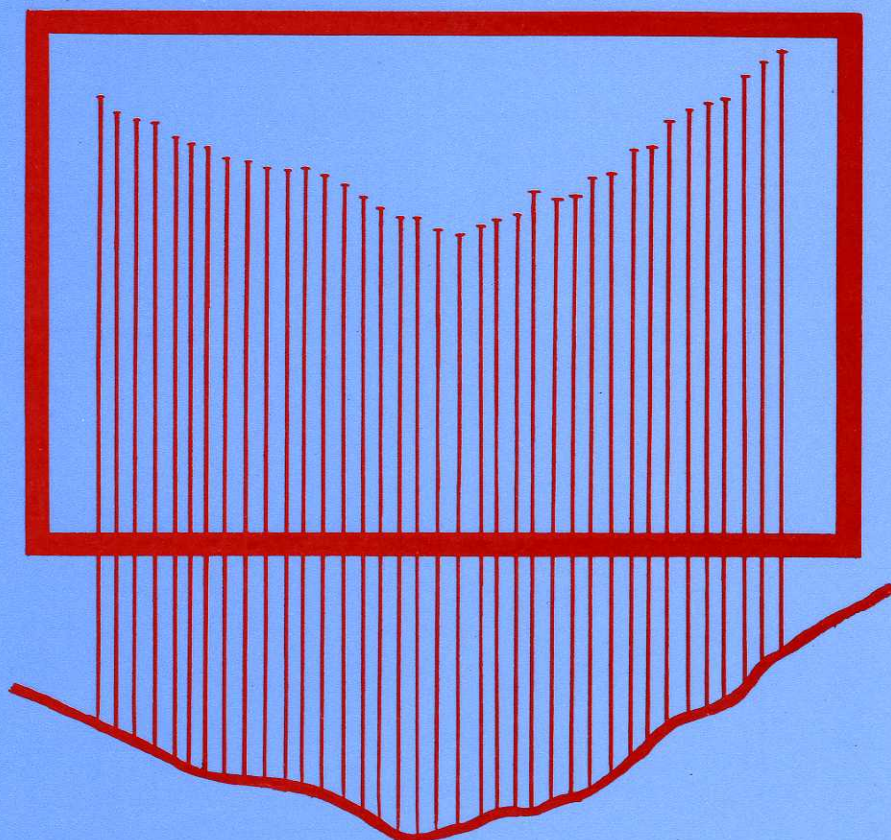


Agujas de erosión y perfiladores microtopográficos

C. Sancho

G. Benito &

M. Gutiérrez



SOCIEDAD ESPAÑOLA DE GEOMORFOLOGIA
GEOFORMA EDICIONES
1991

Carlos Sancho Marcén (Leciñena-Zaragoza, 1961) es Profesor Titular de Geodinámica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza. Trabaja en Geomorfología de regiones áridas, fundamentalmente en la Depresión del Ebro, y en temas específicos tales como erosión hídrica, procesos de meteorización y significado geomorfológico de los caliches.

Gerardo Benito Ferrández (Zaragoza, 1961) es Doctor en Ciencias Geológicas por la Universidad de Zaragoza. Ha desarrollado trabajos en relación con la evolución geomorfológica de la Depresión del Ebro, sobre todo en lo relativo a erosión hídrica, karstificación en yesos y geomorfología fluvial. En la actualidad es Becario Posdoctoral en la Universidad de Tucson (Arizona).

Mateo Gutiérrez Elorza (Burgos, 1941) es Catedrático de Geomorfología de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza. Director de varias Tesis Doctorales y de Licenciatura. Presidente de la Sociedad Española de Geomorfología (1987-90). Trabaja sobre la evolución geomorfológica de la Cordillera Ibérica y Depresión del Ebro, fundamentalmente en temas de karst, periglaciario, erosión hídrica, geoarqueología y cambio climático.

CUADERNOS TECNICOS DE LA S.E.G. Nº 2

AGUJAS DE EROSION Y PERFILADORES MICROTOPOGRAFICOS

C. Sancho, G. Benito & M. Gutierrez

1991

Sociedad Española de Geomorfología
Geoforma Ediciones
Logroño

1ª Edición, octubre de 1991

Reservados todos los derechos

Ninguna parte de este libro puede ser reproducida, almacenada en un sistema de informática o transmitida de cualquier forma o por cualquier medio electrónico, mecánico, fotocopia, grabación y otros medios sin previo y expreso permiso del propietario del copyright.

© Sociedad Española de Geomorfología

© Geoforma Ediciones

Apartado de Correos, 1293

26080 Logroño (España)

I.S.B.N.: 84-87779-05-0

Depósito legal: Z. 2.715 — 1991

Imprime:

Coop. de Artes Gráficas

LIBRERÍA GENERAL

Pedro Cerbuna, 23

50009 Zaragoza

AGUJAS DE EROSION Y PERFILADORES MICROTOPOGRAFICOS

C. SANCHO, G.BENITO & M. GUTIERREZ
Dpto. Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza

El estudio de las variaciones que experimenta la superficie del terreno como consecuencia de los procesos de erosión y sedimentación es objeto del desarrollo de nuevas y numerosas técnicas, encaminadas, por un lado, al análisis de las variaciones de las microformas y, por otro, a la obtención de tasas de erosión. En el primer caso, estas metodologías son de gran utilización en geomorfología y permiten no sólo analizar las variaciones del relieve en breve lapso de tiempo, sino que, en algunos casos, pueden servir como modelos que permitan la extrapolación de la evolución de las formas a escalas espaciales y temporales de mayor amplitud. En relación con las tasas de erosión se obtienen datos de rebajamiento o acreción, que corresponden a lo que DE PLOEY y GABRIELS (1980) denominan registro volumétrico, es decir, cálculo del volumen de suelo erosionado.

Tanto las técnicas de agujas de erosión como las de perfiladores microtopográficos son metodologías de rápida y fácil aplicación y de bajo costo. Los mejores resultados se obtienen al aplicar estas técnicas en áreas de rápida evolución, como pueden ser las zonas de badlands, o bien, en otras situaciones, tales como escombreras, taludes artificiales, etc. en las que no existe cobertura vegetal. Mediante las agujas de erosión se puede obtener una población de datos que representen las variaciones medias del rebajamiento y/o acreción de la superficie, así como modificaciones de micromodelados. Sin embargo, el perfilador microtopográfico registra con mayor precisión cambios de

microformas. En este sentido, se puede indicar que ambas técnicas son complementarias y su utilización conjunta permite apreciar con mayor rigor las tasas de erosión y las modificaciones temporales del microrrelieve, tal como lo llevan a cabo BENITO *et al.* (1989, 1991).

Aunque el análisis pormenorizado de ambas técnicas se llevará a cabo en los próximos apartados, conviene señalar que descripciones de las mismas aparecen en volúmenes sobre técnicas geomorfológicas y medidas de erosión del suelo. El primer conjunto de trabajos se agrupa en el tomo 17 de la *Revue de Géomorphologie Dynamique* (1967), bajo los auspicios de la *Commission de Géomorphologie Appliquée*. Los trabajos más importantes aparecen publicados en los *Technical Bulletin* del *British Geomorphological Research Group* y, en parte, aparecen sintetizados en STATHAM (1983). Recientemente la *Sociedad Española de Geomorfología* publica en su *Monografía* nº1 (SALA y GALLART, 1988) un importante número de métodos y técnicas para la medición en el campo de procesos geomorfológicos.

2. Agujas de erosión

2.1 Fundamento del método. La utilización de las agujas de erosión (también denominadas varillas, clavos, piquetas y estacas) es una de las técnicas más simples y efectivas para medir pequeños cambios en la altitud de la superficie del terreno. Este método consiste en introducir parcialmente en el suelo una aguja y medir cada cierto

intervalo de tiempo la altura del extremo superior con respecto a la superficie topográfica. Los ascensos y descensos de la superficie del terreno pueden obedecer a procesos de erosión y sedimentación, aunque también pueden intervenir expansiones y contracciones del suelo derivadas de las propiedades físico-químicas y mineralógicas del mismo o de la actuación de procesos de meteorización, entre los que jugarían un papel más significativo el contenido en arcillas hinchables y el levantamiento por helada.

Uno de los pioneros en utilizar esta técnica fue SCHUMM (1956 a y b, 1962) que usó estacas de madera para observar modificaciones de las microformas en áreas de badlands. Con posterioridad se han efectuado numerosos trabajos con agujas metálicas que aparecen recogidos en HAIGH (1977, 1978 a). En España las agujas de erosión han sido utilizadas por SALA (1982) y CLOTET y GALLART (1986) en áreas de montaña y badlands de Cataluña, por SCOGING (1982) en áreas semiáridas del sureste español y, finalmente, por BENITO (1989) y BENITO *et al.* (1989, 1991) en la Depresión del Ebro. Aunque esta técnica se ha utilizado fundamentalmente para el estudio de la erosión hídrica en áreas continentales, también esta metodología se ha aplicado en medios periglaciales, glaciares, litorales y eólicos.

2.2 Descripción y tipos de agujas. Los primeros experimentos fueron llevados a cabo con estacas de madera en estudios de erosión hídrica de suelos y también algunos autores han utilizado cañas de bambú en acumulaciones eólicas. No obstante, en la actualidad la experimentación se realiza con agujas metálicas aceradas y afiladas en uno de sus extremos. Estas presentan problemas de oxidación, que en parte pueden paliarse galvanizando o cincando las agujas de erosión. En cualquier caso, los problemas de degradación en ambientes de suelos salinos

son muy manifiestos y a pesar de la protección dada a las agujas, la oxidación tiene lugar en breve tiempo. Se usan dos tipos de agujas de erosión: las que presentan forma de clavo, por un lado, y simples varillas sin el remache final, por otro, siendo estas últimas las más utilizadas.

La longitud de las agujas instaladas por diferentes investigadores es muy variable, alcanzando en algunos casos hasta 1 m. Sin embargo, las medidas más utilizadas oscilan entre los 30 y 60 cm. Esta longitud es, en parte, función de la resistencia que el terreno ofrece a la penetración de la aguja. En cualquier caso, se recomienda utilizar agujas largas, que aseguren el anclaje, con el fin de que no sean afectadas por el creep superficial o por la acción de la helada (SCHUMM, 1967). El diámetro de la aguja es función, al igual que la longitud, de la resistencia a la penetración, aunque conviene utilizar los diámetros más pequeños posibles, con el fin de que los efectos disruptivos de la penetración de la aguja sean mínimos, así como la interferencia con la escorrentía superficial. Los valores del grosor de varilla utilizados varían de 2 a 10 mm, aunque los calibres más utilizados en zonas de badlands son de 4-5 mm.

2.3 Instalación. La aguja de erosión se clava perpendicular a la superficie del terreno y debe sobresalir de 2 a 5 cm sobre la misma para facilitar su localización y evitar que quede enterrada en caso de producirse sedimentación. Cuando no sea posible profundizar hasta alcanzar estos valores, se recomienda cortar la parte sobrante de la varilla. El extremo de la aguja que sobresale por encima de la superficie conviene señalarlo con pintura o cinta coloreada adhesiva con el fin de facilitar la visualización para relocalizar las agujas. También es conveniente numerar cada aguja para efectuar una adecuada ordenación de la toma de datos.

