

# VALORACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN LADERAS CON DIFERENTES USOS DEL SUELO

JOSÉ ARNÁEZ (1), TEODORO LASANTA (2), LUIS ORTIGOSA (1),  
MARCO OSERÍN (3), JOSÉ ÁNGEL LLORENTE (1) Y  
PURIFICACIÓN RUIZ-FLAÑO (4)

(1) Área de Geografía Física. Universidad de La Rioja. Edificio L. Vives,  
26004-Logroño

(2) Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, Campus Aula Dei, Apartado 13034,  
50080-Zaragoza

(3) Instituto de Estudios Riojanos, Portales 1, 26004-Logroño

(4) Departamento de Geografía. Universidad de Valladolid. Paseo Prado de la  
Magdalena, s/n, 47011-Valladolid

Correo electrónico de contacto: jose.arnaez@unirioja.es

## 1. INTRODUCCIÓN

El espacio mediterráneo ha soportado a lo largo de su historia una intensa intervención humana forzada por la necesidad de disponer de suelos agrícolas y pastos (GROVE y RACKHAM, 2001). Desde hace menos de un siglo, diferentes procesos políticos, sociales y económicos han propiciado destacados cambios en los modelos agrícolas y, especialmente, en los usos del suelo.

En los espacios agrarios en secano de las zonas llanas, la mecanización del campo, la política agraria comunitaria y el mercado han animado al abandono de los terrenos menos productivos o a la paulatina sustitución de los tradicionales cultivos por otros con mejor aceptación en los mercados. En general, estos cultivos en secano son generadores de escorrentía y productores de sedimento, ya que sus suelos están desprotegidos de cubierta vegetal buena parte del año (DE SANTISTEBAN et al., 2006). El impacto de las gotas de lluvia en la superficie del suelo levanta partículas y favorece los procesos de sellado y encostramiento. Como consecuencia, disminuyen las tasas de infiltración y aumenta la escorrentía superficial (LÓPEZ BERMÚDEZ y GARCÍA RUIZ, 2008). Estos procesos son más activos en campos cultivados en laderas de fuerte pendiente y en aquellos en los que no se aplican técnicas de conservación

como ocurre, por ejemplo, en muchos viñedos mediterráneos (PORTA et al., 1994, ARNÁEZ et al., 2007).

Otras zonas de la región mediterránea, afectadas por el éxodo rural y el abandono agrícola, han evolucionado hacia estadios más naturales como consecuencia de la recolonización vegetal. El abandono se ha centrado en las regiones menos productivas y que, por lo tanto, pronto sufrieron las consecuencias de la emigración, principalmente la media montaña (LASANTA, 1996). Los cambios de usos del suelo en la montaña mediterránea han supuesto pérdidas en la heterogeneidad del paisaje y han propiciado la desaparición de un paisaje cultural construido a lo largo de siglos (MACDONALD et al., 2000). A su vez, se han acelerado nuevas dinámicas hidrológicas y geomorfológicas en las laderas.

El objetivo de este trabajo es aportar información sobre la producción de sedimentos en diferentes usos del suelo con datos obtenidos a partir de experimentos de simulación de lluvia. Para ello se han seleccionado parcelas localizadas en áreas intensamente cultivadas (viñedos) y áreas abandonadas (bancales y campos en pendiente). De este modo, se podrá disponer de una estimación preliminar que ayude a reflexionar sobre estrategias que conduzcan a un uso más sostenible del recurso suelo.

## 2. ÁREA DE ESTUDIO

Las áreas de estudio seleccionadas corresponden a dos sectores de media montaña del Pirineo (valles de Aisa y Borau) y Sistema Ibérico (Camero Viejo) y a otro localizado en las tierras llanas de la Depresión del Ebro (Rioja Alta) (Fig. 1). En las áreas de montaña, se han considerado parcelas agrícolas abandonadas, con diferentes morfologías: bancales, en el caso de Camero Viejo, y campos en pendiente, en el caso del Pirineo. En el área de estudio de la Depresión del Ebro se han seleccionado parcelas intensamente cultivadas con viñedos.

