

PROCESOS DE EROSION Y ANALISIS DE SUS CONDICIONANTES EN UNA REGION SEMI-ARIDA: LA CUENCA DE CORNIALTO (BARDENAS, NAVARRA)

J.M. Del Valle (1) & J. Del Val (2)

(1) I.S.C.P.N. Monasterio de Urdax, 28, 38011 Pamplona.

(2) I.T.G.E. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid.

Resumen. Se analizan los condicionantes de la erosión en una cuenca de drenaje de unos 5,5 km², correspondiente a una área de "badland" (s.l.), situada en la zona central de la Cuenca del Ebro. Para ello, se estudian las condiciones climáticas y se calculan diversos índices de agresividad por lluvia, realizándose, además, cartografías a escala 1:20.000, geomorfológica, edafológica y de usos actuales del suelo y se describen perfiles detallados de suelos en relación con la geomorfología. Se plantea asimismo la alta susceptibilidad de los suelos a la formación de conductos subsuperficiales ("piping") y su riesgo de erosión por clases texturales. Se analiza también la tipología erosiva en función de la situación geomorfológica y se presentan medidas de erosión en relación con la precipitación.

Palabras clave: Erosión, "piping", edafología, geomorfología, "badland", usos del suelo, Bardenas Reales, Cuenca del Ebro.

Abstract. The factors controlling soil erosion are analyzed in a drainage basin of 5,5 km², corresponding to a badland area (s.l.), located in the central area of the Ebro basin. With this in mind, climatic conditions are studied and several rain aggressivity index are calculated, furthermore geomorphological, pedological and land use cartography has been made at 1:20.000 scale and detailed soil profiles are described in relation to geomorphology. Likewise the high susceptibility of soils to formation of pipes (piping) is stated and its erosion risk related to textural classes. Also the erosion typology is studied in terms of geomorphological situation and measures of erosion related to precipitation are given.

Key words: Erosion, piping, pedology, geomorphology, badland, Bardenas Reales, Ebro basin.

1. Introducción

Las regiones áridas y semiáridas constituyen áreas de gran interés tanto desde el punto de vista de su evolución geomorfológica e implicaciones climáticas como de cara al aprovechamiento de sus recursos y a una adecuada, aunque siempre delicada, gestión de los mismos. En la Península Ibérica suponen aproximadamente el 40% de su superficie (Font, 1983) y el riesgo de extensión de este tipo de áreas ha sido repetidamente puesto de manifiesto (U.N.C.O.D., 1977; Glantz, 1987). Los procesos morfodinámicos que se desarrollan en ellas pueden llegar a ser enormemente variados y complejos: abarrancamientos, desarrollo de costras, salinización, formación de conductos subsuperficiales ("piping"), movimientos en masa, etc., que frecuentemente combinados con la acción del hombre dan lugar a pérdidas y empobrecimiento del suelo y a una progresiva "desertificación" (Mensching, 1988).

Por otra parte, aunque no son exclusivas de estas regiones climáticas, las áreas de "badlands" son relativamente frecuentes en los dominios áridos y semiáridos mediterráneos (Brian & Yair, 1982), como es el caso de la cuenca de drenaje objeto del estudio. La definición y caracterización de sus condiciones naturales y antrópicas y la identificación de los principales procesos actuantes resulta imprescindible tanto para la comprensión adecuada del conjunto del fenómeno erosivo como para la aplicación de medidas correctoras y de orientación al uso.

2. Marco geológico y geomorfológico

La cuenca de Cornialto, con una superficie de unos 5,5 km², se sitúa dentro de la Depresión del Ebro, en su zona central, apareciendo en ella materiales del Terciario Continental y del Cuaternario.

Los sedimentos más antiguos que se encuentran pertenecen a la Formación Ujué. Están constituidos por arcillas margosas y limos con paleocanales de arenisca, de edad Mioceno Superior (Solé, 1976), con estructura tabular; se encuentran en laderas frecuentemente desnudas de formaciones superficiales y con intensa erosión en surcos.

Sobre esta unidad, y conformando la meseta denominada El Plano, se encuentra suspendida la terraza más alta del río Aragón (120±130 m.), de posible edad pleistocena. Esta terraza aparece cementada y limita, con un escarpe muy neto, el sector norte de la cuenca de Cornialto.

Una intensa erosión, posterior a la deposición de la terraza, evacuó importantes volúmenes de material, generándose glacis coluviales y distintos depósitos de ladera, retrabajados posteriormente por procesos de arroyada difusa y concentrada, quedando en el interior del área diferentes tipos de relieves residuales de la Formación Ujué (Fig. 1). En estos relieves los paleocanales de arenisca han jugado un importante papel protector frente a la erosión. Esta evacuación ha ocurrido en distintos episodios, alternando fases predominantemente erosivas frente a otras de sedimentación, como muestra el retrabajamiento del material coluvial (líneas de cantos en paredes de barrancos, por ejemplo). Este hecho apunta a que muchos de los barrancos actualmente presentes han tenido una dilatada existencia, como otros autores indican para regiones y latitudes muy diferentes (Stocking, 1980).

