

UNA REVISIÓN DE LOS EFECTOS HIDROLÓGICOS Y EROSIVOS DEL ABANDONO DE TIERRAS EN ESPAÑA

José M. García-Ruiz

Instituto Pirenaico de Ecología
humberto@ipe.csic.es

Noemí Lana-Renault

Department of Physical Geography, Faculty of Geosciences, Utrecht University
Área de Geografía, Departamento de Ciencias Humanas y Sociales,
Universidad de La Rioja

Resumen: Se revisan los efectos hidrológicos y geomorfológicos del abandono de tierras de cultivo en España. La complejidad de la evolución depende de las condiciones climáticas, los suelos, los tipos de campos y los aprovechamientos posteriores al abandono. De forma general, se ha observado un descenso de los caudales y de la erosión en áreas de montaña, si bien las laderas abancaladas pueden experimentar un aumento de la erosión por movimientos en masa y reorganización de la red de drenaje. En ambientes semiáridos, en cambio, puede observarse un aumento de la escorrentía y de la erosión por las mayores dificultades a las que se enfrenta la colonización vegetal.

Palabras clave: Abandono de tierras, generación de escorrentía, erosión, bancales.

Abstract: The hydrological and geomorphic effects of land abandonment in Spain are reviewed. The complexity of the evolution depends on the climatic features, soil characteristics, type of fields and land uses after the abandonment. In general, a decrease in discharge and soil erosion has been observed in mountain areas, though the terraced hillslopes can undergo an increase in soil erosion due to small mass move-

ments and the reorganization of the drainage network. In semi-arid environments an increase in runoff generation and soil erosion has been detected owing the greater difficulties for plant colonization.

Keywords: Land abandonment, runoff generation, erosion, bench terraced fields.

1. Introducción

Uno de los rasgos más característicos de la evolución de la agricultura en España es el abandono de una proporción muy elevada de las tierras de cultivo desde finales del siglo XIX. Este proceso, que alcanza su mayor intensidad en las décadas de 1960 y 1970, puede darse ya por concluido, siguiendo un patrón similar, aunque desfasado en el tiempo, al que han experimentado muchas regiones europeas, especialmente en montaña (MacDonald et al., 2000). En España el abandono de tierras de cultivo ha afectado también de forma particularmente intensa a las áreas de montaña (Lasanta, 1989; García-Ruiz, 2010), si bien determinados ambientes semiáridos se han visto igualmente implicados (Lesschen et al., 2007, 2008).

La importancia ambiental del abandono de tierras de cultivo explica el elevado número de trabajos publicados en España sobre su efectos geobotánicos (por ejemplo, los procesos de recolonización vegetal: Pugnaire et al., 2006; Pueyo y Beguería, 2007), la evolución de los recursos hídricos (Beguería et al., 2003) o la erosión del suelo (Ruiz-Flaño et al., 1992; Ruiz-Flaño, 1993). Este interés se debe tanto a los cambios en la organización del paisaje como al hecho de que la propia colonización vegetal introduce importantes perturbaciones en la partición de la precipitación y en el modo en que la escorrentía circula en el suelo.

Los efectos hidrológicos y erosivos del abandono de tierras dependen de una compleja serie de factores, entre los que destacan (i) la forma en que tuvo lugar el abandono (después de una cosecha de cereal o como prado), (ii) la gestión posterior al abandono (por ejemplo, la presión ganadera y la utilización del fuego para mantener un aprovechamiento pastoral), (iii) el modelo de campo sujeto al abandono (campos en pendiente, llanos o abancalados), (iv) la pendiente de la ladera, (v) el ambiente climático en que se produce el abandono, y (vi) las características físico-químicas de los suelos en el momento del abandono. Todo ello hace que los resultados hidromorfológicos puedan ser muy dispares y que sea poco menos que imposible extraer conclusiones generalizables a un territorio muy amplio. En este trabajo se resumen las conclusiones más destacadas a las que han llegado los estudios sobre abandono de tierras de cultivo en España.

