

**PROCESOS DE EROSION EN TUNEL (PIPING) EN CUENCAS
SEDIMENTARIAS DE MURCIA (ESPAÑA). ESTUDIO PRELIMINAR
MEDIANTE DIFRACCION DE RAYOS X Y MICROSCOPIO ELECTRONICO
DE BARRIDO**

Francisco López Bermúdez*
Luisa Torcal Sáinz**

RESUMEN

Los procesos de erosión en túnel (*piping*) tienen gran importancia en el modelado de las cuencas sedimentarias semiáridas del Sureste español. Sus formas resultantes se hallan muy esparcidas y en diverso grado de evolución por todo el territorio.

En el presente trabajo, se repasa brevemente la terminología conceptual del proceso, que áreas han sido estudiadas hasta ahora en España, qué factores intervienen en la génesis y desarrollo del *piping* a la luz de trabajos anteriores y qué rasgos medioambientales más importantes presentan las dos áreas de estudio seleccionadas: *Cuenca de Mula* y *Campo de Mazarrón*.

Se han estudiado muestras representativas, a tres niveles diferentes, de ambos ambientes sedimentarios, neógeno y cuaternario. A las muestras se le han realizado análisis granulométricos, de difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido (M.E.B.). Los resultados obtenidos indican importantes diferencias de porosidad, permeabilidad y mineralogía. La proporción total de arcillas es similar, sin embargo, las cantidades de esmectitas, illita y clorita varían sustancialmente de uno a otro depósito.

Estos resultados, unidos a la frecuencia y tamaño de los poros, y al grado de cementación que presentan los distintos niveles de los perfiles edáficos, condicionan el diferente ritmo en la génesis y evolución de los conductos, mucho más activos y desarrollados en la cuenca neógena de Mula. Con el tiempo, sin embargo, su expresión en el paisaje es casi idéntica. La capacidad de transmisión hidráulica entre los niveles subsuperficiales del suelo y las escorrentías de superficie, es decir, el grado de saturación de los suelos, favorece el proceso de *piping*. Proceso básico en el excavado y retroceso de muchas laderas, así como en el encajamiento de las escorrentías y formación de cárcavas.

Palabras clave: Clima semiárido, microscopio electrónico de barrido, difracción de rayos X, conductos naturales, sedimentos, margas, arcillas, cárcavas, abarrancamiento.

**PIPING IN SEDIMENTARY BASINS IN MURCIA (SPAIN): PRELIMINARY RESULTS FROM
X-RAY DIFFRACTION AND SCANNING ELECTRON MICROSCOPY ANALYSIS**

SUMMARY

Soil erosion by piping is an important process in the morphological development of semi arid sedimentary basins in south east Spain. Pipes occur throughout the territory in varying degrees of evolution.

This work presents a brief summary of the terminology of the process, and outlines which areas have been studied in Spain hitherto, which factors are associated in the genesis and development of piping based on previous work, and the most important environmental factors present in the two study areas chosen - the Mula basin and the Mazarron district.

Representative samples from three different depths have been studied in both the neogene and quaternary sedimentary environments. The samples have been studied by particle size analysis, X-ray diffraction analysis, and scanning electron microscopy analysis. The results obtained indicate important differences in porosity, permeability and mineralogy. The proportion of clay is similar, but, nevertheless, the quantities of smectite, illite and chlorite vary substantially between the two deposits.

* Departamento de Geografía Física, Universidad de Murcia. 30001 Murcia.

** Departamento de Edafología y Geología. E.T.S.I. Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. 28040 Madrid.

These results, together with the frequency and size of the pores and the grade of cementation between different horizons in the soil profiles, account for the different rates of genesis and evolution of the pipes, which are more active and better developed in the neogene Mula basin. With time their morphological impact is almost identical. The capacity for water movement in the soil at different depths and on the surface, that is the grade of saturation of the soils, favours piping. This is a basic process in the excavation and retreat of many slopes, and also in the routing of surface flow and the formation of gullies.

Key words: Semi arid climate, scanning electron microscopy, X-ray diffraction, pipes, silts, marls, clays, gullies, badlands.

Introducción

Los procesos y las formas de modelado por sifonamiento, sufusión o *piping*, tienen un gran significado en el contexto de los sistemas morfogenéticos, hidrológicos y, en definitiva, de los fenómenos de erosión. Los numerosos trabajos sobre *piping*, *pipes* y *pipes flows* (Parker, 1963; Rosewell, 1970; Heede, 1971; Jones, 1975, 81, 82; Crouch, 1976; Stocking, 1976; Chorley, 1978; Morgan, 1979; Embleton & Thornes, 1979; Gilman & Newson, 1980; Whipkey & Kirkby, 1980; Smart & Wilson, 1984; Wilson & Smart, 1984, entre otros), especifican un gran número de teorías, hipótesis y experiencias sobre los procesos y génesis que conducen a este original sistema de drenaje subsuperficial y de modelado, bajo diferentes dominios climáticos.

La terminología conceptual relativa al *piping* es muy amplia así como los diferentes sistemas de clasificación, con lo que, con frecuencia, confunden la variedad de modelados y procesos que se intenta describir. Jones (1981) en una densa e interesante monografía sobre la naturaleza de los suelos con *piping*, pasa revista a un elevado número de términos y definiciones sobre el complejo proceso. Así, para Chorley (1978), el *piping* es conceptualizado como «la formación de conductos (*pipes*) naturales en el suelo o en otros depósitos no consolidados por eluviación o por procesos de erosión diferencial subsuperficial». Parker (1963) lo define como «el desarrollo natural del drenaje subsuperficial en rocas clásticas relativamente insolubles en medios secos (regiones áridas y semiáridas)». El proceso también es definido como «erosión por la cual el suelo es transportado por el agua de escorrentía a través de agujeros subterráneos» (Heede, 1971), o como la «formación de conductos subterráneos por remoción de las fracciones arcillas y limos debido a la percolación del agua en materiales clásticos» (Jennings, 1971).

En general, el aspecto dominante en casi todas las definiciones sobre *piping* y sus variantes, es que el desarrollo de estos conductos hipodérmicos va siempre ligado a la presencia de materiales no consolidados que pueden ser fácilmente evacuados en estado disperso por flujos hídricos. Son, pues, procesos de erosión mecánica y por disolución los que intervienen, predominantemente, en la iniciación y desarrollo del *piping* y, en particular, en materiales finos (arcillas, limos y arenas) con alto contenido en sodio y en arcillas hinchables del tipo montmorillonita, los cuales favorecen la dispersión del material y el agrietamiento superficial del suelo. El agua,

al arrastrar las partículas de menor calibre de una formación detrítica granular, produce una oquedad que es ensanchada progresivamente por la entrada de nuevos flujos hídricos en el suelo. El proceso finaliza con la formación de cárcavas en diverso grado de evolución.

