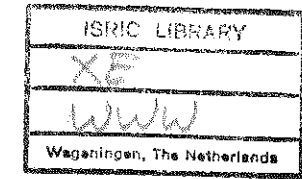


Geomorfología en España
J. Arnáez, J. M. García Ruiz & A. Gómez Villar, Edrs.
1994, Sociedad Española de Geomorfología
Logroño



EROSIÓN HÍDRICA EN SISTEMAS AGRÍCOLAS. DISEÑO EXPERIMENTAL Y RESULTADOS PRELIMINARES

S. de Alba, C. López-Fando & A. Pérez-González

Centro de Ciencias Medioambientales. CSIC. Serrano 115 dpdo. 28006 Madrid

RESUMEN. En este artículo se presenta el diseño experimental y algunos resultados preliminares de un trabajo de investigación que aborda el estudio de los procesos de erosión hídrica en sistemas agrícolas bajo condiciones ambientales mediterráneas.

Se han instalado cuatro parcelas de erosión en las que se aplican diferentes usos y manejos del suelo: cultivo aplicando técnicas de laboreo convencional y técnicas de siembra directa; barbecho blanco; y, retirada del cultivo permitiendo el desarrollo de la vegetación natural.

Las parcelas están dotadas de dispositivos colectores y muestreadores del agua de escorrentía y sedimentos. Para el registro continuo y seguimiento automático de parámetros meteorológicos y de los procesos de producción de escorrentía y sedimentos, se ha diseñado y construido una sofisticada estación electrónica de medida, que ha supuesto el desarrollo tanto de módulos *Hardware* como *Software*. Todo ello, permite el análisis dinámico del comportamiento del suelo durante los distintos episodios de lluvia, en función de los tratamientos aplicados.

Palabras clave: erosión hídrica, parcelas de erosión, instrumentación, tierras agrícolas

ABSTRACT. This paper considers the characteristics of the water erosion processes developed on agricultural lands under Mediterranean conditions, presenting as well the main research lines and some of the results obtained up to now.

Four experimental plots were installed taking into account, in one hand the land cover and on the other the land management: traditional ploughing and direct sowing; white fallow; natural vegetation on abandoned agricultural lands.

Each of these plots were equipped with collector tanks and multislot divisors, which enabled the assessment of runoff and soil loss, as well as with a sophisticated electronic continuous record weather station, which has required the development of a Hardware and

Software systems, and allows a dynamic analysis of soil during the rainfall events and under those land use conditions.

Key words: soil erosion, erosion plots, monitoring, agricultural land

INTRODUCCIÓN

La degradación del suelo, como resultado de los procesos de erosión hídrica y eólica, ha sido reconocida como un problema ambiental de importancia extrema (UNEP, 1992). Más aún, en ambientes semiáridos donde la pérdida de suelo por erosión, en el caso límite, conlleva junto a la pérdida definitiva de tierras agrícolas potencialmente productivas, la degradación irreversible de los ecosistemas climáticos mediterráneos, y todo ello, a la desertificación real del territorio (Rubio, 1993).

La utilización de parcelas experimentales para el estudio de los procesos de erosión hídrica es una técnica ampliamente implantada desde que Hudson (1957) y Wishmeier & Smith (1958 y 1965), describieron los principales fundamentos metódicos. Gregory & Walling (1973), De Ploey & Gabriels (1980) y Zachar (1982), describen diversos sistemas de instrumentación que puede utilizarse para el estudio de la producción de escorrentía y sedimentos en las parcelas de erosión. Díaz-Fierros & Rubio (1992), abordan el análisis detallado de las metodologías de estudio de los procesos de erosión hídrica en España, su situación actual y perspectivas futuras; y Rubio *et al* (1990), Albadalejo *et al* (1990), Marqués (1991), Benito *et al* (1992) y López-Bermudez *et al* (1991 y 1993), entre otros autores españoles, describen el diseño de diversos sistemas de parcelas experimentales de erosión.

En este artículo, se presenta el diseño experimental y algunos resultados preliminares de un trabajo de investigación que aborda la cuantificación de las tasas de generación de escorrentía y sedimentos, en campos agrícolas sobre materiales arcósicos de la cuenca del Tajo, a través de parcelas experimentales de erosión.

Para el seguimiento continuo de los distintos parámetros meteorológicos, del suelo, y relativos a la producción de escorrentía y sedimentos, se ha desarrollado una estación automática de medida, cuya producción ha supuesto el diseño y construcción tanto de módulos de Hardware como de diversos programas de control y tratamiento de datos (Software).

ÁREA DE ESTUDIO

Las instalaciones de las parcelas de erosión se hallan situadas en terrenos de la finca experimental La Higuera, perteneciente al Centro de Ciencias Medioambientales (CSIC). Dicha finca se localiza en el término municipal de Santa Olalla (provincia de Toledo). Las parcelas ocupan una ladera agrícola, de orientación Norte, que tradicionalmente ha sido explotada con cultivos de secano, fundamentalmente cereales y girasol.

El clima dominante en la zona corresponde a un clima continental semiárido, con temperaturas medias que oscilan entre 6°C en invierno y 23°C en verano, y precipitaciones anuales que se sitúan en torno a los 400 mm. Los regímenes térmico y de humedad del suelo corresponden a los tipos *Mesic* y *Xeric*, respectivamente (USDA, 1990).