**Fig. 1. Localización de las áreas de estudio**



Las cabeceras de los valles de Aísa y Borau (Pirineo aragonés) se inscriben en las Sierras Interiores, compuestas por calizas mesozoicas y areniscas, mientras que en el sector central y meridional domina el flysch. El clima de ambos valles es submediterráneo de montaña, algo continentalizado. En la estación de Esposa (979 m.s.n.m. en el valle de Aísa) las precipitaciones anuales son de 979 mm. y la temperatura media de 9.9° C. En las primeras décadas del siglo XX la mayor parte de las laderas de ambos valles se cultivaban con cereales en alternancia con barbecho. Sin embargo, el espacio cultivado se fue abandonando a lo largo del siglo XX, de forma que en Aísa los campos abandonados ocupan en la actualidad 1561 ha (el 19.1% de la superficie del valle) y en Borau 1527 ha (el 36.6%). Los campos abandonados se localizan preferentemente en laderas solanas, a altitudes entre 1000 y 1400 m y en pendientes del 20 al 40%. Se encuentran en distintas fases de sucesión vegetal, si bien abundan los cubiertos por matorrales de *Genista scorpius* y *Rosa gr. canina* (LASANTA y VICENTE-SERRANO, 2006).

Camero Viejo (La Rioja) incluye los altos valles del Leza, Jubera y Cidacos. Se trata de un conjunto montañoso con altitudes comprendidas entre los 600 y 1700 metros que presenta una topografía de pequeñas depresiones abiertas, suaves líneas de cumbres y pendientes moderadas. Las precipitaciones totales anuales aumentan de los 600 mm, en las cotas más bajas, a 1000 mm, en las cumbres. La temperatura media anual oscila entre 8 y 11° C. La deforestación masiva del pasado ha recluido el bosque a los enclaves de más difícil acceso, de modo que el paisaje dominante ha sido el agrícola. A principios del siglo XX se llegó a cultivar el 32.4% de la superficie de los valles. La fuerte inclinación de las laderas exigió la construcción de bancales con el fin de retener los suelos, favorecer las labores agrícolas e incrementar, en la medida de lo posible, la productividad de los pequeños campos. En el conjunto del área de estudio llegaron a cubrir el 59.7% de la superficie agrícola. El antiguo espacio cultivado se fue abandonando a partir de la década de los 50 del siglo pasado. Así pues, en la actualidad las laderas se encuentran recolonizadas con mayor o menor intensidad por matorral mediterráneo (*Cistus laurifolius*, en suelos silíceos, y *Genista scorpius*, en suelos calizos) (OSERÍN, 2007).

La Depresión del Ebro riojana dispone de una topografía con amplios espacios llanos y suaves laderas, en altitudes comprendidas entre 300 y 600 m. El relieve está dominado por diferentes niveles de glacis y terrazas. Los primeros están formados por un sustrato rocoso de areniscas y margas terciarias cubiertos por acumulaciones cuaternarias, donde la presencia de cantos es frecuente, especialmente en los niveles más altos. Las terrazas poseen suelos más profundos y fértiles que los glacis, si bien las más antiguas cuentan con abundantes materiales sueltos (JULIÁN y PEÑA, 2007). En la Rioja Alta, las temperaturas medias anuales son algo más frescas que las registradas en el centro del valle del Ebro (11 y 13° C) y las precipitaciones totales logran superar los 400 mm. Dadas las características topográficas, las condiciones climáticas y la larga ocupación de territorio por parte del hombre, predomina el espacio agrario. Cereales, en primer lugar, con 36966 ha, y viñedos, con 21025 ha, son los principales cultivos de la Rioja Alta, ya que suponen el 85.7% de total de la superficie cultivada.

### 3. MÉTODOS

La generación de escorrentía y producción de sedimentos en los distintos usos del suelo fueron analizadas a partir de 88 simulaciones de lluvia. La simulación de lluvia es una técnica bastante generalizada en los estudios de erosión por su bajo coste, su fácil manejo y porque permite obtener resultados comparables, al repetirse las mismas condiciones en los experimentos (CERDÀ, 1999).

El trabajo se elaboró a partir de 16 parcelas correspondientes a campos cultivados con viñedos en suaves pendientes, 12 en bancales y 60 en campos en pendiente.

El viñedo se cultiva formando hileras que se disponen paralelas a la dirección de la pendiente y se encuentran separadas por calles de unos 3 metros de anchura. Como consecuencia de las frecuentes labores agrícolas, estas calles están totalmente desprovistas de vegetación.

Los bancales se encuentran abandonados. Los más próximos a las aldeas están siendo reutilizados para el pastoreo del ganado vacuno. Otros, por el contrario, están cubiertos con mayor o menor intensidad por el matorral (OSERÍN et al., 2007).

