Geografía: Cambios, Retos y Adaptación
AGE y Universidad de La Rioja
pp. 329-335 (2023)

XXVIII Congreso de la Asociación Española de Geografía
ISBN 978-84-09-53925-3
DOI: 10.21138/CG/2023.lc

DIFERENTES ESCENARIOS DE GESTIÓN POST-ABANDONO Y SUS EFECTOS SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN ZONAS DE MONTAÑA MEDITERRÁNEA: EL RÍO LEZA (SISTEMA IBÉRICO)

MANEL LLENA (id)[1]
JAVIER ZABALZA (id)[1]
MELANI CORTIJOS-LÓPEZ (id)[1]
TEODORO LASANTA (id)[1]
ESTELA NADAL-ROMERO (id)[1]

[1]*Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC. Avenida Montañana 1005, 50059, Zaragoza*

Autor de correspondencia: manel.llena@ipe.csic.es

Resumen. Desde la segunda mitad del siglo XX las cuencas mediterráneas de media montaña han experimentado un importante proceso de abandono rural. Durante las últimas décadas, en algunas áreas abandonadas se está aplicando una gestión activa, bien mediante repoblaciones forestales o bien con el desbroce de matorrales. El objetivo de este trabajo es analizar los efectos de diferentes tipos de gestión post-abandono sobre la producción de agua en una cuenca mediterránea de media montaña (Valle del Leza, Sistema Ibérico). Se aplica un modelo ecohidrológico (RHESSys) y un modelo de conectividad hidrológica (IC) en diferentes subcuencas representativas de tres escenarios de gestión de los usos del suelo: (i) revegetación natural; (ii) repoblación forestal; y (iii) desbroce de matorral. Los resultados muestran que la conectividad hidrológica tiende a decrecer cuando la cubierta vegetal aumenta (i.e., revegetación natural y repoblación forestal), mientras que tiende a aumentar en áreas desbrozadas. La escorrentía superficial sigue el mismo comportamiento que la conectividad hidrológica. La transformación de matorrales en pastos mediante el desbroce mejora la conectividad hidrológica superficial y con ello incrementa la escorrentía y la disponibilidad de recursos hídricos superficiales.

Palabras clave: abandono rural, gestión usos del suelo, repoblación forestal, desbroce de matorral, conectividad hidrológica, escorrentía superficial.

DIFFERENT POST-ABANDONMENT MANAGEMENT SCENARIOS AND THEIR EFFECTS ON WATER RESOURCES IN MEDITERRANEAN MOUNTAIN AREAS: THE LEZA RIVER (IBERIAN SYSTEM)

Abstract. Since the second half of the 20th century mid-mountain areas of the Mediterranean basin undergone an intense process of rural abandonment. During the last decades active land use management has been applied in some abandoned areas. The objective of this work is to analyse the relative effects of land use management techniques to hydrological connectivity and water yield in a Mediterranean mid-mountain basin (Leza Valley, Iberian System). Ecohydrological and hydrological connectivity models are applied in different representative sub-basins of three scenarios of the three different types of land use management: (i) natural revegetation; (ii) human afforestation; and (iii) shrub clearing. The results show how hydrological connectivity tends to decrease when the vegetation cover increases (i.e., natural revegetation and afforestation), while it tends to increase when scrub clearing take place. Surface runoff follows the same behaviour as hydrological connectivity. Shrubs clearing favours the increase of surface hydrological connectivity and runoff, favouring a greater availability of superficial water resources.

KEYWORDS: RURAL ABANDONMENT, LAND-USE MANAGEMENT, HUMAN AFFORESTATION, SHRUB CLEARING, HYDROLOGICAL CONNECTIVITY, SURFACE RUNOFF.