2. El abandono de tierras de cultivo

El proceso de abandono de tierras de cultivo no ha sido aleatorio. Después de alcanzarse a mediados del siglo XIX la máxima extensión del área cultivada, coincidiendo con la mayor densidad de población (García-Ruiz et al., 1996), se inició un periodo de abandono directamente atribuible a la emigración y la escasa competitividad de los cultivos cerealistas en montaña. Según Lasanta (1988) y Ruiz-Flaño (1993), el abandono de campos de cultivo afectó inicialmente a las áreas más pendientes y elevadas, tanto en laderas rectilíneas como convexas, más cuanto más alejadas de los núcleos de población. Normalmente, los campos de agricultura nómada o itinerante fueron los primeros en abandonarse debido a su localización marginal y su baja productividad (Lasanta et al., 2006). Después, el abandono afectó tanto a los bancales como a los campos en pendiente, incluso aquellos localizados en gradientes relativamente suaves (10-20%). Lasanta (1988) sugirió que los factores físicos (altitud, exposición y pendiente) fueron los más influyentes en los primeros estadios de abandono, mientras los factores antropogénicos (distancia desde el pueblo, posibilidades o no de mecanización) jugaron un papel más decisivo en un periodo posterior. En la actualidad, la mayor parte de las montañas españolas cuentan con una baja proporción de tierras cultivadas, casi siempre limitadas a los fondos de valle y conos de deyección poco funcionales, más excepcionalmente a rellanos de obturación glacial o pequeños restos de antiguas superficies estructurales o de erosión. En las regiones semiáridas del sureste español y de la Depresión del Ebro el abandono ha afectado sobre todo a campos de secano con muy bajos rendimientos, si bien el regadío reciente en suelos pobres (sobre sustrato margoso y ligeramente abancalado) ha inducido al abandono por degradación física de los campos (Romero-Díaz et al., 2007). Debe señalarse además otro tipo de abandono, relacionado con la Política Agraria Comunitaria. Se trata de la retirada de tierras de cultivo (*set-aside*), promovida para reducir los excedentes agrícolas y, colateralmente, para favorecer la conservación de los suelos y mejorar su balance hídrico. Ocurre, sobre todo, en secanos del interior (Boellstorff y Benito, 2005), ocupando porcentajes muy elevados de determinados municipios.

No obstante, algunos campos en pendiente, muy susceptibles de ser erosionados, siguen cultivándose en el Sistema Ibérico, el Sistema Central o las cordilleras Béticas, tanto en campos pendientes como abancalados, debido a la presencia de una mayor densidad de población, a unas condiciones climáticas más favorables o por influencia del mercado. Aún así, en la mayor parte de esas montañas la tendencia al abandono es general, de manera que, por ejemplo, en las Alpujarras el abandono afecta a más del 70% de las tierras de cultivo, a pesar de una presión demográfica relativamente elevada (Douglas et al., 1994).

La Figura 1 da una idea de la densidad de trabajos que se han publicado sobre las consecuencias hidromorfológicas del abandono de tierras de cultivo en España. Casi