Los barrancos, con un funcionamiento hidrológico de carácter esporádico, presentan una morfología característica, con fondo plano y ancho y profundidades de hasta siete metros, con paredes subverticales. Ello es debido a la naturaleza cohesiva de los limos que aparecen en ellas y que facilitan la preservación de los taludes verticales. Además, los caudales de agua de ocasionales tormentas evacúan fácilmente los derrubios de sus

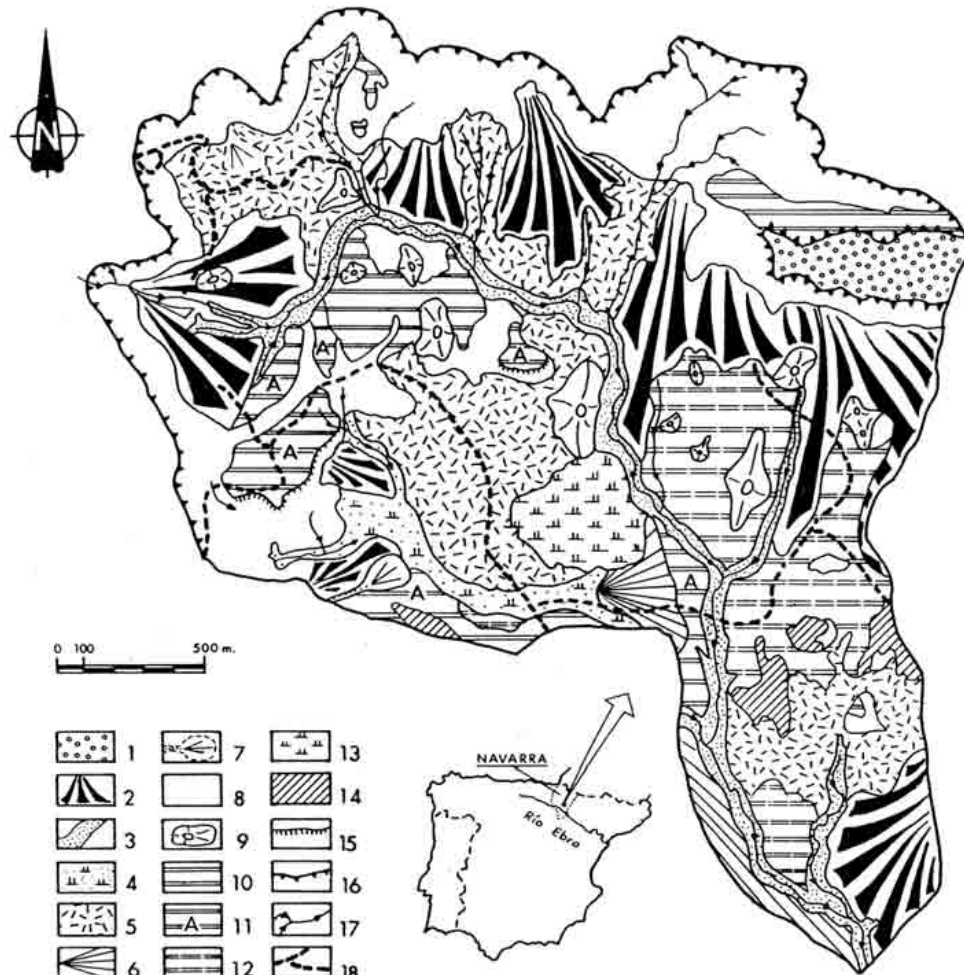


Fig. 1: Mapa geomorfológico
Geomorphological map

1: Terraza superior del río Aragón. 2: Glacis coluviales. 3: Fondos de barrancos. 4: Fondos con predominio de sedimentación activa. 5: Coluvial-aluvial. 6: Cono aluvial. 7: Cono de deyección con borde difuso. 8: Laderas desnudas de la Formación Ujué. 9: Cerro residual. 10: Laderas cubiertas (con suelo) de la Formación Ujué. 11: idem. sobre relieves estructurales. 12: Zonas con recubrimientos cuaternarios discontinuos sobre la Formación Ujué. 13: Zona endorreica. 14: Restos de glacis antiguos. 15: Escarpe en ladera de la Formación Ujué. 16: Escarpe neto de la terraza superior del río Aragón. 17: cauces de barrancos principales. 18: Caminos y pistas.

1: Upper terrace of Aragon river. 2: Colluvial glacis. 3: Steep riverbanks. 4: Riverbanks with preminant active sedimentation. 5: Alluvial-colluvial. 6: Alluvial cone. 7: Cones with diphuse borders. 8: Bare slopes of the Ujué Formation. 9: Residual hill. 10: Soil covered slopes of Ujué formation. 11: Idem over structural relieves. 12: Discontinuous quaternary cover over Ujué Formation. 13: Endorreic zone. 14: Ancient glacis remains. 15: Slope scarp in Ujué formation. 16: net scarp of the upper terrace of Aragon river. 17: Main streams riverbanks. 18: Roads and carriegeways

márgenes. Por sus características, estos barrancos responden a lo que algunos autores han denominado "arroyos" (Schumm & Hadley, 1957).

3. Climatología

Para la caracterización climatológica de la cuenca estudiada se ha recurrido a los datos de las estaciones meteorológicas circundantes más cercanas y a los datos de un pluviómetro totalizador situado a 2 km al Este de la misma.

Tabla I - A: Pluviometría mensual de Cornialto (de Junio de 1987 hasta Junio de 1989). B: Distintos índices de agresividad por lluvia.

A: Monthly pluviometry in Cornialto (from June 1987 to June 1989); B: different aggressiveness indexes by rain

	1987	1988	1989	
E	-	73	7	
F	-	0	31.5	
M	-	10	18	
A	-	130	53	
M	-	33	36	
J	26	107	-	
J	37	17.5	-	
A	1	16	-	
S	2	0	-	
O	71	30	-	
N	22	2	-	
D	64	9	-	
Total	223	427.5	145.5	796

	1	2	3	4	5	6	7	8
P m (mm)	402.0	508.0	308.7	410.0	465.1	446.1	561.1	455.6
p^2/p (x)	29.82		30.02	28.71	26.41	24.07		35.71
p^2/p (σ)	24.07		24.84	28.55	18.88	13.09		28.50
$\Sigma^{12}p^2/p$ (x)	63.63		61.37	62.36	65.92	59.70		69.21
$\Sigma^{12}p^2/p$ (σ)	29.31		25.31	27.15	21.59	17.02		30.03
p mx (24 h)	120.0	112.0		105.0	76.0	105.0	90.7	122.0
R (Icona)		71			60			58

1. Estación de Buñuel; 2. Biota-El Bayo; 3. Cadreita; 4. Caparroso; 5. Carcastillo; 6. Marcilla-Azucarera; 7. Sádaba; 8. Túdela-Azucarera

El pluviómetro totalizador acumula la precipitación caída durante un mes, por lo que sólo da información de los totales mensuales. Los datos recogidos durante el período de estudio se muestran en la tabla 1A.