1. INTRODUCCIÓN

Durante la segunda mitad del siglo XX las cuencas mediterráneas de media montaña han experimentado un importante proceso de abandono rural (MacDonald *et al.,* 2000; Lasanta *et al.,* 2005), el cual, entre otros efectos ha causado un importante aumento de la cubierta forestal. Este aumento, junto con una transición a condiciones climáticas más secas, ha provocado que estas áreas hayan experimentado una importante disminución de la escorrentía y la producción de sedimentos durante este periodo (García-Ruiz y Lana-Renault, 2011; Buendia *et al.,* 2015). Asimismo, debido a los procesos de revegetación y repoblación forestal los antiguos paisajes culturales se han homogeneizado y desfragmentado, lo que ha tenido diversas consecuencias desde el punto de vista ecológico, geomorfológico e hidrológico. Durante las últimas décadas, la gestión del uso del suelo de estas áreas se ha convertido en un objetivo de los gestores territoriales y ambientales con el objetivo de garantizar la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos (Lasanta *et al.,* 2016). En algunas áreas abandonadas se ha aplicado una gestión activa, ya sea mediante la reducción de la densidad de la vegetación (p.e., desbroces de matorral; Lasanta *et al.,* 2022) o mediante la repoblación forestal, mientras que otras han sufrido un proceso natural de revegetación. En este contexto, evaluar el efecto de los cambios de los usos del suelo en la escorrentía es fundamental para abordar la gestión del agua y la pérdida de suelo a escala de cuenca y escala regional, especialmente en un contexto de cambio climático.

El objetivo de este trabajo es analizar los efectos relativos de diferentes tipos de gestión del uso del suelo sobre la producción de agua en una cuenca mediterránea de media montaña (Valle del Leza, Sistema Ibérico, La Rioja). Para lograr este objetivo, se aplican modelos ecohidrológicos y de conectividad hidrológica en diferentes subcuencas representativas de tres escenarios de gestión de los usos del suelo: (i) revegetación natural; (ii) repoblación forestal; y (iii) desbroce de matorral.

2. MÉTODOS

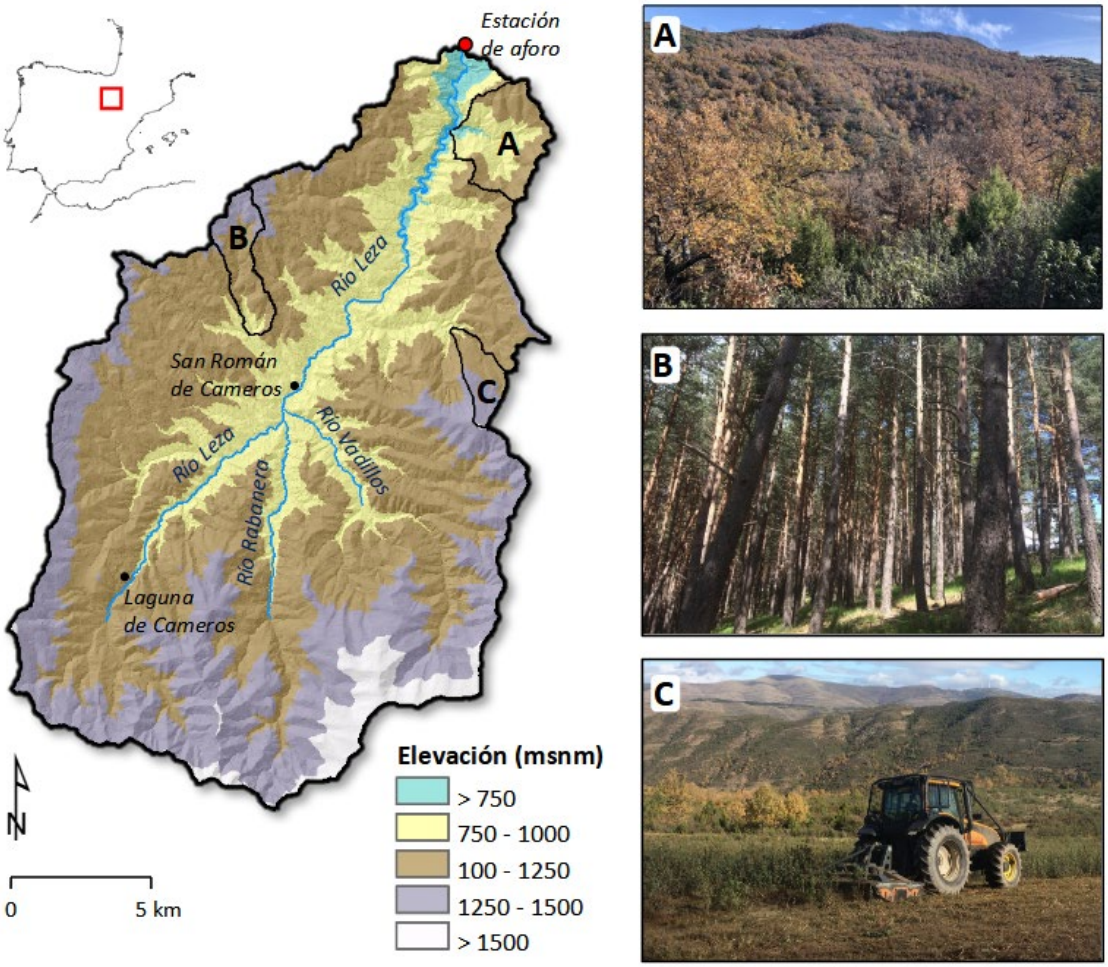
2.1 Área de estudio y escenarios de gestión

