

INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS DE MANEJO AGRÍCOLA SOBRE LOS EFECTOS EROSIVOS DE EPISODIOS EXTREMOS DE LLUVIA (PROYECTO MANERO)

De Alba, S.¹; Hontoria, K.²; Almorox, J.² y Torri, D.³

1. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de CC. Geológicas, Dpto. Geodinámica. Ciudad universitaria s/n. 28004-Madrid. Teléfono: 676086764. E-mail: Sdealba@geo.ucm.es
2. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Dpto. Edafología. Ciudad Universitaria s/n. 28004-Madrid.
3. CNR-IRPI. Dpto. Pedologia Applicata, c/o DSSNP. Piazzale Cascine 15, 50144-Firenze, Italy

Resumen

Se presentan los antecedentes, objetivos, métodos y resultados esperados del proyecto de investigación *MANERO* financiado por el Plan Nacional de I+D+I 2004-07 (MEC). El objetivo general del proyecto es evaluar la respuesta erosiva de diferentes sistemas de manejo agrícola durante episodios extremos de lluvia, en paisajes agrícolas representativos de secano mediterráneo de la región central de España. Se estudian las respuestas erosivas de sistemas de manejo tradicionales y los propuestos en los distintos programas y normativas derivadas de la aplicación de la Política Agraria Común. Se establece una red de alerta y vigilancia para detectar la ocurrencia de episodios extremos y medir en campo las pérdidas de suelo ocurridas. Para ello se desarrollarán y aplicarán protocolos y técnicas de campo para la descripción y cuantificación de los efectos erosivos. Finalmente se pretende definir criterios de diagnóstico y evaluación de las distintas alternativas de manejo y prácticas de conservación del suelo en relación con las condiciones agroambientales mediterráneas

Palabras clave: Episodios extremos, erosión, manejos agrícolas, PAC, red de vigilancia.

Abstract

In this paper, it is presented antecedents, objectives, methods and prospective results of the investigation project *MANERO* financed by the Spanish National Plan of I+D+I 2004-07 (MEC). The general objective of the project is to evaluate the erosive responses of different agricultural management systems during extreme rainfall events, in representative agricultural landscapes of Mediterranean climate land in the central region of Spain. The erosive responses of traditional management systems are studied and those proposed in the different programs and normative derived of the Common Agrarian Policy. An alert network will settle down to detect the occurrence of extreme events and to take field measurement of actual soil losses. For that purpose, it will be developed and apply protocols, procedures and field methods for the description and quantification of the erosive effects. Finally, it will be defined evaluation criteria of the different management alternatives and practices of soil conservation to be optimum for the Mediterranean agro-environmental conditions.

Keywords: extreme events, erosion, soil management, CAP (UE), alert network.

Introducción

Degradación del suelo por erosión en paisajes agrícolas mediterráneos.

Como resultado de los procesos erosivos el suelo manifiesta un descenso neto de su fertilidad natural y productividad biológica mediante la reducción del espesor efectivo, pérdida de materia orgánica y nutrientes, degradación de la estructura física y disminución de la capacidad de retención de agua. La formación de suelo fértil mediante la alteración del material original es un proceso sumamente lento, medible únicamente en una escala de tiempo geológico (Birkeland, 1974). Dada la naturaleza del suelo como recurso natural no renovable a la escala temporal humana, la degradación por erosión supone en el caso límite su destrucción irreversible y la desertificación real del territorio. Desde una perspectiva conservacionista el objetivo debe consistir en mantener indefinidamente el potencial productivo de los suelos y, con ello, asegurar la sostenibilidad de las explotaciones agroforestales por tiempo indefinido (FAO, 1988). En términos generales, se considera la cantidad