Por último, los campos en pendiente se corresponden con parcelas adaptadas a la inclinación y forma de la ladera. A diferencia de los bancales, su puesta en cultivo no supuso alteraciones en el perfil de la vertiente. Actualmente, se encuentran abandonados y muestran diferentes estados de conservación en relación con el tiempo de abandono. Algunos presentan un destacado cubrimiento vegetal de matorral o herbáceas, mientras que en otros los cantos y piedras cubren prácticamente la totalidad de la superficie del campo (RUIZ FLAÑO, 1993).

Para llevar a cabo los experimentos se utilizó un simulador portátil que, básicamente, dispone de una estructura metálica con brazos articulados para adaptarlo a las diferentes topografías del terreno. Esta estructura es cubierta durante los experimentos con un toldo de plástico para aislar la lluvia simulada del viento. En la parte superior de la estructura se sitúa, bien centrada, a 2.5 metros del suelo, la boquilla que será la encargada de expulsar el agua en forma de gotas. La boquilla (diferentes modelos Lechler, según la intensidad requerida) está conectada a través de un tubo de plástico a una bomba, un motor y un tanque de agua de 70 litros. Para más detalles técnicos se recomienda la consulta de ARNÁEZ et al. (2007).

La lluvia de la simulación precipita directamente sobre una parcela de forma circular de 42 cm de diámetro que está delimitada por un anillo de acero. Este anillo se inserta en el suelo y dispone de un pequeño orificio de salida a través del que se recoge cada 3-5 minutos el agua de la escorrentía y los sedimentos transportados. La utilización de una parcela circular se justifica por la mejor adaptación al cono de lluvia que genera el pulverizador. La cantidad de agua recogida y la concentración de sedimentos son determinadas en el laboratorio.

**Tabla 1. Intensidades de precipitación máxima, mínima y media utilizadas para las simulaciones de lluvia**

	Ip máxima mm h <sup>-1</sup>	Ip mínima mm h <sup>-1</sup>	Ip media mm h <sup>-1</sup>	P. recurrencia Ip media
Viñedos	61.0	40.3	51.1 (±6.5)	20 años
Bancales	86.0	41.6	61.9 (±11.5)	24 años
C. Pendiente	59.7	40.6	53.4 (±4.9)	60 años

Las pruebas de simulación de lluvia fueron realizadas en los meses de verano con suelos de baja humedad (5-10%). Las simulaciones tuvieron una duración de 30 y 45 minutos y se procuró que cumplieren dos requisitos por lo que respecta a la intensidad: 1) que ésta variase para poder comprobar los efectos erosivos de distintas intensidades y 2) que la variabilidad no fuese excesiva para poder permitir las comparaciones de los resultados. Siguiendo estos criterios, en las simulaciones en viñedos se reprodujo una intensidad media de precipitación de 51.1 mm h<sup>-1</sup> (±6.5) que corresponden a tormentas ajustadas a periodos de retorno de 20 años. En bancales se realizaron pruebas con una intensidad media de 61.9 mm h<sup>-1</sup> (±11.5) correspondientes a periodos de retorno en la región de 24 años. Por último, en campos en pendiente la intensidad media simulada fue de 53.4 mm h<sup>-1</sup> (±4.9). Dadas las características de la región pirenaica, esta precipitación media corresponde a periodos de recurrencia de 60 años (Tabla 1).

Los datos recogidos en cada simulación fueron: tiempo (segundos) transcurrido desde el inicio de la simulación de lluvia hasta el comienzo de la escorrentía, coeficiente de escorrentía (porcentaje de lluvia que llega a convertirse en escorrentía), escorrentía media (mm h<sup>-1</sup>), profundidad del frente de humectación tras la realización de la prueba (cm), concentración media de sedimentos (g l<sup>-1</sup>) y pérdida total de suelo (g m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>).

En cada una de las parcelas, antes de la simulación de lluvia, se llevaron a cabo un conjunto de tareas para conocer sus características topográficas y edáficas. Así, se recogieron muestras de suelo en las proximidades de cada parcela y entre los 0 y 15 cm de la superficie. En el laboratorio se obtuvieron la distribución del tamaño de las partículas, el pH y el contenido de materia orgánica. Los porcentajes de cubierta vegetal y de piedras fueron medidos usando un enrejado con celdas de 0.5 cm<sup>2</sup>. Además se anotaron otras características propias de las parcelas: pendiente, orientación y morfología de la superficie.