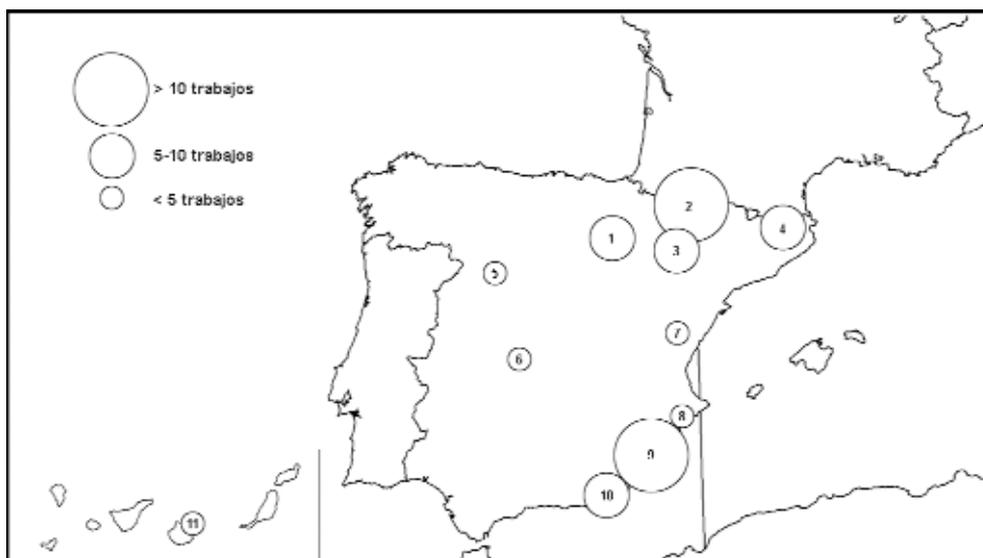


Figura 1. Áreas con mayor densidad de trabajos sobre los efectos hidrogeomorfológicos del abandono de tierras en España. 1: Sistema Ibérico Riojano; 2: Pirineo central; 3: Depresión central del Ebro; 4: Pirineo oriental; 5: Valle del Duero; 6: valle del Tajo; 7: Maestrazgo; 8: Alicante; 9: Murcia; 10: Almería; 11: Islas Canarias.

todos los estudios se centran en la mitad oriental de la Península, con mayor énfasis en el Pirineo Central y el Sureste (Murcia y Almería). También es elevado el número de estudios en el Pirineo Oriental, la Depresión del Ebro (en su sector central) y el Sistema Ibérico en su tramo riojano. En cambio, el centro y el oeste de la Península apenas cuentan con estudios de este tipo. Unos pocos trabajos se han centrado en las Islas Canarias.

3. La evolución de los recursos hídricos en un escenario de abandono de tierras

En las áreas de montaña afectadas por el abandono de tierras se ha observado una notable expansión de la cubierta forestal y de matorral. Esto se asocia con cambios profundos en el ciclo hidrológico, habiéndose constatado un descenso en la capacidad de generación de escorrentía superficial, debido tanto a la interceptación (Llorens

y Domingo, 2007) como al consumo de agua por parte de la vegetación (Gallart et al., 2002; Serrano-Muela et al., 2008), de manera que, incluso con tormentas severas, las cuencas forestales tienen una baja capacidad de reacción en verano. Estudios en el Pirineo Oriental han confirmado que la interceptación en pinares jóvenes que habían colonizado campos abandonados, representa alrededor del 24% de la precipitación anual (Llorens et al., 1997). A escala regional, Beguería et al. (2003) estudiaron la evolución de los caudales en ríos del Pirineo Central durante los últimos 50 años (coincidiendo con el periodo con mayores cambios en usos del suelo y cubierta vegetal). Los resultados demostraron un cambio en las relaciones entre la precipitación y el caudal anuales, con un claro descenso del caudal especialmente notable desde la década de 1970. Esos cambios no fueron atribuidos a un aumento de temperatura o a un descenso en la precipitación, sino a una expansión generalizada de matorrales y bosques como consecuencia del abandono de tierras de cultivo. Un estudio similar fue llevado a cabo por Gallart y Llorens (2004) en ríos afluentes del Ebro, confirmando un descenso de caudal debido a la creciente superficie forestal.

