

Revisiones

La erosión del suelo y sus tasas en España

Artemi Cerdà

Instituto Pirenaico de Ecología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Zaragoza.

En este artículo se revisan los conceptos básicos de la erosión con el fin de discernir cuando está relacionada con la desertificación (erosión acelerada) y cuando no (erosión geológica). Se repasan los mecanismos implicados, las técnicas y los métodos de medición y estimación, así como las tasas de actuación de este proceso en España. Se concluye que es necesario reflexionar sobre los datos disponibles en la actualidad para diseñar nuevos programas de investigación para las próximas décadas.

Erosión y desertificación

Es habitual que el término erosión acompañe a imágenes de incendios forestales, derrubios de minas, aguaceros intensos, abandono de cultivos y talas indiscriminadas. Es por ello que el proceso de erosión suele tener connotaciones negativas. Sin embargo, el uso de este término en las Ciencias de la Tierra tiene un carácter muy distinto. La erosión de los suelos lleva a los ríos sedimentos y nutrientes, mantiene el equilibrio sedimentario en los cauces y en las playas y conforma espacios muy fértiles como son los deltas o las llanuras aluviales. La visión negativa de la erosión está íntimamente relacionada con la desertificación, pero también al desconocimiento del proceso de erosión, de los mecanismos que lo gobiernan, de los factores que la determinan, de las técnicas y métodos desarrollados para su medición y estimación, e incluso de las tasas de erosión. En este trabajo pretendemos revisar esos conceptos para que se conozca el proceso y se pueda relacionar adecuadamente con la desertificación, además de aportar datos sobre las tasas de erosión en España.

Cubierta vegetal	Tasa de erosión
Usos del suelo	(Ton ha-1 año-1)
Encinar	0,05
Hayedo	0,03
Pinar con gramíneas	0,01
Matorral	0,00
Encinar	0,00
Parcelas quemadas	0,36
Parcelas taladas	0,04
Bosque	0,02

Tabla 1. Tasas de erosión medidas por Sala (1996) en Cataluña bajo distintas cubiertas vegetales. Estas tasas de erosión se pueden considerar naturales o geológicas ya que el suelo puede recuperarse de estas pérdidas. Los datos referentes a las parcelas taladas y quemadas informan de la acción del hombre sobre las tasas de erosión.

Erosión geológica *versus* erosión acelerada

La erosión siempre ha existido, y en tiempos geológicos pasados fue incluso mucho más activa. Antes de la colonización de los continentes por la vegetación las tasas de erosión debieron ser extraordinariamente altas (Schumm 1977). En épocas históricas recientes también se registraron tasas de erosión elevadas a causa de la puesta en cultivo de grandes superficies y a talas masivas.

Cuando la erosión se produce sin intervenciones antrópicas se la denomina **erosión geológica o natural**, y normalmente las tasas son bajas. Es el caso de los encinares, matorrales o hayedos, donde las tasas de erosión, aunque reducidas, existen (Tabla 1).

Autor	Año	Comunidad	Tasas de erosión	Uso del suelo
		Autónoma	Ton ha-1 año-1	
Edeso <i>et al.</i> ,	1998	País Vasco	13,98	Tala convencional
Edeso <i>et al.</i> ,	1998	País Vasco	34,95	Tala con extacción
Edeso <i>et al.</i> ,	1998	País Vasco	59,54	Tala con laboreo
Marqués	1991	Cataluña	24,00	Campos de cultivo
García-Ruiz	1996	Aragón	10,00	Artica
García-Ruiz	1996	Aragón	5,20	Cereal fertilizado
García-Ruiz	1996	Aragón	15,50	Barbecho
García-Ruiz	1996	Aragón	1,10	Matorral denso
Rodríguez. Conde	Mart.- 1996	Galicia	13,42	Cultivo

Tabla 2. Tasas de erosión medidas en distintas comunidades autónomas y por distintos autores con usos del suelo que favorecen la erosión antrópica o acelerada. Los datos de García Ruiz (1996) sobre las tasas de erosión en matorral denso respecto a otros usos del suelo ilustran el efecto negativo de algunos usos del suelo.

Cuando el hombre altera estos procesos "naturales" se produce la **erosión acelerada o antrópica**, en la que las tasas son más elevadas. Este último término es el que está relacionado con la **desertificación** del territorio porque no es sostenible para el suelo y además altera y degrada la vegetación, los flujos hídricos, la fauna, etc. Las tasas de erosión geológica son sostenibles pero las tasas de la erosión acelerada no permiten su regeneración (Tabla 2). Sin embargo, es posible encontrar tasas de erosión altas en espacios naturales como los denominados *badlands*, y bajas en medios antropizados como las laderas con terrazas para el cultivo. No obstante, lo habitual es lo contrario.

