

# RESPUESTA HIDROLÓGICA Y PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS BAJO DIFERENTES CUBIERTAS DE TIERRAS EN CAMPOS ABANDONADOS DE UNA CUENCA MEDITERRÁNEA

**Estela Nadal-Romero**

Department of Earth and Environmental Sciences, Geography Division, K.U. Leuven, Bélgica.  
Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza.

**Teodoro Lasanta**

Instituto Pirenaico de Ecología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Campus de Aula Dei, Zaragoza

**David Regüés**

Instituto Pirenaico de Ecología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Campus de Aula Dei, Zaragoza

**Noemí Lana-Renault**

Department of Physical Geography, Utrecht University, Faculty of Geosciences, Países Bajos  
Área de Geografía Física, Universidad de La Rioja

**Artemi Cerdà**

Grupo Erosión del Suelo e Investigación de la Degradación, Departamento de Geografía, Universidad de Valencia

## I. INTRODUCCIÓN

El abandono de tierras agrícolas en la montaña mediterránea tiene importantes implicaciones en los cambios de paisaje, especialmente en el avance de la cubierta vegetal. Los cambios en la cubierta vegetal modifican el comportamiento hidrológico y erosivo de las áreas afectadas, con impactos notables en la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos, así como en la erosión y conservación del suelo.

El proceso de sucesión vegetal en campos abandonados presenta una alta variabilidad en función de varios factores, entre los que destacan: la gestión durante la fase de cultivo y tras el cese, el tiempo transcurrido desde que un campo deja de cultivarse, la topografía de la ladera y las características físicas del campo. La combinación de tales factores da lugar a un mosaico de micro-ambientes, con influencia en la respuesta hidrológica y en el transporte de sedimento.

Por otro lado, se ha comprobado que en cuencas mediterráneas de campos abandonados, la respuesta hidrológica y erosiva es muy compleja también en función de la variabilidad estacional e intensidad de la lluvia, de la humedad del suelo y de la conectividad con la red fluvial de las áreas fuente de sedimento.

El objetivo principal de este trabajo es conocer cómo contribuyen los principales micro-ambientes de campos abandonados (matorrales, pastos y enlosado de piedras) en la respuesta hidrológica y en la producción de sedimento durante lluvias cortas de alta intensidad. Es una fórmula válida, no sólo para conocer el comportamiento hidrológico de una cuenca de campos abandonados, sino también para obtener información y contribuir a establecer estrategias de gestión orientadas a la conservación del suelo. Su mantenimiento resulta esencial en la distribución espacial de la cubierta vegetal, la biodiversidad, la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos y el aprovechamiento de la montaña con ganadería extensiva.

## II. ÁREA DE ESTUDIO

El trabajo se ha realizado en la cuenca de Arnás (2,84 km<sup>2</sup>), localizada en la cabecera del río Aragón, en el Pirineo Central, entre 900 y 1400 m s.n.m. Durante el periodo 1999-2006 la precipitación media fue de 935 mm  $\pm$  210 mm, siendo la precipitación más intensa durante el periodo señalado de 31 mm en media hora, lo que corresponde a un periodo de retorno de 5 años.

La litología de la cuenca es de tipo flysch eoceno (alternancia en capas delgadas de areniscas y margas). Los suelos en la ladera solana son Regosoles, poco profundos y ricos en carbonatos, mientras que en la ladera norte son Kastanozems, mucho más desarrollados y con una presencia mayor de materia orgánica. La diferencia edáfica se muestra en una cubierta vegetal más densa en la ladera umbría que en la solana.

Toda la cuenca fue cultivada con cereal en campos en laderas hasta mediados del siglo XX. En la actualidad los campos aparecen cubiertos por diferentes matorrales, destacando: *Genista scorpius*, *Echinopartum horridum*, *Juniperus communis*, *Rosa gr. canina* y *Buxus sempervirens*. La cubierta actual es muy heterogénea en función de la edad de abandono de los campos. Los abandonados más recientemente tienen una cubierta de herbáceas o de matorrales más o menos densa, mientras que los más antiguos están cubiertos por árboles (*Pinus sylvestris* y *Quercus gr. faginea*). Las áreas cultivadas en el pasado de forma más intensiva presentan un alto cubrimiento de piedras. Aproximadamente el 20% de la cuenca está cubierta por bosques, el 72% por matorrales, el 5,5% por pastos y el 1,5% por suelo desnudo.