A una escala más detallada, García-Ruiz et al. (2008) compararon la respuesta hidrológica de tres pequeñas cuencas con diferentes tipos de cubierta vegetal: bosque, campos abandonados sometidos a una progresiva recolonización vegetal, y matorral abierto con cárcavas muy activas. La respuesta hidrológica fue progresivamente menos intensa en cualquier estación del año (especialmente en verano, otoño e invierno) cuanto mayor era la densidad de la cubierta vegetal. Así, durante el año hidrológico 2005-2006 el número de eventos hidrológicos fue de 6, 12 y 44 respectivamente, a pesar de que las precipitaciones fueron similares. La cuenca forestal sólo reaccionó de manera intensa después de un prolongado periodo de lluvias primaverales y el consiguiente ascenso de la capa freática (Serrano-Muela et al., 2008). Las cuencas experimentales de Vallcebre, en el alto Llobregat, han servido también para estudiar el efecto de las terrazas de cultivo abandonadas sobre la generación de escorrentía. Gallart et al. (1994) demostraron que la intersección de la capa freática con la topografía condujo a la saturación de la parte interna de las terrazas durante la estación húmeda, aumentando la escorrentía de tormenta. Seeger y Ries (2008) descubrieron signos de hidromorfismo en la superficie de terrazas abandonadas en el Pirineo Central, de manera que los suelos aparecían saturados durante un periodo de tiempo prolongado.

El empleo de parcelas experimentales para comparar la producción de escorrentía bajo diferentes usos del suelo es también muy explícito en este sentido. En la Estación Experimental "Valle de Aísa", con parcelas de 30 m² de superficie, se ha comprobado que los cultivos tradicionales (cereales, barbecho y campos de agricultura nómada) eran los que producían una mayor volumen de escorrentía, mientras que las parcelas abandonadas después de cultivo cerealista tendían a una rápida recolonización vegetal y a un marcado descenso en la producción de agua. El matorral denso

(situación que se alcanzaba tras unos 20 a 25 años de abandono) registraba las menores salidas de agua (García-Ruiz et al., 1995; Lasanta et al., 2006, 2010).

En el caso de los campos abandonados en ambientes semiáridos, la evolución de la colonización vegetal es mucho más lenta (por la escasez de agua y, en general, por la pobre calidad de los suelos). Eso favorece el desarrollo de costras estructurales y sedimentarias, que forman un nivel casi impermeable y reducen la infiltración, tal y como se ha observado en la Depresión del Ebro (Lasanta et al., 2000; Ries y Hirt, 2008), y en el sureste de España (Cammeraat y Imeson, 1999).

4. Las consecuencias sobre la erosión del suelo y la red de drenaje

Casi todos los estudios llevados a cabo en áreas de montaña reflejan un descenso en la producción de sedimentos algunos años después del abandono del cultivo en laderas. Esa evolución tiene que ver directamente con el aumento de la protección del suelo debido a la mayor densidad de la cubierta vegetal, y con el descenso en la generación de escorrentía. Todo ello favorece la recuperación del contenido de materia orgánica en el suelo (Ruecker et al., 1998) y una mayor capacidad de infiltración y de resistencia frente al *splash*. Así se ha comprobado en la Estación Experimental Valle de Aísa, donde la parcela de matorral denso muestra valores muy bajos de exportación de sedimento. Igualmente, las parcelas abandonadas reflejan tasas muy bajas de erosión del suelo, en comparación con el barbecho o el cultivo cerealista (García-Ruiz et al., 1995; Lasanta et al., 2010). No obstante, algunos de los campos abandonados hace cien años o más pueden mostrar signos evidentes de deterioro, lo que se explica no como una consecuencia directa del abandono, sino como resultado de (i) el uso recurrente del fuego para mejorar periódicamente la calidad de los pastos, y (ii) la baja calidad de los suelos que dejaron de cultivarse en las fases iniciales del proceso de abandono, lo que habría dificultado la colonización vegetal en los primeros años (Ruiz-Flaño, 1993). No hay muchas dudas acerca de que los campos que se cultivaron ocasionalmente bajo sistemas de agricultura nómada, sin protocolos de conservación del suelo o control de la escorrentía, han acabado convirtiéndose en laderas pedregosas, con suelos muy delgados y matorrales dispersos (Lasanta et al., 2006). El resto de los antiguos campos han evolucionado hacia densas cubiertas de matorral y bosques donde las áreas fuente de sedimentos ocupan espacios cada vez más restringidos (Lana-Renault y Regüés, 2009). De hecho, la utilización del modelo WATEM/SEDEM en una pequeña cuenca pirenaica de campos abandonados refleja bien la espectacular reducción de las zonas erosionadas cuando se compara un escenario situado aproximadamente a comienzos del siglo XX, un escenario actual y otro futuro (Alatorre et al., en revisión). La aplicación del mismo modelo en la cuenca de La Rogativa (SE de España) ofrece resultados muy parecidos. Desde 1956 a 1997 el

