

PARCELAS EXPERIMENTALES PARA EL ESTUDIO DE LA EROSIÓN HÍDRICA. FINCA EXPERIMENTAL LA HIGUERUELA

Saturnino de Alba¹, Gerardo Benito² & Alfredo Pérez González¹

¹ Dpto. Geodinámica. Facultad de CC. Geológicas, UCM. Ciudad Universitaria s/n. 28040- MADRID

² Centro de Ciencias Medioambientales (CSIC). Serrano 115 dpdo. 28006- MADRID

Las parcelas experimentales son esencialmente instrumentos de campo que permiten medir la producción de escorrentía y sedimentos en una superficie de terreno delimitada, de la que se conoce con detalle sus características edáficas, topográficas y morfológicas, y aquellas relativas al estado de la vegetación, recubrimiento del suelo, prácticas de manejo, historia de los usos del suelo, etc. Conceptualmente, la pérdida de suelo medida en parcelas experimentales representa la erosión que ocurriría en un tramo de ladera, de iguales dimensiones que las de las parcelas, que se situara en la ladera a partir de la divisoria de aguas. El modelo requiere que no existan flujos de agua, ya sean superficiales o subsuperficiales, desde el exterior hacia el interior de la parcela de control salvo los procedentes de la caída directa de la lluvia sobre la superficie de la parcela.

En DE ALBA (1997) se recoge una revisión detallada de las distintos objetivos de investigación para los que pueden ser utilizadas las parcelas experimentales, así como los fundamentos básicos de su funcionamiento, los distintos tipos de parcelas y diferentes detalles técnicos y procedimientos de campo aplicados en ellas. Las parcelas de erosión permiten registrar de forma dinámica la producción de escorrentía y sedimentos en relación

con la precipitación caída sobre la superficie de la parcela. Dado que el volumen de sedimentos registrado corresponde a una superficie conocida, la pérdida de suelo puede ser expresada por unidad de área y de tiempo obteniéndose tasas de erosión (Ej.: Kg /m² año). De forma paralela, a partir del registro pluviométrico, del área de la superficie de drenaje y del volumen de escorrentía recogido en la parcela se pueden calcular los coeficientes de infiltración y escorrentía. Para el análisis y la realización de los cálculos de pérdida de suelo a partir del volumen de sedimentos recogido, se asume que la pérdida de suelo ocurre de manera uniforme sobre toda la superficie de la parcela e independiente del tamaño y forma de ésta, y que representa el resultado global de todos los procesos de erosión operativos a la escala espacial del tamaño de la parcela.

A continuación se describen el diseño experimental y las instalaciones e instrumentación de las parcelas de erosión hídrica utilizadas en un proyecto de investigación, desarrollado por un equipo de trabajo mixto entre el Centro de Ciencias Medioambientales (CSIC) y el Dpto de Geodinámica de la F. de Geológicas (UCM), para el estudio de la erosión hídrica en campos de agricultura extensiva, en la provincia de Toledo.