11,2 ton/ha como el límite máximo de tolerancia de erosión anual (Schmidt *et al.*, 1982; FAO, 1988). No obstante ese límite máximo tolerable de pérdida de suelo varía de manera importante para los distintos tipos de suelos, en función de su estado de conservación, profundidad y propiedades físicas y químicas. En comparación con otras zonas naturales, en las que los rasgos erosivos tales como las incisiones de regueros y cárcavas permanecen visibles una vez que han sido generados, la erosión en los campos agrícolas no es tan claramente manifiesta ya que las prácticas convencionales de laboreo eliminan periódicamente estos rasgos erosivos superficiales. No obstante, el paisaje característico de los campos de agricultura extensiva mediterráneos muestra una presencia generalizada de suelos truncados en las lomas y hombreras, y en general en los tramos convexos de las laderas. La abundancia de suelos degradados en el paisaje revela la acción de procesos erosivos de elevada intensidad. Se trata de perfiles de suelo que han perdido por erosión total o parcialmente los horizontes edáficos superficiales (el *solum*, horizontes A y B), por lo que quedan expuestos en superficie los materiales pertenecientes a horizontes C originariamente subsuperficiales; dando lugar a una reducción drástica de la fertilidad del suelo (Gallardo *et al.*, 1990; De Alba, 1998a).

Una gestión del territorio que considere la sostenibilidad de la calidad y cantidad de la productividad biológica de los suelos, requiere del conocimiento de las tasas reales de su degradación por erosión; así como disponer de modelos predictivos que permitan evaluar las distintas alternativas de uso y manejo para las características agroambientales del territorio.

Antecedentes en España

La importancia del impacto de los procesos erosivos en el medio agrícola queda de manifiesto si se tiene en cuenta que según el Censo Agrario de 1999, en España la superficie agrícola total asciende a $26,63 \cdot 10^6$ has que equivalen a un 54% de la superficie total nacional y, de éstas, $13,92 \cdot 10^6$ has (28% del total) son tierras de secano. Entre los antecedentes de estudios en España destacan los Mapas de Estados Erosivos realizados por el ICONA (MOPT, 1992), en los que se estimaron las tasas de pérdida de suelo mediante la aplicación de la USLE (Wischmeier y Smith, 1978), sobre toda la superficie nacional a una escala 1:400.000. En dicho estudio se concluyó que la tasa de erosión anual media para todo el territorio asciende a $23,37 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, es decir más del doble del valor considerado como pérdida de suelo máxima tolerable ($11,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), que en un 43,8% de la superficie total ($22,1 \cdot 10^6$ ha) la erosión supera este último valor y en otro 18,1 % del total ($9,16 \cdot 10^6$ ha) los procesos erosivos se manifiestan con una elevada intensidad (MOPT, 1991). Al mismo tiempo, el estudio puso de manifiesto la importancia de la erosión en los campos agrícolas, dado que el 73% de las pérdidas totales de suelo tiene lugar en campos de agricultura extensiva de cultivos herbáceos de secano, arbóreos y viñedos.

Diversos grupos de investigación internacionales han puesto de manifiesto el papel geomorfológico predominante que juegan los episodios extremos en regiones de clima mediterráneo (ej. Poesen *et al.* 1997). Trabajos realizados en Europa y Estados Unidos indicaron que más del 50% de las pérdidas totales de suelo por erosión hídrica correspondieron a la formación de cárcavas efímeras en episodios extremos (ej. Bradford y Piest, 1980), fueron del 78% en Bélgica (Govers y Poesen, 1988) y llegaron a superar el 80% en Arizona (Osborn *et al.*, 1996). En la Península Ibérica, en Almería y Sudeste de Portugal (Poesen *et al.*, 1997), las pérdidas de suelo producidas por erosión en cárcavas efímeras superan el 80% de las pérdidas totales estimadas. En Castilla-La Mancha se ha comprobado como las tasas de erosión están gobernadas por los eventos extremos. De Alba *et al.*, (1998b) determinaron mediante parcelas de erosión que las tasas de erosión entre 1993 y 1997 fueron de $7,3 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, mientras que un sólo evento en agosto de 1995, con 70 mm de precipitación, las pérdidas de suelo llegaron a valores de entre 119 y 755 t ha^{-1} en campos mantenidos en barbecho blanco. Marqués (1991) encuentra en campos de cultivo procesos de erosión extremos durante una tormenta en septiembre de 1983, que supuso una pérdida de $16,7 \text{ t ha}^{-1}$, mientras que las mediciones entre 1983 y 1985 se situaron en $29,9 \text{ t ha}^{-1}$, es decir, más del 85 % de la pérdida de suelo producidas durante 3 años según la autora. En campos de cultivo en Galicia, Rodríguez Martínez-Conde (1996) encuentra en parcelas experimentales que entre el 48 y el 56 % de las pérdidas de suelo respectivamente se produjeron en un solo episodio de 51 mm de precipitación. Martínez Casasnovas *et al.*, (2002) en sus estudios del erosión en viñedos en Cataluña aporta información sobre un