Algunos autores utilizan arandelas de

AGUJAS Y PERFILADORES



Foto 1. Aguja de erosión instaladas en una malla cuadrada



Foto 2. Aguja de erosión, arandela y calibrador

diámetros de 4 a 7 cm (HAIGH, 1977) alrededor de la aguja y en contacto con el suelo. Los primeros que la emplearon fueron MILLER y LEOPOLD (1962), con el fin de ayudar en la toma de medidas de rebajamiento y estandarizar las mismas. Algunos investigadores utilizan diámetros interiores de la arandela muy próximos al diámetro de la aguja; en este caso, la oxidación puede traer consigo una unión entre ambas, impidiendo el deslizamiento de la arandela. Este inconveniente se puede solventar con una separación mayor entre la aguja y la arandela (KIRKBY y KIRKBY, 1974).

Cuando se produce erosión la arandela desliza hacia abajo y cuando existe acumulación el material se deposita sobre la arandela. En el primer caso se mide la distancia entre la arandela y la parte superior de la aguja y, en el segundo, la altura entre la arandela y el techo del material acumulado. Estas arandelas son un freno para la arroyada superficial y, a su vez, protegen de la acción del impacto de gota de lluvia. Como consecuencia se generan pedestales por debajo de la arandela, que hay que eliminar para efectuar la medida del descenso de la superficie del terreno. Por este motivo, SCHUMM (1967) utiliza la arandela únicamente para efectuar la medida, quitándola y poniéndola en cada operación. Esta utilización nos parece la más adecuada, puesto que normaliza las medidas y evita las interferencias con los procesos de erosión hídrica.

La distribución de las agujas de erosión puede efectuarse alineándolas, a intervalos discrecionales, a lo largo de la línea de máxima pendiente de una ladera, siguiendo los interfluvios, o confeccionando una malla regular por lo general cuadrada (Foto 1). Este dispositivo resulta adecuado para llevar a cabo una cartografía geomorfológica detallada, dado que facilita la obtención de la misma y, por otra parte, para la elaboración de mapas de isolíneas de rebajamiento superficial. Nuestra

experiencia nos indica que es conveniente para instalar agujas de erosión en una malla la utilización de un marco metálico de las mismas dimensiones que la malla. También es importante situarlas sobre zonas determinadas con el fin de calibrar la acción de los procesos geomorfológicos (fondos de regueros, paredes de gullies, etc.). De todas las maneras, cualquier tipo de ordenación debe de estar en relación con los fines perseguidos en la investigación.

2.4 Toma de medidas y elaboración de resultados. Para la obtención de las medidas en las agujas de erosión se hace necesario tomar una referencia, que ha de ser constante para todas las mediciones. La más utilizada es el extremo final de la aguja, aunque otros investigadores toman como marcador una muesca efectuada en la pared de la aguja y otros pintan o colocan una cinta adhesiva coloreada como indicador. Las medidas se efectúan desde la referencia elegida hasta la superficie del terreno o en el caso de utilizar una arandela sobre la superficie de la misma. El dato cuantitativo se obtiene midiendo con un calibrador o simplemente con una regla graduada (Foto 2).

Los errores en las mediciones derivan de los inherentes al observador, del ajuste de la arandela al suelo y de una posición incorrecta de la aguja. Además, hay que tener en cuenta, que en el caso de laderas conviene fijar un criterio en la posición de la toma de medida (ladera arriba o ladera abajo), aunque algunos autores indican la conveniencia de efectuar las dos medidas y obtener una media de las mismas o medir en la perpendicular de la línea de máxima pendiente. En condiciones óptimas el error estimado por los investigadores está en torno a 1 mm.

El intervalo de tiempo entre las distintas medidas en el área de experimentación varía en función de la celeridad de los procesos geomorfológicos y puede fluctuar entre pocos días a más de un año, aunque se recomienda

AGUJAS Y PERFILADORES

un intervalo de al menos 6 meses para llevar a cabo la toma de datos. No obstante, es conveniente después de cada suceso importante (por ejemplo, lluvias de tormenta) efectuar un seguimiento de las agujas.

Con el fin de obtener datos fehacientes de erosión-sedimentación en un área determinada se hace necesario instalar un número importante de agujas de erosión. La media de los valores medidos puede considerarse como un valor aproximado de las tasas de acreción o denudación medias de la zona experimentada. Si se ha efectuado un conjunto de transectos en una ladera conviene representar

los diferentes perfiles de la misma con el fin de analizar su evolución temporal (Fig. 1). Cuando la disposición de las agujas se efectúa en una malla regular es posible elaborar mapas de isolíneas tanto de rebajamiento como de acreción (Fig. 2) o bloques diagramas de las variaciones de la superficie del terreno.

En las medidas se obtienen registros de las variaciones de la superficie en mm, siendo posible su transformación, conociendo la densidad del regolito erosionado, en tasas de erosión expresadas en $Tm / Ha / año$.

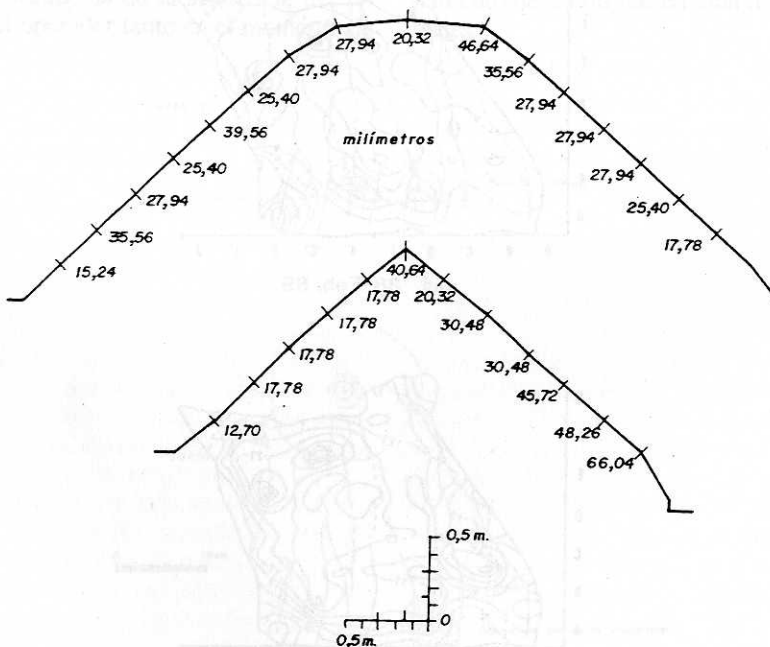
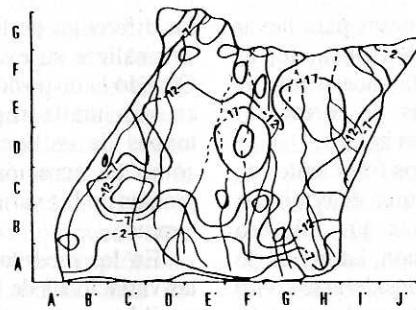
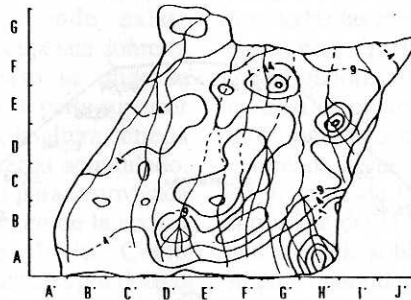


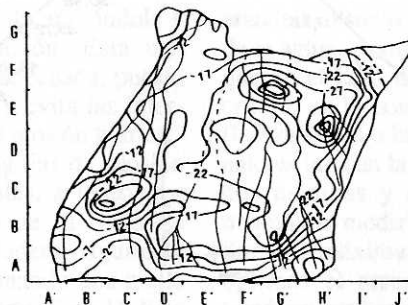
Fig.1. Perfiles de laderas en Perth Amboy (New Jersey) en los que se indica el rebajamiento superficial en milímetros, durante el período Junio-Septiembre de 1952 (SCHUMM, 1956).



Nov. 87-Jul. 88



Jul. 88-Feb. 89



Nov. 87-Feb. 89

Fig.2. Isolíneas de rebajamiento superficial (en milímetros), obtenidas a partir de agujas de erosión en la estación experimental de La Charca (Castillo de Orís, Huesca). La cuadrícula indicada tiene 1,5 m de lado (BENITO *et al.*, 1989).

AGUJAS Y PERFILADORES

2.5. Ventajas e inconvenientes. La técnica de agujas de erosión presenta como grandes ventajas su bajo costo y su rapidez de instalación. Sólo puede utilizarse en terrenos incoherentes, en los que sea fácil la penetración de las agujas. Este método permite obtener datos de tasas de erosión y, a su vez, es una técnica muy importante en Geomorfología para estudiar las variaciones espaciales y temporales de microformas.

Sin embargo, la utilización de agujas de erosión presenta diversos problemas, que HAIGH (1977, 1978 a) engloba en lo que él denomina "contaminación de datos". Uno de los mayores inconvenientes se deriva de la distorsión producida en la superficie del terreno por el operador tanto en el momento de

la instrumentación como en la toma de medidas. En primer lugar, se produce una intensa distorsión en torno a la aguja de erosión en el momento del clavado y, además, el tránsito del investigador por el terreno trae consigo, en ocasiones, la rotura parcial de la costra superficial y la movilización de cantos, en terrenos pedregosos. Estos procesos disruptivos se enfatizan en laderas de gran pendiente. Por todas estas circunstancias se recomienda efectuar la primera medida después de 3 meses o 1 año, según las indicaciones de distintos investigadores. HAIGH (1977) estima que durante los 3 primeros meses se produce un rebajamiento de 2 mm por encima de los valores reales.

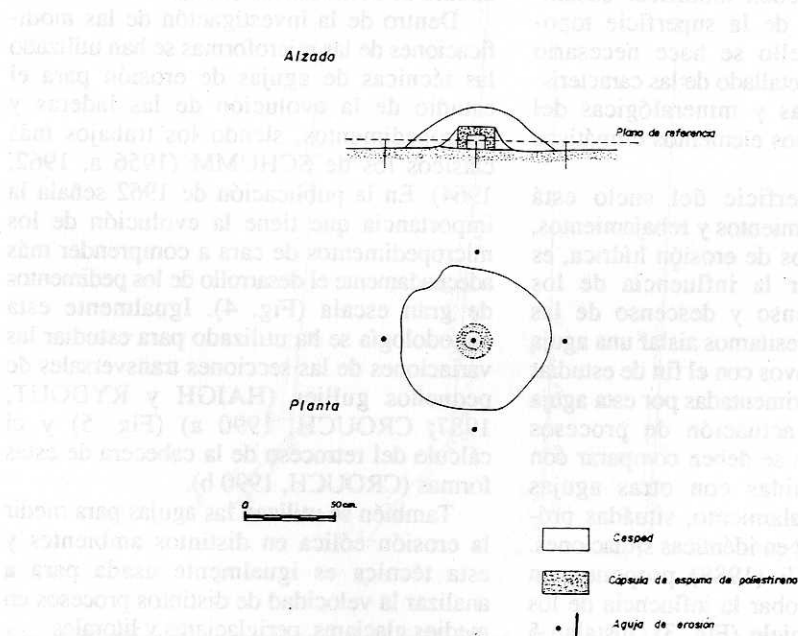


Fig. 3. Dispositivo para analizar la influencia del empuje por helada sobre las agujas de erosión (ESLING y DRAKE, 1988).