La litología del área de estudio está caracterizada por materiales miocenos, constituidos fundamentalmente por arcosas, procedentes de la erosión de rocas ígneas y metamórficas del Sistema Central.

El suelo presente en el área de experimentación se caracteriza por presentar un horizonte superficial de tipo *Ocrico* (FAO, 1989), de textura franco-arenosa, y un horizonte subsuperficial de acumulación de arcilla iluvial de tipo *Argico* (FAO, 1989), de estructura fuertemente desarrollada y textura franco-arcillo-arenosa. Se trata de suelos clasificados como Luvisol vértico (LVu) según la clasificación de la FAO (1989), y Typic Haploxeralf según la Soil Taxonomy (USDA, 1990).

DISEÑO EXPERIMENTAL. MATERIAL Y MÉTODOS

A continuación se describen las características generales de las parcelas de erosión, la estación automática para la monitorización de las parcelas y estación meteorológica, y los planes de manejo y seguimiento de las parcelas.

Estructura y características de las instalaciones

Las cuatro parcelas de erosión se localizan en una ladera con suelo uniforme y pendiente media del 9%. En su parte terminal, estas parcelas presentan dispositivos para la conducción y recogida del agua de escorrentía y sedimentos ocasionados durante cada evento de lluvia. La Fig. 1 muestra el plano general de las instalaciones e incluye las pendientes y cotas relativas más significativas.

Cada parcela está compuesta de un área reservada para toma de muestras, una superficie concentradora de escorrentía, un vertedero y un sistema colector (ver Figs. 1 y 2).

Las parcelas presentan una superficie total de 250 m², siendo de 10 m de ancho en el sentido de las curvas de nivel y 25 m de largo en rampa. Se han dispuesto dejando un pasillo intermedio de 5 m de ancho con el objeto de facilitar las maniobras de la maquinaria de labor.

Las parcelas quedan divididas en tres secciones longitudinales. La sección central (A en Fig. 1), de 5 m de ancho, corresponde a la superficie concentradora de escorrentía. Esta se conecta en la base con el vertedero, mientras que el resto de su perímetro queda cerrado por un límite desmontable construido con planchas de chapa metálica galvanizada. Estas últimas, de 100x30 cm y 2 mm de grosor, se entierran hasta una profundidad de 10 cm. Estos límites tienen como objeto evitar los flujos laterales de agua de escorrentía, tanto de entrada como de salida de las parcelas. Por otro lado, las dos secciones exteriores, de 2.5 m de ancho, quedan reservadas para la toma periódica de muestras del suelo.