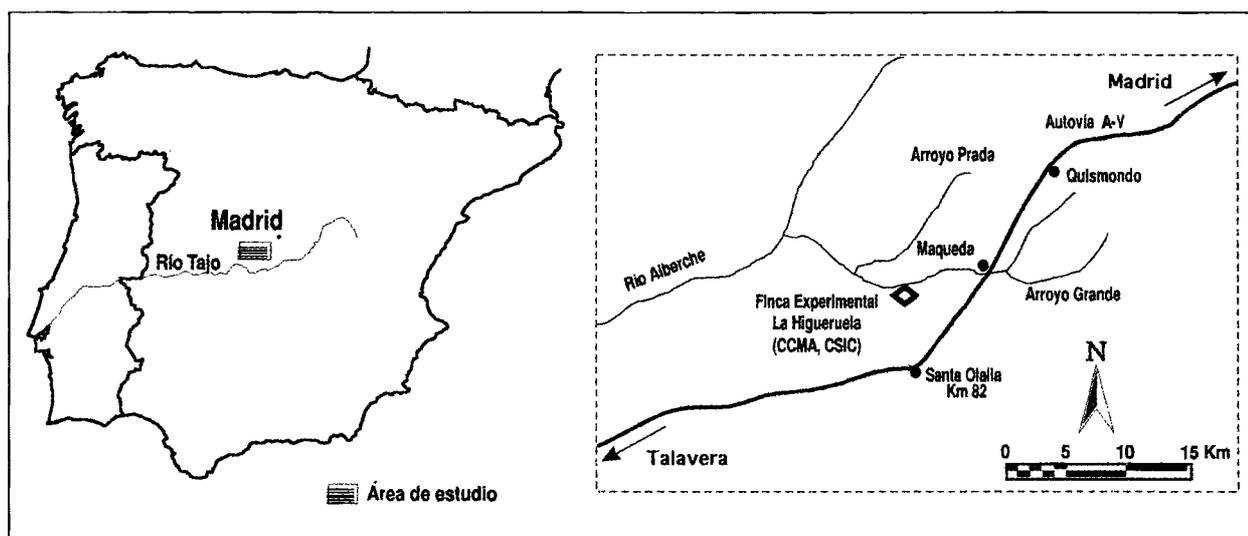


Figura 1. Localización del área de estudio

FINCA EXPERIMENTAL LA HIGUERUELA

Las instalaciones de las parcelas de erosión se sitúan en la Finca Experimental La Higuieruela perteneciente al Centro de Ciencias Medioambientales (CSIC) y localizada en los términos municipales de Santa Olalla y Maqueda, en la provincia de Toledo (figura 1).

El área de estudio se sitúa en la región central de la cuenca hidrográfica del Tajo, en la comarca de Torrijos. El clima dominante corresponde a un clima del tipo mediterráneo continental semiárido (OLIVER *et al.*, 1980), con temperaturas medias que oscilan entre 5 °C en invierno y 25 °C en verano y precipitaciones anuales que se sitúan en torno a los 450 mm. El balance hídrico del suelo presenta un muy acusado déficit hídrico en los meses de junio a septiembre y más reducido en el mes de octubre, y tan sólo excedentes de agua, aunque escasos, en los meses de enero y febrero. Los regímenes térmico y de humedad del suelo corresponden a los tipos *Mesic* y *Xeric*, respectivamente (SOIL SURVEY STAFF, 1990).

La litología del área de estudio está caracterizada por presentar materiales miocenos no consolidados, constituidos fundamentalmente por arcosas con frecuentes intercala-

ciones lutítico-arcillosas, procedentes de la erosión de rocas ígneas y metamórficas del Sistema Central. El relieve es suavemente ondulado con pendientes medias generalmente inferiores al 15%, aunque en ocasiones se observan pendientes de hasta el 30-35%.

Las parcelas ocupan una ladera agrícola de orientación Norte que tradicionalmente ha sido explotada con cultivos de secano, hasta finales de los años setenta con viñedo y posteriormente con cultivos herbáceos, principalmente cereales y girasol. 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 (LVv) según la clasificación de la FAO (1989) y *Typic Haploxeralf* según la clasificación americana Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAFF, 1990).

DISEÑO EXPERIMENTAL

La cuantificación de las tasas de producción de sedimentos y coeficientes de infiltra-