Antecedentes

En la explicación de los mecanismos de erosión mediterráneos en la península Ibérica, se han formulado y publicado notables conceptos y experiencias geomorfológicas, sin embargo, el proceso de erosión subsuperficial conocido como *piping*, ha sido escasamente tratado por los investigadores españoles y extranjeros. La presencia de tubificaciones en materiales casi siempre finos y blandos ha sido señalada por Cano García (1975) en el área de Guadix, donde el fenómeno registra fuerte intensidad, así como en otros lugares del paisaje subárido de las provincias de Almería y Granada. Es, sin embargo, la Depresión del Ebro y La Rioja, donde el proceso ha sido más extensamente estudiado por Mensua e Ibáñez (1975), Zuidam (1976) y, sobre todo, por Gallart (1979), Rodríguez Vidal (1983), Gutiérrez Elorza y Rodríguez Vidal (1984, 1986), Lasanta (1985), García Ruiz et al. (1986) y Gracia Prieto (1986), quienes efectúan un análisis pormenorizado del proceso de erosión en túnel, drenaje y regatos subsuperficiales.

Las repercusiones que los procesos de *piping* tienen en la erosión hídrica y en la génesis y desarrollo de algunos sistemas de *badlands* de los medios semiáridos peninsulares, además de los autores citados anteriormente, han sido tratados por Harvey (1982), Romero Díaz y López Bermúdez (1985).

De los estudios hasta ahora realizados en España se desprende que, los *pipes*, son formas de erosión tubiculares o en conductos, aparecen en amplios sectores de las regiones semiáridas españolas, donde el frágil equilibrio natural ha sido perturbado por usos del suelo inadecuados. La rápida erosión hídrica de estas áreas, produce un modelado de disección y hundimientos que desemboca en el abarrancamiento y produce altas tasas de sedimentación.

Factores que intervienen en la génesis y desarrollo del piping

El *piping* constituye un conjunto de procesos geo-

morfológicos actuales muy activos en las formaciones sedimentarias blandas del Sureste español semiárido. Numerosos factores y mecanismos pueden intervenir en el desarrollo de conductos, tubos, túneles y galerías; la amplia diversidad de formas y variedad de escalas a las que se encuentran parece confirmarlo. Las teorías acerca de la naturaleza y génesis de los suelos con *piping*, son muchas, la más extensa colección de datos la ofrece Jones (1981).

Si bien el *piping* se encuentra en casi todas las regiones morfoclimáticas, es en las semiáridas donde alcanza mayor desarrollo (Parker, 1963; Barendregt & Ongley, 1977). En síntesis, la mayor parte de los trabajos sugieren como factores que intervienen en su desarrollo inicial, los siguientes:

- condiciones climáticas semiáridas, y en concreto la cantidad y régimen de lluvias. Las esporádicas e intensas lluvias de tormenta alimentan rápidamente los conductos y evacúan el material. Son, pues, necesarios, los importantes gradientes hidráulicos que suministran las lluvias de tormenta;
- amplios períodos sin lluvias y cálidos que des sequen y agrieten los materiales finos;
- textura y estructura del suelo. La susceptibilidad a ciertos fenómenos físicos y químicos tales como la pérdida de cohesión, dispersión y perforación que ofrecen los suelos con altos contenidos en arcilla y limo y, en particular, con elevada proporción de arcillas hinchables como la montmorillonita, illita y bentonita;
- diferente erodibilidad y permeabilidad de los materiales no cohesivos en las diferentes capas del suelo y subsuelo;
- suelos con alto contenido en sales solubles que ofrezcan una capacidad de cambio de bases elevada, particularmente con el sodio. La percolación del agua y el lavado correlativo del sodio, acarrea la dispersión del material y su fácil remoción y transporte por las escorrentías subsuperficiales;
- la vegetación degradada y regresiva favorece los procesos anteriores;
- determinadas acciones humanas tales como la deforestación, sobrepastoreo, aterrazamientos, abandono de terrenos cultivados en seco... tienen inequívocas repercusiones;
- pendientes, orientación de laderas, acción biológica de animales y raíces, pueden favorecer en determinadas circunstancias el proceso de *piping*.

En general, en cada contexto bioclimático y edafogeomorfológico, los factores que inician y desarrollan el *piping* pueden ser diferentes, unos lo desencadenan por sí mismos y otros ayudan a la creación de estas tubificaciones.

Areas de estudio

La erosión en *piping*, en el presente estudio, ha sido muestreada en dos ámbitos diferentes de la Región de

Murcia (fig. 1): *Cuenca de Mula* (hoja 912 del M.T.N., E.1/50.000) y *Campo de Mazarrón* (hoja 976), si bien el proceso y las formas generadas se hallan muy extendidas y en diverso grado de evolución por otras comarcas murcianas y por las provincias vecinas de Alicante, Almería y Granada, en donde predominan los materiales neógenos y cuaternarios. En este amplio territorio, los *pipes* se encuentran asociados, con frecuencia, a otras formas de erosión y modelado: regatos (*rill*), surcos (*gullies*), abarrancamiento (*badland*), escorrentías superficiales (*overland flow*), movimientos en masa de variable envergadura (*landslides*) y glaciais.

La *Cuenca de Mula*, en el centro de la región, drenada por el río del mismo nombre, se halla rellena por materiales neógenos de granulometría fina, escasamente cementados y mal consolidados; en algunos sectores aparecen parcialmente recubiertos por sedimentos cuaternarios de granulometría más grosera. El complejo margoarcilloso tortoniense, contiene elevada proporción de sales solubles de calcio, potasio y notoriamente de sodio (Brigs & Shishira, 1985). Las condiciones bioclimáticas se explicitan en unas precipitaciones que no alcanzan los 300 mm de media anual, irregularmente repartidas en otoño y primavera y, con intensidades horarias elevadas, del orden de los 50 y más mm en 24 horas. El amplio período estival abarca de cuatro a cuatro meses y medio y es completamente seco muchos años. Las temperaturas medias anuales oscilan alrededor de los 18 °C, mientras que el número de días con temperaturas superiores a los 30 °C sobrepasa los cien al año. La indigencia pluviométrica y el fuerte potencial evaporante de la atmósfera dan como resultado una evapotranspiración potencial superior a los 900 mm anuales. El balance hídrico es, pues, muy negativo, el déficit supera los 600 mm al año.