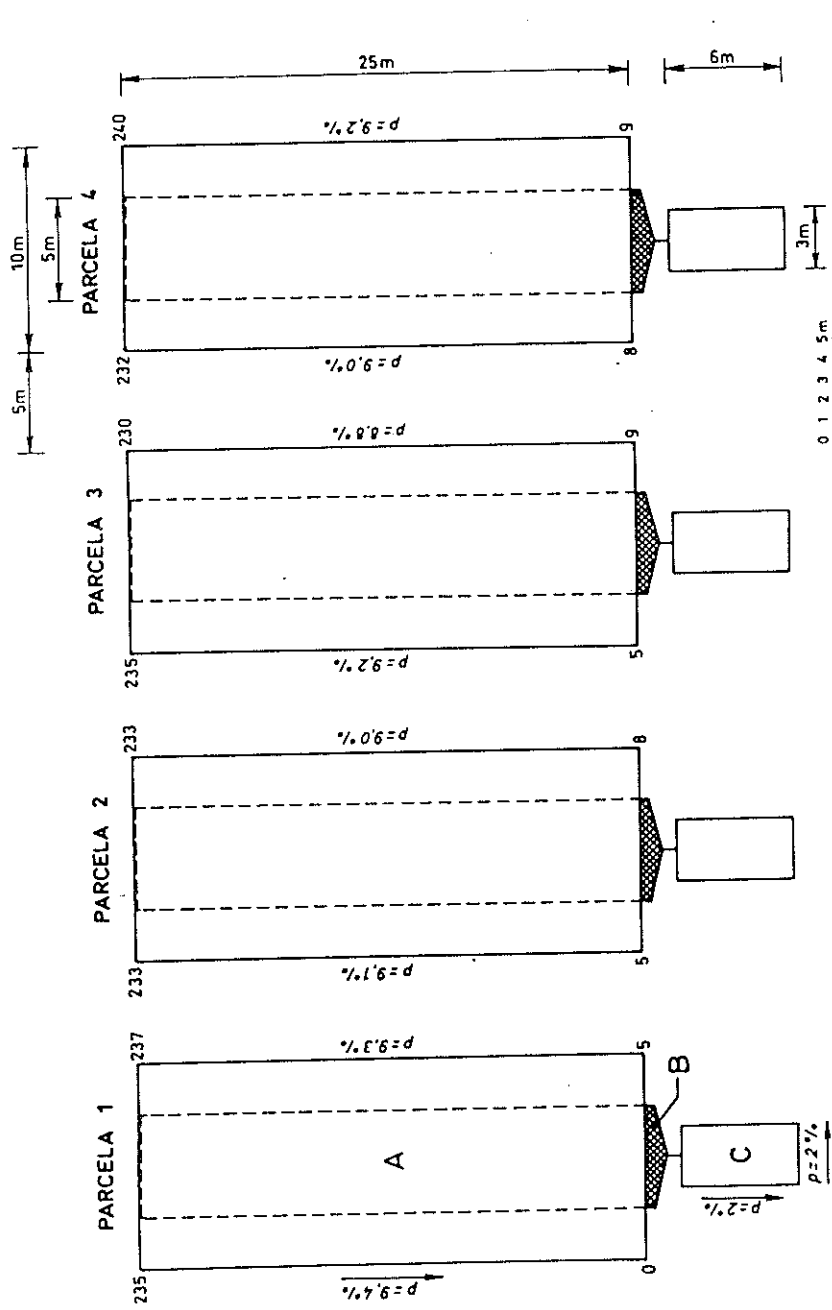


Fig. 1. Plano general de las instalaciones de las parcelas experimentales de erosión. Se indican cotas relativas de erosión. Se indican cotas relativas (m) y pendientes medias. En la parcela 1: a) Superficie concentradora de escorrentía; b) Vertedero; y c) Sistema colector.

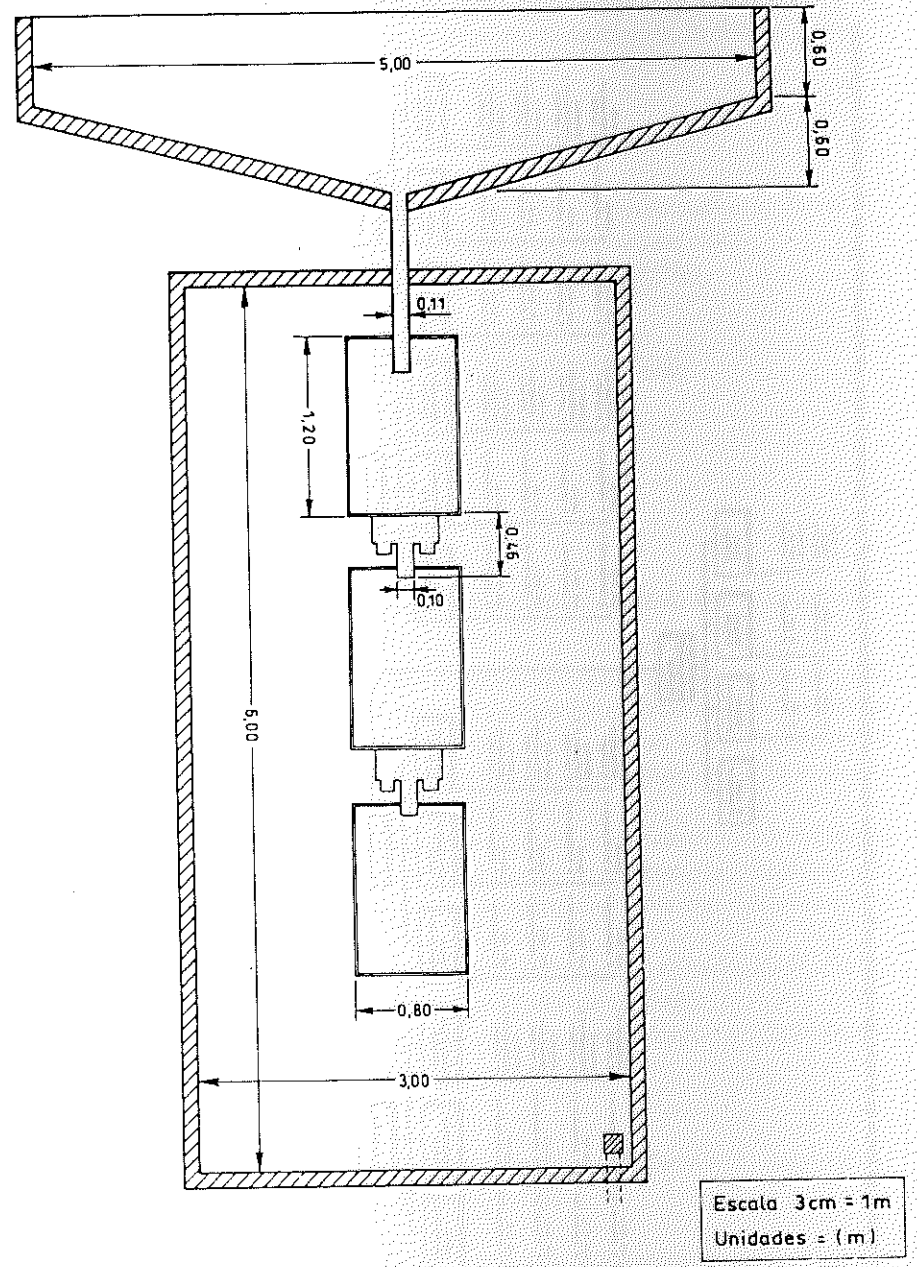


Fig. 2. Esquema del vertedero y sistema colector con tanques de almacenamiento y sistemas colectores de una parcela de erosión.