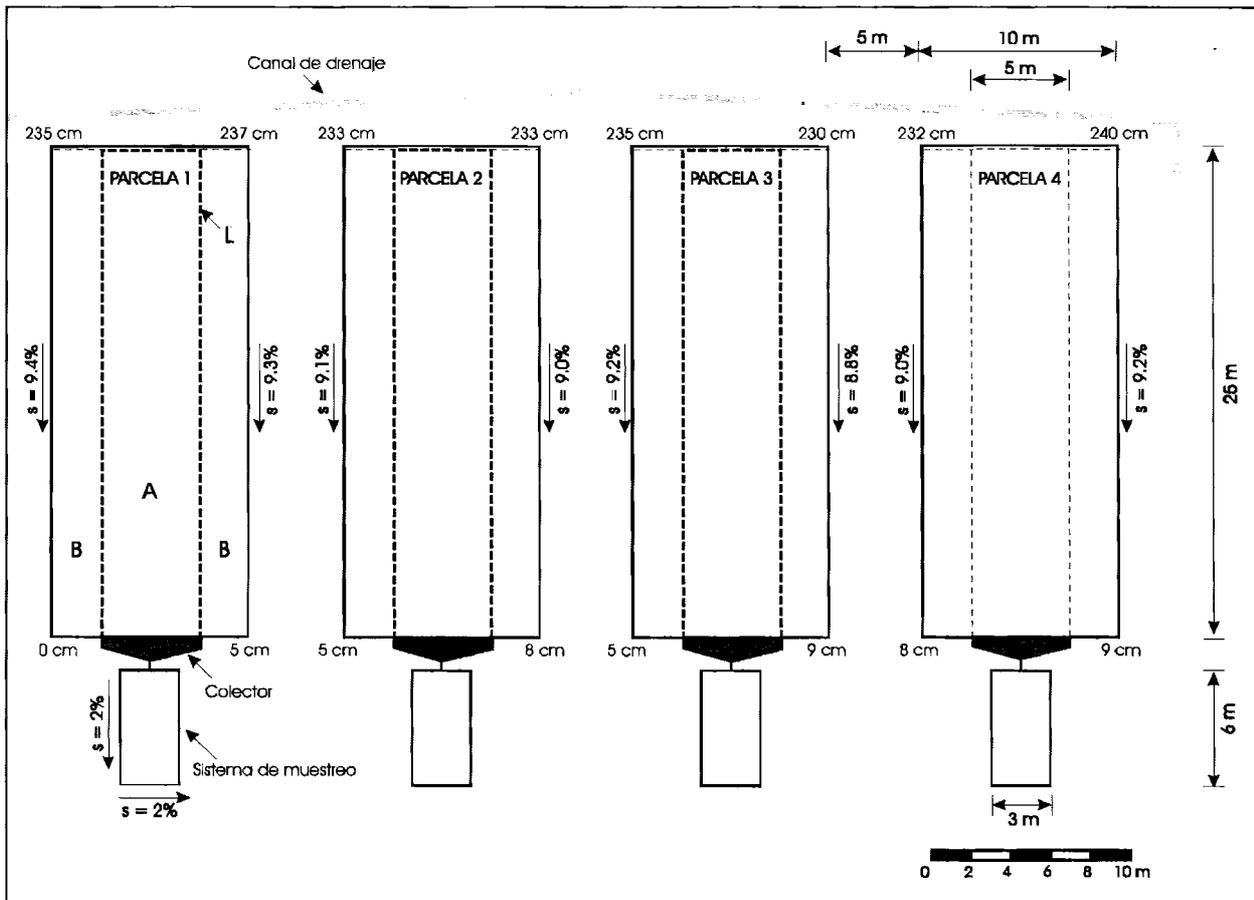


Figura 2. Plano general de las instalaciones de las parcelas experimentales. Se indican las pendientes medias (%) en los laterales de las parcelas y las distancias (m) y cotas relativas (cm) más relevantes. En la parcela 1 se señalan los distintos componentes: la superficie concentradora de escorrentía (A), el límite desmontable del contorno de la parcela (L), las superficies reservadas para la realización de muestreos y ensayos destructivos (B), el dispositivo colector y el foso del sistema de muestreo de escorrentía

ción y de producción de escorrentía (porcentaje del agua de lluvia que no se infiltra en el suelo y fluye sobre la superficie de éste lado a lado), se realiza en cuatro parcelas experimentales de características edáficas y geomorfológicas similares, sometidas a otros tantos sistemas de manejo y/o prácticas agrícolas diferentes:

- a) Cultivo en rotación de cebada/girasol mediante prácticas convencionales de laboreo;
- b) Cultivo en rotación de cebada/girasol mediante prácticas de no-laboreo, también denominadas de siembra directa;
- c) Barbecho "blanco" manteniendo el suelo desnudo totalmente desprovisto de cual-

quier cubierta vegetal mediante la aplicación periódica de prácticas convencionales de laboreo; y,

- d) Abandono, modelo de retirada de tierras de la producción agrícola sin aplicar práctica alguna de manejo y permitiendo el desarrollo espontáneo de la vegetación.

De forma paralela al control de las respuestas hidrológicas y erosivas de las parcelas, se lleva a cabo un registro continuo de los distintos parámetros meteorológicos con objeto de analizar las características de las precipitaciones y determinar la erosividad de la lluvia así como su variabilidad estacional.

Por otro lado, en relación con los diferentes sistemas de manejo aplicados en las parcelas

se analiza la evolución de las distintas características físico-químicas del suelo, particularmente de aquellas que pueden incidir en mayor medida sobre la erodibilidad del suelo y, por tanto, en su respuesta ante los procesos erosivos.

CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES

El modelo de parcela experimental adoptado corresponde por su tamaño y características al tipo de parcela estándar que se utilizó para calibrar los distintos factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo -USLE, *Universal Soil Loss Equation*- (Wischmeier y Smith, 1978). Presentan una superficie total de 125 m², 25 m a favor de la pendiente y 5 m de anchura, y una pendiente media del 9%. Una descripción detallada de las instalaciones y de la instrumentación utilizada para el registro automático de la producción de escorrentía y sedimentos en las parcelas de erosión se recoge en DE ALBA et al. (1994), DE ALBA (1997) y ROJO SERRANO y SÁNCHEZ FUSTER (1997).