De las estaciones meteorológicas más cercanas se han estudiado los datos de pluviometría para calcular distintos índices de erosión pluvial. Se han estudiado series consecutivas de datos que oscilan entre 25 y 30 años. En la tabla 1B se muestran los datos correspondientes a la precipitación media en dicho período, el índice de Fournier, el índice de Fournier modificado, la precipitación máxima en 24 h. del período estudiado y por último el factor R calculado para tres estaciones por el ICONA (ICONA, 1988) siguiendo las ecuaciones de regresión desarrolladas por este organismo.

La estación más cercana es Carcastillo, que se encuentra a 9 km hacia el Norte, mientras que la más lejana es Buñel, que se encuentra a 35 km hacia el Sur. Debemos destacar la gran variabilidad de la distribución de las precipitaciones de los cinco meses más lluviosos del período, resultando que la lluvia de esos cinco meses lluviosos suponen el 67% del total de 24 meses.

Por otra parte, las precipitaciones de esta zona tiene un marcado carácter tormentoso. La mayor torrencialidad se produce en Noviembre, apreciándose un aumento gradual desde Agosto. En el observatorio de Tudela desde 1986 se ha contado con un pluviógrafo, que aunque ha funcionado irregularmente, ha proporcionado un dato bastante significativo. En la tormenta del 2 de Octubre de 1987 se registraron en Tudela 66 mm. de los cuales 60 cayeron en el transcurso de una hora. En ese mes en Tudela cayeron 117 mm. En la cuenca objeto de estudio, en dicho mes se recogieron 71 mm. (ver tabla 1A).

4. Edafología y usos del suelo

Los principales tipos de suelos desarrollados en la cuenca han sido cartografiados (fig. 2) y se muestran en el bloque diagrama y en los esquemas de perfiles de la figura 3. Como puede verse en dicha figura se han distinguido seis tipos de suelos distintos en función de su posición fisiográfica, material de origen y características del perfil. La clasificación de los mismos se ha hecho siguiendo la clasificación americana (S.C.S - U.S.D.A., 1975).

Los suelos de la unidad 1 se desarrollan en cuevas sobre estratos duros de areniscas, son someros (40 cm), libres de salinidad o alcalinidad y en buena parte están cultivados. Los de la unidad 2 se desarrollan sobre restos de glaciares formados a partir de la terraza alta que domina toda la cuenca y que han quedado aislados por la erosión posterior. Son suelos moderadamente profundos (< 1m) muy pedregosos y libres de salinidad o alcalinidad en la parte desarrollada a partir del depósito coluvial, mientras que las margas subyacentes son fuertemente alcalinas.

Los suelos de la unidad 3 son los desarrollados en la terraza alta que domina la cuenca estudiada. Son suelos cuya principal característica es la presencia de una costra de caliche (horizonte petrocálcico) a escasa profundidad (40 cm); por lo demás son suelos bastante pedregosos y libres de salinidad. Los suelos de la unidad 4 se desarrollan en laderas de erosión sobre las arcillas margosas y margas de la Formación Ujué, profundos (1 m. o más), salvo los que están erosionados. Muestran un aumento gradual de la salinidad y alcalinidad con la profundidad, a medida que nos acercamos al sustrato arcillo-margoso.

Los suelos de la unidad 5 son los desarrollados en laderas de acumulación bajo escarpes o laderas de erosión, ocupan la cabecera de los rellenos de fondo del valle; son suelos profundos (más de 1 m.), bastante uniformes, que muestran un aumento de la alcalinidad con la profundidad. Localmente se dan fenómenos de sufosión. Por último, los suelos de la unidad 6 son los desarrollados en los rellenos de fondo del valle; sus principales características son su alta alcalinidad y su estructura laminar, dentro de un contexto