Escala 3cm = 1m
Unidades = (m)

El vertedero (B en las Figs. 1 y 2) presenta una superficie total de 4.5 m² y una pendiente del 2%. Ha sido construido de albañilería y dotado de una cubierta plástica desmontable (Relón plano natural), fijada sobre pletinas metálicas mediante varillas roscadas. La base del vertedero, construida de cemento, ha sido tratada en superficie con resinas impermeabilizantes.

El primer depósito del sistema colector (tanque de decantación) queda conectado al vertedero mediante una tubería de PVC de 11 cm de diámetro, tratada convenientemente para ambiente exterior.

El sistema colector se sitúa en un recinto excavado (C en las Figs. 1 y 2) de 6 m de longitud por 3 m de ancho y una profundidad máxima aproximada de 90 cm que decrece según la pendiente. Las paredes del recinto han sido construidas de albañilería y el suelo de hormigón reforzado con rejilla metálica. Este último presenta una pendiente del 2%, en sentido longitudinal y transversal, y está dotado de una salida de aguas.

El sistema colector está constituido por un tanque de decantación, dos tanques de almacenamiento y dos divisores de agua (Fig. 2). Estos últimos, comunican dos tanques sucesivos y tienen la función de conducir una parte alícuota (1/3) del agua excedente del primer tanque al segundo. De esta forma se consigue un muestreo representativo del total de agua de escorrentía evitando el desbordamiento del sistema colector.

Los tanques son de fibra de vidrio con revestimiento de poliéster, de una capacidad total de 500 litros y un volumen útil que oscila entre 380 litros para los dos primeros depósitos y 430 litros para el tercero.

Los divisores son una adaptación propia del modelo original de tipo GEIB (1933) con tres salidas; están dotados de sistemas de estabilización que suprimen la agitación del agua del interior de los tanques favoreciendo la uniformidad de las tasas de fraccionamiento. La sección de las salidas del divisor es de 100 cm² (10x10 cm) de tal forma que queda sobredimensionado respecto al caudal máximo esperado. Los divisores han sido construidos con chapa metálica galvanizada de 1.5 mm de espesor.

Monitorización parcelas de erosión y estación meteorológica

La Fig.3 muestra un organigrama del sistema de registro automático para parámetros meteorológicos, del suelo y relativos a la generación de escorrentía y sedimentos.

La estación está compuesta por cuatro subestaciones autónomas (*Dataloggers*), una por cada parcela de erosión, conectadas a una unidad de control central. Esta última se ha construido sobre la base de una CPU de PC-286AT comercial. La unidad central se comporta como centro de comunicaciones a través de una red local RS232 con las subestaciones de las cuatro parcelas y mediante modem telefónico con el Centro de Ciencias Medioambientales. Por otro lado, esta unidad asegura la sincronización horaria entre las distintas subestaciones y la estación meteorológica, de tal forma que las lecturas de todos los sensores presentan la misma referencia temporal.

En cada una de las parcelas, la subestación de medida presenta los siguientes sensores: 4 sondas de temperatura del suelo situadas a 5, 15, 30 y 45 cm de profundidad; 4 sensores que