La cubierta vegetal es muy débil o prácticamente inexistente y tiene un carácter abierto y estepario. Las especies más frecuentes son: *Thymus*, *Stipa*, *Sideritis*, *Salsola*, *Rhamnus*... todas ellas pertenecientes al tipo de matorral bioclimático *Chamaeroporhamnetum*.

El *Campo de Mazarrón*, situado al sur de la región y limitado por el mar Mediterráneo, presenta unas condiciones bioclimáticas similares a las de la *Cuenca de Mula*, escasas lluvias (275 mm de promedio anual) centradas en un corto número de días, temperaturas elevadas todo el año (18'5 °C de media), fuerte déficit hídrico que rebasa los 700 mm al año, y una cubierta vegetal de matorral xerófilo en donde predomina una especie: el salado negro (*salsola genistoides*), y en menor proporción la ruda (*ruta chalepensis*, *ruta pubescens*), esparraguera (*asparagus stipularia*), espartizal (*stipa tenacissima*) y tomillar (*thymus*).

Las condiciones geomorfológicas y las formaciones detríticas superficiales son, sin embargo, diferentes, aquí los materiales coluviales del Cuaternario meteorizados y arrastrados desde los relieves periféricos volcánicos (dacitas, riocitas, tobas, vitrófilos y andesitas), metamórficas (cuarcitas, micaesquistos, gneises) y calizos, que se han sedimentado sobre las margas, arenas y areniscas de los piedemontes, han originado un extenso glacis. La

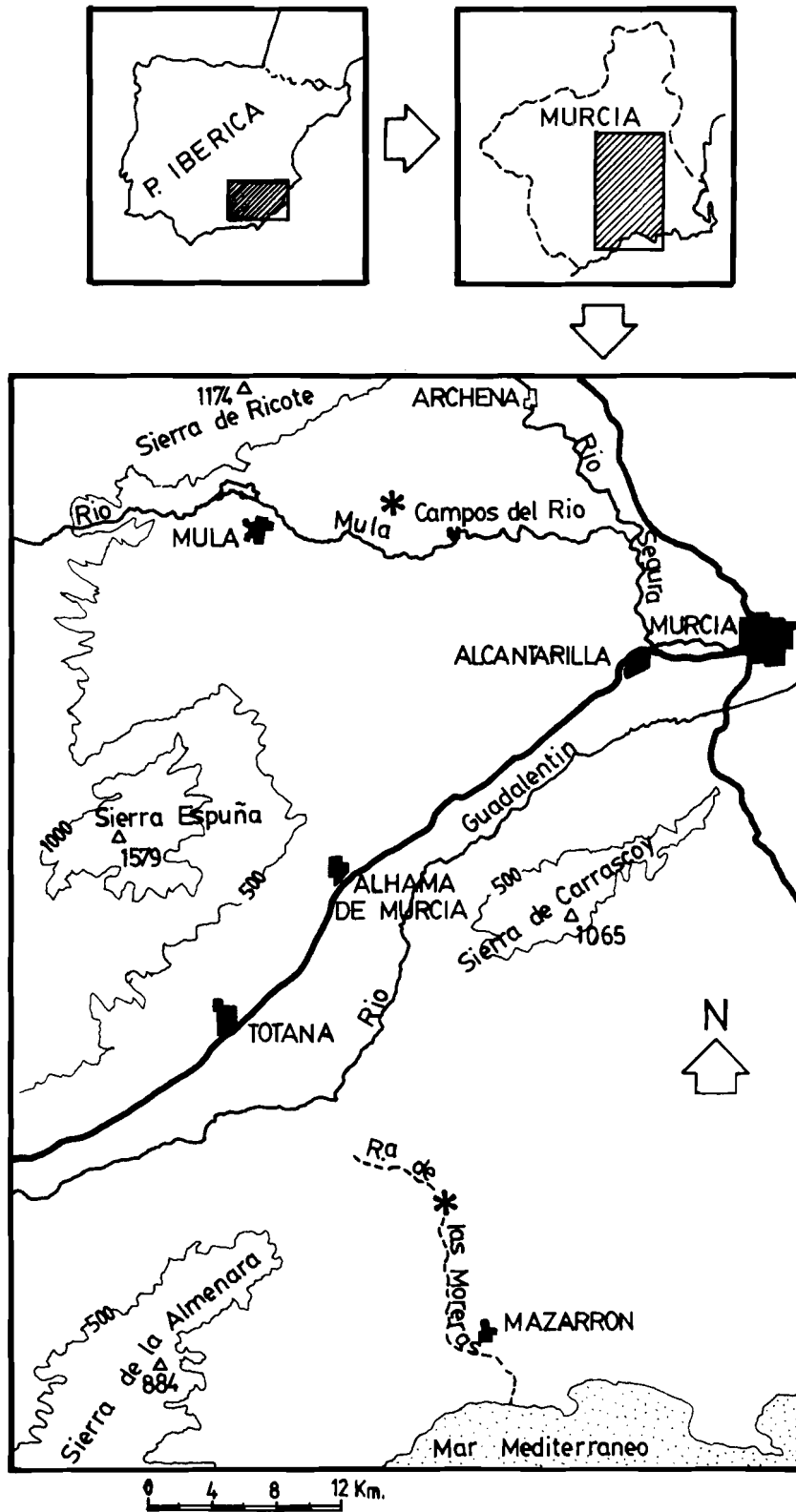


Fig. 1.—Esquema de situación y localización de las dos áreas estudiadas* en la Cuenca de Mula y Campo de Mazarrón, respectivamente.



Fig. 2.—Abarrancamiento por *piping* en margas neógenas de la Cuenca de Mula. Sobre terrazas de cultivo de secano, abandonadas en el año 1975, se desencadenan procesos de erosión por sufusión, muy activos, que desmantelan suelos y originan grandes cárcavas (foto tomada el 20-10-86).

granulometría del depósito es mucho más grosera que la de la formación margo-arcillosa de Mula.

Estas condiciones, unidas a unas actuaciones humanas que, en primer lugar aterrizaron y cultivaron amplios sectores con cultivos muy precarios de almendros, olivar y cereal en años favorables de humedad, y después abandonaron, propiciaron el desencadenamiento de unos activos procesos de erosión que desmantelaron los suelos y generalizaron el abarrancamiento. Entre ellos, el

piping ha tenido y tiene una activa participación.