También hay que tener en cuenta, como elemento distorsionante, el tránsito de personas y ganado por el área de experimentación. A este inconveniente se añade el vandalismo. Con el fin de paliar estos efectos es recomendable vallar la zona investigada.

Igualmente se producen en torno a la aguja y la arandela modificaciones del flujo de agua y sedimentos, difíciles de valorar. Debido a estas circunstancias se generan pedestales por debajo de la arandela, que son necesarios eliminar de cara a una correcta toma de medidas.

Otro grupo de desventajas resultan del comportamiento del suelo ante los procesos externos. La presencia de arcillas hinchables, los ciclos de hielo/deshielo y de humedecimiento/secado pueden modificar sustancialmente la altura de la superficie topográfica. Por todo ello se hace necesario efectuar un estudio detallado de las características físico-químicas y mineralógicas del suelo, así como de los elementos climáticos de la zona.

Cuando la superficie del suelo está afectada por levantamientos y rebajamientos, ajenos a los procesos de erosión hídrica, es importante conocer la influencia de los mismos en el ascenso y descenso de las agujas. Para ello necesitamos aislar una aguja de los procesos erosivos con el fin de estudiar las variaciones experimentadas por esta aguja motivadas por la actuación de procesos cíclicos. Estos datos se deben comparar con las medidas obtenidas con otras agujas carentes de este aislamiento, situadas próximas a la primera y en idénticas situaciones. ESLING y DRAKE (1988) proponen un método para comprobar la influencia de los ciclos de hielo-deshielo (Fig. 3). Instalan 5 agujas cuyos techos forman un plano horizontal. La aguja central se recubre primeramente con una cápsula de espuma de poliestireno y por encima de la misma se sitúa una capa de césped con lo cual queda

protegida. Los procesos de hielo-deshielo afectarán en un mayor grado a las agujas exteriores que a la aguja central. Este experimento lo realizan en diferentes situaciones.

Finalmente, conviene señalar que los datos de tasas de erosión obtenidos a partir de los rebajamientos de agujas de erosión (registro volumétrico) tienden a ser mayores que los suministrados por recogida de sedimentos (registro dinámico).

2.6 Aplicaciones. Las agujas de erosión se utilizan para el cálculo de tasas de erosión en áreas con escasa vegetación y suelos desnudos y para el estudio de las variaciones de las microformas, tanto en modelados naturales como antrópicos (escombreras, taludes de obras lineales, etc.).

Dentro de la investigación de las modificaciones de las microformas se han utilizado las técnicas de agujas de erosión para el estudio de la evolución de las laderas y micropedimentos, siendo los trabajos más clásicos los de SCHUMM (1956 a, 1962, 1964). En la publicación de 1962 señala la importancia que tiene la evolución de los micropedimentos de cara a comprender más adecuadamente el desarrollo de los pedimentos de gran escala (Fig. 4). Igualmente esta metodología se ha utilizado para estudiar las variaciones de las secciones transversales de pequeños gullies (HAIGH y RYDOUT, 1987; CROUCH, 1990 a) (Fig. 5) y el cálculo del retroceso de la cabecera de estas formas (CROUCH, 1990 b).

También se utilizan las agujas para medir la erosión eólica en distintos ambientes y esta técnica es igualmente usada para analizar la velocidad de distintos procesos en medios glaciares, periglaciares y litorales.

Además las agujas de erosión se han utilizado en modelados artificiales, tales como escombreras de minas, para el análisis de la evolución de las laderas y para la cuanti-

AGUJAS Y PERFILADORES

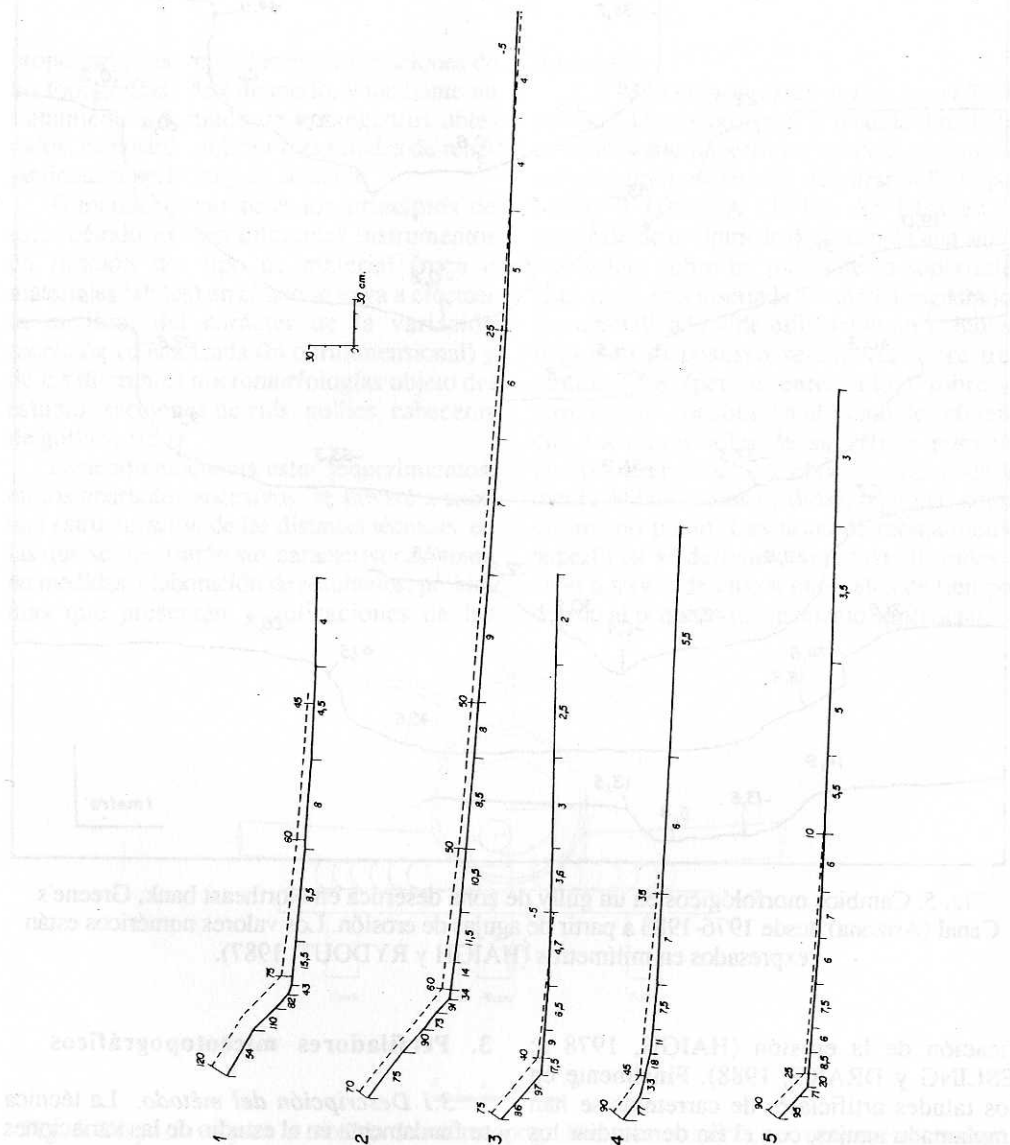


Fig. 4. Perfiles de micropedimentos en Badlands National Monument (Dakota). Los perfiles de línea continua fueron realizados en Mayo de 1961 y los de raya discontinua en Julio de 1953. Los números situados por debajo de los perfiles el tanto por ciento de pendiente y los situados por encima señalan rebajamientos o acreciones en milímetros en las posiciones de las agujas (SCHUMM, 1962).

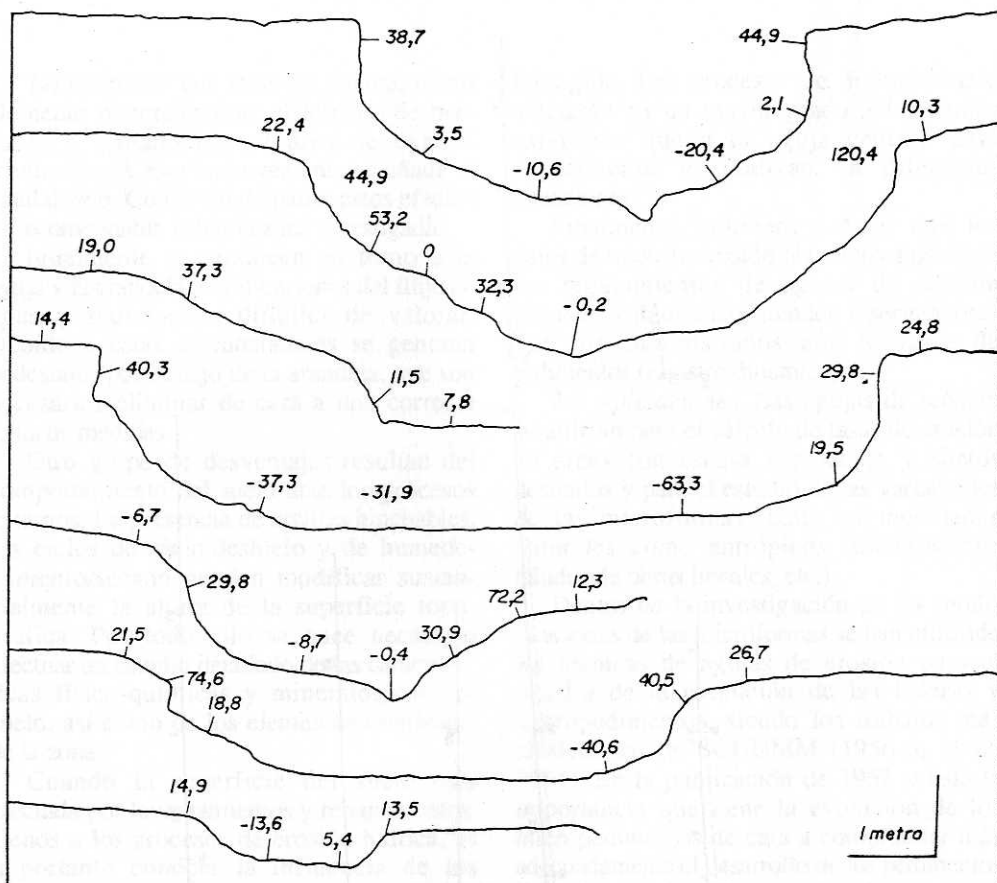


Fig. 5. Cambios morfológicos en un gully de zona desértica en Northeast bank, Greene's Canal (Arizona) desde 1976-1983 a partir de agujas de erosión. Los valores numéricos están expresados en milímetros (HAIGH y RYDOUT, 1987).

ficación de la erosión (HAIGH, 1978 a; ESLING y DRAKE, 1988). Finalmente en los taludes artificiales de carreteras se han implantado agujas, con el fin de estudiar los procesos de erosión y la movilización de sedimentos (HAIGH, 1984 y 1985).