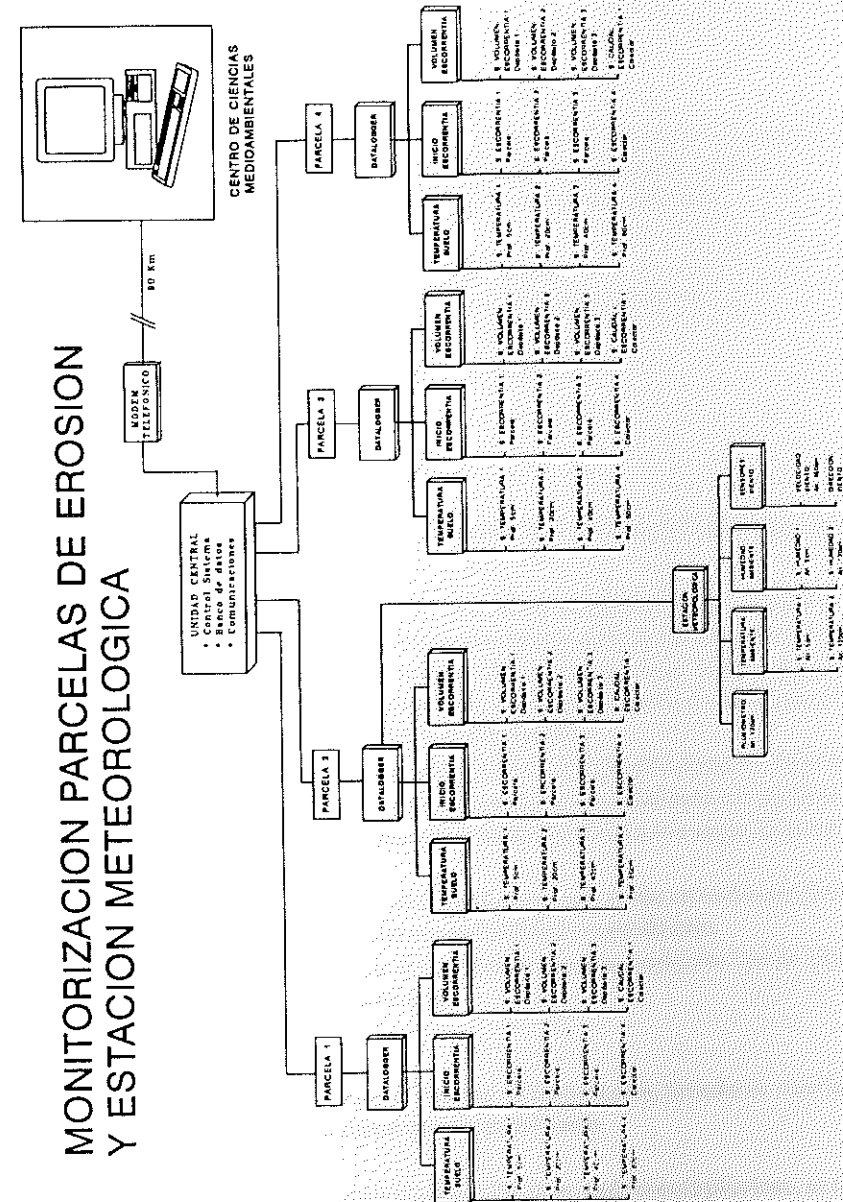


Fig. 3. Bloque diagrama de la estación automática para el registro continuo de parámetros meteorológicos, del suelo y relativos a la producción de escorrentía y sedimentos.

indican el momento en el que se inicia el flujo superficial de agua de escorrentía, distribuidos por la superficie de labor dentro de la parcela de erosión; 1 caudalímetro de cazoletas, tipo *tipping bucket*, con una resolución de 0.2 litros aproximadamente, situado en la tubería de entrada al primero de los tanques del sistema colector; y, 3 sensores, uno por tanque, que registran el volumen total acumulado de agua y sedimentos en cada uno de los depósitos.

La estación meteorológica se encuentra acoplada a la subestación de la parcela Nº 2 y mide los siguientes parámetros: Volumen e intensidades de lluvia, mediante un pluviómetro de cazoletas (*tipping bucket*) de 0.2 mm de resolución, situado a 130 cm de altura sobre el suelo; temperatura ambiente a 5 y 130 cm de altura; humedad ambiente a 130 cm de altura; y, velocidad y dirección del viento a 450 cm de altura.

Las lecturas de los parámetros meteorológicos y del suelo se efectúa siguiendo intervalos de 2 ó 10 minutos según corresponda a un momento de lluvia o no respectivamente; mientras que las sondas de escorrentía y volumen de agua se leen únicamente, pero de forma continua, durante períodos de lluvia. A partir de los registros del pluviómetro, la unidad central conmuta los modos de funcionamiento de las cuatro subestaciones en función de que se trate de momentos de lluvia o no.

A intervalos de cuatro horas, la unidad central establece comunicación con las distintas subestaciones para recopilar y grabar en soporte magnético, los datos almacenados en aquellas.

Cada subestación presenta una capacidad independiente de almacenamiento de datos de 32.768 bytes (32K de memoria RAM), mientras que la unidad central cuenta con una capacidad total de 40 megabytes; lo que proporciona al sistema una autonomía potencial superior a 24 meses.

La conexión de la estación de medida a través de modem telefónico permite realizar las siguientes funciones a distancia:

- Transferir ficheros desde la unidad central.
- Solicitar volcados de datos a cada una de las subestaciones.
- Solicitar lecturas, en tiempo real, de todos los parámetros medidos.
- Chequear y reprogramar el sistema a distancia, tanto a nivel de la unidad central como de las subestaciones.

Por otro lado la estación de medida cuenta con una fuente de alimentación ininterrumpida (sistema ON-LINE, con sistema de baterías en flotación -140 amperios-), que le proporciona una autonomía plena de hasta 40 horas en el caso de falta de suministro eléctrico en la línea de 380v propia de la Finca. Para este último caso, la unidad central está dotada de módulos Hardware y Software que le permiten la autodesconexión, tras detectar la falta de suministro eléctrico y después de salvar y cerrar todos los ficheros en proceso. La desconexión se produce después de transcurrir un periodo de tiempo de duración programable (30 minutos en su configuración actual), con objeto de evitar desconexiones innecesarias en los casos de cortes momentáneos de electricidad. Cuando se restablece el suministro eléctrico, la unidad central se conecta automáticamente, iniciando el programa de control de las cuatro subestaciones que, mientras tanto, han mantenido su funcionamiento normal.

A continuación se resumen el conjunto de módulos de Hardware y Software que han sido diseñados y construidos de forma específica para la realización de este proyecto

Hardware:

- Dataloggers.
- Expansiones Unidad Central.
- Red local y multiplexado de canales.
- Sensores: Temperatura del suelo y ambiente, Humedad ambiente, Inicio de Escorrentía, Nivel de agua en depósitos y velocidad del viento.
- Fuente de alimentación ininterrumpida (sistema ON-LINE).

Software:

- Programas de funcionamiento Dataloggers.
- Programa de control Unidad Central y de comunicaciones.
- Programas de gestión de datos y ficheros.
- Programa de tratamiento básico de datos.