El área de estudio está compuesta por tres subcuencas localizadas en el sector de montaña del Valle del Leza (Sistema Ibérico; Figura 1A). Cada una de estas subcuencas es representativa de un escenario distinto de gestión post-abandono de los usos del suelo: (i) La subcuenca A (8 km^2; Figura 1A) representa el proceso de revegetación natural. Esta cuenca ha sufrido un continuo aumento de la superficie vegetal debido al abandono durante los inicios de la segunda mitad del siglo XX. (ii) La subcuenca B (5 km^2; Figura 1B) representa un aumento de la cobertura vegetal debido a la repoblación forestal. (iii) La subcuenca C (4 km^2; Figura 1C) representa una cuenca que primero sufrió un aumento de la cobertura vegetal debido al abandono rural y a partir de finales de siglo XX se está aplicando una gestión activa mediante el desbroce de matorral.

2.2 Modelización de los recursos hídricos superficiales

El efecto de los distintos escenarios sobre los recursos hídricos superficiales se realiza mediante su estimación a partir de la aplicación de un modelo de conectividad y un modelo ecohidrológico. Ambos modelos son parametrizados a partir de: (i) Datos topográficos extraídos del Modelo Digital de Elevaciones de 2 m de resolución espacial obtenido mediante LiDAR por parte del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) dentro del programa PNOA. (ii) Datos sobre los usos del suelo obtenidos a partir de las imágenes aéreas de los años 1956, 2001 y 2021 (CNIG). El periodo 1956-2001 pretende cubrir el periodo con un mayor aumento de la superficie forestal, debido tanto al abandono rural como a las repoblaciones, mientras que el periodo 2001-2021 tiene como objetivo captar los potenciales efectos de los desbroces de matorral y/o la continuación del incremento de la vegetación, dependiendo de la subcuenca de estudio. (iii) Series históricas disponibles de precipitación y temperatura (1962-2019) obtenidas de la Agencia Española de Meteorología (AEMET). Estos datos solo fueron utilizados para la aplicación del modelo ecohidrológico.

Figura 1. Área de estudio y escenarios de gestión post-abandono



Leyenda: Localización de las subcuencas de estudio en el valle del Leza. Cada una de estas cuencas es representativa de un escenario de gestión post-abandono: A) revegetación natural (i.e., sin gestión); B) repoblación forestal; C) desbroce de matorral.

2.2.1 Modelización de la conectividad hidrológica: Índice de Conectividad (IC)

La conectividad hidrológica fue modelizada a partir del Índice de Conectividad (IC) desarrollado por Cavalli *et al.* (2013), basándose en el trabajo de Borselli *et al.* (2008). Las variables que parametrizan este índice se determinan a partir del factor de ponderación, que es una estimación de la resistencia de la superficie al flujo, y la topografía, teniendo en cuenta en un punto determinado (i.e., píxel) la pendiente específica, el área situada aguas arriba y la distancia respecto a una zona objetivo (p.ej. salida de la cuenca o cauce). El factor de ponderación se basa en el coeficiente de rugosidad de Manning estimado para diferentes clases de usos del suelo (p.ej. Goldin, 2015). A partir de la aplicación de estos índices se obtienen mapas de conectividad en los cuales se muestra la conectividad potencial (hidrológica y/o sedimentaria) de un punto determinado respecto al resto de la cuenca. La comparación de estos mapas obtenidos durante los distintos periodos de estudio permite estimar la evolución de la conectividad estructural de la subcuenca analizada.