Variación en el espacio y en el tiempo

Los procesos de erosión son muy variables en el tiempo y en el espacio. A escala planetaria, las tasas de erosión muestran un claro patrón dependiente del clima (Figura 1), aunque también influyen la grandes cordilleras, en las cuales debido a la pendiente las áreas de sedimentación son reducidas y las tasas de erosión son altas. La variabilidad temporal de la erosión está determinada principalmente por los cambios en la cubierta vegetal y la erosionabilidad de la lluvia. Así, en climas con estaciones contrastadas después del periodo seco, con la llegada de las primeras lluvias se pueden producir tasas muy elevadas de erosión.

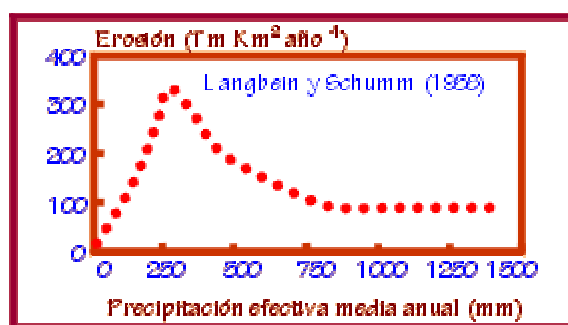


Figura 1. Influencia del clima en las tasas de erosión. Cuando la lluvia es reducida como en los desiertos la erosión fluvial es insignificante. En las zonas muy lluviosas como las ecuatoriales la densa vegetación propiciada por el clima reduce las tasas de erosión. En las zonas semiáridas es donde se producen las mayores tasas de erosión.

Dentro de una cuenca de drenaje los procesos erosivos actúan a distintas escalas, y con ello sus tasas varían ampliamente. Así, el impacto de las gotas de lluvia es importante a escala de mm o cm, pero no a escala de kilómetros donde los movimientos en masa y la arroyada concentrada son más importantes. A escala de cuenca, la distribución de la red de drenaje, la pendiente de los cauces, o procesos como el flujo de retorno en la base de la laderas serán relevantes. Además, la complejidad del proceso de erosión reside en que el mismo mecanismo, por ejemplo la arroyada superficial, presenta tasas de actuación distintas dependiendo de donde se mide, por ejemplo, en la ladera o en la parte baja de la cuenca de drenaje. La extrapolación de resultados de una escala a otra es inadmisibles, al menos en el estado actual de conocimientos. Un concepto que incide en la influencia de la escala sobre los procesos de erosión es la producción de sedimentos en las cuencas de drenaje (*Sediment delivery ratio*) (Figura 2). Según ésta, la producción de sedimentos por unidad de superficie decrece cuando la superficie productora de sedimentos aumenta. De ello se desprende que de todos los sedimentos movilizados en las laderas sólo una pequeña parte es exportado fuera de la cuenca de drenaje.

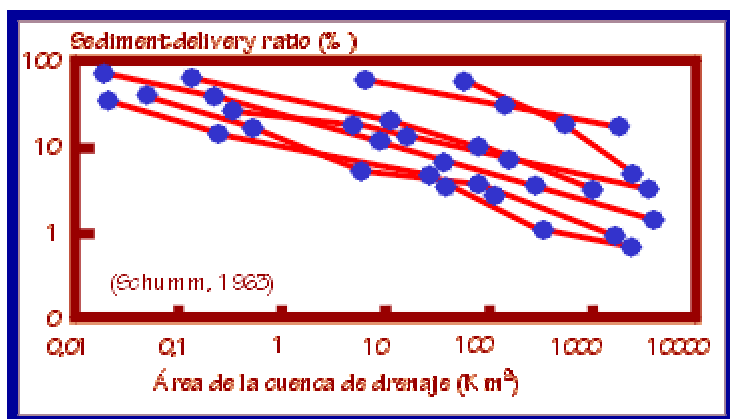


Figura 2. Reducción de las tasas de erosión en las cuencas de drenaje con el aumento de la superficies de éstas (Schumm 1977).