Plan de manejo de las parcelas de erosión

Una vez instaladas las parcelas experimentales de erosión, se aplicaron los siguientes usos y/o sistemas de manejo del suelo:

- Parcela nº 1. - Esta parcela se dedica al cultivo en rotación girasol-cebada de ciclo bianual, aplicándose como técnica de laboreo la siembra directa. Esta técnica consiste en implantar el nuevo cultivo sobre los residuos del cultivo anterior. Todas las labores se sustituyen con la aplicación de herbicidas para el control de las malas hierbas, en este caso se utilizó el herbicida no residual: Glifosato (480 gr/ha).
- Parcela nº 2. - Parcela dedicada al cultivo en rotación girasol-cebada de ciclo bianual como en la parcela anterior. En este caso se aplica un sistema de laboreo convencional, con una primera labor de vertedera de unos 25 cm de profundidad y una segunda labor con el cultivador.
- Parcela nº 3. - Esta parcela se mantiene durante todo el año en barbecho (barbecho blanco), aplicándose labores cruzadas en profundidad y superficiales.
- Parcela nº 4. - Parcela retirada del cultivo, se suprime cualquier tipo de labor y se deja el desarrollo de la vegetación natural.

Control de las tasas de erosión, coeficientes de escorrentía, lavado de nutrientes y evolución de las propiedades físico-químicas del suelo

Para la determinación de la erosividad de la lluvia, en cada evento pluvioso, se registra el histograma continuo de la precipitación con una resolución de 0.2 mm, y se calculan las

intensidades máximas para intervalos de 10, 30 y 60 minutos, así como la precipitación total acumulada en 24 h. Otros parámetros meteorológicos registrados son la temperatura y humedad ambiental, la velocidad y dirección del viento, y la evolución de los perfiles de temperatura del suelo.

La sincronización horaria de los distintos dataloggers permite relacionar, para cada evento de lluvia, el momento de aparición de escorrentía superficial en cada una de las parcelas con variables tales como la precipitación parcial acumulada y la intensidad de la lluvia; así como los histogramas de todos estos parámetros entre sí.

Para cada una de las parcelas se determinan los coeficientes de escorrentía e infiltración y los volúmenes totales de escorrentía y sedimentos, para los distintos episodios de lluvia.

A partir de muestras de agua y sedimentos tomadas en los sistemas colectores se determina el peso del sedimento seco (diferenciando arena y arcilla + limo), y en el agua filtrada, el pH, la conductividad eléctrica y el contenido en nutrientes (nitratos, fósforo, calcio, magnesio, etc.).

Para el seguimiento de las propiedades físico-químicas del suelo y el estudio de su evolución respecto al sistema de manejo del suelo aplicado, se llevan a cabo dos muestreos de suelo anuales (previos a las labores de siembra y de recolección), para la realización de análisis físicos: textura, estabilidad estructural, curvas pF, densidad aparente y real, porosidad, y capacidad de infiltración; y análisis químicos: contenido en materia orgánica, pH, contenido en nutrientes. CIC y grado de saturación.

Mensualmente, se determinan los perfiles del contenido de agua en el suelo y de la resistencia del suelo al penetrógrafo.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En la Fig. 4 se muestra la distribución mensual de las precipitaciones durante los años 1992 y 1993. Ambos años muestran dos máximos de precipitación, uno durante los meses de Mayo y Junio y el otro en el mes de Octubre. La precipitación total de 1992 fue de 384 mm mientras que en 1993 ascendió a 498.8 mm.

Durante 1993 hubo un total de 79 días de lluvia de los que, tan sólo, en 18 (23%) la precipitación acumulada en 24 h superó los 10 mm, destacando el día 5-VI con un total de 55.2 mm. (Fig. 5).

Una vez finalizadas las labores de montaje de las parcelas y sistemas colectores, a partir del mes de Marzo de 1993, se inició el registro sistemático de los volúmenes de escorrentía y la toma de muestras de agua y sedimentos, en cada una de las cuatro parcelas, para los distintos episodios de lluvia.

Debido a la corta duración de la serie de datos (Abril-Diciembre de 1993), éstos no permiten elaborar conclusiones estadísticamente significativas. Sin embargo, éstos muestran ciertas tendencias en cuanto a la respuesta de las distintas parcelas frente a los procesos erosivos.

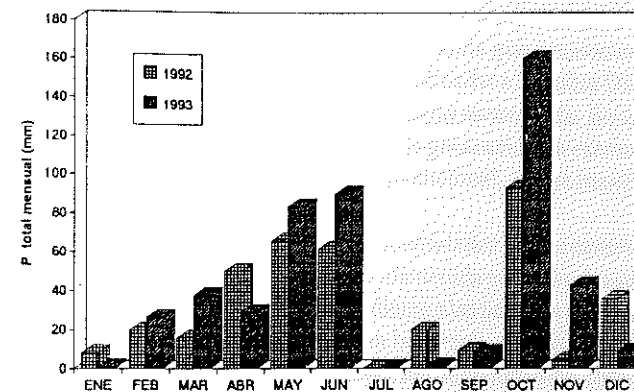


Fig. 4. Distribución mensual de las precipitaciones para los años 1992-93.

