

# Respuesta hidrogeomorfológica de una cuenca de bancales abandonados (Camero Viejo, La Rioja, España)

J.A. Llorente-Adán, P. Ruiz-Flaño, N. Lana-Renault y J. Arnáez

Área de Geografía Física, Departamento de Ciencias Humanas, Universidad de La Rioja, Logroño, La Rioja

**HYDROLOGICAL AND SEDIMENT RESPONSE OF A CATCHMENT WITH ABANDONED AGRICULTURAL TERRACES (CAMERO VIEJO, LA RIOJA, SPAIN):** The abandonment of agricultural practices throughout the 20th century resulted in important changes in the hydrological and geomorphological dynamics of terraced hillslopes. To understand this new hydrogeomorphological dynamics, in 2012 we monitored a small catchment occupied by abandoned terraces in Camero Viejo (Iberian Range). This paper presents the results obtained after five years of field work and monitoring of different hydrogeomorphological variables. The hydrological response of the catchment was moderate. At the even scale, most of the runoff coefficients were low ( $<0.10$ ) and the response times and recession curves were long, suggesting the generation of subsurface runoff due to the presence of terraces fields with deep and well structured soils. Suspended sediment concentrations were also moderate (average 1.7 g/l). A total of 632 terrace failures with mass movements were identified. No significant correlation was found between their spatial distribution and the topographic variables.

**Palabras clave:** abandono de tierras, respuesta hidrológica, bancales, cuenca experimental

**Key words:** land abandonment, hydrological response, terraces, experimental catchment

## Introducción

Las laderas aterrazadas mediante bancales para el cultivo constituyen uno de los paisajes agrícolas más característicos de las áreas de montaña mediterránea (García- Ruiz y Lana-Renault, 2011). El abandono de las prácticas agrícolas producido durante el siglo XX ha supuesto importantes cambios en la dinámica hidrológica y geomorfológica de estas laderas. Se dispone ya de mucha información sobre el sentido y la magnitud de estos cambios (Gallart et al., 1994; Arnáez et al., 2015), pero quedan todavía algunos interrogantes sobre el funcionamiento hidromorfológico a escala de cuenca.

Con el fin de comprender esta nueva dinámica hidromorfológica, integrando laderas y cauces, el Área de Geografía Física de la Universidad de La Rioja monitorizó en 2012 una pequeña cuenca ocupada por bancales abandonados en Camero Viejo (Sistema Ibérico riojano). En este trabajo se presentan los resultados obtenidos tras cinco años de control y de seguimiento de campo sobre distintas variables hidrogeomorfológicas.

## Área de estudio

El estudio se ha llevado a cabo en la cuenca de San Vicente de Munilla, ubicada en la Sierra

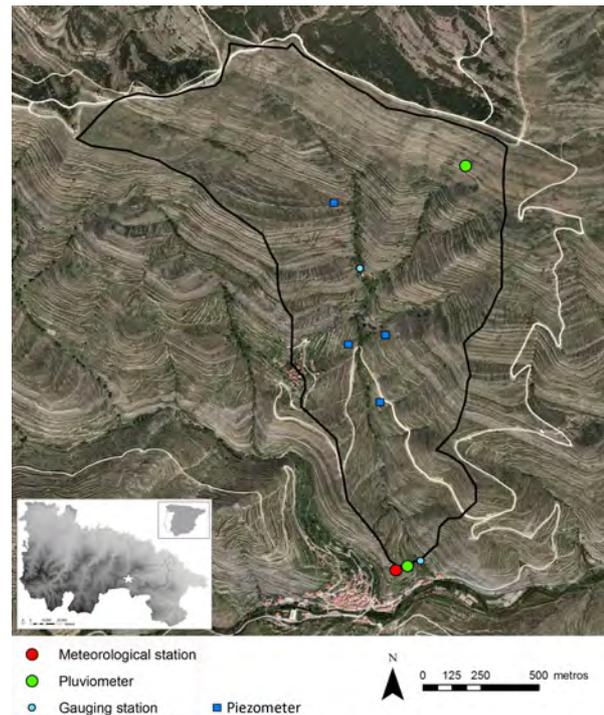


Fig. 1. Área de estudio y equipamiento de la cuenca.

Fig. 1. Study area and location of the main monitoring instruments.

de Cameros Viejo (Sistema Ibérico) (Figura 1). Ocupa una superficie de 189 ha, con altitudes comprendidas entre 775 y 1175 m s.n.m. y una pendiente media del 36%. Su clima es mediterráneo de montaña, con precipitaciones anuales entre 500-700 mm y una temperatura

media anual de 10°C.