que el proceso es gobernado por los eventos de gran actividad y, normalmente, el periodo de medición es de unos pocos años. Si durante esos años se produce un evento extremo las tasa de erosión estarán sobrevaloradas; en el caso contrario estarán infravaloradas. Cada evento se puede caracterizar por su eficiencia en la movilización de sedimentos (magnitud) y por su recurrencia a escala temporal (frecuencia). Así, en climas templados los eventos frecuentes y de baja magnitud son los que movilizan mayor cantidad de sedimentos. En zonas de montaña o en ambientes semiáridos las lluvias poco recurrentes pero intensas son capaces de movilizar los sedimentos que durante décadas no han sido evacuados de la cuenca de drenaje. Un ejemplo de este comportamiento lo encontramos en las grandes avenidas en el mediterráneo, donde ríos y barrancos que permanecen secos durante años mantienen cauces extraordinariamente grandes. Otro ejemplo es el de la catástrofe del Barranco de Aras (Biescas) en el año 1996. Allí, y para la subcuenca de Betés, se estimaron 250 mm de precipitación en la tarde del 7 de agosto de 1996. La magnitud de la erosión provocada fue extraordinaria, como lo demuestra la destrucción de las presas de retención de sedimentos sobre las que habían crecido árboles en las décadas anteriores (García Ruiz *et al.* 1996).

Mecanismos de la erosión

La erosión del suelo consiste en tres fases: arranque, transporte y sedimentación del material. No hay erosión si no se producen las tres fases. Habitualmente se confunde meteorización -rotura o desintegración de la roca- con erosión. La meteorización prepara el material para ser erosionado pero no lo moviliza. El impacto de las gotas y la correspondiente **salpicadura** es el mecanismo más eficiente en el arranque, mientras que el transporte se realiza básicamente por medio de los flujos laminares y concentrados en superficie. El impacto de las gotas compactan la superficie del suelo al tiempo que la salpicadura arranca y desplaza parte del suelo. La velocidad de la salpicadura es el doble que la del impacto de las gotas, con lo que puede transportar sedimentos a distancias considerables especialmente si las pendientes son fuertes. La salpicadura es especialmente efectiva en campos de cultivo o después de los incendios forestales cuando la cubierta vegetal es muy escasa. La **arroyada superficial** se genera cuando

Como los procesos de erosión son dependientes de la escala a la que se producen, las mediciones en parcelas en el campo o en el laboratorio no representan valores absolutos que se puedan comparar. Las tasas de erosión dependen, además de la escala de medición, del método empleado para dicha medición o estimación.

Otro problema para determinar las tasas de erosión es

la lluvia supera la capacidad de infiltración del suelo o cuando éste se satura. Tras el encharcamiento, el efecto de la gravedad hace que el agua se mueva pendiente abajo pero el flujo es muy variable, llegando a desaparecer en aquellas zonas más permeables (Foto1). El **flujo subsuperficial** es el que tienen lugar en el interior del suelo y puede producirse de forma concentrada o a



Foto 1. Escorrentía superficial en un campo abandonado revegetado con Artemisia herba-alba en Murcia.

través de los poros del suelo. La erosión por **escorrentía concentrada** es capaz de transportar una mayor cantidad de material y da lugar a regueros y cárcavas. Los **movimientos en masa** pueden contribuir con un gran volumen de sedimentos en zona húmedas, mientras que la **erosión eólica** es importante en ambientes áridos y periglaciares donde la vegetación es insignificante y donde el viento es persistente.

Factores de la erosión

Un factor fundamental de la erosión es el clima, del que destaca la **lluvia** por su capacidad de movilizar las partículas de los suelos. A mayor intensidad de la precipitación mayores son las gotas de lluvia y con ello su erosividad aumenta. Otro factor de la erosión es la **erosionabilidad del suelo**. Su resistencia ante la erosión, tanto al arranque como al transporte de partículas, determinará las tasas de erosión. Textura y estructura son las propiedades más estudiadas para identificar los suelos en función de su susceptibilidad ante la erosión. La estabilidad de los agregados es un parámetro sintético que identifica la erosionabilidad del suelo. Un suelo que mantiene una buena agregación hace difícil el proceso de erosión porque las partículas se mantienen unidas y



Foto 2. La vegetación es clave para proteger el suelo de la erosión.

porque permite el flujo de agua en su interior. En cambio, cuando los agregados se dispersan, las partículas son fácilmente erosionables, se taponan los poros y el agua en lugar de infiltrarse fluye en superficie.

La **pendiente** y la **longitud** de la ladera también influyen sobre las tasas de erosión. A mayor inclinación de la ladera mayor es la erosión debido a que la pendiente favorece la competencia de los flujos. Esto es evidente en los campos de

cultivo como demuestran los trabajos para el desarrollo de la *Universal Soil Loss Equation* (USLE). Sin embargo, en suelos naturales, algunos autores no han encontrado ninguna relación entre la pendiente y la erosión, o bien esta ha sido más compleja de lo esperado (Abrahams 1988). La longitud de la ladera influye directamente en el suministro de material al cauce. Cuanto mayor es la pendiente de la parcela mayores volúmenes de sedimentos se recogen en su base. Pero la cuestión es si proporcionalmente la tasa de erosión aumenta o decrece con la longitud de la ladera. Hay evidencias que demuestran que la tasa de erosión es mayor cuanto mayor es la longitud de la pendiente, siendo aplicado este concepto en la USLE. Esto entra en conflicto con el concepto del *Sediment delivery ratio* y sobre él hay una gran discusión aún no solucionada.