En estos dos extensos territorios semiáridos, las formas tubiculares (*pipes*) se encuentran muy repartidas, entre ellas hemos seleccionado dos áreas para el análisis de los materiales en los que se inscriben. En la *Cuenca de Mula*, el sector comprendido entre la población de Campos del Río y la aldea de Los Rodeos, margen derecha del río Mula, ofrece un excelente ejemplo de estas formas y procesos (fig. 2). En superficie, hoyos o agujer-



Fig. 3.—Detalle del afloramiento de un conducto, al pie del talud que separa dos terrazas de cultivo. Área de Mula (29-9-85).

ros de diferentes diámetros y estado de evolución, semejantes a las torcas de un karst, se inician con pocos centímetros y van aumentando progresivamente de tamaño. El hundimiento de las bóvedas y el arrastre de los materiales por los flujos hídricos, origina unos conductos verticales o chimeneas entre 3 y 6 metros de profundidad, aquí se organizan un conjunto de canales o tubos sinuosos y más o menos horizontales a la superficie topográfica, de variable diámetro, su frecuente unión da como resultado cavidades y galerías de dimensiones

métricas por las que es posible acceder al interior (fig. 3). Los *pipes* emergen al exterior en el escarpe entre las terrazas de cultivo.

En el *Campo de Mazarrón*, el área seleccionada se halla en el paraje conocido como «el Saladillo» y junto a la rambla de las Moreras. Su estado de evolución ha conducido al colapsamiento de bóvedas y galerías con la correlativa aparición de grandes hoyos de dimensiones de hasta 31 m de largo, 7 de anchura máxima y más de 3 m de profundidad; los perímetros suelen ser festonados



Fig. 4.—Aspecto de la cárcava originada por hundimiento de la bóveda y evacuación de sedimentos, en los materiales neógeno-cuaternarios del Campo de Mazarrón. Terreno cultivado hasta el año 1972 y posteriormente abandonado (23.5.85).

(fig. 4). Los conductos de drenaje efímero, descubiertos por hundimiento de las bóvedas o todavía en túneles, desembocan en los bordes del glacis que, en el caso que se describe, es un escarpe vertical de varios metros originado por la erosión fluvial y lateral de la rambla de las Moreras.

Objetivos y metodología

Entre los numerosos factores que intervienen en la génesis y desarrollo del *piping*, se apuntaban la porosidad, permeabilidad y mineralogía del suelo. De hecho, nos proponíamos investigar, en las dos áreas selecciona-

das, dos problemas importantes, primero el proceso de encajamiento y evolución de los *pipes* a diferentes niveles del subsuelo y el motivo por el cual alcanzada determinada profundidad el hundimiento de los conductos se ralentiza y detiene, para entonces activar los procesos de erosión lateral y subsecuentemente ensanchar tubos y galerías. En segundo lugar, estudiar por qué causa, en materiales aparentemente poco permeables, como el complejo margo-arcilloso, se registran estos flujos hipodérmicos, efímeros, pero de elevada energía. Para ello, se tomaron tres muestras de suelo en los perfiles verticales de ambos sectores con procesos de sifonamiento: en superficie (N1), a 200 cm de profundidad (N2) y a 420 cm (N3), en la *Cuenca de Mula*, y en superficie (S1), a 140 cm (S2) y a 325 cm (S3) en el área del *Campo de Mazarrón*.

El estudio de las muestras seleccionadas se ha realizado utilizando distintas técnicas: análisis granulométrico, microscopía electrónica de barrido y difracción por rayos X.

La mineralogía de las muestras, tanto su composición global (fracción <63 μm) como la mineralogía de las arcillas (fracción <2 μm); A.O. —agregado orientado—, A.O. gliconado y A.O. 550 °C, se ha determinado mediante difracción de rayos X. El aparato utilizado es un difractor Philips modelo PW 1.050/81 (Cu K α radiación).

Para conocer las características de los sedimentos y las interrelaciones de los distintos componentes del mismo, se montaron fracciones de material en un portamuestras para S.E.M. (Scanning Electron Microscopy), recubiertas con pegamento de carbón conductor (c.c.c. de Leit) con el fin de aumentar la conductividad, posteriormente se metalizaron con platino en un Diode Sputtering System, Type P-S1. Las muestras se visualizaron en un S.E.M. IST, modelo MS.M.5, Mini-Sen, fotografiándose con una cámara Mamiya incorporada al microscopio. Esta técnica ha sido utilizada por otros autores, sobre todo en sedimentología (Stoops, et al., 1977; Lewin & Charola, 1978; Whalley, 1979; Whalley et al., 1982; Torcal, et al., 1984; Mc Greevy, 1985 y otros). El análisis granulométrico se realizó sobre las partículas con diámetro inferior a 2 mm, excluyéndose, pues, los

gruesos. En la fracción arcilla, se incluyen partículas de caliza, como puede comprobarse en los análisis de difracción. Finalmente, la permeabilidad de los depósitos ha sido determinada por el modelo de infiltración de Hills (1970).

Resultados y discusión

El estudio de la frecuencia con la que las partículas de diferentes dimensiones aparecen en los depósitos, permitió diferenciar la granulometría de las dos áreas estudiadas. Como puede observarse en el cuadro que reproducimos al pie, el depósito cuaternario del área de Mazarrón es mucho más grosero que el neógeno de Mula. Como cabía esperar, las fracciones arena fina, limos y arcilla son las que predominan en el depósito marino del área de Mula, su permeabilidad es muy inferior a la del depósito cuaternario.

En conjunto, los valores obtenidos indican distintas respuestas hidrológicas (López Bermúdez, et al., 1984) aunque con resultados similares en diferente estadio de evolución: el inicio y desarrollo de formas tubiculares que contribuyen a la erosión de los suelos y al abarrancamiento. Estos resultados no aclaran mucho los complejos procesos de *piping* que se registran en ambas áreas, por ello se recurrió a prospecciones mucho más finas.

a) Mineralogía (análisis total)

La serie N (área de Mula), está constituida por margas del Tortoniense con arenas. Contienen entre el 50 y 60% de carbonatos de calcita y dolomita, pequeñas cantidades de cuarzo y escasos feldespatos, según pone de manifiesto los análisis del polvo total por difracción de rayos X (figs. 5 y 6). Como se aprecia, estas proporciones se mantienen casi constantes en todo el perfil, a excepción del contenido en cuarzo que aumenta ligeramente en profundidad. En la secuencia S (área de Mazarrón), los análisis revelan la existencia de una importante proporción de calcita y dolomita en el nivel superior (S1),