El espacio cultivado llegó a representar el 40% de la superficie de la cuenca. Se trata casi en su totalidad de bancales, cuyos muros tienen entre 1 y 4 m de altura. En ocasiones se encuentran interconectados entre sí para adaptarse a la topografía.

Las prácticas agrícolas fueron abandonadas en los años 60 del siglo XX, iniciándose entonces la recolonización vegetal de las terrazas de cultivo. Actualmente el 80% de la superficie de la cuenca está ocupada por un matorral poco denso de *Genista scorpius* y *Cistus Laurifolius*, limitándose las formaciones arbóreas a los cauces y a las repoblaciones forestales realizadas en las zonas más elevadas.

## Materiales y métodos

La cuenca de San Vicente de Munilla está equipada con el siguiente instrumental (Fig. 1):

- Dos pluviómetros de balancín, ubicados en la parte alta y baja de la cuenca.
- Una estación meteorológica completa con sensores de temperatura y humedad relativa del aire, velocidad del viento y radiación solar.
- Dos aforos, uno a la salida de la cuenca y otro en un afluente, con registro de la altura de la lámina de agua cada 10 minutos.
- Cuatro piezómetros localizados en bancales situados a diferentes distancias del cauce principal.
- Un muestreador de nivel, basado en el modelo de Gordon et al. (2004) instalado en la desembocadura junto a uno de los aforos.

La información se almacena en sensores y dataloggers y se descarga en las salidas de campo.

Para analizar las áreas fuente de sedimento de la cuenca disponemos de dos cartografías de desprendimientos en los bancales, correspondientes a los años 2013 y 2016.

## Resultados

### Respuesta hidrológica

El coeficiente medio de escorrentía anual fue 0,17. Este coeficiente es inferior al registrado en otras cuencas de campos aban-

	Media	Máx.	Mín.
P (mm)	25,5	97	6,3
I <sub>max10</sub> (mm/h)	13,2	68,4	1,2
Q <sub>ini</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )	2,7	8,7	0,0
CE (-)	0,06	0,29	0,001
Q <sub>max</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )	34	217,2	2,1
Tiempo de respuesta	8h20'	1d9h20'	40'
Duración de la crecida	1d19h	6d11h	5h 20'

Tabla 1. Principales características de las crecidas registradas en la cuenca de Munilla. P: precipitación; I<sub>max10</sub>: intensidad máxima de precipitación en 10 minutos; Q<sub>ini</sub>: caudal específico de base al inicio de la crecida; CE: coeficiente de escorrentía; Q<sub>max</sub>: caudal específico máximo en 10 minutos; Tiempo de respuesta: intervalo de tiempo entre el centroide de la tormenta y el pico de caudal

Table 1. Main characteristics of the floods recorded in Munilla catchment.

donados (García-Ruiz et al., 2008). Este valor está relacionado con la presencia de suelos profundos y desarrollados en los bancales, que permiten elevadas infiltraciones y reducidas respuestas hidrológicas.

El dispositivo experimental ha registrado 27 crecidas entre 2012 y 2016. La tabla 1 recoge las características generales de estas crecidas. Presentan coeficientes de escorrentía bastante reducidos (valor medio <0,1), tiempos de respuesta elevados, con un valor medio de 8 horas 20 minutos, y picos de caudal también moderados (valor medio 34 l/s/km<sup>2</sup>). Se trata de crecidas en general largas, con una duración media superior a 1 día, lo que puede estar indicando la presencia de procesos de escorrentía subsuperficial (Freeze, 1972).

En la figura 2 se han representado los hidrogramas de dos crecidas producidas en diferentes condiciones de humedad de la cuenca, que permiten intuir el comportamiento hidrológico de la misma. El 2 de julio de 2014, en condiciones secas, tal como refleja la ausencia de caudal inicial en el cauce principal, se registra una precipitación de 23,7 mm. La cuenca parece responder de forma relativamente rápida pero muy limitada, con un coeficiente de escorrentía apenas apreciable (0,003). Con una precipitación algo inferior y de menor intensidad horaria, pero con condiciones húmedas, en marzo de 2016 se registra una crecida más importante, con un coeficiente de

escorrentía de 0,12 y un pico de caudal de 33,5 l/s/km<sup>2</sup>. Su tiempo de respuesta elevado (> 9 h) y una curva de recesión muy larga (3 días, 21 h, 20') parecen poner de manifiesto el importante papel de regulación hídrica que ejercen los suelos de los bancales. Estos poseen una importante capacidad de infiltración, que favorece la circulación subsuperficial, retarda la llegada de la escorrentía a los cauces y favorece una curva de agotamiento de mayor duración.