El diseño de las parcelas experimentales utilizado corresponde al modelo de parcela de erosión cerrada con un límite artificial desmontable (Hudson, 1993). En su parte terminal, las parcelas presentan dispositivos para la conducción y recogida del agua de escorrentía y sedimentos ocasionados durante los episodios de lluvia. Cada parcela está compuesta de un área reservada para toma de muestras, una superficie concentradora de escorrentía, un vertedero o colector y un sistema de muestreo y almacenamiento de la escorrentía superficial. 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 la dirección de la pendiente. 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 la figura 2), de 5 m de ancho y una superficie total de 125 m², corresponde a la superficie concentradora de escorrentía. Esta

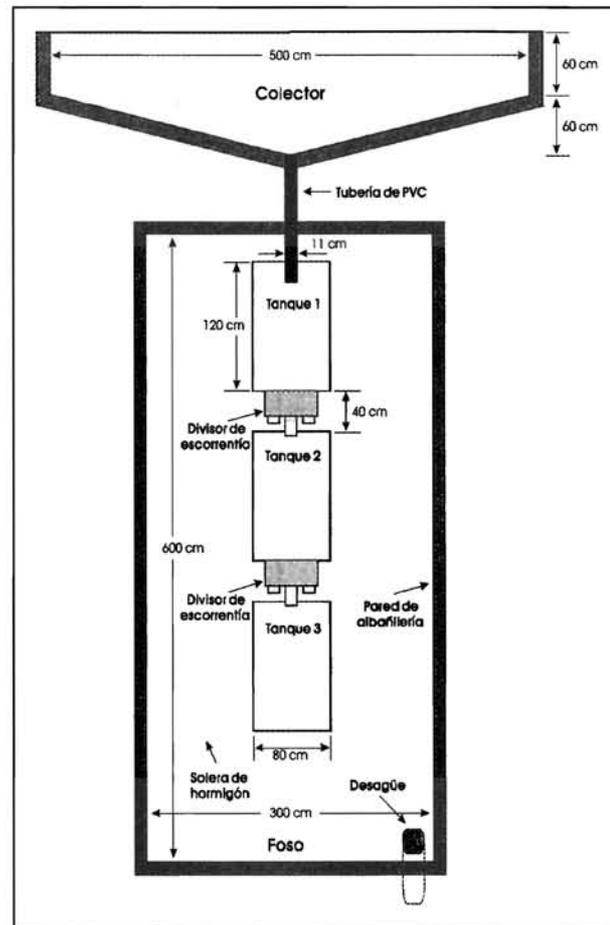


Figura 3. Plano detallado del colector y del sistema de muestreo de escorrentía y sedimentos de las parcelas experimentales para el estudio de la erosión hídrica

superficie se conecta en la base con el colector, mientras que el resto de su perímetro queda cerrado por un límite desmontable construido con planchas de chapa metálica galvanizada (L en la figura 2). Dicho límite tiene 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 (B en la figura 2) de 2.5 m de anchura, quedan reservadas para la toma periódica de muestras del suelo y la realización de ensayos de tipo destructivo (p. ej. simulaciones de lluvia).

El dispositivo colector tiene la función de canalizar el agua de escorrentía que fluye por la superficie de la parcela hacia los tanques del sistema de muestreo y almacenamiento