La **cubierta del suelo** determina las tasas de erosión al reducir el impacto de las gotas de lluvia y facilitar la infiltración. Además, una vez originada la escorrentía superficial, esta cubierta será la que reduzca la velocidad de la arroyada y su capacidad erosiva, favoreciendo con ello la infiltración (Foto 2). La **vegetación** es la cubierta más eficiente, ya que además de lo comentado anteriormente, favorece la mejora de la porosidad del suelo, aumenta su materia orgánica, estabiliza los agregados, etc.

Dos factores importantes para entender los procesos de erosión son el tiempo y el hombre. El **hombre** altera los suelos y con ello acelera los procesos y aumenta las tasas de erosión. Talas, laboreos, vías de comunicación y minas son buenos ejemplos de ello. Sin embargo, el hombre también es capaz de desarrollar técnicas que permiten reducir las tasas de erosión. Bancales con muros de piedra seca en el mediterráneo, terrazas de cultivo en el sudeste asiático, manejos con barbechos e incorporación de cubiertas, entre otros, son ejemplos del control de la erosión por parte del hombre. El **tiempo** es un factor esencial ya que los procesos de erosión son lentos y sólo con largos periodos de estudio se puede descifrar la dinámica de los sedimentos en una cuenca de drenaje y en las laderas.



Foto 3. Muros de piedra seca en Alicante impiden la aceleración de los procesos de erosión. La acción del hombre puede favorecer la reducción de las tasas de erosión.



Foto 4. Parcela utilizada con simulador de lluvia. Diámetro menor de 55 cm. Parcela en la cuenca experimental de Guadalperalón, Cáceres.

Cuantificación de la erosión del suelo

Para medir la erosión del suelo se puede reproducir la **evolución de las superficies** o cuantificar los **sedimentos exportados**. Las técnicas son las siguientes:

f) Piquetas o agujas de erosión. Se insertan varias piquetas en el suelo y se mide el rebajamiento de la superficie a intervalos regulares de tiempo o después de cada lluvia. Es recomendable para zonas con altas tasas de erosión y para mediciones a largo plazo.

b) Las marcas superficiales se basan en el mismo planteamiento de las piquetas de erosión, pero sin estar ancladas a la roca madre. Son efectivas en suelos donde la salpicadura es el principal agente de transporte.

c) Cambios en la topografía de los regueros y las cárcavas se miden con facilidad mediante levantamientos topográficos, que proporcionan información de los cambios en las tasas de erosión. Los **perfiladores** consisten en el levantamiento del perfil transversal mediante mediciones regulares.

d) Movimientos en masa. Se basa en el levantamiento topográfico de la zona afectada por el deslizamiento cuando éste es rápido. Cuando es lento se entierran en el suelo marcas que años después se desentierran para conocer la evolución del movimiento de masa.

e) Parcelas. Consisten en delimitar zonas concretas de la ladera y medir la escorrentía y los sedimentos exportados que permitan calcular las tasas de erosión.

f) Aforadores. Miden el caudal y muestrear la escorrentía para conocer la concentración de sedimentos y con ello la pérdida de suelo.

g) La medición de la salpicadura se realiza mediante pequeños recipientes insertados en el suelo, o bien mediante marcas o trazadores.

h) La erosión eólica se mide directamente mediante trampas a distintas alturas en las que quedan atrapados los sedimentos.

Para medir las tasas de erosión es posible reproducir el proceso mediante **simuladores de lluvia**. Estos instrumentos permiten medir las tasas de erosión ante lluvias controladas y conocidas, e implica el reducir los costos y aumentar la precisión en las medidas (Cerdà 1999).

Además de la cuantificación de la erosión, la complejidad del proceso hace que en ocasiones se tenga que estimar las tasas de pérdida de suelo a partir de modelos. El modelo de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo (USLE) es un modelo empírico, en el cual se pretende predecir las tasas de erosión de espacios geográficos uniformes mediante la cuantificación de los factores más relevantes. La ecuación y sus variables son las siguientes:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

A = Pérdida de suelo en Ton ha-1

R = Índice de erosionabilidad de la lluvia. EI30

K = Índice de la erodibilidad del suelo

L = Longitud de la ladera (+)

S = Pendiente de la ladera (+)

C = Uso del suelo

P = Práctica de conservación (manejo)

Tasas de erosión

Las tasas de erosión en la Tierra están determinadas básicamente por el clima. A escala regional, la naturaleza de la roca y la topografía juegan un papel fundamental. Además, el hombre y sus actividades son fundamentales para conocer las actuales tasas en muchas zonas del mundo. Sin embargo, la complejidad del proceso de erosión y la dispersión en el tipo de técnicas y métodos empleados para determinar las tasas han hecho que aún en la actualidad queden muchas incógnitas por resolver. Uno de esos temas es el del aumento de las tasas de erosión relacionadas con la desertificación del territorio.