#### 4. RESULTADOS

En la tabla 2 se describen las características de los suelos sobre los que se realizaron las simulaciones de lluvia. Por lo que respecta a los viñedos, éstos presentan tex-

turas con un alto porcentaje de arenas y limos (39.9 y 40.5%, respectivamente). Son suelos calcáreos, con un pH que oscila entre 8 y 8.5. Los niveles de materia orgánica son relativamente bajos (0.8%). Superficialmente, presentan un importante índice de rugosidad (5-10 cm), con una distribución aleatoria de depresiones y agregados. El porcentaje medio de gravas es bajo (18.3%) aunque se incrementa en algunos sectores, especialmente aguas abajo de los campos. Los cantos están sueltos y apenas se incrustan en el suelo.

**Tabla 2. Características generales de suelos y parcelas**

	Viñedos (Media)	Bancales (Media)	Campos en pendiente
Fracción arenas (%)	39.9 (±8.2)	22.4 (±9.2)	36.4 (±9.6)
Fracción limos (%)	40.5 (±6.2)	61.0 (±9.8)	40.0 (±7.6)
Fracción arcillas (%)	19.5 (±2.9)	16.6 (±4.4)	23.5 (±5.2)
Materia Orgánica (%)	0.8 (±0.2)	2.7 (±1.1)	1.6 (±0.5)
Carbonatos (%)	20.7 (±8)	27.5 (±10.6)	35.7 (±7.2)
pH	8.4 (±0.2)	7.7 (±0.2)	8.2 (±0.1)

Pendiente (°)	4.5 (±2.4)	5.0 (±1.5)	19.2 (±9.2)
Pedregosidad (%)	18.3 (±18.5)	3.3 (±6.2)	26.7 (±30.3)
Cubierta vegetal (%)	-	75.4 (±23.5)	66.5 (±29.7)

Los suelos de los bancales disponen de un horizonte A poco profundo y pobre en materia orgánica (2.7%). El horizonte B ofrece una estructura poliédrica muy poco desarrollada y poco estable. La textura de los suelos analizados es franco-limosa con una proporción elevada de limos (61%). Las arcillas representan el 16.6% del total de las partículas. El pH es propio de ambientes básicos (7.7). En la superficie prácticamente no hay cantos y la cubierta vegetal protege el 75.4% del suelo.

Los suelos de los campos en pendiente son pardos forestales, de textura franca y elevada pedregosidad. Son pobres en materia orgánica y nutrientes (1.6%) y ricos en carbonatos (35.7%) con un pH entre 8 y 8.5. En estos campos en pendiente la pedregosidad aumenta con relación a los otros usos del suelo y es más abundante en aquellos que cuentan con un mayor tiempo de abandono. Aquí los procesos de erosión se han encargado de transportar el material más fino. La vegetación, especialmente matorral (*Genista scorpius* y *Rosa gr. Canina*) cubre los suelos de las parcelas con porcentajes variables.

Los resultados de la generación de escorrentía se incorporan en la tabla 3. En general, puede afirmarse que en los tres usos del suelo una importante proporción del agua de la tormenta se infiltra en el suelo. En campos en pendiente y bancales se observa que la escorrentía supone el 25-30% del agua precipitada. Por el contrario, en viñedos los porcentajes se muestran mucho más moderados: 11.2%. Los valores más altos, no obstante, se obtienen en campos en pendiente, con un coeficiente de casi el 30%. Hubiese sido esperable una menor producción de escorrentía en los bancales, ya que éstos fueron construidos para reducir la inclinación de la ladera haciéndola cultivable, retener más agua y frenar los procesos de erosión. Sin embargo, hay que recordar que la intensidades de precipitación en las pruebas de simulación en bancales fueron ligeramente más elevadas que en los otros usos del suelo y que los suelos de algunos de estos bancales son utilizados para el pastoreo del ganado que reduce con el pisoteo la capacidad de infiltración (OSERÍN et al., 2007)

**Tabla 3. Respuesta hidrológica de las pruebas de simulación de lluvia**

	Escorrentía (ml s <sup>-1</sup> )	Coefficiente Escorrentía (%)	Inicio Escorrentía (s)
Viñedos	0.33 (±0.17)	11.2 (±6.5)	661 (±302)
Bancales	0.93 (±0.47)	26.2 (±17.3)	874 (±498)
C. en pendiente	1.06 (±1.05)	29.9 (±28.4)	626 (±490)
Sig. Anova	0.017	0.030	0.348

**Tabla 4. Respuesta erosiva de las pruebas de simulación de lluvia**

	CSS (g l <sup>-1</sup> )	Tasa de erosión (g m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )
Viñedos	2.31 (±2.8)	15.6 (±16.4)
Bancales	0.50 (±0.1)	11.9 (±6.7)
C. en pendiente	2.73 (±7.0)	29.8 (±39.9)
Signif	0.501	0.167

