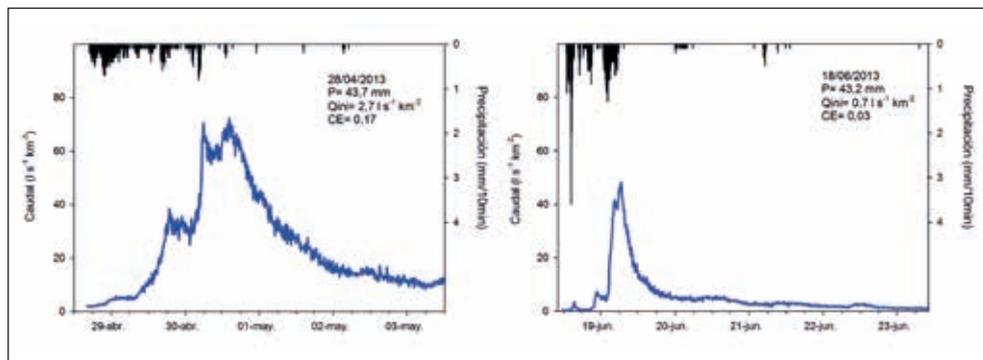


Figura 4. Hietogramas e hidrogramas de dos crecidas registradas en la cuenca "San Vicente de Munilla" en condiciones hidrológicas diferentes.

en cambio, se asemeja al observado en la cuenca forestal de San Salvador, en el Pirineo central, con un tiempo de respuesta medio de 6 h 20 minutos (Lana-Renault *et al.*, 2011).

Los coeficientes de escorrentía bajos suelen observarse en cuencas forestales, donde los procesos de interceptación y evapotranspiración son importantes (Calder & Newson, 1979; García-Ruiz *et al.*, 2008) y/o en cuencas con suelos profundos, capaces de almacenar grandes cantidades de agua (Burch *et al.*, 1987). Las respuestas de caudal lentas, con picos moderados y curvas de recesión largas, son típicas de ambientes con suelos bien desarrollados, que favorecen los procesos de escorrentía subsuperficial (Freeze, 1972). En la cuenca de Munilla, la cubierta vegetal, condicionada por el uso ganadero, es muy limitada, de manera que *a priori* los procesos de interceptación y evapotranspiración no son particularmente significativos. Los coeficientes de escorrentía bajos y las características de los hidrogramas de crecida (duración de la crecida y tiempos de respuesta largos, picos de caudal moderados) podrían estar relacionados con

la presencia de suelos profundos y bien estructurados asociados con la construcción de los bancales.

En la Figura 4 se han representado dos crecidas generadas por eventos pluviométricos de magnitud similar pero en condiciones de humedad diferentes. Se ha utilizado el caudal de base al inicio de la crecida como indicador del estado de humedad de la cuenca. El 28 de abril la cuenca estaba húmeda ($Q_{ini}=2,7 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$) y una precipitación de 43,7mm produjo una respuesta importante ($CE=0,17$), con un pico de caudal de $72,3 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Una tormenta de magnitud similar, aunque mucho más intensa ($IP_{10min}=21,6 \text{ mm h}^{-1}$) y ocurrida en condiciones más secas ($Q_{ini}=0,7 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$), produjo el 18 de junio una respuesta hidrológica muy limitada ($CE=0,03$). Es importante señalar que el pico de caudal ($Q_{max}=48,1 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$) no se produjo como respuesta al pico de precipitación más intenso, sino 8 horas después, como respuesta a un segundo episodio de precipitación. Esto significa que la mayor parte de la precipitación caída al inicio de la tormenta se infiltró en los suelos y sólo cuando se alcanzó un cierto

estado de humedad la cuenca respondió con un aumento del caudal significativo.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentan los primeros resultados del estudio de la respuesta hidrológica de una pequeña cuenca experimental ocupada por bancales abandonados en Camero Viejo (Sistema Ibérico riojano). Se analiza el año hidrológico 2012-2013 que puede considerarse algo más lluvioso que la media. La respuesta de la cuenca fue moderada con un coeficiente anual de 0,13. Se registraron 9 crecidas entre enero y mayo, cuando la cuenca estaba presumiblemente más húmeda, y una crecida de pequeña magnitud al inicio del otoño. La mayor parte de las crecidas presentaron respuestas limitadas ($CE < 0,10$) y picos moderados ($Q_{max} < 30 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$). Sólo dos crecidas ocurridas tras unas precipitaciones muy abundantes ($P \approx 43 \text{ mm}$) produjeron una respuesta significativa, especialmente la registrada el 28 de abril, con un $CE = 0,17$ y un pico de caudal de $72,3 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. La forma de los hidrogramas de crecida, con tiempos de respuesta lentos, picos moderados y curvas de recesión largas sugiere el predominio de procesos de generación de escorrentía subsuperficial, posiblemente asociados a la presencia de bancales con suelos profundos y bien estructurados.