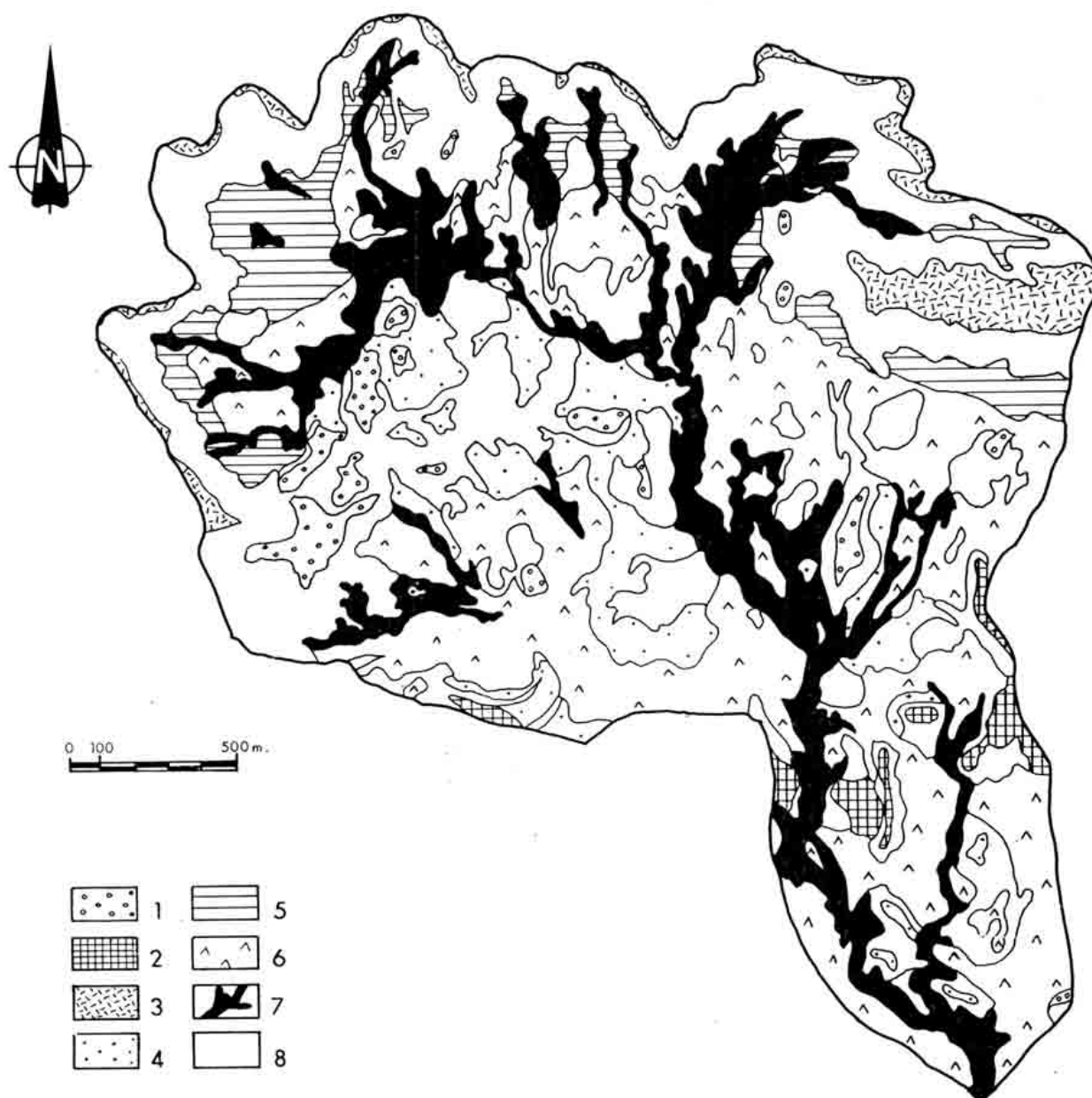


Fig. 2 - Mapa de suelos
Soil Map

1: Lithic Haplustolls. 2: Typic Calciustolls. 3: Petrocalcic Xerochrepts. 4: Ustollic Camborthids. 5: Ustollic Camborthids. 6: Ustic Torrifluvents. 7: Barrancos. 8: Laderas erosionadas (sin suelo). 1: Lithic Haplustolls. 2: Typic Calciustolls. 3: Petrocalcic Xerochrepts. 4: Ustollic Camborthids. 5: Ustollic Camborthids. 6: Ustic Torrifluvents. 7: Steep riverbanks. 8: Eroded slopes (without soils)