La acción del hombre sobre el territorio, mediante el desarrollo de la agricultura, ganadería, minería, expansión urbana, industrialización, etc., ha aumentado las tasas de erosión. Buenos ejemplos los podemos encontrar en la literatura científica (Morgan 1986; Hudson 1982). Los estudios sobre erosión llevados a cabo en España han demostrado el habitual efecto negativo de la acción antrópica. Ejemplo de altas tasas de erosión desencadenadas por el hombre son las que encontramos en muchas zonas del sudeste peninsular donde el desarrollo de cárcavas es frecuente. En el caso de la estación experimental de Petrer (Fotos 5 y 6) la construcción de campos de cultivo en el fondo del valle y la ampliación de éstos pro-



Foto 5. Vista de una gran cárcava en Petrer, Alicante.

dujo la inestabilización de las laderas. Durante los últimos 20 años el abandono de los campos del fondo de valle está provocando la formación de cárcavas en los depósitos acumulados durante décadas por los muros de piedra seca (Foto 6).

Sin embargo, la visión dramática del problema de la erosión en España debe cambiarse ya que la revisión de los datos existentes indican que algunas ideas preconcebidas sobre la erosión no se sostienen con los datos científicos obtenidos durante los últimos 20 años.

Los datos aportados por la USLE en los años 80 estimaban tasa de erosión de 100 e incluso 300 Ton ha⁻¹ año⁻¹, pero las mediciones posteriores demostraron que las tasas de erosión eran una o dos magnitudes menores (Tablas 3 y 4). Aunque siempre se pensó que las tasas de erosión altas pertenecían a la fachada mediterránea, también se han encontrado tasas de erosión altas en zonas húmedas como Galicia (Tabla 4).



Foto 6. Vista de campos de cultivo abandonados donde se están desarrollando cárcavas (Petrer, Alicante).

Hay también un problema metodológico importante ya que la investigación realizada hasta el momento no ha tenido unas directrices comunes para todos los investigadores. Así, las parcelas son de tamaños varios, se seleccionan las zonas de estudio sin poner en común los datos existentes, las técnicas presentan adaptaciones propias de cada autor, etc. Todo ello hace que las tasas de erosión disponibles no sean comparables entre si. Por lo tanto, se hace necesaria una puesta en común de métodos y resultados que permita orientar la investigación futura.

Autor	Año	Tasa de erosión	Características
		(Ton ha ⁻¹ año ⁻¹)	
La Roca	1984	0,1-3,1	Margo-arcillas
Francis	1986	1,8-3,2	Margas
Calvo	1987	1,7-6,6	Matorral (Calizas)
Romero et al.,	1988	2,36	Matorral (Margas)
Sala	1988	2,42	Granito
López Bermúdez	1989	0,08	Matorral (Margas)

De Antonio et al.,	1993	0,50	Yesos
García Ruiz et al.,	1994	3,00	Subfusión por regadío
Romero et al.,	1995	0,35	Cultivo
Ceballos	1996	0,23	Dehesa extremeña (pastoreo)
Úbeda et al.,	1996	1,00	Vegetación (dispersa)
Schanbel	1997	0,53	Dehesa (laderas)
Úbeda et al.,	1998	14,70	Camino forestal
Navarro Hevia	2000	23,30	Taludes de ferrocarril
Rodríguez et al.,	1999-00	1,88	Encinar quemado

Tabla 3. Tasas de erosión del suelo medida con parcelas Gerlach (abiertas).

Autor	Año	Tasa de erosión	Características
		(Ton ha ⁻¹ año ⁻¹)	
Francis	1986	0,02	1 año abandonado
Sala	1988	0,98	Granito
Albadalejo et al.,	1991	0,10	Adición de RU, 6,5 Kg m ⁻²
Benito et al.,	1991	5,00	Incendios-incendiado
Díaz-Fierros et al.,	1991	1,06	Incendio-Control
López Bermudez et al.,	1991	1,04	Cebada
Marques	1991	24,00	Campos de cultivo
González Hidalgo	1992	0,10	vegetación 100 %
Marques y Mora	1992	0,05	Incendio-Ladera Norte
Ruiz Flaño	1993	9,42	Abandono-Descalzamiento
De Alba	1994	0,17	Cultivo-Campo abandonado