El dispositivo experimental sigue registrando información hidrológica y sedimentológica que permitirá disponer de más datos para confirmar estos primeros resultados. A partir de los datos obtenidos en el aforo instalado en la parte superior de la cuenca se podrá conocer la contribución de la zona de cabecera, ocupada por bancales peor contruidos (sin muros de

piedras y con suelos menos profundos), en la respuesta del caudal. Por otra parte, la instalación reciente de varios piezómetros en diferentes puntos de la cuenca ofrecerá información sobre la dinámica del nivel freático y permitirá entender mejor los procesos de generación de escorrentía que ocurren en las laderas abanacadas.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado con el apoyo del proyecto "Efectos en la red de drenaje y en las áreas fuente de sedimento de los cambios de uso del suelo: la gestión de espacios abanacados de montaña fuertemente alterados" (CGL2011-27753-C02-02) financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad. Los autores quieren agradecer al grupo de Hidrología Superficial y Erosión del IDAEA-CSIC (J. Latron, P. Llorens y F. Gallart), a D. Regués y a J. Estrany por su ayuda técnica en la instalación del equipamiento en la cuenca.

7. REFERENCIAS

- Arnáez, J., Lasanta, T., Ortigosa, L., Ruiz-Flaño, P. (1990): L'abandon de l'espace agricole dans la montagne submediterraneenne espagnole: Pyrénées et Système Iberique. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 61(2): 237-253.
- Asins, S. (2007): Los aterrazamientos mediterráneos. Paradigma ambiental-agro-cultural. *Cuadernos de la Sostenibilidad y Patrimonio Natural*, 11: 81-91.
- Burch, G.J., Bath, R.K., Moore, I.D., O' Loughlin, E.M. (1987): Comparative hydrological behaviour of forested and cleared catchments in southeastern Australia. *Journal of Hydrology*, 90: 19-42.
- Calder, I.R., Newson, M.D. (1979): Land use and upland water resources in Britain—a strategic look. *Water Resources Bulletin*, 16: 1628-1639.
- Freeze, R.A. (1972): The role of subsurface flow in generating surface runoff. 2. Upstream

- source areas. *Water Resources Research*, 8 (5): 1271-1283.
- Gallart, F., Llorens, P., Latron, J. (1994): Studying the role of old agricultural terraces on runoff generation in a small Mediterranean mountainous basin. *Journal of Hydrology*, 159: 291-303.
- García-Ruiz, J.M., Lasanta, T., Sobrón, I. (1988): Problemas de evolución geomorfológica en campos abandonados: el valle del Jubera (Sistema Ibérico). *Zubía*, 6: 99-114.
- García-Ruiz, J.M., Regüés, D., Alvera, B., Lana-Renault, N., Serrano-Muela, P., Nadal-Romero, E., Navas, A., Latron, J., Martí-Bono, C., Arnáez, J. (2008): Flood generation and sediment transport in experimental catchments affected by land use changes in the Central Pyrenees. *Journal of Hydrology*, 356: 245-260.
- Gordon, N.D., McMahon, T.A., Finlayson, B.L., Gippel, C.J., Nathan, R.J. (2004): *Stream hydrology: an introduction for ecologists*. John Wiley & Sons, 429 pp, Chichester.
- Hewlett, J.D., Hibbert, A.R. (1967): Factors affecting the response of small watershed to precipitation in humid areas. En: *International Symposium of Forest Hydrology* Sopper, (W.E. Sopper y H.W. Lull eds.). Pergamon Press: 275-290.
- Lana-Renault, N., Latron, J., Karssenber, D., Serrano-Muela, P., Regüés, D. & Bierkens, M.F.P. (2011): Differences in stream flow in relation to changes in land cover: a comparative study in two sub-Mediterranean mountain catchments. *Journal of Hydrology*, 411: 366-378.
- Lasanta, T., Arnáez, J., Oserín, M., Ortigosa, L. (2001): Marginal lands and erosion in terraced fields in the Mediterranean mountains: A case study in the Camero Viejo (North-western Iberian System, Spain). *Mountain Research and Development*, 21: 69-76.
- Lasanta, T. (1989): *Evolución reciente de la agricultura de montaña: El Pirineo aragonés*. Geoforma Ediciones, 220 pp., Logroño.
- Lasanta, T., Arnáez, J., Ortigosa, L., Pascual, N., Ruiz-Flaño, P. & Oserín, M. (2007): Efectos ambientales derivados de la marginación de Camero Viejo (Sistema Ibérico). En: *Espacios naturales y paisajes en La Rioja* (J. Arnáez y J.M. García-Ruiz, Edts.). Instituto de Estudios Riojanos: 107-127, Logroño.
- Latron, J., Soler, M., Llorens, P., Gallart, F. (2008): Spatial and temporal variability of the hydrological response in a small Mediterranean research catchment (Vallcebre, Eastern Pyrenees). *Hydrological Processes*, 22: 775-787.
- Rodríguez Aizpeolea, J. (1990): Evolució i situació actual dels bancals abandonats en el Parc Natural del Montgó. *Aguaites*, 5: 19-54.
- Rubio Sesma, J. (2013): *Procesos de revegetación en bancales abandonados (Camerós, Sistema Ibérico, La Rioja)*. Trabajo de Máster inédito, Universidad de La Rioja, Logroño.
- Ruiz-Flaño, P., Lasanta, T., Arnáez, J., Ortigosa, L., Oserín, M. (2009): El proceso de abandono del espacio agrícola en Cameros. En: *Gestión, usos del suelo y paisaje en Cameros (Sistema Ibérico, La Rioja)* (T. Lasanta y J. Arnáez, eds.). Universidad de La Rioja e Instituto de Estudios Riojanos: 109-126, Logroño.