## III. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron 46 experimentos de lluvia simulada bajo condiciones de humedad relativamente secas (contenido de agua en el suelo = 0,2). Para ello se utilizó un simulador de lluvia portátil con una boquilla presurizada. La intensidad media de la lluvia fue de 56 mm h<sup>-1</sup> durante 30 minutos, con variaciones entre los experimentos que oscilaron entre 41,8 y 74,6 mm h<sup>-1</sup>. El tamaño medio de la gota fue de 2,53 mm, la velocidad media de caída de la gota de 3,5 m s<sup>-1</sup>, y la media de la energía cinética de 7,1 J m<sup>-2</sup> mm<sup>-1</sup>. Las experiencias de simulación de lluvia se realizaron en pequeñas parcelas definidas mediante la instalación de un anillo metálico (0,25 m<sup>2</sup>) equipado con una boquilla para la evacuación del agua.

Se seleccionaron tres tipos de cubiertas: 20 experimentos se realizaron en parcelas de matorral de *Genista scorpius*, con un estrato herbáceo dominado por *Carex flacca* y *Brachipodium pinnatum*; 17 en parcelas de pastos (*Carex flacca*, *Brachipodium pinnatum*, *Hieracium gr. pilosilla*, *Sanguisorba minor* y *Medicago sativa*, como especies dominantes), y 9 en parcelas de enlosado de piedras, con un cubrimiento del 85-90% de piedras de pequeño tamaño y un 10-15% de vegetación aclarada.

Los parámetros medidos en cada simulación fueron: la intensidad de la lluvia ( $\text{mm h}^{-1}$ ), el tiempo de respuesta de la escorrentía (s), el frente de humectación o penetración (cm), la tasa de infiltración ( $\text{mm h}^{-1}$ ), la concentración del sedimento en suspensión ( $\text{g l}^{-1}$ ), y la pérdida de suelo ( $\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Respuesta hidrológica

El tiempo de inicio de la escorrentía fue significativamente alto en las parcelas de matorral (media de 1261 s.; coeficiente de variación,  $\text{CV} = 0.49$ ), mientras que en las parcelas de enlosado de piedras fue de 531 s;  $\text{CV} = 0,55$ . Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre los tres micro-ambientes ni en el frente de humectación o frente de penetración ni en las tasas de infiltración. Las elevadas tasas de infiltración no son raras en ambientes mediterráneos, si bien son más altas que las obtenidas con el mismo tipo de simulador en otros ambientes más degradados, como áreas de cárcavas del Pirineo Central y Oriental, y en las dehesas del SW español.

Las elevadas tasas de infiltración obtenidas en nuestro trabajo, tanto en matorrales como en pastos, confirman el papel favorecedor de la cubierta vegetal en los procesos de infiltración tras el abandono de tierras. Ello se debe a la mejora de las condiciones del suelo y a la presencia de raíces, que contribuyen a la formación de macroporos. La elevada infiltración en las parcelas de enlosado de piedras fue asociada con la alta proporción de fragmentos rocosos en la superficie de suelo, un factor que se ha comprobado que favorece la infiltración tanto en laboratorio como en el campo.