De Alba	1994	0,17	Cultivo-Campo abandonado
Edeso et al.,	1994	0,40	Bosque
Sánchez et al.,	1994	8,09	Matorral (Control)
Soto et al.,	1994	0,50	Incendio (Ulex europaeus)
Estalrich et al.,	1995	25,00	Taludes de carretera
Bautista	1996	0,11	Incendio (Control)
García-Ruiz	1996	10,00	Artica
Jardí et al.,	1996	0,92	28 % Cubierta vegetal
Puigdefábregas et al.,	1996	0,16	Rambla Honda
Bienes y Torcal	1997	0,06	partizal
Rubio et al.,	1997	0,17	Incendio pinar (Argilites)
Andreu et al.,	1998	0,01-0,4	Matorral
Bochet et al.,	1998	0,56	Suelo desnudo-Arcillas
De Alba	1998	7,30	cultivo (9°)
Ingelmo et al.,	1998	1,50	Control
Padrón et al.,	1998	28,50	Cultivo-desnudo
Rodríguez Mart-Conde	1998	17,04	Cultivo
Bautista	1999	0,07	Incendio pinar (2° año)
Ingelmo et al.,	1999	0,21	Lodo de depuradora
Badía y Martí	2000	6,91	Yeso control
Bienes et al.,	2000	1,3-28	Desnudo
Gimeno et al.,	2000	2,89	Incendio (439 °C)

Tabla 4. Tasas de erosión del suelo medidas a partir de parcelas cerradas con distintas superficies.

Recapitulación y conclusiones

Sólo cuando las tasas de erosión son aceleradas por el hombre se debe identificar este proceso con la desertificación. Las actuales tasas de erosión en España ponen de relieve que es un fenómeno muy acusado debido a los incendios, talas, roturaciones e infraestructuras viarias, entre otros. Sin embargo, deben desarrollarse más estudios y mejores planes de investigación para cuantificar con más rigor las tasas y el funcionamiento del proceso de la erosión y sus implicaciones para la desertificación.

Referencias

- Albaladejo, J., Castillo, V. y Roldán, A. 1991. Analysis, evaluation and control of soil erosion processes in a semiarid environment: S.E. Spain. En: M. Sala, J.L Rubio & J.M. García-Ruiz (Eds.), *Soil Erosion Studies in Spain*. Geofoma Ediciones, 9-26.
- Andreu, V., Rubio, J.L. y Cerni, R. 1998. Effects of Mediterranean shrub cover on water erosion (Valencia, Spain). *Journal of Soil and Water Conservation* 53: 112-120.
- Badía, D. y Martí, Cl. 2000. Seeding and Mulching treatments as conservation measures of two bermed soils in the central Ebro Valley, NE Spain. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 13: 219-232.
- Bautista, S. 1999. *Regeneración post-incendio de un pinar (Pinus halepensis, Miller. en ambiente semiárido. Erosión del suelo y medidas de conservación a corto plazo*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante
- Bautista, S., Bellot, J. y Vallejo, R. 1996a. Mulching treatment for post-fire soil conservation in a semiarid ecosystem. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 10: 235-242.
- Benito, E., Soto, B. y Díaz Fierros, F. 1991. Soil erosion studies in NW Spain. En: M. Sala, J.L Rubio y J.M. García-Ruiz (Eds.), *Soil Erosion Studies in Spain*. Geofoma Ediciones, Logroño, pp. 55-74.
- Bienes, R. y Torcal, L. 1997. Influencia del manejo del suelo sobre la erosión en depósitos de terraza (El Encín y Marchamalo). *Cuatrenario y Geomorfología* 11 (3-4), pp. 113-124.
- Bienes, R., Guerrero Campo, J., Aroca, J.A., Gómez, B., Nicolau, J.M. y Espigares, T. 2000. Runoff coefficient and soil erosion rates in crop-lands in a Mediterranean continental region in Central Spain. En Third International ESSC Congress "Man and Soil at the Third Millennium", Valencia.