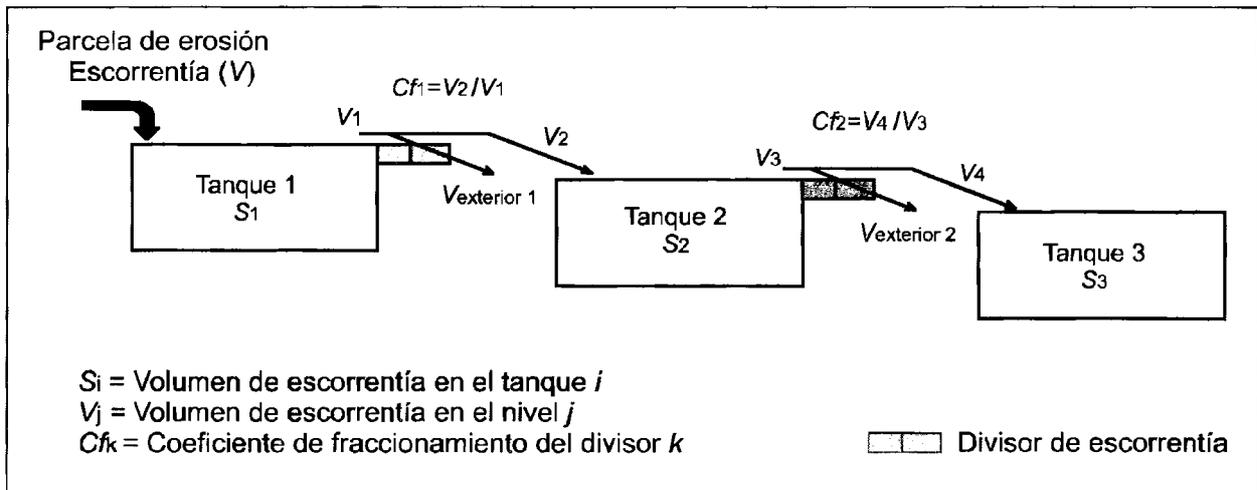


Figura 4. Esquema del funcionamiento de los sistemas de muestreo de escorrentía. El volumen total de escorrentía generado en la parcela (V) durante un episodio de lluvia, se calcula a partir de los volúmenes parciales acumulados en los distintos tanques del sistema de muestreo S_i ($i=1,2,3$) y de los coeficientes de fraccionamiento de cada divisor de escorrentía Cf_k ($k=1,2$), mediante:

$$V = S_1 + V_{ext1} + S_2 + V_{ext2} + S_3 \quad (1)$$

$$V = S_1 + V_1; \quad V_1 = V_{ext1} + S_2 + V_3; \quad y, \quad V_3 = V_{ext2} + S_3 \quad (2)$$

$$V_1 = 1/Cf_1 \cdot (S_2 + V_3); \quad y, \quad V_3 = 1/Cf_2 \cdot S_3 \quad (3)$$

$$\text{operando en (1) se obtiene: } V = S_1 + 1/Cf_1 \cdot S_2 + 1/Cf_1 \cdot 1/Cf_2 \cdot S_3 \quad (4)$$

Adicionalmente, si conocemos la concentración de sedimentos en cada uno de los tanques C_i ($i=1,2,3$) ($gr\ L^{-1}$) y el peso de los sedimentos acumulados en el colector M_c (gr), la producción total de sedimentos es:

$$M_t = C_1 S_1 + C_2 \cdot \{1/Cf_1 \cdot [S_2 + (1/Cf_2) \cdot S_3] - [(1/Cf_2) \cdot S_3]\} + C_3 \cdot (1/Cf_2 \cdot S_3) + M_c \quad (5)$$

En éste último caso se asume que todo el agua vertido al exterior del sistema de muestreo, a través de un determinado divisor de escorrentía, presenta la misma concentración media de sedimentos que la escorrentía almacenada en el tanque situado inmediatamente después del divisor.

de escorrentía. El colector presenta una superficie total de 4.5 m² y una pendiente del 2% (figura 3), ha sido construido de albañilería y dotado de una cubierta plástica desmontable para evitar la entrada directa del agua de lluvia. El sistema de muestreo de escorrentía se sitúa en un recinto excavado y está constituido por una batería de tres tanques de almacenamiento conectados por dos divisores de escorrentía (figura 3). Estos últimos, comunican dos tanques sucesivos y tienen la función de conducir una parte alícuota del agua excedente del primer tanque hacia el segundo (en torno a la tercera parte del volumen de escorrentía total excedente). De esta forma, tras el episodio de lluvia se puede calcular la producción total de escorrentía en cada una de las parcelas, a partir de los volúmenes parciales almacenados en los distintos tanques y los coeficientes de fraccionamiento

de cada dispositivo divisor, sin necesidad de recoger y almacenar el volumen total de escorrentía (figura 4).

Para el cálculo y dimensionamiento del sistema de muestreo de escorrentía, se procedió al análisis histórico de los datos registrados en la estación meteorológica de la Finca Experimental La Higuera. De esta forma, se obtuvo un valor de 65 mm de precipitación máxima acumulada en 24 horas, con un periodo de recurrencia superior a diez años. No obstante, los sistemas de muestreo fueron dimensionados para tener la capacidad de registrar el volumen total de escorrentía que se produciría durante una precipitación de hasta 85 mm, considerando un coeficiente medio de producción de escorrentía C_e del 50% ($V_{m\acute{a}x} = 85\ L/m^2 \cdot 125\ m^2 \cdot 0.5 = 5313\ L$).