Las tasas de erosión obtenidas mediante la técnica de las agujas es conveniente contrastarlas con las deducidas por otros métodos (colectores, valores de la USLE, Cesio-137, etc.).

3. Perfiladores microtopográficos

3.1 Descripción del método. La técnica se fundamenta en el estudio de las variaciones temporales microtopográficas en dos o tres dimensiones. Para ello es preciso situar unos puntos fijos de referencia sobre los que se apoya el perfilador en las sucesivas medidas. Este consta de unos indicadores (por lo general varillas) que pueden moverse vertical u horizontalmente en función del objetivo

AGUJAS Y PERFILADORES

propuesto y que reproducen las variaciones de las topografías. De este modo, y mediante un tratamiento adecuado de los registros obtenidos, es posible obtener magnitudes de rebajamiento superficial y de acreción.

Tomando como base los principios de este método existen diferentes instrumentos en función del tipo de material (roca o materiales lábiles) en el que se vaya a efectuar la medida, del carácter de la variación morfológica analizada (bi o tridimensional) y de las diferentes micromorfologías objeto del estudio (secciones de rills, gullies, cabeceras de gullies, etc.).

Teniendo en cuenta estos requerimientos, en los apartados sucesivos, se llevará a cabo una estructuración de las distintas técnicas, en las que se precisarán sus características, toma de medidas, elaboración de resultados, problemas que presentan y aplicaciones de las

mismas.

3.2 Microtopografías sobre superficies rocosas. Un método para la medida directa de erosión sobre superficies rocosas (*standard micro-erosion meter*) ha sido desarrollado por HIGH y HANNA (1970). Se basa en la medición de la altura de descenso de una aguja marcadora sobre un punto de la superficie. Esta aguja está insertada en un dial registrador (comercializado y de utilización en la industria) y el dispositivo se soporta sobre tres puntos fijos (pernos enroscados) sobre el terreno, que constituyen el plano de referencia. La altura sobre la superficie para un tiempo determinado se obtiene a partir de la media de numerosas medidas, repetidas sobre un mismo punto. Las tasas de rebajamiento superficial se derivan de medidas llevadas a cabo a través de largos intervalos de tiempo, debido al pequeño rebajamiento superficial.

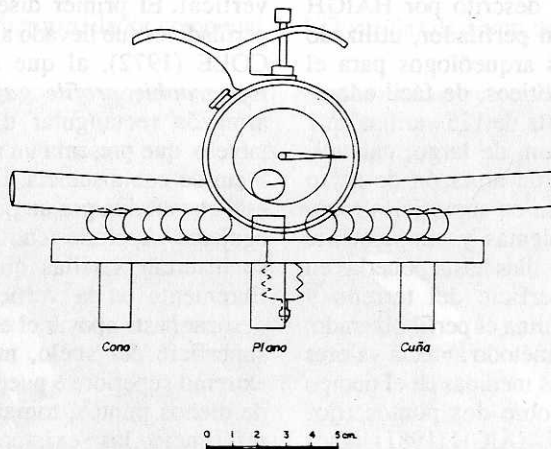


Fig. 6. Dispositivo para la medida de microtopografías sobre superficies rocosas (*traversing micro-erosion meter*) (TRUDGILL *et al.*, 1981)

Este modelo ha sido mejorado posteriormente por TRUDGILL *et al.* (1981) (*traversing micro-erosion meter*) ampliando

el número de puntos de medida, por sucesivas traslaciones, dentro del triángulo constituido por los tres puntos fijos (Fig. 6).

Dado que la calibración del dial permite apreciar hasta centésimas de milímetro, e incluso valores menores, hay que tomar muchas precauciones en cada conjunto de medidas. SPATE *et al.* (1985) efectúan un estudio y tratamiento de los errores debidos a cambios de temperatura del instrumento, de los pernos enroscados y de la propia roca. Con ello es posible llevar a cabo una corrección y ajuste de los datos obtenidos en campo.

Esta técnica ha sido utilizada para erosión en calizas en las que las tasas de rebajamiento no superan 1 mm/año. También se han llevado a cabo estudios en rocas de grano grueso para observar el diferente comportamiento de los minerales. Finalmente, se han efectuado estudios con esta metodología para analizar la velocidad de alteración de piedras de monumentos.

Otro método, de mucha menor precisión que el anterior, es el descrito por HAIGH (1981). Se trata de un perfilador, utilizado profusamente por los arqueólogos para el estudio de artefactos líticos, de fácil adquisición comercial. Consta de 175 varillas de 1 mm de grosor y 84 mm de largo, galvanizadas e instaladas en un armazón de acero (Foto 3). Su utilización en superficies rocosas no presenta problemas y simplemente hay que deslizar las varillas hasta ponerlas en contacto con la superficie del terreno y dibujar sobre una cartulina el perfil obtenido. El autor señala que el método aprecia valores de 1 mm. Las sucesivas medidas en el tiempo hay que realizarlas sobre dos puntos fijos previamente instalados. HAIGH (1981) indica que son útiles para el estudio de microrills, grietas de desecación y lapiares. Entendemos que sobre rocas blandas es muy problemática su aplicación.

3.3 Microtopografías sobre materiales blandos. Para la obtención de las características micromorfológicas y evolución de las mismas en litologías de fácil erosión se

han desarrollado diversas metodologías que, aunque fundadas en las mismas premisas, presentan numerosas modificaciones como consecuencia de su elaboración artesanal. Todos estos diseños son perfiladores microtopográficos y tienen una menor precisión que los anteriores, como consecuencia de la escala de trabajo y de la labilidad del material estudiado. No obstante, han sido mucho más utilizados tanto en geomorfología como en estudios de erosión de suelos.

3.3.1. Perfiladores bidimensionales. Un perfilador bidimensional consta de un conjunto de varillas deslizables alineadas y sostenidas por un armazón. Este dispositivo es capaz de reproducir la topografía del terreno en dos dimensiones. En este tipo de aparatos existen dos configuraciones diferentes en función de que el deslizamiento de las agujas se lleve a cabo vertical u horizontalmente.

a) Perfiladores bidimensionales de medida vertical. El primer diseño de este tipo de perfiladores fue llevado a cabo por CURTIS y COLE (1972), al que denominan *micro-topographic profile gauge*, y consta de un armazón rectangular donde se coloca un tablero, que presenta un rayado horizontal de 3 cm de equidistancia. La base del armazón está constituida por un perfil metálico con 40 agujeros, separados entre sí 3 cm, en los que se insertan varillas que pueden moverse libremente en la vertical. Estas se hacen deslizar hasta apoyar el extremo inferior en la superficie del suelo, mientras que con el extremo superior se pueden obtener las cotas de dichos puntos, tomando como líneas de referencia las existentes en el rayado horizontal del tablero. El perfil obtenido se fotografía a una distancia determinada. MOSLEY (1975) efectúa una descripción muy similar a la de los autores anteriores (Fig. 7) e indica la importancia que tiene en los estudios de micromodelados.

El perfilador descrito por McCOOL *et al.* (1981), al que denominan *rill meter*, presenta

AGUJAS Y PERFILADORES

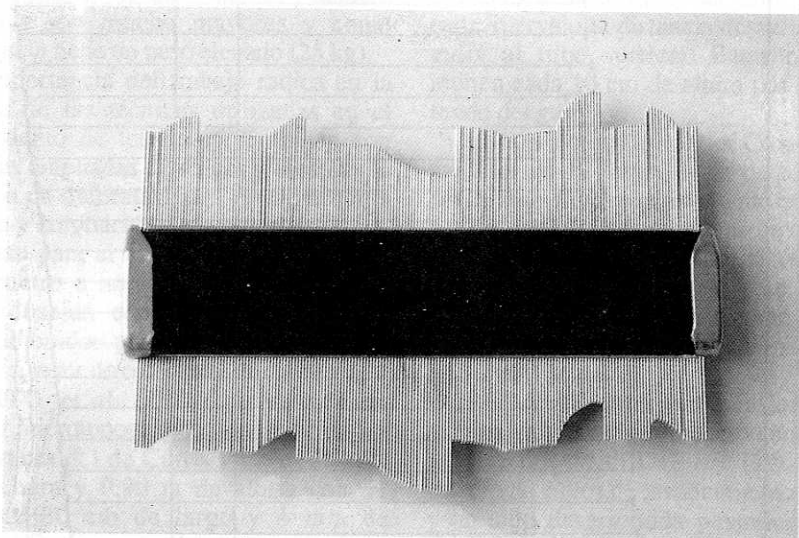


Foto 3. Microperfilador comercial de 177 varillas de 1 mm de diámetro.

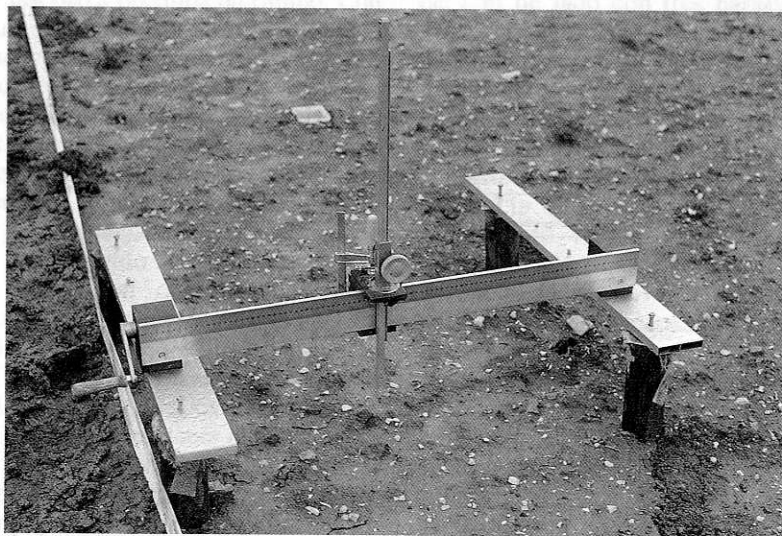


Foto 4. Microperfilador. Estación experimental de erosión de suelos de Krummbach en Braunschweig (Alemania).