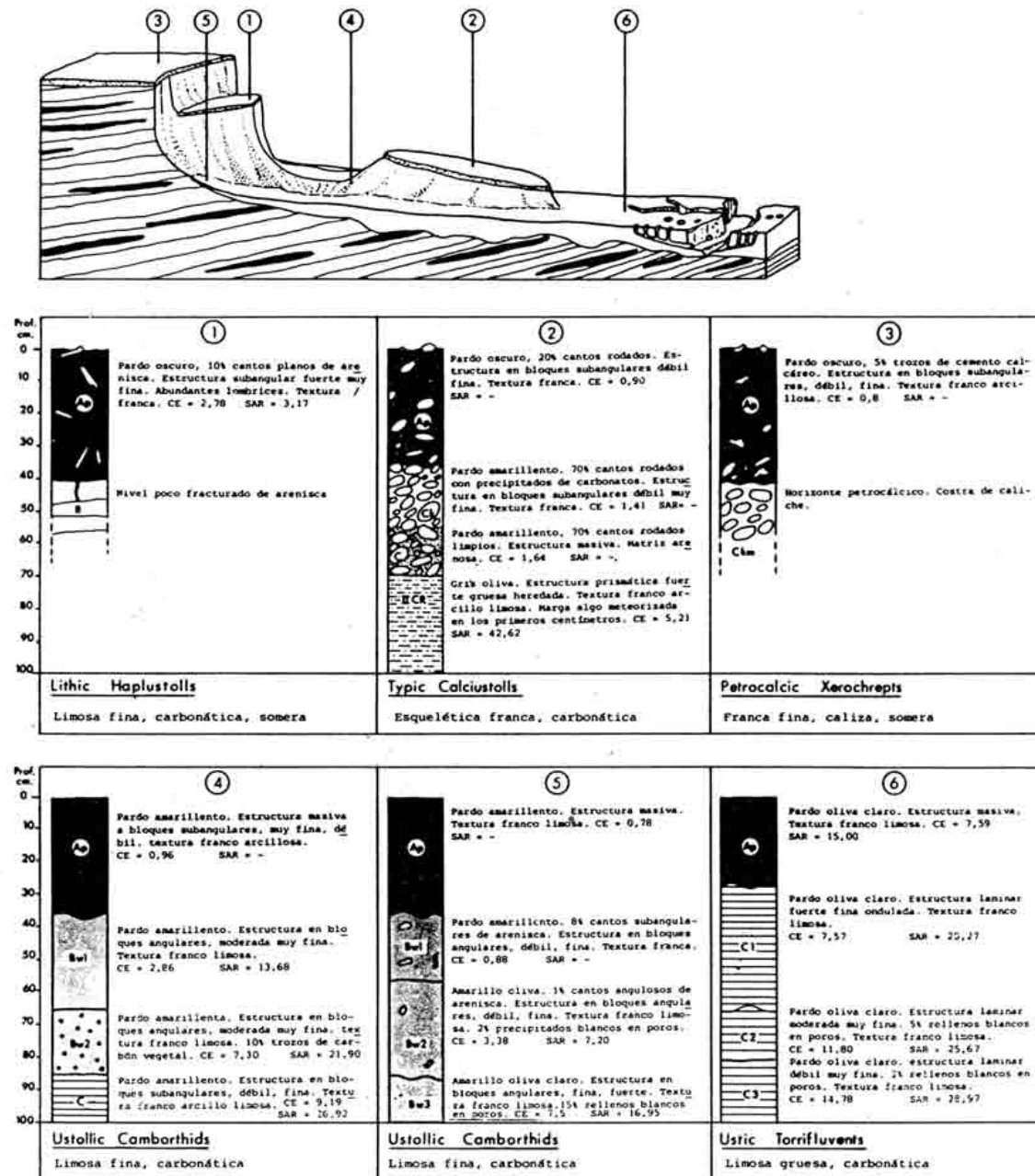


Fig. 3: Perfiles de suelos y relación con su posición geomorfológica

Soil profiles and relation with their geomorphological position

1: Cuesta sobre estrato de arenisca. 2: Resto de glacis antiguo. 3: Terraza alta del río Aragón. 4: Ladera en Formación Ujué. 5: Laderas de acumulación, glacis coluviales. 6: Rellenos de fondo de valle. 1: Sandstone stratum favoured cuesta. 2: Ancient glacis remains. 3: Upper terrace of Aragon river. 4: Slope in Ujué formation. 5: Colluvial glacis and accumulation slopes. 6: Valley infilling

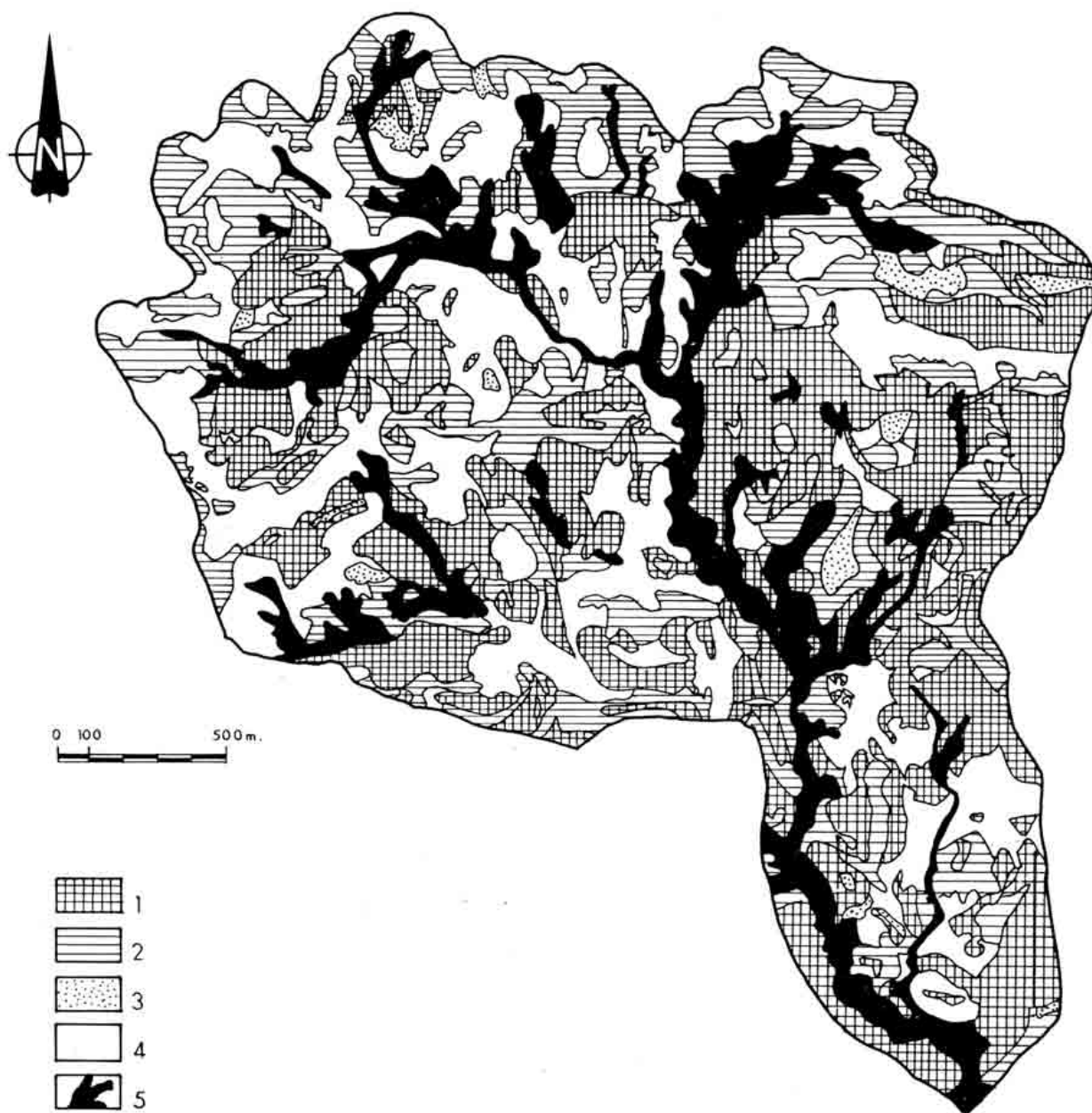


Fig. 4 - Mapa de usos
Land use map

1: Campos de cultivo. 2: Pastizales. 3: Matorral. 4: Laderas erosionadas (sin suelo). 5: Barrancos. 1: Crop fields. 2: Pastures. 3: Brushwood fields. 4: Eroded slopes (without soils). 5: Steep riverbanks

general de texturas limosas, lo que da lugar a extensos fenómenos de erosión por barrancos, sufosión y acarcavamientos.