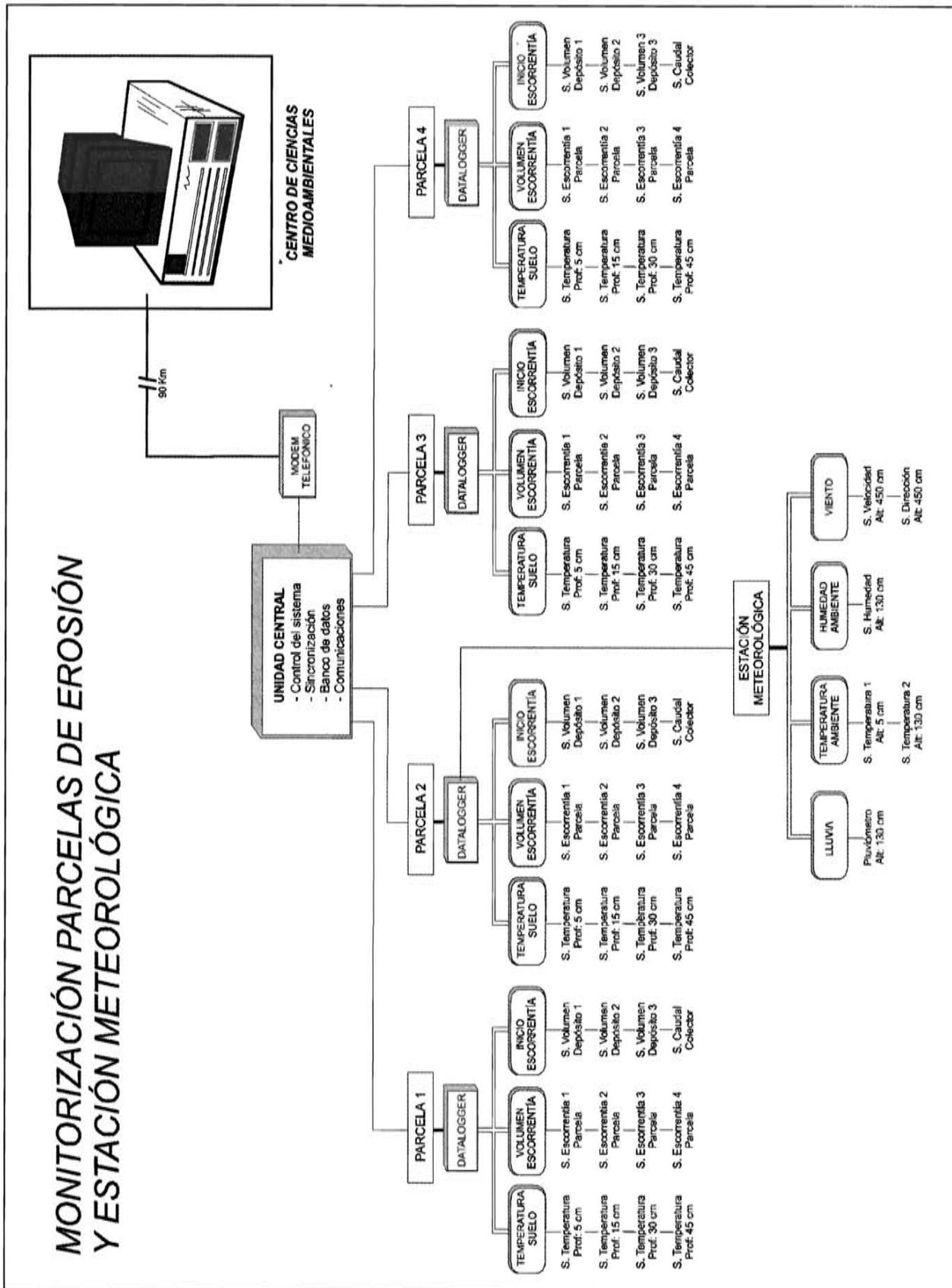


Figura 5. Estación automática para el seguimiento de los parámetros meteorológicos y relativos a la producción de escorrentía

ESTACIÓN AUTOMÁTICA PARA EL SEGUIMIENTO DE LOS PARÁMETROS METEOROLÓGICOS Y RELATIVOS A LA PRODUCCIÓN DE ESCORRENTÍA

Para el seguimiento automático de los distintos parámetros meteorológicos y relativos a la generación de escorrentía y sedimentos en las parcelas experimentales, fue diseñada y construida una compleja estación digital automática de registro continuo y acceso remoto. Con este fin fue necesario desarrollar en el marco del proyecto de investigación los distintos módulos de la estación tanto a nivel de *Hardware* como de *Software*. La figura 5 muestra un diagrama con la estructura de la estación.

La estación está compuesta por cuatro subestaciones o unidades autónomas de adquisición de datos (*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 módem telefónico con el Centro de Ciencias Medioambientales (CSIC). La unidad central asegura la sincronización horaria entre las distintas subestaciones y la estación meteorológica, de tal forma que las lecturas de todos los sensores presenten la misma referencia temporal.

En cada una de las parcelas, la subestación de medida presenta los siguientes sensores: a) 4 sondas de temperatura del suelo situadas a 5, 15, 30 y 45 cm de profundidad; b) 4 sensores que indican el momento en el que tiene lugar el inicio del encharcamiento superficial y/o del flujo superficial de escorrentía, distribuidos por la superficie concentradora de escorrentía dentro de la parcela de erosión; c) 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 de muestreo de escorrentía; y d) 3 sensores, uno por tanque del sistema de muestreo, que registran el volumen total acumulado de agua

y sedimentos en cada uno de los depósitos.