área forestal de la cuenca aumentó tres veces su superficie, mientras el área cultivada disminuyó 2,5 veces, a la vez que se construían 58 presas de retención de sedimento (*check-dams*). El modelo mostró que, en un escenario sin presas, el abandono de tierras y la reforestación habrían causado un descenso del 54% en la producción de sedimento (Boix-Fayos et al., 2008).

A escala regional, el abandono de tierras de cultivo es probablemente el principal factor responsable de la reducción del aporte de sedimento hacia los embalses (García-Ruiz et al., 2010).

Algunos problemas se han detectado, no obstante, en las laderas de campos abandonados. Lo más destacado es que el abandono de las terrazas de cultivo implica a corto plazo un rápido deterioro de los saltos entre bancales, que ya no pueden repararse por ausencia de mano de obra. Lasanta et al. (2001) confirmaron que el proceso geomórfico más importante en terrazas abandonadas fue el colapso del muro causado por pequeños desprendimientos, sobre todo en vertientes cóncavas y al pie de laderas. La importancia de este proceso fue investigada por Lesschen et al. (2008), que comparó datos del Modelo Digital de Elevación correspondientes a 1984 y la actualidad en la cuenca del río Guadalentín, con pérdidas de suelo en bancales que podrían compararse a las de algunos badlands semiáridos. Cammeraat et al. (2005) demostraron que tras el abandono de terrazas en la cuenca de Alcoy (prov. De Alicante), la permeabilidad del suelo disminuyó en profundidad, desarrollándose planos potenciales de rotura a 1-2 m. En esos casos el efecto de anclaje que pudiera proporcionar el sistema de raíces es relativamente ineficaz. Meerkerk et al. (2009) también registraron un progresivo deterioro de las terrazas como consecuencia del abandono en la cuenca de Cárcavo (Murcia), y un consiguiente aumento del área contribuyente en sedimento. De igual forma, se ha registrado un aumento en la conexión entre laderas y cauces (Oostwoud Wijdenes et al., 1999) y una reorganización de la red de drenaje, que en muchos casos pasa a ser la fuente más importante de sedimento en las áreas abandonadas (Gallart et al., 1994). En bancales sobre suelos margosos la tendencia a la formación de colapsos y redes de circulación subsuperficial (*piping*) es frecuente en ambientes semiáridos (Romero-Díaz et al., 2007).

Los campos abandonados más recientemente debido a la Política Agraria Comunitaria no evolucionan hacia matorral o bosque al ser labrados con cierta frecuencia para favorecer la infiltración. Los resultados obtenidos se prestan a una interpretación compleja y a veces contradictoria (Lasanta et al., 2000; Boellstorff y Benito, 2005), dependiendo de la calidad de los suelos y de las labores posteriores al abandono.

Finalmente, se han registrado ajustes fluviales relacionados con el abandono de tierras en el Pirineo aragonés durante la segunda mitad del siglo XX. La mayor parte de los ríos han visto incrementada la densidad de la vegetación en barras fluviales

que unas décadas atrás mostraban una gran inestabilidad y ausencia de vegetación. La consecuencia en muchos casos es una progresiva incisión y una tendencia a la estabilización de los cauces de tipo *braided* (Beguería et al., 2006). En la misma línea, los conos de deyección han reducido la superficie ocupada por los sectores más activos y se han atrincherado en sus propios sedimentos (Gómez-Villar y García-Ruiz, 2000). Esa evolución se ha debido a un descenso en los aportes de sedimentos y una reducción de los picos de crecida correspondientes a bajos periodos de retorno, todo ello relacionado muy probablemente con los cambios de uso del suelo y la expansión de la vegetación (López-Moreno et al., 2006).