2.2.2 Modelización ecohidrológica: RHESSys

La respuesta hidrológica de cada uno de los distintos escenarios se simuló a partir del modelo RHESSys (Tague y Band, 2004). Este es un modelo ecohidrológico que se parametriza a partir de datos espaciales, datos meteorológicos y caudales. La calibración y validación del modelo se realizó a partir de los datos de las estaciones meteorológicas (AEMET) y estación de aforo (CHE, Figura 1) localizadas en la subcuenca. La calibración del modelo se realizó con el periodo 2005-2010 y la validación con el periodo 2011. Este

modelo proporciona un registro de escorrentía a la salida de la subcuenca modelizada para un periodo determinado. Para facilitar la comparación de los valores de escorrentía de las distintas subcuencas y periodos de estudio normalizando la variabilidad debida a la diferente precipitación y tamaño de las diferentes subcuencas, el valor absoluto de escorrentía fue transformado en coeficiente de escorrentía. Este valor es una aproximación del grado de conectividad hidrológica funcional de la subcuenca a nivel superficial.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Cambios en los usos del suelo

La Tabla 1 muestra los resultados de los mapas de usos del suelo obtenidos en las tres subcuencas y para los tres periodos de estudio. Durante el primer periodo (i.e., 1957-2001) se observa que las zonas cultivadas de las tres subcuencas de estudio fueron ocupadas por bosque y/o matorral debido al abandono rural. Este proceso se observa de manera generalizada a partir de la segunda mitad de siglo XX en zonas de montaña mediterránea, incluyendo el marco geográfico de la zona de estudio (Arnáez *et al.,* 2008). Durante el segundo periodo (i.e., 2001-2021) la cubierta vegetal continúa aumentando en las subcuencas A y B, mientras que en la subcuenca C aumentan los pastos en detrimento de los matorrales debido a los desbroces que tienen lugar en esta zona. En el caso concreto del valle del Leza, este tipo de actuaciones se vienen produciendo desde 1986, cuando las autoridades regionales del Gobierno de La Rioja iniciaron un plan de gestión de áreas marginales que incluyen en el desbroce de matorral con el fin de regenerar pastos para favorecer la ganadería extensiva y controlar los incendios forestales (Lasanta *et al.,* 2022).

Tabla 1. Evolución de la superficie de los usos del suelo (%) en las tres subcuencas de estudio (1957,2001 y 2017).

% Uso del suelo	Subcuenca A			Subcuenca B			Subcuenca C		
	1957	2001	2021	1957	2001	2021	1957	2011	2021
	Superficie (%)								
Cultivos	36	0	0	71	0	0	13	0	0
Frondosas	1	28	41	-	-	-	-	-	-
Coníferas	0	8	9	0	39	40	-	-	-
Pastos	0	17	15	0	25	16	8	13	26
Bosque mixto	5	17	9	5	0	0	1	0	0
Suelo desnudo	-	-	-	0	6	5	-	-	-
Matorral	58	30	25	24	31	39	37	45	32

Fuente: Elaboración propia a partir de los mapas de usos del suelo obtenidos de las imágenes aéreas.