El módulo de la estación meteorológica se encuentra acoplada a una de las subestaciones y mide los siguientes parámetros: a) volumen e intensidades de lluvia, mediante un pluviómetro digital (*tipping bucket system*) de 0.2 mm de resolución, situado a 130 cm de altura sobre el nivel del suelo; b) temperatura ambiente a 5 y 130 cm de altura; c) humedad ambiente a 130 cm de altura; y, d) velocidad y dirección del viento a 450 cm de altura.

La red de sensores y estaciones de adquisición de datos se encuentra gobernada por el ordenador de la unidad central. Esta última se encuentra instalada en el campo de experimentación y cumple las siguientes funciones: a) almacenar los registros de los distintos *dataloggers* en un banco de datos común; b) sincronizar la referencia horaria de todos los registros; c) activar o desactivar las diferentes sondas y variar los periodos de lectura según se trate de momentos de lluvia o no; y, d) facilitar el acceso remoto mediante módem telefónico. La conexión remota permite realizar las operaciones adecuadas para chequear el correcto funcionamiento de la estación, reprogramar todo el sistema o a nivel de *datalogger*, consultar el banco de datos central e incluso obtener la lectura de cualquiera de los parámetros a tiempo real.

Con este tipo de instrumentación se consigue un seguimiento continuo y completo de los procesos hidrológicos. Durante los episodios lluvia, se pueden relacionar las características de la lluvia obtenidas a partir del correspondiente pluviograma con el momento en el que se inicia la escorrentía o el encharcamiento superficial en las distintas parcelas experimentales, así como con respecto a la evolución de los diferentes hidrogramas registrados en éstas.

En la figura 6 se representa un ejemplo de gráfico combinado a partir de los registros obtenidos con la estación automática. Más concretamente, la figura presenta los registros obtenidos durante un episodio de lluvia en el que tuvo lugar la generación de escorrentía en las parcelas de barbecho, laboreo convencional y siembra directa. En el gráfico