El uso actual del suelo en el área estudiada es el siguiente: 10,7 Ha. de matorral, 133,3 Ha. de pastizal, 173,6 Ha. de campos de cultivo de cereal con una rotación de año y vez, 139 Ha. de barrancos y 104,9 Ha. de áreas totalmente erosionadas, que suponen un total de 552,5 Ha. (fig. 4).

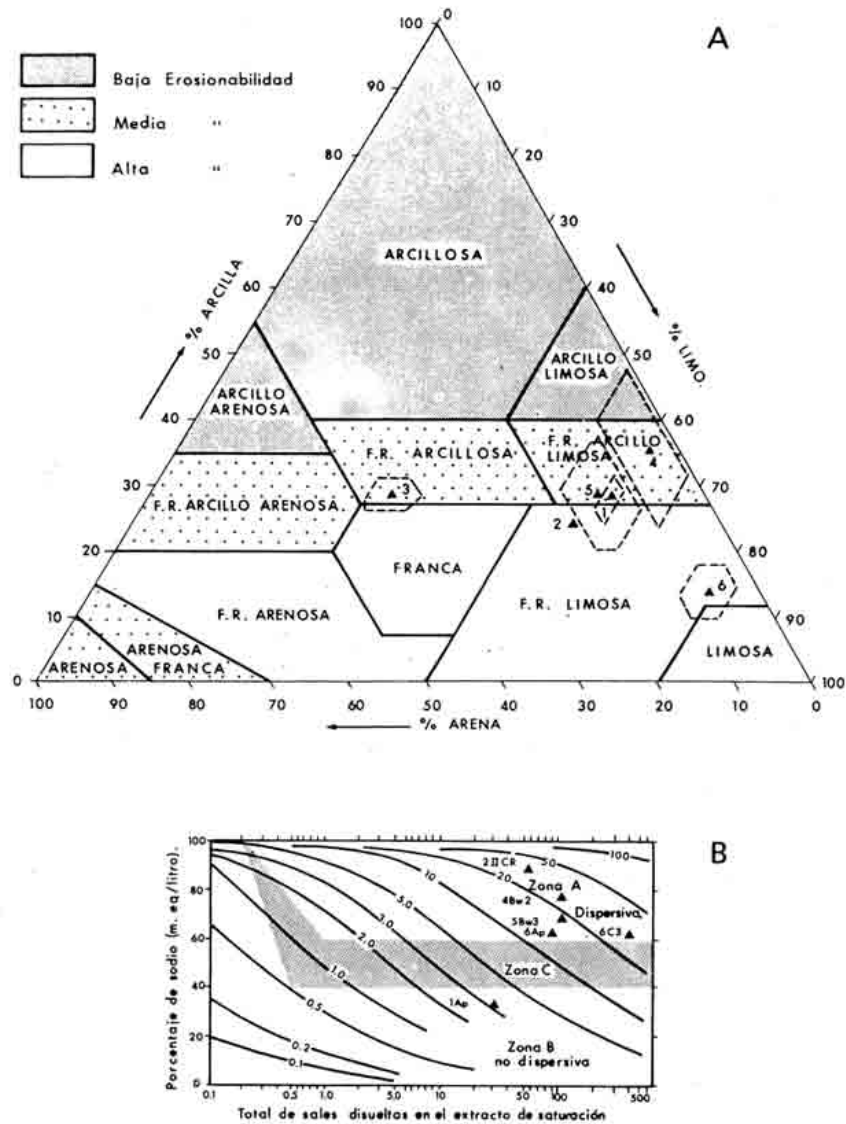


Fig. 5 - A: Texturas de secciones de control y relación con la evaluación del riesgo de erosión del suelo por clases texturales de Giordano (1988). B: Diagrama de susceptibilidad a la tubificación (Sherard *et al.*, 1976), con la situación de horizontes de los distintos tipos de suelos. Ver fig. 3. A: Textures in control sections and relation with the soil erosion hazard by textural classes (Giordano, 1988). B: Diagramme of susceptibility to piping, with the situation of horizons from the different kind of soils. See fig. 3

La vegetación potencial de esta zona es de encinar (*Pupleuro-Quercetum rotundifoliae*) en la terraza alta y los glacis, de pinar con romeral (*Rosmarino-Linetum suffruticosae*) en las laderas y de vegetación herbácea halófila (espartales) en los fondos de los valles salinos. Esta vegetación ha sido profundamente alterada por el hombre a lo largo de la historia debido a talas, carboneo, quemas, pastoreo abusivo y roturaciones; actualmente se dan los usos arriba descritos, no quedando ni rastro del bosque, sino restos de matorral: principalmente romero (*Rosmarinus officinalis*, L.), coscoja (*Quercus coccifera*, L.) y enebro de la miera (*Juniperus phoenicea*, L.).

5. Procesos actuales de erosión

La susceptibilidad del suelo a la erosión según sus tipos texturales (Giordano, 1988) es media en cinco de los suelos presentes y alta en los que se desarrollan sobre los fondos del valle (fig. 5A). Además presentan todos alta dispersabilidad y, por tanto, facilidad para la formación de conductos subsuperficiales, excepto los de la unidad 1 (fig. 5B), aunque los condicionantes hidrológicos y morfológicos determinen que sólo aparezcan estos procesos en los fondos de valle y laderas de acumulación, ligados muy directamente al funcionamiento hidráulico de los barrancos.