### 4.2. Respuesta erosiva

Las pérdidas de suelo fueron altas en los tres micro-ambientes, especialmente en las parcelas de matorral y pastos. Las concentraciones de sedimento fueron significativamente más altas en las parcelas de enlosado de piedras (media de  $5 \text{ g l}^{-1}$ ;  $\text{CV} = 0,6$ ) que en las parcelas con vegetación (pastos:  $1,6 \text{ g l}^{-1}$ ,  $\text{CV} = 1,18$ ; matorrales:  $2,4 \text{ g l}^{-1}$ ,  $\text{CV} = 1,07$ ). La producción de sedimento fue significativamente más alta en la parcela de enlosado de piedras (producción media de  $7,7 \text{ g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ), que en pastos ( $4 \text{ g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) y matorrales ( $2,2 \text{ g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ). Estos resultados reflejan el papel protector de la vegetación frente a la erosión, principalmente porque la vegetación amortigua el impacto de las gotas de lluvia (splash) y reduce la velocidad del flujo de escorrentía.

En todo caso, la erosión del suelo fue más baja que la observada en ambientes más degradados del Pirineo Central.

### 4.3. Influencia de las características del área de estudio y de la lluvia simulada

Se realizaron análisis de correlación lineal para analizar la influencia de las características del área de estudio y de la lluvia simulada en la respuesta hidrológica y erosiva. Los resultados muestran que la pendiente no tiene ninguna influencia en ambas respuestas. Además no está claro el efecto de la cubierta vegetal y del porcentaje de pedregosidad de la parcela, y sólo se observó una correlación estadísticamente significativa entre estas variables y la producción de sedimento. La relación negativa entre la producción de sedimento y la cubierta vegetal confirma el efecto protector de la cubierta vegetal frente al splash o el impacto de las gotas de lluvia. Del mismo modo, estudios previos han demostrado que el efecto de la pedregosidad en la respuesta erosiva depende de la escala espacial y temporal del estudio. Aunque está claro que la cubierta de piedras protege al suelo del impacto de las gotas de lluvia, el funcionamiento es muy complejo, y depende entre otros factores de la estructura del suelo. En este trabajo, la relación entre la producción de sedimento y el porcentaje de pedregosidad fue positiva.

Sólo las tasas de infiltración fueron correlacionadas positiva y significativamente con la intensidad de la lluvia. Esta relación se explica por el hecho de que la capacidad de infiltración de la mayoría de los suelos de la cuenca es mayor que la máxima intensidad de lluvia registrada durante los ensayos de simulación de lluvia. Además hay que destacar, que el tiempo de respuesta no presentó correlaciones estadísticamente significativas con la intensidad de lluvia, lo que sugiere que en estos ambientes predominan los procesos de generación de escorrentía por saturación, frente a los procesos por superación de la capacidad de infiltración (flujos hortonianos) que predominan en ambientes más degradados. Asimismo, la intensidad de la lluvia no se correlacionó significativamente con las variables erosivas, indicando el papel protector de la vegetación frente al impacto de las gotas de lluvia.

Finalmente se analizó la respuesta hidrológica y erosiva en relación con la exposición de las parcelas (norte y sur). El frente de penetración fue mayor en exposición norte que en exposición sur (18,4 cm y 15,5 cm resp.). También se observaron diferencias significativas en la respuesta erosiva, con concentraciones de sedimento más elevadas en exposición sur (maximum CSS=8,4 y 2,3 g l<sup>-1</sup>, resp.). No se observaron diferencias significativas en los tiempos de respuesta, las tasas de infiltración o la producción de sedimento. Sin embargo, los resultados muestran respuestas más rápidas en exposición sur que en exposición norte (888 vs. 1084 s) y mayores producciones de sedimento (4,5 vs. 3,6 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). Estas diferencias pueden estar relacionadas con la mayor densidad de la cubierta vegetal en exposición norte y el mayor desarrollo edáfico. Una de las consecuencias del abandono de tierras en vertientes solanas fue la degradación y empobrecimiento de los suelos, acentuado en laderas con mayor pendiente.