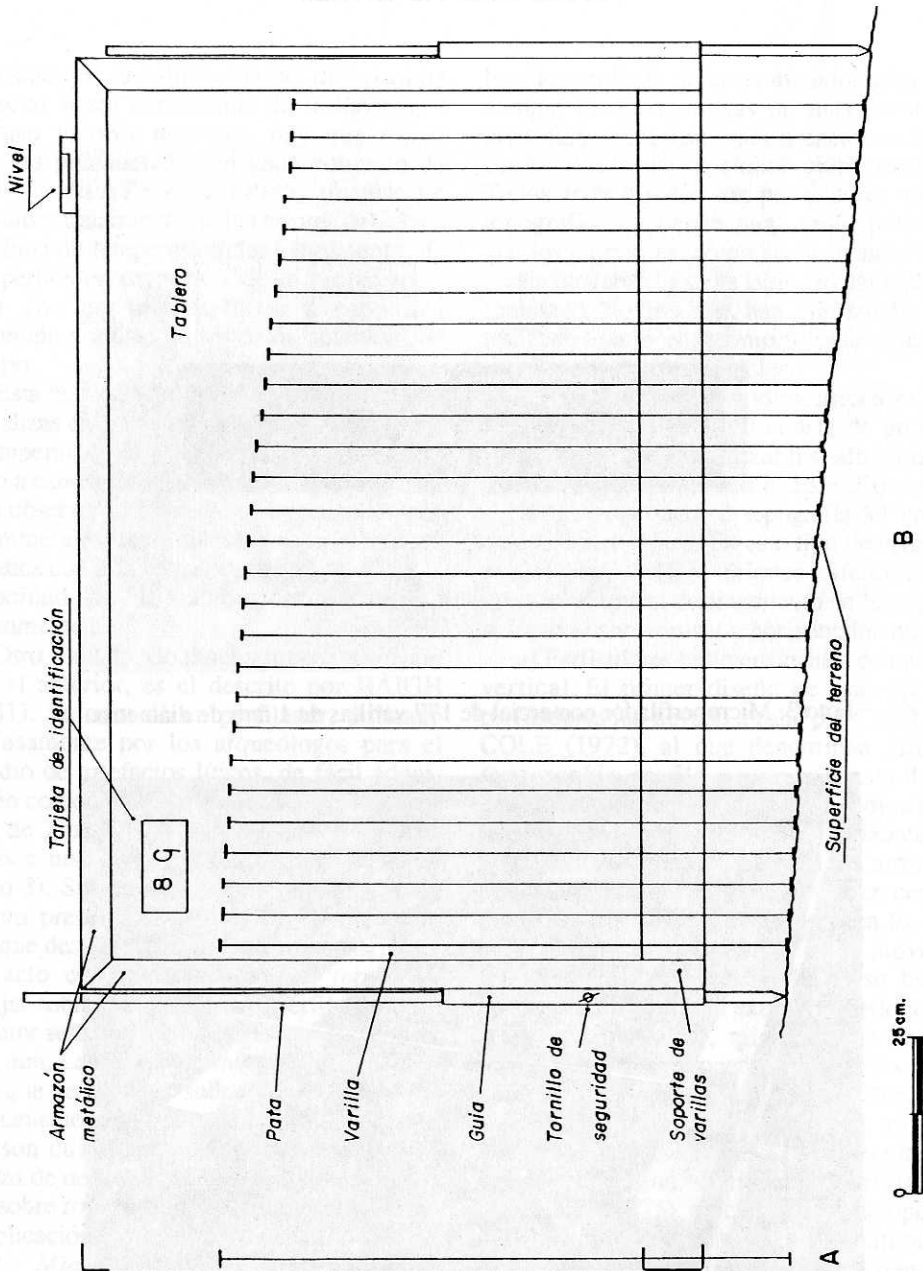


Fig. 7. Perfilador bidimensional de medida vertical. A) Alzado lateral y B) alzado frontal. Se han omitido las líneas horizontales del tablero para dar una mayor claridad al dibujo (MOSLEY, 1975).

unas características técnicas parecidas a los anteriores, aunque sus dimensiones y número de varillas son mucho mayores y como consecuencia tiene un peso elevado (25 kg).

La importancia del trabajo radica en la discusión de las técnicas utilizadas en el procesamiento de los datos. Trabajan con fotografías ampliadas de 45 cm y efectúan la corrección de deformaciones inherentes a la obtención y ampliación de las mismas.

Utilizan para el cálculo de las secciones un planímetro o un digitalizador. Por otra parte, aconsejan contrastar los datos de erosión obtenidos por esta técnica con los derivados a partir de colectores.

BENITO *et al.* (1988) construyen un perfilador microtopográfico, inspirado en las características del de Curtis y Cole, de 1,10 m de anchura y 0,90 m de altura con 51 varillas de 80 cm de largo y 4 mm de diámetro. El sistema de elaboración de datos se basa en la obtención de coordenadas cartesianas del techo de la varilla sobre una fotografía del perfil obtenida en campo. Con dichos puntos se realiza un ajuste cúbico spline, que asigna a cada perfil una función matemática continua y derivable. La integración de las funciones obtenidas en diferentes tomas de medidas de una misma sección refleja las variaciones sufridas por dicha sección (BENITO, 1989). Con este perfilador se ha trabajado en la evolución de badlands comparando los datos de rebajamiento superficial obtenidos con los suministrados con la técnica de agujas de erosión (BENITO *et al.*, 1989; 1991).

b) Perfiladores bidimensionales de medida horizontal. Esta técnica ha sido utilizada por CROUCH (1983) para obtener el perfil de las cabeceras verticalizadas de los gullies. Emplea dos tipos distintos de aparatos. Uno, al que denomina medidor de volúmenes de gullies (*gully volume measure*), consta de un tubo vertical que se apoya sobre un punto de referencia fijo en el fondo del gully, sobre el

que pivota una varilla que gira cada 22,5° alrededor de la cabecera del gully. Se mide en cada intervalo la distancia desde la pared del gully al tubo vertical. Estas medidas se repiten cada 10 cm de altura por encima del fondo del gully.

La otra técnica usada por Crouch es la del medidor de la forma de la pared del gully (*gully side shape measure*) que consta de 12 varillas montadas en un armazón que se sitúa frente a la pared del gully, de tal forma que el movimiento de las mismas se realiza en la horizontal (Fig. 8). Para la toma secuencial de estas medidas se necesita la instalación de un punto fijo.

3.3.2 Perfiladores tridimensionales. Esta técnica está basada en la metodología llevada a cabo por MATTHEWS (1962) para el estudio de ciclos de levantamiento por helada y ha sido desarrollada posteriormente por CAMPBELL (1970; 1974), al que denomina *movable contour plotting frame* (Fig 9). Consta de una estructura cuadrada de aluminio de 1 m de lado con tres barras interiores. Tanto la estructura como las barras están perforadas cada 25 cm. El peso de este instrumento es de 8,6 kg. Todo el conjunto hay que instalarlo en el terreno sobre cuatro puntos fijos. Las medidas de la altura de la superficie del suelo sobre el plano de referencia de la estructura se realizan introduciendo varillas en los 25 agujeros existentes, hasta apoyarlas en la superficie del terreno. Las sucesivas tomas de medidas permiten obtener ascensos y descensos de la superficie del terreno, y a partir de ellos el autor elabora mapas de isolíneas. LAM (1977) aplica esta técnica para el estudio de erosión hídrica de laderas, situando este aparato en diferentes segmentos de las mismas.

Otro diseño de perfilador tridimensional es el que hemos tenido ocasión de observar en la estación experimental de erosión de suelos de Krummbach en Braunschweig (Alemania),

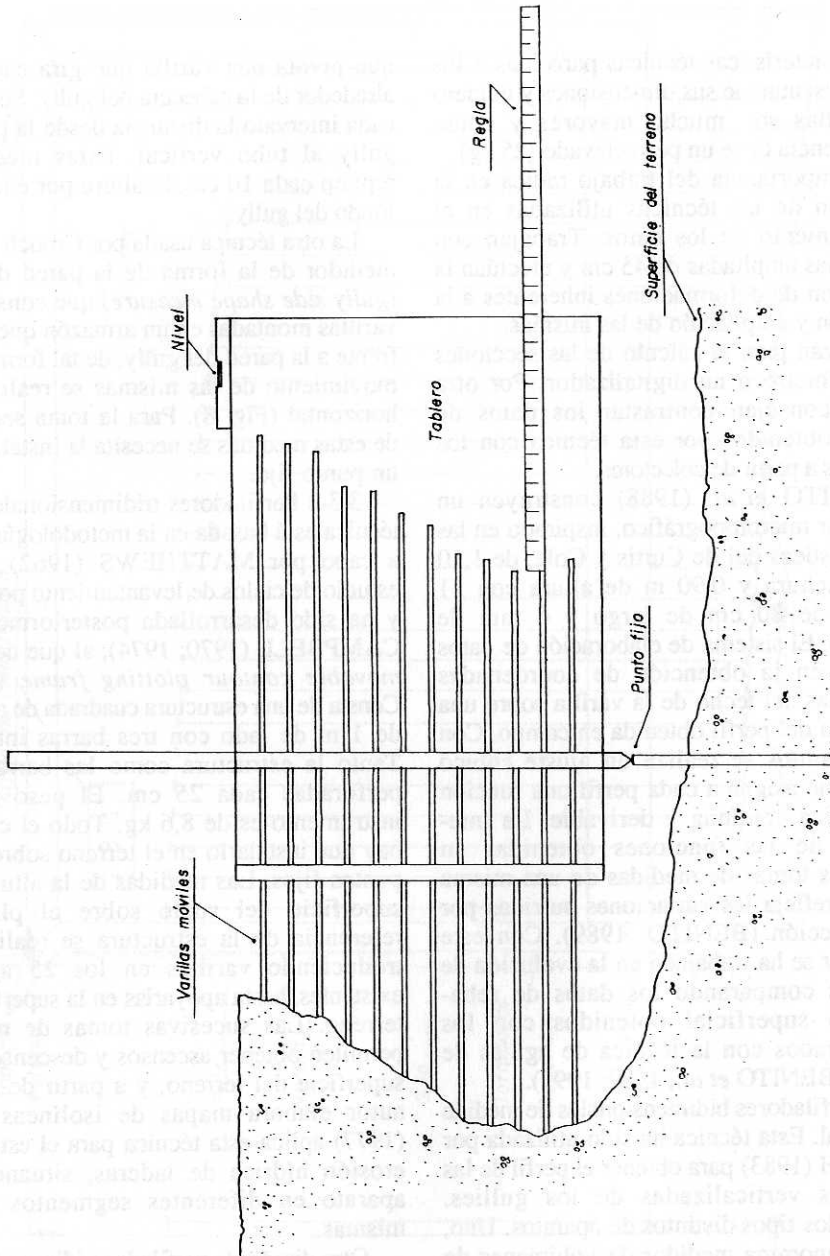
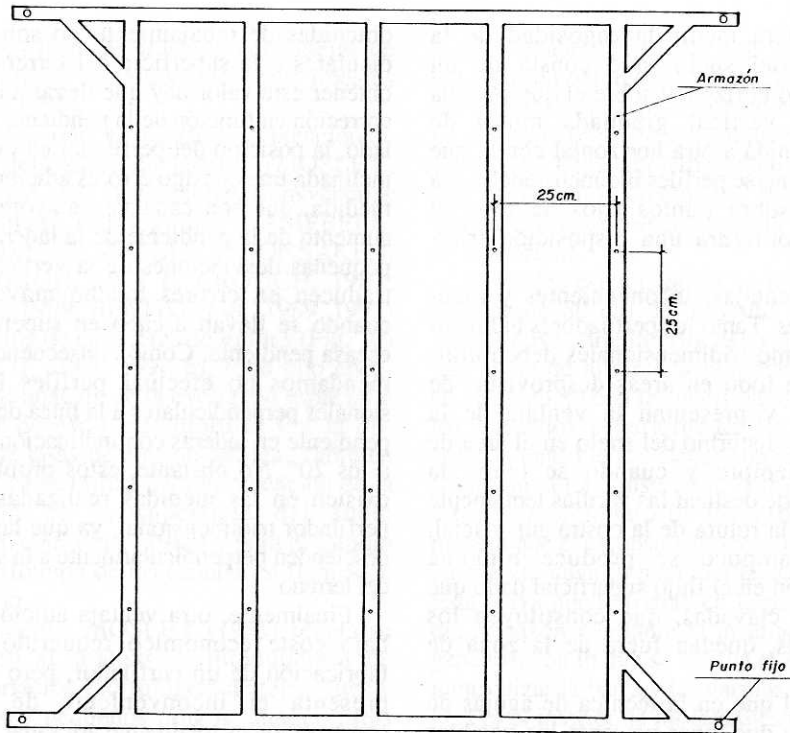
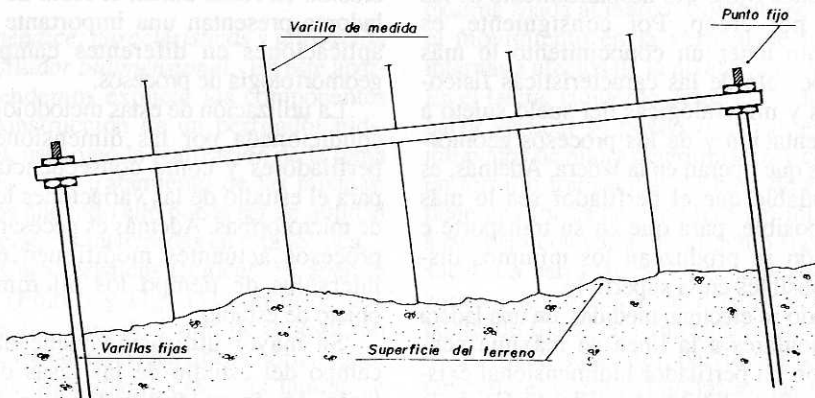