evento ocurrido en Junio de 2000 en el que se registraron 215 mm durante un fuerte chaparrón. Prácticamente toda la precipitación, 205 de los 215 mm se concentró en 135 minutos, con intensidades en 30 minutos de más de 170 mm h⁻¹. La erosividad del episodio fue similar a la precipitación de una década (11.756 t² mm h⁻¹). Ello explica las más de 200 t ha⁻¹ que fueron erosionadas del viñedo en un sólo día. Entre los estudios de episodios catastróficos cabe destacar los de García Ruiz *et al.* (1997) y Benito *et al.* (1998) que analizaron los efectos del episodio de 1996 del Valle de Arás en Bisecas.

Influencia de los sistemas de manejo sobre la respuesta erosiva

La influencia del manejo sobre las propiedades de los suelos que afectan a la respuesta hidrológica de los campos de cultivo ha sido ampliamente discutida en diversos trabajos previos (ej. en Imeson & Kwaad, 1990). En sistemas mediterráneos destacan entre otros los trabajos de Giráldez (1997), Martínez Raya y Francia (1997) y De Alba *et al.* (1998a), en cultivos leñosos los de Pastor (1997) sobre el manejo de las cubiertas. No obstante una menor atención ha sido dedicada para analizar el papel que desempeñan las prácticas de laboreo sobre la hidrología superficial de las laderas cultivadas, configurando las líneas de flujo superficial y los patrones de distribución espacial de las zonas de concentración de escorrentía en las laderas (Lafren, 1985; Ludwig, *et al.*, 1995; Casali *et al.* 1999). De Alba y Benito (2002) pusieron de manifiesto que la orientación de la rugosidad superficial (i.e., orientación de los surcos de labor) representa un factor clave que condiciona los patrones espaciales de concentración de escorrentía superficial y por tanto de la capacidad erosiva de la escorrentía.

En relación con la influencia de la intensidad de las precipitaciones destacan los trabajos de Moldenhauer y Wischmeier (1960) y de Augustinos y Nieuwenhuys (1986). De acuerdo con Wischmeier y Smith (1978), las prácticas de conservación (ej. laboreo en contorno) producen la máxima protección en episodios de moderada y baja erosividad, mientras que se ve fuertemente reducida en episodios de mayor erosividad. Los resultados obtenidos por De Alba *et al.* (2002, 2003) en Castilla-La Mancha revelan que la práctica de laboreo en contorno en algunos casos puede llegar a intensificar muy significativamente las pérdidas de suelo durante episodios de elevada intensidad de lluvia. Por ello, en la última de las revisiones de la USLE, en la RUSLE (Foster *et al.*, 1997), la determinación del factor *P* se debe realizar con respecto a la erosividad máxima calculada para una precipitación con un periodo de retorno de 10 años (Foster *et al.*, 1997).