La tabla 4 muestra la respuesta erosiva de los diferentes usos del suelo tras las pruebas de simulación de lluvia. La concentración de sedimentos en suspensión es más elevada en los campos en pendiente (2.73 g l<sup>-1</sup>) y viñedos (2.31 g l<sup>-1</sup>) y se muestra más moderada en los bancales. Este comportamiento es semejante al ofrecido por las tasas de erosión. Los campos en pendiente producen 29.8 g m<sup>-2</sup> ha<sup>-1</sup>. Los viñedos exportan 15.6 g m<sup>-2</sup> ha<sup>-1</sup> y, finalmente, los bancales 11.9 g m<sup>-2</sup> ha<sup>-1</sup>.

Se han calculado las relaciones entre los diferentes factores considerados en la simulación de lluvia y las tasas de erosión. En la tabla 5 se remarcan las correlaciones más significativas con niveles de significación de 0.01 y 0.05. Se comprueba que los mejores resultados se alcanzan en los campos en pendiente donde hay una muy buena correspondencia entre prácticamente todas las variables. En los bancales la mejor correlación se establece entre la tasa de erosión y el coeficiente de escorrentía (0.905) y, en menor medida, con la cubierta vegetal (-0.631) y pedregosidad (-0.585).

Un avance más preciso en el reconocimiento de los factores que influyen en las tasas de erosión puede obtenerse a partir de regresiones múltiples. Con ellas puede, por un lado, comprobarse el papel que todas las variables ejercen de forma conjunta y, por otro, el peso de cada una de ellas en la ecuación.

La regresión múltiple correspondiente a los bancales presenta un coeficiente de correlación de 0.947 ( $r^2= 0.897$ ). Es muy significativa y, como se puede comprobar en la Fig. 2, los valores observados y calculados se ajustan adecuadamente a la línea de ajuste 1:1. El cálculo de los pesos Beta del análisis de regresión múltiple, que determina directamente la importancia de las variables independientes, nos indica que la cubierta vegetal y la pedregosidad del suelo asumen el máximo protagonismo en la ecuación quedando relegadas a un segundo plano la escorrentía y la intensidad de las precipitaciones (Tabla 7).

**Tabla 5 Correlaciones entre las tasas de erosión y diversas variables consideradas en las simulaciones de lluvia**

	Viñedos	Bancales	Campos en pendiente
IP mm h <sup>-1</sup>	0.068	-0.379	0.137
Escorrentía mm h <sup>-1</sup>	0.253	-0.010	0.607**
C. Escorrentía (%)	0.269	0.905**	0.624**
Pendiente (°)	-0.173	-0.089	0.339**
Cubierta vegetal (%)		-0.631*	-0.446**
Pedregosidad (%)	-0.373	-0.585*	0.462**

\*La correlación es significativa al nivel 0.05

\*\*La correlación es significativa al nivel 0.01

En los campos en pendiente el ajuste es menos rotundo, con un coeficiente de correlación de 0.688 ( $r^2= 0.474$ ), aunque significativo al 0.001. Se puede observar en la Fig. 2 cómo algunos valores de erosión medidos en el campo son mucho más elevados que los calculados con la ecuación. En la tabla 7, donde se han reflejado los pesos Beta, queda constancia de que, en el caso de los campos en pendiente, la escorrentía es el factor con mayor peso en la regresión.

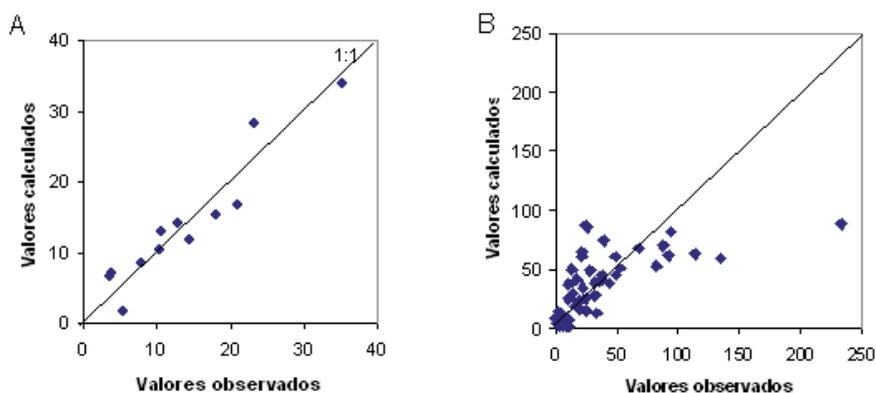
Finalmente, la regresión múltiple para las simulaciones en viñedos no muestra ninguna significación. El coeficiente de correlación y determinación son muy bajos (0.599 y 0.359, respectivamente). Se puede indicar, observando la Fig. 2, que el modelo surgido a partir de la ecuación sobrestima los experimentos en los que se han obtenidos bajas tasas de erosión y subestima los correspondientes a altas tasas de erosión. No obstante, los pesos Beta nos señalan el papel que juega la escorrentía y la pedregosidad.