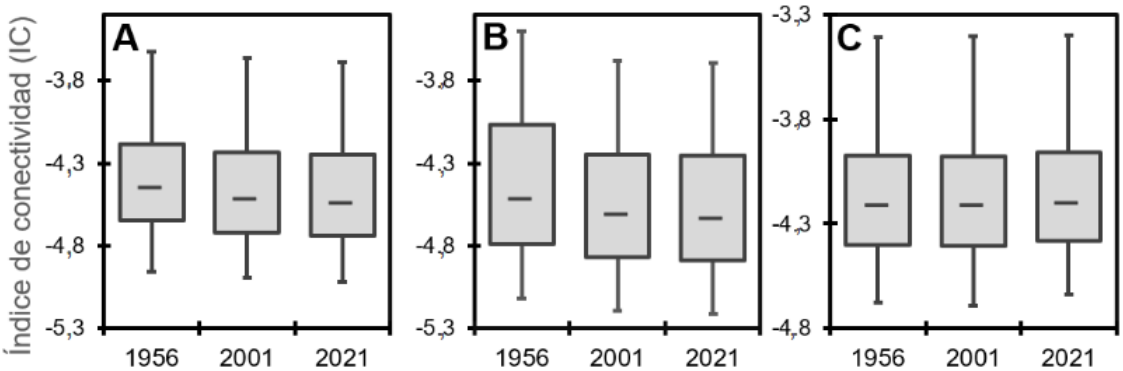
3.2 Conectividad hidrológica

La Figura 2 representa la evolución del grado conectividad hidrológica en cada una de las subcuencas de estudio representativa de los diferentes escenarios de gestión post-abandono. Durante el primer periodo (i.e., 1957-2001) las tres subcuencas sufrieron una reducción generalizada del grado de conectividad hidrológica correlacionado con el aumento de la cubierta vegetal, siendo en la subcuenca B donde se produjo una mayor reducción (pasando de una mediana de -4.52 a -4.62) y en la subcuenca C la menor (pasando de una mediana de -4.21 a -4.22). Durante el segundo periodo (i.e., 2001-2021) las subcuencas A y B continúan con un ligero descenso del grado de conectividad (reducción de la mediana de 0.03 y 0.01 respectivamente) respondiendo al leve incremento de la cobertura forestal de estas subcuencas, mientras que en la subcuenca C la conectividad aumenta debido al desbroce de matorral (aumento de la mediana de un 0.02). Se observan diferencias importantes en cuanto a la distribución de los cambios del grado de conectividad y su localización respecto a la salida de la subcuenca, lo cual puede tener un efecto potencial en la conectividad funcional.

El efecto de la vegetación sobre la conectividad superficial se explica principalmente por el grado de rugosidad asociado. Cuanto mayor es la vegetación mayor es la rugosidad superficial, lo que provoca una mayor resistencia al flujo superficial y, por tanto, una reducción de la conectividad potencial.

Los resultados de este estudio coinciden con diversos trabajos sobre la relación de los cambios de los usos del suelo y la conectividad estructural realizados en el contexto de la montaña mediterránea (p.ej. Lopez-Vicente *et al.,* 2016; Lizaga *et al.,* 2016). Así, Llena *et al.* (2019) observaron que la revegetación natural post-abandono en cuencas de elevad altitud en el Alto Cinca (Pirineos) tenía un efecto directo en la disminución de la conectividad, mientras que en algunas zonas próximas a los fondos de valle se producía un aumento de la conectividad en zonas de bosque que pasaron a ser cultivadas tras su roturación. Este segundo caso sería un escenario similar al de los desbroces con la diferencia que tras la roturación el uso pasó a ser agrícola y tras los desbroces pascícola para pastoreo (ganadería extensiva).

Figura 2. Evolución del grado conectividad hidrológica en cada una de las subcuencas de estudio representativa de los diferentes escenarios.



Leyenda. Escenarios: A) revegetación natural; (B) repoblación forestal; (C) desbroce de matorral. La línea central de la caja representa la mediana, la parte inferior y superior de la caja los percentiles 25 y 75, y las barras de error inferior y superior (i.e., bigotes) los percentiles 5 y 95 respectivamente.