5. Conclusiones

La evolución de las tierras abandonadas es muy compleja, dependiendo de las condiciones climáticas, de las características de los suelos, de los tipos de campos y del tipo de gestión posterior al abandono. En áreas de montaña, la superficie afectada por abandono de tierras es suficientemente extensa como para alterar la generación de escorrentía, la evolución de los caudales, la erosión y el transporte de sedimento. De forma consistente se ha confirmado un descenso progresivo en los caudales fluviales y en su carga sedimentaria debido a la expansión de la cubierta vegetal, particularmente en las zonas de montaña. La presencia de formaciones densas de bosque y matorral allí donde hace unas décadas se cultivaban cereales en régimen de alternancia con el barbecho provoca un incremento de la evapotranspiración y de la interceptación; paralelamente, el suelo está más protegido y las áreas fuente de sedimento muestran una notable contracción espacial. Los cambios llegan a afectar incluso a la morfología fluvial y su dinámica. Debe matizarse, no obstante, que aunque las laderas abancaladas evolucionan fácilmente hacia bosque, se ven afectadas por pequeños movimientos en masa que favorecen la erosión y reorganizan la red fluvial.

En ambientes semiáridos la colonización vegetal es mucho más lenta y la formación de una costra superficial en el suelo puede propiciar un incremento de la escorrentía y, ocasionalmente, más erosión.

Agradecimientos

Este trabajo se enmarca en los resultados obtenidos por los proyectos PROBASE (CGL2006-11619/HID, Consolider), financiado por el Ministerio de Ciencia y

Tecnología, ACQWA, financiado por la Comisión Europea, y RESEL, financiado por el Ministerio de Medio Ambiente.

Referencias

- Alatorre, L.C., Beguería, B., Lana-Renault, N., Navas, A. y García-Ruiz, J.M. (en revisión). Soil erosion and sediment delivery in a mountain catchment under land use change: using point fallout ^{137}Cs for calibrating a spatially distributed numerical model. *Journal of Hydrology*.
- Beguería, S., López-Moreno, J.I., Lorente, A., Seeger, M. y García-Ruiz, J.M. (2003). Assessing the effect of climate oscillations and land-use changes on streamflow in the Central Spanish Pyrenees. *Ambio*, 32 (4), 283-286.
- Beguería, S., López-Moreno, J.I., Gómez-Villar, A., Rubio, V., Lana-Renault, N. y García-Ruiz, J.M. (2006). Fluvial adjustments to soil erosion and plant cover changes in the Central Spanish Pyrenees. *Geografiska Annaler*, 88A(3), 177-186.
- Boellstorff, D. y Benito, G. (2005). Impacts of set-aside policy on the risk of soil erosion in central Spain. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 107 (2-3), 231-243.
- Boix-Fayos, C., De Vente, J., Martínez-Mena, M., Barberá, G.G. y Castillo, V. (2008). The impact of land use change and check-dams on catchment sediment yield. *Hydrological Processes*, 22 (25), 4922-4935.
- Cammeraat, L.H. y Imeson, A.C. (1999). The evolution and significance of soil-vegetation patterns following land abandonment and fire in Spain. *Catena*, 37 (1-2), 107-127.
- Cammeraat, E., Van Beek, R., Kooijman, A. (2005). Vegetation succession and its consequences for slope stability in SE Spain. *Plant and Soil*, 278, 135-147.
- Douglas, T.D., Kirkby, S.J., Critchley, R.W. y Park, G.J. (1994). Agricultural terrace abandonment in the Alpujarra, Andalucía, Spain. *Land Degradation & Rehabilitation*, 5 (4), 281-291.
- Gallart, F. y Llorens, P. (2004). Observations on land cover changes and water resources in the headwaters of the Ebro catchment, Iberian Peninsula. *Physics and Chemistry of the Earth*, 29 (11-12), 769-773.
- Gallart, F., Llorens, P. y Latron, J. (1994). Studying the role of old agricultural terraces on runoff generation in a small Mediterranean mountainous basin. *Journal of Hydrology*, 159 (1-4), 291-303.
- Gallart, F., Llorens, P., Latron, J. y Regúes, D. (2002). Hydrological Processes and their seasonal controls in a small Mediterranean mountain catchment in the Pyrenees. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6 (3), 527-537.
- García-Ruiz, J.M. (2010). The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review. *Catena*, 81 (1), 1-11.
- García-Ruiz, J.M., Lasanta, T., Ortigosa, L., Ruiz-Flaño, P., Martí, C. y González, C. (1995). Sediment yield under different land uses in the Spanish Pyrenees. *Mountain Research and Development*, 15 (3), 229-240.