- Bochet, E., Rubio, J.L. y Poesen, J. 1998. Relative efficiency of three representative matorral species in reducing water erosion at the micro-scale in a semi-arid climate (Valencia, Spain). *Geomorphology* 23: 139-150.
- Calvo, A. 1987. *Geomorfología de laderas en la montaña del País Valenciano*. I.V.E.I., Col. Politécnica, Valencia.
- Ceballos, A. 1997. *Balace de agua de una cuenca hidrográfica bajo explotación de dehesa en Extremadura*. Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura, 207 pp. En el texto puede estar citado como Ceballos, 1996.
- Cerdà, A. 1998. The influence of aspect and vegetation on seasonal changes in erosion under rainfall simulation on a clay soil in Spain. *Canadian Journal of Soil Science* 78: 321-330.
- Cerdà, A. 1999. Simuladores de lluvia y su aplicación en Geomorfología. Estado de la Cuestión. *Cuadernos de Investigaciones Geográficas* 25: 45-84.
- De Alba, S. 1998. *Procesos de degradación del suelo por erosión en ecosistemas agrícolas de condiciones ambientales mediterráneas en la región central de España*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid.
- De Alba, S., López Fando, C. y Pérez González, A. 1994. Erosión hídrica en sistemas agrícolas. Diseño experimental y resultados preliminares. *III Reunión Nacional de Geomorfología*, Logroño, Tomo II, pp. 55-68.
- De Antonio, R., Almorox, J., Saa, A. y Gallardo, J. 1993. Soil erosion in waste gypsiferous lands. *Workshop on Soil Erosion in Semi-Arid Mediterranean Areas*, Taormina, pp. 91-97.
- Díaz Fierros, F., Benito, E. y Soto, B. 1994. Action of forest fires on vegetation cover and soil erodibility. En: M. Sala & J.L. Rubio (Eds.), *Soil erosion and degradation as a consequence of forest fires*. Geoforma Ediciones, Logroño, pp. 163-176.
- Edeso, J.M., Merino, A., González, M.J. y Marauri, P. 1998. Manejo de explotaciones forestales y pérdida de suelo en zonas de elevada pendiente del País Vasco. *Cuaternario y Geomorfología* 12: 105-116.
- Estalrich, E., Hernández, A.J., Aranda, L. y Pastor, J. 1997. Estudio de factores edáficos relacionados con la erosión y escorrentía en taludes de fuerte pendiente; ensayos de revegetación. *Edafología* 2: 161-167.
- Francis, C. 1986. Soil erosion on fallow fields: an example from Murcia. *Papeles de Geografía Física* 11: 21-28.

García Ruiz, J.M., Lasanta, T. y Alberto, F. 1994) Pérdida de sedimentos por sufosión en campos de regadío. *III Reunión Nacional de Geomorfología*, Logroño, Tomo II, pp. 267-276.

García Ruiz, J.M., Ruiz Flaño, P. y Lasanta, T. 1996. Soil erosion after farmland abandonment in submediterranean mountains: a general outlook. En: J.L. Rubio & A. Calvo (Eds.), *Soil degradation and desertification in Mediterranean environments*. Geoforma Ediciones, Logroño, pp. 165-183.

Gimeno, E., Andreu, V. y Rubio, J.C. (2000. Changes in organic matter, nitrogen, phosphorus and cations in soil as a result of fire and water erosion in a Mediterranean landscape. *European Journal of Soil Science* 51: 201-210.

González Hidalgo, J.C. 1992. *Pautas espaciales de la erosión hídrica en el semiárido aragonés. Exposición topográfica y cubierta vegetal factores de erosión*. Tesis Doctoral. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza.

Hudson, N. 1982. *Conservación de suelo*. Reverté, s. a. Barcelona,.

Ingelmo, F., Ibáñez, A. y Pomares, F. 1999. Water erosion in a degraded soil amended with sewage sludge under dry Mediterranean climate. Extended Abstracts 6th *International Meeting on Soils with Mediterranean Type of Climate*, Barcelona, 1017-1019.

Ingelmo, F., Ibáñez, A., Pomares, F., García, J. y Mares, M. 1998. Measures for soil protection in citrus orchards and in abandoned fields in the Community of Valencia (Spain). En: A. Rodríguez, C.C. Jiménez y M.L. Tejedor (Eds.). *The soil as a strategic resource: degradation processes and conservation measures*. Geoforma Ediciones, Logroño, 431-439.

Jardí, M., Cabanillas, M., Ferrando, C. y Peña, J.C. 1996. Impacto de las pistas forestales en medios frágiles mediterráneos. El caso del Turó de Burriach (Maresme-Barcelona-España). *IV Reunión Nacional de Geomorfología*, O Castro (La Coruña), pp. 103-121.

La Roca, N. 1984. La erosión por arroyada en una estación experimental (Requena, Valencia). *Cuadernos de Investigación Geográfica* X: 85-98.

López Bermúdez, F. 1989. Incidencia de la erosión hídrica en la desertificación de una cuenca fluvial mediterránea semiárida: Cuenca del Segura. España. En: *Degradación de zonas áridas en el entorno mediterráneo español*. Monografías de la Dirección General de Medio Ambiente, MOPU, Madrid, pp. 63-81.