Fig. 8. Perfilador bidimensional de medida horizontal (gully side shape measure), inspirado en CROUCH (1983).

AGUJAS Y PERFILADORES



PLANTA



ALZADO

Fig. 9. Perfilador tridimensional (movable contour plotting frame), inspirado en CAMPBELL (1974).

utilizado para medir la rugosidad de la superficie del suelo, que consta de un armazón fijo horizontal sobre el que se sitúa una barra vertical graduada móvil de aluminio, unida a otra horizontal con la que pueden obtenerse perfiles bidimensionales. La traslación sobre puntos fijos de todo el conjunto configura una disposición tridimensional.

3.3.3 Ventajas, inconvenientes y recomendaciones. Tanto los perfiladores bidimensionales como tridimensionales deben utilizarse sobre todo en áreas desprovistas de vegetación y presentan la ventaja de la ausencia de disturbio del suelo en el área de medida, siempre y cuando se tenga la precaución de deslizar las varillas lentamente para evitar la rotura de la costra superficial. Además tampoco se produce ninguna modificación en el flujo superficial dado que las agujas clavadas, que constituyen los puntos fijos, quedan fuera de la zona de medida.

Al igual que en la técnica de agujas de erosión hay que tener presente los posibles errores inherentes a la presencia de suelos expansivos, que afectan a las agujas clavadas como puntos fijos, y al desplazamiento de las mismas por creep. Por consiguiente, es importante tener un conocimiento lo más exacto posible de las características físico-químicas y mineralógicas del suelo sujeto a experimentación y de los procesos geomorfológicos que operan en la ladera. Además, es recomendable que el perfilador sea lo más liviano posible, para que en su transporte e instalación se produzcan los mínimos disturbios posibles en la superficie.

Cuando se efectúan medidas en una ladera perpendiculares a la línea de máxima pendiente con un perfilador bidimensional existen unas claras limitaciones derivadas de la inclinación de la vertiente. Esto se debe a que el perfilador debe colocarse en posición vertical y, por consiguiente, las medidas

obtenidas de rebajamiento no son perpendiculares a la superficie del terreno y para obtener este valor hay que llevar a cabo una corrección en función de la pendiente. Por otro lado, la posición del perfilador en una ladera inclinada trae consigo errores adicionales a la medida, que son cada vez mayores con el aumento de la pendiente de la ladera, ya que pequeñas desviaciones de la verticalidad se traducen en errores mucho mayores que cuando se llevan a cabo en superficies de escasa pendiente. Como consecuencia, recomendamos no efectuar perfiles bidimensionales perpendiculares a la línea de máxima pendiente en laderas con inclinación superior a los 20°. No obstante, estos problemas no existen en las medidas realizadas con un perfilador tridimensional, ya que las varillas descienden perpendicularmente a la superficie del terreno.

Finalmente, otra ventaja adicional es el bajo coste económico requerido para la fabricación de un perfilador, pero a su vez presenta el inconveniente de que su construcción es totalmente artesanal.

3.4 Aplicaciones. Aparte de las aplicaciones señaladas para los medidores de microerosión en rocas duras, el resto de los perfiladores presentan una importante gama de aplicaciones en diferentes campos de la geomorfología de procesos.

La utilización de estas metodologías viene condicionada por las dimensiones de los perfiladores y como consecuencia se usan para el estudio de las variaciones temporales de microformas. Además es necesario que los procesos actuantes modifiquen en breves intervalos de tiempo los micromodelados objeto de estudio.

Su mayor utilización viene dada en el campo del estudio de las tasas de erosión tanto en áreas cultivadas, de cara a la conservación de suelos, como en zonas de badlands, en cuyo caso el objetivo es básicamente científico. También han sido apli-

cadass estas técnicas al estudio de laderas de escombreras y de taludes de obras lineales (HAIGH, 1984).

De este modo, es útil para la obtención de perfiles detallados de laderas (MOSLEY, 1975; LAM, 1977), secciones transversales de microrills, rills y gullies (CAMPBELL, 1974, 1981; CAMPBELL y HONSAKER, 1982; HAIGH, 1978 b; CROUCH, 1987; BENITO, 1989; BENITO *et al.*, 1989, 1991) y retrocesos de cabeceras de gullies (Fig. 10) (CROUCH, 1983, 1990 b), todo ello encaminado al análisis de la evolución espacial y temporal de estas microformas y a la obtención de tasas de erosión hídrica. También esta técnica se utiliza para la obtención de la rugosidad de la superficie del suelo (ABRAHAMMS *et al.*, 1988) y para el estudio de la morfología de los canales en flumes de laboratorio.

Finalmente, MOSLEY (1975) señala su aplicación al análisis de movimientos de masa, variación morfológica de terracetes y de palsas y pequeños pingos, aunque estos dos últimos entendemos que presentan serios problemas en la obtención de los puntos fijos necesarios para el seguimiento de las medidas.

3.5 Apéndice: características y utilización de un perfilador bidimensional. En este apartado pretendemos explicar los componentes para la construcción de un perfilador bidimensional, así como la realización de la toma de medidas y el tratamiento de las mismas. Estimamos que todo ello puede ser de utilidad para las personas interesadas en esta técnica.

3.5.1 Características técnicas. El aparato diseñado (Foto 5 y Fig. 11) consta de una lámina de aluminio de 1 mm de espesor, en el que se dibujan en negro líneas horizontales y paralelas separadas 2 cm. Esta lámina se adosa a un marco rectangular cuyas dimensiones internas son 110 cm de anchura y 78 cm de altura. El armazón está construido con perfiles de aluminio de 4 cm de ancho y

sección cuadrada con una guía de 1 cm en la cara interna del marco. Las guías laterales se utilizan para el desplazamiento en la vertical de una barra transversal de aluminio taladrada cada 2 cm. Estos agujeros deben de coincidir con otros tantos efectuados en la base del marco, con lo que se consigue la verticalidad de las varillas.

En todos estos taladros se introducen 51 varillas de 80 cm de longitud y 5 mm de grosor, cuya parte inferior es totalmente roma con el fin de minimizar el efecto disruptivo en su contacto con la superficie del suelo. En los extremos superiores de las varillas se colocan unas tuercas ciegas enroscadas con el fin de que el ascenso de la barra transversal arrastre al conjunto de las varillas, de tal manera que el ascenso y descenso de todas las varillas se haga lo más rápidamente posible. Esta barra puede fijarse en la parte superior del armazón mediante la instalación de dos ganchos, con lo que se facilita el transporte al inmovilizar la barra y las varillas.

Por el interior de los laterales del perfil de aluminio del marco se colocan dos barras metálicas circulares y huecas, que deslizan una en el interior de la otra, quedando la externa fijada al marco. Con esto se consigue el movimiento en la vertical de las barras internas a efectos de la nivelación del aparato. En el lateral izquierdo desde el observador, la barra vertical se puede fijar agujereando a intervalos de altura determinados y colocando un tornillo transversal; la base de esta barra tiene una forma de cono hacia el interior que sirve para colocarla en un punto fijo sobre el suelo. La barra lateral derecha puede desplazarse a los efectos de nivelar el aparato, pudiendo fijarse con una palomilla.

El peso total del perfilador diseñado, teniendo en cuenta el armazón, las varillas y el sistema de soporte y fijación a la superficie del terreno es de 14 kg.

Por último, sobre la parte superior del

SANCHO, BENITO & GUTIERREZ

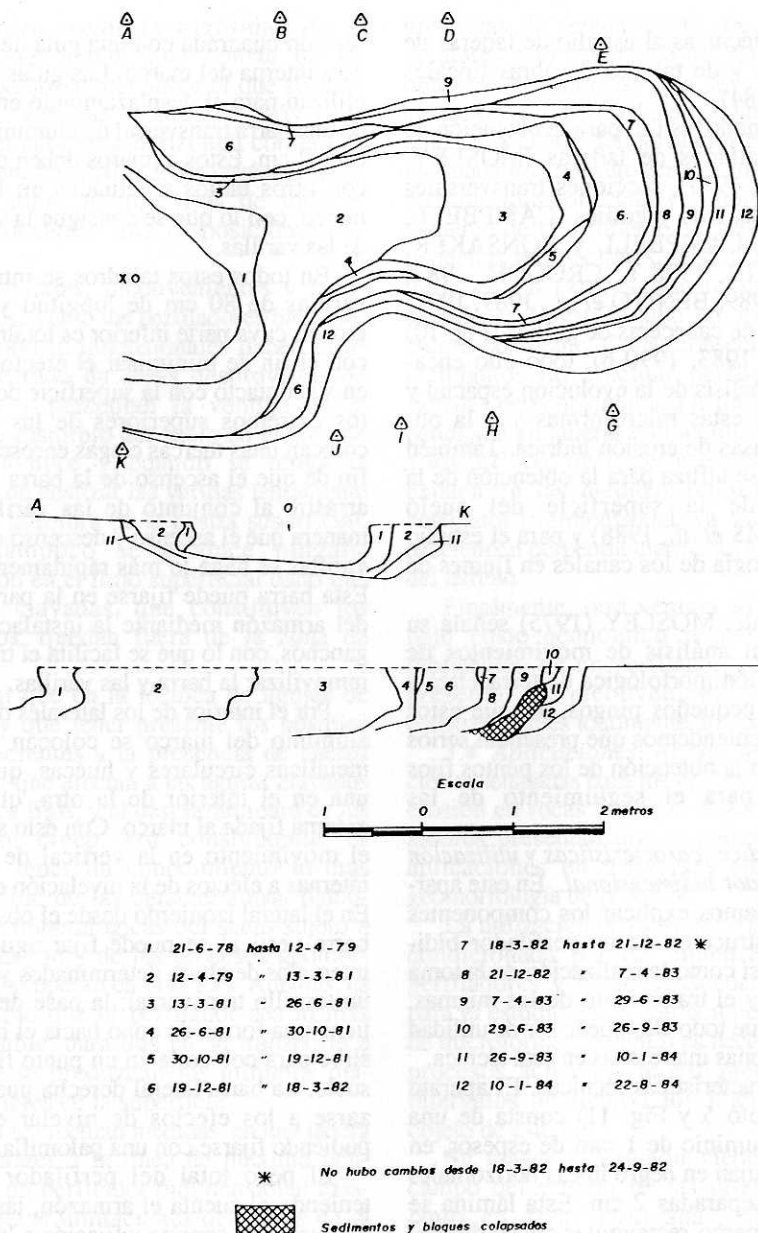


Fig. 10. Retrocesos sucesivos de cabeceras de gullies durante un período de seis años (CROUCH, 1990 b).