Granulometría de los perfiles y permeabilidad

	PROF. cm	FRACCION (mm \varnothing) %				PERMEABILIDAD cm/min
		2-0'2 ARENA G.	0'2-0'02 ARENA F.	0'02-0'002 LIMOS	0'002 ARCILLA	
Cuenca de Mula (N)	0-25	17'3	48'2	18'3	16'2	0'25-0'48
	25-75	13'5	54'6	18'3	13'6	0'20-0'24
	75-100	10'4	55'1	22'0	12'5	0'13-0'18
Campo de Mazarrón (S)	0-25	58'0	26'5	9'7	5'8	1'68-2'9
	25-75	51'5	24'7	14'2	9'6	1'52-1'60
	75-100	50'4	24'8	15'0	9'8	1'14-1'40

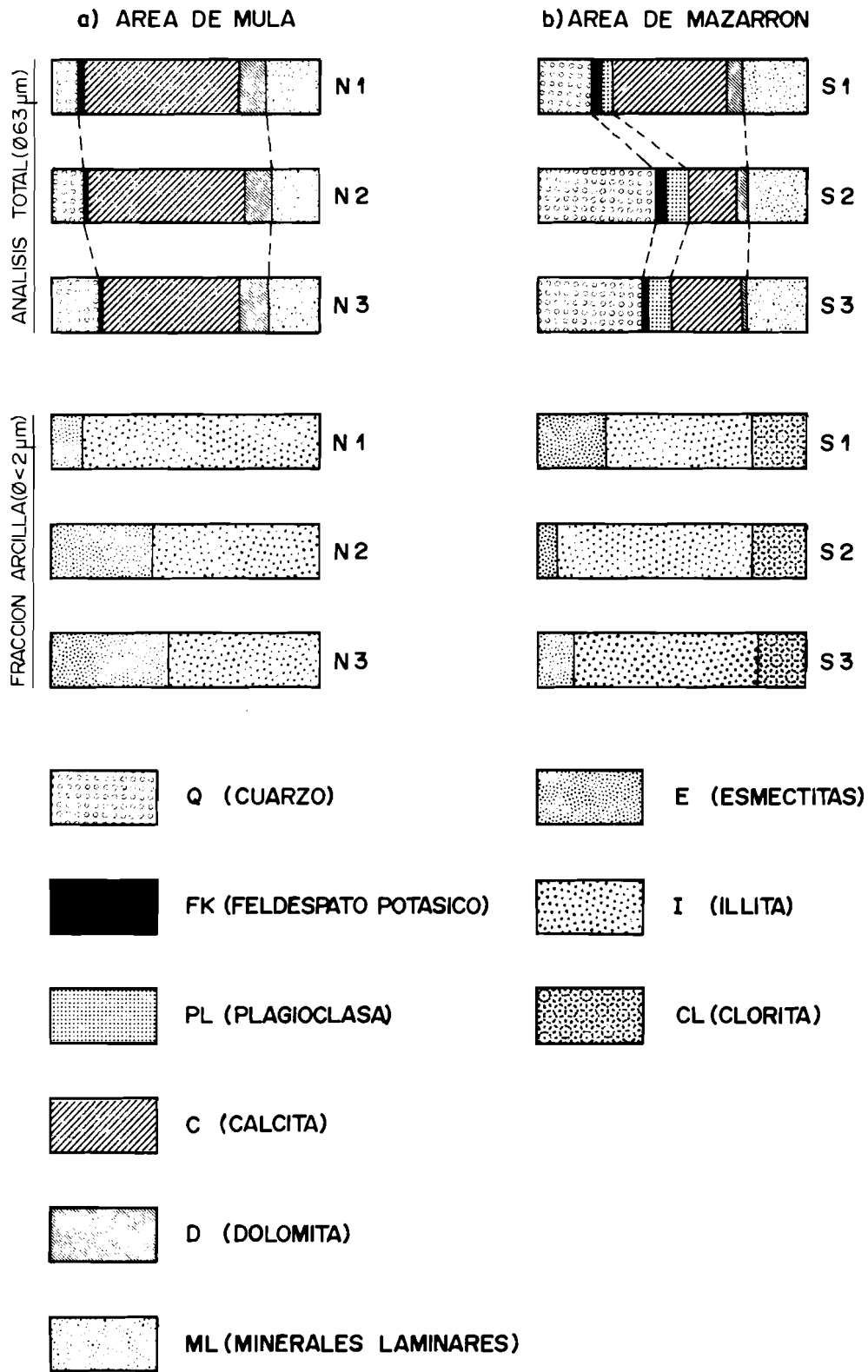


Fig. 5.—Mineralogía de las muestras de suelo a diferentes niveles.