López Bermúdez, F., Romero, M.A. y Martínez, J. 1991. Soil erosion in semi-arid Mediterranean environment. El Ardal experimental field

(Murcia, Spain). En: M. Sala, J.L. Rubio & J.M. García-Ruiz (Eds.), *Soil Erosion Studies in Spain*. Geoforma Ediciones, Logroño, pp. 137-152.

Marqués, M.A. 1991. Soil erosion research: experimental plots on agricultural and burnt environments near Barcelona. En: M. Sala, J.L. Rubio & J.M. García-Ruiz (Eds.), *Soil Erosion Studies in Spain*. Geoforma Ediciones, Logroño, pp. 153-164.

Marqués, M.A. y Mora, E. 1992. The influence of aspect on runoff and soil loss in a Mediterranean burnt forest (Spain). *Catena* 19, pp. 333-344.

Morgan, R.P.C. 1986. *Soil Erosion and Conservation*. Longman, New York, 298 pp.

Navarro Hevia, J., San Martín, R. y Jonte, M.A. 2000. Erosion rates in railroad cuts around Palencia (Spain). Third International ESSC Congress "Man and Soil at the Third Millennium", Valencia.

Padrón, P.A., Vargas, G.E. y Ortega, M.J. 1998. Preliminary data from erosion experimental plots of Andisols of Tenerife (Canary Islands). En: A. Rodríguez, C.C. Jiménez & M.L. Tejedor (Eds.), *The soil as a strategic resource: degradation processes and conservation measures*. Geoforma Ediciones, Logroño, pp. 219-227.

Puigdefábregas, J., Solé, A., Lázaro, R. y Nicolau, J.M. 1992. Factores que controlan la escorrentia en una zona semiárida sobre micaesquistos. *II Reunión Nacional de Geomorfología*, pp. 117-127. Citado como Puigdefábregas et al., 1996

Rodríguez Martínez-Conde, R., Puga, J.M., Vila, R. y Cibeira, A. 1998. Comportamientos de la escorrentia en un medio oceánico y de uso agrícola (Galicia, España). *V Reunión Nacional de Geomorfología*, Granada, pp. 547-556.

Rodríguez, J.M., Vicén, F.J., Badía, D. y Ascaso, J. 1999-2000. Efecto del incendio forestal sobre la autosucesión vegetal y erosión en los montes de Castejón de Valdejasa (Zaragoza). *Georgica* 7: 55-68.

Romero Díaz, M.A., López Bermúdez, F., Thornes, J.B. Francis, C.F. y Fisher, G.C. 1988. Variability of overland flow erosion rates in a semi-arid Mediterranean environment under matorral cover, Murcia, Spain. *Catena Supplement* 13: 1-11.

Rubio, J.L., Forteza, J., Andreu, V. y Cerni, R. 1997. Soil profile characteristics influencing runoff and soil erosion after forest fire: A case study (Valencia, Spain). *Soil Technology* 11: 67-78.

Ruiz Flaño, P. 1993. *Procesos de erosión en campos abandonados del Pirineo. El ejemplo del valle de Aisa*. Monografías Científicas 4, Geofoma Ediciones, Logroño, 191 pp.

Sala, M. 1988. Slope runoff and sediment production in two mediterranean mountain environments. *Catena supplement* 12: 13-29.

Sala, M. 1996. Cobertura vegetal y respuesta hidrológica. Ejemplo de las Cordilleras Costeras Catalanas. En A.J. Campesino y C. Velasco (Eds.) *España-Portugal: Ordenación Territorial del Sureste Comunitario*. Universidad de Extremadura, Cáceres, 177-188.

Sánchez, J.R., Mangas, V.J., Ortiz, C., y Bellot, J. 1994. Forest fire effect on soil chemical properties and runoff. En: M. Sala y J.L. Rubio (Eds.). *Soil erosion and degradation as a consequence of forest fires*. Geofoma Ediciones, Logroño, 53-65.

Schnabel, S. 1997. *Soil erosion and runoff production in a small watershed under silvo-pastoral landuse (Dehesas) in Extremadura, Spain*. Geofoma Ediciones, Logroño.

Schumm, S A. 1977. *The Fluvial System*. New York, Wiley & Sons, 338 pp.

Soler, M., Sala, M. y Gallart, F. 1994. Post fire evolution of runoff and erosion during an eighteen month period. En: M. Sala & J.L. Rubio (Eds.), *Soil erosion and degradation as a consequence of forest fires*. Geofoma Ediciones, Logroño, pp. 149-161.

Úbeda, X., Reina, L. y Sala, M. 1998. Cuantificación de la erosión en un camino forestal de un bosque típico mediterráneo de *Quercus suber*. *NORBA*, X, 85-196.