### 4.4. Implicaciones a escala de cuenca

Las relativas altas tasas de infiltración, y su buena correlación con la intensidad de la lluvia, así como los elevados tiempos de respuesta sugieren la importancia del almacenamiento de agua en el suelo, sobre todo con respecto a lo que ocurre en ambientes más degradados (p.e. morfologías acaravadas). Estos resultados son consistentes con los resultados obteni-

dos a escala de cuenca, los cuales han demostrado que la respuesta hidrológica en ambientes de campos abandonados está condicionada por el estado de las reservas de agua de la cuenca y por el desarrollo de zonas saturadas en la misma. Asimismo, la limitada respuesta erosiva coincide con los resultados obtenidos a escala de cuenca, que demuestran una actividad geomorfológica limitada, concentrándose las áreas fuentes de sedimento en pequeñas zonas de la cuenca.

Un resultado relevante de este trabajo es la similitud en las respuestas hidrológicas y erosivas de las zonas de matorral y de pastos, confirmando los resultados obtenidos en parcelas experimentales. Este resultado es realmente interesante en el establecimiento de estrategias de gestión, porque la sustitución del matorral por pastos, llevada a cabo en algunos campos abandonados incrementaría la producción de forraje para el ganado extensivo, disminuiría el riesgo de incendios y mejoraría la estructura y la calidad estética del paisaje.

## **V. CONCLUSIONES**

En este trabajo se ha estudiado la respuesta hidrológica y erosiva en campos abandonados, en el Pirineo Central, mediante ensayos de simulación de lluvia en pequeñas parcelas representativas de tres tipos de cubiertas o usos del suelo: matorral, pastos y enlosado de piedras. Aunque los resultados de las simulaciones de lluvia deben de ser interpretados con cautela, debido a las limitaciones de la metodología, los obtenidos en esta investigación permiten una mejor comprensión de la respuesta hidrológica y geomorfológica en laderas de campos abandonados en proceso de recolonización vegetal.

No se han observado diferencias significativas entre las respuestas hidrológicas de las cubiertas vegetales. Las tasas de infiltración en las parcelas de matorral, pastos y enlosado de piedras fueron similares y relativamente elevadas (53,7, 53,3 y 52,9 mm h<sup>-1</sup> resp.). La concentración y producción de sedimento fueron entre bajas y moderadas en las parcelas de enlosado de piedras (valores medios de 5 g l<sup>-1</sup> y 7,6 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) y bajas en las parcelas vegetadas (< 2,5 g l<sup>-1</sup> y < 4 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>).

La influencia de la cubierta vegetal y de la pedregosidad en la respuesta hidrológica y erosiva fue escasa y sólo la producción de sedimento mostró una clara relación, siendo negativa con la cubierta vegetal y positiva con la pedregosidad.

Las diferencias fueron significativas en función de la exposición (norte – sur), comprobándose que en exposición norte el tiempo de respuesta es mayor, el frente de penetración más profundo y las pérdidas de suelo más limitadas. En exposición sur la respuesta hidrológica fue más rápida y la producción de sedimento fue mayor. Estas diferencias se explican por el mayor cubrimiento vegetal y la presencia de suelos más desarrollados en exposición norte.

La respuesta hidrológica y erosiva en laderas agrícolas abandonadas, en claro proceso de recolonización vegetal, es moderada, como ya se había observado previamente en otras cuencas de campos abandonados. Estos resultados revelan la importancia de la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos y confirman la baja actividad geomorfológica de estas laderas. Sin embargo, el proceso de recolonización natural es irregular y complejo, asociado a la gestión de los campos antes y durante el proceso de abandono, y a las características topográficas de las parcelas.

En el Pirineo Central, las laderas con exposición sur fueron cultivadas intensamente durante un periodo de tiempo superior que las laderas con exposición norte, y por ello muestran mayores signos de degradación. Los resultados demuestran que las diferencias en la respuesta hidrológica y erosiva están relacionadas con la exposición de las laderas. Asimismo, antiguas prácticas agrícolas introdujeron una gran heterogeneidad en el paisaje, todavía patente después del abandono. Por todo ello, serán necesarios estudios futuros que integren investigaciones a escala de parcela, ladera y cuencas, y que además consideren esta heterogeneidad, si lo que se pretende conseguir es una mejor comprensión de la respuesta hidrológica y erosiva de las montañas Mediterráneas.