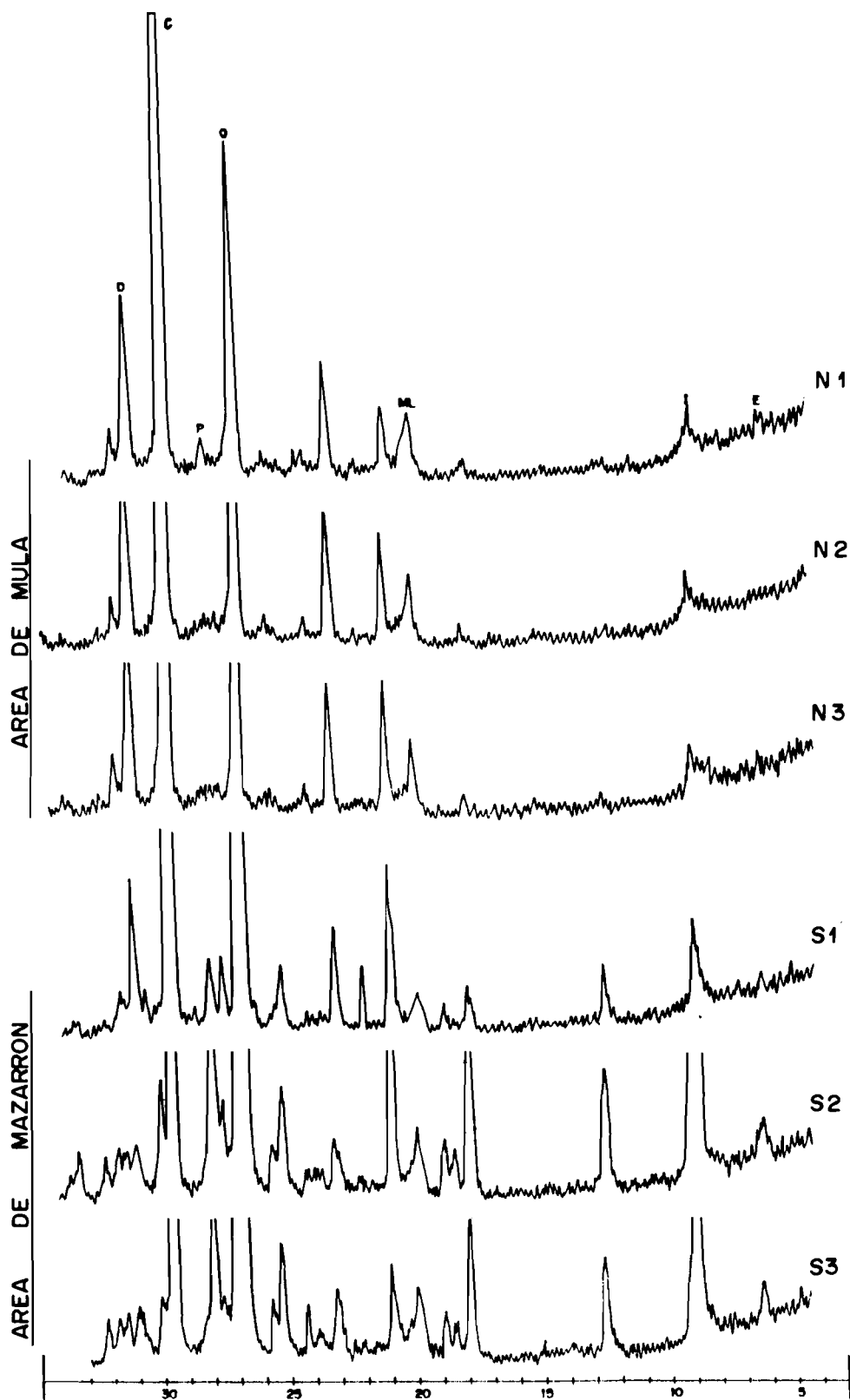


Fig. 6.—Diagramas de rayos X y evolución de los perfiles.

siendo escasa en los dos niveles inferiores. Destaca el elevado contenido en cuarzo, sobre todo en los niveles intermedio e inferior. Los feldespatos se mantienen en igual proporción en los niveles S1 y S2, para descender en el inferior.

Las diferencias mineralógicas entre las dos áreas son evidentes, la proporción de cuarzo en el depósito de Mazarrón es muy superior al de Mula, lo mismo se aprecia respecto a los feldespatos. En el área de Mazarrón, aparece plagioclasa, notablemente en los niveles S2 y S3, mineral ausente en el depósito de Mula. La explicación a estas diferencias se encuentra en el hecho de que, si bien el depósito de Mazarrón se halla sobre una formación sedimentaria margosa, areniscosa y conglomerática del Plioceno, su proximidad, 1.800 m al E, a unos destacados relieves metamórficos (cuarcitas, micaesquistos, gneises) y volcánicos (dacitas y vitrófidos) les suministran, por meteorización y arrastres debidos a las escorrentías superficiales, importantes acarrees de material detrítico que se superpone a la formación neógena. Las cantidades de carbonatos presentes en ambas series también difieren ampliamente, son muy abundantes en el área de Mula, aquí los carbonatos son, fundamentalmente bioclastos. En el área de Mazarrón, sólo el nivel superior presenta una proporción de carbonatos importante.

b) Arcillas

La fracción arcilla (agregado orientado) de la secuencia N (Mula) es escasa y mal cristalizada, estas características aumentan en profundidad. La arcilla está constituida básicamente por illita y agregados de esmectita, la proporción de la primera va disminuyendo a la vez que aumenta la cantidad de la segunda.

En la secuencia S (Mazarrón), la cantidad de arcilla se mantiene también constante así como la naturaleza de la misma, aunque las proporciones relativas de cada una de ellas sea variable en los distintos niveles. La más abundante es la illita, aparece clorita (ausente en la serie N), esmectita y trazas de sepiolita.

Las proporciones de arcilla en ambas secuencias son muy parecidas, algo superior en la secuencia de Mazarrón. Las únicas diferencias importantes radican en la mayor cristalinidad y mayor variedad que ofrece el depósito S.

c) Exoscopia

La observación de las muestras al S.E.M., pone de manifiesto que la muestra N1 se halla muy alterada por disolución y destruida en buena parte (fig. 7), formando, en ocasiones, agregados separados por grandes poros. Los carbonatos son, en general, bioclastos (cocolitofóridos) aunque están muy fracturados y formando agregados de difícil identificación. En conjunto, la muestra presenta abundantes poros de diferente tamaño distribuidos irregularmente.

La muestra N2 se halla mejor conservada, distinguiéndose bastante bien los cocolitofóridos (fig. 7); presenta todavía abundantes poros aunque de tamaño muy inferior a los del nivel superior. La N3 es mucho más compacta que las anteriores, prácticamente toda ella está constituida por bioclastos, su porosidad es muy inferior a la de los niveles superiores.

En conjunto, todo el perfil del depósito del área de Mula, es bastante homogéneo, salvo la disminución del número y tamaño de los poros en profundidad, así como la mejor conservación de los cocolitofóridos.

En la secuencia S (Mazarrón), se observa una ligera cementación (encostramiento) en el nivel superficial S1 que coincide con la mayor proporción de calcita detectada en la difracción de rayos X (fig. 6). Esta cementación es muy desigual por lo que deja grandes poros muy irregularmente distribuidos (fig. 8). En el nivel S2, siguen apareciendo abundantes espacios vacíos aunque más pequeños que en el nivel anterior. No se observa cementación. En el nivel S3, la muestra es más homogénea, los poros siguen siendo abundantes pero de diámetro mucho menor.

De estos análisis se desprende que en ambas series la porosidad disminuye con la profundidad, la dificultad de las aguas de infiltración es creciente hacia los niveles inferiores por la menor frecuencia y tamaño de los poros. Si bien los dos depósitos son bastante diferentes en su composición mineralógica, su estructura y comportamiento ante los procesos de infiltración resulta similar. La mayor proporción de carbonatos en la serie N, podría favorecer una mejor cementación, y por consiguiente, obstaculizar la infiltración de las aguas, sin embargo, no resulta así debido a que estos carbonatos son bioclastos, en su mayor parte, que tienen un comportamiento similar a los granos de cuarzo de la secuencia S. Por otro lado, la disminución de la porosidad y de la permeabilidad de la serie N, en los niveles inferiores, puede inducir al ensanchamiento de los conductos en profundidad, como es posible comprobar en el área neógena de la cuenca de Mula. Tal ensanchamiento, en el caso de la serie S (Mazarrón), será debido a la previa destrucción del encostramiento superficial (nivel S1), aumento de la capacidad de infiltración y correlativos procesos de su fusión en profundidad.