Objetivos del proyecto

Como objetivo general del proyecto se propone evaluar la respuesta erosiva de diferentes sistemas de manejo agrícola durante episodios extremos de lluvia, en paisajes representativos del secano mediterráneo en la región central de España. Se propone estudiar las respuestas de sistemas de manejo tradicionales y los propuestos en los programas de requisitos agroambientales de las normativas derivadas de la aplicación de la PAC, Reales Decretos de Buenas Prácticas Agrícolas (BOE de 28 de diciembre de 2002) y de Medidas Agroambientales (BOE de 23 de julio de 2002). Los objetivos específicos son los incluidos en la siguiente tabla 1.

Tabla 1. Objetivos específicos del proyecto MANERO.

| |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Evaluar la respuesta erosiva durante episodios extremos de lluvia de los sistemas de manejo agrícola tradicionales y los propuestos en los programas y normativas derivados de la PAC en España.</i> 2. <i>Establecer una red de alerta y vigilancia de la ocurrencia de episodios extremos. Desarrollar y aplicar protocolos y técnicas de campo para la descripción y cuantificación de los efectos erosivos en laderas cultivadas.</i> 3. <i>Determinar la importancia relativa de los efectos erosivos de los episodios extremos de lluvia. Determinar la erosividad de los episodios extremos, su frecuencia, variabilidad estacional y variabilidad espacial.</i> 4. <i>Identificar las características de los sistemas de manejo agrícola que juegan un papel clave para determinar la respuesta erosiva, en cuanto a tipo e intensidad de laboreo, tiempos de labranza, patrones espaciales de laboreo, recubrimiento del suelo y rugosidad superficial.</i> 5. <i>Determinar las interacciones y sinergias entre la redistribución de suelo por las prácticas de laboreo (erosión mecánica) y la erosión hídrica.</i> 6. <i>Definir criterios de diagnóstico y evaluación de las distintas alternativas de manejo y prácticas de conservación.</i> 7. <i>Elaborar propuestas para la adaptación de las normativas derivadas de la PAC y establecer estrategias de manejo con el objetivo de mitigar los procesos de degradación del suelo por erosión y favorecer su conservación.</i> 8. <i>Transferencia de los resultados obtenidos a técnicos y organismos públicos responsables de la planificación y definición de la normativa agraria relativa al manejo de los sistemas agrícolas y en particular de los reglamentos derivados de la PAC.</i> |
|--|

Material y Métodos

La metodología a desarrollar incluye los siguientes apartados o tareas:

Tabla 2. Metodología del proyecto MANERO.

- 1.- *Establecimiento de una red de vigilancia y alerta para detectar la ocurrencia de episodios extremos de lluvia en la Comunidad de Castilla-La Mancha (79.463 km²).* La red suministra información a tiempo real de la ocurrencia de los episodios extremos, así como una breve descripción de los efectos erosivos ocasionados. La red está constituida por un total de 271 puntos de información correspondientes a distintos servicios de la Consejería de Agricultura de Castilla-La Mancha.
- 2.- *Reconocimiento de campo y evaluación de los efectos erosivos de los episodios extremos. Cuantificación de las pérdidas de suelo en laderas representativas.*

Una vez localizada la ocurrencia del episodio, se procederá a realizar sobre el terreno una campaña de campo para caracterizar las respuestas erosivas en función de los usos y sistemas de manejo agrícola de las laderas afectadas. El protocolo y método de trabajo de campo incluirán las siguientes técnicas:

 - Exploración y reconocimiento del área afectada por la tormenta.
 - Selección de laderas de control con presencia de rasgos erosivos de elevada intensidad: sistema de regueros y cárcavas efímeras. En las laderas seleccionadas se realizarán los siguientes ítems:
 - Descripción de las condiciones iniciales del campo de cultivo antes del episodio de lluvia, en cuanto a la historia de manejo y últimas labores realizadas.
 - Caracterización de la topografía y morfología de las laderas.
 - Cuantificación de las pérdidas de suelo por erosión difusa y procesos de incisión lineal a partir de la medición de rasgos erosivos como pedestales, raíces descubiertas, profundidad de la suela de labor, etc. (Stocking y Numaghan, 2001)
 - Medición de la erosión en regueros y acarcavamiento mediante técnicas volumétricas (De Alba, 1997).
 - Caracterización y descripción de las propiedades edáficas.
- 3.- *Análisis de laboratorio para la determinación de las propiedades de los suelos en los campos estudiados.*
- 4.- *Implementación de una base de datos georreferenciada de los episodios extremos y sus efectos erosivos.*

La base de datos incluirá la información obtenida en campo respecto a las respuestas erosivas (pérdidas de suelo, morfología de las redes de regueros y cárcavas,...), características edáficas, topográficas y morfológicas de las laderas estudiadas y de los usos y manejos del suelo.
- 5.- *Realización de ensayos de campo y laboratorio de simulación de lluvia.*

Se realizarán ensayos de simulación de lluvia para caracterizar la erodibilidad del suelo bajo lluvias de elevada intensidad y estudiar la influencia de variables físicas como el sellado superficial y la rugosidad superficial sobre los patrones espaciales de generación y concentración de escorrentía. Se realizarán tres tipos de experimentos: a) *Experimentos de campo en microparcelas* (< 0.25 m²), b) *Experimentos de campo en parcelas medias* (> 30 m²), y c) *Experimentos de laboratorio en microparcelas* (< 0.25 m²)
- 6.- *Determinar la erosividad de los episodios extremos, su frecuencia, variabilidad estacional y variabilidad espacial en el área de estudio.*
- 7.- *Evaluar la importancia relativa de los efectos erosivos de los episodios extremos en comparación con episodios de moderada y baja intensidad de lluvia.*

Se comparan los resultados de campo de erosión en episodios extremos con datos de pérdidas de suelo obtenidos en parcelas experimentales situadas en el área de estudio.
- 8.- *Estudio de la influencia de la redistribución del suelo y modificación de la topografía local por las prácticas de laboreo.*

Mediante el estudio de casos concretos se analizarán las interacciones y sinergias entre los procesos de redistribución y erosión mecánica del suelo y la erosión hídrica en episodios extremos.

Resultados y Discusión

Dos de los principales rasgos que caracterizan el clima mediterráneo consisten en la distribución irregular de las precipitaciones a lo largo del año y en la ocurrencia de episodios tormentosos de elevada intensidad principalmente en los meses de verano y otoño (ej. Capel Molina, 1981). Por otro lado, los modelos actualmente disponibles para evaluar las consecuencias del cambio climático predicen un incremento significativo tanto en la irregularidad de la distribución de las precipitaciones como en la intensidad de los episodios extremos. Sin duda que los resultados obtenidos con el presente proyecto contribuirán para analizar los efectos erosivos de tales cambios así como para definir y evaluar las estrategias de manejo que mitiguen los efectos negativos sobre la erosión del suelo en campos agrícolas.

Los resultados obtenidos permitirán evaluar el impacto medioambiental y específicamente de erosión provocados por la aplicación de la distinta normativa derivada de la política agraria común (PAC), desde el primero de los reglamentos de la CE 1765/1992 hasta las normativas más recientes recogidas en el *Real Decreto de 13 de diciembre de 2002* ("Buenas prácticas agrícolas") y el *Real Decreto de 19 de junio de 2002* (*Medidas agroambientales*). Finalmente, el proyecto propone realizar un catálogo de estrategias de manejo con criterios basados en objetivos de conservación del suelo y agua, que estén definidos de forma específica para las condiciones ambientales de los paisajes agrícolas mediterráneos. Estos criterios pueden constituirse como herramientas fundamentales, en manos de los órganos administrativos y de gestión implicados, para la adaptación de las distintas normativas comunitarias y programas específicos de actuación de la PAC a la realidad agroambiental del secano mediterráneo.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Dr. A. Cerdá por su colaboración en la preparación de la memoria de la propuesta del proyecto. Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto con Ref. AGL2004-00650 del Plan Nacional de I+D+I 2004-07 (MEC) y de un contrato de investigación del Programa Ramón y Cajal (MEC).