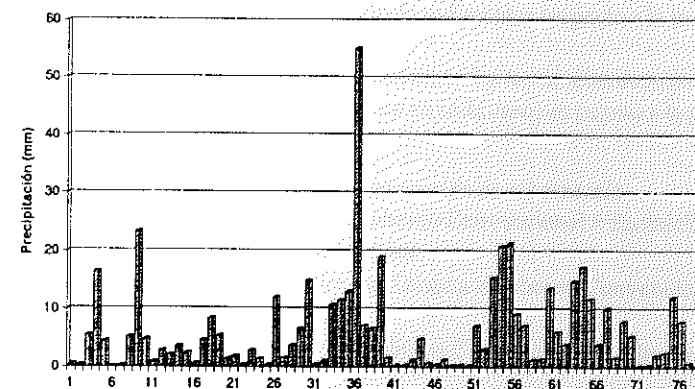


Fig. 5. Precipitación acumulada en 24h para cada uno de los episodios de lluvia durante 1993.

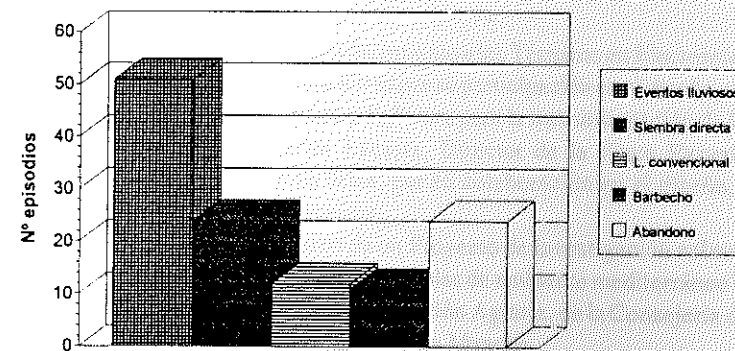


Fig. 6. Número total de episodios de lluvia y número de episodios que han ocasionado escorrentía en cada una de las parcelas experimentales en el período Abril-Diciembre de 1993.

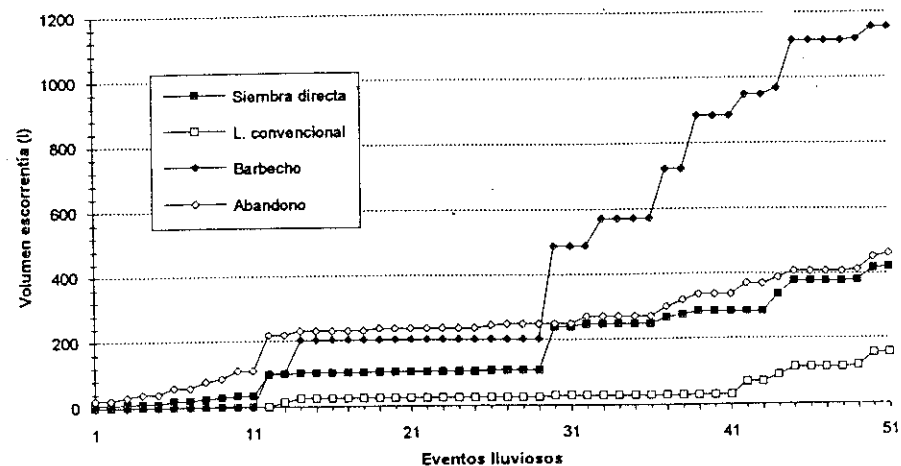


Fig. 7. Volumen total acumulado de escorrentía, en cada parcela experimental, durante el periodo Abril-Diciembre de 1993.

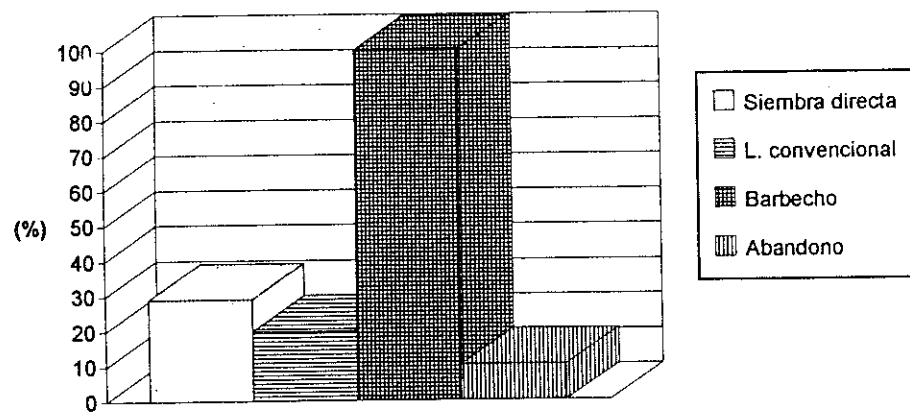


Fig. 8. Producción relativa de sedimentos en cada una de las parcelas respecto a la máxima ocurrida en la parcela mantenida en Barbecho.

TABLA I.

Tasas de erosión de las distintas parcelas de erosión.

	gr/m ²	Kg/ha
Siembra directa	46	460.1
Laboreo convencional	31.6	316.3
Barbecho	158.7	1587.4
Abandono	16.6	161.6

En la Fig 6 se ilustra el número de eventos de lluvia que ocasionaron escorrentía en cada una de las parcelas. Destacan las parcelas dedicadas a Siembra Directa y Abandono (parcelas 1 y 3) como las más susceptibles a generar escorrentía. En éstas, 24 de los 51 episodios de lluvia considerados dieron lugar a la generación de escorrentía; frente a las parcelas destinadas a Barbecho y Laboreo Convencional, que se mantienen con 11 y 12 eventos con escorrentía, respectivamente.