Conclusiones

Los procesos de erosión en tubos o conductos (*piping*) en dos áreas sedimentarias del Sureste de España, conducen al progresivo desmantelamiento de los suelos y al desarrollo de cárcavas. Los dos depósitos analizados, muestran como pese a las diferencias texturales y mineralógicas que ofrecen, son afectados por procesos similares que se inscriben en el paisaje con casi idénticas formas de modelado. La permeabilidad de las formaciones detríticas sedimentarias, se revela como un factor esencial en la formación de *pipes*, las variaciones que presenta en profundidad ha sido posible verificarla me-

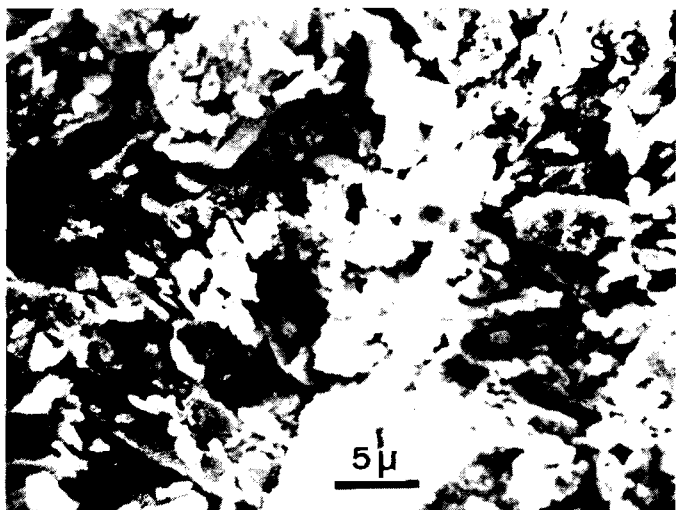
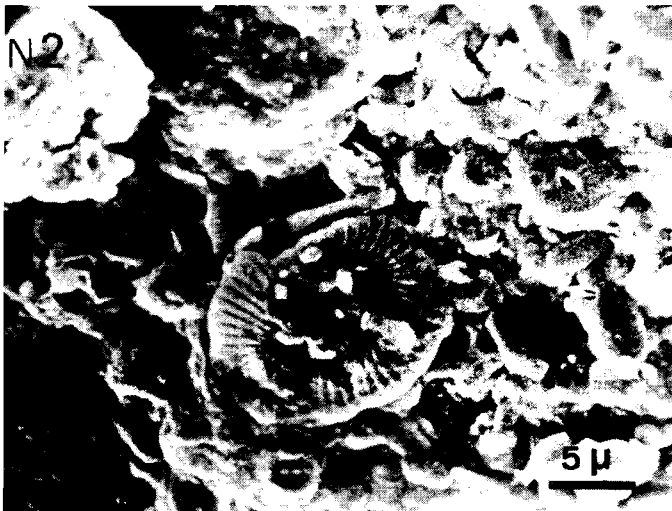


Fig. 7.—Características superficiales y texturales de los sedimentos neógenos en el perfil de la Cuenca de Mula.

Fig. 8.—Características superficiales y texturales de los sedimentos neógeno-cuaternarios en el perfil del Campo de Mazarón.

diante la aplicación de técnicas de petrografía microscópica y microscopía electrónica de barrido.

La compactación del suelo a cierta profundidad, como se ha puesto de manifiesto, dificulta la profundización de los canales subsuperficiales a partir de determinados umbrales y favorece, por el contrario, su ensanchamiento y ramificación. La evolución de este proceso puede conducir al colapsamiento de las bóvedas con el consiguiente hundimiento y la aparición de cárcavas en superficie. Las condiciones climáticas semiáridas, sobre todo el régimen e intensidad de las lluvias, la necesidad de que se genere un flujo de agua superficial importante y la acumulación de una suficiente cantidad de agua en el suelo para que se establezcan niveles piezométricos, se revelan, a la luz de las observaciones de campo e interpretación de los resultados analíticos, como factores destacados en la formación y desarrollo de los procesos de sufusión en este dominio morfoclimático mediterráneo de la península Ibérica.

Bibliografía

BARENDREGT, R. W.; ONGLEY, E. D. (1977): «Piping in the Milk River Canyon, southeastern Alberta, a contemporary dryland geomorphic process». In *Erosion and solid materail transport in inland waters*. Proceedings of the Paris Symposium., I.A.H.S.-Pub. 122, pp. 233-243.

BRIGGS, D. J.; SHISHIRA, E. K. (1985): «Soil variability in geomorphologically defined survey units in the Albudeite area of Murcia Province, Spain». In *Soils and Geomorphology*. Catena Supplement 6, pp. 69-84.

CANO GARCIA, G. M. (1975): «Un ejemplo de karst mecánico en rocas blandas: Las torcas de Guadix». *Estudios Geográficos*, núms. 138-139, pp. 247-263.

CHORLEY, R. J. (1978): «Glossary of terms». In *Hillslope Hydrology*. Edit. by M. J. Kirkby, Wiley, pp. 365-376.

CROUCH, R. J. (1976): «Field tunnel erosion - areview». *Journal of Soil Conservation Service*, New South Wales, 32 (2), pp. 98-111.

EMBLETON, C.; THORNES, J. B. (1979): «Sub-surface processes». In C. Embleton and J. B. Thornes (Eds.): *Process in Geomorphology*. E. Arnold, London, pp. 187-212.

GALLART, F. (1979): «Observaciones sobre la geomorfología dinámica actual en la cuenca d'Odena (alrededores de Igualada, prov. de Barcelona)». *Actas III Reunión Nacional del Grupo Español de Trabajo del Cuaternario*, pp. 123-134.

GARCIA RUIZ, J. M.; LASANTA MARTINEZ, T.; ORTIGOSA, L.; ARNAEZ, J. (1986): «Pipes in cultivated soils of La Rioja: origin and evolution». *Z. Geomorph. N. F.*, suppl. Bd. 58. Berlin-Stuttgart, pp. 93-100.