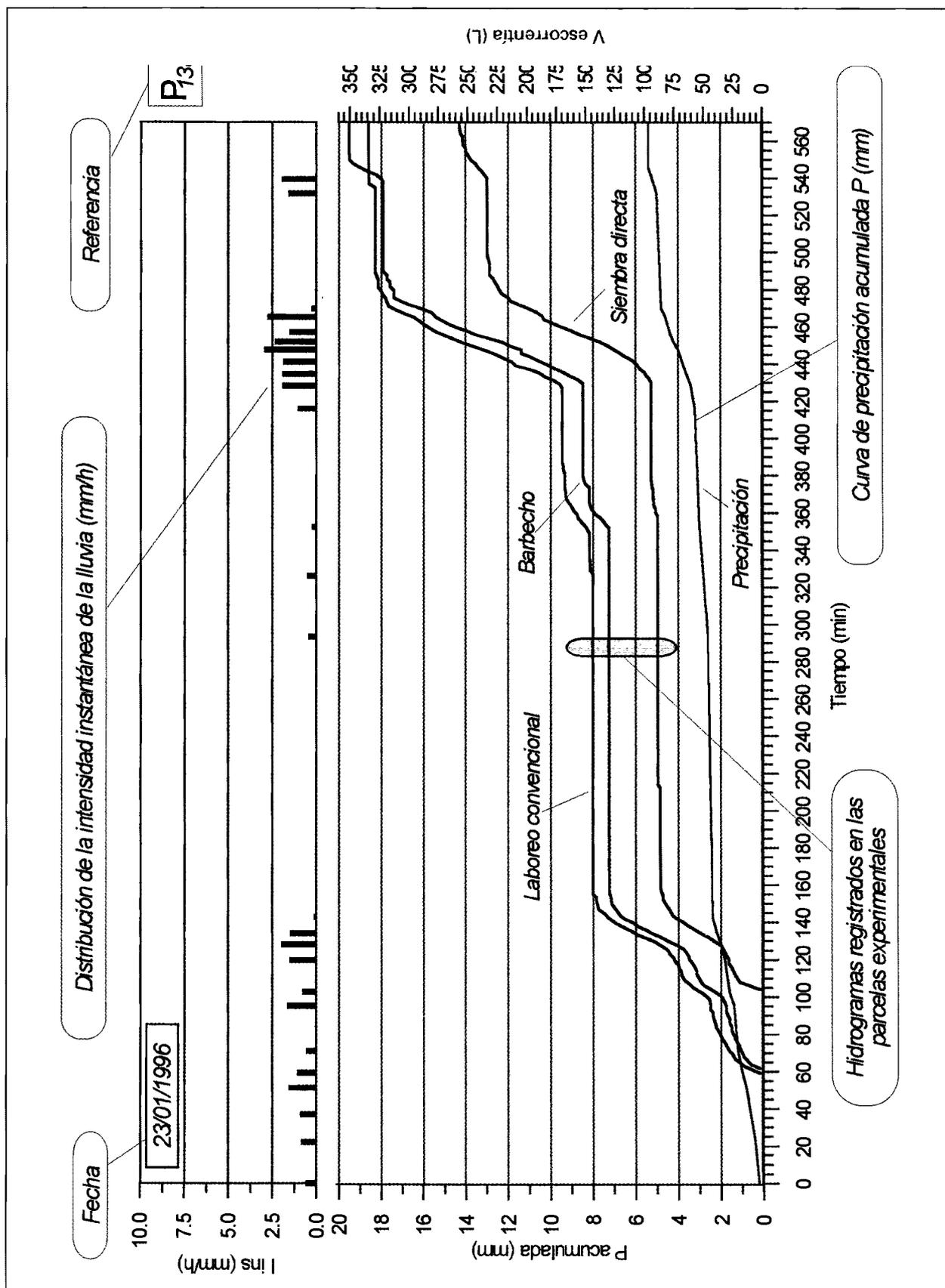


Figura 5. Ejemplo de los registros obtenidos mediante la instrumentación de la estación automática de medida durante un episodio de lluvia con generación de escorrentía en tres de las parcelas experimentales

superior se representa la evolución de la intensidad instantánea de lluvia (mm/h) a lo largo del episodio, y en la parte inferior la curva de precipitación acumulada (mm) y los hidrogramas o curvas acumuladas de producción de escorrentía de cada una de las tres parcelas.

AGRADECIMIENTOS

A Carlos Lacasta Director de la Finca Experimental La Higuera (CCMA, CSIC) y al personal de dicha finca por su colaboración en los trabajos de campo. La realización de este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del proyecto de investigación "Procesos de degradación del suelo en ecosistemas agrícolas de ambiente mediterráneo" por el Servicio de Investigación Agraria de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha; y, a la financiación del Ministerio de Medio Ambiente en el marco de la "Red de cuencas y parcelas experimentales de seguimiento y evaluación de la erosión y la desertificación, del Proyecto LUCDEME" (RESEL).

REFERENCIAS

DE ALBA, S., LÓPEZ-FANDO, C. y PÉREZ GONZÁLEZ, A.; 1994. Erosión hídrica en sistemas agrícolas. Diseño experimental y resultados preliminares. En J. Arnáez-Vadillo, J.M. García-Ruiz y A. Gómez-Villar.(Ed.). *Geomorfología en España*. Sociedad Española de Geomorfología. Logroño, pp. 55-68.

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 (Eds.). *El paisaje mediterráneo a través del espacio y del tiempo*. Implicaciones en la desertificación. Centro de Ciencias Medioambientales (CSIC), Geoforma Ediciones. Logroño, pp. 259-293.

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. Universidad Autónoma de Madrid, pp. 590.

FAO.; 1989. *Leyenda del mapa mundial de suelos de la FAO-UNESCO (Versión en castellano de: FAO, 1988. FAO-UNESCO Soil Map of the World: Revised Legend. FAO World Soil Resources Reports No. 60, pp. 119, Rome)*. Soc. Esp. Ciencia del Suelo. Santiago de Compostela, pp. 201.

HUDSON, N.W.; 1993. *Field measurement of soil erosion and runoff*. FAO Soils Bulletin N. 68. pp. 139.

OLIVER MOSCARDO, S., GONZÁLEZ PONCE, R. y LACASTA DUTOTIT, C. 1985. Caracterización climática de la Finca Experimental La Higuera. En A. Blanco de Pablos (Ed.). *Avances sobre la investigación en Bioclimatología*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. pp. 87-95.

ROJO SERRANO, L. y SÁNCHEZ FUSTER, M. (Coor.); 1997. *Red de estaciones experimentales de seguimiento y evaluación de la erosión y desertificación (RESEL). Catálogo de estaciones 1996*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Medio Ambiente. pp. 121.

SOIL SURVEY STAFF; 1990. *Keys to Soil Taxonomy (4ª Ed.)*. 4th ed. SMSS Technical Monograph, No. 6. Virginia, pp. 422.

WISCHMEIER, W.H. y SMITH, D.D.; 1978. *Predicting rainfall erosion losses. Agriculture Handbook nº 537*. United States Department of Agriculture. Washington.