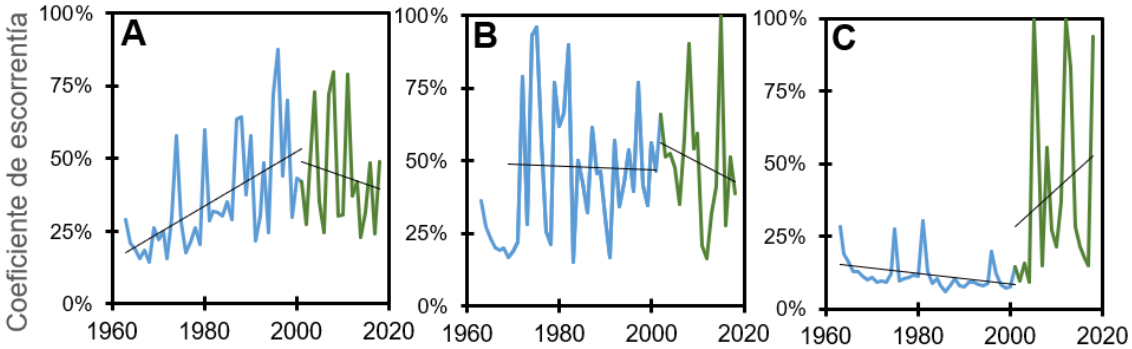
3.3 Escorrentía superficial

En la Figura 3 se muestra la evolución del coeficiente de escorrentía en cada una de las subcuencas de estudio representativas de los diferentes escenarios de gestión. Las subcuencas B y C experimentan una pequeña disminución del coeficiente de escorrentía durante el periodo 1957-2001, mientras que la subcuenca A experimenta un aumento importante de la escorrentía. El descenso en las primeras se correlaciona con la disminución de la conectividad causada por el incremento de la cubierta vegetal, mientras que el incremento en la subcuenca A puede estar relacionado con el aumento de la conectividad en zonas aisladas próximas a la salida de la subcuenca debido a reducciones puntuales de vegetación en esas zonas. Durante el periodo 2001-2021 el coeficiente potencial de escorrentía disminuyó en las subcuencas A y B, debido al aumento de la cubierta vegetal, mientras que la subcuenca C aumentó significativamente su coeficiente de escorrentía debido a los desbroces realizados después de 2001. Estos resultados muestran que los cambios puntuales en los usos del suelo, que tienen efectos en la conectividad superficial a nivel local sin tener un efecto a escala de cuenca, pueden tener cierta repercusión sobre la escorrentía superficial a escala de cuenca cuando se producen en las proximidades de la salida de dicha subcuenca. Esto pone de manifiesto que existe una correlación entre el grado de conectividad superficial de la cuenca (conectividad estructural) y la escorrentía (conectividad funcional), la cual vendrá determinada en gran medida por el patrón y distribución de los mosaicos de diferentes usos del suelo (configuración del paisaje), así como por los cambios que estos experimentan al largo del tiempo.

Los distintos tipos de gestión del suelo post-abandono pueden tener otros efectos sobre el comportamiento hidrológico de las cuencas de estudio más allá de la conectividad y la escorrentía potencial. Un aumento de la cobertura vegetal sea por repoblación o revegetación, puede dar lugar, por ejemplo, un aumento de la infiltración y/o un incremento de la capacidad reguladora de la cuenca. Por otro lado, en el escenario de desbroce (Figura 3C) se observa, no solo un aumento de la escorrentía, sino también un aumento de la irregularidad. El incremento de la escorrentía debido a la reducción de la cobertura vegetal puede llegar a generar un cambio en el régimen hidrológico de la cuenca, con una mayor torrencialidad

(picos anuales de escorrentía por debajo del 25% durante el primer periodo en comparación a valores del 100% en el segundo), asociada con un aumento del riesgo hidrológico y erosivo.

Figura 3. Evolución del coeficiente de escorrentía en cada una de las subcuencas de estudio representativa de los diferentes escenarios.



Leyenda. Escenarios: A) revegetación natural; (B) repoblación forestal; (C) desbroce de matorral. Las líneas azules representan el coeficiente de escorrentía estimado durante el primer periodo de estudio (1957-2001) mientras que las verdes representan el segundo periodo (2001-2021). Las líneas negras representan la tendencia de cada uno de los periodos.

4. CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo demuestran que el incremento de la vegetación debido tanto a la revegetación natural como a la repoblación forestal, tiene un efecto directo en la reducción de la conectividad hidrológica superficial. Por el contrario, el desbroce de matorral está relacionado con un aumento de la conectividad hidrológica. La respuesta de la escorrentía sigue una tendencia similar, aunque en este caso hay aspectos que indican que la distribución espacial de los usos del suelo tiene un efecto significativo en esta respuesta. Para corroborar estos resultados, son necesarios estudios con mayor detalle que nos ayuden a comprobar las hipótesis que se plantean a partir de los resultados de este estudio.

La transformación de matorrales en pastos mediante su desbroce en la media montaña mediterránea es una estrategia de gestión activa que favorece un mayor grado de conectividad hidrológica superficial y, con ello, coeficientes de escorrentía más elevados y una mayor disponibilidad de recursos hídricos superficiales.