AGUJAS Y PERFILADORES

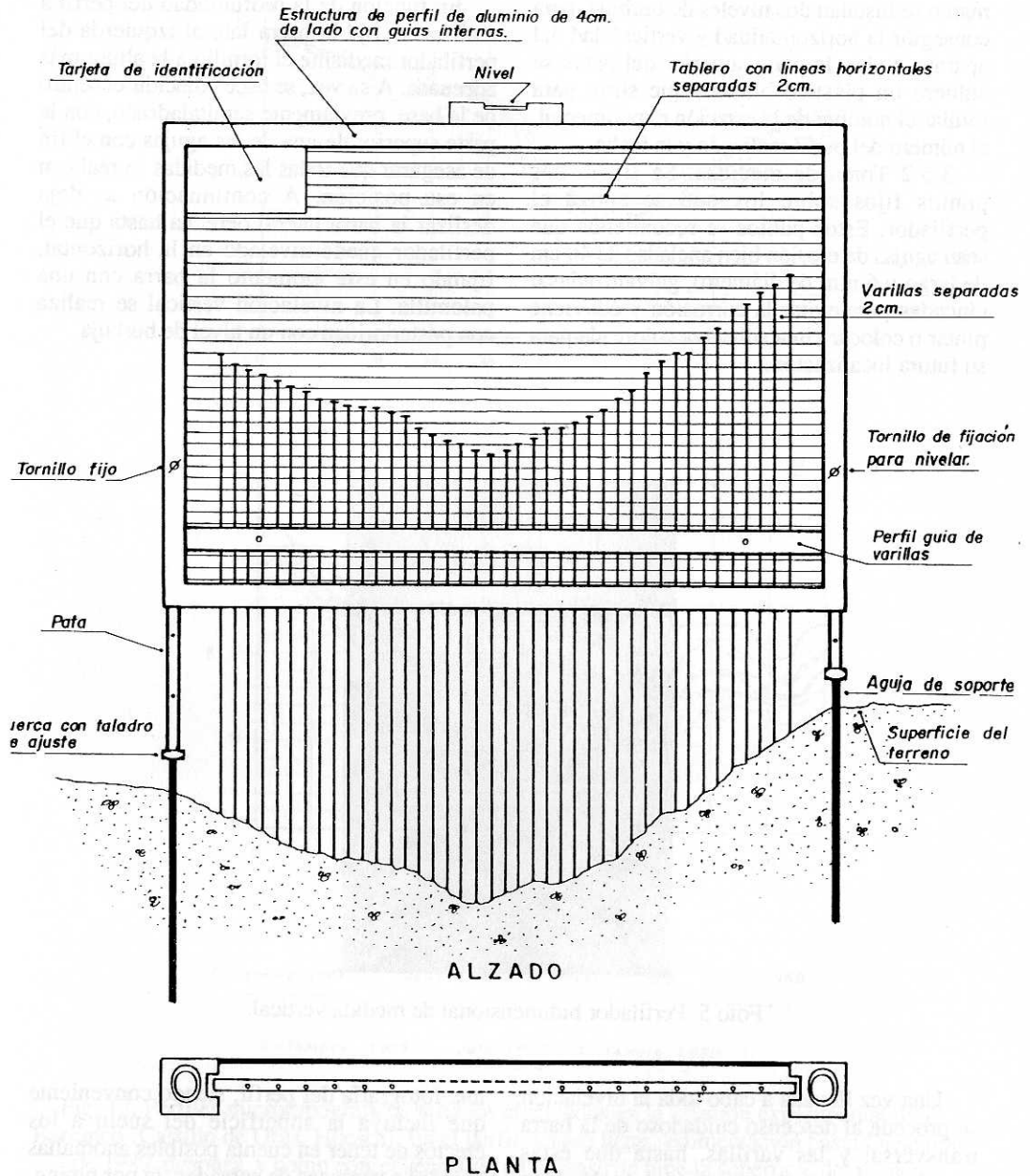


Fig. 11. Características técnicas de un perfilador bidimensional de medida vertical.

marco se instalan dos niveles de burbuja, para conseguir la horizontalidad y verticalidad del aparato. Sobre la parte superior del panel se adhiere un plástico blanco, que sirve para rotular el nombre de la estación experimental, el número del perfil realizado y la fecha.

3.5.2 Toma de medidas. Se sitúan dos puntos fijos sobre los que se apoya el perfilador. Estos puntos se recomienda que sean agujas de erosión bien ancladas de 40 cm de largo y 6 mm de diámetro, galvanizadas o cincadas para evitar la corrosión y conviene pintar o colocar cinta adhesiva coloreada para su futura localización.

En función de la profundidad del perfil a realizar se fija la barra lateral izquierda del perfilador mediante el tornillo a la altura más adecuada. A su vez, se hace coincidir el centro de la base, previamente semitaladrado, con la parte superior de una de las agujas con el fin de asegurar que todas las medidas se realicen en esa posición. A continuación se deja deslizar la barra lateral derecha hasta que el perfilador quede nivelado en la horizontal, fijando en este momento la barra con una palomilla. La nivelación vertical se realiza con posterioridad con un nivel de burbuja.

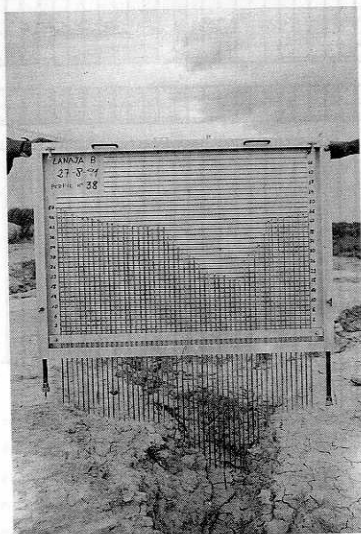


Foto 5. Perfilador bidimensional de medida vertical.

Una vez llevada a cabo toda la nivelación se procede al descenso cuidadoso de la barra transversal y las varillas, hasta que éstas reposen sobre la superficie del suelo. Con posterioridad se procede a la realización de

una fotografía del perfil, siendo conveniente que incluya la superficie del suelo a los efectos de tener en cuenta posibles anomalías debidas a procesos de subsidencia por piping. El manejo y toma de medidas con el

AGUJAS Y PERFILADORES

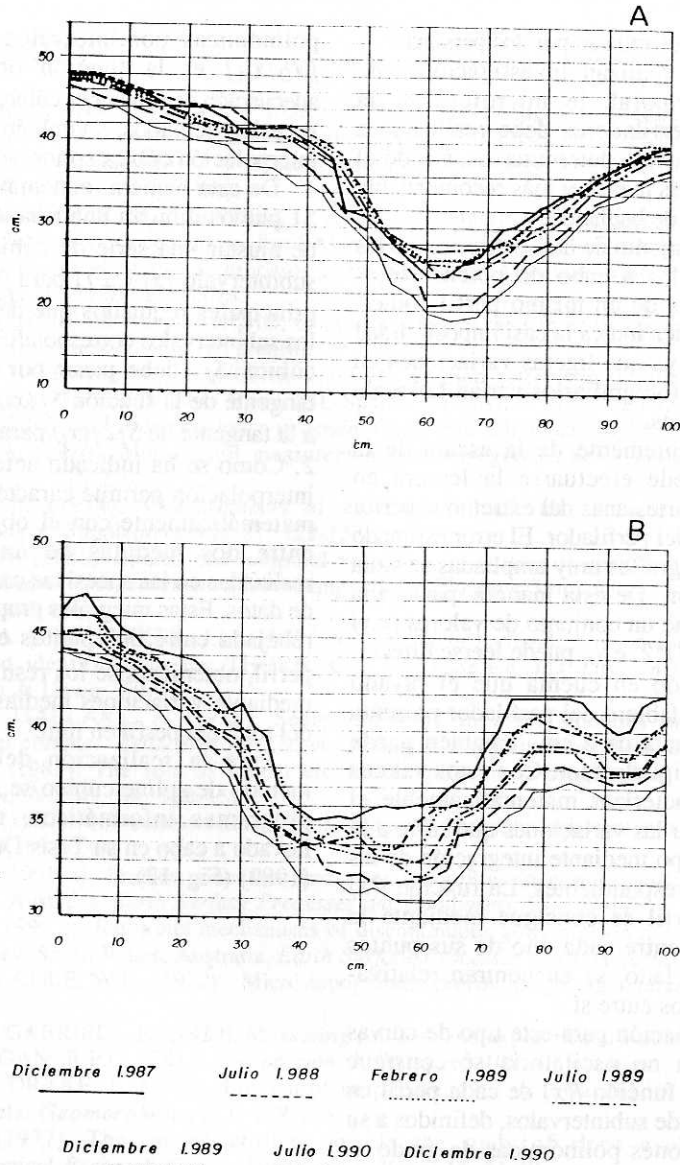


Fig. 12. Perfiles microtopográficos seriados efectuados en la estación experimental de El Barranco (Castillo de Orús, Huesca). En el perfil A tuvo lugar sedimentación hasta Diciembre de 1989, después, y como consecuencia de un colapso de pipe la superficie del reguero descendió hasta Diciembre de 1990. El perfil B indica un rebajamiento paralelo a lo largo del tiempo (BENITO *et al.*, 1991).

perfilador debe efectuarse por dos personas.

Cuando se realizan investigaciones de evolución temporal de microformas, la campaña de perfiladores debe realizarse a intervalos de tiempo determinados, siendo el espaciado de seis meses el más recomendable en la evolución de badlands.

3.5.3 Tratamiento de datos. A pesar de los intentos llevados a cabo de obtener fotografías seriadas de un mismo perfil coincidentes, la práctica indica la casi imposibilidad de realizarlas, ya que ligeras variaciones en los ángulos al fotografiarlos varían la escala de los fotogramas.

Independientemente de la escala de la fotografía puede efectuarse la lectura en coordenadas cartesianas del extremo superior de las varillas del perfilador. El error estimado utilizando fotografías muy ampliadas se sitúa entre 1 y 2 mm. De esta manera, para cada perfil se obtiene un conjunto de valores (x, y) donde $x_n = (n-1) \cdot 2$ e y_n puede leerse directamente, teniendo en cuenta que el rayado horizontal del tablero del perfilador presenta una equidistancia de 2 cm. También puede utilizarse un digitalizador. Con estos valores se puede caracterizar matemáticamente el perfil y estimar las variaciones que sufre a lo largo del tiempo mediante integración de las funciones correspondientes. La función $f(x)$ para cada perfil se consigue mediante la interpolación entre cada uno de sus puntos que, por otro lado, se encuentran relativamente próximos entre sí.