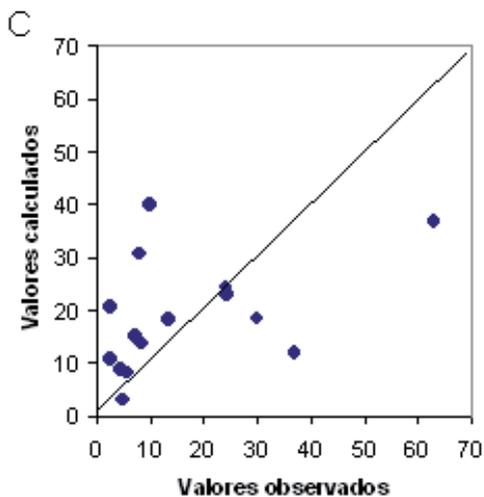
**Tabla 6. Regresiones múltiples calculadas para los diferentes usos del suelo**

	r	Ecuación
Viñedos	0.599	TE= 27.293-0.201ip+1.618es-1.241g-0.465p
Bancales	0.947	TE= 47.316-0.058ip-0.062es-0.073g-1.029p-0.286cv
C. Pendiente	0.688	TE= 68.737-1.069ip+0.706es+0.578g+0.185p-0.263cv

TE= tasa de erosión ( $\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ), ip= intensidad de precipitación ( $\text{mm h}^{-1}$ ), es= escorrentía ( $\text{mm h}^{-1}$ ), g= pendiente ( $^{\circ}$ ), p= gravas en superficie del suelo (%), cv= cubierta vegetal (%).

**Figura 2. Relación entre los valores observados en la simulación de la lluvia y los calculados a partir de la ecuación de regresión múltiple. A: Bancales, B: Campos en pendiente, C: Viñedos**





**Tabla 7. Pesos Beta (coeficientes estandarizados) obtenidos en las regresiones múltiples**

Viñedos		Bancales		Campos en Pendiente	
Pedregosidad (%)	-0.496	C. Vegetal (%)	-0.725	Escorr. (mm h <sup>-1</sup> )	0.484
Escorr. (mm h <sup>-1</sup> )	0.384	Pedregosidad (%)	-0.691	C. Vegetal (%)	-0.196
Pendiente (°)	-0.147	Escorr. (mm h <sup>-1</sup> )	-0.232	Pedregosidad (%)	0.141
Int. Prec. (mm h <sup>-1</sup> )	-0.073	Int. Prec. (mm h <sup>-1</sup> )	-0.084	Pendiente (°)	0.133
		Pendiente (°)	-0.012	Int. Prec. (mm h <sup>-1</sup> )	-0.130

## 5. DISCUSIÓN

Existe una relación directa entre la producción de sedimentos y el uso del suelo. Probablemente, de todos los factores que intervienen en los procesos de erosión, éste sea uno de los más determinantes, pues puede ser modificado por la acción humana en cortos periodos de tiempo. Para conocer las tasas de erosión en diferentes usos del suelo se han realizado simulaciones de lluvia. En concreto, se han seleccionado parcelas cultivadas en la actualidad de forma intensiva con viñedos, bancales abandonados, sometidos a procesos de recolonización vegetal o a pastoreo extensivo por parte del ganado vacuno, y campos en pendiente, también abandonados, donde los procesos de erosión se solapan a los de recolonización vegetal dependiendo de la antigüedad del abandono.