La información sobre los cambios hidrológicos se completa con el cálculo de la conectividad hidrológica de la cuenca en 1956 y 2014. En cuencas de campos abandonados se ha observado que tras el abandono se produce una importante reducción de la conectividad hidrológica debido a los procesos de recolonización vegetal (López-Vicente et al., 2017; Buendía et al., 2016), que dificultan la transferencia de agua y sedimentos dentro de la cuenca. En el caso de Munilla, Lana-Renault et al. (2018) han estimado una reducción de la conectividad del 7,7% entre estas dos fechas. Esta reducción es mucho menor que las obtenidas en el mismo trabajo para las cuen-

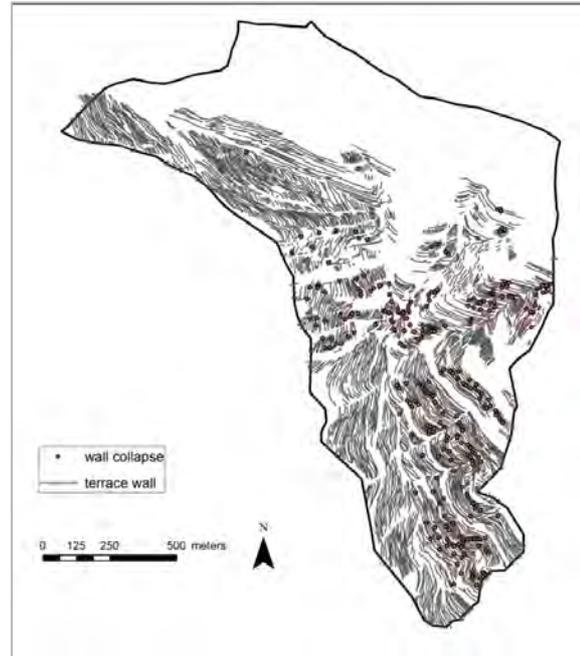


Fig. 3. Cartografía de los muros de las terrazas y localización de los movimientos en masa.

Fig. 3. Location of mass soil movements on terraces.

cas pirenaicas de Arnás (28%) y Araguás (55%), donde se han producido repoblaciones forestales y una recolonización vegetal que ha originado cubiertas de matorral de mayor densidad. En Munilla, por el contrario, apenas hay vegetación forestal, domina el matorral disperso y se han producido desprendimientos en los bancales, que favorecen la conectividad (Calsamiglia et al., 2017) y pueden estar influyendo en que la reducción sea menor.

Durante las crecidas, la concentración media de sedimentos fue de 1.7 g/l, alcanzando magnitudes más elevadas en eventos hidrológicos donde confluyen precipitaciones abundantes con un elevado grado de humedad en la cuenca. Este es el caso de la crecida de marzo de 2015, en la que se alcanza la máxima concentración de sedimentos (6,85 g/l). La precipitación fue importante (78,9 mm) y las condiciones de humedad previas también eran elevadas.

#### Movimientos en masa

Las caídas de piedras y los deslizamientos son los procesos más frecuentes en los muros de los bancales. En Munilla se han contabilizado 632 movimientos en masa en 2016 (Fig.3).

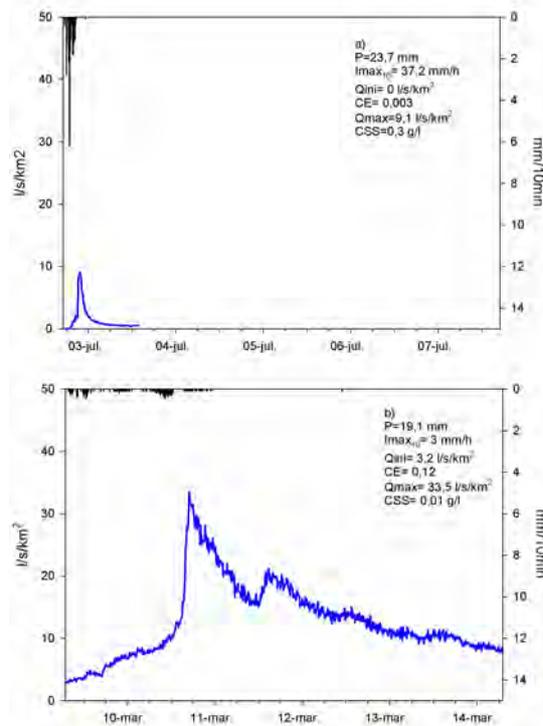


Fig. 2. Hietogramas e hidrogramas de dos crecidas en condiciones hidrológicas diferentes.