La interpolación para este tipo de curvas de naturaleza no oscilatoria se consigue dividiendo la función $f(x)$ de cada perfil en una colección de subintervalos, definidos a su vez por funciones polinómicas de grado n . Estas funciones, dado que se pretende integrarlas para conocer el valor de las variaciones del perfil, deben presentar una uniformidad en todos los puntos de la función y, al menos, una continuidad en la derivada primera. El ajuste más simple de funciones

polinómicas por intervalos diferenciables $[x_0; x_n]$ es la función obtenida por la adecuación de funciones cúbicas entre cada par sucesivo de nudos, o también conocida como interpolación cúbica spline.

De esta manera, matemáticamente, estos 51 puntos dibujan una función S_j resultante de ajustar una serie de cúbicas S_j , en cada subintervalo $[x_j; x_{j+1}]$ para $j=0, 1, \dots, n-1$. Los principales requisitos que deben cumplir en los subintervalos correspondientes es que cada cúbica S_j debe pasar por x_j y x_{j+1} y la tangente de la función $S_j(x_j)$ debe ser igual a la tangente de $S_{j+1}(x_j)$ para cada $j=0, 1, \dots, n-2$. Como se ha indicado anteriormente, esta interpolación permite caracterizar la función matemáticamente con el objeto de integrar entre dos medidas de un mismo perfil realizadas en las sucesivas campañas de toma de datos. Estas integrales proporcionan el área rebajada entre dos puntos cualesquiera del perfil, obteniéndose los resultados en cm^2 o mediante variaciones medias de una parte o del total del perfil en mm.

Para la realización del ajuste por el método de spline cúbico se pueden elaborar programas informáticos, tal y como ha llevado a cabo en su Tesis Doctoral BENITO (1989) (Fig. 12).

4. BIBLIOGRAFIA

- ABRAHAMAS, A.D.; PARSONS, A.J. y LUK, S. (1988). Hydrologic and sediment responses to simulated rainfall on desert hillslopes in southern Arizona. *Catena*, 15, 103-117.
- BENITO, G. (1989). *Geomorfología de la cuenca baja del río Gállego*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, 764 p. Zaragoza (Inédita).
- BENITO, G.; GUTIERREZ, M. y SANCHO, C. (1988). Perfiladores de microtopografías para control de secciones transversales de canales. En: SALA, M. y GALLART, F. (Eds.). *Métodos y técnicas para la medición en el campo de procesos geomorfológicos*. Monografía Sociedad Española de Geomorfología, 1, 54-57. Zaragoza.
- BENITO, G.; GUTIERREZ, M. y SANCHO, C. (1989). Erosion rates in badlands areas of the central Ebro Basin (NE-Spain). *Catena* (en prensa).
- BENITO, G.; GUTIERREZ, M. y SANCHO, C. (1991). Erosion patterns in rill and interrill areas in badland zones of the middle Ebro Basin (NE-Spain). En: SALA, M.; RUBIO, J.L. y GARCIA-RUIZ, J.M. (Eds.). *Soil erosion studies in Spain*. Geoforma Ediciones, 41-54. Logroño.
- CAMPBELL, I.A. (1970). Micro-relief measurements on unvegetated shale slopes. *Professional Geographer*, 22, 215-220.
- CAMPBELL, I.A. (1974). Measurements of erosion on badlands surfaces. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Supplementband 21, 122-137.
- CAMPBELL, I.A. (1981). Spatial and temporal variations in erosion measurements. *Erosion and Sediment Transport Measurement* (Proceedings of the Florence Symposium, June 1981). IAHS Publ., 133, 447-456.
- CAMPBELL, I.A. y HONSAKER, J.L. (1982). Variability in badlands erosion; problems of scale and threshold identification. En: THORN, C.E. (Ed.). *Space and Time in Geomorphology*. George Allen & Unwin, 59-79.
- CLOTET, N. y GALLART, F. (1986). Sediment yield in a mountainous basin under high mediterranean climate. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Supplementband 60, 205-216.
- CROUCH, R.J. (1983). The role of tunnel erosion in gully head progression. *Journal of Soil Conservation*, N.S.W., 39, 148-155.
- CROUCH, R.J. (1987). The relationship of gully sidewall shape to sediment production. *Aust. J. Soil Res.*, 25, 531-539.
- CROUCH, R.J. (1990 a). Erosion processes and rates for gullies in granitic soils. Bathurst, New South Wales, Australia. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15, 169-173.
- CROUCH, R.J. (1990 b). Rates and mechanisms of discontinuous gully erosion in a red-brown earth catchment, New South Wales, Australia. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15, 277-282.
- CURTIS, W.R. y COLE, W.D. (1972). Micro-topographic profile gauge. *Agricultural Engineering*, 53, 17.
- DE PLOEY, J. y GABRIELS, D. (1980). Measuring soil loss and experimental studies. En: KIRKBY, M.J. y MORGAN, R.P.C. (Eds.). *Soil erosion*. J. Wiley, 63-108. Chichester.
- ESLING, S.P. y DRAKE, L. (1988). Erosion of strip-mine spoil in Iowa and its implications for erosion models. *Geomorphology*, 1, 279-296.
- HAIGH, M.J. (1977). The use of erosion pins in the study of slope evolution. *British Geomorphological Research Group. Technical Bulletin*, 18, 31-49.
- HAIGH, M.J. (1978 a). *Evolution of slopes on artificial landforms*, Blaenavon, U.K. The University of Chicago. Dept. of Geography. Research paper 183, 293 p.
- HAIGH, M.J. (1978 b). Micro-rills and desiccation cracks: some observations. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 22, 457-461.
- HAIGH, M.J. (1981). Micro-profile measurement using the "Contour Gauge". *British Geomorphological Research Group. Technical Bulletin*, 29, 31-32.

- HAIGH, M.J. (1984). Microerosion processes and sediment mobilization in a road-bank gully catchment in central Oklahoma. En: BURT, T.P. y WALLING, D.E. (Eds.). *Catchment experiments in fluvial geomorphology*. Geo Books, 247-264.
- HAIGH, M.J. (1985). Geomorphic evolution of Oklahoma roadcuts. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 29, 439-452.
- HAIGH, M.J. y RYDOUT, G.B. (1987). Erosion pin measurement in a desert gully. En: GARDINER, V. (Ed.). *International Geomorphology 1986*, Part II. J. Wiley, 419-436.
- HIGH, C. y HANNA, F.K. (1970). A method for the direct measurement of erosion on rock surfaces. *British Geomorphological Research Group. Technical Bulletin*, 5, 24 p.
- KIRKBY, A.V.T. y KIRKBY, M.J. (1974). Surface wash at the semiarid break in slope. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Supplementband 21, 151-176.
- LAM, K. (1977). Patterns and rates of slopewash on the badlands of Hong Kong. *Earth Surface Processes*, 2, 319-332.
- MATTHEWS, B. (1962). Frost-heave cycles at Schefferville. *McGill Sub-arctic Research Report*, 12, 112-125.
- McCOOL, D.K.; DOSSETT, M.G. y YECA, S.J. (1981). A portable rill meter for field measurement of soil loss. *Erosion and Sediment Transport Measurement* (Proceedings of the Florence Symposium, June 1981). IAHS Publ. 133, 479-484.
- MOSLEY, M.P. (1975). A device for the accurate survey of small scale slopes. *British Geomorphological Research Group. Technical Bulletin*, 17, 3-6.
- MILLER, J.P. y LEOPOLD, L.B. (1962). Simple measurements of morphological changes in river channels and hillslopes. *Arid Zone Research*, 20, 421-427.
- SALA, M. (1982). Metodología para el estudio y medición de los procesos de erosión actuales. *Notes de Geografía Física*, 8, 39-56.
- SALA, M. y GALLART, F. (Eds.) (1988). *Métodos y técnicas para la medición en el campo de procesos geomorfológicos*. Monografía Sociedad Española de Geomorfología, 1, 103 p. Zaragoza.
- SCHUMM, S.A. (1956 a). The role of creep and rainwash in the retreat of badlands slopes. *American Journal of Science*, 254, 693-706.
- SCHUMM, S.A. (1956 b). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Bulletin of the Geological Society of America*, 67, 597-646.
- SCHUMM, S.A. (1962). Erosion on miniature pediments in badlands National Monument, South Dakota. *Bulletin of the Geological Society of America*, 73, 719-724.
- SCHUMM, S.A. (1964). Seasonal variations of erosion rates and processes on hillslopes in western Colorado. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Supplementband 5, 215-238.
- SCHUMM, S.A. (1967). Erosion measured by stakes. *Revue de Géomorphologie Dynamique*, 17, 161-162.
- SCOGING, H. (1982). Spatial variations in infiltration runoff and erosion on hillslopes in semiarid Spain. En: BRYAN, R.B. y YAIR, A. (Eds.). *Badland geomorphology and piping*. Geo Books, 89-112.
- SPATE, A.P.; JENNINGS, J.N.; SMITH, D.I. y GREENAWAY, M.A. (1985). The micro-erosion meter: use and limitations. *Earth Surface Processes and Landforms*, 10, 427-440.
- STATHAM, I. (1983). Techniques for the measurement of surface water erosion processes on slopes. En: GOUDIE, A. (Ed.). *Geomorphological techniques*. George Allen & Unwin, 174-177. London.
- TRUDGILL, S.; HIGH, C.J. y HANNA, F.K. (1981). Improvements to the micro-erosion meter. *British Geomorphological Research Group. Technical Bulletin*, 29, 3-17.

Otras publicaciones de Geoforma Ediciones:

Serie Cartográfica:

1. Mapa geomorfológico de Sallent (Pirineos).
2. Mapa geomorfológico de Ezcaray (S. Ibérico).
3. Mapa geomorfológico de Munilla (S. Ibérico).

Serie Monografías Científicas:

1. Evolución reciente de la agricultura de montaña: el Pirineo aragonés (T. Lasanta).
2. Las repoblaciones forestales: resultados y efectos geomorfológicos (L. Ortigosa).

Serie Avances en Geoecología:

1. Geoecología de las áreas de montaña (J. M. García-Ruiz, Edr.).
2. Soil Erosion Studies in Spain (M. Sala, J. L. Rubio y J. M. García-Ruiz, Edrs.).

Serie Cuadernos Técnicos de la S.E.G.

1. Métodos para el estudio de la erosión eólica (J. Quirantes Puertas).

En este *Cuaderno Técnico de la S.E.G.*, los autores analizan la metodología utilizada en la investigación de las modificaciones temporales de microformas, basada en la utilización de agujas de erosión y perfiladores microtopográficos. Se describen las características técnicas, ventajas e inconvenientes que presentan, tratamiento de los datos obtenidos, así como sus posibilidades de aplicación en diferentes campos de la Geomorfología, haciendo especial referencia al estudio de la erosión hídrica.