Estudios de este tipo son necesarios para conocer la respuesta de las cuencas mediterráneas ante diferentes tipos de gestión con el objetivo de adoptar medidas de gestión sostenible que permitan mantener el equilibrio natural de los ecosistemas y garantizar la disponibilidad y calidad del agua en un contexto de cambio global.

Agradecimientos: Esta investigación forma parte del proyecto MANMOUNT (PID2019-105983RB-100/AEI/10.13039/501100011033) financiado por el MICINN, y del proyecto LIFE-MIDMACC (LIFE18 CCA7ES7001099). El primer autor tiene un contrato postdoctoral Juan de la Cierva Formación (FJC2020-043890-I/AEI/ 10.13039/501100011033), mientras que la cuarta autora tiene un contrato predoctoral FPI (PRE2020-094509).

REFERENCIAS

Arnáez, J., Oserin, M., Ortigosa, L., Lasanta, T. (2008). Plant cover and land uses changes in the northwestern Iberian range (Los Cameros, La Rioja, Spain) between 1956 and 2001. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* 47, 401-403.

Borselli, L., Cassi, P., Torri, D. (2008). Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: a GIS and field numerical assessment. *Catena* 75, 268–277. https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.07.006

Buendia, C., Batalla, R.J., Sabater, S., Palau, A., Marcé, R. (2015). Runoff trends driven by climate and afforestation in a Pyrenean basin. *Land Degradadation and Dev*elopment 27, 823–838. https://doi.org/10.1002/ldr.2384

Cavalli, M., Trevisani, S., Comiti, F., Marchi, L. (2013). Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments. *Geomorphology* 188, 31–41. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.05.007

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 Environ*ment 140 (3), 317–338. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.003

Goldin, B., 2015. *Geomorphometric Analysis and Sediment Dynamics in Mountainous Basins: Spatial and Temporal Scales. (Doctoral Thesis)*. Università degli Studi di Padova. https://www.research.unipd.it/handle/11577/3424010

Lasanta-Martínez, T., Vicente-Serrano, S.M., Cuadrat-Prats, J.M. (2005). Mountain Mediterranean landscape evolution caused by the abandonment of traditional primary activities: a study of the Spanish Central Pyrenees. *Applied Geography* 25 (1), 47–65. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2004.11.001

Lasanta, T., Nadal-Romero, E., Errea, P., Arnáez, J. (2016). The effects of landscape conservation measures in changing landscape patterns: a case study in Mediterranean mountains. *Land Degradation and Development* 27: 373-386. https://doi.org/10.1002/ldr.2359

Lasanta, T., Cortijos-López, M., Errea, M.P., Khorchani, M., Nadal-Romero, E. (2022). An environmental management experience to control wildfires in the mid-mountain mediterranean area: Shrub clearing to generate mosaic landscapes. *Land Use Policy*. 118, 106147. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106147

Llena, M., Vericat, D., Cavalli, M., Crema, S., Smith, M.W. (2019). The effects of land use and topographic changes on sediment connectivity in mountain catchments. *Science of Total Environ*ment 660, 899–912. https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104584

Lizaga, I., Quijano, L., Palazón, L., Gaspar, L., Navas, A. (2016). Enhancing connectivity index to assess the effects of land use changes in a Mediterranean catchment. *Land Degradadation and Dev*elopment 29 (3), 663–675. https://doi.org/10.1002/ldr.2676

López-Vicente, M., Nadal-Romero, E., Cammeraat, E.L.H. (2016). Hydrological connectivity does change over 70 years of abandonment and afforestation in the Spanish Pyrenees. Land Degradation and Development 28 (4), 1298–1310. https://doi.org/10.1002/ldr.2531

MacDonald, D., Crabtree, J.R., Wiesinger, G., Dax, T., Stamou, N., Fleury, P., Gutierrez-Lazpita, J., Gibon, A. (2000). Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: Environmental consequences and policy response. *Journal Environment Management* 59, 47–69. https://doi.org/10.1006/jema.1999.0335

Tague, C.L., Band, L.E. (2004). RHESSys: Regional Hydro-Ecologic Simulation System—An Object-Oriented Approach to Spatially Distributed Modeling of Carbon, Water, and Nutrient Cycling. *Earth Interactions*, 8, 1-42. http://doi.org/10.1175/1087-3562(2004)8<1:RRHSSO>2.0.CO;2