Sin embargo, analizando los volúmenes acumulados de escorrentía producidos en cada caso (Fig. 7), se observa que en la parcela mantenida en Barbecho se generó del orden de tres veces más escorrentía que la correspondiente a las parcelas de Abandono y Siembra Directa, y en torno a seis veces la generada en la parcela de Laboreo Convencional.

Por otro lado, en cuanto a las tasas de producción de sedimentos, destaca la parcela con Barbecho que supera las 1.5 Tn/ha; mientras que el resto de parcelas presentan tasas significativamente inferiores, sin superar en ningún caso la cota de 0.5 Tn/ha. La Fig. 8 representa las tasas relativas de producción de sedimentos respecto a la tasa máxima del Barbecho.

A continuación se muestran a modo de resumen las tendencias encontradas entre las distintas parcelas (ordenadas de más a menos en cada caso) en cuanto a la producción de escorrentía y sedimentos

- a) Número de episodios de lluvia con generación de escorrentía
Siembra Directa-Abandono > Laboreo Convencional > Barbecho
- b) Volumen total acumulado de escorrentía
Barbecho > Abandono > Siembra Directa > Laboreo Convencional
- c) Tasas de producción de sedimentos
Barbecho > Siembra Directa > Laboreo Convencional > Abandono

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos expresar nuestro agradecimiento a los Técnicos en Electrónica D. Diego Alba Fernández y D. José María Vera Rivas por su participación en el diseño y realización de los distintos módulos de *Hardware* y *Software* para la instrumentación de las parcelas de erosión; así como, a D. Carlos Lacasta, Director de la Finca Experimental La Higuera, y al personal de dicha finca, por su colaboración en el diseño, montaje y mantenimiento de las parcelas de erosión.

Este trabajo se integra en el marco de un Proyecto de Investigación sobre "Procesos de degradación del suelo en ecosistemas agrícolas de ambiente mediterráneo" (Ref.: 84/RN-9), financiado por el Servicio de Investigación Agraria, de la Consejería de Agricultura, de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

Referencias bibliográficas

- Albadalejo, J. & Díaz, E. (1990): Degradación y regeneración del suelo en el litoral mediterráneo español: experiencias en el proyecto LUCDEME. En *Degradación y regeneración del suelo en condiciones ambientales mediterráneas* (J. Albadalejo, M.A. Stocking & E. Díaz, eds), CSIC. pp. 191-214, Murcia.
- Benito, G., Gutiérrez, M. & Sancho, C. (1992): Erosion rates in badland areas of the Central Ebro Basin (WE-Spain). *Catena*, 19: 269-286.
- De Ploey, J. & Gabriels, D. (1980): Measuring soil loss and experimental studies. In *Soil erosion* (M.K. Kirby and R.P.C. Morgan, eds), John Wiley. 312 p. Chichester.
- Díaz-Fierros, F. & Rubio, J.L. (Eds). (1993): Metodologías de estudio de los procesos de erosión hídrica del suelo en España. *Cuadernos da area de ciencias agrarias*, 12. Publicacions do Seminario de Estudos Galegos. 46 p. La Coruña.
- FAO. (1989): *Leyenda del mapa mundial de suelos de la FAO-Unesco*. Soc. Esp. Ciencia del Suelo. 201 p. Santiago de Compostela.
- Gregory, K.J. & Walling, D.E. (1973) *Drainage basin form and process*. Arnold, London.
- Hudson, N.W. (1957): The design of field experiments on soil erosion. *J. Agric. Engineering Research*, 2: 56-65.
- ICONA. (1982): Paisajes erosivos en el Sureste español. Ensayo de metodología para el estudio de su cualificación y cuantificación. *Monografías Ministerio de Agricultura. Proyecto LUCDEME*. MAPA, Madrid.
- López Bermúdez, F., García-Ruiz, J.M., Romero-Díaz, M^a A., Ruiz-Flaño, P., Martínez-Fernández, J. & Lasanta, T. (1993): *Medidas de flujos de agua y sedimentos en parcelas experimentales*. Sociedad Española de Geomorfología, Geofoma Ediciones. 38 p., Logroño.
- Rubio, J.L. (1993): La cumbre de Río. En *Desertification in a European context: physical and socio-economical aspects*. Commission of the European Communities.
- Rubio, J.L., Andreu, V. & Cerni, R. (1990): Degradación del suelo por erosión hídrica: diseño experimental y resultados preliminares. En *Degradación y regeneración del suelo en condiciones ambientales mediterráneas* (J. Albadalejo, M.A. Stocking & E. Díaz, eds), CSIC. pp. 215-235, Murcia.
- UNEP. (1992): *World atlas of desertification*. United Nations Environmental Programme, 39 p., London.
- USDA, (1990): Keys to Soil Taxonomy. 4^a Ed. *SMSS Technical Monograph*, 6. 422 p. Virginia.
- Wishmeier, W.H. & Smith, D.D. (1958): Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Am. Geophys. Union*, 39: 285-291.
- Wishmeier, W.H. & Smith, D.D. (1965): Predicting rainfall erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains. *US Department Agricult. Hand-book*, 282 p.
- Zachar, D. (1982): *Soil erosion*. Elsevier Scientific Publishing. 547 p. New York.