Los viñedos se han mostrado como el uso del suelo que genera una menor escorrentía (11.2%), aunque producen una importante cantidad de sedimentos. Las simulaciones de lluvia han aportado una tasa media de erosión de  $15.6 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . Las diversas labores agrícolas favorecen la existencia de suelos muy sueltos y permeables, con altas capacidades de infiltración (BARTHE'S y ROOSE, 2002). Del mismo modo, los suelos con viñedos disponen de suficiente material suelto para poder ser transportado por el agua de escorrentía. ARNÁEZ et al. (2007) han demostrado que, con intensidades de precipitación más elevadas que las utilizadas en este estudio, las tasas de erosión se incrementan aún más (hasta  $93.2 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ). Los análisis estadísticos no son capaces de determinar con claridad los factores más influyentes en la erosión en viñedos. No obstante, se insinúa el papel de la pedregosidad y la escorrentía. Las gravas protegen la superficie del suelo de la erosión. Un suelo pedregoso favorece una rápida infiltración, disminuye la descarga de escorrentía y absorbe la energía cinética de las gotas de lluvia (POESEN y LAVÉE, 1994). Con precipitaciones de alta intensidad y baja frecuencia, el papel de las gravas se ha manifestado determinante (ARNÁEZ et al., 2007).

Los bancales, en comparación con los viñedos, muestran unos coeficientes de escorrentía más elevados (26.2%). La capacidad de infiltración de los suelos de los bancales es más reducida. Se trata de suelos acumulados detrás de un muro de piedras que desde hace décadas no han sido sometidos a labores agrícolas. Algunos de ellos, además, están siendo utilizados en la actualidad para el pastoreo del ganado que, con el pisoteo constante, reduce la capacidad de infiltración. Las tasas de erosión, no obstante, son moderadas con valores medios de  $11.9 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . Este comportamiento está relacionado con la importante cubierta herbácea o de matorral que cubre los suelos de los bancales. De hecho, se comprueba que las tasas de erosión se reducen considerablemente a medida que el porcentaje de cubierta vegetal es más importante. CERDÀ (1994) en el País Valenciano, utilizando también un simulador de lluvia de características muy semejantes al nuestro, y con intensidades de precipitación de  $55 \text{ mm h}^{-1}$ , recogió tasas medias de erosión de  $167.9 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  en bancales abandonados situados sobre margas, con porcentajes de cubrimiento vegetal inferior al 20%. En nuestro caso, los porcentajes de cubierta vegetal se sitúan en torno al 75% lo que justificaría la moderación de las tasas de erosión.

Los campos en pendiente aportan los datos más elevados en cuanto a generación de escorrentía y producción de sedimentos. El valor medio del coeficiente de escorrentía alcanza el 30% y la tasa de erosión media ha sido calculada en  $29.8 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . Los campos en pendiente del área de estudio, en la actualidad, muestran diferentes microambientes que son determinantes para explicar la actividad de la erosión (ARNÁEZ et al., 1996). El análisis estadístico pone de manifiesto que en campos en pendiente los volúmenes de escorrentía se relacionan muy adecuadamente con las tasas de erosión. También intervienen la cubierta vegetal, el porcentaje de gravas en el suelo y la pendiente. Es interesante apreciar que la relación entre la erosión y la pedregosidad es positiva, manifestando unas mayores tasas de erosión allí donde el porcentaje de gravas es más elevado. Aunque se ha mencionado el papel protector de la cubierta de gravas de los suelos frente a la erosión, en el caso de los campos en pendiente éstas

aparecen en las parcelas más degradadas, con escasa cubierta vegetal y procesos de erosión muy activos. En estas circunstancias su función protectora es muy limitada.