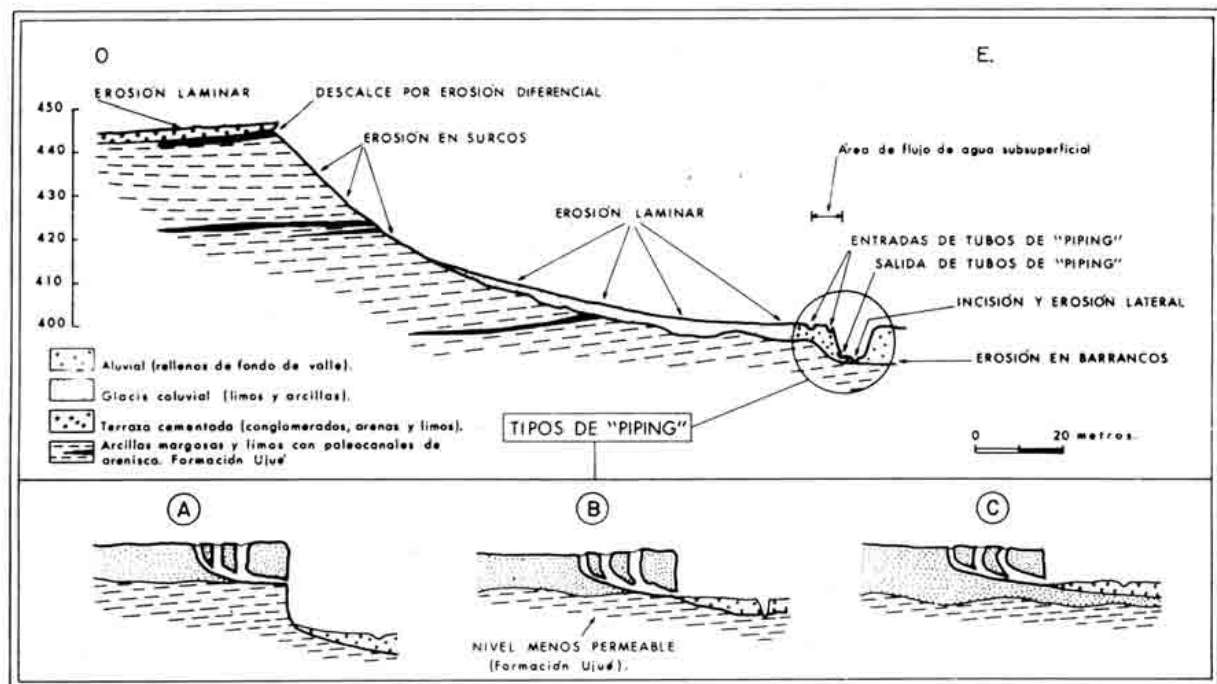


Fig. 6 Esquema de los principales procesos erosivos implicados y de los tipos más característicos de "piping" en función de la profundidad del sustrato y del barranco.
Scheme of the main erosional processes and most characteristic types of piping related to substratum and gully depths

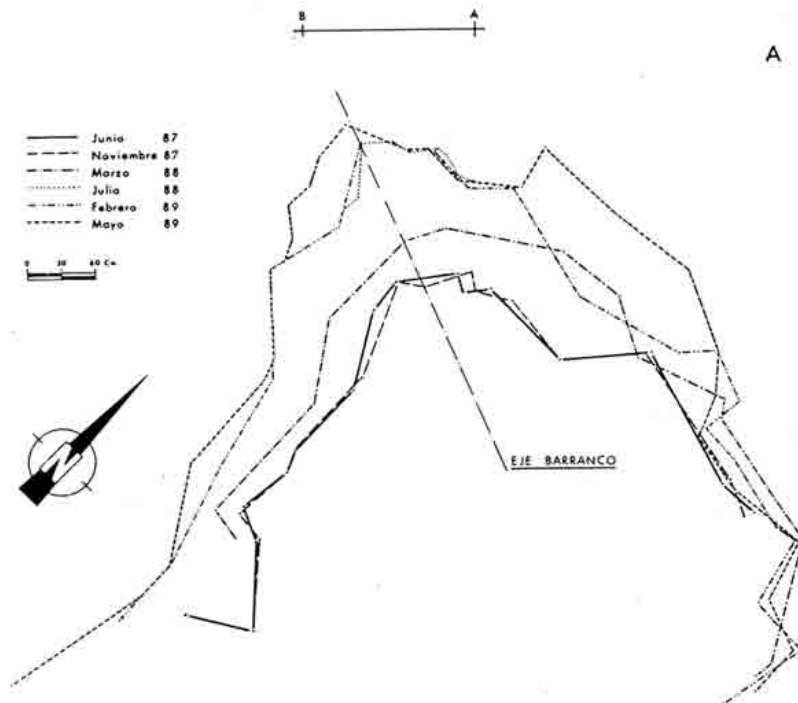


Fig. 7 - A: Esquema de sucesivas plantas de la cabecera de un barranco a lo largo del tiempo.
(A: Scheme of successive plans of a gully head along the time.)

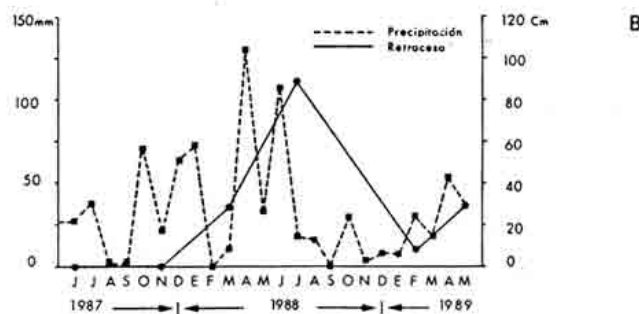


Fig. 7 - B: Relación entre la pluviometría mensual y el retroceso según el eje del barranco.
(Relation between monthly pluviometry and degradation following the gully axis).