Bibliografía

- Augustinos, P.G.E.F. & Nieuwenhuysse, P.J. (1986). Soil erosion in vineyards in the Ardeche Region. *Catena*, 13: 295-304.
- Benito, G., Grodek, T. & Enzel, Y. (1998). The geomorphic and hidrologic impacts of the catastrophic failure of flood-control-dams during the 1996-Biescas flood (Central Pyrenees, Spain). *Zeitschrift für Geomorphologie*, (En prensa).
- Birkeland, P. (1974). *Pedology weathering and geomorphological research*. Oxford University Pres.
- Bradford, J.M. & Piest, R.P. (1980). Erosional development of valley-bottom gullies in the Upper Midwestern United States. En D. Coates and J.D. Vittek.(Ed.). *Thresholds in Geomorphology*. Allen & Unwin. Londres, pp. 75-101.
- Capel Molina, J.J. (1981). *Los climas de España*. Oikos-tau, s.a. Barcelona, pp. 429.
- Casali et al. (1999). Ephemeral gully erosion in Southern Navarra (Spain). *Catena* 36: 65-84
- De Alba, S. (1997). Metodologías para el estudio de la erosión en parcelas experimentales: relaciones erosión-desertificación a escala de detalle. En J. Ibáñez, B.L. Valero Garcés y C. Machado.(Ed.). *El paisaje mediterráneo a través del espacio y del tiempo. Implicaciones en la desertificación*. Centro de Ciencias Medioambientales (CSIC), Geofoma ediciones. Logroño, pp. 259-293.
- De Alba, S. (1998a). *Procesos de degradación del suelo por erosión en ecosistemas agrícolas de condiciones ambientales mediterráneas en la región central de España*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid, pp. 590.
- De Alba, S., Benito, G. & Pérez González, A. (1998b). Erosión de suelo en episodios de lluvia de elevada intensidad versus episodios de moderada y baja intensidad y elevada frecuencia en ambientes semiáridos. En A. Gómez Ortiz y F. Salvador Franch.(Ed.). *Investigaciones recientes de la Geomorfología española*. Sociedad Española de Geomorfología. Logroño, pp. 483-492.
- De Alba, S. & Benito, G. (2002). Effects of soil surface management on erosion during extreme rainfall events in semiarid agricultural lands (Central Spain). In Abstracts symposium: *The Significance of Soil Surface Characteristics in Soil Erosion. UE-COST 623 "Soil Erosion and Global Change"*. Strasbourg.
- De Alba, S., Benito, G., Pérez González, A. & Lacasta, C. (2003). Erosión hídrica en sistemas de agricultura extensiva de clima mediterráneo. Influencia del manejo del suelo en Castilla-La Mancha. En R. Bienes y M.J. Marqués (eds.) *Control de la Erosión y Degradación del suelo*. Instituto Madrileño de Investigación Agraria y Alimentación (CAM). Madrid, pp.71-74.
- FAO. (1988). *Sistemas de labranza para la conservación del suelo y del agua*. FAO. Roma, pp. 288.
- Foster, G.R., Weesies, G.A., Renard, K.G., Yoder, D.C., McCool, D.K. & Porter, J.P. (1997). Support practice factor (P). En K.G. Renard, G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool and D.C. Yoder.(Ed.). *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Agriculture Handbook No. 703. United States Department of Agriculture. pp. 183-251.
- Gallardo Díaz, J., Ortega Martos, A. & Rodríguez Rastrero, M. (1990). Erosión en suelos agrícolas, ganaderos y forestales. En S. De Alba, J. Romea, D. Orueta y J. Mondejar.(Ed.). *Hombre y Medio Ambiente*. Ayuntamiento de Alcobendas. pp. 365-373.