## 6. CONCLUSIONES

Simulaciones de lluvia realizadas en distintos usos del suelo han aportado información sobre el comportamiento de la escorrentía y la erosión. Aplicando intensidades de precipitación moderadas, se pone de manifiesto que las tasas de erosión obtenidas no son muy elevadas. No obstante, los campos abandonados en pendiente producen mayores tasas de erosión que los campos cultivados con viñedos y bancales. Estas tasas de erosión vinculadas a precipitaciones de intensidades bajas y moderadas podrían ser reducidas en el caso de que se aplicasen sistemas poco costosos de conservación de suelos: laboreo con técnicas de control de la erosión, pastoreo vigilado, incremento de la cubierta vegetal en campos abandonados (especialmente la cubierta herbácea a partir de desbroces), etc.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca en los proyectos “Comportamiento y modelización espacio-temporal de la transferencia de sedimentos en diferentes usos del suelo: laderas con un uso agrario intensivo (CETSUS) (CGL2007-66644-C04-03)” y “Procesos y balances de sedimentos a diferentes escalas espaciales en ambientes mediterráneos: Efectos de las fluctuaciones climáticas y de los cambios de uso del suelo (PROBASE) (CGL2006-11619/HID), financiados por la Secretaría de Estado de Universidades e Investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARNÁEZ, J., RUIZ FLAÑO, P. y LASANTA MARTÍNEZ, T. (1996): “Comportamiento hidromorfológico de los microambientes de campos abandonados con lluvias intensas: experiencias en el valle de Aisa (Pirineo aragonés)”, en *Cader-nos. Laboratorio Xeoloxico de Laxe*, nº 21, pp. 659-669.
- ARNÁEZ, J., LASANTA, T., RUIZ-FLAÑO, P. y ORTIGOSA, L. (2007): “Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vine-yards”, en *Soil & Tillage Research*, nº 93, pp. 324-334.
- BARTHE’S, B. y ROOSE, E. (2002): “Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels”, en *Catena*, nº 47, pp. 133-149.
- CERDÀ, A. (1994): “Arroyada superficial en terrazas de cultivo abandonadas: el caso del País Valenciano”, en *Cuadernos de Geografía*, nº 56, pp.135-154.
- CERDÀ, A. (1999): “Simuladores de lluvia y su aplicación a la Geomorfología. Esta-do de la cuestión”, en *Cuadernos de Investigación Geográfica*, nº 25, pp. 45-84.

- DE SANTISTEBAN, L. M., CASALÍ, J. y LÓPEZ, J. J. (2006): "Assessing soil erosion rates in cultivated areas of Navarre (Spain)", en *Earth Surf. Process. Landforms*, nº 31, pp. 487-506.
- GROVE, A.T. y RACKHAM, O. (2001): *The nature of Mediterranean Europe: An Ecological History*. Yale University Press, 1-384 pp.
- JULIÁN, A. y PEÑA, J. L. (2007): "Las acumulaciones cuaternarias en el sector occidental de la Depresión del Ebro", en ARNÁEZ, J. y GARCÍA RUIZ, J. M. (Eds.). *Espacios Naturales y Paisajes en La Rioja*, Instituto de Estudios Riojanos, Logroño, 63-71 pp.
- LASANTA, T. (1996): "El proceso de marginación de tierras en España", en LASANTA, T. y GARCÍA RUIZ, J. M. (Eds.). *Erosión y Recuperación de Tierras Marginales*, Sociedad Española de Geomorfología, Logroño, pp. 9-31.
- LASANTA, T. y VICENTE-SERRANO, S. (2006): "Factores de la variabilidad espacial de los cambios de cubierta vegetal en el Pirineo", en *Cuadernos de Investigación Geográfica*, nº 32, pp. 57-80.
- LÓPEZ BERMÚDEZ, F. y GARCÍA-RUIZ, J. M. (2008): "La degradación del suelo por erosión hídrica en España", en CERDÀ, A. (Ed.). *Erosión y degradación del suelo agrícola en España*, Universidad de Valencia, Valencia, pp. 11-49.
- MACDONALD, D, CRABTREE, J.R., WIESINGER, G., DAX, T., STAMOU, N., FLEURY, P., GUTIÉRREZ LAZPITA, J., GIBON, A. (2000): "Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: Environmental consequences and policy response" en *Journal of Environmental Management*, nº 59, pp. 47-69.
- OSERÍN, M. (2007): *Cambios en la gestión del territorio de una montaña media mediterránea y sus impactos ambientales. Hacia un nuevo paisaje: altos valles del Iregua, Leza, Jubera y Cidacos, Sistema Ibérico Noroccidental*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de La Rioja, Logroño, pp. 1-355.
- OSERÍN, M., ARNÁEZ, J. y ORTIGOSA, L. (2007): "Tasas de erosión en bancales abandonados como consecuencia de la reciente gestión del territorio: el papel del ganado vacuno", en *Actas de las Jornadas sobre Terrazas y Prevención de Riesgos Naturales*. Consell de Mallorca, Mallorca, 77-86 pp.
- POESEN, J. y LAVÉE, H. (1994): "Rock fragments in top soils: significance and processes", en *Catena*, nº 23, pp. 1-28.
- PORTA, J., RAMOS, J.C. y BOIXADERA, J. (1994): "Mechanical measures for runoff management and erosion control in the vineyards of North East Spain", en: RICKSON, R.J. (Ed.). *Conserving Soil Resources: European Perspective*, CAB International, Wallingford, pp. 369-378.
- RUIZ FLAÑO, P. (1993): *Procesos de erosión en campos abandonados del Pirineo*. Geoforma Ediciones, Logroño, pp. 1-191.