- García-Ruiz, J.M., Lasanta, T., Ruiz-Flaño, P., Ortigosa, L., White, S., González, C. y Martí, C. (1996). Land-use changes and sustainable development in mountain areas: a case study in the Spanish Pyrenees. *Landscape Ecology*, 11 (5), 267-277.
- García-Ruiz, J.M., Regüés, D., Alvera, B., Lana-Renault, N., Serrano-Muela, P., Nadal-Romero, E., Navas, A., Latron, J., Martí-Bono, C. y Arnáez, J. (2008). Flood generation and sediment transport in experimental catchments along a plant cover gradient in the Central Pyrenees. *Journal of Hydrology*, 356 (1-2), 245-260.
- García-Ruiz, J.M., Lana-Renault, N., Beguería, S., Lasanta, T., Regüés, D., Nadal-Romero, E., Serrano-Muela, P., López-Moreno, J.I., Alvera, B., Martí-Bono, C. y Alatorre, L.C. (2010). From plot to regional scales: Interactions of slope and catchment hydrological and geomorphic processes in the Spanish Pyrenees. *Geomorphology*, 120 (3-4), 248-257.
- Gómez-Villar, A. y García-Ruiz, J.M. (2000). Surface sediment characteristics and present dynamics in alluvial fans of the Central Spanish Pyrenees. *Geomorphology*, 34 (3-4), 127-144.
- Lana-Renault, N. y Regüés, D. (2009). Seasonal patterns of suspended sediment transport in an abandoned farmland catchment in the Central Spanish Pyrenees. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34 (9), 1291-1301.
- Lasanta, T. (1988). The process of desertion of cultivated areas in the Central Spanish Pyrenees. *Pirineos*, 132, 15-36.
- Lasanta, T. (1989). *Evolución reciente de la agricultura de montaña: El Pirineo aragonés*, Logroño, Geoforma Ediciones, 220 pp.
- Lasanta, T., Beguería, S. y García-Ruiz, J.M. (2006). Geomorphic and hydrological effects of traditional shifting agriculture in a Mediterranean mountain, Central Spanish Pyrenees. *Mountain Research and Development*, 26 (2), 146-152.
- Lasanta, T., García-Ruiz, J.M., Pérez-Rontomé, C. y Sacho-Marcén, C. (2000). Runoff and sediment yield in a semi-arid environment: the effect of land management after farmland abandonment. *Catena*, 38, 265-278.
- Lasanta, T., Arnáez, J., Oserín, M. y Ortigosa, L. (2001). Marginal lands and erosion in terraced fields in the Mediterranean mountains: A case study in the Camero Viejo (Northwestern Iberian System, Spain). *Mountain Research and Development*, 21 (1), 69-76.
- Lasanta, T., Nadal-Romero, E., Serrano-Muela, P., Vicente-Serrano, S. y García-Ruiz, J.M. (2010). Escorrentía y erosión tras el abandono de tierras de cultivo en montaña: resultados de la Estación Experimental "Valle de Aisa". *Pirineos*, 165, 115-133.
- Lesschen, J.P., Kok, K., Verburg, P.H. y Cammeraat, L.H. (2007). Identification of vulnerable areas for gully erosion under different scenarios of land abandonment in Southeast Spain. *Catena*, 71 (1), 110-121.
- Lesschen, J.P., Cammeraat, L.H. y Nieman, T. (2008). Erosion and terrace failure due to agricultural land abandonment in a semi-arid environment. *Earth Surface Processes and Landform*, 33 (10), 1574-1584.
- López-Moreno, J.I., Beguería, S. y García-Ruiz, J.M. (2006). Trends in high flows in the Central Spanish Pyrenees: Response to climatic factors or to land use change? *Hydrological Sciences Journal*, 51 (6), 1039-1050.
- Llorens, P. y Domingo, F. (2007). Rainfall partitioning by vegetation under Mediter-