Fig. 2. Hietograms and hydrographs of two floods in different hydrological conditions.

Las pautas de su distribución son complejas. Estos aparecen tanto en laderas cóncavas como convexas, aunque su porcentaje es un poco más elevado en éstas últimas (53,1% frente a 46,9%). Son más frecuentes en pendientes entre 30% y 45%, intervalo que corresponde con el desnivel medio de la cuenca, y disminuyen en intervalos de pendientes superiores debido a que los bancales están menos representados en ellos. Finalmente, son más abundantes en las partes bajas de las laderas.

No obstante, esta distribución no es estadísticamente representativa, de forma que variables topográficas como pendiente o curvatura de la ladera no muestran relación significativa con la presencia de estos movimientos en masa (Ruiz-Flaño et al., 2013).

En la actualidad se está realizando un muestreo más detallado que contempla un mayor número de variables y de características de las parcelas con el fin de buscar relaciones más relevantes.

## Conclusiones

En este trabajo se han presentado los resultados sobre el comportamiento hidrogeomorfológico de una cuenca ocupada por bancales abandonados en Cameros Viejo (Sistema Ibérico). Las crecidas se caracterizan por coeficientes de escorrentía bajos, tiempos de respuesta lentos y largas curvas de recesión, características de áreas con circulación subsuperficial de agua y con suelos profundos y bien estructurados. Las concentraciones de sedimentos son también reducidas, a pesar del elevado número de movimientos en masa de los muros de los bancales. Las cicatrices de estos desprendimientos actúan como áreas fuentes de sedimentos, pero tienen importantes problemas de conectividad con los cauces.

## Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado con el apoyo financiero del proyecto ESPAS (Escenarios de producción de agua y sedimentos a partir de cambios de vegetación y usos del suelo: efectos de la gestión activa y pasiva del territorio) (CGL2015-

65569-R), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (Gobierno de España).

## Bibliografía

- Arnáez, J., Lana-Renault, N., Lasanta, T., Ruiz-Flaño, P., Castroviejo, J. 2015. Effects of farming terraces on hydrological and geomorphological processes. A review. *Catena* 128, 122-134.
- Buendía, C., Bussi, G., Tuset, J., Vericat, D., Sabater, S., Palau, A., Batalla, R.J. 2016. Effects of afforestation on runoff and sediment load in an upland Mediterranean catchment. *Science of the Total Environment* 540, 144-157.
- Calsamiglia, A., Fortesa, J., García-Comendador, J., Lucas-Borja, M.E., Calvo-Cases, A., Estrany, J. 2017. Spatial patterns of sediment connectivity in terraced lands: anthropogenic controls of catchment sensitivity. *Land Degradation & Development* 29, 1198-1210.
- 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 Mediterranean small mountainous basin. *Journal of Hydrology* 159, 291-303.
- García-Ruiz, J.M., Lana-Renault, N. 2011. Hydrological and erosive consequences of farmland abandonment in Europe, with special reference to the Mediterranean region. A review. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 140, 317-338.
- García-Ruiz, J.M., Regúés, 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, Chichester, 429p.
- Lana-Renault, N., López-Vicente, M., Nadal-Romero, E., Ojanguren, R., Llorente, J.A., Errea, P., Regúés, D., Ruiz-Flaño, P., Khorchani, M., Arnáez, J., Pascual, N. 2018. Catchment based hydrology under post farmland abandonment scenarios. *Cuadernos de Investigación Geográfica-Geographical Research Letters* 44(2), 503-534.
- López-Vicente, M., Nadal-Romero, E., Cammeraat, E.L.H. 2017. Hydrological connectivity does change over 70 years of abandonment and afforestation in the Spanish Pyrenees. *Land Degradation & Development* 28 (4), 1298-1310.
- Ruiz-Flaño, P., Lana-Renault, N., Ortigosa, L., Galilea, I., Llorente, J.A., Arnáez, J. 2013. The effect of terrace abandonment on the restitution of the drainage network and soil erosion. IAG, Paris.