- García Ruiz, J.M., White, M.S., Martí, C., Valero, B., Errea, M.P. & Gómez Villar, A. (1997). *La catástrofe del Barranco de Aras (Biescas, Pirineo Aragonés) y su contexto espacio-temporal*. CSIC. Instituto Pirenaico de Ecología. Zaragoza, pp. 54.
- Giráldez, J.V. (1997). Efectos de los diferentes sistemas de laboreo sobre las propiedades físicas del suelo. En L. García Torres y P. González Fernández.(Ed.). *Agricultura de conservación: Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos*. Asociación Española de Laboreo de Conservación - Suelos Vivos. Córdoba, pp. 13-38.
- Govers, G. & Poesen, J. (1988). Assessment of the interrill and rill contributions to total soil loss from an upland field plot. *Geomorphology*, 1: 343-354.
- Imeson, A.C. & Kwaad, J.P.M. (1990). The response of tilled soils to wetting by rainfall and the dynamic of soil erodibility. En J. Boardman, I.D.L. Foster and J.A. Dearing.(Ed.). *Soil erosion on agricultural land*. John Wiley & Sons Ltd. pp. 3-14.
- Ludwig, B., Boiffin, J., Chadoeuf, J. & Auzet, A.V. (1995). Hydrological structure and erosion damage caused by concentrated flow in cultivated catchments. *Catena*, 25: 227-252.
- Martínez-Casasnovas, J.A., Ramos, M.C., & RIBAS-DASI, M. (2002). Soil erosion caused by extrem rainfall events: mapping and quantification in agricultural plots from very detailed digital elevation models. *Geoderma*, 105 (1-2) 125-140.
- Martínez Raya, A. & Francia Martínez, J.R. (1997). Efecto de los sistemas de laboreo en la erosión y la escorrentía. En *Agricultura de conservación: Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos*. AELC/SV. pp. 173-188.
- Marqués, M.A. (1991). Soil erosion research: experimental plots on agricultural and burnt environments near Barcelona. En: M. Sala, J.L. Rubio and J.M. García-Ruiz (Eds.), *Soil Erosion Studies in Spain*. Geofoma Ediciones, Logroño, pp. 153-164.
- Moldenhauer, W.C. & Wischmeier, W.H. (1960). Soil and water losses and infiltration rates on Ida silt loam as influenced by cropping systems, tillage practices and rainfall characteristics. *Soil Science Society of America Journal*, 24 : 409-413.
- MOPT. (1991). *Medio Ambiente en España 1990*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Madrid,
- MOPT. (1992). *Medio Ambiente en España 1991*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Madrid,
- Pastor, M. (1997). Sistemas de manejo del suelo en olivar. En *Agricultura de conservación: Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos*. AELC/SV. pp. 289-309.
- Poesen, J., Vandaele, K., & Van Wesemael, B. (1996). Contribution of gully erosion to sediment production on cultivation lands and rangelands. En *Erosion and sediment yield: global and regional perspectives (Proceedings of the Exeter Symposium, July 1996)*. IAHS Publ. no 236. pp. 251-266.
- Rodríguez Martínez-Conde, R., Puga, J.M., Vila, R. & Cibeira, A. (1996). *La erosión en campos cultivados en Galicia (NW España)*. IV Reunión de Geomorfología, O Castro (La Coruña), 147-162.
- Schmidt, B.L., Allmaras, R.R., Mannering, J.V. & Papendick, R.I. (1982). *Determinants of soil loss tolerance*. American Society of Agronomy - Soil Science Society of America. Madison, pp. 153.
- Stocking, M. y Mumaghan, N., (2001). *Handbook for field assessment of land degradation*. Earthscan Ltd, London. 173 pp
- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses. Agriculture Handbook nº 537*. United States Department of Agriculture. Washington.