- rranean conditions. A review of studies in Europe. *Journal of Hydrology*, 335 (1-2), 37-54.
- Llorens, P., Poch, R., Latron, J. y Gallart, F. (1997). Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area. I. Monitoring design and results down to the event scale. *Journal of Hydrology*, 199 (3-4), 331-345.
- MacDonald, D., Crabtree, J.R., Wiesinger, G., Dax, T., Stamou, N., Fleury, P., Gutiérrez Lazpita, J. y Gibon, A. (2000). Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: Environmental consequences and policy response. *Journal of Environmental Management*, 59 (1), 47-69.
- Meerkerk, A.L., Van Wesemael, B. y Bellin, N. (2009). Application of connectivity theory to model the impact of terrace failure on runoff in semiarid catchments. *Hydrological Processes*, 23 (19), 1792-2803.
- Oostwoud Wijdenes, D.J., Poesen J., Vandekerckhove, L., Nachtergaele, J. y De Baerdemaeker, J. (1999). Gully-head morphology and implications for gully development on abandoned fields in a semi-arid environment, Sierra de Gata, Southeast Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24 (7), 585-603.
- Pueyo, Y. y Beguería, S. (2007). Modelling the rate of secondary succession after farmland abandonment in a Mediterranean mountain area. *Landscape and Urban Planning*, 83 (4), 245-254.
- Pugnaire, F.I., Luque, M.T., Armas, C. y Gutiérrez, L. (2006). Colonization processes in semiarid Mediterranean old-fields. *Journal of Arid Environments*, 65 (4), 591-603.
- Ries, J.B. y Hirt, U. (2008). Permanence of soil surface crusts on abandoned farmland in the Central Ebro Basin/Spain. *Catena*, 72 (2), 282-296.
- Romero-Díaz, A., Marín-Sanleandro, P., Sánchez-Soriano, A., Belmonte-Serrato, F. y Faulkner, H. (2007). The causes of piping in a set of abandoned agricultural terraces in southeast Spain. *Catena*, 69 (3), 282-293.
- Ruecker, G., Schad, P., Alcobilla, M.M., Ferrer, C. (1998). Natural regeneration of degraded soils and site changes on abandoned agricultural terraces in Mediterranean Spain. *Land Degradation and Development*, 9, 179-188.
- Ruiz-Flaño, P. (1993). *Procesos de erosión en campos abandonados del Pirineo*. Logroño, Geoforma Ediciones, 191 pp.
- Ruiz-Flaño, P., García-Ruiz, J.M. y Ortigosa, L. (1992). Geomorphological evolution of abandoned fields. A case study in the Central Pyrenees. *Catena*, 19 (3-4), 301-308.
- Seeger, M. y Ries, J.B. (2008). Soil degradation and soil surface process intensities on abandoned fields in Mediterranean mountain environments. *Land Degradation and Development*, 19 (5), 488-501.
- Serrano-Muela, M.P., Lana-Renault, N., Nadal-Romero, E., Regúés, D., Latron, J., Martí-Bono, C. y García-Ruiz, J.M. (2008). Forests and their hydrological influence in Mediterranean mountains. The case of the Central Spanish Pyrenees. *Mountain Research and Development*, 28 (3-4), 279-285.