GILMAN, K.; NEWSON, M. D. (1980): *Soil pipes and pipe flow - a hydrological study in upland Wales*. B.G.R.G., Monograph n.º 1, 114 pp.

GRACIA PRIETO, F. J. (1986): «Dinámica erosiva del piping: Un ejemplo en la Depresión del Ebro». *Cuadernos de Investigación Geográfica*, t. 12, fasc. 1 y 2. Logroño, pp. 11-24.

GUTIERREZ ELORZA, M.; RODRIGUEZ VIDAL, J. (1984): «Fenómenos de sufusión (piping) en la Depresión Media del Ebro». *Cuadernos de Investigación Geográfica*. Tomo X, fasc. 1 y 2. Logroño, pp. 75-83.

GUTIERREZ ELORZA, M.; RODRIGUEZ VIDAL, J.; BENITO, G. (1986): «Piping processes in badland areas (Middle Ebro Basin, Spain)». IGU. *Commission on Measurement Theory and Application in Geomorphology*. Meeting Spain. Barcelona-Murcia-Granada.

HARVEY, A. (1982): «The role of piping in the development of badlands and gully systems in south-east Spain». *Badland Geomorphology and Piping*. Geo-Books (Geo Abstracts Ltd). Norwich. England., pp. 317-335.

HEEDE, B. H. (1971): *Characteristics and processes of soil piping in gullies*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service Research Paper. RM-68, 15 pp.

HILLS, R. C. (1970): «The determination of the infiltration capacity of field soils using the cylinder infiltrometer». *British Geomorphological Research Group*. Technical Bulletin, n.º 3, 24 pp.

JENNINGS, J. N. (1971): *Karst*. Mit Press, Australia, 252 pp.

JONES, J. A. A. (1975): *Soil piping and the subsurface initiation of stream channel networks*. Ph. D. thesis. University of Cambridge, 467 pp. Este autor recoge más de 150 referencias bibliográficas directamente relacionadas con el proceso de piping.

(1981): *The Nature of soil piping a review of research*. Published by GeoBooks. Norwich, BGRG. Research Monograph n.º 3, 301 pp.

LASANTA MARTINEZ, T. (1985): *Aportación al estudio de la erosión hídrica en campos cultivados de La Rioja*. Instituto de Estudios Riojanos. Logroño, 152 pp.

LEWIN, S. Z.; CHAROLA, A. E. (1978): «Scanning electron microscopy in the diagnosis of diseased stone». In Johari, O (Ed). *Scanning Electron Microscopy*. SEM Inc., Illinois, pp. 695-703.

LOPEZ BERMUDEZ, F.; ROMERO DIAZ, A.; FISHER, G. C.; FRANCIS, C.; THORNES, J. B. (1984): «Erosión y ecología en la España semiárida (Cuenca de Mula, Murcia)». *Cuadernos de Investigación Geográfica*, t. X, fasc. 1 y 2, Logroño, pp. 113-126.

Mc GREEVY, J. P. (1985): «A preliminary scanning electron microscope study of honeycomb weathering of sandstone in a coastad environment». *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 10, pp. 509-518.

MENSUA, S.; IBAÑEZ, M. J. (1975): «Alveolos en la Depresión del Ebro». *Cuadernos de Investigación*, t. II, pp. 3-14.

MORGAN, R. P. C. (1979): *Soil Erosion*. Topics in Applied Geography. Longmans, London, 113 pp.

KIRKBY, M. J.; MORGAN, R. P. C. (1980): *Soil Erosion*. John Wiley and Sons. B.G.R.G., Chichester, 312 pp.

PARKER, G. C. (1963): «Piping, a geomorphic agent in landform development of the drylands». *International Association Scientific Hydrology*. Publication 65, pp. 103-113.

RODRIGUEZ VIDAL, J. (1983): *Geomorfología de las Sierras Exteriores oscenses y su piedemonte*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza, 493 pp.

ROMERO DIAZ, A.; LOPEZ BERMUDEZ, F. (1985): «Procesos de erosión en la Cuenca Neógeno-Cuaternaria de Mula». En *Guía de Itinerarios Geográficos de la Región de Murcia*. IX Coloquio de Geógrafos Españoles. Murcia, pp. 83-98.

ROSEWELL, C. J. (1970): «Investigations into the control of earthwork tunnelling». *Journal of Soil Conservation Service, New South Wales*, 26 (3), pp. 188-203.

SANJAUME SAUMELL, E. (1985): *Las costas valencianas. Sedimentología y morfología*. Universidad de Valencia. Sección de Geografía, 505 pp.

SMART, P. L.; WILSON, C. M. (1984): «Two methods for the tracing of pipe flow on hillslopes». *CATENA*, vol. 11, pp. 159-168.

STONCKING, M. A. (1976): «Tunnell erosion». *Rhodesia Agricultural Journal*, 73 (2), pp. 35-39.

TORCAL SAINZ, L. et al. (1984): «Estudio al MEB de las texturas superficiales de los granos de cuarzo y su aplicación a la interpretación de medios actuales y subactuales». *Estudios Geológicos*, 40, pp. 315-339.

STOOPS, G.; ESWARAN, H.; ABTAHI, A. (1977): «Scanning electron microscopy of authigenic sulphate minerals in soils». In Delgado, M. (Ed.), *Proc. Fifth Int. Working Meeting on Soil Micromorphology*, Granada, pp. 1.093-1.113.

WHALLEY, W. B. Edit. (1979): *Scanning Electron Microscopy in the Study of Sediments*. British Geomorphology Research Group (BGRG). GeoBook, Norwich, 414 pp. (Es el primer libro dedicado al uso del SEM en sedimentología.)

WHALLEY, W. B.; Mc CREEVY, J. P.; SUMMERFIELD, M. A. (1982): «Scanning electron microscopic observations and physical attributes of silcretes and their implications for

- sandstone formations». In Johar O. (Ed.). *Scanning Electron Microscopy*, SEM. Inc. Linois, pp. 649-656.
- WHIPKEY, R. Z.; KIRKBY, M. J. (1980): «Flow Within the Soil». In Kirkby, M. J. (Eds): *Hillslope Hydrology*. J. Wiley and Sons., Chichester, pp. 121-144.
- WILSON, C. M.; SMART, P. L. (1984): «Pipes and pipe flow process in an upland catchment, Wales». *CATENA*, vol. 11, pp. 145-158.
- ZUIDAM, R. A. van (1976): *Geomorphology development of the Zaragoza region. Spain*. International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences (ITC), Enschede, 211 pp.