En la figura 6 se esquematizan las principales tipologías de erosión presentes en el área de estudio. El "piping" (o sufosión) constituye un proceso de pérdida de suelo con amplia representación en laderas de acumulación y, sobre todo, en fondos de valle, especialmente eficaz de cara al retroceso de cabeceras de barrancos y a la ampliación lateral de los mismos. Se han distinguido tres modelos de "piping" asociados a barrancos,

controlados por a) La profundidad a la que se encuentra el sustrato arcillo-margoso; b) La profundidad del barranco y del sustrato; c) La profundidad del barranco.

La aparición de encostramientos sobre los suelos de las unidades 4, 5 y 6 favorece el desarrollo de redes de drenaje superficiales y, en las dos últimas, también subsuperficiales. La salinidad, otro factor empobrecedor de los suelos se presenta de forma muy importante en los fondos endorreicos y semiendorreicos.

Por último, se ha podido constatar un retroceso de 1,60 m. en dos años en la cabecera de un barranco, en estrecha relación con la precipitación mensual (fig. 7).

8. Conclusiones

Los principales resultados obtenidos a partir de este trabajo son los siguientes:

1) Las características geomorfológicas y los tipos de suelos desarrollados condicionan fuertemente los diferentes tipos erosivos.

2) A pesar de los relativamente bajos valores de los índices de agresividad por lluvia, la irregular repartición de las precipitaciones favorece notablemente la erosión.

3) La mayoría de los tipos de suelos presentan una alta susceptibilidad a las dispersabilidad y media e incluso alta (en los fondos del valle) erosionabilidad intrínseca.

4) Como otros autores han supuesto de manifiesto en distintas áreas de la cuenca del Ebro (García-Ruiz *et al.*, 1986; Gutiérrez *et al.*, 1988), el "piping" constituye un proceso denudacional de suma importancia.

5) La gran escasez de vegetación, en gran parte debido a la actividad actual e histórica del hombre, es un factor fundamental de cara al estado actual de erosión y de progresivo empobrecimiento del suelo.

6) Dada la baja productividad de los cultivos de cereal implantados sobre fondos de valles y laderas de acumulación, principalmente, y el alto riesgo de erosión de los mismo, sería más adecuado favorecer la evolución del pasto natural (Lax, 1988) en gran parte de las áreas dedicadas actualmente a dichos cultivos.

7) Si bien las medidas de erosión (conjuntos de clavos y topografías del retroceso de cabeceras de barrancos) son aún escasas en el tiempo para establecer tasas reales de erosión, éstas apuntan a una gran eficacia del proceso en ciertas zonas de la cuenca y mucho menor en otras, dependiendo de distintos factores (posición geomorfológica, insolación, desarrollo de costras, pendientes, vegetación, etc).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado dentro de un convenio de colaboración entre el I.S.C.P.N. (Instituto del Suelo y Concentración Parcelaria de Navarra) y el I.T.G.E. (Instituto Tecnológico Geominero de España). Los análisis han sido realizados por el Laboratorio Químico de Navarra perteneciente al Gobierno de Navarra. Agradecemos al Dr. M. Donézar (Director del I.S.C.P.N.) su apoyo e interés para la realización de este trabajo, así como a A. Vicente (I.S.C.P.M.) y a M. Hernández (I.T.G.E.) su colaboración. La delineación fue realizada por F. Ramírez y la mecanografía por F. Camacho, ambos pertenecientes al I.T.G.E.

Referencias bibliográficas

Brian, R. y Yair, A., Eds. 1982: *Badlan Geomorphology and Piping*. Geobooks, 408 p. Norwich.

- Font, I., 1983: *Climatología de España y Portugal*. Inst. Nac. de Meteorología, 296 p. Madrid.
- García-Ruiz, J.M., Lasanta, T., Ortigosa, L. & Arnáez, J. 1986: Pipes in cultivated soils of la Rioja: origin and evolution. *Z. Geomorph. N. F.*, 58:93-100.
- Giordano, A. 1988: The project "Soil erosion risk and important land resources" in the Corine Program. *Seminario Corine*, Madrid 17-18 de Noviembre. No publicado.
- Glantz, M.H., 1987: Sequía en Africa. *Investigación y Ciencia*, 131:26-33.
- Gutiérrez, M., Benito, G. & Rodríguez, J. 1988: Piping in badland areas of the middle Ebro basin, Spain. *Catena Suplemenmt*, 13:49-60.
- I.C.O.N.A. 1988: *Agresividad de la lluvia en España*. Minist. de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- Lax, L.M. 1988: *Estudio del medio físico de las Bardenas Reales: "el ganado ovino"*. Dpto de Agricultura, Ganadería y Montes del Gobierno de Navarra. No publicado.
- S.C.S.- U.S.D.A. 1975: Soil Taxonomy. *Agriculture Handbook*, nº 436, Washington D.C.
- Schumm, S.A. & Hadley, R.F. 1957: Arroyos and the semiarid cycle of erosion. *American Journal of Science*, 255:161-174.
- Solé, J. 1976: *Hoja geológica 1:50.000, Sábada*. Inst. Geológ. y Min. de España. Madrid.
- Stocking, M.A. 1980: Examination of the factors controlling gully growth. In De Boot, M. y Gabriels, D., editores, *Assessment of erosion*, John Wiley and Sons, 505-520, Chichester.
- U.N.C.O.D. 1977: *Desertification, its causes and consequences*, Pergamon Press, 448 p., New York.

Trabajo presentado a la II Reunión de Cuaternario Ibérico, Madrid, 1989